

104 學年度台中市國民中小學科學展覽會  
作品說明書

科別：生活與應用科學科

組別：國中組

作品名稱：神來之手~破解夜市丟硬幣遊戲的撇步

關鍵詞：投石器、慣性、旋轉

編號：

## 壹、摘要

- 一、投擲硬幣時，力道的拿捏會影響硬幣是否會撞到木板，但是就算投擲力道掌握很好，百發百中，也不一定能讓硬幣停留在木板上，所以我們想要知道當硬幣撞到木板，如何增加可以**停在木板**的機率。
- 二、要讓硬幣可以停在木板上，**斜拋**會比水平拋射好。
- 三、投擲不同種類的硬幣以**50元硬幣及10元硬幣**停留在板子上的機率**較高**，可能是因為接觸面積較大，飛行過程受到較大的摩擦力，抵銷掉一些水平向前衝的力量。
- 四、雖然5元及1元的硬幣停留在板子上的機率較低，但是在遊戲場合如果可以用1元硬幣去投，花一樣的錢，1元硬幣可以投的次數是10元硬幣的10倍，所以我們會選擇用1元硬幣去試。聰明的老闆當然跟我們的想法不一樣，為了不要太容易把禮物送出去，所以通常老闆會規定一次最少要10元才能玩。
- 五、以**紙帶纏繞硬幣**，將硬幣甩出，可以製造出不同的旋轉方向，而且只要加上**旋轉**，都使停留在木板的機率**增加很多**，原因可能是因為，在旋轉的過程，會造成較大的阻力，使硬幣往前衝的力量減小。
- 六、利用自製**投擲器**，模擬手臂拋擲硬幣的原理：利用重錘造成的**力矩**，帶動長木棒轉動，當投擲手臂碰到障礙橫桿，就會被煞住，硬幣就會沿**切線**方向飛出。
- 七、自製**投擲器**的木棍手臂與水平夾角**45度**時，可以用較**省力**的方式，將硬幣投出。
- 八、不管是在軌道上，利用**紙袋纏繞硬幣**，將硬幣甩出，或以**自製投擲器**來丟出硬幣，硬幣**正轉**都比逆轉，停留在木板的機率更高。
- 九、如果要像老闆可以讓硬幣很聽話地停留在木板，除了**力道的掌握**以外，還要讓硬幣以**45度的方向斜拋**，加上**正轉**，掌握這個撇步，相信經過多次的練習，一定可以大大提高讓硬幣停在木板的機率。

## 貳、研究動機

假日時，最令人期待的一件事，是當夜晚來臨，全家人悠閒地往夜市出發，在夜市中除了吃吃喝喝，還可以看到一些新奇的事物，所以很令人感到開心，就算假日遠遊，全家人也要好好把握時間，征戰各個夜市。

在一次夜市的巡禮中，我們發現了一樣之前沒有玩過的新玩意，叫做「停硬幣」的遊戲，只要將自己手中的硬幣，丟在老闆指定的木板上，就可以搬回大型玩偶禮物，當然如果沒有讓硬幣留在指定的木板上，硬幣就是老闆的。

我這時心想著，依我平時投籃球的準度，一定沒有問題，禮物絕對是我的了，所以毫無考慮的掏出身上的零錢，瞄準指定的木板一丟，硬幣是打中了木板，但是又給彈跳出去，我不死心，連續試了好幾次，都是一樣的結果。

老闆很好心，細心的指導著大家該怎麼丟，同時也示範給大家看，只見老闆丟出去的硬幣，怎麼這麼聽話，乖乖停在木板上，而我就是辦不到，當然最後我身上的硬幣都到了老闆的手中，同時那個大型玩偶，還是靜靜的坐在那兒看著這一切。

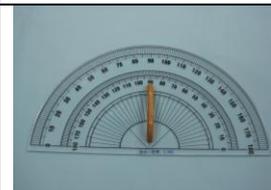
回到學校，跟老師提起此事，希望老師可以破解我這個心中的謎題，老師提議我們不仿以此做為科展的題目，好好來研究一下，所以我們就著手準備器材，開始來進行實驗。

### 參、研究目的

- 一、自製一個可以投擲硬幣的簡單機械。
- 二、改變**不同的發射力道**，使投出去的硬幣可以停在木板上。
- 三、改變**硬幣不同的發射角度**，使投出去的硬幣可以停在木板上。
- 四、改變**硬幣不同的旋轉方向**，使投出去的硬幣可以停在木板上。

