

中華民國第 57 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 物理科

080111

回來吧！我的飛牌！

學校名稱：臺北市私立靜心國民中小學(小學部)

作者： 小六 尹霆揚 小六 劉文傑 小六 趙家誼 小六 李亭儀	指導老師： 蔡垂其 王晶瑩
---	-----------------------------

關鍵詞：撲克牌、旋轉、飛行

摘要

撲克牌的飛牌原理是利用作用力施力於撲克牌上，使撲克牌沿作用力的方向產生移動，且在移動的過程撲克牌本身必須產生自我旋轉，如此撲克牌才能穩定的飛行。以橡皮筋拉力產生作用力於撲克牌上，使撲克牌產生飛行的情況下，施力角度有一定的範圍，太小或過大都會使撲克牌無法穩定飛行；適當的阻擋點，可以使撲克牌產生不同的發射旋轉中心，改變撲克牌的飛行速度與飛行角度；橡皮筋拉力愈大，飛行速度愈快，飛行角度偏移愈小；撲克牌重量愈重，飛行速度愈慢，飛行角度偏移愈大。發射仰角愈大，撲克牌飛行距離會從愈來愈遠而反轉飛回愈接近的發射撲克牌的位置；同時考慮飛行速度、發射仰角、傾斜角與旋轉角，才有機會使撲克牌飛回接近發射點。

壹、研究動機

從電影與網路影片中，看到簡單的撲克牌在飛牌高手的手中，就像是充滿神奇的魔力，可以以柔克剛，對於比自身材質還硬的物質造成損傷，也可以像裝了無線遙控裝置一樣，隨著飛牌高手的心意，以直線或旋轉迴旋的路徑到達目標位置，到底這樣的飛牌技能與效果，是純粹的影片後製特效，還是真有可能發生呢？親自動手射撲克牌，卻發現丟出去的撲克牌，跟自己想像的飛行路徑完全不同，甚至飛不起來，直接就掉落地面。該如何才能讓撲克牌飛起來呢？撲克牌不同的發射條件對飛行的速度和角度有什麼影響呢？不同大小或不同材質的撲克牌對飛行的速度和角度又有什麼影響呢？如何才能控制撲克牌飛行的路徑，讓飛出去的撲克牌再飛回到自己的手中呢？

我們利用課堂學過的知識和技能：翰林版四下第一單元「有趣的力」，力的作用可以使物體產生移動或變形，橡皮筋因受力而變形，但因具有彈性而有恢復原狀的力，撲克牌受力的作用後，會產生移動；六下第一單元「力與運動」，利用橡皮筋發射撲克牌，是屬於一種接觸力，使用推拉計可測量橡皮筋的拉力大小。我們設計與製作了撲克牌飛行測試記錄裝置，並進行相關的研究實驗，希望能找出不同的發射條件對撲克牌飛行狀況的影響，同時找出可以使飛出去的撲克牌，再飛回來的條件。

貳、研究目的

- 一、撲克牌以不同的發射條件進行水平直射，對飛行狀況的影響為何？
 - (一)撲克牌不同施力角度對飛行角度和飛行速度的影響。
 - (二)增加阻擋點對飛行角度和飛行速度的影響。
- 二、橡皮筋以不同發射條件對飛行狀況的影響為何？
 - (一)橡皮筋對撲克牌以不同距離發射方式對飛行速度和角度的影響。
 - (二)橡皮筋對撲克牌以不同拉力大小進行發射對飛行速度和角度的影響。
- 三、不同撲克牌特性對飛行狀況的影響為何？
 - (一)不同撲克牌大小對飛行速度和角度的影響。
 - (二)不同撲克牌重量對飛行速度和角度的影響。
 - (三)不同撲克牌材質對飛行速度和角度的影響。
- 四、撲克牌傾斜發射對飛行狀況的影響為何？
 - (一)不同仰角對撲克牌飛行路徑的影響。
 - (二)不同傾斜角對撲克牌飛行路徑的影響。

參、研究設備及器材

一、研究器材：

1. 電子推拉計 × 1 台	2. 電子秤 × 1 台	3. 橡皮筋 × 30 條	4. 白板 × 1 塊
5. 數位錄影機 × 1 台	6. 木板 × 8 片	7. 自拍棒 × 1 支	8. 500W 燈 × 1 盞
9. 行動載具(手機) × 1 台	10. 木條 × 1 根	11. 彩色筆 × 1 盒	12. 燈架 × 1 個
13. 羊眼螺絲 × 1 支	14. 塑膠盒 × 7 個	15. 固定夾 × 2 支	16. 棉線 × 1 段
17. 透明塑膠尺 × 2 支	18. 魔鬼氈 × 1 批	19. 厚紙板 × 1 批	20. 鉛塊 × 1 批
21. 撲克牌 × 10 副	22. 電腦 × 1 台	23. 方位盤 × 2 塊	24. 榔頭 × 1 支
25. 量角器 × 1 個	26. 線鋸 × 1 支	27. 白板筆 × 1 支	28. 角架 × 2 支

二、研究設備：

1.撲克牌發射器的製作：

(1)第一代

利用六年級自然第二單元「簡單機械」的教具，槓桿塑膠尺、輪軸的塑膠底座、滑輪的螺旋鎖緊底座以及橡皮筋，製作出第一代的撲克牌發射器。如圖 1 所示。

優點：a.教具的重覆使用，再生其他的價值。

b.以組合的方式，無需黏著與鐵釘釘合。

缺點：a.橡皮筋只有一種固定方式，無法改變寬度與高度。

b.撲克牌放置方式可為直式或橫式，但無法嘗試較多的施力點，尤其是橫式更少。

(2)第二代

針對第一代撲克牌發射器的缺點 1 改善，以飛機木、厚紙板、保麗龍膠、鐵釘等為材料，製作第二代的撲克牌發射器，如圖 2。

優點：橡皮筋的固定寬度與固定高度都可以更改設定。

缺點：撲克牌放置方式可以為直式或橫式，但無法嘗試較多的施力點，尤其是橫式更少。

(3)第三代

針對第二代撲克牌發射器的缺點改善，將原本以厚紙板為材料的發射基座，改為木板製的基座，再將厚紙板製成直式與橫式的撲克牌發射平台，固定於木板基座之上，製作第三代的撲克牌發射器，如圖 3。

優點：因為可以更換發射平台，所以可以嘗試更多不同條件的施力點，所產生的飛行角度與飛行速度的差異。



圖 1. 第一代發射器



圖 2. 第二代發射器



圖 3. 第三代發射器

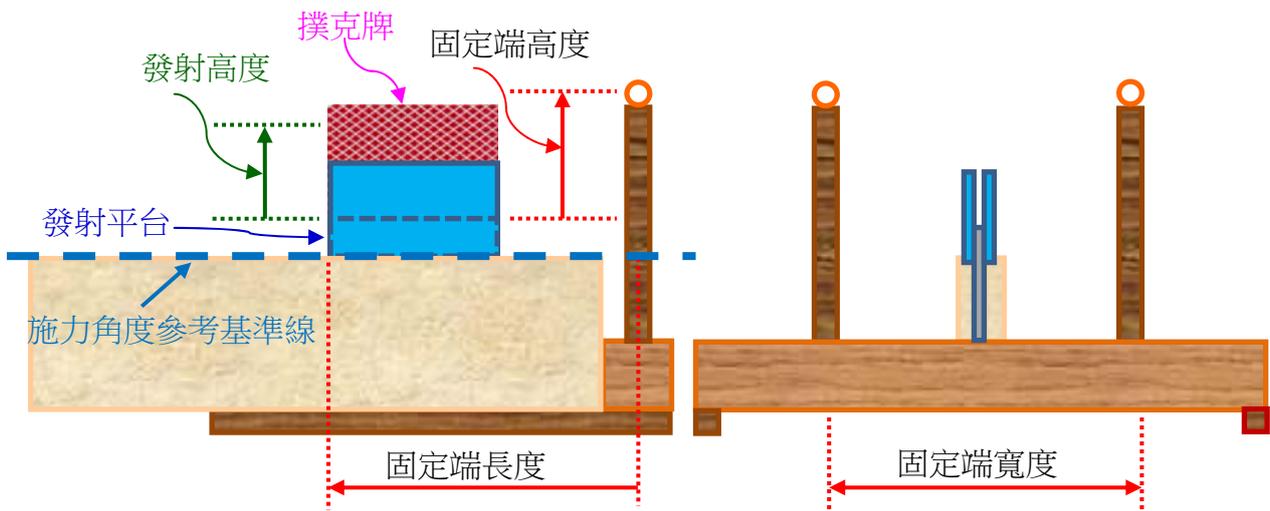


圖 4. 第三代撲克牌發射器示意圖

2. 撲克牌飛行測試記錄裝置

- (1) 在厚紙板上貼上一張量角器的圖案，並以此圖案每 5 度延伸畫出更大距離的角度測量標示線，再以量角器圖案的中心點為基準，利用縫線針將自拍棒的一端固定於量角器圖案中心，再以每 5 公分的長度伸長並畫出介於 0 度至 90 度之間的等距離標示線，如圖 5。
- (2) 將鉛塊放入塑膠盒中，再以膠帶包覆塑膠盒，作為撲克牌發射器的基座，把撲克牌發射器放置於紙盒之上，並於撲克牌與塑膠盒的接觸面以魔鬼氈固定，避免產生滑動。
- (3) 利用魔鬼氈把角架固定於燈架上，再把行動載具(手機)支架夾，夾取於角架上，以利安裝數位錄影機與行動載具(手機)，進行撲克牌飛行角度和速度的錄影記錄，如圖 6。
- (4) 因為要避免風對撲克牌飛行角度和速度的影響，因此我們選擇一個較密閉的空間，又因需要透過錄影慢動作才能分析撲克牌的飛行角度與速度，因此也增加了燈光的照射，好讓錄影的畫面可以清晰，方便分析撲克牌的飛行角度與速度，如圖 7。

