中華民國第 55 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組　物理科

第二名

最佳(鄉土)教材獎

080113

關毽密碼~毽子彈升軌跡與落點穩定度研究

學校名稱：新北市板橋區實踐國民小學

作者：	指導老師：
小六　吳俊霖	陳柏瑩
小六　李柏賢	吳金翰

關鍵詞：創意毽子、運行軌跡、落點穩定度

摘要

本研究在探討毽子彈升軌跡與落點穩定度，我們設計了一座毽子的彈踢架，將彈升過程錄影來分析毽子的彈升高度與運行姿態和軌跡，再以毽子的落點座標來分析其穩定程度。我們成功找到最佳的撞擊力道與撞擊角度，並改變毽子的材質和構造，透過實驗歸納製作毽子的最佳條件。最有趣的是改變毽子的重心，意外發現運行軌跡與彈飛姿態多變，非常精彩。最後我們結合塑膠透明片來製作創意毽子，利用快速運行時，氣流推動翼片，成功製作一個彈升穩定且會螺旋旋轉的創意毽子。

壹、研究動機

有一次在老街上看別人在踢毽子，對方借我踢，我卻滿場跑還踢都踢不到，經過了練習卻只踢了一下，就又看著毽子落地。後來媽媽買了一個毽子讓我回來練習，發現毽子要能彈升得高(增加反應時間)、落地要穩定不亂偏移，這樣的毽子比較好踢又容易成功。於是我們就想要研究看看有那些變因會影響毽子的彈升高度、運行姿態及落點的穩定度，這一定會是一個非常有趣的主題。

貳、研究目的

一、製作毽子的實驗彈射架與試射。

二、探討市售不同類型毽子的彈升高度與落點穩定度

三、探討不同撞擊力與不同撞擊角度對毽子彈升高度與落點穩定度的影響。

四、探討毽盤材質對毽子彈升高度與落點穩定度的影響。

五、探討毽盤面積大小對毽子彈升高度與落點穩定度的影響。

六、探討毽盤重量對毽子彈升高度與落點穩定度的影響。

七、探討毽管高度對毽子彈升高度與落點穩定度的影響。

八、探討毽毛材質對毽子彈升高度與落點穩定度的影響。

九、探討毽毛排列方向對毽子彈升高度與落點穩定度的影響。

十、探討毽毛張開角度對毽子彈升高度與落點穩定度的影響。

十一、探討毽子重心對毽子彈升高度與落點穩定度的影響，並探討其運行軌跡與姿態。

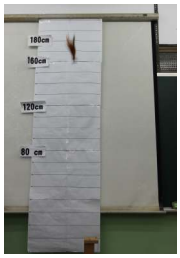
十二、自製創意螺旋彈飛毽子。

參、研究設備與器材

彈射架(木條、木塊、螺絲、鐵釘、穿孔機、粗橡皮筋)、彈飛高度測量表、地面落點座標圖、相機、錄影機、市售各式不同類型毽子、彈簧秤、電子秤、黏土、墊片、熱熔槍、紙板、舒美桌墊、銅片、滑鼠墊、吸管、氣球棒、塑膠袋、毛線、尼龍繩、透明投影片、訊連科技威力導演 13 軟體、Tracker 影像軌跡追蹤軟體。

肆、研究過程或方法

一、製作毽子彈射架與試射。



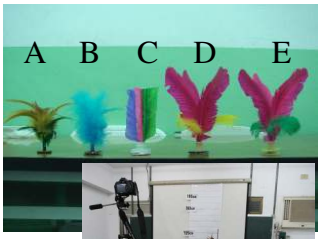
方法：

1.用木條、螺絲、穿孔機、粗橡皮筋等材料，釘製一座彈射架，結構如附圖。

2.在牆面貼上撞擊彈升高度測量表。

3.地面舖設落點四象限座標圖，以撞擊點為中心，鉛垂往下對齊座標圖的原點(0,0)。

二、市售不同類型毽子的彈升高度與落點穩定度測試比較。



方法：

1.蒐集市售不同外形、重量、毽毛等類型毽子。

2.將各結構不同的毽子標記為 A 毽.B 毽.C 毽.D 毽. E 毽。

3.固定相同的撞擊力與撞擊角度(水平)，以 A 、 B 、 C 、 D 、 E 五毽實測毽子彈升高度及落地第一點的座標並記錄(測量 10 次求平均)。

4.測量彈升高度時，目視者須墊高，平視牆面高度表，同時並以攝影機拍攝，再慢速定格播放，兩者交叉比對測量正確之彈升高度。

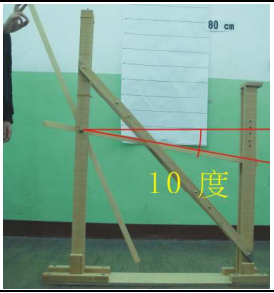
三、不同撞擊力與不同撞擊角度對毽子彈升高度與落點穩定度的影響比較。

方法：

1.固定一個實驗毽子-採用研究二中彈升最高且落點最穩定的毽子做實驗。

2.以施力力矩強度（175kg.cm）的撞擊力，改變撞擊角度（水平上 4 度、上 2 度、0 度、水平下 5 度、下 10 度）同研究二方法測試毽子彈升高度及落點座標(測量 10 次求平均)。

3.將施力力矩強度改為 150kg.cm 的撞擊力，同方法 2 測試毽子彈升高度及落點座標。

四、改變毽盤材質對毽子彈升高度與落點穩定度的影響比較。

方法：

1.毽盤以橡膠平面、橡膠底座顆粒狀、底座黏貼舒美墊、瓦楞紙板、銅片 、滑鼠墊等不同材質，並在毽盤底座上方黏貼膠泥，用電子秤校準秤重，使不同毽盤的重量都相同。

2.同研究二方法，以施力力矩強度 175kg.cm，水平下 5 度撞擊位置，測試不同材質毽盤的毽子之彈升高度及落點穩定度(測量 10 次求平均)。

毽盤黏貼各式材質底座	毽盤上添加黏土 調整毽子重量	製作完成各式毽盤材質

五、改變毽盤面積大小對毽子彈升高度與落點穩定度的影響比較。

方法：

1.以相同的毽子，毽盤底座黏貼不同面積大小的銅片 ，並用電子秤校準秤重，添加黏土使不同毽盤的毽子重量都相同。

2.同研究二方法，以施力力矩強度 175kg.cm，水平下 5 度撞擊位置，測試面積不同毽盤的毽子，彈升高度及落點座標有何差異。

六、改變毽盤總重量對毽子彈升高度與落點穩定度的影響比較。

方法：

1.以相同材質毽子，在毽盤上加不同數量墊片和黏土，以改變重量。

2.再以施力力矩強度 175kg.cm，水平下 5 度撞擊位置，測試各重量不同的毽子彈升高度及落點座標有何差異。

七、改變毽管高度對毽子彈升高度與落點穩定度的影響比較。

方法：

1.將不同長度吸管連接毽盤，再分別插上相同的毽毛。

2.調整不同高度毽管的毽子，毽盤面積及重量均相同，再以施力力矩強度 175kg.cm，水平下 5 度撞擊位置，測試各毽管高度不同的毽子，觀察其彈升高度及落點座標。

八、改變毽毛材質對毽子彈升高度與落點穩定度的影響比較。

方法：

1.以紙張、塑膠袋、毛線、尼龍繩、雞毛、硬羽毛等不同材質來改變毽毛，並固定在毽盤，再添加黏土用電子秤校準秤重，使各毽子重量都相同。

2.同研究二方法，以施力力矩強度 175kg.cm，水平下 5 度撞擊位置，測試不同材質羽毛的毽子之彈升高度及落點穩定度。

九、改變毽毛排列方向對毽子彈升高度與落點穩定度的影響比較。

方法：

1.分別將 1 支 2 支 3 支 4 支硬羽毛，以向外對稱、向內交叉、偏側同向等方式排列，並固定在毽盤，再添加黏土用電子秤校準秤重，使各毽子重量都相同。

2.同研究二方法，以施力力矩強度 175kg.cm，水平下 5 度撞擊位置，測試不同排列方式毽毛的毽子之彈升高度及落點穩定度。

十、改變毽毛打開角度對毽子彈升高度與落點穩定度的影響比較。

方法：

1.取相同的毽子，毽毛以熱熔膠黏貼固定羽毛，使毽毛張開角度大小不同，毽毛張開角度為 60、120、180 度，再添加黏土並用電子秤校準秤重，使各毽子重量都相同。

2.同研究二方法，以施力力矩強度 175kg.cm，水平下 5 度撞擊位置，測試毽子彈升高度及落點座標有何差異。

十一、改變毽子重心對毽子彈升高度與落點穩定度的影響比較。

方法：

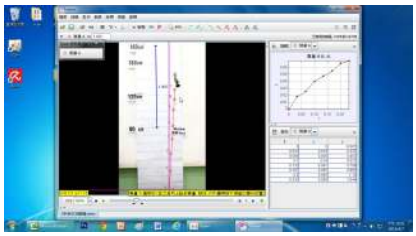
1.取相同的毽子，用橡皮筋綁上同數量墊片，固定於毽盤中央，分別距底座 0cm、上 3cm、上 6cm 的中心位置。

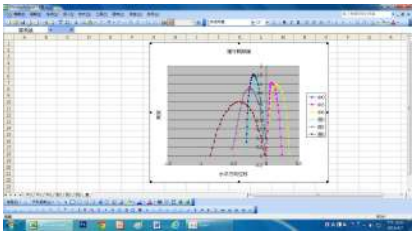
2.同上方法將相同墊片以橡皮筋固定於毽子側邊，墊片分別距底座 0cm、上 3cm、上 6cm 的側邊位置。

3.同研究二方法，以施力力矩強度 175kg.cm，水平下 5 度撞擊位置，測試不同重心位置的毽子之彈升高度及落點穩定度。

4.將毽子的彈升視訊檔用影音編輯軟體慢速定格播放，擷取不同高度的影像，比較不同重心高度與位置之毽子的運行軌跡和姿態。
5.將毽子的彈升影像檔用 Tracker 軟體定格追蹤毽子重心不同的各個拋物軌跡，再把數據資料匯入 Excel 作圖分析，比較不同重心高度與位置之毽子的運行拋物軌跡，及是否影響毽子的彈升高度及落點穩定度。
6.反覆多次測試，驗證是否都有類似的運行軌跡和姿態變化。

Tracker 軟體定格追蹤毽子

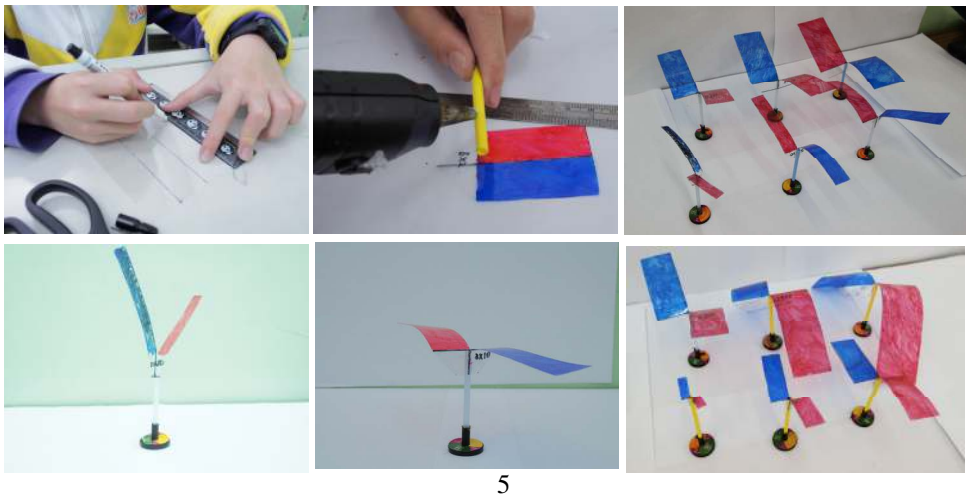




重物中央距底 0 公分	重物中央距底 3 公分	重物中央距底 6 公分
重物側邊距底 0 公分	重物側邊距底 3 公分	重物側邊距底 6 公分

十二、自製創意毽子

方法：
1.用塑膠投影片取代毽毛，做成單片尺寸長寬為 10x1、10x2、10x3、10x4、10x5、10x6cm，分向左右展開的雙片翼，以長 8cm 的氣球棍取代毽管，將雙片翼黏貼在氣球棍頂端。
2.同研究二方法，以施力力矩強度 175kg.cm，水平下 5 度撞擊位置，測試黏貼不同長寬雙片翼的毽子之彈升高度及落點穩定度。
3.將彈射視訊檔用影音編輯軟體慢速定格播放，計算毽子從彈升至降落過程中的螺旋旋轉圈數(透明翼片塗色以方便觀測旋轉圈數)。
4.將方法 1 中最佳表現的翼片，長寬等比縮放，同方法 2.3.測試，尋找更佳螺旋彈飛毽子。

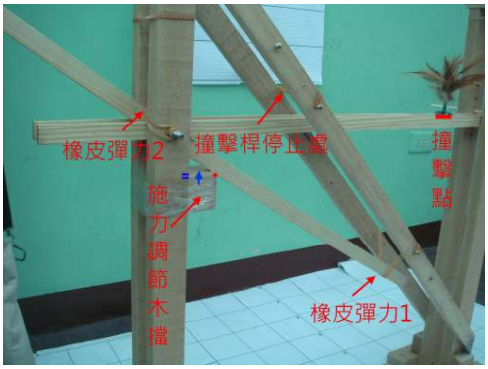


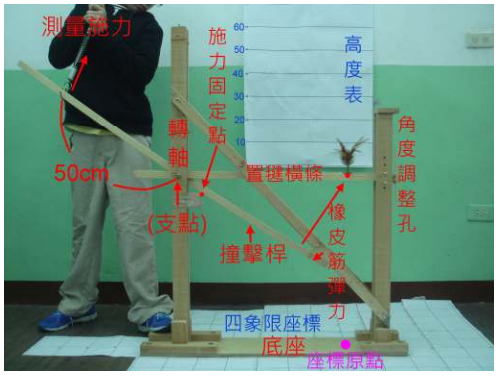
伍、研究結果

一、製作彈射架，說明彈射方法原理與試射。

1.以支點為中心，由施力端向上拉起撞擊桿，當施力撞擊桿頂住下方調節木檔時，即可固定每次施力保持相同。

2.此時撞擊桿抗力端會將橡皮筋拉開，放手後藉由橡皮筋的彈力，將抗力端向上彈射，撞擊毽子的毽盤底座。





二、市售不同類型毽子彈升高度與落點穩定度測試比較。

施力重量 175kg.cm 力矩　　撞擊點：水平高度

A 毽 9g　(膠座雞毛毽)

次數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
高度(cm)	140	145	160	145	150	140	140	140	135	145	144
落點座標	(0,-57)	(0,-57)	(-28,-37)	(2,-57)	(30,-59)	(0,-56)	(-19,-63)	(-25,-35)	(20,-49)	(35,-35)	如圖 1

