

投稿類別：自然科學組

篇名：落花飛旋迴空谷 百轉鳳凰溯流光—
旋轉自由落體滯空因素之研究

自強國中。黃俊諺。七年八班

自強國中。楊鈞亦。八年一班

指導老師：

徐彥哲老師

陳禹翔老師

壹、前言

一、研究動機

紙做的玩具是許多人的童年回憶，在台灣物資缺乏的年代，紙鶴、紙船、東西南北等，更是伴隨著長輩們成長不可或缺的玩具。它又輕又薄，且可塑性高，也能做成會動的玩具。紙飛機的種類不下數百種，製作容易，但在「容易」背後的變因卻是多得無法想像，因此我們在得知一種以植物「龍腦香茅」種子為藍本製作的旋轉自由落體時，便決定以這種同樣是紙做的飛行玩具為研究主題。

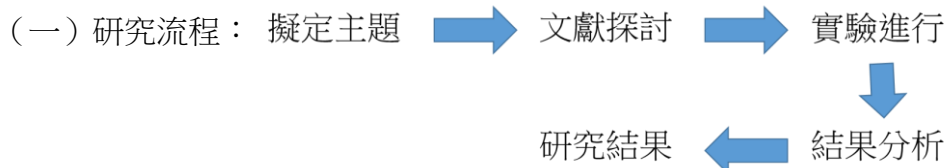
二、研究目的

- (一) 做出滯空時間最久的「龍腦香茅型旋轉自由落體」(以下簡稱自由落體)。
- (二) 探討使自由落體滯空時間較久且有效旋轉的因素。
- (三) 沿用使自由落體滯空時間較久且有效旋轉的優良因素進行之後的實驗。

三、研究器材：本研究研究器材如下表：

牛皮紙	白紙	描圖紙	剪刀	美工刀	尺
切割墊	攝影機	電腦	包裝鐵絲	極細鐵絲	錄影機
碼表	量角器	雷射高度計	慢動作播放軟體		

四、研究流程與方法：



(二) 實驗方法：

1. 選定一個不受風場影響的空間，垂直高度 6 公尺。
2. 將自由落體下放，觀察旋轉現象，並計算落地時間。
3. 以水桶將自由落體往上運送。
4. 反覆十二次，完成實驗，如右圖 1。



圖 1：實驗方法

五、文獻探討

(一) 石邦楷(2014)研究「空氣阻力對旋轉自由落體之影響」論文中提到：

1. 此論文使用的飛行器由 A4 影印紙做出質量相同的椎狀體，並在椎緣(較寬邊)剪出四到八瓣的葉片，並從角度 60 度已每 10 度增加增加至 110 度，並從三米高的投擲器將其放下，中途以相機拍攝記錄。
2. 葉片小、多的椎狀自由落體因周圍空氣阻力較小使其轉速快、下降快，滯空時間較短；葉片大、少的椎狀自由落體因周圍空氣阻力較大，滯空時間較長。

(二)自由落體的旋轉原理，如下圖 2：

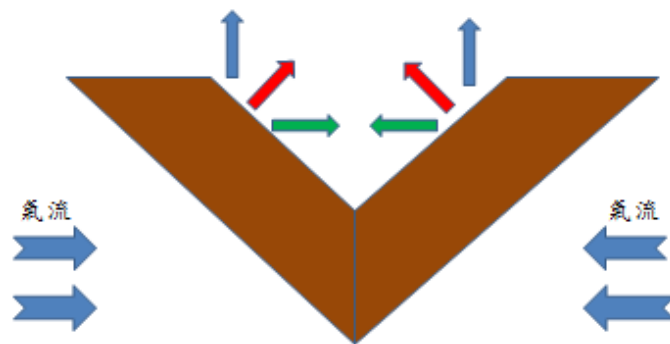


圖 2：自由落體的旋轉原理




說明：空氣阻力給予紙片的（紅色箭頭）作用力會垂直於紙片，空氣阻力的分力（藍色箭頭）又會垂直朝上，使得旋轉自由落體下降變慢，分力（綠色箭頭）又會向翅膀的兩邊成相對分散，讓翅膀造成旋轉。