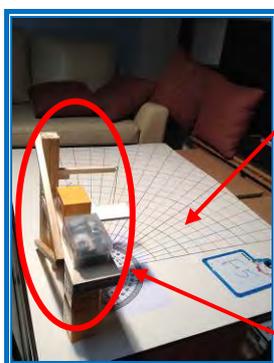


圖 5. 角度長度記錄板



圖 6. 飛行錄影裝置

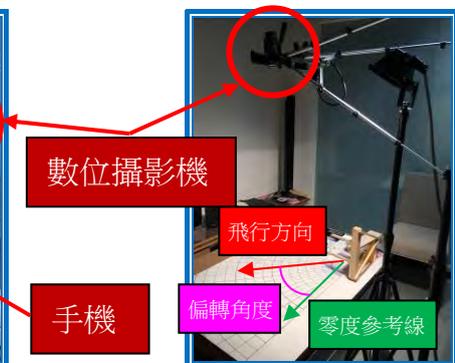


圖 7. 飛行測試記錄裝置

3.撲克牌飛行角度與速度的實驗前說明與量測

- (1)撲克牌的**飛行速度**，是將實驗時數位攝影機所拍攝的影片，以電腦軟體將 1 秒分成 30 個影格，再以每一個影格所顯示的撲克牌中心位置，記錄於實驗的結果統計圖，取用兩個影格之間距最大者，將此距離乘上 30 倍，就是每秒移動的距離，也就是**飛行速度**。
- (2)撲克牌的**旋轉狀況**，是將實驗時行動載具(手機)所拍攝的慢動作影片，再加上手動微動播放，觀察撲克牌發射出去後，自我旋轉一圈所經過的長度，作為**旋轉狀況**。
- (3)撲克牌的**飛行狀況**，是指撲克牌發射後是否能穩定的自我旋轉與向前方飛行的狀況，若發射 5 次全都能穩定的自我旋轉與向前方飛行，稱為**穩定飛行**；若發射 5 次全都無法穩定的飛行，則稱為**無法飛行**，若發射 5 次，有 1 至 4 次可以穩定的飛行，稱為**不穩定飛行**。
- (4)用尺量取撲克牌的長與寬，一般撲克牌大小尺寸為長 8.8 公分×5.8 公分，如**圖 8**。
- (5)利用電子秤測量一副張撲克牌共 54 張，每一張的重量並記錄，如**圖 9** 所示。實驗所使用的撲克牌單張重量為 1.48 ± 0.03 克。

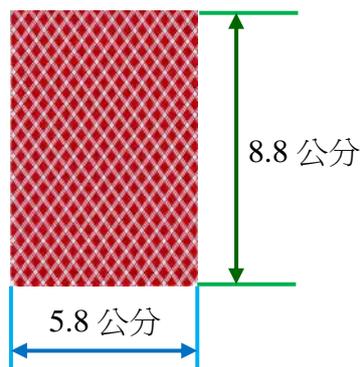


圖 8.撲克牌的尺寸



圖 9.量測撲克牌重量

- (6)用電子推拉計測試撲克牌發射器的橡皮筋拉力大小，固定端寬度固定時，拉力可連續由 0 克，到發射器可發射最大的固定端長度得到 765 克，如**圖 10**、**圖 11**、**圖 12**。為了避免橡皮筋的彈性疲乏，因此後續實驗選擇接近中間值的 350 ± 35 克。

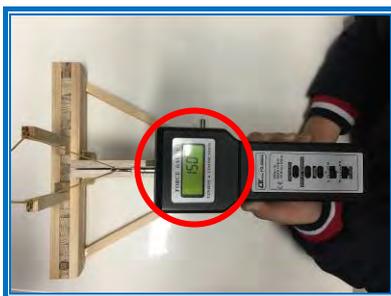


圖 10.拉力為 150 克

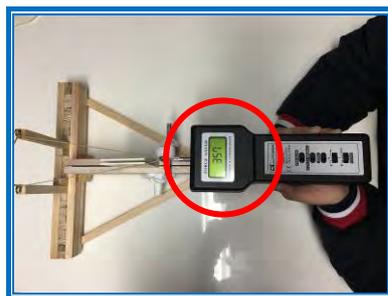


圖 11. 拉力為 357 克



圖 12. 拉力為 765 克

肆、研究過程或方法

一、撲克牌以不同的發射條件進行水平直射，對飛行狀況的影響為何？

(一) 撲克牌不同施力角度對飛行角度和飛行速度的影響。

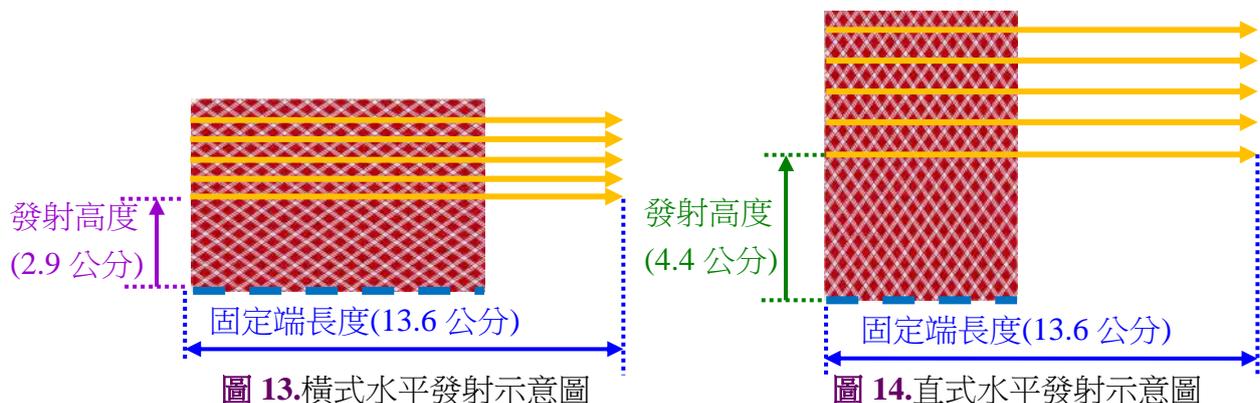
實驗 A：撲克牌用橡皮筋以施力角度零度發射，不同的發射高度對飛行狀況的影響為何？

實驗 A-1：橫式撲克牌(如圖 13 示意圖)

- 1.將撲克牌發射器固定端寬度設定為 10.8 公分，撲克牌以橫式的方式放置於橫式發射平台。
- 2.配合撲克牌橫放的高度，以中心點所在高度 2.9 公分為發射高度的位置，撲克牌發射器的固定端高度則配合發射高度調整，使橡皮筋能以施力角度零度發射撲克牌。
- 3.以推拉計拉動橡皮筋，並調整發射平台的位置，使拉力達到 350 公克(± 35 公克)。
- 4.把撲克牌發射器，放置並固定於撲克牌飛行測試記錄裝置中，打開數位錄影機與行動載具(手機)進行慢動作錄影。
- 5.利用手指施力將橡皮筋拉至 350 ± 35 公克的位置，將撲克牌發射出去。
- 6.重覆發射 5 張撲克牌，觀察記錄撲克牌的飛行狀況。
- 7.關閉數位錄影機與行動載具(手機)慢動作錄影，獲取的撲克牌飛行狀況影片，將進行事後的飛行狀況分析使用。
- 8.分別再以撲克牌的發射高度為 3.4 公分、3.9 公分、4.4 公分、4.9 公分，重覆進行步驟 2 至步驟 7。

實驗 A-2：直式撲克牌(如圖 14 示意圖)

- 1.與實驗 A-1 步驟相同，但將橫式的方式，改為直式的方式，發射平台也改為直式。
- 2.撲克牌的發射高度為 4.4 公分、5.3 公分、6.2 公分、7.1 公分、8 公分。



實驗 B：撲克牌以不同的的施力角度對飛行狀況的影響為何？

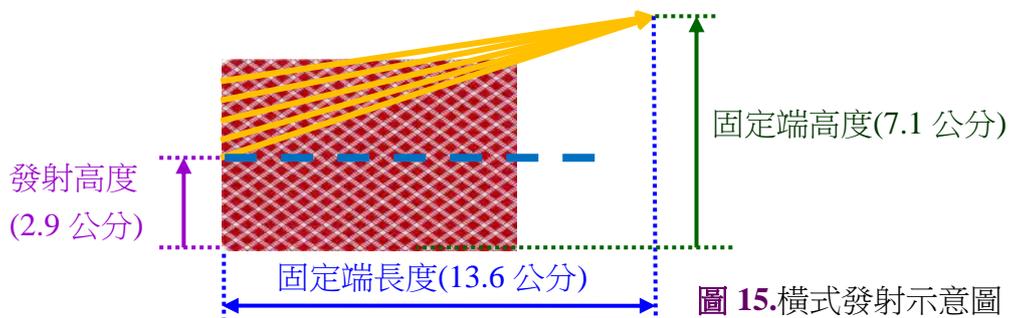
實驗操作步驟與實驗 A 相似，控制變因和操作變因如下所列：

實驗 B-1：橫式撲克牌，不同的發射高度位置(如圖 15 示意圖)

控制變因：發射器固定端寬度為 10.8 公分、固定端長度為 13.6 公分、固定端高度為 7.1 公分、拉力 350 ± 35 公克。

操作變因：施力角度（固定端高度減掉發射高度，與固定端長度，可以轉換成施力角度）

發射高度	2.9 公分	3.4 公分	3.9 公分	4.4 公分	4.9 公分
施力角度	17.16°	15.55°	13.24°	11.23°	9.19°

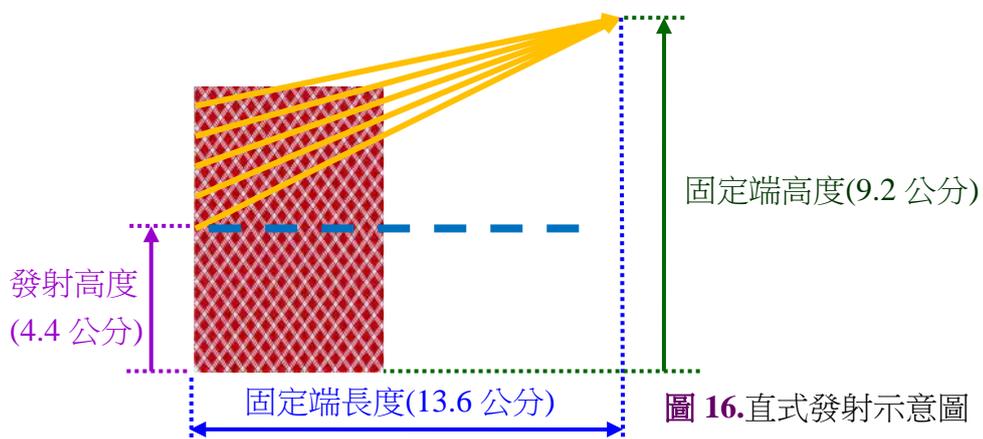


實驗 B-2：直式撲克牌，不同的發射高度位置(如圖 16 示意圖)

