

中華民國 第 50 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 物理科

佳作

080102

旋轉吧！錢幣！

學校名稱：嘉義市西區博愛國民小學

作者：	指導老師：
小六 陳盈蓁	王育泰
小六 陳旺廷	許文雅
小六 莊傑程	
小六 蔡孟翰	
小六 屈統翊	

關鍵詞：錢幣、旋轉、重心

作品摘要：

從圓形錢幣旋轉中發現旋轉體會出現 1.公轉、2.水平式自轉、3 垂直面自轉…等三種旋轉方式。發現影響錢幣翻轉及重物在頂端平衡的因素有敲打的位置、敲打的力量、加重物的重量、離心力…等。錢幣的旋轉可以發現使用十元硬幣、敲打位置在半徑一半的中間位置，錢幣與彈射棒的夾角 0 度會有最佳的旋轉效果。利用前述發現可輕鬆製作七彩旋轉錢幣與旋轉錢幣發射器。

壹、研究動機

在一次和同學約好，正在等同學一起去玩的時候，由於百般無聊就拿起手邊的硬幣用手指彈讓硬幣旋轉，發現硬幣邊緣上的一個污點會順時針旋轉，感到非常有趣。從硬幣的旋轉，使我想到了五下自然課的力與運動單元，當力量越大，物體滾的越遠或轉的越久，但不知道為什麼會造成錢幣上污點旋轉的情形，因此就到學校請教老師，老師也覺得這是一個很有趣的問題，我們就一起邀了班上的同學開始了這次的科展研究。

貳、研究目的

※我們的研究有下列四項：

- 一、製作可穩定發射的錢幣彈射器。
- 二、發現錢幣旋轉的軌跡。
- 三、找出重物影響錢幣翻轉的原因。
- 四、設計錢幣遊戲。

※針對上述目的，本研究擬定下列幾個問題進行研究：

- 一、錢幣是怎麼旋轉的？
- 二、彈射力量會影響旋轉時間及旋轉距離嗎？
- 三、彈射位置會影響旋轉時間及旋轉距離嗎？
- 四、彈射棒與錢幣夾角會影響旋轉時間及旋轉距離嗎？
- 五、重量會影響旋轉嗎？
- 六、如何應用原理製作有趣的錢幣玩具？

參、研究器材與設備：

彈射器	木板底座、鐵軸 4 支、橡皮筋數條（每做完一個實驗更換一次）、免洗筷數支、油黏土一塊、手搖鑽一支
實驗素材	1 元、5 元、10 元、50 元錢幣、油黏土、麥克筆數支
測量設備	碼表一個、電子秤一個、格子墊板 6 張、量角器、直尺、圓規
數位設備	DV 攝影機、數位照相機一台、電腦一台、印表機一台

肆、研究方法及結果

問題一、錢幣是怎麼旋轉的？

（一）實驗準備：

- 1.研究步驟：研究一開始我們先使用手指彈射錢幣，並紀錄旋轉時間。
- 2.研究結果：

表 1：各人手動彈射錢幣旋轉持續時間(秒)

錢幣旋轉時間(秒)	一元	五元	十元	五十元
藁(1)	6.94	8.49	8.58	10.81
藁(2)	10.3	10.51	11.34	1.11
廷(1)	5.76	8.78	9.57	7.72
廷(2)	9.70	6.77	9.10	6.58
翰(1)	1.16	9.14	5.52	13.20
翰(2)	6.67	8.17	9.05	8.51
翊(1)	7.58	5.63	8.63	9.80
翊(2)	5.20	6.53	12.47	10.58
程(1)	8.3	10	7.68	0.68
程(2)	6.29	11.61	10.95	11.7

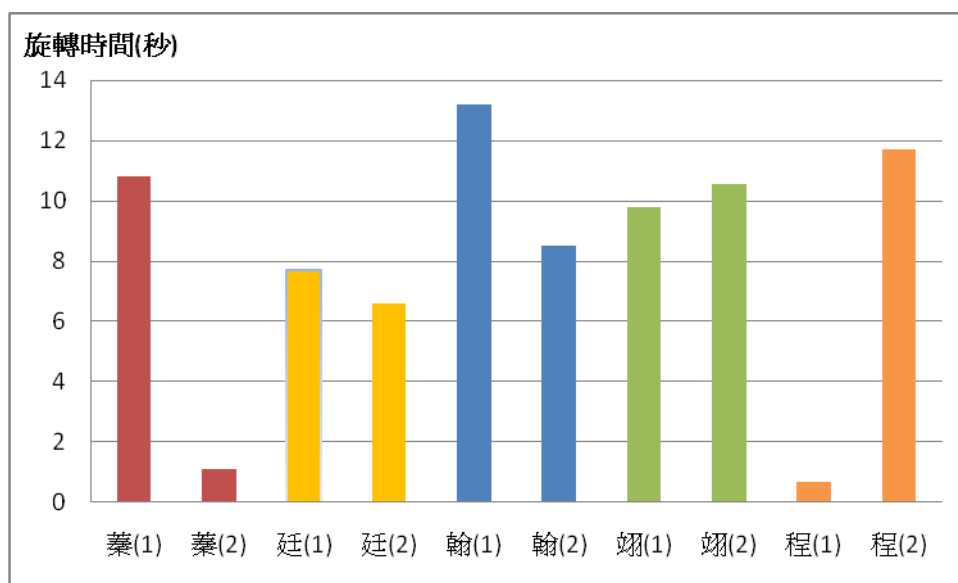


圖 1：用手指彈射 50 元錢幣旋轉時間長條圖

3.我們發現：由表 1 和圖 1 的結果我們發現用手指直接彈射錢幣非常不穩定，不同人彈射的旋轉時間相差很大，甚至同一個人兩次的彈射(長條圖同顏色)也有不小差異，因此我們要找出可以穩定談設硬幣的研究方法。

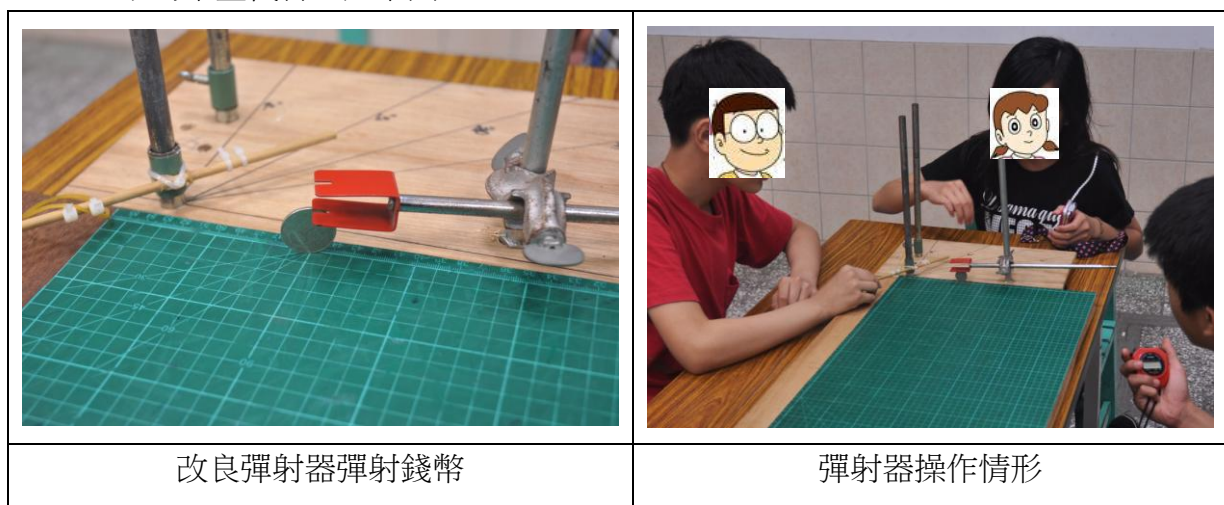
4.研究改進方法：我們使用冰棒棍和橡皮筋製作出錢幣彈射器。如下圖：



(1)錢幣彈射器的設計理念是模仿我們用手彈射錢幣的方式，左邊黏著黏土的冰棒棍是固定錢幣的左手手指，而右邊的金屬棒則是右手彈射錢幣的手指，而橡皮筋則提供了彈射的力量。