B 毽 9.9g　(縫底藍毛毽)

次數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
高度(cm)	170	140	140	160	150	130	150	160	150	150	150
落點座標	(-35,-78)	(10,-43)	(-25,-23)	(-45,-55)	(-30,-24)	(7,-35)	(-15,-25)	(10,-55)	(-34,-41)	(20,-20)	如圖 2

C 毽 14g　(羽球毛直立式毽)

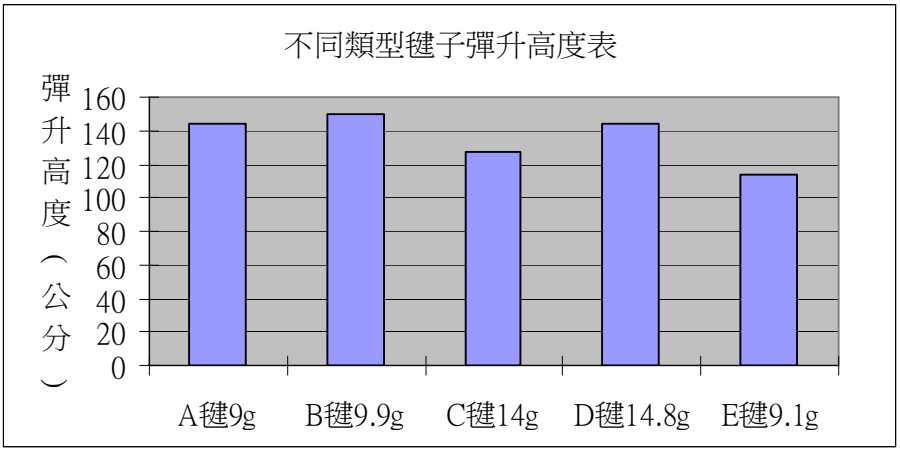
次數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
高度(cm)	130	140	110	120	130	140	120	110	140	130	127
落點座標	(-46,27)	(-17,23)	(-15,-15)	(-30,20)	(60,-44)	(30,20)	(40,40)	(-28,-7)	(58,-50)	(55,-15)	如圖 3

D 毽 14.8g (橡底硬羽毛毽)

次數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
高度(cm)	150	140	120	130	150	160	140	145	160	150	145
落點座標	(0,30)	(-60,10)	(-10,10)	(12,30)	(4,-35)	(35,14)	(-40,30)	(60,-20)	(5,15)	(10,30)	如圖 4

E 毽 9.1g　(DIY 硬羽毛)

次數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
高度(cm)	115	115	125	135	120	110	120	100	100	100	114
落點座標	(36,0)	(-65,40)	(-35,50)	(0,53)	(-46,34)	(40,30)	(50,-6)	(47,26)	(0,-25)	(22,3)	如圖 5



市售不同類型 A-E 毽落點座標圖

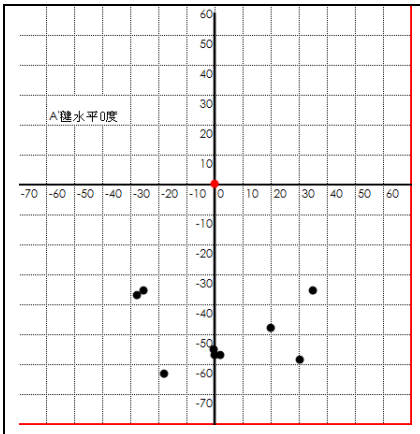


圖 1：A 毽(膠座雞毛)

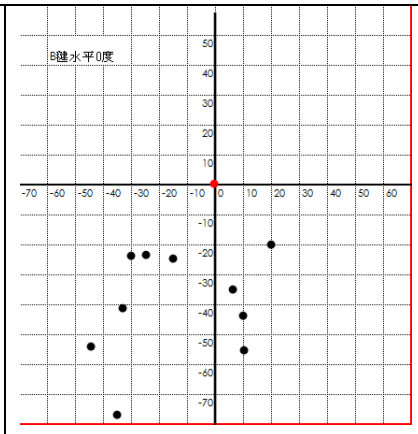


圖 2：B 毽(皮縫底人工藍毛)

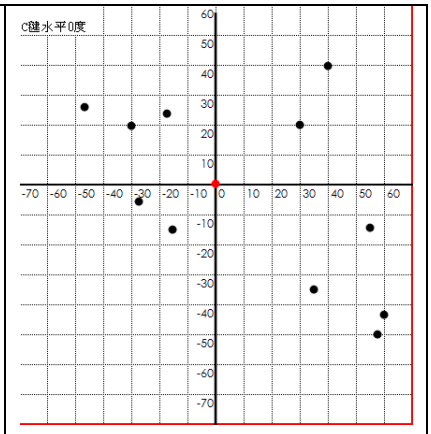


圖 3：C 毽(直立羽球毽毛)

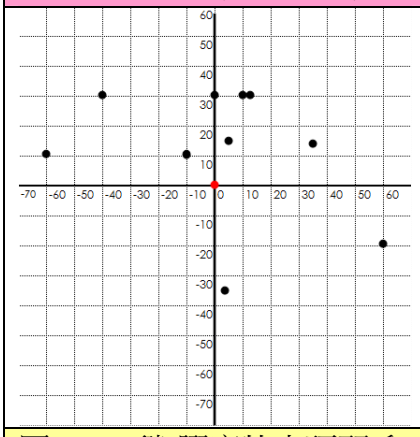


圖 4：D 毽(膠底特大硬羽毛)

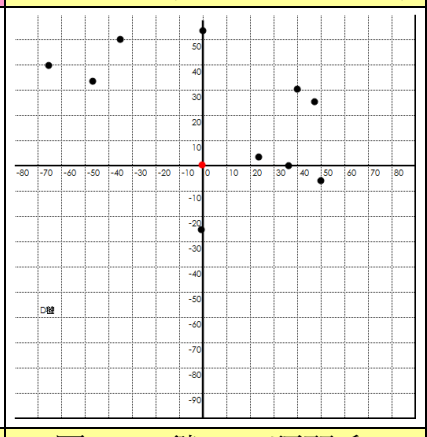


圖 5：E 毽(DIY 硬羽毛)

A 毽落點的位置最穩定集中，都聚集在 y 軸後方兩側的 3、4 象限(圖 1)，且平均彈升高度也很高。

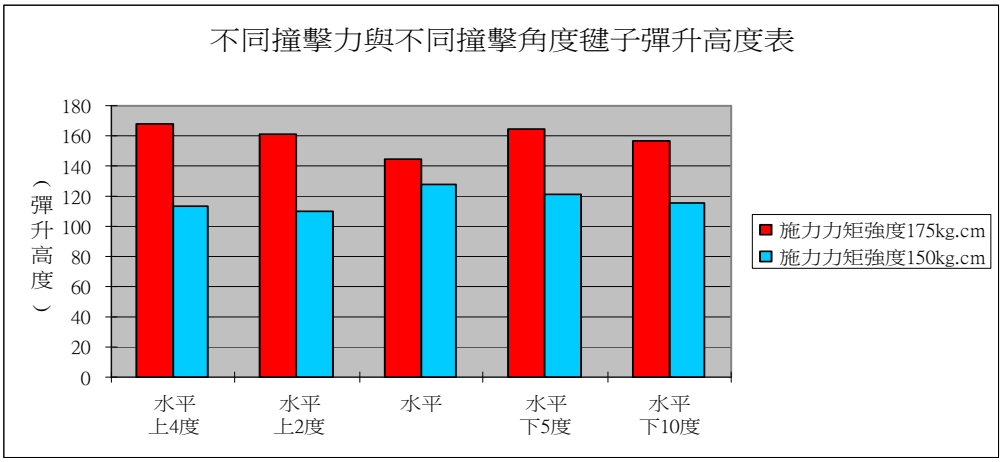
三、不同撞擊力與不同撞擊角度對毽子彈升高度與落點穩定度的影響比較。

A 毽　　施力力矩強度：175kg.cm

撞擊角度 \ 次數		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
水平上 4 度	高度(cm)	180	160	140	170	180	180	185	170	160	150	168
	落點座標	(-35,-87)	(56,-84)	(10,-50)	(13,-120)	(-10,-110)	(26,-105)	(-7,-119)	(20,-115)	(61,-97)	(60,-74)	如圖 6
水平上 2 度	高度(cm)	170	170	150	160	160	170	180	170	120	160	161
	落點座標	(-5,-115)	(5,-105)	(-79,-65)	(50,-94)	(65,-77)	(-30,-78)	(12,-110)	(40,-85)	(-65,-36)	(-25,-75)	如圖 7
水平	高度(cm)	140	145	160	145	150	140	140	140	135	145	144
	落點座標	(0,-57)	(0,-57)	(-28,-37)	(2,-57)	(30,-59)	(0,-56)	(-19,-63)	(-25,-35)	(20,-49)	(35,-35)	如圖 8
水平下 5 度	高度(cm)	165	155	165	170	170	165	170	160	175	155	165
	落點座標	(0,-20)	(15,0)	(2,-12)	(10,-10)	(0,-10)	(7,-12)	(3,-14)	(-10,-8)	(-10,-15)	(-16,-22)	如圖 9
水平下 10 度	高度(cm)	155	150	155	150	150	165	160	170	165	145	157
	落點座標	(-35,33)	(-57,-57)	(-40,50)	(-20,50)	(-5,-43)	(15,46)	(-7,42)	(-35,50)	(-2-34)	(40,50)	如圖 10

A 毽　　施力力矩強度：150kg.cm

撞擊角度 \ 次數		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
水平上 4 度	高度(cm)	120	120	110	110	120	110	120	100	110	110	113
	落點座標	(7,-42)	(10,-50)	(10,-57)	(20,-50)	(-20,-50)	(-10,-50)	(0,-69)	(13,-42)	(0,-60)	(5,-45)	如圖 11
水平上 2 度	高度(cm)	120	110	110	100	125	110	100	120	100	110	111
	落點座標	(0,-47)	(-6,-58)	(0,-44)	(19,-41)	(-4,-56)	(-5,-57)	(17,-34)	(4,-57)	(6,-51)	(11,-59)	如圖 12
水平	高度(cm)	135	125	130	135	120	135	120	140	130	110	128
	落點座標	(33,-45)	(-4,-38)	(-34,-34)	(-26,-57)	(18,-47)	(18,-62)	(-3,-40)	(32,-41)	(-20,-70)	(42,-21)	如圖 13
水平下 5 度	高度(cm)	120	117	125	125	120	130	115	120	110	130	121
	落點座標	(0,-26)	(-10,-27)	(5,-27)	(-11,-37)	(22,-30)	(2,-43)	(19,-23)	(-20,-32)	(-2,-39)	(8,-30)	如圖 14
水平下 10 度	高度(cm)	110	120	115	130	110	110	120	120	120	105	116
	落點座標	(-20,24)	(30,-52)	(-34,34)	(-22,21)	(-32,33)	(-28,34)	(-60,50)	(-28,-32)	(-46,46)	(-30,50)	如圖 15



A 毽在施力強度 175kg.cm 下，改變撞擊角度之落點分布圖

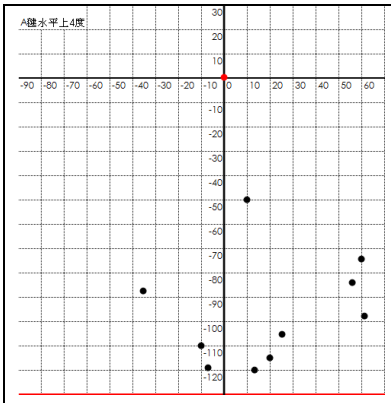


圖 6：175kg.cm 水平上 4 度

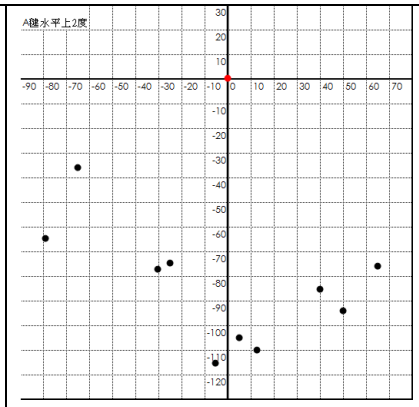


圖 7：175kg.cm 水平上 2 度

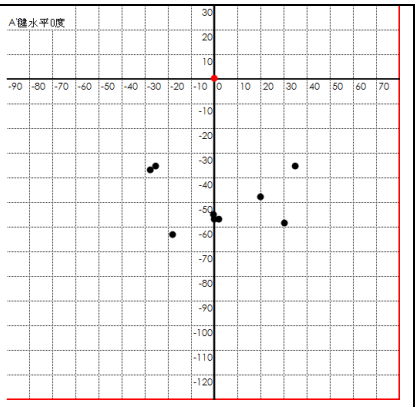


圖 8：175kg.cm 水平 0 度

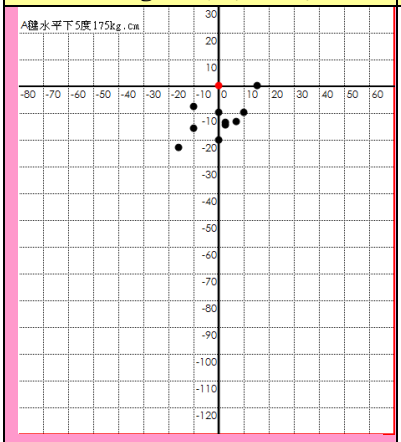


圖 9：175kg.cm 水平下 5 度

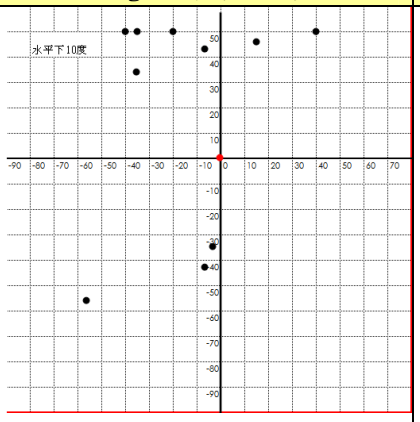


圖 10：175kg.cm 水平下 10 度

施力力矩強度：175kg.cm

水平上 4 度：彈升高度最高，但落點離原點遠，而且分散。
水平上 2 度：彈升高度不錯，落點離原點非常的遠，且非常的分散。
水平：雖然落點尚穩定，但彈升高度最低。
水平下 5 度：彈升高度高，落點非常集中，且落在原點附近(圖 9)，所以可選用它來作為後面實驗的基準角度。
水平下 10 度：彈升高度與落點都不如水平下 5 度。