控制變因：發射器固定端寬度為 10.8 公分、固定端長度為 13.6 公分、固定端高度為 9.2 公分、拉力 350 ± 35 公克。

操作變因：施力角度（固定端高度扣掉發射高度，與固定端長度，可以轉換成施力角度）

發射高度	4.4 公分	5.3 公分	6.2 公分	7.1 公分	8 公分
施力角度	19.44°	16°	12.44°	8.78°	5.04°

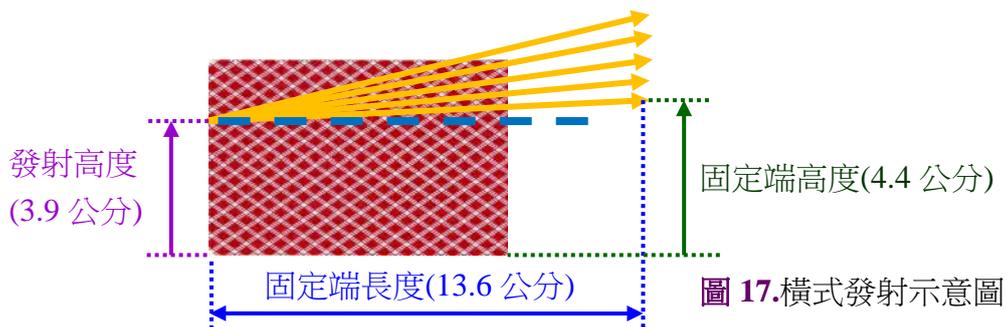


實驗 B-3：橫式撲克牌，不同的固定端高度(如圖 17 示意圖)

控制變因：發射器固定端寬度為 10.8 公分、固定端長度為 13.6 公分、發射高度為 3.9 公分、
拉力 350±35 公克。

操作變因：施力角度（固定端高度扣掉發射高度，與固定端長度，可以轉換成施力角度）

固定端高度	4.4 公分	4.9 公分	6.2 公分	7.1 公分	8 公分
施力角度	2.11°	4.21°	9.6°	13.24°	16.78°

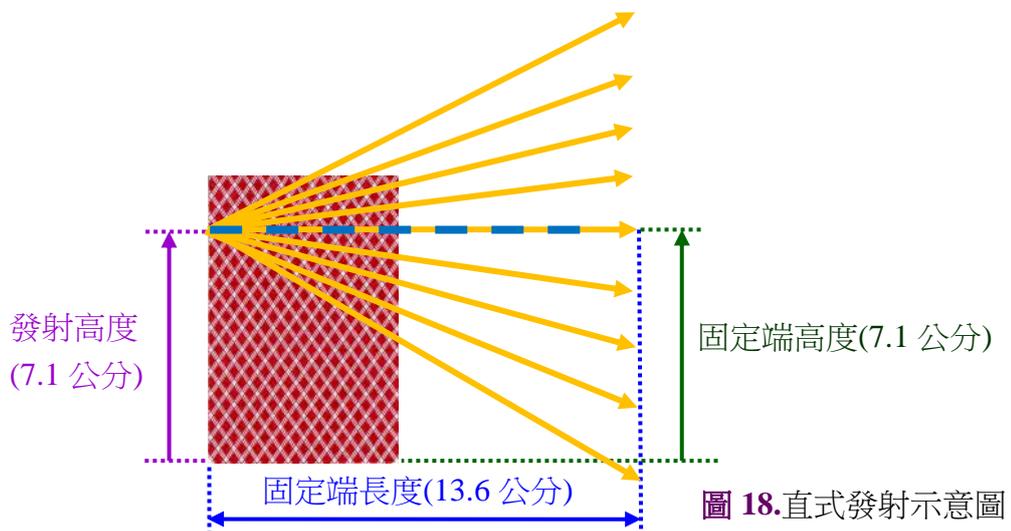


實驗 B-4：直式撲克牌，不同的固定端高度(如圖 18 示意圖)

控制變因：發射器固定端寬度為 10.8 公分、固定端長度為 13.6 公分、發射高度為 7.1 公分、
拉力 350±35 公克

操作變因：施力角度（固定端高度扣掉發射高度，與固定端長度，可以轉換成施力角度）

固定端高度	-0.5 公分	2.9 公分	4.4 公分	5.3 公分	7.1 公分	11.2 公分	12.5 公分	14.5 公分	16.5 公分
發射角度	-29.2°	-17.16°	-11.23°	-7.54°	0°	16.78°	21.66°	28.55°	34.65°



(二) 增加阻擋點對飛行角度和飛行速度的影響。

實驗 C：撲克牌以施力角度零度發射，相同的發射高度位置，增加不同的阻擋高度

實驗操作步驟與實驗 A 相似，但增加阻擋高度：

實驗 C-1：橫式撲克牌(如圖 19 示意圖)

控制變因：發射器固定端寬度為 10.8 公分、固定端長度為 13.6 公分、發射高度為 4.4 公分、拉力 350 ± 35 公克，撲克牌以橫式的方式放置於橫式發射平台上。

操作變因：阻擋高度，分別為 0.9 公分、1.4 公分、1.9 公分、2.4 公分、2.9 公分。

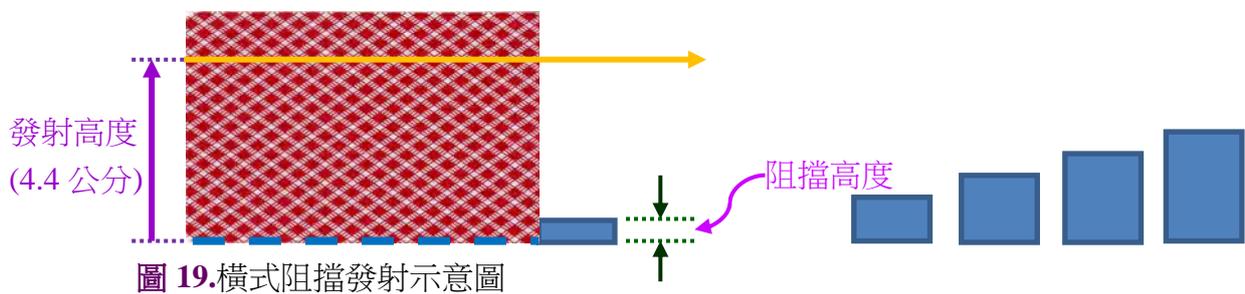


圖 19.橫式阻擋發射示意圖

實驗 C-2：直式撲克牌(如圖 20 示意圖)

控制變因：發射器固定端寬度為 10.8 公分、固定端長度為 13.6 公分、發射高度為 7.1 公分、拉力 350 ± 35 公克，撲克牌以直式的方式放置於直式發射平台上。

操作變因：阻擋高度，分別為 0.8 公分、1.7 公分、2.6 公分、3.5 公分、4.4 公分。

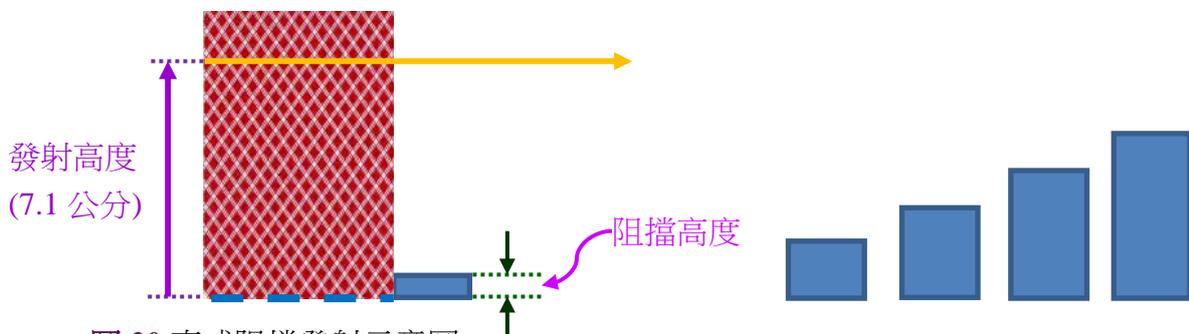


圖 20.直式阻擋發射示意圖

二、橡皮筋以不同發射條件對飛行狀況的影響為何？

(一) 橡皮筋對撲克牌以不同距離發射方式對飛行速度和角度的影響。

實驗 D：橡皮筋對撲克牌的以不同距離的發射方式，對撲克牌的飛行狀況影響為何？

實驗操作步驟與實驗 A 相似，控制變因和操作變因如下所列：

控制變因：固定端寬度設定為 10.8 公分，固定端的高度設定為 7.1 公分，發射高度設定為 7.1 公分、拉力 350 ± 35 公克，撲克牌以直式的方式放置於直式發射平台上，如圖 21 示意圖。

操縱變因：橡皮筋離撲克牌的發射距離，分別為 0 公分(接觸)、1 公分、2 公分、3 公分、4 公分

(二) 橡皮筋對撲克牌以不同拉力大小進行發射對飛行速度和角度的影響。

實驗 E：橡皮筋以不同的拉力大小發射撲克牌，對撲克牌的飛行狀況影響為何？

控制變因：固定端寬度設定為 10.8 公分，固定端的高度設定為 7.1 公分，發射高度設定為 7.1 公分，撲克牌以直式的方式放置於直式發射平台上。

操縱變因：調整橡皮筋的鬆緊度，以推拉計拉動橡皮筋，使拉力達到 150 ± 35 公克、 250 ± 35 公克、 350 ± 35 公克、 450 ± 35 公克、 550 ± 35 公克，如圖 22 示意圖