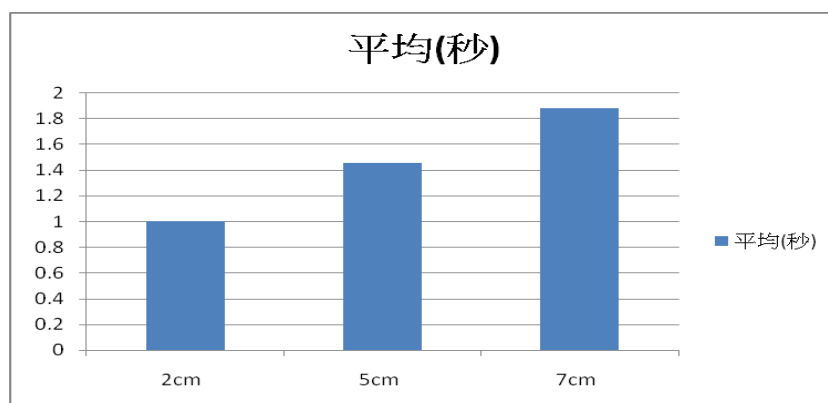
貳、正文

一、實驗結果與討論

實驗(一)：找出自由落體葉扇最佳長度

1. 用 21 公分 x2 公分的牛皮紙條對折並摺出兩片 45 度的 2 公分葉扇，設為 A 組。
2. 用 21 公分 x2 公分的牛皮紙條對折並摺出兩片 45 度的 5 公分葉扇，設為 B 組。
3. 用 21 公分 x2 公分的牛皮紙條對折並摺出兩片 45 度的 7 公分葉扇，設為 C 組。

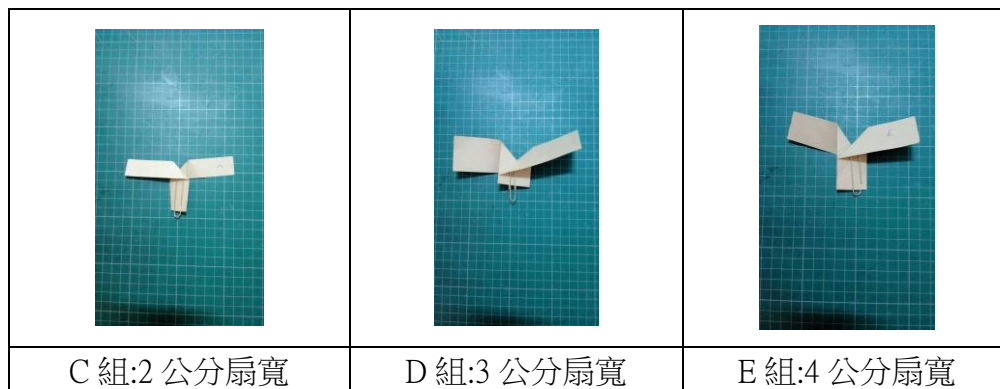
											
A 組:2 公分扇長				B 組:5 公分扇長				C 組:7 公分扇長			
次 扇長	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均(秒)
2cm	0.96	0.92	1.00	1.00	0.92	0.87	0.92	1.16	1.17	1.10	1.00
5cm	1.50	1.41	1.52	1.49	1.47	1.39	1.48	1.40	1.58	1.38	1.46
7cm	1.85	1.90	1.87	1.79	1.82	1.85	1.91	1.87	1.90	2.00	1.88



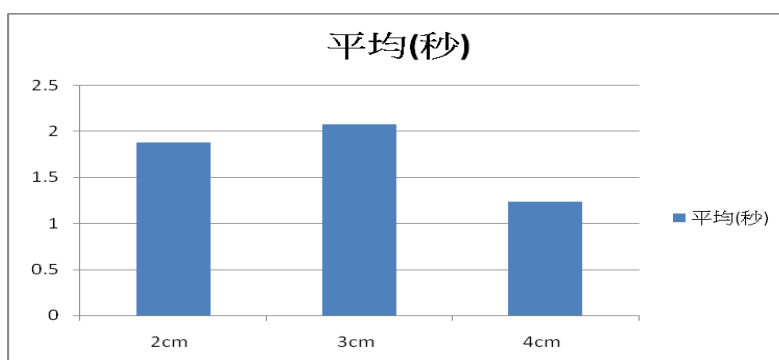
◆討論：在三組的實驗中，以葉扇最長的 C 組自由落體滯空時間最長，B 組次之，A 組居末，可見在此實驗中以葉扇長度越長，滯空時間也相對的越久，但因為葉扇過長而支撐不住空氣對其下降之阻力而扭曲使滯空時間縮短，也未可知。在下個實驗中將以滯空時間最長之 C 組作為觀察組。