A 毽在施力強度 150kg.cm 下，改變撞擊角度之落點分布圖

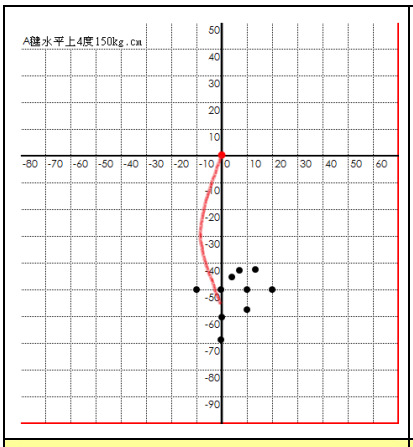


圖 11：A 毽水平上 4 度 150kg.cm

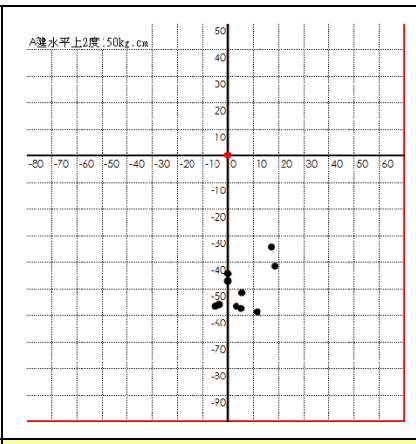


圖 12：A 毽水平上 2 度 150kg.cm

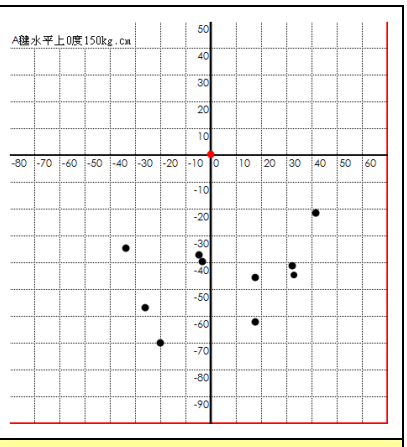


圖 13：A 毽水平 0 度 150kg.cm

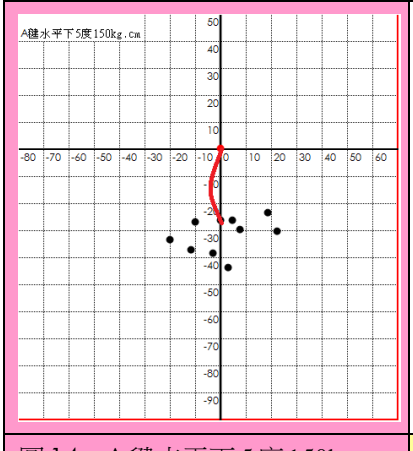


圖 14：A 毽水平下 5 度 150kg.cm

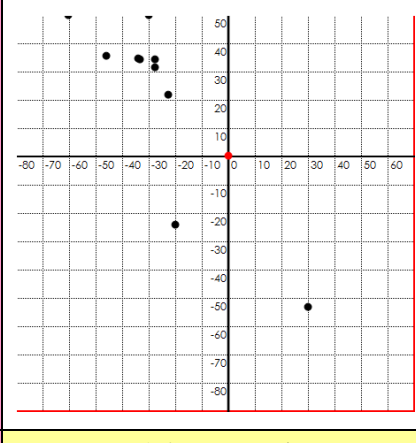


圖 15：A 毽水平下 10 度 150kg.cm

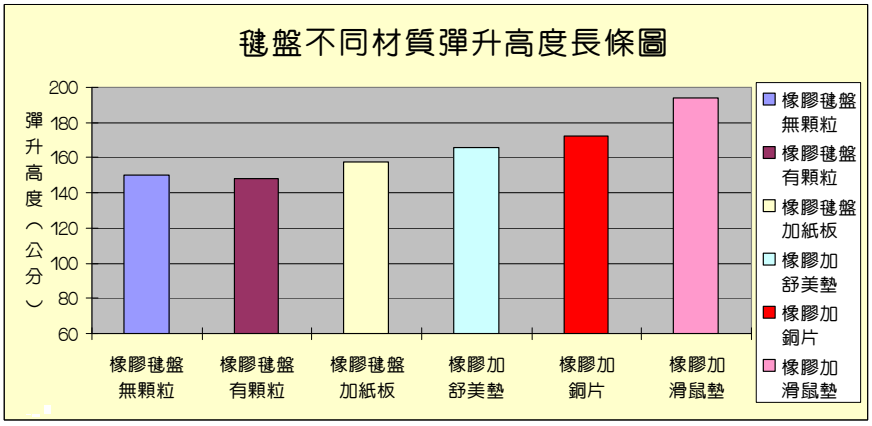
施力力矩強度：150kg.cm

水平上 4 度：彈升高度低，落點雖集中但離原點遠。
水平上 2 度：彈升高度低，落點雖集中但離原點遠。
水平：彈升高度最高，但落點最分散。
水平下 5 度：彈升高度次高，但是落點非常集中，且落在原點附近，所以選用它作為後面實驗的基準角度。
水平下 10 度：彈升高度不高，落點也分散。
綜合來看，不論施力大小，放置毽子的橫桿，以水平下 5 度的擺放角度為最佳。

四、改變毽盤材質對毽子彈升高度與落點穩定度的影響比較。

施力角度：水平下 5 度　　施力力矩強度：175kg.cm　　毽子重量：10.1 g

底座材質 \ 次數		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
橡膠毽盤	高度(cm)	150	155	140	160	130	135	150	160	175	150	150.5
無顆粒	落點座標	(37,5)	(-34,4)	(48,6)	(56,-8)	(44,8)	(33,-11)	(48,7)	(61,8)	(-10,0)	(40,3)	圖 16
橡膠毽盤	高度(cm)	165	150	160	165	147	124	130	158	130	150	147.9
有顆粒	落點座標	(-22,-12)	(30,-5)	(30,60)	(47,21)	(-60,0)	(60,30)	(60,0)	(50,50)	(96,0)	(-30,0)	圖 17
橡膠毽盤	高度(cm)	165	155	153	160	150	170	150	155	160	155	157.3
加紙板	落點座標	(0,24)	(40,-27)	(-5,-20)	(26,30)	(-14,34)	(-60,3)	(66,25)	(0,10)	(53,13)	(-48,18)	圖 18
橡膠加	高度(cm)	172	150	162	175	160	155	170	162	185	165	165.6
舒美墊	落點座標	(-19,18)	(-39,18)	(44,36)	(47,23)	(-14,34)	(-62,44)	(-22,10)	(20,12)	(18,13)	(28,22)	圖 19
橡膠加	高度(cm)	170	175	165	180	170	180	160	170	175	180	172.5
銅片	落點座標	(20,10)	(-11,9)	(3,0)	(5,-10)	(26,16)	(-23,6)	(-5,0)	(-20,15)	(5,0)	(15,3)	圖 20
橡膠加	高度(cm)	170	155	250	190	170	239	199	190	189	190	194.2
滑鼠墊	落點座標	(65,19)	(60,27)	(0,20)	(55,45)	(50,30)	(52,10)	(72,29)	(60,25)	(87,28)	(25,44)	圖 21



不同毽盤材質彈升落點座標圖

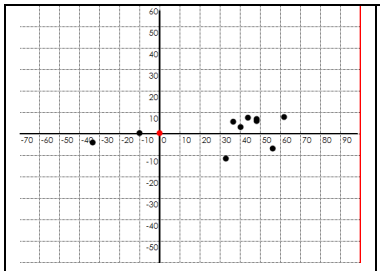


圖 16：膠底毽盤無顆粒

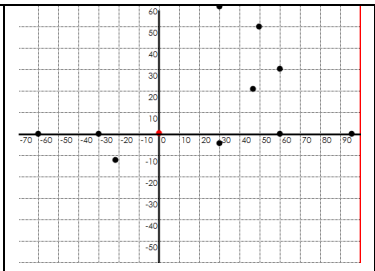


圖 17：膠底毽盤有顆粒

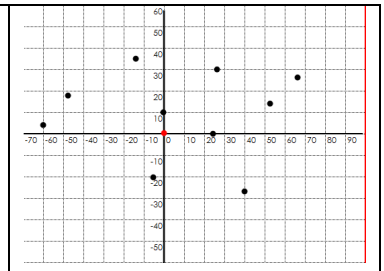


圖 18：膠底毽盤+紙板

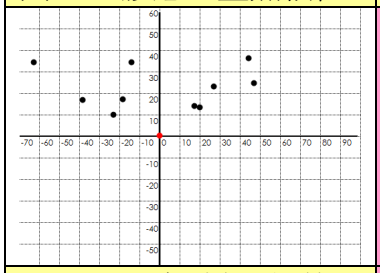


圖 19：膠底毽盤+舒美

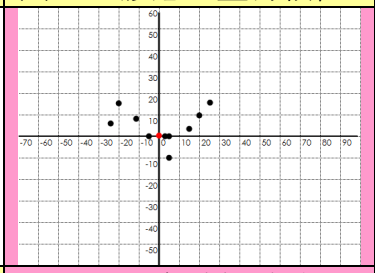


圖 20：膠底毽盤+銅片

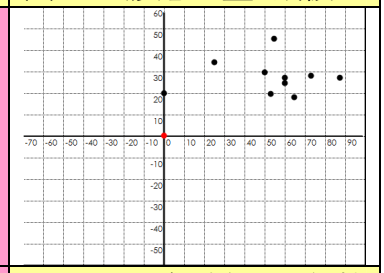


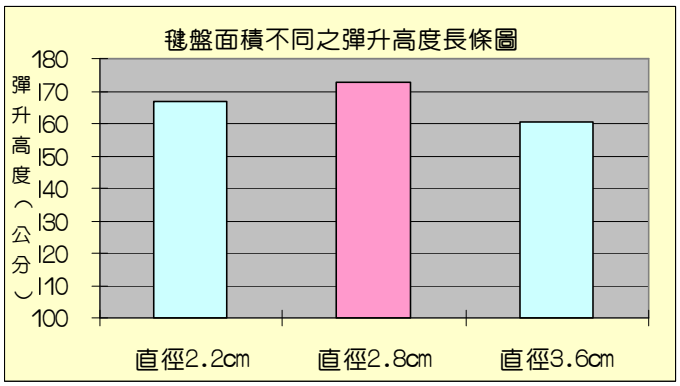
圖 21：膠底毽盤+滑鼠墊

橡膠底座無顆粒:彈升高度不高，落點偏在原點左右兩邊。
橡膠底座有顆粒:彈升高度最低，落點很分散,可能是撞擊底面凹凸顆粒,造成重心不穩。
橡膠加紙板:彈升高度不高，落點分散面積大，分布在各個象限。
橡膠加舒美墊:彈升高度第 3 高，落點平均分布在 1、4 象限。
橡膠加銅片:彈升高度第 2 高，落點在原點四周，最穩定集中。
橡膠加滑鼠墊:彈升高度最高，落點全在第 1 象限，不如銅片接近原點。

五、改變毽盤面積大小對毽子彈升高度與落點穩定度的影響比較。

施力力矩強度：175kg.cm　毽子重量：10.1 g

毽底直徑長度 \ 次數		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
2.2cm	高度(cm)	155	140	180	175	180	145	180	170	185	160	167
	落點座標	(53,-20)	(27,-4)	(38,-31)	(55,20)	(63,0)	(70,-6)	(44,-5)	(81,-16)	(51,-4)	(35,4)	如圖 22
2.8cm	高度(cm)	170	175	165	180	170	180	160	170	175	180	173
	落點座標	(20,10)	(-11,9)	(3,0)	(5,-10)	(26,16)	(-23,6)	(-5,0)	(-20,15)	(5,0)	(15,3)	如圖 23
3.6cm	高度(cm)	152	160	160	160	170	170	165	155	155	160	161
	落點座標	(60,-20)	(30,-30)	(30,-20)	(45,-20)	(56,-30)	(79,-20)	(55,-25)	(35,-20)	(39,-23)	(30,-20)	如圖 24



毽盤面積大小落點位置座標圖

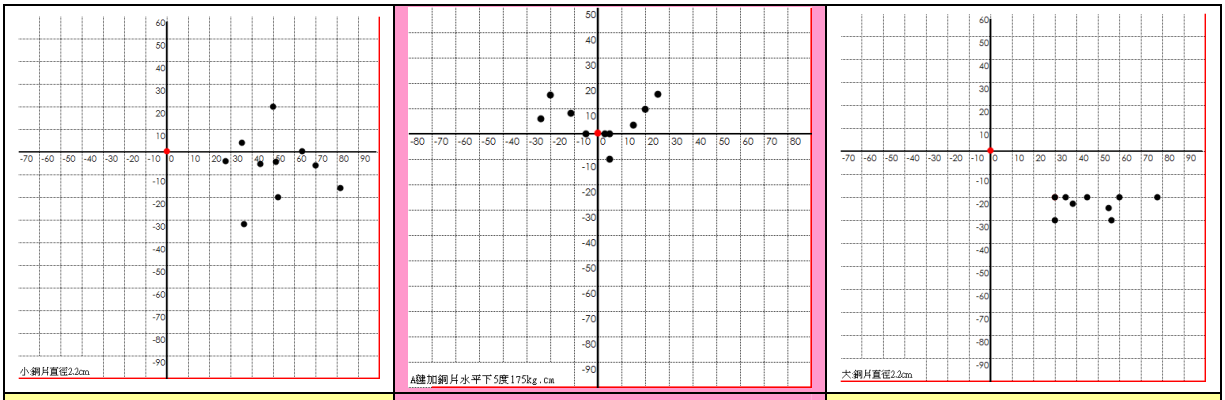


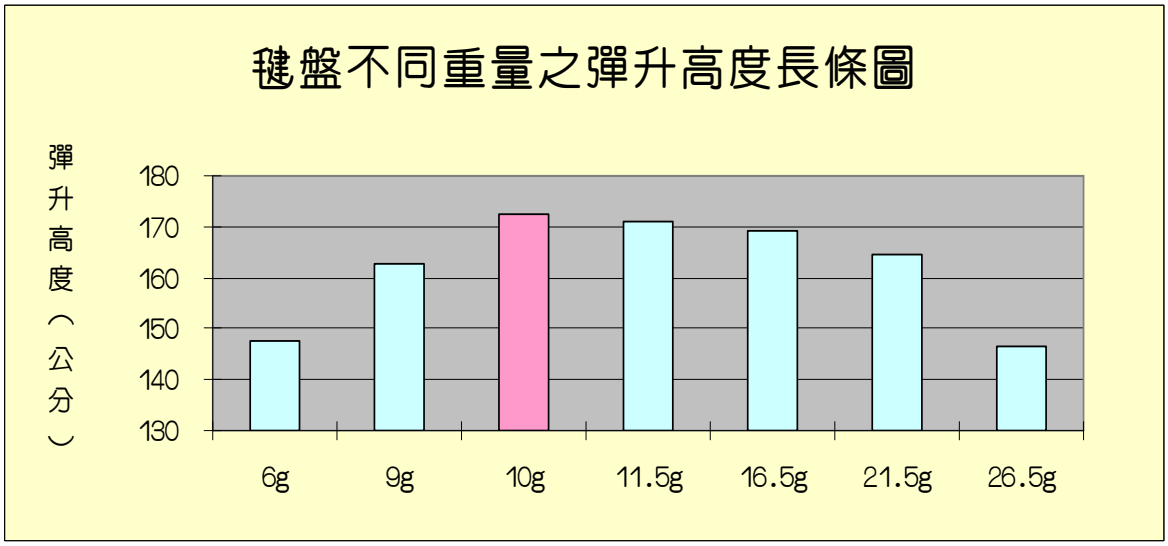
圖 22：小銅片直徑 2.2cm　圖 23：中銅片直徑 2.8cm　圖 24：大銅片直徑 3.6cm