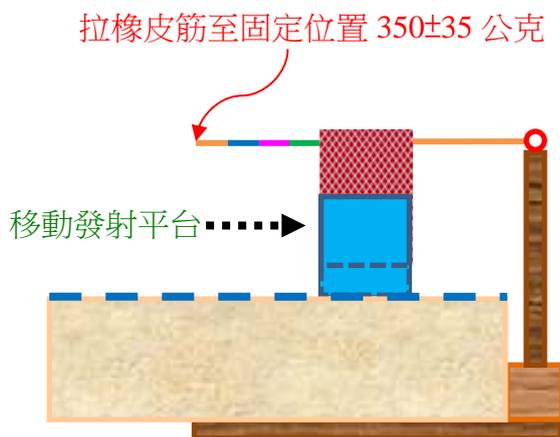


圖 21. 橡皮筋不同距離示意圖

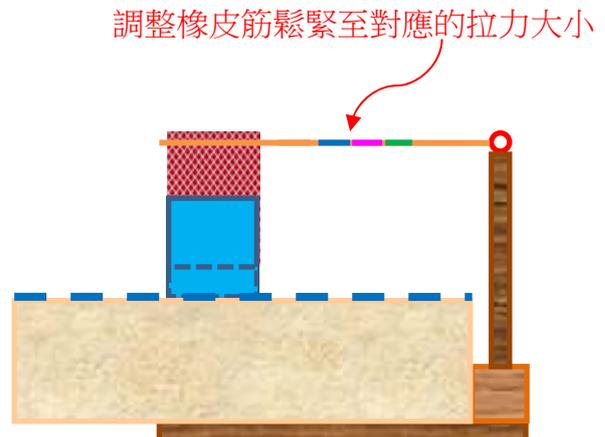


圖 22. 橡皮筋不同拉力大小示意圖

三、不同撲克牌特性對飛行狀況的影響為何？

(一) 不同撲克牌大小對飛行速度和角度的影響。

實驗 F：撲克牌不同大小尺寸，對撲克牌的飛行狀況影響為何？

控制變因：固定端寬度設定為 10.8 公分，拉力 350 ± 35 公克，撲克牌以直式的方式放置於直

式發射平台上，配合撲克牌直放的高度，以撲克牌一半至頂端約三分之二的所在高度作為發射高度的位置，撲克牌發射器的固定端高度則配合發射高度調整，使橡皮筋能以施力角度零度發射撲克牌。

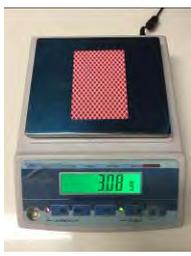
操縱變因：由原大小 8.8x5.4 公分，依比例裁切變小，尺寸為 8x5.3 公分、7.2x4.8 公分、6.4x4.2 公分、5.6x3.7 公分。

(二)不同撲克牌重量對飛行速度和角度的影響。

實驗 G：撲克牌不同重量，對撲克牌的飛行狀況影響為何？

控制變因：固定端寬度設定為 10.8 公分，固定端的高度設定為 7.1 公分，發射高度設定為 7.1 公分、拉力 350±35 公克，撲克牌以直式的方式放置於直式發射平台上。

操縱變因：撲克牌重量，利用雙面膠黏貼撲克牌，以達到相同大小，不同重量。

撲克牌張數	1	2	3	4	5
秤重圖片					
撲克牌重量(g)	1.46	3.08	4.68	6.32	7.98

(三)不同撲克牌材質對飛行速度和角度的影響。

實驗 H：撲克牌不同材質，對撲克牌的飛行狀況影響為何？

控制變因：固定端寬度設定為 10.8 公分，固定端的高度設定為 7.1 公分，發射高度設定為 7.1 公分、拉力 350±35 公克，撲克牌以直式的方式放置於直式發射平台上。

操縱變因：撲克牌材質，利用不同材質的材料，裁切成撲克牌的大小尺寸。

材質	撲克牌	塑膠牌	宣傳單封面	宣傳單內頁(亮面紙)	餅乾包裝外盒	墊板	集點卡
圖片							
重量(g)	1.49	1.93	1.51	0.93	2.18	2.66	1.2

四、撲克牌傾斜發射對飛行狀況的影響為何？

(一)不同仰角對撲克牌飛行路徑的影響。

實驗 I：不同仰角對撲克牌飛行路徑的影響。

- 1.由上述不同的實驗，選擇撲克牌發射後，較會自我旋轉的實驗條件，固定端高度為 8 公分，發射高度為 5.3 公分，固定端長度為 13.6 公分，拉力 350 ± 35 公克，作為本實驗的基準條件。
- 2.依實驗飛行角度調整撲克牌發射器，使撲克牌可以朝向實驗者的正前方射出。
- 3.調整撲克牌飛行測試記錄裝置，以利記錄撲克牌發射器不同仰角時，撲克牌的飛行路徑。
- 4.將撲克牌發射器底部黏貼魔鬼氈，以仰角 0 度(水平)固定於直立的方位板上。
- 5.打開數位錄影機與行動載具(手機)進行慢動作錄影。
- 6.利用手指施力將橡皮筋拉至 350 ± 35 公克的位置，將撲克牌發射出去。
- 7.重覆發射 5 張撲克牌，觀察記錄撲克牌的飛行狀況。
- 8.關閉數位錄影機與行動載具(手機)進行慢動作錄影，獲取的撲克牌飛行狀況影片，將進行事後的飛行狀況分析使用。
9. 再以仰角每次增加 10 度，最大至 90 度，重覆進行步驟 4 至步驟 8。

(二)不同傾斜角對撲克牌飛行路徑的影響。

實驗 J：不同傾斜角對撲克牌飛行路徑的影響。

- 1.由實驗六得知，撲克牌可以迴旋回到最接近發射點的仰角，以此為實驗設定條件。
- 2.將撲克牌發射器的傾斜角設定為 55 度。
- 3.打開數位錄影機與行動載具(手機)進行慢動作錄影。
- 4.利用手指施力將橡皮筋拉至 350 ± 35 公克的位置，將撲克牌發射出去。
- 5.重覆發射 5 張撲克牌，觀察記錄撲克牌的飛行狀況。
- 6.關閉數位錄影機與行動載具(手機)進行慢動作錄影，獲取的撲克牌飛行狀況影片，將進行事後的飛行狀況分析使用。
- 7.記錄撲克牌落下的位置，距離發射點的距離。
- 8.分別再以傾斜角為 60 度、65 度、70 度、75 度、80 度、85 度、90 度，重覆進行步驟 3 至步驟 7。

伍、研究結果

因篇幅有限，故將完整的實驗記錄數據列於原始資料記錄本中，說明書中將相關數據之平均值繪製成統計圖表，並進行實驗結果分析。

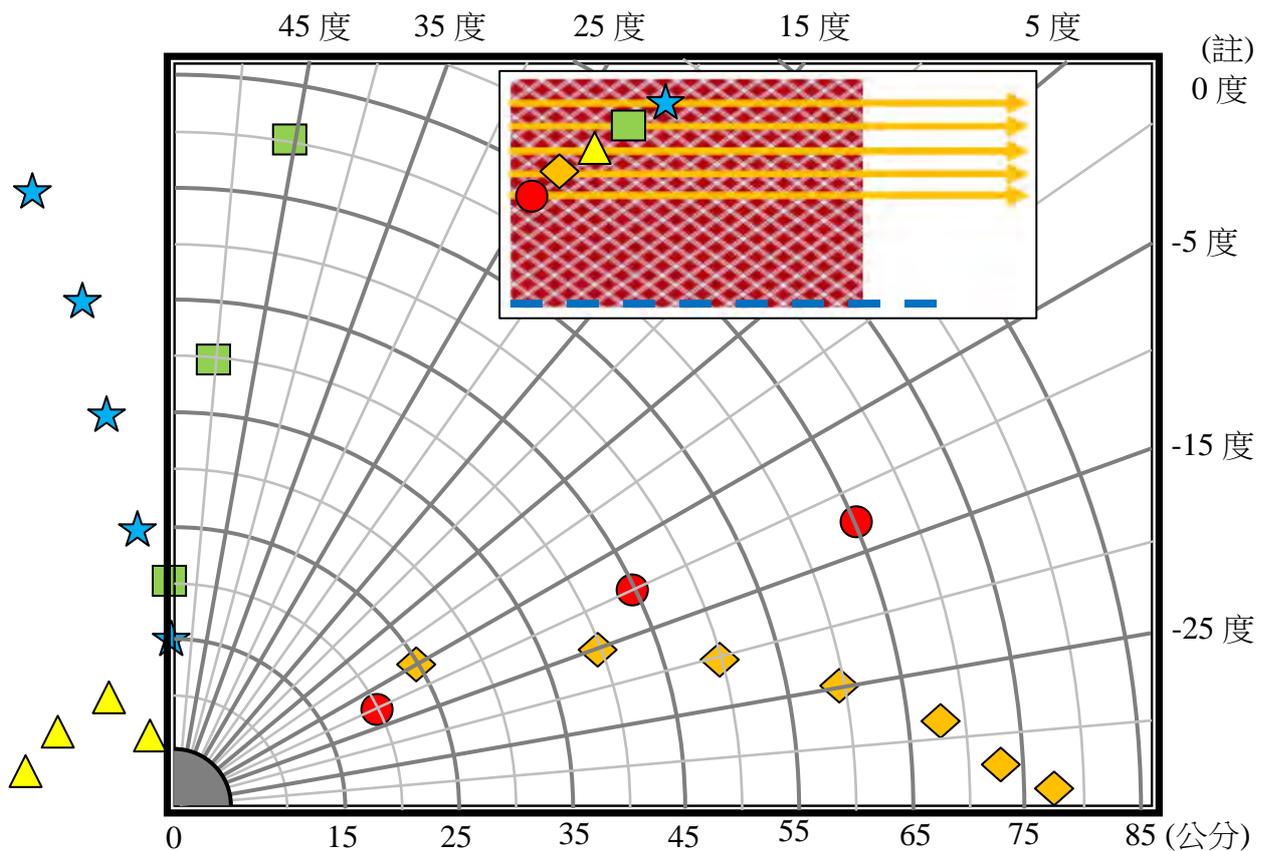
一、撲克牌以不同的發射條件進行水平直射，對飛行狀況的影響為何？

(一)撲克牌不同施力角度對飛行角度和飛行速度的影響。

實驗 A：撲克牌用橡皮筋以施力角度零度發射，不同的發射高度對飛行狀況的影響為何？

實驗 A-1：橫式撲克牌(註：配合撲克牌飛行偏移角度可測量範圍，調整發射器的施力角度。)