(2)後來我們發現這樣的設計只能模仿用右手彈錢幣的情形，沒辦法觀察到左手彈的狀況，而放置錢幣的位置離台座的邊緣太遠並且與桌面有高低差，錢幣彈射後從台座上落下與桌面碰撞會減少錢幣旋轉時間，且方格紙使用多次之後，表面會凹凸不平，也影響到錢幣旋轉的持續時間。

(3)使用一陣子後，彈射器的熱融膠和冰棒棍都開始鬆動，造成操作上的困難，因此我們與老師討論過後，決定再設計一個更堅固的錢幣彈射器，除了固定錢幣器和彈射棒可以左右邊互換外，也在桌面上用厚木板墊得與發射台一樣高，方格紙也用有格子的桌墊代替，如下圖：



(4)每次操作都由同一個人操作，並利用 DV 錄影機的錄影功能，觀察並記錄錢幣在桌墊上旋轉的軌跡及記號變動的情形。



(二) 錢幣旋轉方式觀察：

1.研究步驟：

- (1)利用紅色圓點貼紙在 1 元、5 元、10 元、50 元上做記號。
- (2)分別利用彈射器，使錢幣旋轉。
- (3)利用 DV 錄影機記錄錢幣在桌墊上旋轉的軌跡及記號變動的情形。
- (4)操作 5 次，記錄常態變化。

2.研究結果：

- (1)所有的錢幣運轉的軌跡大多像下圖一樣，一邊旋轉(我們稱為水平式自轉)，一邊繞著中心點延著相似的軌跡移動(我們稱為公轉)，圈圈逐漸縮小，最後停止不再旋轉。然後不再保持直立，會變的傾斜，最後平躺在桌面。



示意圖 1：錢幣軌跡記錄
(右手彈錢幣，逆時針公轉)

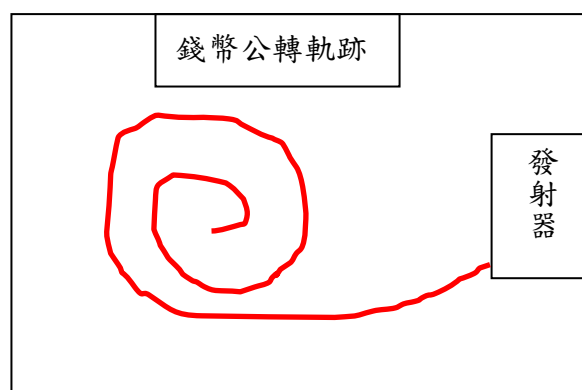


示意圖 2：錢幣軌跡記錄
(左手彈錢幣，順時針公轉)

(2)而在錢幣旋轉即將結束之前，旋轉的速度會漸漸變慢，然後不再保持直立，會變的傾斜，最後平躺在桌面（示意圖 3）。

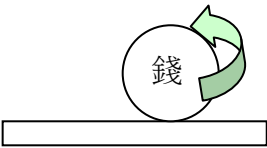
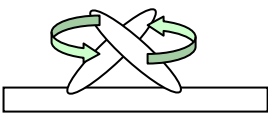
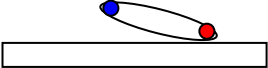
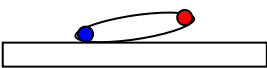
			
1.錢幣直立繞圈圈	2.逐漸傾斜，繞的圈變小	3.不再繞圈，一端碰地繞行	4.邊緣輪流碰地最後平躺
			

示意圖 3：錢幣旋轉過程

(3)錢幣轉動時，記號會呈現順時鐘移動，表示錢幣同時進行水平方向及垂直方向的轉動，我們把垂直方向的轉動，稱為垂直面自轉。（示意圖 4）

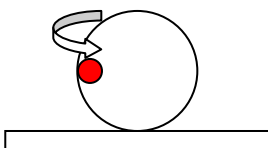
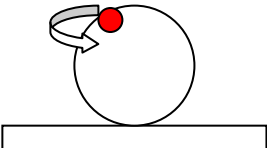
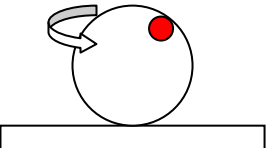
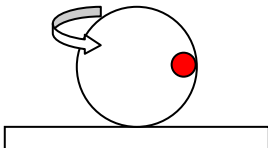
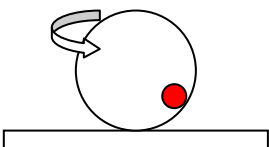
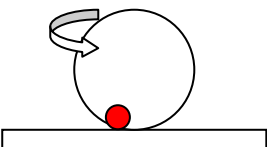
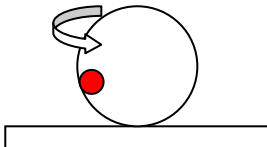
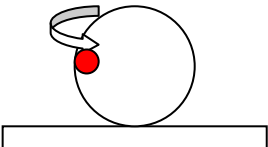
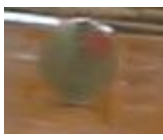
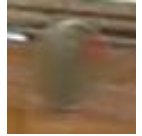
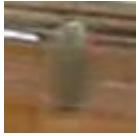
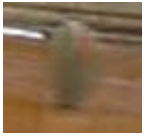
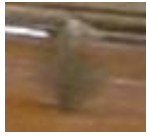
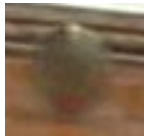
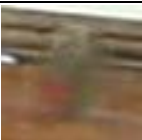
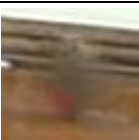
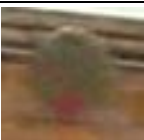
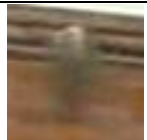
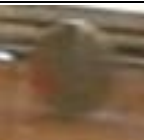
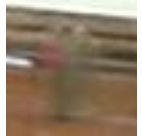
順序	1	2	3	4
圖示				
照片				
順序	5	6	7	8
圖示				
照片				

示意圖 4：錢幣自轉記號變動圖

(4)為了避免影片播放時，眼睛因視覺暫留造成錯覺，所以我們將影片一格一格播放(我們所用攝影機為 1 秒 30 格)並截圖，由下面的截圖可以顯示紅點確實是在作順時針的垂直面自轉。