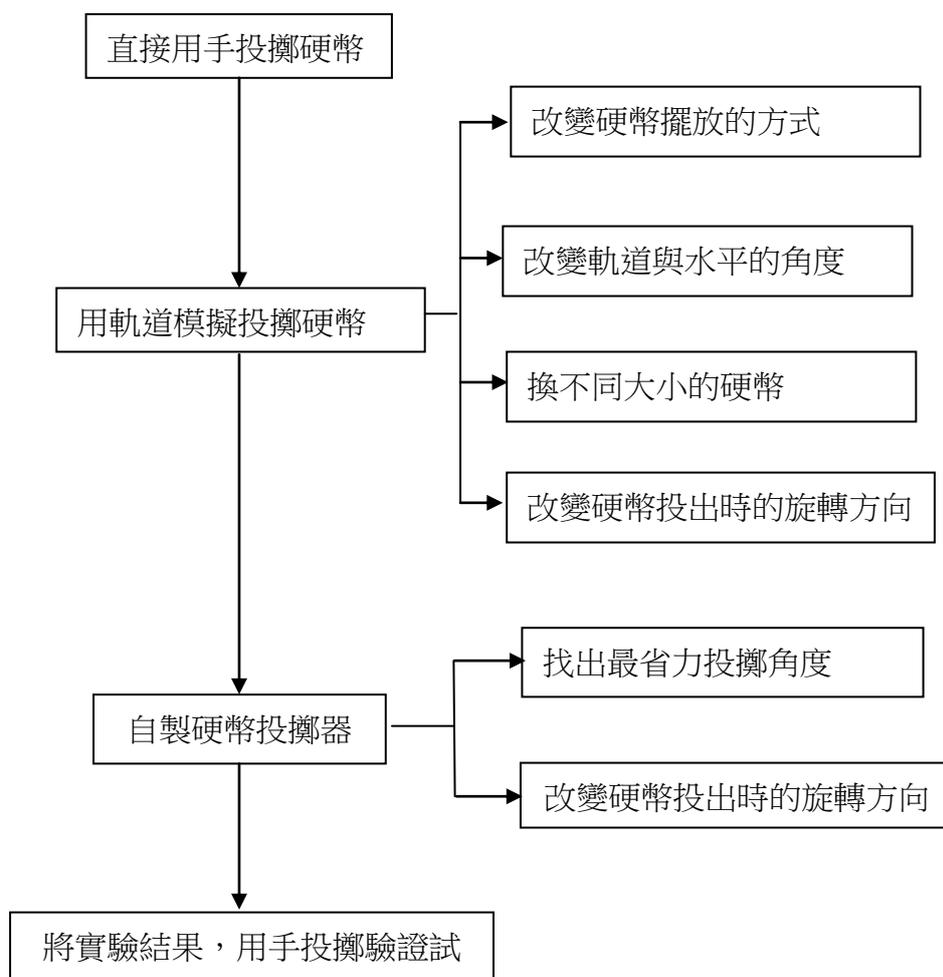
### 肆、研究設備及器材

一、設備：

			
支架	軌道	三合板	砝碼
			
量角器	勺子	魔鬼氈	熱熔槍
			
硬幣	圓木板	橡皮筋	捲尺
			
長木棒	木條		

## 伍、研究過程與方法

### 一、研究流程

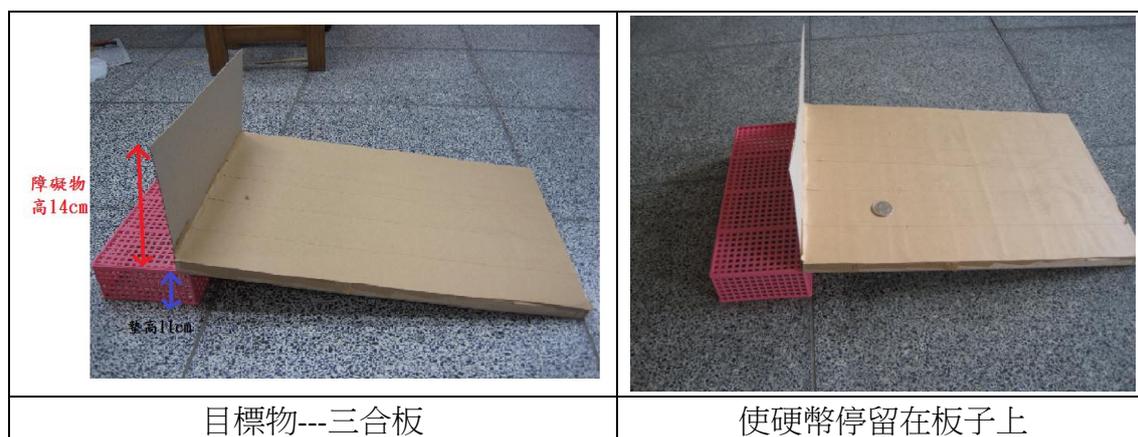


### 二、過程步驟

(一)、我們模擬了老闆的裝置，用三合板做了一個目標物。

三合板的長 44cm，寬 30cm，靠近人的這端墊高 11cm，加上一塊障礙物高 14cm，人站的位置，距離三合板 120cm 處，

拿十元硬幣(7.42gw)做投擲練習，記錄硬幣撞到板子，停留在板子上的機率〈如下圖〉