1.毽盤黏貼直徑 2.8cm 銅片，彈升高度最高，整體落點分布相對集中且接近原點(0,0)。
2.毽盤面積太大則阻力增加，彈升高度降低；毽盤面積太大或太小都使降落落點變得較不穩。

六、改變鍵盤重量對鍵子彈升高度與落點穩定度的影響比較。

施力力矩強度：175kg.cm

鍵底重量 \ 次數		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
6g	高度(cm)	140	150	140	145	150	155	160	160	142	135	148
	落點座標	(10,0)	(40,10)	(-22,3)	(10,-3)	(21,16)	(15,10)	(-5,10)	(0,-15)	(10,-20)	(11,-7)	如圖 25
9g	高度(cm)	160	165	162	170	165	165	170	162	160	150	163
	落點座標	(55,10)	(20,9)	(18,3)	(0,-10)	(-15,10)	(25,4)	(52,9)	(-30,10)	(0,0)	(15,8)	如圖 26
10g	高度(cm)	170	175	165	180	170	180	160	170	175	180	172.5
	落點座標	(20,10)	(-11,9)	(3,0)	(5,-10)	(-16,-16)	(-23,6)	(-5,0)	(-20,15)	(5,0)	(15,3)	如圖 27
11.5g	高度(cm)	170	180	172	185	165	165	162	160	180	170	171
	落點座標	(-30,-17)	(-15,-34)	(-53,-6)	(0,-50)	(0,-25)	(29,3)	(-10,-12)	(0,-10)	(-25,-20)	(30,-15)	如圖 28
16.5g	高度(cm)	170	165	170	170	165	170	165	168	170	180	169
	落點座標	(-12,-26)	(0,-10)	(-40,-17)	(-43,-32)	(20,-17)	(30,-23)	(0,-50)	(23,-37)	(-35,-10)	(-43,-40)	如圖 29
21.5g	高度(cm)	170	165	160	160	160	160	160	165	170	175	165
	落點座標	(-30,-40)	(13,-260	(45,-25)	(20,-18)	(30,-25)	(30,-29)	(29,-20)	(-40,-22)	(21,31)	(-51,-43)	如圖 30
26.5g	高度(cm)	120	150	140	150	145	160	172	155	125	150	147
	落點座標	(47,-11)	(-8,-20)	(57,-25)	(48,-30)	(51,-15)	(10,-46)	(0,-50)	(-20,-2)	(-5,-40)	(-45,-40)	如圖 31



鍵盤重量不同之落點位置座標圖

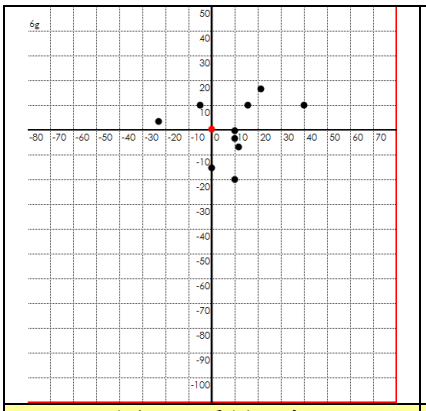


圖 25：重量 6 克

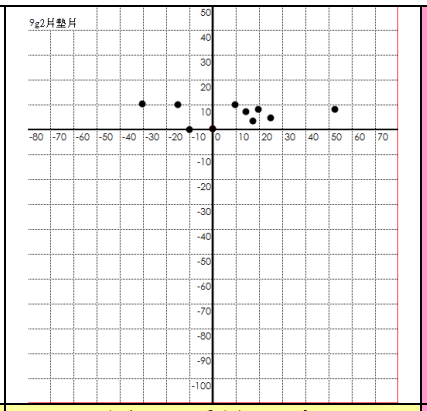


圖 26：重量：9 克

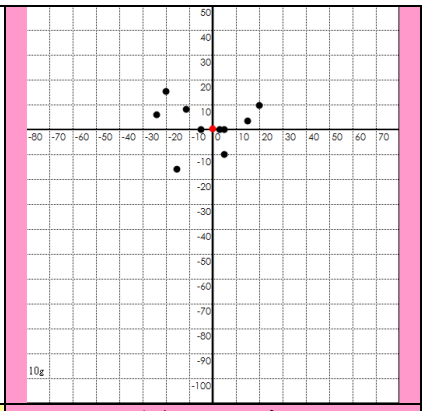


圖 27：10 克

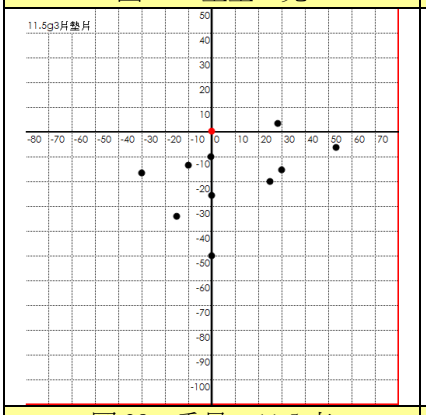


圖 28：重量：11.5 克

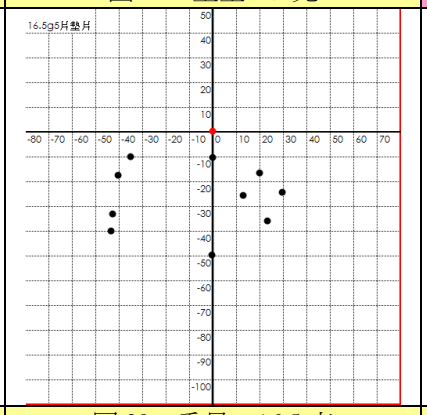


圖 29：重量：16.5 克

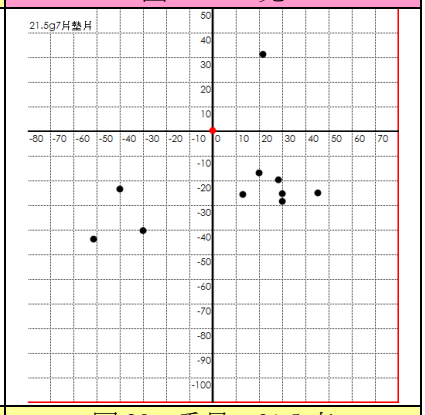


圖 30：重量：21.5 克

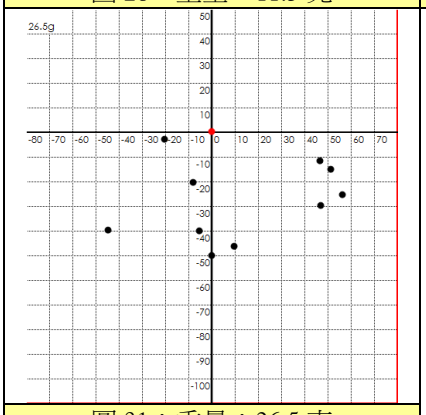
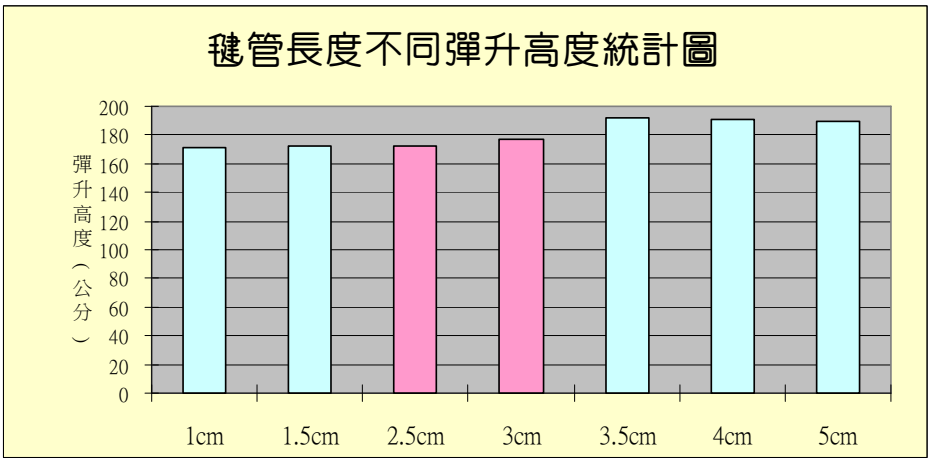


圖 31：重量：26.5 克

1.就彈升高度來看，鍵盤太輕，撞擊後不見得彈升得高，例如撞擊輕如羽毛的物體並無法彈升；鍵盤太重也會降低彈升高度。
2.綜合來看，以 10g 左右的鍵盤，彈升高度高，落點穩定度最佳、最集中、也最接近原點。

七、改變毽管高度對毽子彈升高度與落點穩定度的影響比較。

毽管高度 \ 次數		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
1cm	高度(cm)	175	170	170	170	170	175	165	170	170	180	172
	落點座標	(50,-6)	(44,-5)	(38,-5)	(56,-14)	(37,-2)	(-8,10)	(0,20)	(25,-30)	(10,-25)	(55,-60)	如圖 32
1.5cm	高度(cm)	180	180	175	165	175	170	165	165	180	165	172
	落點座標	(29,-7)	(38,3)	(32,-6)	(28,-5)	(28,0)	(10,-2)	(-10,0)	(11,-5)	(45,0)	(50,0)	如圖 33
2.5cm	高度(cm)	165	170	175	172	170	170	175	175	175	175	172
	落點座標	(-26,-9)	(0,-10)	(20,-10)	(-25,0)	(-20,0)	(-25,0)	(16,5)	(-7,-15)	(5,-15)	(40,-5)	如圖 34
3cm	高度(cm)	170	170	185	190	175	180	180	170	180	170	177
	落點座標	(18,-7)	(15,0)	(25,0)	(15,-4)	(0,0)	(5,-10)	(0,0)	(15,5)	(-22,-16)	(-10,-7)	如圖 35
3.5cm	高度(cm)	180	185	185	170	172	200	220	220	185	200	192
	落點座標	(5,-35)	(25,0)	(10,-6)	(-30,-6)	(-10,-2)	(55,-30)	(15,-30)	(10,-30)	(5,0)	(17,-30)	如圖 36
4cm	高度(cm)	180	180	195	180	190	220	185	200	195	180	191
	落點座標	(0,-3)	(-41,-6)	(-46,6)	(6,-12)	(-33,-12)	(-29,1)	(0,0)	(-10,-21)	(20,-3)	(15,-4)	如圖 37
5cm	高度(cm)	182	188	220	185	170	210	192	170	170	210	190
	落點座標	(-30,-26)	(34,-20)	(0,-40)	(0,0)	(53,-6)	(-21,-26)	(13,-30)	(20,-6)	(20,-8)	(15,-30)	如圖 38