格數	0 秒 20 格	0 秒 21 格	0 秒 22 格	0 秒 23 格	0 秒 24 格
截圖					
格數	0 秒 25 格	0 秒 26 格	1 秒 01 格	1 秒 02 格	1 秒 03 格
截圖					
格數	1 秒 04 格	1 秒 05 格	1 秒 06 格	1 秒 07 格	1 秒 08 格
截圖					
格數	1 秒 09 格	1 秒 10 格	1 秒 11 格	1 秒 12 格	1 秒 13 格
截圖					
格數	1 秒 14 格	1 秒 15 格	1 秒 16 格	1 秒 17 格	1 秒 18 格
截圖					
格數	2 秒 23 格	2 秒 24 格	2 秒 25 格	2 秒 26 格	2 秒 27 格
截圖					
格數	2 秒 28 格	2 秒 29 格	2 秒 30 格	3 秒 01 格	3 秒 02 格
截圖					
格數	3 秒 03 格	3 秒 04 格	3 秒 05 格	3 秒 06 格	3 秒 07 格
截圖					

(5)我們嘗試著從左邊彈射錢幣，發現除了公轉和水平式自轉的方向與右邊彈射相反外，連垂直面自轉也改變成逆時鐘的方向。

(三) 我們發現：

- 1.從錢幣右側彈射時，水平式自轉和公轉都是逆時針方向，水平式自轉是由於施力方向所造成，而公轉則和錢幣受到彈射力量方向的影響，造成錢幣重心傾斜有關，因此，改從錢幣左側彈射，水平式自轉和公轉都是順時針方向。
- 2.從錢幣右側彈射時，垂直面自轉是順時針方向，而從錢幣左側彈射時，垂直面自轉卻是逆時針方向，且錢幣在直線前進或原地轉動時並不會產生垂直面自轉，只有在錢幣開始轉彎時會產生。

問題二、彈射力量會影響旋轉時間及旋轉距離嗎？

(一) 研究步驟：

- 1.我們是以彈射棒向後拉的角度大小來控制每次彈射力量的大小，彈射棒向後拉的角度越大，橡皮筋被拉的越長，彈射力量越大，拉同樣的角度彈射就會有相同的彈射力量，且為了使彈射力量誤差變小，橡皮筋每彈射 5 次就換新。
- 2.由於 10 元及 50 元的硬幣面積較大，彈射的穩定度和效果較好，因此我們選擇 10 元及 50 元的硬幣作為實驗對象。
- 3.使彈射棒距離錢幣 30 度、45 度、60 度、90 度，彈射 10 元及 50 元的硬幣，操作 5 次，並將每次擊打錢幣的位置固定，以降低誤差值。
- 4.紀錄觀察旋轉的軌跡及持續的時間。

(二) 研究結果：

1.10 元： 表 2：不同力量大小彈射錢幣旋轉持續時間(秒)與停止距離(cm)

彈射力量大小	30 度		45 度		60 度		90 度	
秒數及距離	秒數 (秒)	距離 (cm)	秒數 (秒)	距離 (cm)	秒數 (秒)	距離 (cm)	秒數 (秒)	距離 (cm)
第一次	7.35	41	8.5	41	8.99	52	11.88	56
第二次	6.63	36	10.75	59	9.05	48	8.13	59
第三次	6.46	35.5	8.67	39	12.7	61	12.54	66
第四次	7.72	29	8.14	47	8.88	45	10.34	63
第五次	8.68	37	9.8	50	8.68	53	9.27	58
平均	7.37	36.58	9.06	46.17	9.55	51.83	10.67	59.67

2.50 元：

彈射力量大小	30 度		45 度		60 度		90 度	
秒數及距離	秒數 (秒)	距離 (cm)	秒數 (秒)	距離 (cm)	秒數 (秒)	距離 (cm)	秒數 (秒)	距離 (cm)
第一次	10.02	30	10.74	42	10.57	66	12.01	58
第二次	9.37	31	8.33	44	9.78	55	10.48	56
第三次	9.74	29	10.2	45	9.7	43	12.24	50
第四次	8.75	37	10.89	38	9.34	35	13.06	55
第五次	8.48	35	11.18	40	10.76	67	10.74	75
平均	9.40	32.00	10.35	41.83	10.12	55.33	11.76	58.67

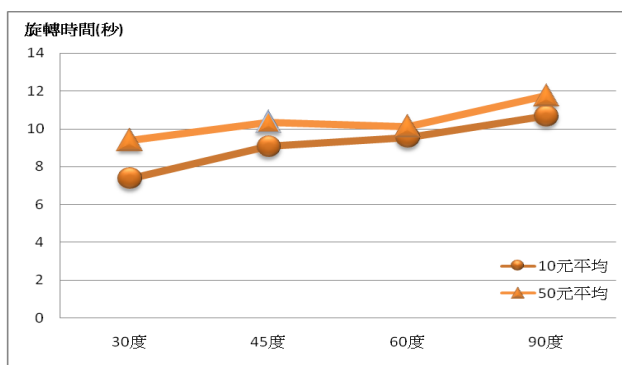


圖 2：彈射力量與旋轉時間關係圖

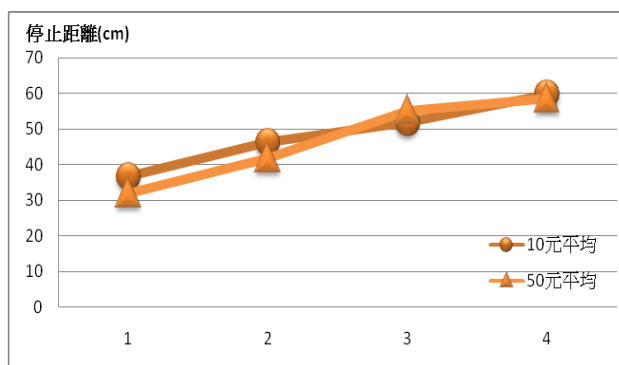


圖 3：彈射力量與停止距離關係圖

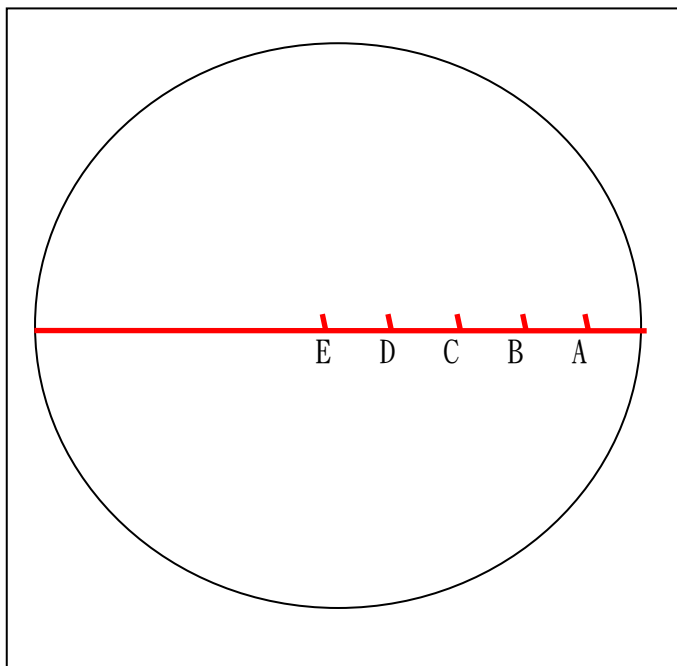
（三）我們發現：

- 1.從圖表我們可以觀察到用越大的力量彈射，旋轉時間和距離都會變大。
- 2.按照常理判斷，50 元硬幣較重，受到與 10 元硬幣同樣大小的彈射力量時，應該旋轉時間與停止距離都要比 10 元硬幣來得少才是，但實驗結果並非如此，我們猜測也許與錢幣受力的位置有關，因此設計了下個實驗。