(二)、為了找出投擲時，硬幣的最佳角度，我們架設軌道，讓軌道水平放置，改變硬幣擺放的方式，用木條敲擊 10 元硬幣，記錄硬幣撞到板子，停留在板子上的機率〈如下圖〉



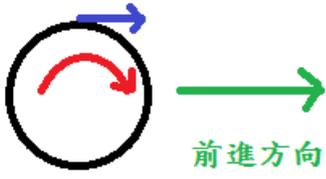
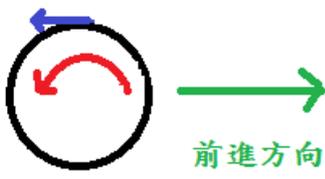
(三)、讓硬幣直接平放在軌道上，改變軌道擺放的角度，與水平夾角分別為---0 度、30 度、45 度、60 度，用木條敲擊硬幣，記錄十元硬幣撞到板子，停留在板子上的機率。〈如下圖〉



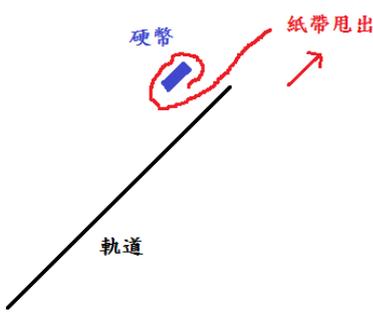
(四)、如果老闆沒有規定要用哪一種硬幣，我們試著用不同硬幣---50元、10元、5元、1元，以斜角45度的軌道，將硬幣直接平放在軌道上，用木條敲擊硬幣，記錄硬幣撞到板子，停留在板子上的機率。〈如下圖〉