毽管高度不同之落點位置座標圖

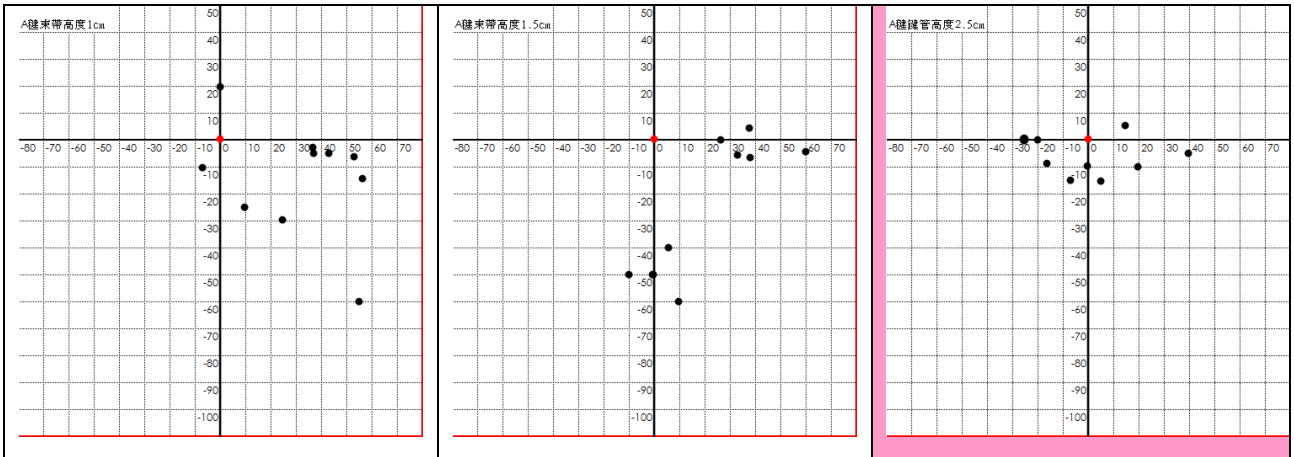


圖 32：毽管高度 1cm | 圖 33：毽管高度 1.5cm | 圖 34 毽管高度 2.5cm

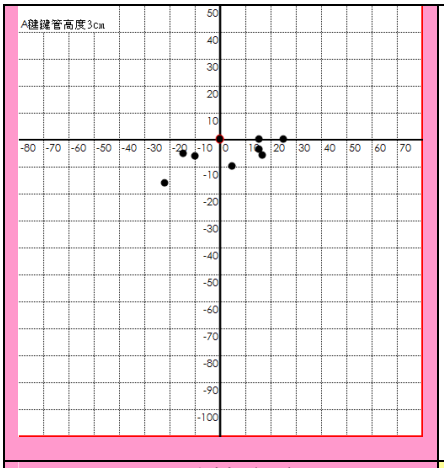


圖 35：毽管高度 3cm

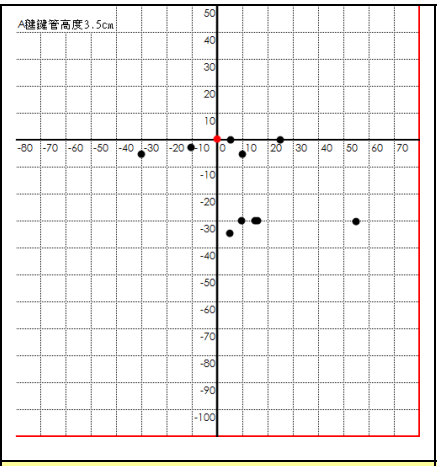


圖 36：毽管高度 3.5cm

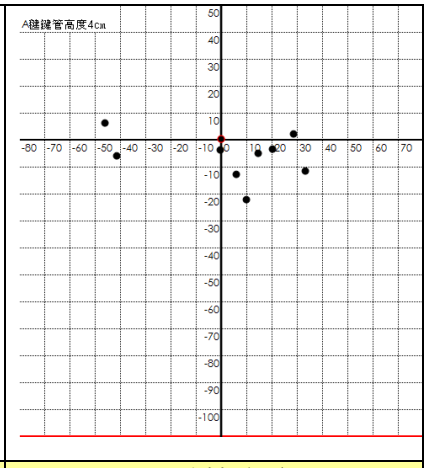


圖 37：毽管高度 4cm

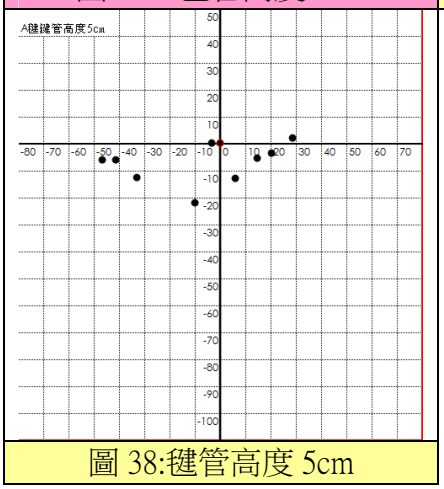


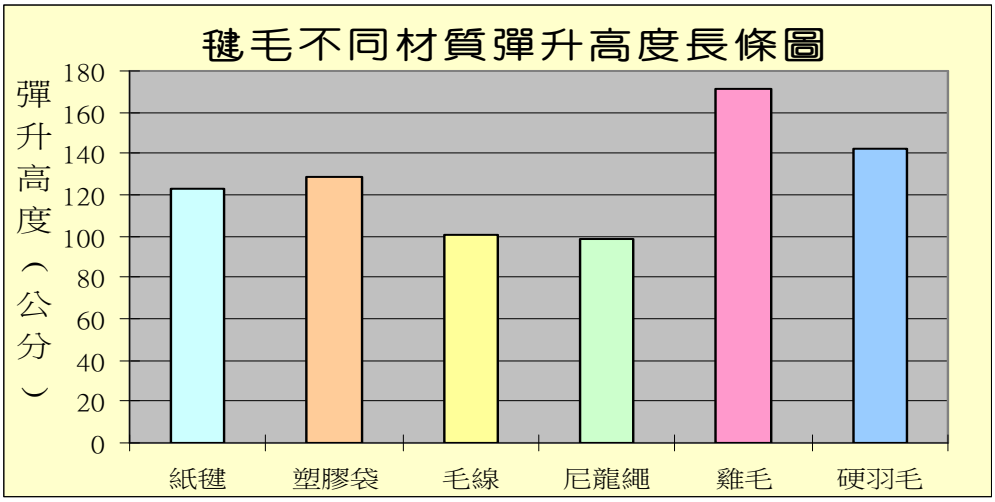
圖 38:毽管高度 5cm

1.毽管高度 3.5cm 以上，會將張開的羽毛向內成束集中，彈升時減少空氣阻力，因此平均彈升高度明顯變高。
2.就落點穩定度來看，毽管長度 2.5~3cm(圖 34.35.)最佳，落點最集中也最接近原點。毽管太短或太長，落點都很分散。

八、改變毽毛材質對毽子彈升高度與落點穩定度的影響比較。

毽子總重 12g.　施力力矩 175kg.cm

毽毛材質		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
紙毽	高度(cm)	110	140	140	110	150	110	150	90	140	90	123
	落點座標	(-35,22)	(31,10)	(-50,11)	(-10,-3)	(-73,8)	(-56,27)	(15,-7)	(13,2)	(20,-7)	(-64,-7)	圖 39
塑膠袋	高度(cm)	100	120	110	100	170	140	120	135	155	140	129
	落點座標	(-30,20)	(-78,4)	(50,-3)	(30,37)	(33,21)	(0,0)	(-29,18)	(25,20)	(0,10)	(-20,0)	圖 40
毛線	高度(cm)	100	120	90	100	85	130	80	90	80	130	101
	落點座標	(-39,-16)	(-35,-60)	(-20,-48)	(14,-70)	(-50,-24)	(28,-70)	(-65,-30)	(43,-55)	(10,-70)	(-20,-73)	圖 41
尼龍繩	高度(cm)	100	115	105	87	90	80	105	110	110	87	99
	落點座標	(21,33)	(8,30)	(19,9)	(20,15)	(35,0)	(39,27)	(39,21)	(0,34)	(0,-11)	(55,5)	圖 42
雞毛	高度(cm)	170	180	172	185	165	165	162	160	180	170	**171**
	落點座標	(-30,-17)	(-15,-34)	(-30,-6)	(0,-50)	(0,-25)	(29,3)	(-10,-12)	(0,-10)	(-25,-20)	(30,-15)	圖 43
硬羽毛	高度(cm)	150	130	155	150	140	120	160	135	170	110	142
	落點座標	(-30,4)	(40,-50)	(-37,-61)	(-62,4)	(10,-60)	(-30,60)	(-78,-7)	(-60,-8)	(-60,39)	(-22,50)	圖 44



毽毛不同材質之落點位置座標圖

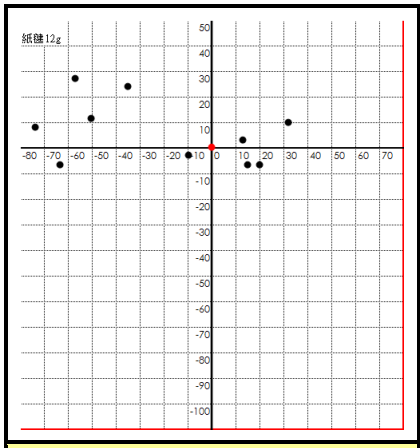


圖 39：紙毽

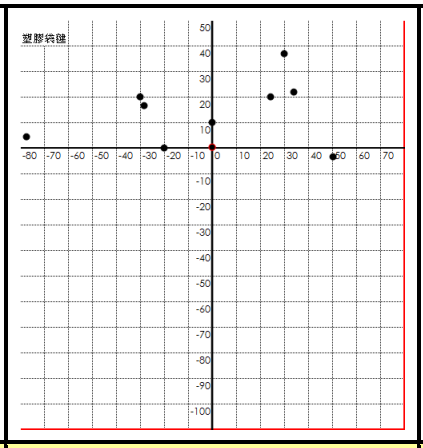


圖 40：塑膠袋

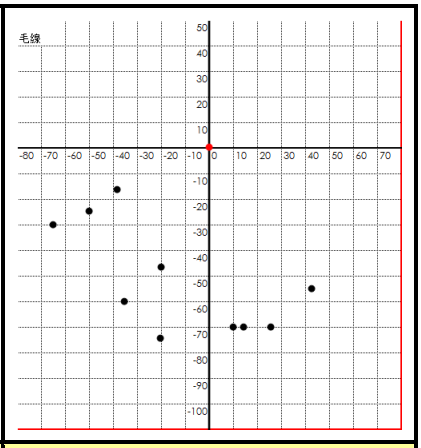


圖 41：毛線毽

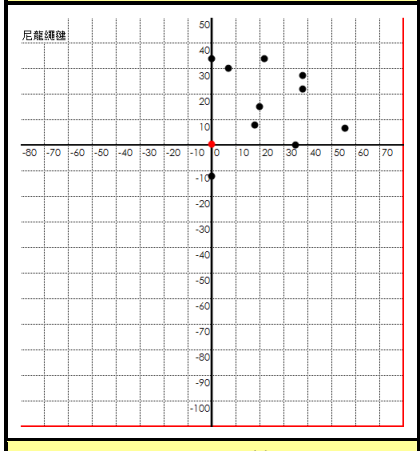


圖 42：尼龍繩

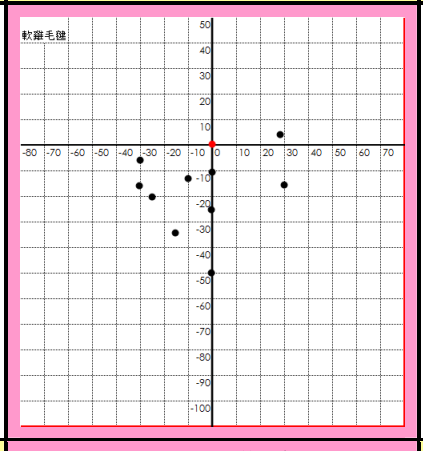


圖 43：雞毛

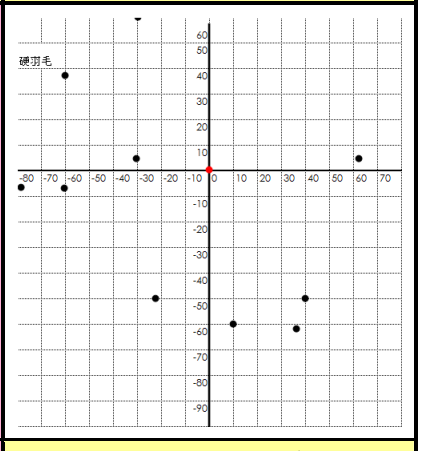


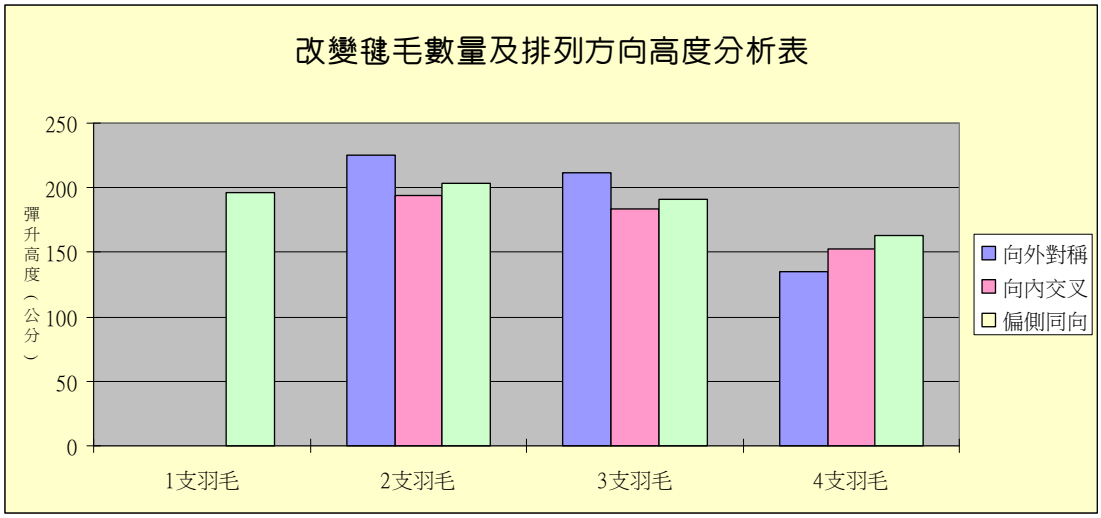
圖 44：硬羽毛

1.平均彈升高度以雞毛明顯最高。
2.落點穩定度來看，以尼龍繩及雞毛為佳，落點較集中也較接近原點。
3.綜合以上兩點，毽毛材質還是採用雞毛最佳。

九、改變毽毛數量及排列方向對毽子彈升高度與落點穩定度的影響比較。

施力力矩強度 175kg.cm

羽毛排列方向			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
1 支羽毛	偏側	高度(cm)	200	200	200	200	170	200	180	220	210	180	196
	同向	落點座標	(17,-18)	(20,-20)	(30,15)	(50,9)	(12,-8)	(-20,50)	(-20,75)	(20,68)	(26,50)	(15,30)	如圖 45
2 支羽毛	向外	高度(cm)	230	200	240	240	240	190	200	240	240	230	225
	對稱	落點座標	(20,30)	(45,58)	(-10,0)	(32,20)	(-20,-50)	(-30,-40)	(20,50)	(41,20)	(10,30)	(-30,10)	如圖 46
	向內	高度(cm)	190	210	100	200	203	240	240	170	200	190	194
	交叉	落點座標	(10,-30)	(5,90)	(-10,-40)	(23,-40)	(-10,95)	(0,-20)	(-25,10)	(5,-40)	(-50,50)	(-10,-30)	如圖 47
	偏側	高度(cm)	190	190	210	235	185	190	240	190	210	190	203
	同向	落點座標	(-40,80)	(-30,30)	(10,98)	(-18,37)	(-50,10)	(0,85)	(13,-7)	(0,24)	(-10,0)	(-20,70)	如圖 48
3 支羽毛	向外	高度(cm)	220	200	200	210	190	190	240	200	240	230	212
	對稱	落點座標	(32,32)	(26.-15)	(26,16)	(-22,17)	(-28,32)	(-22,41)	(39,-12)	(-10,50)	(11,40)	(18,48)	如圖 49
	向內	高度(cm)	180	170	190	185	185	180	190	180	200	180	184
	交叉	落點座標	(72,20)	(5,90)	(62,-30)	(-80,14)	(-15,115)	(-70,28)	(10,-50)	(-50,52)	(63,18)	(0,-35)	如圖 50
	偏側	高度(cm)	200	200	185	195	180	170	185	175	240	180	191
	同向	落點座標	(20,60)	(45,30)	(-20,60)	(5,30)	(55,-3)	(-45,-4)	(-40,-6)	(-55,-10)	(20,6)	(-18,-10)	如圖 51
4 支羽毛	向外	高度(cm)	130	150	140	140	140	120	130	120	135	140	135
	對稱	落點座標	(-20,-10)	(-10,-35)	(-24,-30)	(-20,20)	(17,-41)	(22,23)	(21,-28)	(31,-21)	(30,-39)	(-4,-12)	如圖 52
	向內	高度(cm)	140	150	165	160	150	145	145	150	165	160	153
	交叉	落點座標	(78,22)	(60,-22)	(85,0)	(70,0)	(80,28)	(65,-20)	(77,32)	(65,28)	(60,-20)	(65,38)	如圖 53
	偏側	高度(cm)	165	160	170	160	170	160	160	170	160	150	163
	同向	落點座標	(58,-23)	(66,10)	(30,25)	(70,20)	(65,-20)	(50,5)	(50,-36)	(25,20)	(68,-35)	(57,25)	如圖 54