實驗(二)：找出自由落體葉扇最佳寬度

- 1.沿用實驗一滯空時間最久的 C 組 21 公分 x2 公分為對照組，與實驗組比較。
- 2.用 21 公分 x3 公分的牛皮紙條對折並摺出兩片 45 度葉扇，設為 D 組。
- 3.用 21 公分 x4 公分的牛皮紙條對折並摺出兩片 45 度葉扇，設為 E 組。



次 扇長	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均(秒)
2cm	1.85	1.90	1.87	1.79	1.82	1.85	1.91	1.87	1.90	2.00	1.88
3cm	2.52	2.10	1.87	1.93	2.10	2.10	1.92	2.07	2.00	2.18	2.08
4cm	1.13	1.21	1.23	1.19	1.32	1.28	1.25	1.27	1.28	1.21	1.24

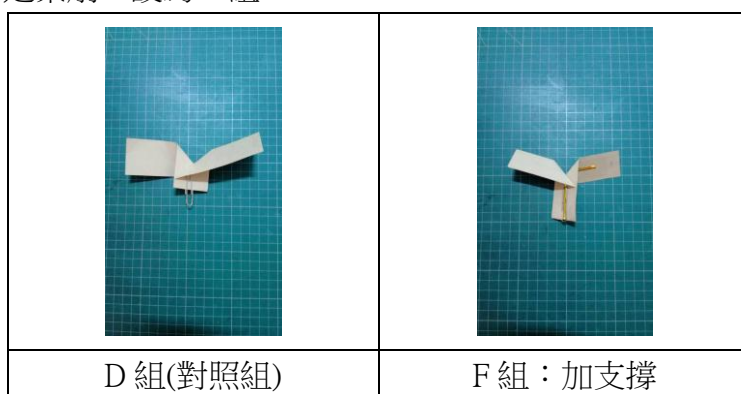


◆討論：在三組的實驗中，以葉扇次寬的 D 組自由落體滯空時間最長，E 組次之，C 組居末，可見葉扇寬為 3 公分的自由落體葉扇有夠大的表面積對抗地心引力，卻又不會因為空氣阻力使葉扇扭曲，而達到最佳效果。在下個實驗中將沿用本實驗中滯空時間最長 D 組自由落體作為對照組的。

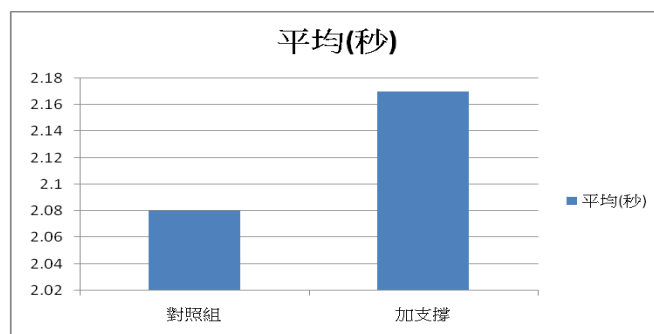
實驗(三)：自由落體葉扇的支撐與否

- 1.沿用實驗二滯空時間最久的 D 組為對照組，與實驗組比較。

2.用 21 公分 x3 公分的牛皮紙條對折並摺出 45 度兩片葉扇，再用 6 公分的包裝鐵絲固定葉扇，設為 F 組



次變因	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均(秒)
對照組	2.52	2.10	1.87	1.93	2.10	2.10	1.92	2.07	2.00	2.18	2.08
加支撐	2.03	2.18	2.04	2.15	2.16	2.16	2.70	2.06	2.12	2.14	2.17