	
<p>50元硬幣接放在45度斜角的軌道</p>	<p>10元硬幣放在45度斜角的軌道</p>
	
<p>5元硬幣放在45度斜角的軌道</p>	<p>1元硬幣放在45度斜角的軌道</p>

(五)、我們想改變硬幣飛出時可以產生不同方向的旋轉，所以先定義這2種旋轉方向---正轉及逆轉。〈如下圖〉

	
<p>正轉：硬幣上端的運動方向與前進方向相同</p>	<p>逆轉：硬幣上端的運動方向與前進方向相反</p>

(六)、固定45度斜角的軌道及10元硬幣，利用紙帶纏繞硬幣，將硬幣甩出，製造出不同的旋轉方向，記錄硬幣撞到板子，停留在板子上的機率。〈如下圖〉

	
<p>正轉時，紙帶的纏繞方式</p>	<p>逆轉時，紙帶的纏繞方式</p>

(七)、利用支架及長木棒，架設一個**投擲器**，模擬手臂拋擲硬幣的過程

(1)長木棒前端綁上勺子，用來放置硬幣

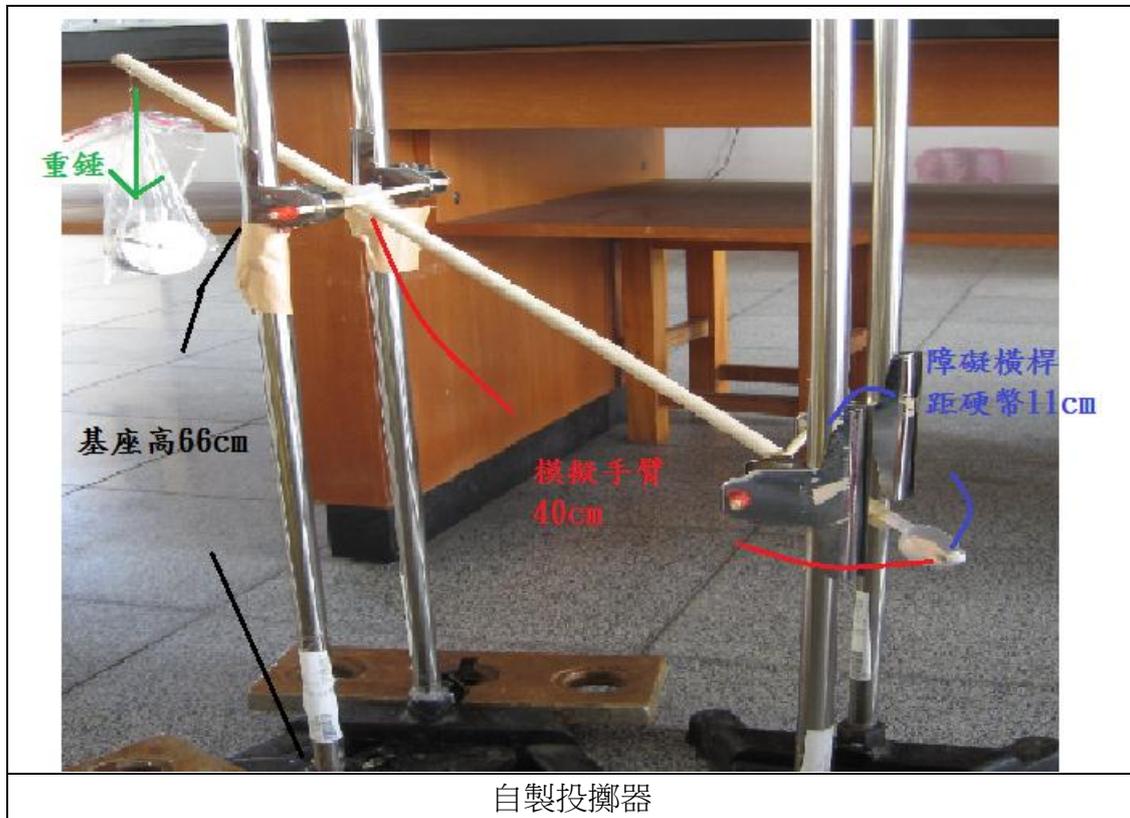
(2)勺子離支點 40cm，約等於手臂的長度

(3)支點與後端重錘距離 20cm，利用重錘造成的力矩，讓長木棒轉動

(4)木棒手臂前端，距硬幣 11cm 處(約手掌長)，放一障礙橫桿，用來停住手臂

(5)基座高 66cm，模擬人略蹲，投擲時，手肘的高度

〈如下圖〉

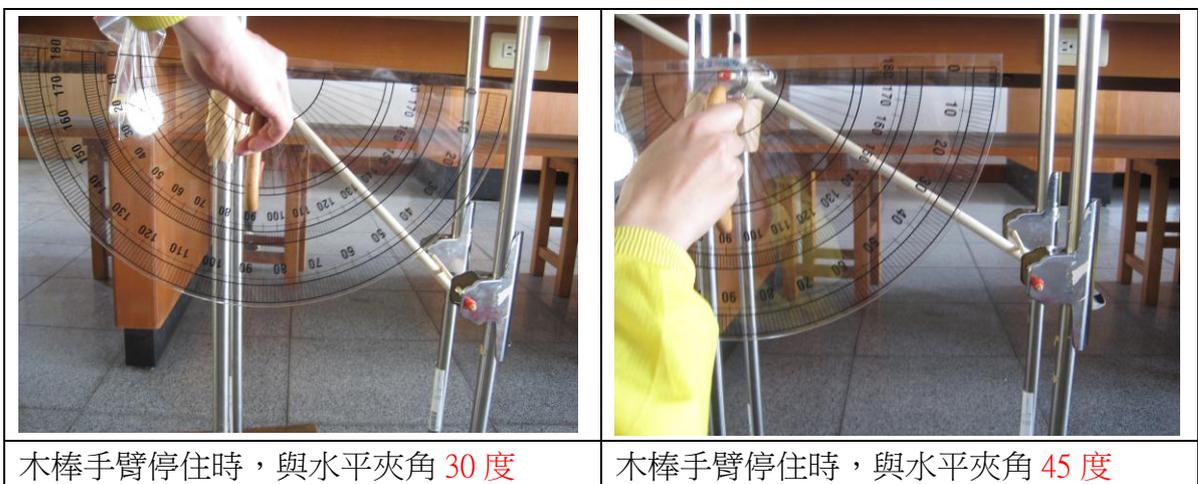


(八)、讓重錘從垂直高度釋放，帶動木棒手臂的旋轉，

當木棒手臂撞到障礙橫桿停住，硬幣會沿**切線方向**飛出。

改變障礙橫桿的高度，讓硬幣飛出時與水平夾角 **30度**、**45度**、**60度**，

測量硬幣撞擊到木板，所需懸吊的**砝碼重**〈如下圖〉





木棒手臂停住時，與水平夾角 60 度

(九)、利用投擲器，固定 10 元硬幣，固定木棒手臂撞到障礙橫桿時與水平夾角 45 度，我們做一些變化，讓硬幣有不同的旋轉效果。〈如下圖〉



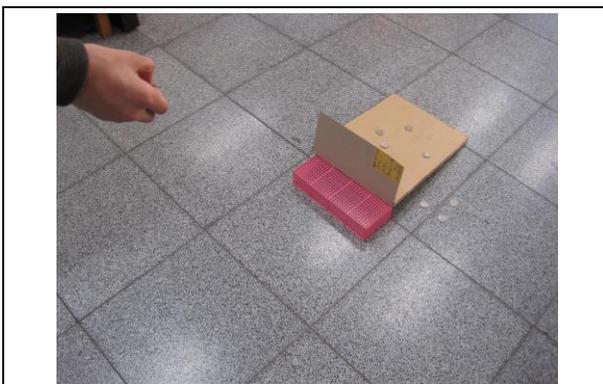
使硬幣正轉的作法：  
在勺子前端增加一個小的障礙物



使硬幣逆轉的作法：  
不做任何改變

※魔鬼氈是為了增加摩擦力，讓硬幣可以穩定的擺放

(十)、將實驗結果應用在實際投擲上，記錄硬幣撞到板子，停留在板子上的機率。



用手投擲硬幣，驗證實驗的結果