問題三、彈射位置會影響旋轉時間及旋轉距離嗎？

（一）研究步驟：

- 1.測量 10 元和 50 元硬幣的直徑長度(10 元 26mm，50 元 28mm)，並從邊緣開始每 3mm 當作一等份，做上記號，由邊緣至圓心依序編為 A-E 如右圖：
- 2.使彈射棒距離錢幣 60 度，調整錢幣與彈射棒之間距離，以能夠擊打錢幣上記號，彈射 10 元及 50 元的硬幣，操作 5 次，並將每次擊打錢幣的位置固定，以降低誤差值。
- 3.紀錄觀察旋轉的軌跡及持續的時間。



(二) 研究結果：

表 2：彈射位置不同彈射錢幣旋轉持續時間(秒)與停止距離(cm)

1.10 元：(0 為不旋轉)

打的位置 (距邊緣 mm)	3mm(A 點)		6mm(B 點)		9mm(C 點)		12mm(D 點)		15mm(E 點)	
秒數及最遠 距離	秒數 (秒)	距離 (cm)	秒數 (秒)	距離 (cm)	秒數 (秒)	距離 (cm)	秒數 (秒)	距離 (cm)	秒數 (秒)	距離 (cm)
第一次	11.63	62	14.26	55	7.9	102	0	0	0	0
第二次	9.66	58	12.66	59	6.79	92	0	0	0	0
第三次	10.47	69	11.81	48	6.8	100	0	0	0	0
第四次	10.8	59	12.02	55	8.25	102	0	0	0	0
第五次	11.53	63	11.61	46	7.91	102	0	0	0	0
平均	10.818	62.2	12.472	52.6	7.53	99.6	0	0	0	0

2.50 元：(0 為不旋轉)

打的位置(距 邊緣 mm)	3mm(A 點)		6mm(B 點)		9mm(C 點)		12mm(D 點)		15mm(E 點)	
秒數及最遠 距離	秒數 (秒)	距離 (cm)	秒數 (秒)	距離 (cm)	秒數 (秒)	距離 (cm)	秒數 (秒)	距離 (cm)	秒數 (秒)	距離 (cm)
第一次	13.28	71	12.11	44.5	7.04	63	7.38	73	0	0
第二次	13.41	69	11.84	44	7.92	54	6.34	74	0	0
第三次	10.67	76	13.78	46	6.19	55	6.54	68	0	0
第四次	12.84	61	12.09	47	6.34	59	7.6	72	0	0
第五次	10.69	50	12.16	39	8.43	62	8.2	65	0	0
平均	12.178	65.4	12.396	44.1	7.184	58.6	7.212	70.4	0	0

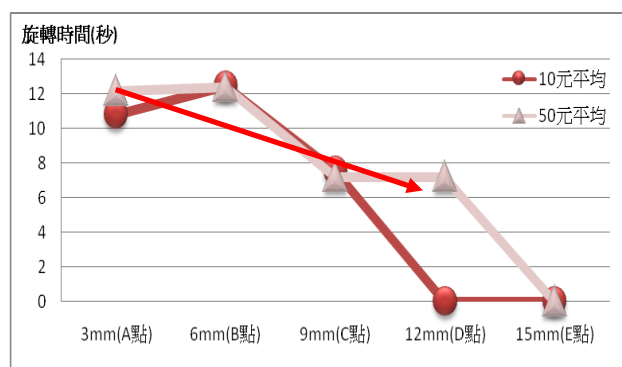


圖 4：打擊位置與旋轉時間關係圖

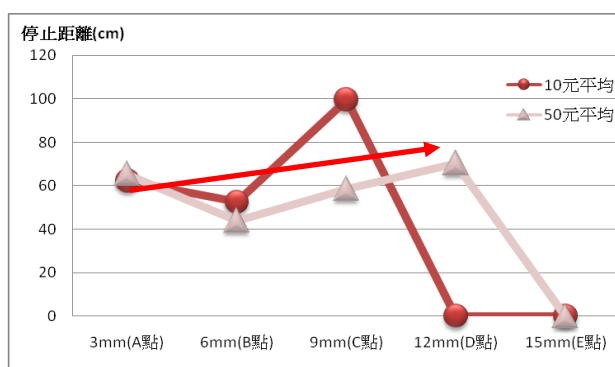


圖 5：打擊位置與停止距離關係圖

(三) 我們發現：

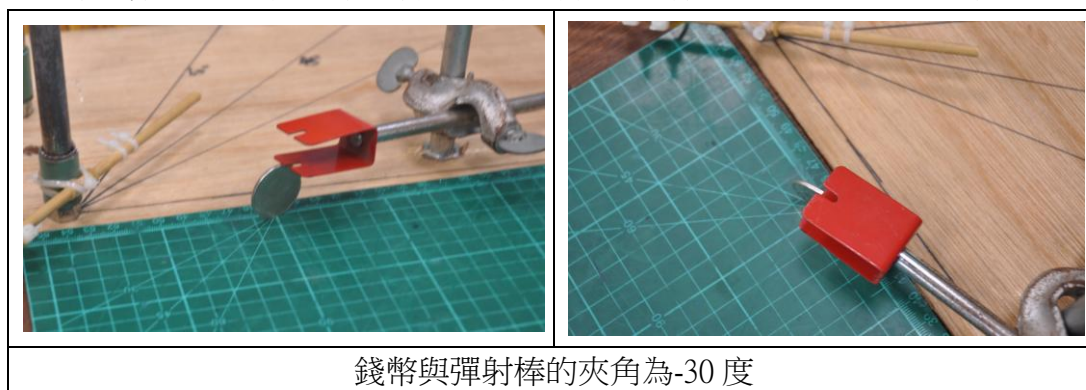
1. 旋轉的持續時間都在距離邊緣 B 點(6mm)的位置最高，而 10 元硬幣半徑的一半為 6.5mm，50 元硬幣則是 7mm，所以應是彈射棒打到靠近**錢幣半徑的一半**那個位置，使得錢幣除了有足夠向前的力量，還能有最大的旋轉力量。

2. 打擊的點越接近圓心旋轉時間越短，打擊的點如果超過圓心就完全不會旋轉了，10 元硬幣在 D 點(12mm)的位置就不會旋轉了，50 元硬幣則在 E 點(15mm)才不會旋轉。
3. 打擊點越接近圓心，錢幣向前的距離越遠，紀錄中距離為 0 的紀錄，是因為錢幣根本不旋轉才記為 0，事實上，若不管是否有旋轉，錢幣被擊打出去的距離是更遠的，這是因為所有的力量都被用來前進不旋轉的緣故。
4. 由圖 4 和圖 5 的紅色趨勢線可以發現，打擊點越靠近圓心，錢幣旋轉時間越短，前進距離越遠，越遠離圓心則反之，因此旋轉時間和距離依打擊位置的不同而有相反的趨勢。
5. 為使實驗流程簡化，由於 10 元硬幣在旋轉時間和停止距離都些微領先 50 元硬幣，因此往後實驗都將以 10 元硬幣為主要實驗材料。