發射高度	圖例顏色	平均角度	平均速度(公分/秒)	旋轉狀況(公分/圈)	飛行狀況
2.9 公分	●	-10°	750	×	不穩定飛行
3.4 公分	◆	曲線	450	×	不穩定飛行
3.9 公分	▲	曲線	150	×	無法飛行
4.4 公分	■	45°	600	30	穩定飛行
4.9 公分	★	55°	300	×	不穩定飛行



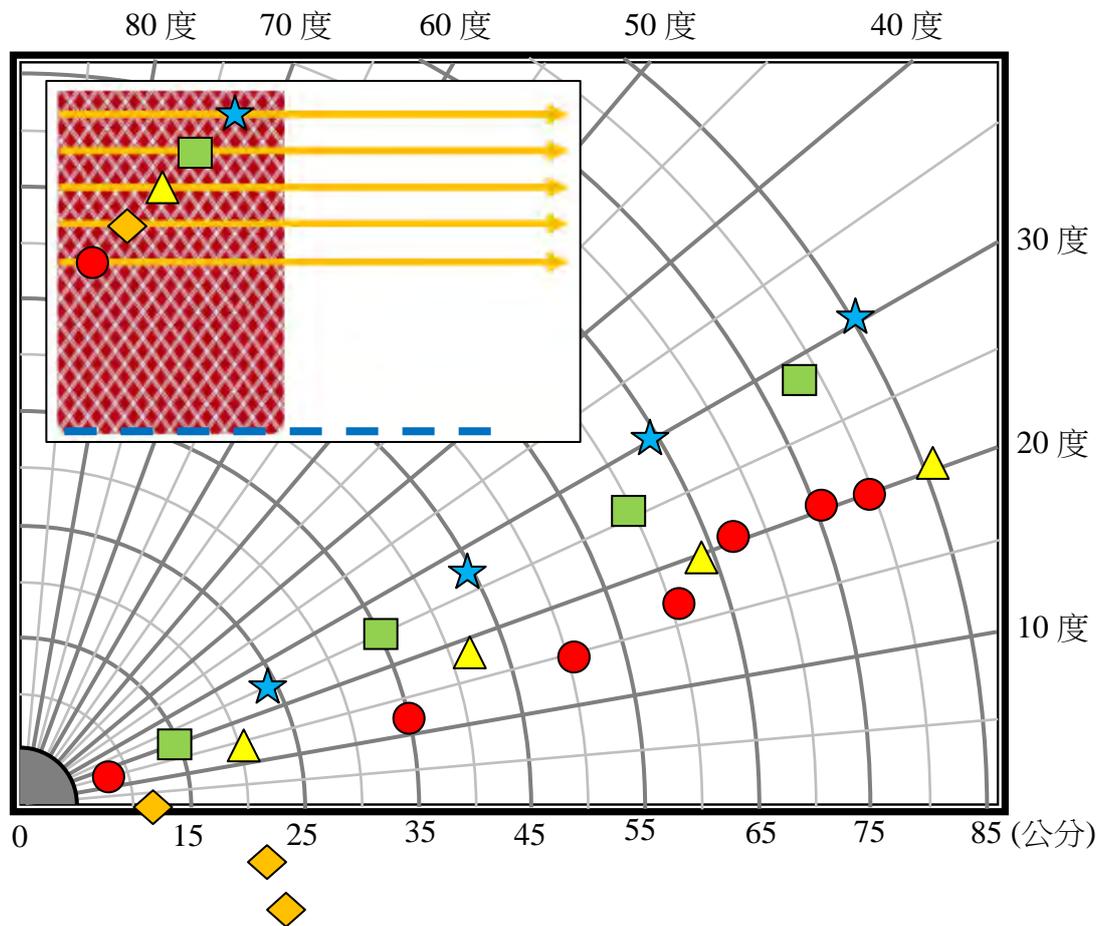
結果分析：

- 1.發射點至第一點位置的距離可能不是最大，而兩點之間的位置距離較大，就表示速度較快。
- 2.水平發射高度 2.9 公分速度最快，偏離中心的飛行角度也是最小的，約為-10 度，但也因缺

少自我旋轉而產生側翻的情形；水平發射高度 4.4 公分，因施力角度較適當，產生自我旋轉，故飛行較為穩定。

實驗 A-2：直式撲克牌

發射高度	圖例顏色	平均角度	平均速度(公分/秒)	旋轉狀況(公分/圈)	飛行狀況
4.4 公分	●	曲線	810	×	無法飛行
5.3 公分	◆	曲線	300	×	無法飛行
6.2 公分	▲	20	720	30	穩定飛行
7.1 公分	■	25	750	20	穩定飛行
8 公分	★	30	630	10	穩定飛行



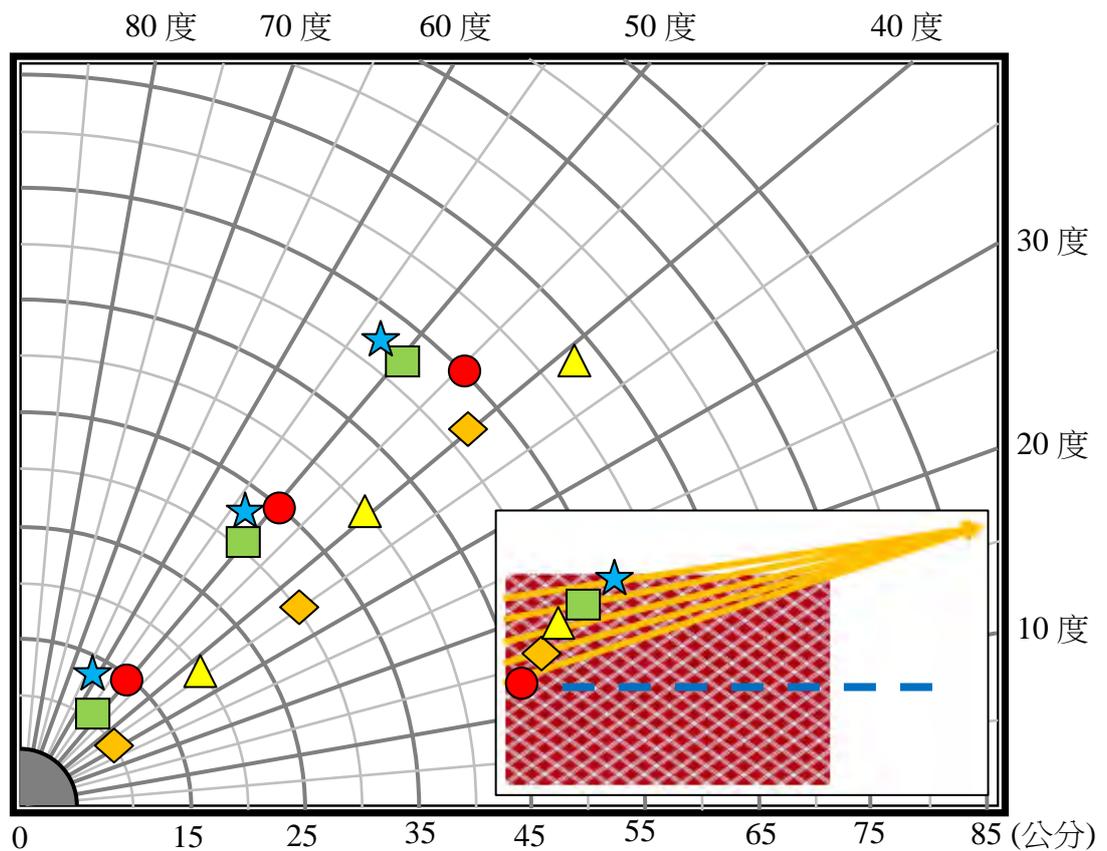
結果分析：

- 1.發射高度 4.4 公分水平直射，撲克牌無自我旋轉，而造成一發射後，反而形成翻轉的情形。
- 2.發射高度 7.1 公分水平直射，第二點到第三點之間的距離較大，表示在這個範圍內是飛行速度最快的時候，因為撲克牌剛發射出去的時候，速度會由靜止慢慢加速到最大速度，再漸漸減速變慢回到靜止的狀態。
- 3.發射高度 8 公分水平直射，因較靠近撲克牌邊緣，當撲克牌發射後，可以得到較大的自我旋轉力量，因此旋轉狀況數據較低，也表示自我旋轉較為明顯。

實驗 B：撲克牌以不同的的施力角度對飛行狀況的影響為何？

實驗 B-1：橫式撲克牌，不同的發射高度位置

發射高度	圖例顏色	平均角度	平均速度(公分/秒)	旋轉狀況(公分/圈)	飛行狀況
2.9 公分	●	47.5	600	25	穩定飛行
3.4 公分	◆	37.5	660	25	穩定飛行
3.9 公分	▲	40	690	25	穩定飛行
4.4 公分	■	50	660	23	穩定飛行
4.9 公分	★	52.5	570	20	穩定飛行