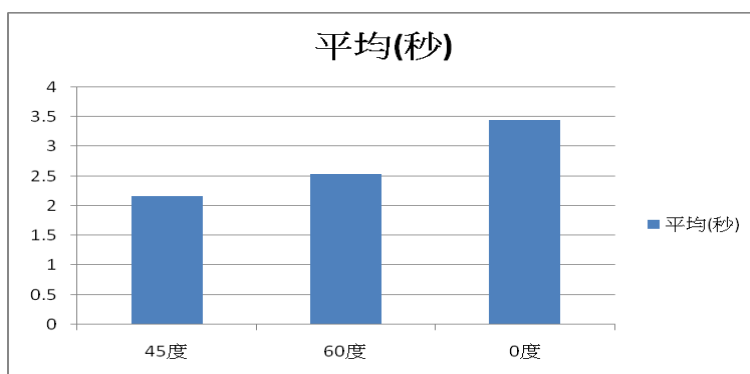
◆討論：在實驗二時，有發現葉扇會因為空氣而改變葉扇角度，因此在這次實驗裡我們用包裝鐵絲支撐葉扇，並比較有用包裝鐵絲支撐葉扇與沒用包裝鐵絲支撐葉扇的自由落體滯空時間之差異，結果發現有用包裝鐵絲固定的 F 組自由落體降落時較沒用包裝鐵絲固定葉扇的 D 組自由落體於下降時較穩定，滯空時間也相對較久。在下個實驗中將沿用本實驗滯空時間最久的 F 組自由落體為實驗組。

實驗(四)：找出自由落體葉扇的最佳角度

1. 沿用實驗三滯空時間最久的 F 組為對照組，與實驗組比較。
2. 用 21 公分 x3 公分的牛皮紙條對折並摺出兩片葉扇，再用六公分的包裝鐵絲固定葉扇，並將葉扇摺成 60 度設為 G 組。
3. 用 21 公分 x3 公分的牛皮紙條對折並摺出兩片葉扇，再用六公分的包裝鐵絲固定葉扇，並將葉扇摺成 0 度設為 H 組。



次折角	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均(秒)
45度	2.03	2.18	2.04	2.15	2.16	2.16	2.70	2.06	2.12	2.14	2.17
60度	3.00	2.20	2.14	2.21	3.13	2.32	3.21	3.00	2.21	2.00	2.54
0度	3.43	3.56	3.40	3.31	3.51	3.49	3.39	3.50	3.48	3.47	3.45



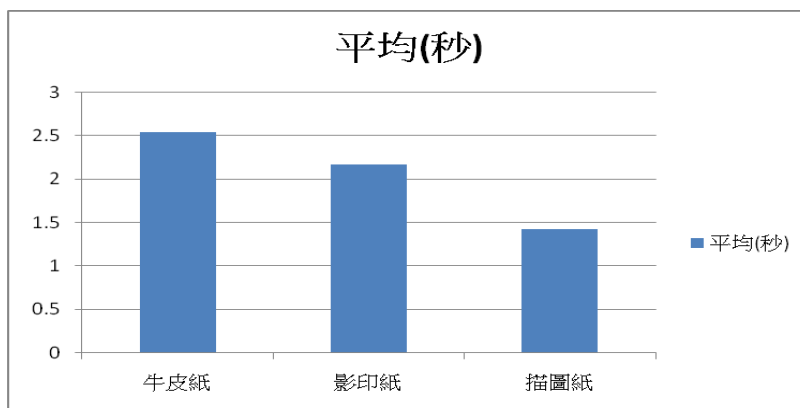
◆討論：在本實驗中，以葉扇角度為控制變因。在三組自由落體中以 H 組自由落體滯空時間最久，但其並未有效的藉旋轉增長滯空時間，只是藉旋轉飄落，故在下個實驗中不沿用 H 組自由落體。本實驗中滯空時間次久的為 G 自由落體，可見 60 度折角的葉扇功率佳，故在下個實驗中沿用 G 組自由落體為對照組。

實驗(五)：找出自由落體製作的最佳材質

1. 沿用實驗四滯空時間最久的 G 組為對照組，與實驗組比較。
2. 用 21 公分 x3 公分的影印紙條對折並摺出兩片葉扇，再用六公分的金蔥固定葉扇，並將葉扇摺成 30 度設為 I 組。
3. 用 21 公分 x3 公分的描圖紙條對折並摺出兩片葉扇，再用六公分的金蔥固定葉扇，並將葉扇摺成 30 度設為 J 組。



次 變因	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均(秒)
牛皮紙	3.00	2.20	2.14	2.21	3.13	2.32	3.21	3.00	2.21	2.00	2.54
影印紙	2.03	2.18	2.04	2.15	2.16	2.16	2.7	2.06	2.12	2.14	2.17
描圖紙	1.45	1.39	1.41	1.47	1.42	1.31	1.38	1.57	1.51	1.43	1.43