改變毽毛數量及排列方向-彈升落點座標圖

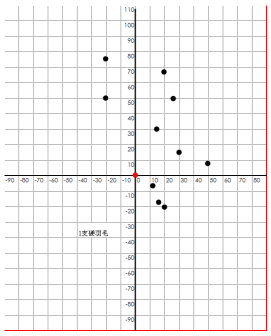


圖 45：1 支硬羽毛向外向

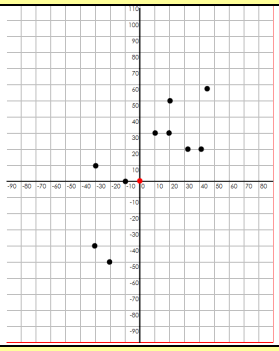


圖 46：2 支硬羽毛向外對稱

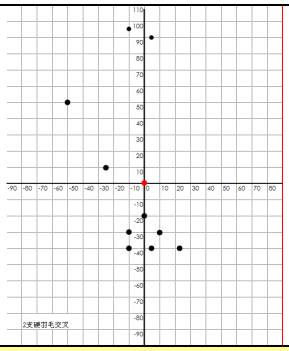


圖 47：2 支硬羽毛向內交叉

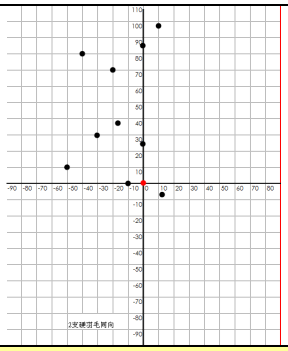


圖 48：2 支硬羽毛偏側同向

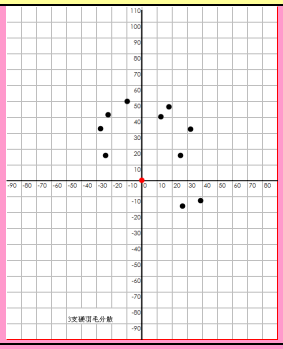


圖 49：3 支硬向外對稱

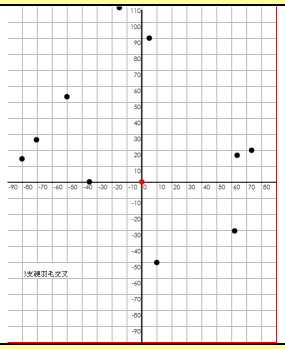


圖 50：3 支硬羽毛集中交叉

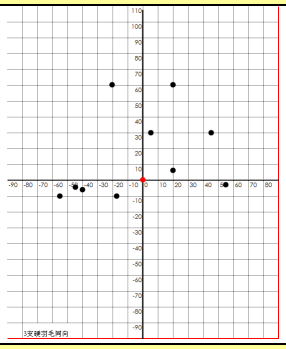


圖 51：3 支羽毛偏側同向

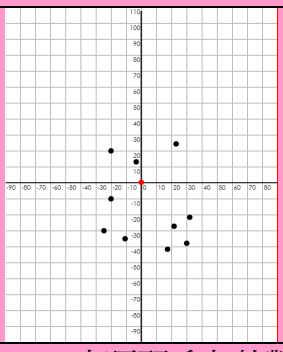


圖 52：4 支硬羽毛向外對稱

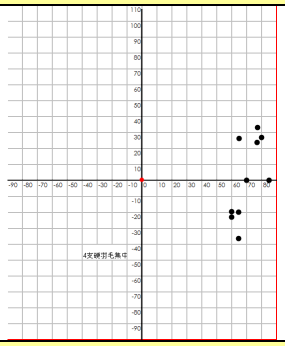


圖 53：4 支硬羽毛集中交叉

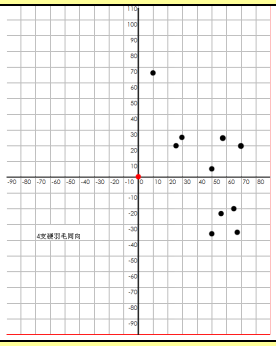
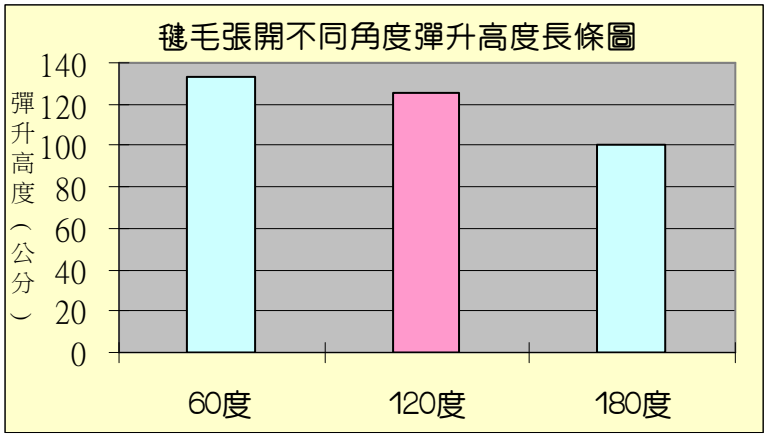


圖 54：4 支羽毛偏側同向

1.羽毛數量 2~3 支向外對稱的排列方式彈升高度最高，但數量多又向外對稱的 4 支硬羽毛，因重量增加且空氣阻力增大，反而彈升高度最低。
2.本實驗採用硬羽毛操作，整體的落點都較分散，降落後無法集中靠近原點。
3.一般說來，多支羽毛向外對稱排列時落點較穩定；羽毛向內集中交叉或偏側同向的排列方式，毽子彈射後常會往羽毛較集中(較重)的方向偏移，因此我們固定羽毛的擺放方向，落點座標就出現集中某一側的有趣現象(如圖 48..53..54)。如果隨機擺放，落點座標也會較分散並隨機出現在各個象限裡(如圖 47.50.51)。

十、改變毽毛打開角度對毽子彈升高度與落點穩定度的影響比較。

毽毛打開角度		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
60 度	高度(cm)	130	125	130	130	120	140	140	135	140	140	133
	落點座標	(-10,-35)	(0,0)	(35,18)	(-30,-30)	(33,-6)	(20,-14)	(26,-4)	(10,-20)	(-10,-12)	(10,10)	圖 55
120 度	高度(cm)	125	120	125	120	120	130	140	125	125	125	126
	落點座標	(-20,-20)	(14,-24)	(25,-14)	(-20,-3)	(15,0)	(-10,-14)	(0,-20)	(0,-35)	(-10,-20)	(0,-30)	圖 56
180 度	高度(cm)	90	90	90	110	90	100	100	110	100	120	100
	落點座標	(46,3)	(40,0)	(20,-19)	(-7,-5)	(35,0)	(10,-13)	(39,0)	(12,-14)	(0,-20)	(12,-13)	圖 57



毽毛張開不同角度彈升落點座標圖

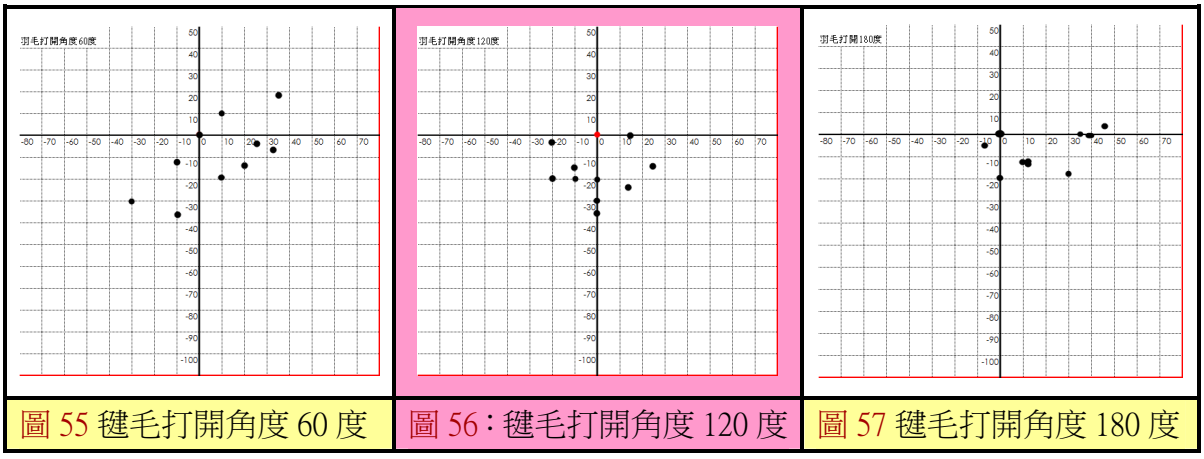
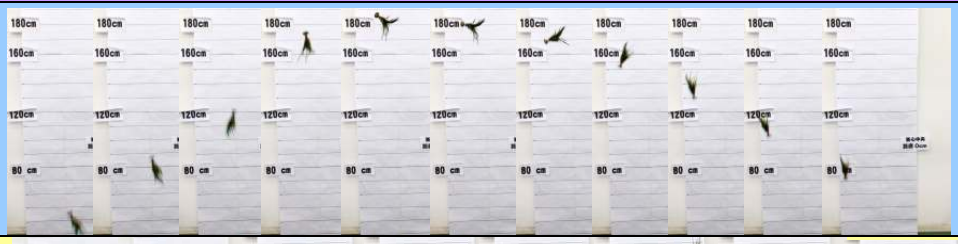
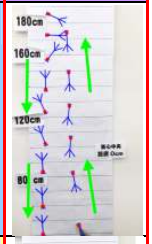
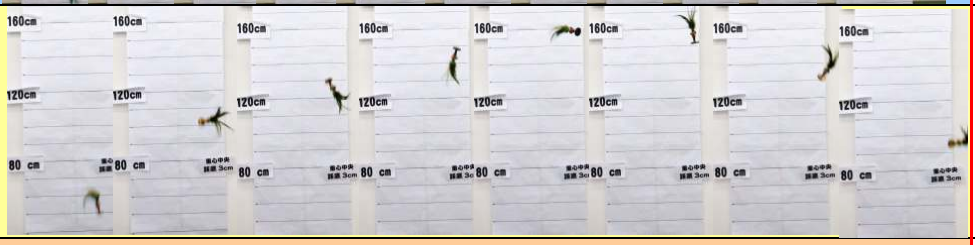
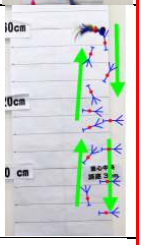
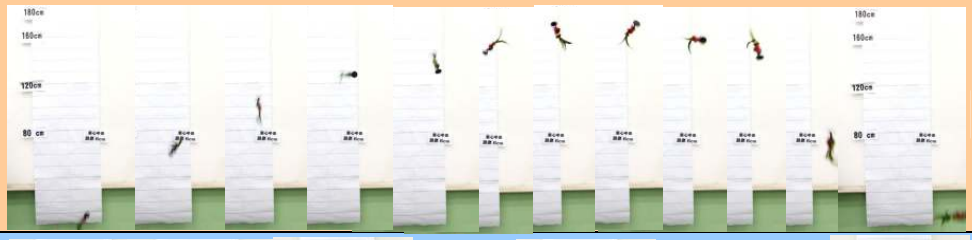
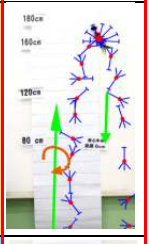
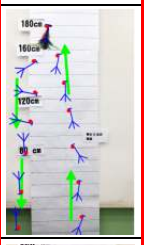
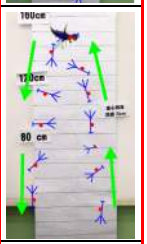
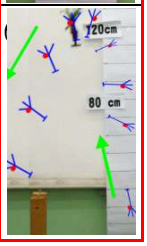
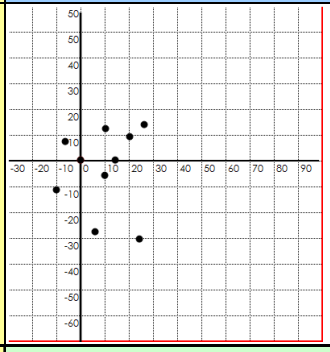
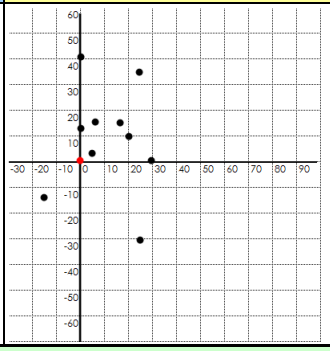
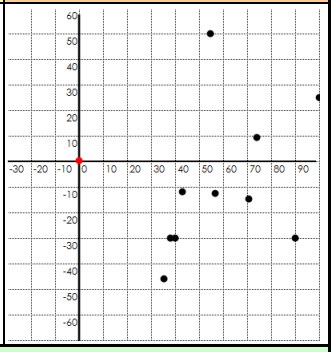
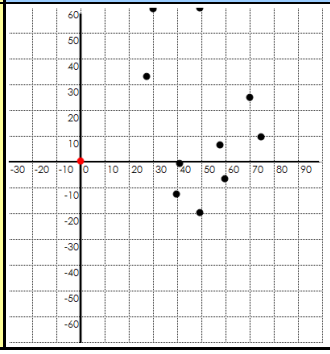
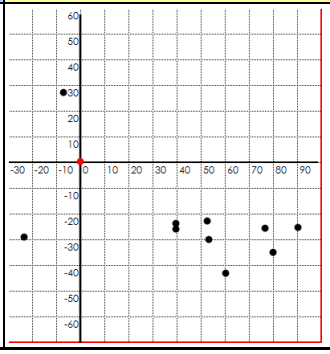
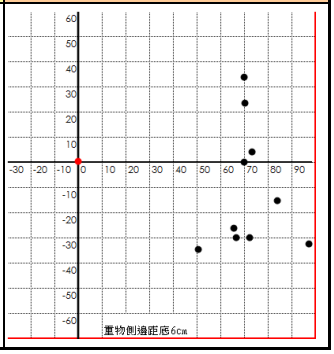


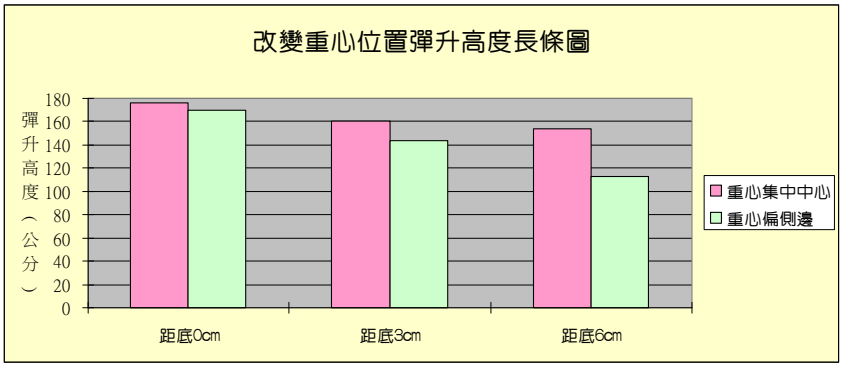
圖 55 毽毛打開角度 60 度　圖 56：毽毛打開角度 120 度　圖 57 毽毛打開角度 180 度

1.羽毛張開角度越小，彈升時受空氣阻力面積小，平均彈升高度最高；反之，羽毛張開角度越大，彈升時受空氣阻力面積增加，平均彈升高度明顯降低許多。
2.毽毛張開角度對落點影響較小，但以張開 120 度的毽毛，落點最接近原點四周，相對更為穩定。

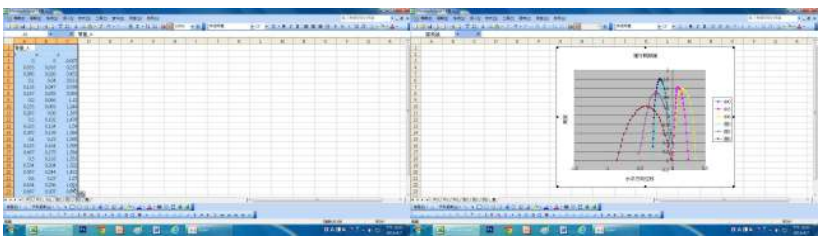
十一、改變毽子重物對毽子彈升高度與落點穩定度的影響比較，並探討其運行軌跡與姿態。