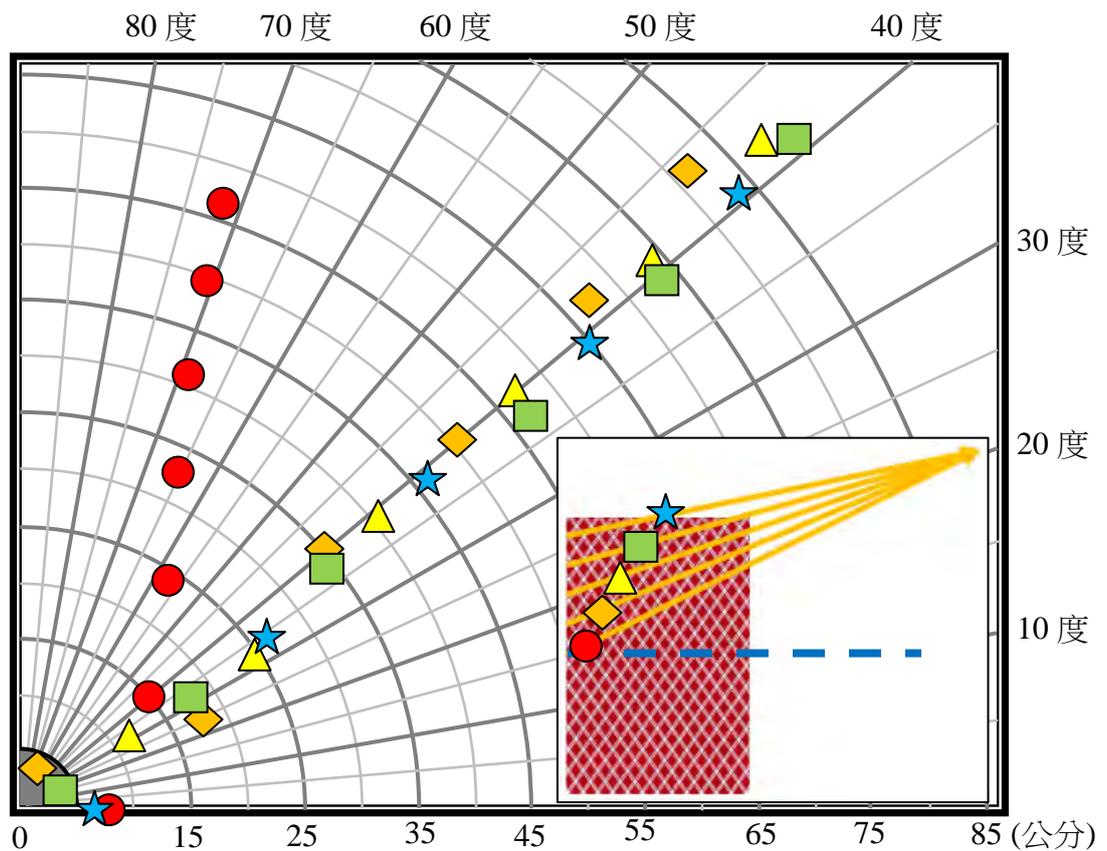


結果分析：

- 1.於本實驗中，發射方式為橫式撲克牌時，當固定端高度增加高於發射高度，使發射時不再是水平發射，而是有一個朝斜上的施力角度，撲克牌皆能在發射後，以穩定飛行方式向斜前方飛行。
- 2.本實驗中，發射高度為 4.9 公分，轉換為最小的施力角度為 9.19 度時，得到的偏轉角為最大 52.5 度，因為此條件下，作用力對撲克牌造成自我旋轉較為明顯，因此飛行速度也隨之變小。

實驗 B-2：直式撲克牌，不同的發射高度位置

發射高度	圖例顏色	平均角度	平均速度(公分/秒)	旋轉狀況(公分/圈)	飛行狀況
4.4 公分	●	70	360	25	穩定飛行
5.3 公分	◆	40	510	15	穩定飛行
6.2 公分	▲	40	450	25	穩定飛行
7.1 公分	■	40	660	20	穩定飛行
8 公分	★	40	600	20	穩定飛行

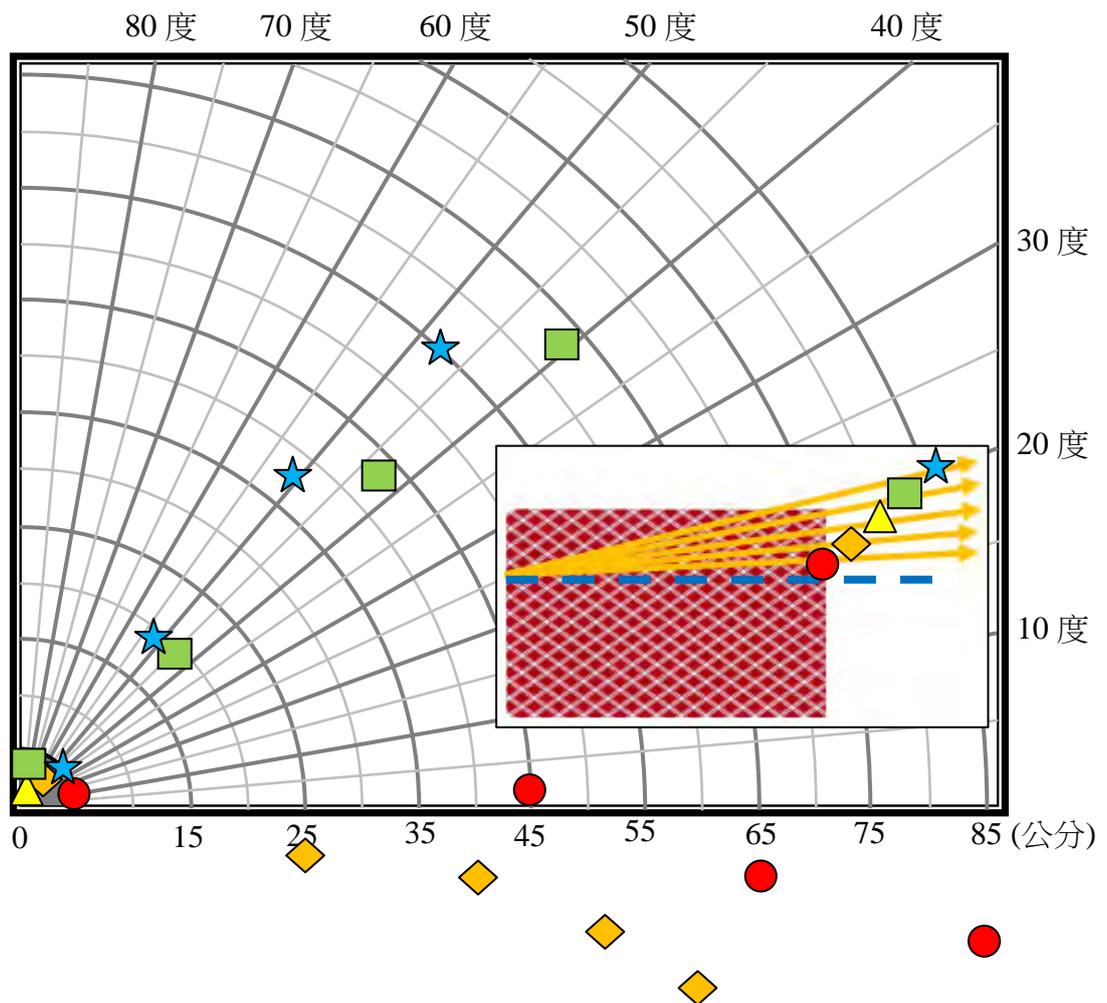


結果分析：

- 1.發射高度 4.4 公分，在發射撲克牌後，撲克牌又碰撞到橡皮筋，而產生飛行角度的轉彎較大；其餘四個的飛行角度都大約在 40 度左右。
- 2.發射高度 5.3 公分在發射撲克牌後，撲克牌也是有碰撞到橡皮筋，而造成第二點的位置有轉彎的情況。

實驗 B-3：橫式撲克牌，不同的固定端高度

施力角度	圖例顏色	平均角度	平均速度(公分/秒)	旋轉狀況(公分/圈)	飛行狀況
2.11°	●	曲線	1200	×	無法飛行
4.21°	◆	曲線	750	×	無法飛行
9.6°	▲	×	×	×	無法飛行
13.24°	■	40	690	20	穩定飛行
16.78°	★	50	540	30	穩定飛行

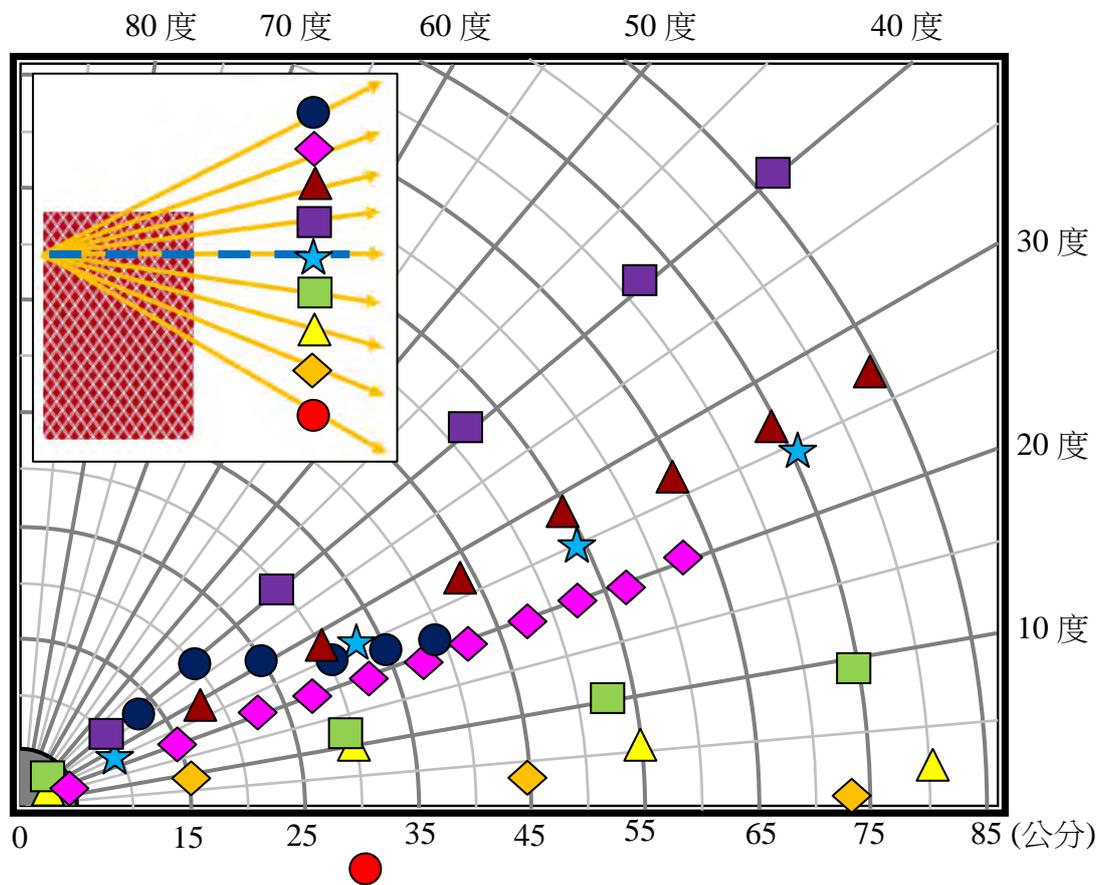


結果分析：

1. 施力角度 2.11 度和施力角度 4.21 度的撲克牌，因角度太小接近水平發射，因此發射後無法產生自我旋轉，而形成撲克牌翻轉的情形，所以無法穩定飛行。
2. 撲克牌以施力角度 9.6 度發射時，一開始發射，就會碰到橡皮筋，而完全無法發射。