## 陸、研究結果

一、實驗前，老師要我們試著用自己的方法，讓硬幣投出去後，停留在板子上，由我們 3 位同學來測試，每人操作 40 次，機率如下：

	同學 A	同學 B	同學 C	總共	機率
隨意方式	3/40	3/40	2/40	8/120	6.7%

二、將軌道水平放置，改變硬幣擺放的方式：由 3 位同學來實驗，每人操作 40 次，以木條敲擊十元硬幣，記錄硬幣撞到板子，停留在板子上的機率如下：

	同學 A	同學 B	同學 C	總共	機率
硬幣平行擺放	1/40	1/40	2/40	4/120	3.3%
硬幣垂直擺放	1/40	2/40	2/40	5/120	4.2%

三、讓硬幣直接平放在軌道上，改變軌道擺放的角度，與水平夾角分別為---0 度、30 度、45 度、60 度。由 3 位同學來實驗，每人操作 40 次，用木條敲擊硬幣，記錄十元硬幣撞到板子，停留在板子上的機率如下：

	同學 A	同學 B	同學 C	總共	機率
軌道與水平夾角 0 度	1/40	1/40	2/40	4/120	3.3%
軌道與水平夾角 30 度	4/40	3/40	3/40	10/120	8.3%
軌道與水平夾角 45 度	5/40	5/40	4/40	14/120	11.7%
軌道與水平夾角 60 度	5/40	4/40	5/40	14/120	11.7%

四、固定斜角 45 度的軌道，硬幣直接平放在軌道上，操作不同硬幣---50 元、10 元、5 元、1 元。由 3 位同學來實驗，每人操作 40 次，用木條敲擊硬幣，記錄十元硬幣撞到板子，停留在板子上的機率如下：

	同學 A	同學 B	同學 C	總共	機率
50 元硬幣	6/40	4/40	5/40	15/120	12.5%
10 元硬幣	5/40	5/40	4/40	14/120	11.7%
5 元硬幣	2/40	4/40	3/40	9/120	7.5%
1 元硬幣	3/40	2/40	3/40	7/120	5.8%

五、固定 45 度斜角的軌道及 10 元硬幣，利用紙帶纏繞硬幣，將硬幣甩出，製造出不同的旋轉方向。由 3 位同學來實驗，每人操作 40 次，記錄十元硬幣撞到板子，停留在板子上的機率如下：

45 度軌道	同學 A	同學 B	同學 C	總共	機率
正轉	11/40	14/40	13/40	38/120	31.7%
逆轉	9/40	12/40	11/40	32/120	26.7%