◆討論：在本實驗中，以自由落體的材質為控制變因。在三組自由落體中以 G 組自由落體滯空時間最久，I 組次之，J 組居末，探討可能是因為牛皮只兼具輕且購應的特質，而達到最好的滯空效果。本實驗中滯空時間最久的為 G 自由落體，故在下個實驗中沿用 G 組自由落體為對照組。

實驗(六)：自由落體旋轉圈數與滯空時間之關聯性

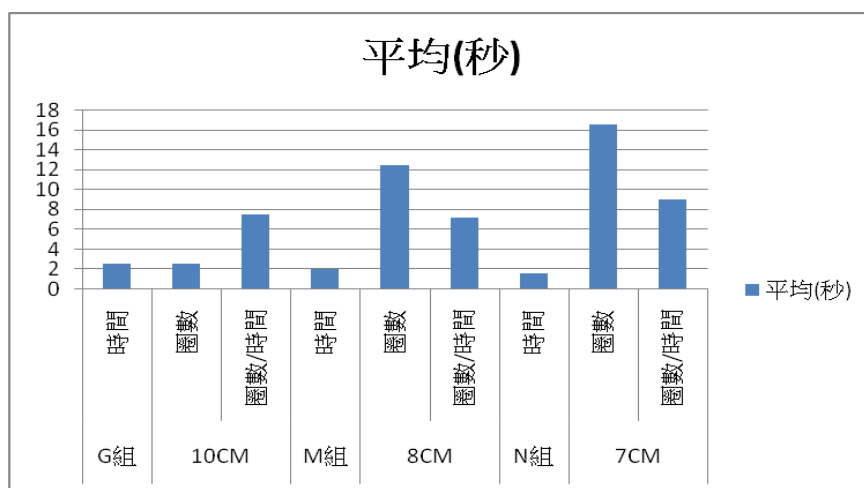
1. 沿用實驗七滯空時間最久的 G 組為對照組，並在其中一片葉扇上作記號，與實驗組比較。
2. 將 21 公分 x3 公分的牛皮紙條從中折去 3 公分，對折並摺出兩片葉扇，並在其中一片葉扇上作記號，將葉扇摺成 60 度設為 M 組。
3. 用 21 公分 x3 公分的牛皮紙條從中折去 5 公分，對折並摺出兩片葉扇，並在其中一片葉扇上作記號，將葉扇摺成 60 度設為 N 組。

落花飛旋迴空谷 百轉鳳凰溯流光—旋轉自由落體滯空因素之研究




變因		次										平均(秒)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
G 組 10CM	時間	2.44	2.25	2.35	2.41	2.31	2.69	2.78	2.57	2.78	2.53	2.51
	圈數	3.00	2.20	2.14	2.21	3.13	2.32	3.21	3.00	2.21	2.00	2.54
	圈數/時間	7.22	6.13	6.93	7.21	7.16	8.10	8.39	7.79	8.39	7.77	7.51
M 組 8CM	時間	1.93	2.07	2.03	2.03	2.00	2.00	1.88	1.97	1.81	1.86	1.96
	圈數	15.00	12.00	13.50	13.00	12.50	12.50	11.50	12.00	11.00	11.50	12.45
	圈數/時間	8.47	7.04	7.77	7.52	7.25	7.25	6.69	6.99	6.41	6.68	7.20
N 組 7CM	時間	1.57	1.44	1.62	1.47	1.54	1.46	1.39	1.40	1.56	1.46	1.49
	圈數	17.00	16.50	17.50	16.50	17.00	16.50	15.00	16.00	17.00	16.50	16.55
	圈數/時間	9.29	8.97	9.56	8.99	9.27	8.98	8.20	8.70	9.28	8.98	9.02