實驗 B-4：直式撲克牌，不同的固定端高度

施力角度	圖例顏色	平均角度	平均速度(公分/秒)	旋轉狀況(公分/圈)	飛行狀況
-29.2°	●	-25	930	×	無法飛行
-17.16°	◆	3	900	21	穩定飛行
-11.23°	▲	5	750	19	穩定飛行
-7.54°	■	10	720	18	穩定飛行
0°	★	25	690	16	穩定飛行
16.78°	■	40	660	24	穩定飛行
21.66°	▲	27	420	20	不穩定飛行
28.55°	◆	20	300	13	無法飛行
34.65°	●	曲線	×	×	無法飛行



結果分析：

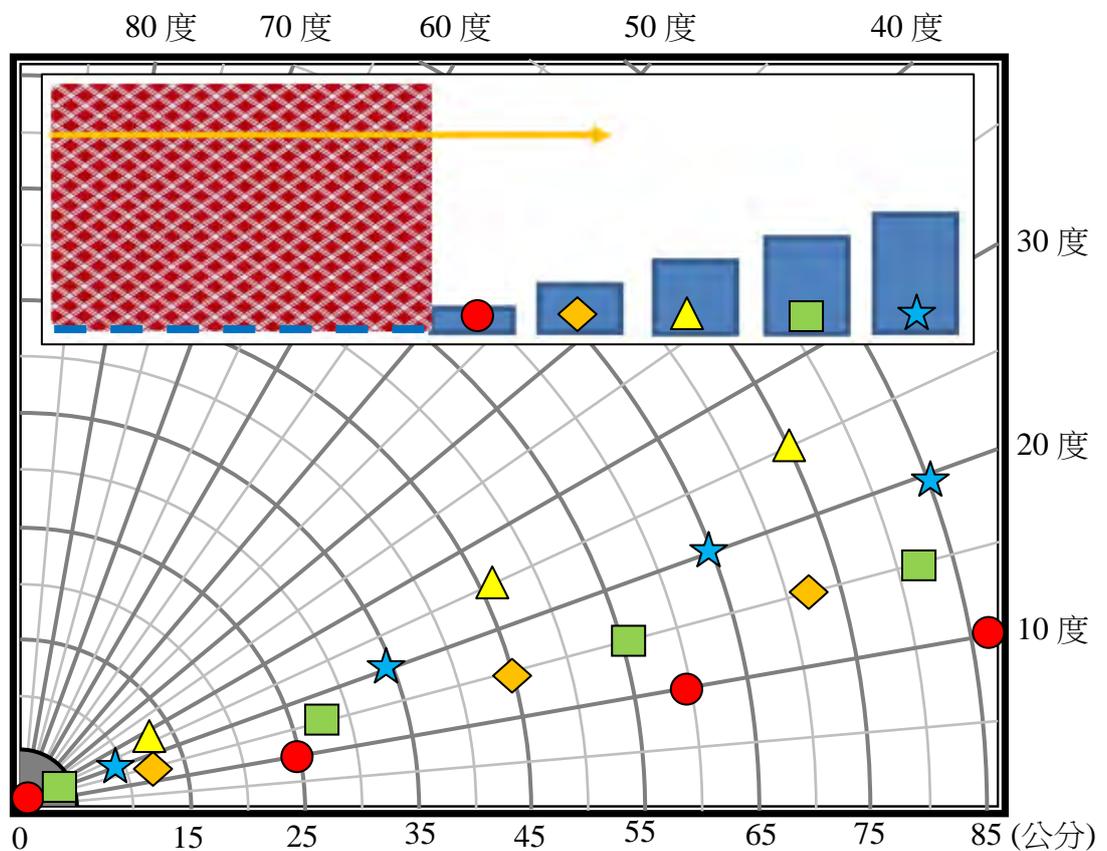
1. 施力角度-29.2 度的撲克牌，發射後無法產生自我旋轉，而形成撲克牌翻轉的情形。
2. 施力角度 28.55 度與施力角度 34.65 度，因施力角度過大，使作用於撲克牌的作用力太小，故撲克牌無法獲得足夠的力進行自我旋轉與前進飛行。
3. 施力角度太小或過大，都會造成無法自我旋轉與前進飛行。

(二)增加阻擋點對飛行角度和飛行速度的影響。

實驗 C：撲克牌以施力角度零度發射，相同的發射高度位置，增加不同的阻擋高度

實驗 C-1：橫式撲克牌，增加不同的阻擋高度

阻擋高度	圖例顏色	平均角度	平均速度(公分/秒)	旋轉狀況(公分/圈)	飛行狀況
0.9 公分	●	10	1050	22	穩定飛行
1.4 公分	◆	15	990	21	穩定飛行
1.9 公分	▲	25	960	20	穩定飛行
2.4 公分	■	15	840	19	穩定飛行
2.9 公分	★	20	750	17	穩定飛行

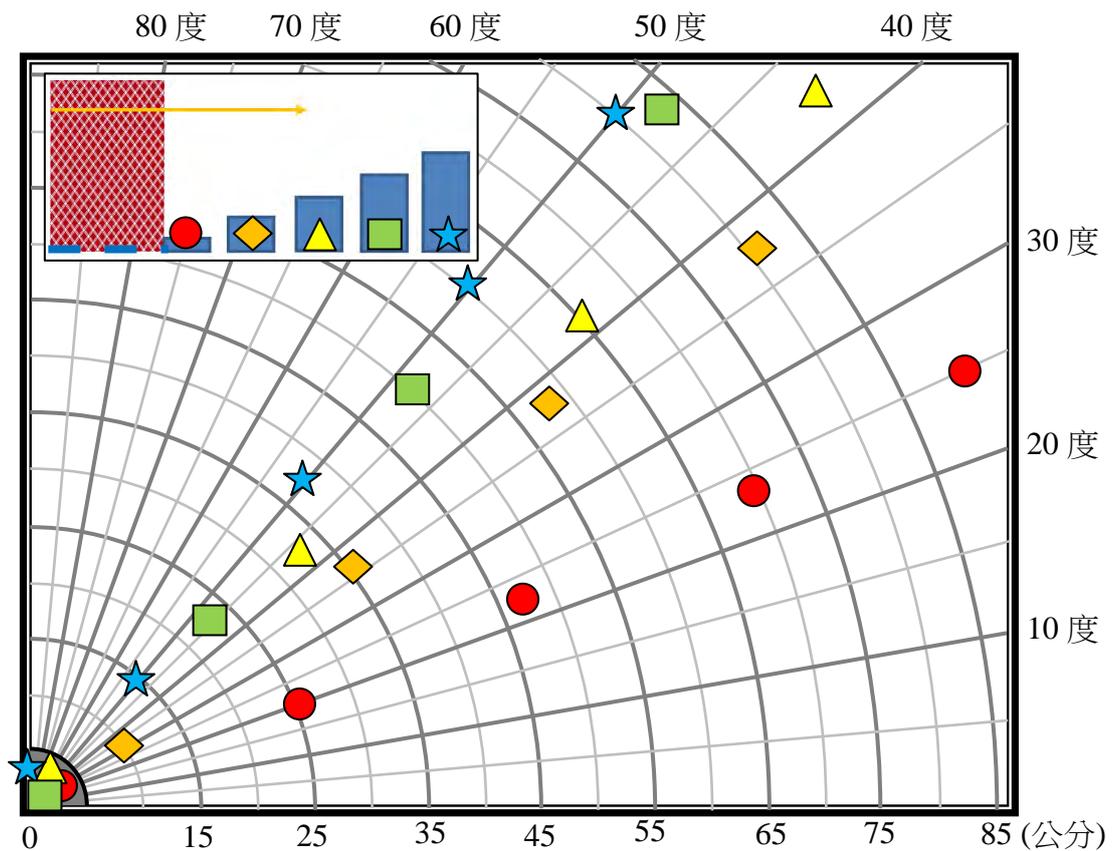


結果分析：

- 1.從實驗 A-1 與實驗 C-1 的比較，發現實驗 C-1 增加阻擋高度，改善了實驗 A-1 原本飛行的情況，增加了飛行速度，也減少了飛行角度的偏轉。
- 2.隨著阻擋高度的增加，飛行速度有減慢的情形產生。

實驗 C-2：直式撲克牌，增加不同的阻擋高度

阻擋高度	圖例顏色	平均角度	平均速度(公分/秒)	旋轉狀況(公分/圈)	飛行狀況
0.8 公分	●	22.5	690	16	穩定飛行
1.7 公分	◆	38	750	17	穩定飛行
2.6 公分	▲	42	990	21	穩定飛行
3.5 公分	■	48	1020	22	穩定飛行
4.4 公分	★	50	690	14	穩定飛行