六、利用支架及長木棒自製**投擲器**，模擬手臂拋擲硬幣的過程：

1. 為了瞭解重錘需懸吊多少砝碼，才會將硬幣投到指定的木板位置，我們測量在不同投擲角度時，所要**懸吊砝碼的質量**範圍，記錄如下：

	懸吊砝碼的質量範圍
木棍手臂與水平夾角 30 度	1250gw~1500gw
木棍手臂與水平夾角 45 度	900gw~1050gw
木棍手臂與水平夾角 60 度	1300~1650gw

2. 利用自製投擲器，固定投擲的砝碼質量為 1000gw，固定障礙橫桿時與水平夾角 45 度，改變硬幣不同的**旋轉**效果，由 3 位同學來實驗，每人操作 40 次，記錄十元硬幣撞到板子，停留在板子上的機率如下：

自製投擲器	同學 A	同學 B	同學 C	總共	機率
<b>正轉</b>	13/40	14/40	12/40	39/120	32.5%
<b>逆轉</b>	12/40	11/40	10/40	33/120	27.5%

七、經過實驗完畢，我們運用最佳的投擲條件：硬幣拋出時與水平**夾角 45 度**，以**正轉**的方式將硬幣拋出。由 3 位同學來實驗，每人操作 40 次，記錄十元硬幣撞到板子，停留在板子上的機率如下：

	同學 A	同學 B	同學 C	總共	機率
最佳方式	5/40	8/40	7/40	20/120	16.7%

## 柒、討論

一、實驗前：

1. 老師要我們試著用自己的方法，讓硬幣投出去後，可以停留在板子上，平均機率為 6.7%
2. 由於還不熟練這樣的投擲情形，力道的拿捏不穩，所以我們在算機率時，是以硬幣有撞擊到木板的次數為分母，能停留在木板上的次數為分子，來計算機率，至於沒有投進的，就是力道掌握的問題，不列入計算。

二、將**軌道水平**放置，改變**硬幣擺放的方式**：

1. 以木條敲擊十元硬幣，記錄硬幣撞到板子，停留在板子上的機率：
  - (1)硬幣**平行**擺放為 3.3%
  - (2)硬幣**垂直**擺放為 4.2%
2. 將**軌道水平**放置，不管硬幣如何擺放，停留在板子上的機率都**很低**，硬幣撞擊到木板，很容易就向前彈飛出去。
3. 要讓硬幣可以停在木板上，**水平拋射**，不是一個好方法。

三、讓硬幣直接平放在軌道上，改變軌道擺放的角度，與水平夾角分別為---0 度、30 度、45 度、60 度：

1. 用木條敲擊硬幣，記錄十元硬幣撞到板子，停留在板子上的機率：
  - (1)軌道與水平夾角 0 度為 3.3%
  - (2)軌道與水平夾角 30 度為 8.3%
  - (3)軌道與水平夾角 45 度為 11.7%
  - (4)軌道與水平夾角 60 度為 13.3%
2. 軌道與水平夾角 0 度時，硬幣停留在板子上的機率最低，可能因為硬幣飛行的時間較短，所以還保留較多向前衝的力道，根據慣性，撞擊木板後，就很容易向前彈出。
3. 要讓硬幣可以停在木板上，斜拋會比水平拋射好。

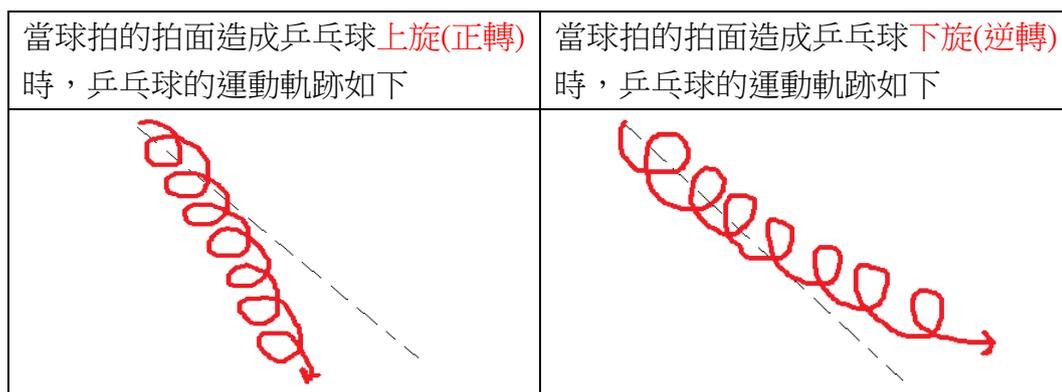
四、固定斜角 45 度的軌道，硬幣直接平放在軌道上，操作不同硬幣---50 元、10 元、5 元、1 元。