◆討論：在本實驗中，滯空時間以 G 組自由落體最久，M 組次之，N 組居末。可見葉扇轉速越快，自由落體滯空時間也越短，葉扇越短，下降越快。

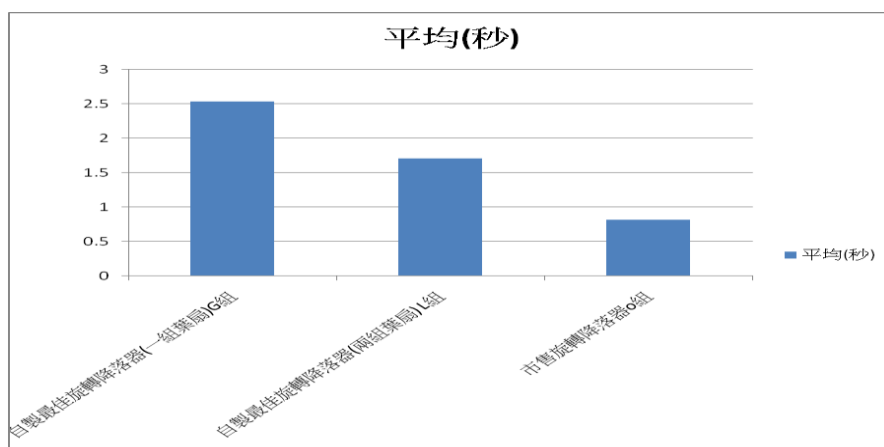


實驗(七)：自製自由落體與市售自由落體滯空時間之比較

1. 沿用實驗八滯空時間最久的 G 組為對照組，與實驗組比較。
2. 取市售旋轉自由落體與自製自由落體做比較。
3. 從學校 4 公尺無風處將 G、M、N 三組自由落體往下放。

		
G 組：一組葉扇自由落體	L 組：兩組葉扇自由落體	O 組：市售旋轉降落器

變因 \ 次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均(秒)
自製最佳旋轉降落器 (一組葉扇)G 組	3.00	2.20	2.14	2.21	3.13	2.32	3.21	3.00	2.21	2.00	2.54
自製最佳旋轉降落器 (兩組葉扇)L 組	1.83	1.71	1.84	1.53	1.98	1.63	1.76	1.59	1.68	1.59	1.71
市售旋轉降落器 o 組	0.75	0.78	0.75	0.94	0.78	0.91	0.81	0.81	0.78	0.88	0.82

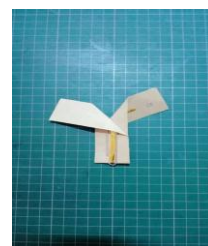


◆討論：在本實驗中，以自製自由落體一組葉扇、兩組葉扇與市售旋轉降落器做滯空時間之比較。滯空時間以 G 組最久，L 組次之，O 組居末。自製最佳自由落體滯空時間較久推測可能是因為葉扇材質是牛皮紙，相對於市售的自由落體較輕。且自製自由落體葉扇較大，與空氣接觸面積較多，下降也相對的緩慢。

參、結論

- 一、自由落體在葉扇支撐不具重量的情況下，葉扇越長滯空時間越長。
- 二、用牛皮紙製作的無支撐葉扇以 3 公分寬最佳，若葉扇過寬則在下降時會有葉扇扭曲的現象，滯空時間也會縮短。(如寬 4 公分葉扇 E 組自由落體)
- 三、在葉扇轉折處將上包裝鐵絲可加強葉扇支撐固定葉扇轉折處的角度，滯空時間也會增加。
- 四、自由落體葉扇角度以 60 度最佳。

- 五、自由落體製作材質以牛皮紙為容易取得的好材料，因為牛皮紙既輕且韌。
- 六、自由落體在加裝第二組葉扇(與第一組葉扇為反方向旋轉)時降落更趨近於垂直、更穩定。
- 七、自由落體葉扇越短，下降越快。
- 八、葉扇轉速越快，自由落體滯空時間也越短。
- 九、在葉扇之稱良好的情況下，葉扇面積越大，滯空時間越久。
- 十、本研究滯空最久且有效旋轉的自由落體為 G 組自由落體，如下圖：
- 十一、本研究降落最穩定且有效旋轉的自由落體為 L 組自由落體，如下圖：



圖二：滯空最久的自由落體



圖三：最穩定的自由落體

肆、引註資料

- 一、石邦楷(2014)「空氣阻力對旋轉自由落體之影響」論文
網址：<http://handle.ncl.edu.tw/11296/ndltd/47873986476054951410>
- 二、許良榮(2016)「科小遊戲 038—旋轉降落器」網站
網址：http://www.bud.org.tw/newgame/newgame_038.htm