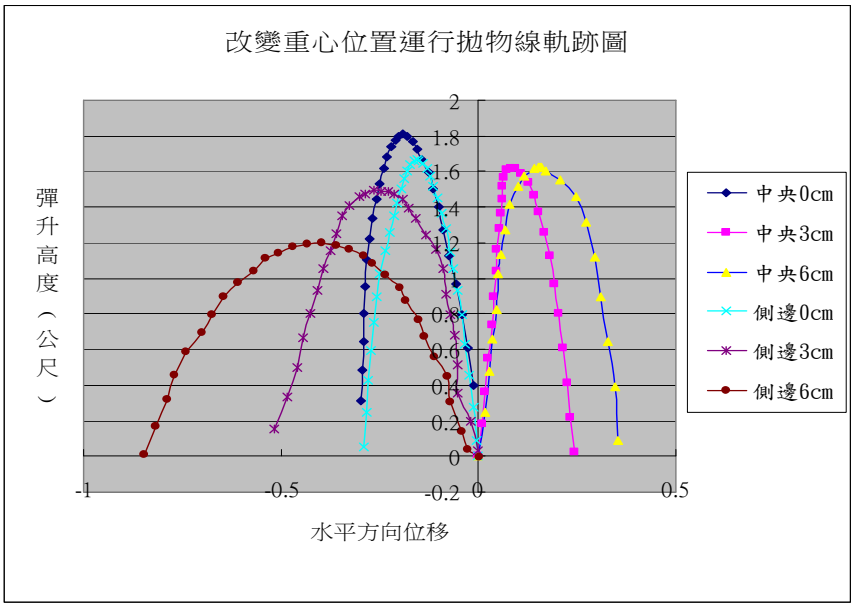
重物位置	與毽底距離	彈升至不同高度的毽子之運行姿態　(詳如視訊)	運行軌跡姿態示意圖
重物集中中心	0cm		
	3cm		
	6cm		
重物偏側邊	0cm		
	3cm		
	6cm		

重物位置	重物集中毽管中心		
	圖 58：距底 0cm	圖 59：距底 3cm	圖 60：距底 6cm
平均高度	176 cm	161 cm	154 cm
落點座標			
重物位置	重物偏毽管側邊		
	圖 61：距底 0cm	圖 62：距底 3cm	圖 63：距底 6cm
均高度	170 cm	144 cm	113 cm
落點座標			

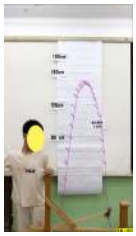


以 Tracker 軟體追蹤重物不同之拋物軌跡





改變重物位置彈升高度-拋物線圖

重物中央距底 0cm	重物中央距底 3 cm	重物中央距底 6 cm
		
重物偏側邊距毽底 0 cm	重物偏側邊距毽底 3 cm	重物偏側邊距毽底 6 cm

重物集中毽管中心:

1.重物集中中心距毽底 0cm 時，撞擊後底座(重物)立刻上翻，並倒立穩定快速往上彈升至最高點後，毽底重物在運行軌跡高點處很快向下翻轉，呈正立姿態朝正下方穩定落下，毽子在空中翻轉次數僅一次，落點座標也較穩定(圖 58)。

2.重物集中中心距毽底 3cm，撞擊後底座沒有立刻上翻，原正立姿勢垂直彈升 80cm 後，再呈水平姿態漸向上倒立翻轉至最高點，毽子再隨著重物向下正立翻轉墜落，下墜至 100cm 處又呈水平姿態降落直到落地，平均彈升高度略降，落點也較不穩定。

3.重物集中中心距毽底 6cm，彈飛軌跡最不穩定，彈飛姿態更是多變，非常精彩。撞擊後彈升過程中一路翻轉二圈半至最高點，毽盤再以重物為中心點翻轉 180 度後，毽子繼續翻轉成倒栽蔥姿態倒立降落；彈升高度較低，落點座標偏離原點(0,0)很遠(圖 60)。

重物偏毽管側邊:

1.重物偏側邊距毽底 0cm，撞擊彈升的高度、運行姿態與重物集中中心距毽底 0cm 時較相似，差別在向下翻轉的速度較慢、運行時毽子會左右偏轉、運行軌跡方向呈拋物線往重物

偏側的方向落下、落點座標偏離原點。

2.重物偏側邊距毽底 3cm，撞擊後底座立刻上翻，上升一半時重物墊片又把羽毛帶上去呈正立姿勢彈升至最高點，之後重物墊片將羽毛倒立下拉，隨即又轉水平再轉正立姿態，斜斜的往重物偏離的方向掉落。運行中受重物墊片影響，毽盤與羽毛不斷上下交替，變化非常有趣，缺點是平均彈升高度明顯降低、落點座標離原點更遠(圖 62)。

3.重物偏側邊距毽底 6cm，並未如重物集中中心距毽底 6cm 的毽子般翻轉多圈，反而一彈升後，重物墊片受重力下拉，運行中上升與下降時的姿態幾乎都偏一邊或呈水平姿勢，拋物軌跡最明顯。更嚴重是平均彈升高度最低、落點座標離原點最遠(圖 63)。

十二、自製創意螺旋彈飛毽子

(一)毽子螺旋彈飛的發想與原理探究

發想

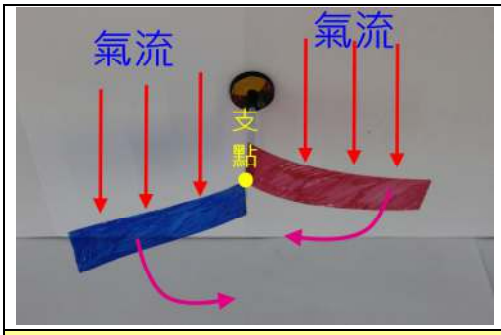
1.我們想到竹蜻蜓螺旋飛升是否可應用在毽子上，但竹蜻蜓是施力旋轉竹棒支點，帶動外翻翼片旋轉產生升力，而毽子撞擊後卻不會旋轉，兩者顯然不同。

2.因此必須藉由毽子快速彈升降落時的氣流來帶動毽子旋轉，所以有了以下的創意設計。

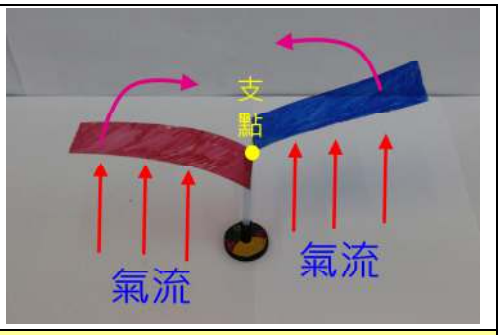
設計原理

1.創意螺旋毽子左右(紅藍)兩片塑膠翼片，在毽子快速彈升時，受氣流向下推動，快速降落時，則受氣流向上推動。

2.兩翼片受到的力方向相反、且不在同一直線上，因此會以氣球棍(支點)為中心旋轉。



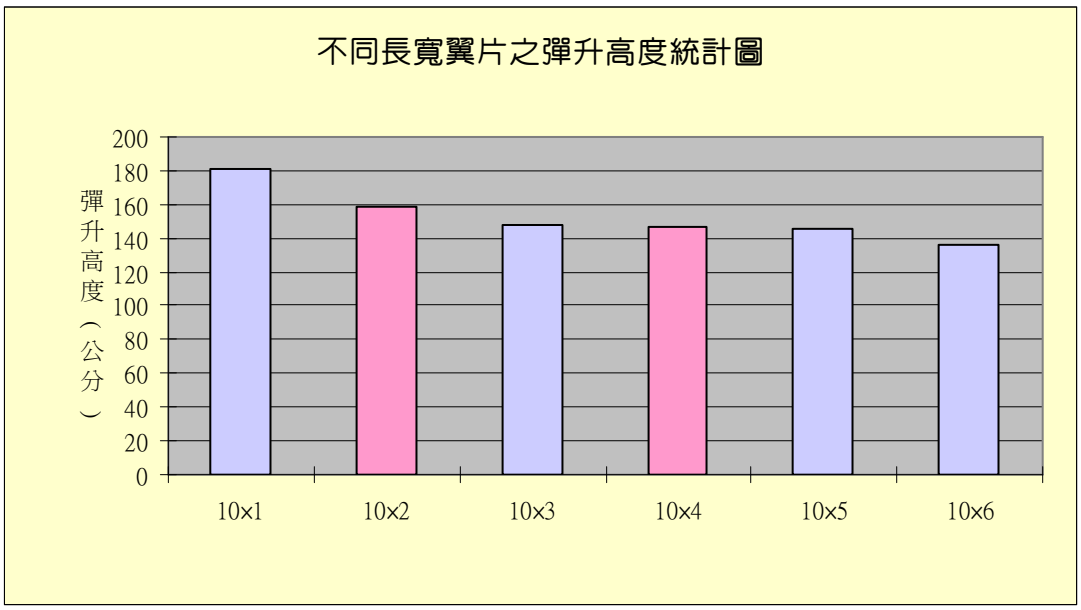
毽子向上快速彈升時



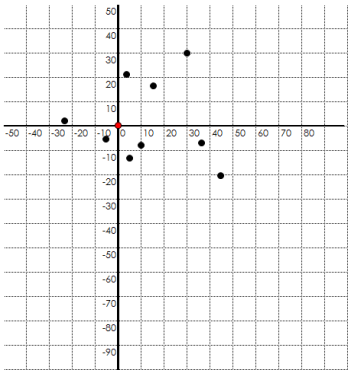
毽子向下快速降落時

(二)不同長寬等比縮放的翼片對彈升高度、旋轉圈數、落點穩定度的影響比較

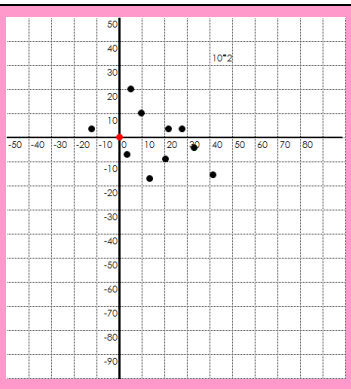
翼片長寬 cm×cm	平均高度 (cm)	平均旋轉圈數	落點座標
10×1	181	2 圈	圖 64
10×2	159	2.5 圈	圖 65
10×3	148	5 圈	圖 66
10×4	147	5 圈	圖 67
10×5	145	4.5 圈	圖 68
10×6	136	3 圈	圖 69



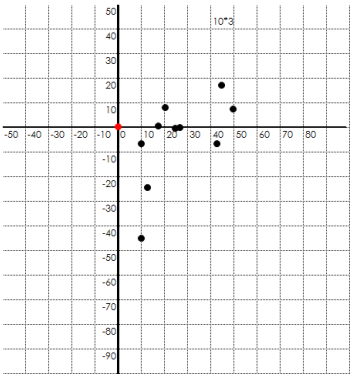
不同長寬翼片之彈升落點座標圖



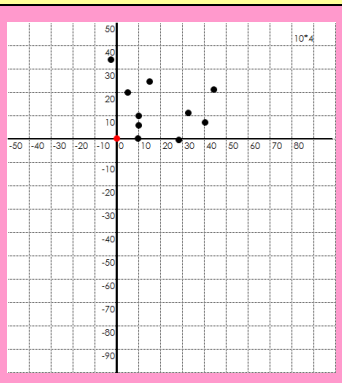
10×1(cm) 圖 64



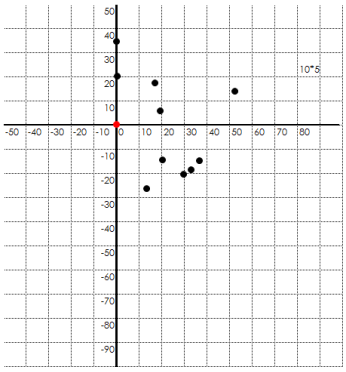
10×2(cm) 圖 65



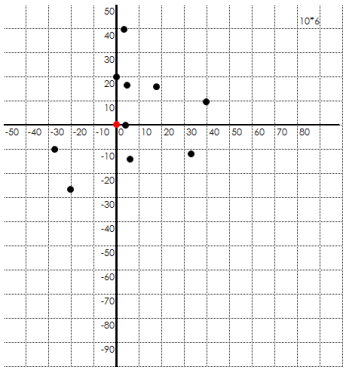
10×3(cm) 圖 66



10×4(cm) 圖 67



10×5(CM) 圖 68



10×6(cm) 圖 69

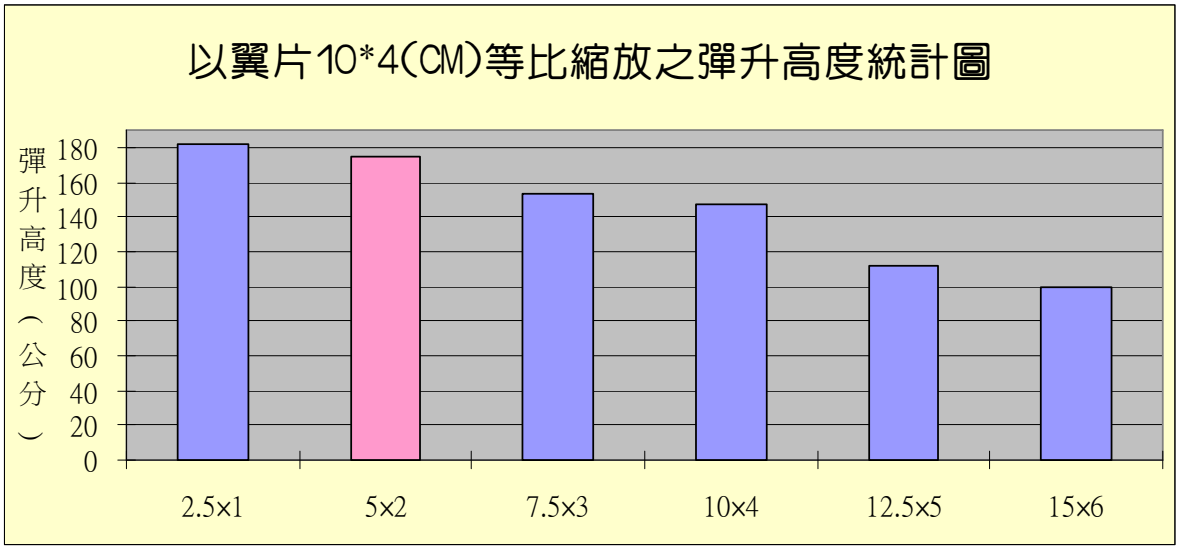
1.發現固定翼長 10 cm，改變寬度後，面積愈小，平均彈升愈高。
2.落點穩定度來看，10×2 cm 與 10*4cm 較集中也最接近原點(圖 65.67)。
3.翼片 10×3cm 、10*4cm 平均旋轉圈數 5 圈最佳。
4.綜合以上三點，以 10*4cm 創意毽穩定度最佳(圖 67)，旋轉狀態也最明顯。