1. 記錄十元硬幣撞到板子，停留在板子上的機率：
  - (1) 50 元硬幣為 12.5%
  - (2) 10 元硬幣為 11.7%
  - (3) 5 元硬幣為 7.5%
  - (4) 1 元硬幣為 5.8%
2. 50 元硬幣及 10 元硬幣停留在板子上的機率較高，可能是因為接觸面積較大，飛行過程受到較大的摩擦力，抵銷掉一些水平向前衝的力量。
3. 雖然 5 元及 1 元的硬幣停留在板子上的機率較低，但是在遊戲場合如果可以用 1 元硬幣去投，花一樣的钱，1 元硬幣可以投的次數是 10 元硬幣的 10 倍，所以我們會選擇用 1 元硬幣去試。
4. 聰明的老闆當然跟我們的想法不一樣，為了不要太容易把禮物送出去，所以通常老闆會規定一次最少要 10 元才能玩。

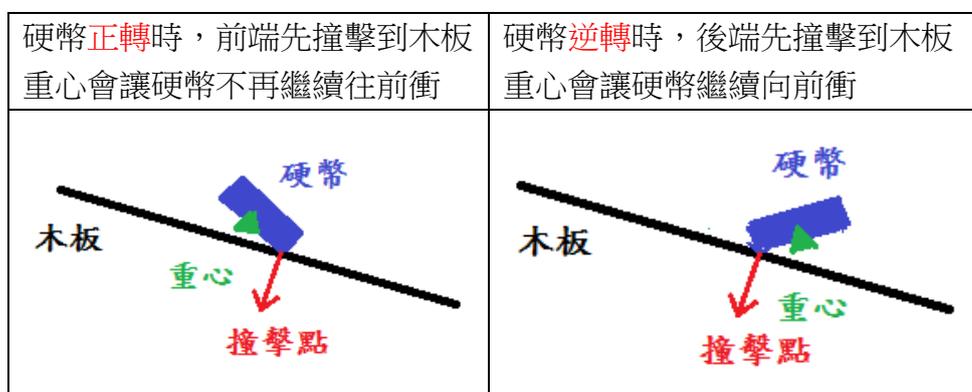
五、固定 45 度斜角的軌道及 10 元硬幣，利用紙帶纏繞硬幣，將硬幣甩出，製造出不同的旋轉方向。

1. 記錄十元硬幣撞到板子，停留在板子上的機率：
  - (1)硬幣正轉為 31.7%
  - (2)硬幣逆轉為 26.7%
2. 硬幣飛出時，只要加上旋轉，都使停留在木板的機率增加很多，原因可能是因為，在旋轉的過程，會造成較大的阻力，使硬幣往前衝的力量減小。
3. 尤其當硬幣正轉時，停留在板子上的機率更高，原因可能有二：

(原因一) 根據我們打乒乓球的經驗，正轉會讓硬幣落下過程，會往靠近自己的方向彎曲。



(原因二)硬幣著地時，撞擊三合板的位置不同，在撞擊點與硬幣重心的相對作用下，使正轉的硬幣不容易往前彈出去。



## 六、利用自製投擲器，模擬手臂拋擲硬幣：

1. 原理：利用重錘造成的力矩，帶動長木棒轉動。
2. 一開始我們沒有加上障礙橫桿，所以投擲時，硬幣無法向著前方出去，後來加上障礙橫桿後，當投擲手臂碰到障礙橫桿，就會被煞住，根據牛頓第一運動定律，硬幣就會沿切線方向飛出。
3. 為了瞭解重錘需懸吊多少砝碼，才會將硬幣投到指定的木板位置，我們測量在不同投擲角度時，所要懸吊砝碼的質量範圍，發現：木棍手臂與水平夾角 45 度時，可以用較省力的方式，將硬幣投出。
4. 利用自製投擲器，固定投擲的砝碼質量為 1000gw，使障礙橫桿時與水平夾角 45 度，改變硬幣不同的旋轉效果，記錄十元硬幣撞到板子，停留在板子上的機率：
  - (1)硬幣正轉為 32.5%
  - (2)硬幣逆轉為 27.5%
5. 硬幣正轉比逆轉，停留在木板的機率更高。
6. 一開始我們架設的投擲器搖晃很大，測不出規律的數據，經過老師指導，我們把支架用重物壓住，木棍用橡皮筋網綁，增加投擲器的穩定後，準確度就大大的提高。