問題四、彈射棒與錢幣夾角會影響旋轉時間及旋轉距離嗎？

(一) 研究步驟：

1. 我們將錢幣與彈射棒的夾角定義為，若錢幣的右側朝向墊板，則錢幣與彈射棒的夾角為負的度數，若朝向發射台，則為正的度數，與發射線平行則為 0 度。
2. 使錢幣與彈射棒的夾角為-60 度、-30 度、0 度、30 度、60 度、90 度。
3. 將彈射棒拉至 45 度觀察旋轉的軌跡及持續的時間，操作 5 次，以降低誤差值。



(二) 研究結果：

表 3：彈射棒與錢幣夾角不同錢幣旋轉持續時間(秒)與停止距離(cm)

彈射夾角	-60 度		-30 度		0 度		30 度		60 度		90 度	
秒數及最遠距離	秒數 (秒)	距離 (cm)	秒數 (秒)	距離 (cm)	秒數 (秒)	距離 (cm)	秒數 (秒)	距離 (cm)	秒數 (秒)	距離 (cm)	秒數 (秒)	距離 (cm)
第一次	9.34	18	6.45	40	12.46	44	6.24	30	5.91	12	0	0
第二次	4.2	15	6.57	52	11.54	48	6.78	33	6.32	10	0	0
第三次	8.53	18	7.38	44	12.72	50	7.12	38	5.1	9	0	0
第四次	2.77	17	6.97	45	11.2	51	7.45	36	6.48	13	0	0
第五次	5.98	14	8.42	50	12.21	48	7.66	33	4.83	12	0	0
平均	6.164	16.4	7.158	46.2	12.03	48.2	7.05	34	5.728	11.2	0	0

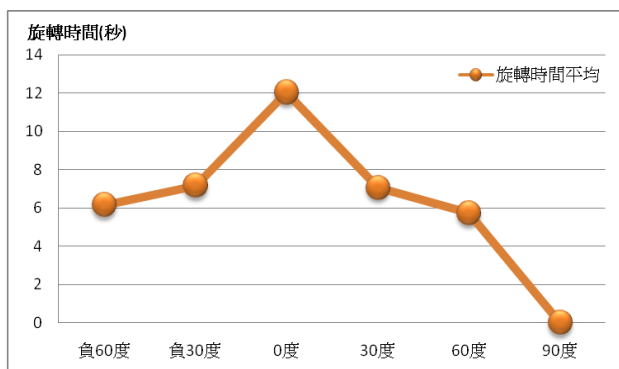


圖 6：彈射角度與旋轉時間關係圖

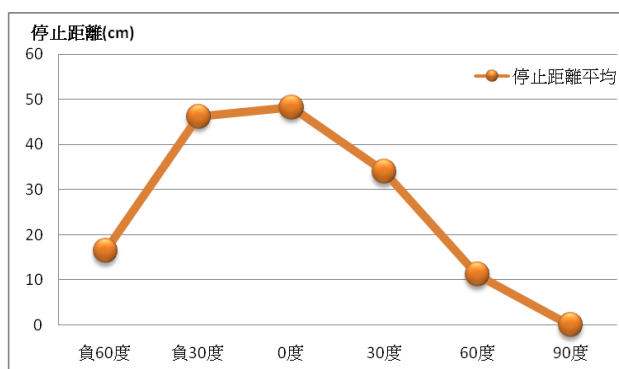


圖 7：彈射角度與停止距離關係圖

（三）我們發現：

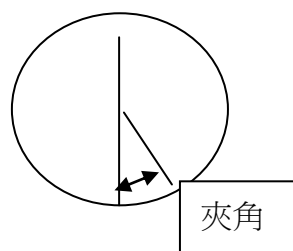
- 1.由圖表可以觀察到，彈射棒與錢幣夾角 0 度時，旋轉時間和停止距離都是最大的。
- 2.彈射棒與錢幣的夾角越大，旋轉時間和停止距離越短，夾角-60 度很難操作，常常因為錢幣前進距離太短撞到發射台，旋轉時間也很不固定。
- 3.夾角 90 度時錢幣完全不會旋轉。

問題五、重量會影響旋轉嗎？

（一）重物加在不同地方對錢幣旋轉的影響：

1.研究步驟：

- (1)以 1 克的黏土當作加重物。
- (2)分別固定在圓心、離中軸 0 度、45 度、90 度、135 度、180 度的 10 元錢幣上。
- (3)利用彈射器使錢幣旋轉，彈射棒距離錢幣 45 度，觀察黏土變動的情形。
- (4)紀錄觀察旋轉的軌跡及持續的時間。



2.研究結果：

表 4：加重物位置不同錢幣旋轉持續時間(秒)與停止距離(cm)

黏土位置	圓心		0 度		45 度		90 度		135 度		180 度	
秒數及距離	秒數(秒)	距離(cm)	秒數(秒)	距離(cm)	秒數(秒)	距離(cm)	秒數(秒)	距離(cm)	秒數(秒)	距離(cm)	秒數(秒)	距離(cm)
第一次	8.12	50	8.64	73	8.77	69	7.04	51	6.02	54	6.61	74
第二次	6.78	43	6.84	84	12.24	79	9.77	39	8.56	58	7.33	44
第三次	5.66	49	7.94	56	8.31	57	9.91	74	7.76	64	7.7	54
第四次	7.1	55	11.57	70	8.08	50	5.64	89	9.81	60	8.8	54
第五次	7.03	45	8.42	77	7.19	63	9.26	89	6.7	58	8.07	44
平均	6.938	48.4	8.682	72	8.918	63.6	8.324	68.4	7.77	58.8	7.702	54

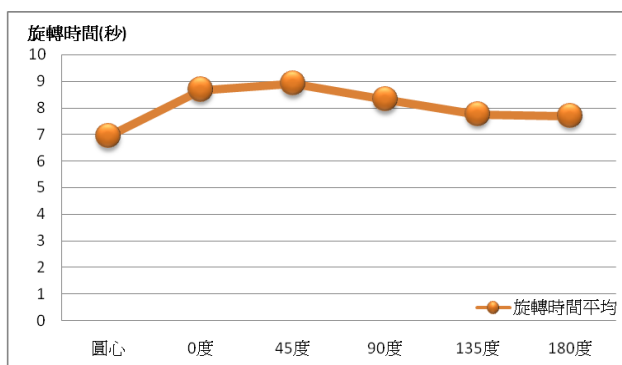


圖 8：黏土位置與旋轉時間關係圖

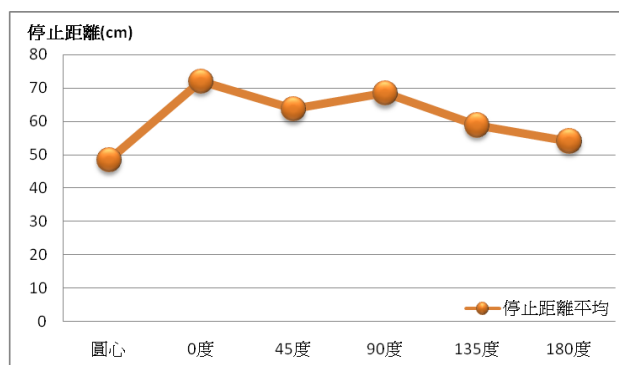


圖 9：黏土位置與停止距離關係圖

3.我們發現：

- (1)與問題一彈射力量為 45 度的 10 元錢幣結果比較，由圖表可看出，將黏土黏在錢幣上會降低旋轉時間與停止距離，尤其是黏在圓心上降低更多，因此加重物對錢幣旋轉並無幫助。
- (2)但我們觀察到一個有趣的現象，在錢幣邊緣加重再旋轉，不管在哪一個角度，重物會往上方移動，然後停在正上方，錢幣繼續轉動，並且不再垂直面自轉，此時錢幣會在原地轉動，縱使有移動也只有不到一公分的位移，這驗證了問題一的推論結果，錢幣在原地轉動時，不會有垂直面自轉的現象。
- (3)不同夾角的黏土都會停在上端轉動，但是角度越小，黏土翻轉到上方的時間越久。為了再進一步了解這個現象，我們設計了下列的實驗。