(三)等比縮放的翼片對彈升高度、旋轉圈數、落點穩定度的影響比較

以 10*4 等比縮放記錄表

翼片長寬 cm×cm	平均高度 (cm)	平均旋轉圈數	落點座標
2.5×1	182	幾乎不會旋轉	圖 70
5×2	175	7 圈	圖 71
7.5×3	154	6.5 圈	圖 72
10×4	147	5 圈	圖 73
12.5×5	112	3 圈	圖 74
15×6	100	2 圈	圖 75

雙面翼尺寸													
長	寬		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
2.5	1	高度(cm)	180	175	180	180	185	180	190	170	200	180	182
		落點座標	(6,-5)	(6,0)	(-10,4)	(-10,19)	(10,0)	(35,-7)	(17,-7)	(20,5)	(-10,10)	(-40,-10)	如圖 70
5	2	高度(cm)	170	180	180	170	180	170	175	170	180	175	175
		落點座標	(5,17)	(-13,-8)	(26,7)	(19,17)	(0,-10)	(0,0)	(17,-7)	(19,-7)	(21,-3)	(-19,-2)	如圖 71
7.5	3	高度(cm)	155	145	150	155	165	155	155	140	155	160	154
		落點座標	(3,0)	(41,-20)	(1,-26)	(25,0)	(45,-18)	(0,-30)	(6,-27)	(-20,-35)	(47,-16)	(-7,02)	如圖 72
10	4	高度(cm)	140	155	150	134	145	150	155	150	160	135	147
		落點座標	(32,11)	(15,25)	(29,0)	(5,20)	((-3,35)	(10,10)	(40,7)	(10,6)	(45,21)	(10,0)	如圖 73
12.5	5	高度(cm)	125	110	110	110	110	110	115	115	105	105	112
		落點座標	(0,0)	(40,0)	(30,-10)	(25,-14)	(46-6)	(29,-4)	(44,3)	(16,22)	(26,3)	(44,-7)	如圖 74
15	6	高度(cm)	110	90	90	80	90	100	100	115	115	108	100
		落點座標	(35,27)	(-2,0)	(15,26)	(-20,-10)	(4,-15)	(29,-2)	(33,6)	(40,0)	(44,-6)	(39,15)	如圖 75



等比縮放翼片之彈升落點座標圖

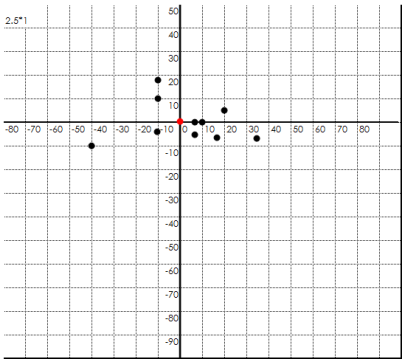


圖 70　2.5x1(cm)

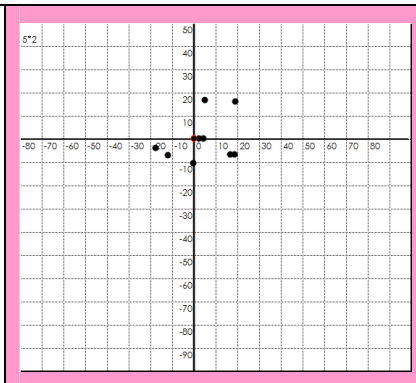


圖 71　5x2(cm)

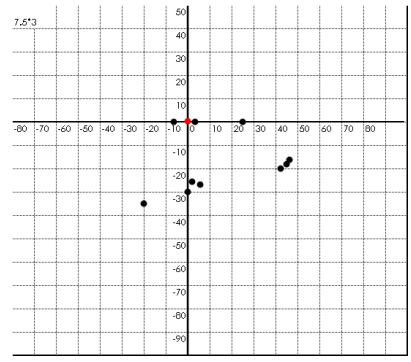


圖 72　7.5x3(cm)

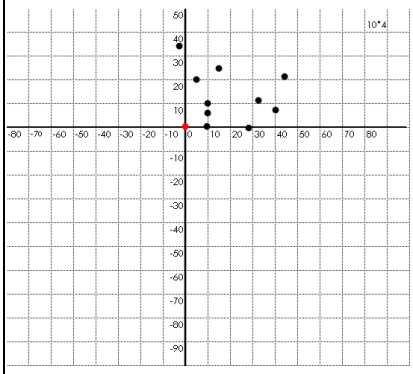


圖 73　10x4(cm)

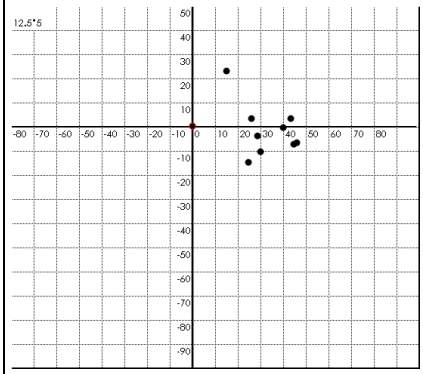


圖 74　12.5x5(cm)

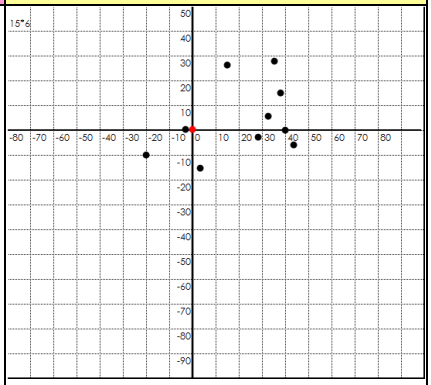
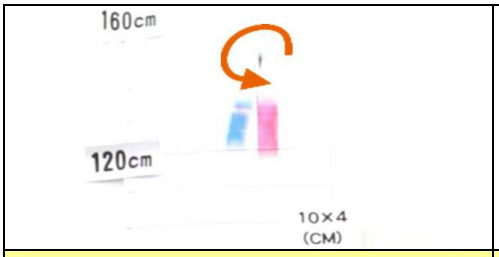
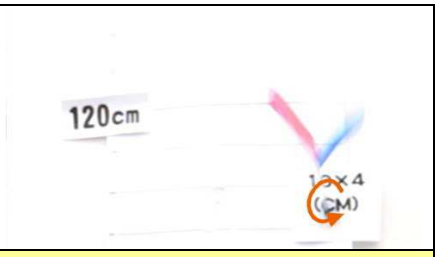


圖 75　15x6(cm)

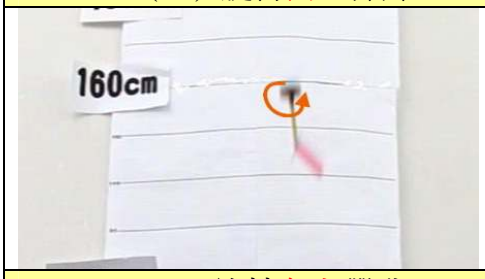
1.羽翼面積愈小彈升高度愈高，落點座標則以 2.5*1cm(圖 70)及 5*2cm(圖 71)較接近原點。
2.用錄影觀察毽子彈升的變化，發現 2.5x1cm 毽，彈升後毽底會隨著重心改變上下翻轉，但自身不太旋轉，5*2cm 毽則不只毽底翻轉，翼片也會明顯轉動(旋轉最多圈)。
3.其他毽子以 7.5x3cm 平均旋轉也多圈，但落點不穩定(圖 72)。
4.綜合以上各點，以 5*2cm 毽管 8cm 的創意毽旋轉及穩定度最佳。



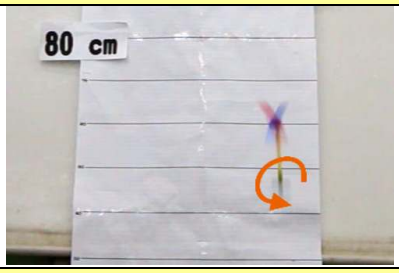
10x4(cm)　旋轉向上彈升



10x4(cm)　旋轉向下降落



5x2(cm)　旋轉向上彈升



5x2(cm)　旋轉向下降落

陸、討論

一、毽子的彈踢架是利用槓桿原理，由施力端向上拉起撞擊桿，放手後藉由橡皮筋的彈力將抗力端向上彈射，撞擊毽子的毽盤底座而向上彈升。

二、經過測試後以市售 A 毽(雞毛橡膠毽盤)最成功，彈升高度高且落點位置穩定度佳。

三、施予不同撞擊力並改變不同撞擊角度，一般說來施力小雖然落點較不會偏移，但彈飛高度低，踢毽子的人來不及反應，所以不適合。擺放橫桿的角度是水平向上時，毽子彈踢後會順勢向施力端彈飛，偏離原點較遠；擺放橫桿的角度是水平稍微向下時，毽子的撞擊點在水平線下方，被撞擊桿順勢向上帶，毽子朝正上方彈升，落點最接近原點。實驗結果顯示：施力力矩 175kg.cm，撞擊角度水平下五度的毽子，彈升高度高、落點集中且落在原點(0,0)附近，是最穩定的。

四、毽盤材質以橡膠+銅片的毽子，彈升高度高，落點在原點四周，最穩定集中。

五、毽盤大小以毽盤+直徑 2.8cm 的銅片，彈升高度高，落點分布較集中且接近原點。毽盤面積太大則阻力增加，彈升高度降低；毽盤面積太大或太小都使降落落點變得較不穩。

六、實驗結果發現：毽盤太輕，撞擊後高度不見得高，就像撞擊輕如羽毛的物體無法彈升很高；毽盤太重也會降低彈升高度，以 10g 左右的毽盤，彈升高度高，落點最集中、也最接近原點，穩定度最佳。

七、毽管長度 2.5~3cm，彈升高度高且落點集中也最接近原點。毽管高度 3.5cm 以上，會將張開的羽毛向內成束集中，彈升時減少空氣阻力，因此平均彈升高度明顯變高，但落點穩定度就較差了。毽管太短或太長，落點都很分散。

八、毽毛材質以雞毛最佳，雞毛彈升高度最高，而尼龍繩及雞毛落點較靠近原點。

九、硬羽毛數量 2~3 支向外對稱的排列方式彈升高度最高，多支羽毛向外對稱排列時落點較穩定；羽毛向內集中交叉或偏側同向的排列方式，毽子彈射後常會往羽毛較集中(較重)的方向偏移。

十、毽毛張開角度小，彈飛時阻力小，彈升高度最高；張開角度大，阻力大，高度降低許多；就落點來看，則影響較小，但毽毛張開角度適中約 120 度的穩定度最佳。

十一、毽子重心位置明顯的影響彈升高度與落點穩定度；改變毽子的重心，意外發現運行軌跡與彈飛姿態多變，非常精彩。

(一)重物集中中心，平均彈升高度較高，運行路徑也較穩定，大多沿著原點正上方向上彈升，落點較集中穩定(重心距毽底太高的除外)。重心偏離中心(靠側邊)，平均彈升高度降低，運行軌跡方向呈拋物線往重心偏側的方向落下、落點座標偏離原點較不穩定。

(二)重物距離毽盤越遠，改變重心位置，運行的軌跡與姿態變化都特別大，運行中姿態容易搖擺或翻轉(如重心集中中心距底 6cm)，又如拋物軌跡最明顯的是重心偏側邊且距毽底最遠的毽子。

(三)重心在毽底且集中中心的毽子，彈升時穩定呈毽盤在上，羽毛在下的倒立姿勢，降落時則快速翻轉成鍵盤在下的正立姿勢。但只要重心偏側邊或上移至羽毛處而不在毽盤上，毽子在運行中的姿態就不固定，時而正立、時而倒立、時而水平、或側斜、或不停翻轉，變化萬千真是有趣。

(四)另外也使用 Tracker 軟體來追蹤毽子的拋物軌跡，再把數據資料匯入 Excel 作圖分析。發現拋物軌跡隨重心位置的改變有非常明顯的影響。

十二、自製創意螺旋彈飛毽子：

(一)毽子左右兩片翼片，在毽子快速彈升時，受氣流向下推動，快速降落時，則受氣流向上推動。兩翼片受到推動的力方向相反、且不在同一直線上，因此會以氣球棍(支點)為中心旋轉。

(二)翼片面積愈小，平均彈升愈高。因此我們將表現較佳的 10*4cm 翼片等比縮放再測試，找到翼片 5*2cm 搭配 8cm 毽管的創意毽，旋轉最多圈、落點穩定度最佳。

柒、結論

一、好踢又容易穩定完成連續彈踢動作的毽子，須具備能彈升得高、滯空時間長、增加踢毽子時的反應時間)、落點要穩定不亂偏移等條件。透過本研究我們發現許多變因會影響毽子的彈升高度及落點的穩定度，總結歸納最佳毽子的材質、構造與操作方式如下：

(一)彈踢的力道要能使毽子彈升到足夠的高度，撞擊毽子的角度以水平稍微偏下時最好，毽子容易朝正上方彈升，落點最接近原點。

(二)毽子結構主要分成三個部位：毽盤、毽管和毽毛，組成最佳毽子的材質、構造大小是在橡膠材質的毽盤底部黏貼一片直徑大小相同的薄銅片，毽盤直徑約 2.8cm，毽盤重量約 10g 左右，毽管長度 2.5~3cm，毽毛材質以(軟)雞毛最佳，羽毛向外對稱的排列方式，毽毛張開角度適中約 120 度，以上是製作一個彈升高度夠高、落點穩定度佳的毽子的組合要件。

二、改變毽子的重心，發現運行軌跡與彈飛姿態多變，非常精彩。原則上重心集中中心且在毽盤上，彈飛路徑固定，彈升時呈倒立姿勢，降落時翻轉成正立姿勢，彈升高度較高，落點集中穩定。若重心偏側邊且離毽盤越遠，則運行中姿態容易搖擺或翻轉，彈升高度降低，運行軌跡呈拋物線，往重心偏的方向落下、落點座標偏離原點越遠，非常不穩定。

三、結合塑膠透明片、硬吸管來製作創意旋轉毽子，最佳構造是塑膠翼片 5*2cm 搭配 8cm 毽管，利用毽子彈升降落時，氣流阻力去推動翼片進而轉動硬吸管(中心轉軸)，運行中的旋轉毽子姿態優美，宛如空中舞者。

捌、參考資料及其他

一、文：黃曉君 (2006 年六月發行)『千變萬化的槓桿』長篇特輯、小牛頓雜誌第 220 期、第 62~81 頁。

二、2000 年 10 月發行、巧連智學習版「好玩的塑膠毽子」、第五頁。

三、http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/40//school/6/6h.htm 爸爸童年的玩意。

四、http://taes-cd2.taes.tp.edu.tw/newtitle/folk/folk/fork-dance02.htm 毽子的種類和製作。

五、http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/47/elementary/081508.pdf

【評語】080113

能自行設計製造毽子彈跳裝置，且善用現代科技軟體來分析數據，最後能根據實驗結果創造出新穎的毽子。