七、經過實驗完畢：

1. 我們運用最佳的投擲條件：硬幣拋出時與水平夾角 45 度，以正轉的方式將硬幣拋出，機率為 16.7%，與一開始的隨意方式(6.7%)比起來，機率提升很多。
2. 用手來操作硬幣的正轉，有一點不太順手，多試幾次，才慢慢抓到訣竅，相信經過多次的練習，一定可以再提高。

## 捌、結論

- 一、投擲硬幣時，力道的拿捏會影響硬幣是否會撞到木板，但是就算投擲力道掌握很好，百發百中，也不一定能讓硬幣停留在木板上，所以我們是以硬幣有撞擊到木板的次數為分母，能停留在木板上的次數為分子，來計算機率。
- 二、實驗前，我們試著用自己的方法，讓硬幣投出去後，可以停留在板子上，平均機率為 6.7%
- 三、將軌道水平放置，改變硬幣擺放的方式，以木條敲擊十元硬幣，讓硬幣撞到板子，停留在板子上的機率：不管硬幣平行或垂直，兩者的機率都很低，也就是以水平拋射的方式來投擲，不是一個好方法。
- 四、讓硬幣直接平放在軌道上，改變軌道擺放的角度，當軌道與水平夾角 0 度時，硬幣停留在板子上的機率最低，可能因為硬幣飛行的時間較短，所以還保留較多向前衝的力道，根據慣性，撞擊木板後，就很容易向前彈出。
- 五、要讓硬幣可以停在木板上，斜拋會比水平拋射好。
- 六、固定斜角 45 度的軌道，硬幣直接平放在軌道上，操作不同硬幣---50 元、10 元、5 元、1 元，停留在板子上的機率，以 50 元硬幣及 10 元硬幣停留在板子上的機率較高，可能是因為接觸面積較大，飛行過程受到較大的摩擦力，抵銷掉一些水平向前衝的力量。
- 七、雖然 5 元及 1 元的硬幣停留在板子上的機率較低，但是在遊戲場合如果可以用 1 元硬幣去投，花一樣的錢，1 元硬幣可以投的次數是 10 元硬幣的 10 倍，所以我們會選擇用 1 元硬幣去試。聰明的老闆當然跟我們的想法不一樣，為了不要太容易把禮物送出去，所以通常老闆會規定一次最少要 10 元才能玩。
- 八、固定 45 度斜角的軌道及 10 元硬幣，利用紙帶纏繞硬幣，將硬幣甩出，製造出不同的旋轉方向。發現只要加上旋轉，都使停留在木板的機率增加很多，原因可能是因為，在旋轉的過程，會造成較大的阻力，使硬幣往前衝的力量減小。
- 九、在 45 度軌道，利用紙帶纏繞硬幣：當硬幣正轉時，停留在木板上的機率比逆轉高
- 十、利用自製投擲器，模擬手臂拋擲硬幣的原理：利用重錘造成的力矩，帶動長木棒轉動，當投擲手臂碰到障礙橫桿，就會被煞住，硬幣就會沿切線方向飛出。
- 十一、木棍手臂與水平夾角 45 度時，可以用較省力的方式，將硬幣投出。
- 十二、利用自製投擲器：硬幣正轉時，停留在木板上的機率也是比逆轉高。

十三、如果要像老闆可以讓硬幣很聽話地停留在木板，除了力道的掌握以外，還要讓硬幣以 45 度的方向斜拋，加上正轉，掌握這個撇步，相信經過多次的練習，一定可以大大提高讓硬幣停在木板的機率。

## 玖、參考資料及其他

### 一、參考網頁

#### 1. 超上古兵器——投石器之研究

<http://science.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?cat=&a=0&fld=1000000&key=&isd=1&icop=10&p=1&sid=650>

#### 2. 攻城利器——投石器的探討

<http://science.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?cat=&a=0&fld=1000000&key=&isd=1&icop=10&p=1&sid=2100>

#### 3. 古代工程師巧思——製作精準的投石器

<http://science.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?cat=&a=0&fld=1000000&key=&isd=1&icop=10&p=1&sid=12251>

#### 4. 百發百中——機械投籃機

<http://science.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?cat=&a=0&fld=1000000&key=&isd=1&icop=10&p=1&sid=12334>

#### 5. 生活科技學藝競賽活動投石器中的物理學

<http://www.shs.edu.tw/works/essay/2013/03/2013032813590923.pdf>