(二)不同的加重重量對錢幣翻轉時間的影響：

1.研究步驟：

- (1)翻轉時間為黏土從錢幣正下方，向上轉了半圈到正上方的時間。
- (2)分別以 0.5 克、1 克、2 克、3 克、4 克、5 克、6 克的黏土當作加重物，黏在 10 元硬幣夾角 0 度位置。
- (3)利用彈射器使錢幣旋轉，彈射棒距離錢幣 60 度。
- (4)觀察黏土變動的情形，紀錄黏土翻轉至上方所需的時間(0 為不翻轉)。

2.研究結果：

表 5：翻轉時間記錄表

時間（秒）	0.5 克	1 克	2 克	3 克	4 克	5 克	6 克
第一次	2.12	3.12	2.86	3.52	0	0	0
第二次	2.31	2.4	2.4	3.14	4.44	1.2	0
第三次	2.27	2.26	2.2	2.05	3.54	0	0
第四次	1.72	2.9	2.14	2.11	0	0	0
第五次	2.2	3.09	2.38	2.3	0	0	0
平均翻轉時間	2.124	2.754	2.396	2.624	3.99	1.2	0

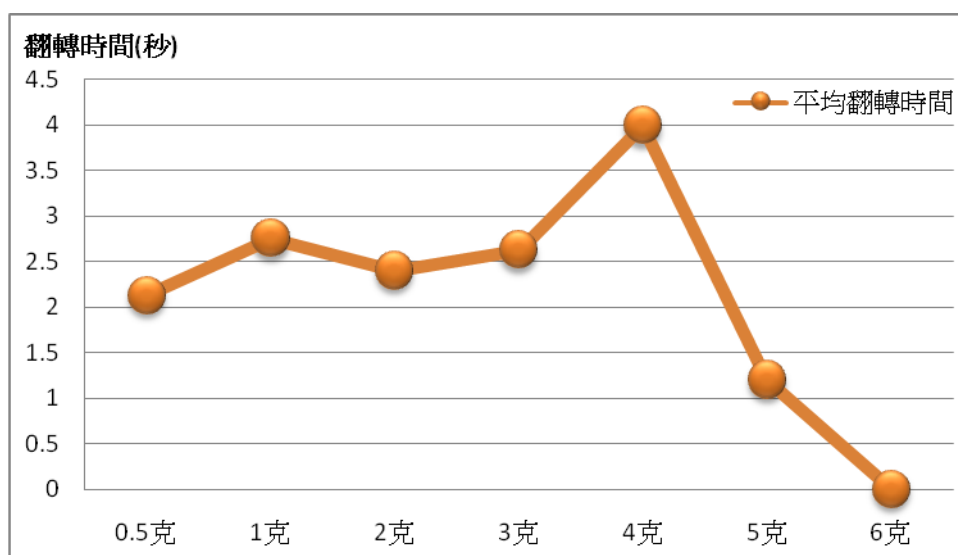


圖 10：不同加重重量翻轉時間折線圖

3.我們發現：

- (1)從表 5 可看出，加重物超過 4 克，錢幣就會出現不翻轉的情況。
- (2)從圖 10 可看出，加重物在 1 克左右，錢幣能穩定翻轉，且所需時間差不多，4 克要 4 秒以上時間才翻轉，翻轉成功的機率也不高且剛翻轉上去的瞬間，錢幣就停止旋轉了。

(三)力的大小不同對錢幣翻轉時間的影響：

1.研究步驟：

- (1)將 1 克的黏土當作加重物，黏在 10 元硬幣夾角 0 度位置。
- (2)使彈射棒距離錢幣 30 度、45 度、60 度、90 度，再彈射。
- (3)紀錄從彈射到翻轉所需的時間。（0 表示不翻轉）

2.研究結果：

表 6：翻轉時間記錄表

時間（秒）	30 度	45 度	60 度	90 度
第一次	5.32	6.72	3.29	2.1
第二次	6.84	6.37	1.87	3.42
第三次	7.25	4.8	3.33	3.39
第四次	6.2	5.24	2	2.37
第五次	7.94	5.11	3.47	2.48
平均	6.71	5.648	2.792	2.752

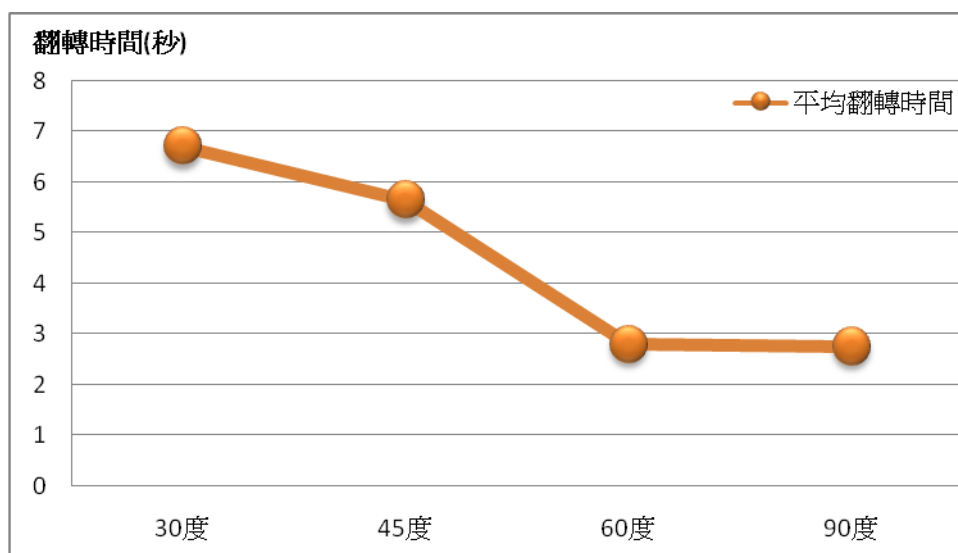


圖 11：施力大小影響翻轉時間折線圖

3.觀察探索：

(1)當彈射棒拉的角度越大，施力也越大，錢幣上的黏土越快翻轉（圖 11）。

問題六、如何應用原理製作有趣的錢幣玩具？

（一）研究步驟：

1.七彩旋轉錢幣：

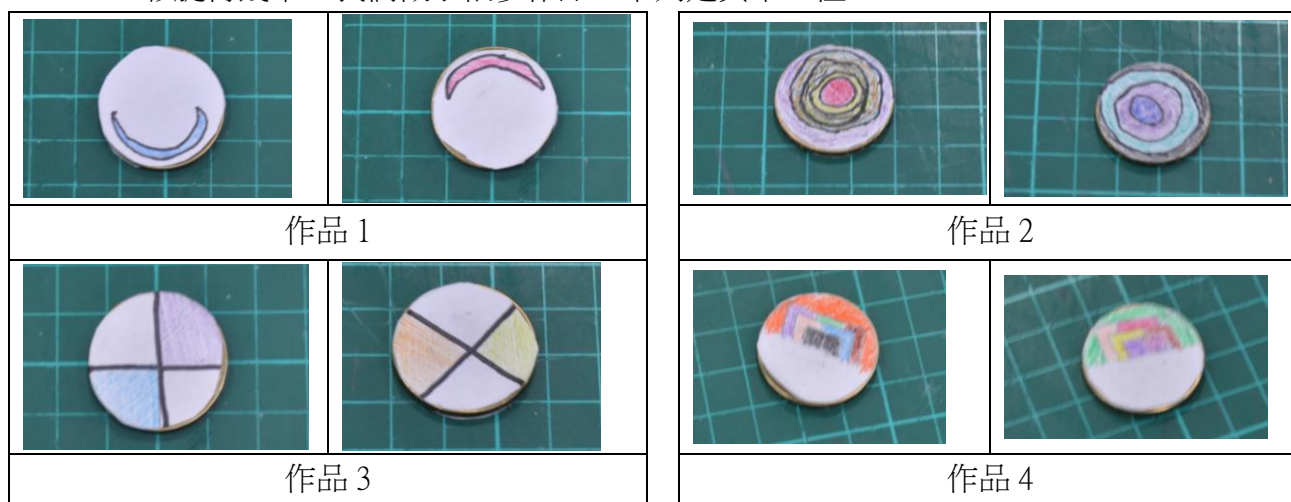
在形狀大小都和硬幣相同的兩張紙上畫上彩色圖案，然後貼上錢幣的兩邊，將錢幣彈射出去後，兩面的彩色圖案會因為視覺暫留而產生混色的現象，會和錢幣的垂直面旋轉產生一幅幅有趣又美麗的圖形。

2.旋轉錢幣發射器與戰鬥播臺：

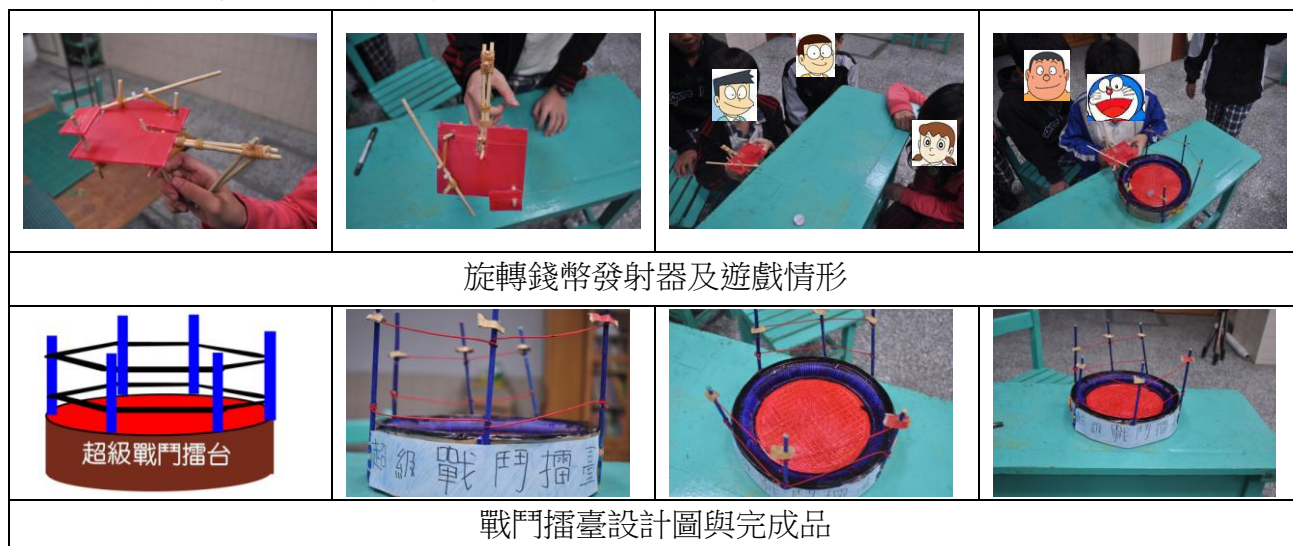
將竹槍的原理和我們設計的錢幣發射台結合，做成旋轉錢幣發射器，再利用免洗盤及彈性帶，組成播臺，使用旋轉錢幣發射器進行比賽。也可以搭配七彩旋轉錢幣的做法，製作出屬於自己的戰鬥錢幣。

（二）研究結果：

1.七彩旋轉錢幣：我們做了很多作品，下列是其中四種



2.旋轉錢幣發射器與戰鬥擂臺：



伍、研究討論

一、錢幣是怎麼旋轉的？

(一)平時我們會玩彈錢幣的遊戲，讓錢幣旋轉感覺很有成就感，後來仔細觀察，發現如果錢幣以逆時鐘的方向自轉時，運動軌跡也是逆時鐘旋轉，為了更加仔細觀察，我們用 DV 錄影機錄下旋轉的情形，發現錢幣旋轉時，同一點不會固定在同一個地方，而是會朝『**順時鐘**』的方向改變，也就是說錢幣在旋轉時，有三個地方同時在動，第一個是錢幣『**水平式自轉**』，第二個是錢幣『**公轉**』，最後一個也最有趣的是錢幣的『**垂直面自轉**』

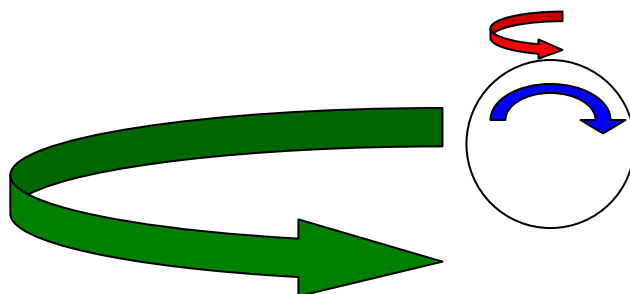


圖 16.錢幣旋轉示意圖

(二)從錢幣右側彈射時，水平式自轉和公轉都是逆時針方向，水平式自轉是由於施力方向所造成，而公轉則是因為錢幣受到彈射力量方向的影響，造成錢幣重心傾斜有關，因此，改從錢幣左側彈射，水平式自轉和公轉都是順時針方向。

(三)從錢幣右側彈射時，垂直面自轉是順時針方向，而從錢幣左側彈射時，垂直面自轉卻是逆時針方向，且錢幣在直線前進或原地轉動時錢幣並不會垂直面自轉，只有在錢幣轉彎時會發生，與錢幣發射後的橫向移動有關。

二、彈射力量會影響旋轉時間及旋轉距離嗎？

(一)從圖表我們可以觀察到用越大的力量彈射，旋轉時間和距離都會變大。

三、彈射位置會影響旋轉時間及旋轉距離嗎？

(一)根據實驗的結果，打在錢幣半徑的一半那個位置，可以使錢幣除了有足夠向前的力量，還能有最大的旋轉力量，不過打擊的點越接近圓心旋轉時間越短，打擊的點如果超過圓心就完全不會旋轉了。

(二)打擊點越接近圓心，錢幣向前的距離越遠，事實上，若不管是否有旋轉，打擊的點越接近圓心，錢幣被擊打出去的距離是越遠的，這是因為所有的力量都被用來前進不旋轉的緣故。

(三)為使實驗流程簡化，由於 10 元硬幣在旋轉時間和停止距離都些微領先 50 元硬幣，因此往後實驗都將以 10 元硬幣為主要實驗材料。

四、彈射棒與錢幣夾角會影響旋轉時間及旋轉距離嗎？

(一)彈射棒與錢幣夾角 0 度時，旋轉時間和停止距離都是最大的，因為力量可以完整的傳到錢幣上。大約在 ± 30 度以內才能完全出力，聲音也是相當清脆的，超過 ± 30 度，力量沒有完全傳到錢幣上，所以有時甚至不會旋轉。

(二)彈射器給錢幣兩種力，一種是前進的力，一種是旋轉的力，夾角越大，越容易旋轉，前進的力越小。夾角越小，前進的力越大，而夾角 90 度錢幣完全不會旋轉。

五、錢幣上加重會影響旋轉嗎？

(一)旋轉錢幣與不倒翁的關係：

我們發現不倒翁都不會倒，就去請教老師，老師說是因為不倒翁的重心在下方，所以不容易倒，像跑車比較低，也是因為重心比較低才不會翻車。所以我們猜如果在錢幣上加重，那麼重的地方就會一直在下面，不會出現『垂直面自轉』的情形。果然『垂直面自轉』的情形沒出現，但是重物卻停在『上面』，直到旋轉的力量減弱，才轉至下方，後來我們發現不倒翁的運動是左右擺動，和錢幣的轉動是不一樣的，因此結果不同。

(二)旋轉錢幣與陀螺的關係：

- 1.我們又發現旋轉錢幣旋轉時與陀螺的轉動很相似，而陀螺設計較輕較尖的頭在下面，旋轉時較大較重的木質在上面，陀螺在旋轉的時候，不但圍繞本身的軸線轉動，而且還圍繞一個垂直軸作錐形運動。也就是說，陀螺一面圍繞本身的軸線作“自轉”，一面圍繞垂直軸作“公轉”。陀螺圍繞自身軸線作“自轉”運動速度的快慢，決定著陀螺擺動角的大小。轉得越慢，擺動角越大，穩定性越差；轉得越快，擺動角越小，因而穩定性也就越好。
- 2.在錢幣的情形就是，當重物被錢幣旋轉的離心力甩到側邊時，因為此時重心不在旋轉的中軸上，錢幣會不平衡，因此正在旋轉的錢幣會傾向將重心往中軸修正；再加上此時重心的旋轉半徑變大，根據角動量守恆原理，錢幣的旋轉速度會變慢，而以旋轉體的原理來看，轉速變慢會使旋轉穩定性變差，因此正在旋轉的錢幣會傾向把旋轉半徑縮短以維持轉速。所以重物就到最頂端了，這時垂直面的自轉力量很難破壞平衡，就出現黏土留在頂端旋轉的情形。
- 3.所以我們推理出一個推論「**重物在上方比較容易平衡**」，是錢幣為了維持自身旋轉狀態而造成的情形，而要達到這樣的目的方法有兩種，第一，**維持重心在中軸**，第二，**減少旋轉半徑以維持轉速**。

(三)錢幣旋轉推論：

在錢幣邊緣加重再旋轉，不管在哪一個角度，重物會往上方移動，然後停在正上方，錢幣繼續轉動，並且不再垂直面自轉，此時錢幣會在原地轉動，縱使有移動也只有不到一公分的位移，這驗證了問題一的推論結果，**錢幣在原地轉動時，不會有垂直面自轉的現象。**

六、不同的加重重量會改變加了黏土的錢幣翻轉時間嗎？

- (一)我們發現太重的加重物，就無法產生翻轉的情形。大約在 0.5 克到 3 克之間的加重物比較好。10 元錢幣的重量約為 7.5 克，所以加重物的重量必須比旋轉體的重量小，最佳的比例是**加重物：旋轉體 $\leq 3:7.5=2:5$** 。
- (二)轉水瓶時，轉速越快，水瓶上升的越高，所以當我用越多的力彈射錢幣，那麼翻轉的時間也會加快。

七、力的大小會改變加了黏土的錢幣翻轉時間嗎？

- (一)彈射的力道越大，翻轉的時間越短，代表轉速越快，重物上升的速度也會加快，讓加重物翻轉。

陸、結論

一、圓形錢幣和球體旋轉時會出現三種方式：

1.水平式自轉：旋轉方向是由打擊在錢幣的左側或右側決定。右側彈射逆時針旋轉，左側彈射則是順時針方向。

2.垂直面自轉：錢幣直線前進或原地旋轉時不會發生，只有在錢幣公轉轉彎時出現。錢幣公轉向右彎時是逆時針方向轉，反之，向左彎則是順時針。

3.公轉：和錢幣受到彈射力量方向的影響，造成錢幣重心傾斜有關，右側彈射逆時針方向公轉，左側彈射則是順時針方向。

二、彈射物體時，我們所施的力會變成前進的力和旋轉的力。使用的力量越大，錢幣旋轉和彈射距離都會增加。

三、擊打在錢幣半徑的一半的位置，可以有最佳的旋轉時間和前進距離。

四、彈射棒與錢幣夾角 0 度時，旋轉時間和停止距離都是最大的。

五、綜上所述，使用較大的力道，手指與錢幣夾角 0 度，打在錢幣半徑一半的位置，就可以擊出威力強的旋轉錢幣。

六、因為離心力使重物升高，旋轉物為了保持平衡，讓重物到達頂端，與重心連成一條由上往下的垂直線，使晃動夾角變小。所以旋轉時，重物會在上方達到平衡。

七、如果欲產生重物翻轉向上的現象來觀察，加重物與旋轉體的最佳重量比為小於或等於 2 : 5。

八、七彩錢幣旋轉時會出現混色的現象，可用來進行色彩的遊戲。而且可以將使用過的衛生筷清洗乾淨後，自製成『旋轉錢幣發射器』，變成另一種新遊戲，將資源再利用。

柒、參考資料

- (一)張孔博等四人（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，國中組，物理科。
- (二)**可變重心棒**（無日期）。99 年 5 月 20 日引用自 http://ezphysics.nchu.edu.tw/demo/1_3.htm
- (三)周文杰（無日期）。舞動陀螺。99 年 5 月 20 日引用自
<http://www.dpps.tcc.edu.tw/whipping-top/index.html>
- (四) 陀螺的平衡原理?(2005) 99 年 5 月 20 日引用自
<http://tw.knowledge.yahoo.com/question/question?qid=1205082211368>

【評語】 080102

- 1.研究架構完整，適合學童進行科學探究，建議將研究心得提供後續研究參考。
- 2.科展設計可以注意到系統化設計。