結果分析：

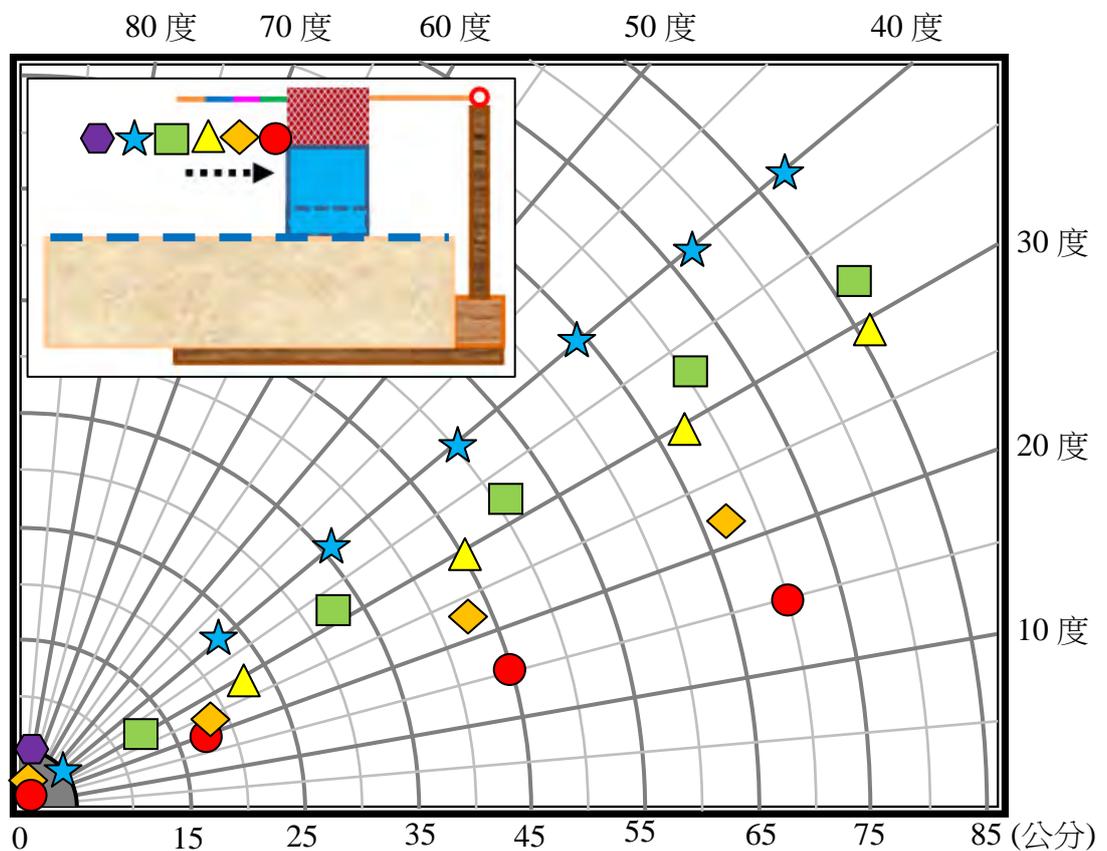
1. 從實驗 A-2 與實驗 C-2 的比較，增加了阻擋高度，對撲克牌的飛行速度和飛行角度，都會產生相對的影響。
2. 直式撲克牌的發射，在增加了阻擋高度後，隨著阻擋高度的增加，偏轉的飛行角度，也跟著增加。

二、橡皮筋以不同發射條件對飛行狀況的影響為何？

(一)橡皮筋對撲克牌以不同距離發射方式對飛行速度和角度的影響。

實驗 D：橡皮筋對撲克牌的以不同距離的發射方式，對撲克牌的飛行狀況影響為何？

發射距離	圖例顏色	平均角度	平均速度(公分/秒)	旋轉狀況(公分/圈)	飛行狀況
0 公分	●	20	840	17	穩定飛行
1 公分	◆	25	750	16	穩定飛行
2 公分	▲	30	690	16	穩定飛行
3 公分	■	32	600	15	穩定飛行
4 公分	★	40	570	10	穩定飛行
5 公分	◆	×	×	×	無法飛行



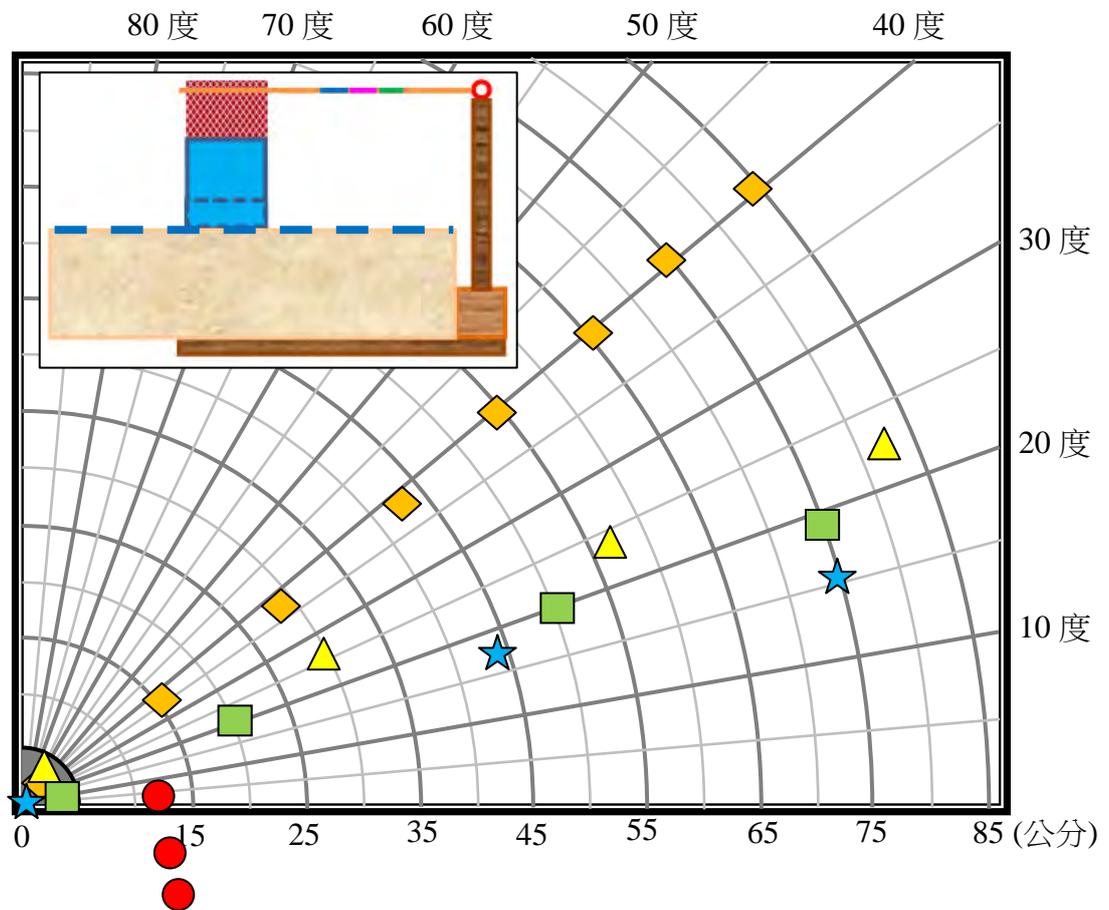
結果分析：

- 1.相同拉力發射撲克牌，距離撲克牌距離愈遠，撲克牌受到的作用力也就變小，作用力變小偏轉的角度也就變大。
- 2.發射距離 5 公分，因為撲克牌距離橡皮筋已有 5 公分，相對的橡皮筋的作用力也變得更小了，因此飛行距離只有一點點，也產生一些些的自我旋轉。

(二)橡皮筋對撲克牌以不同拉力大小進行發射對飛行速度和角度的影響。

實驗 E：橡皮筋以不同的拉力大小發射撲克牌，對撲克牌的飛行狀況影響為何？

拉力大小	圖例顏色	平均角度	平均速度(公分/秒)	旋轉狀況(公分/圈)	飛行狀況
150g	●	×	×	×	無法飛行
250g	◆	40	390	11	穩定飛行
350g	▲	23	750	19	穩定飛行
450g	■	20	900	20	穩定飛行
550g	★	17	1320	24	穩定飛行



結果分析：

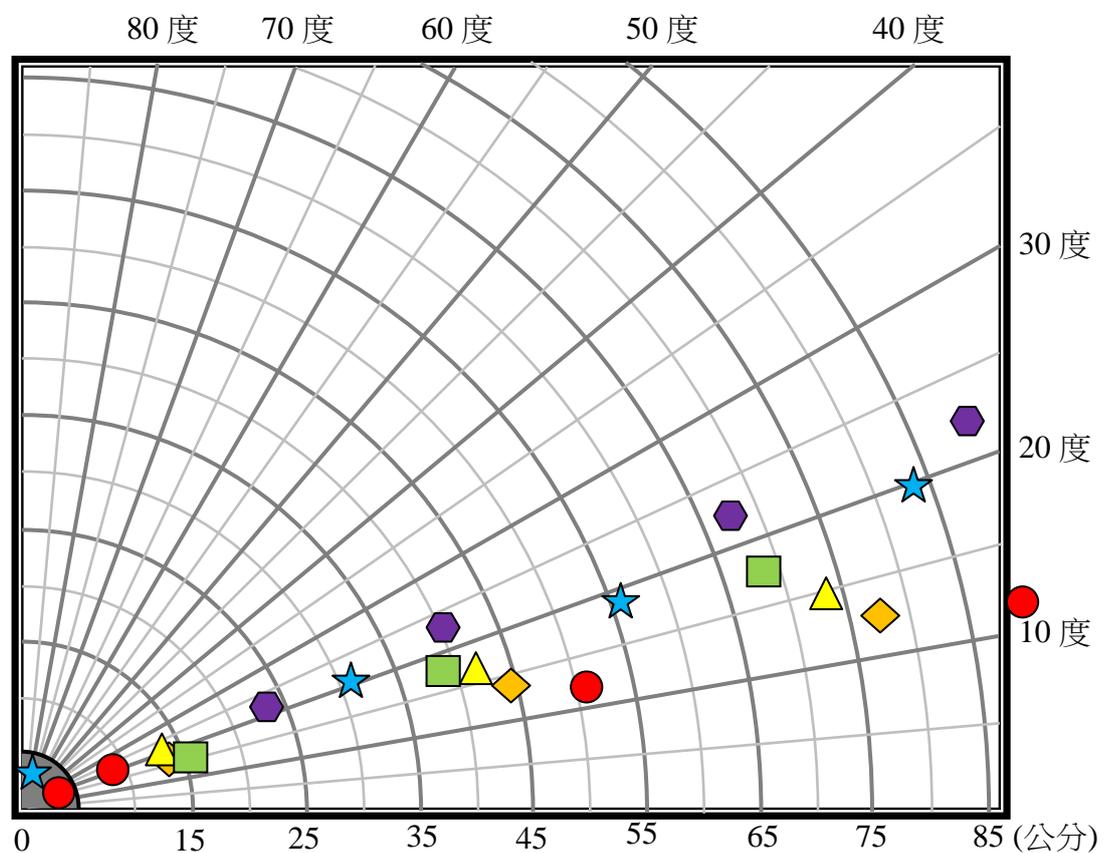
1. 拉力 150 ± 35 公克，撲克牌發射後，直接掉落在發射器前方，因此拉力太小，無法發射撲克牌。
2. 隨著拉力愈大，飛行的速度也就愈快，飛行的偏轉角度就愈小。
3. 因為飛行的速度快，因此自我旋轉的的距離，相對的也就增大。

三、不同撲克牌特性對飛行狀況的影響為何？

(一)不同撲克牌大小對飛行速度和角度的影響。

實驗 F：撲克牌不同大小尺寸，對撲克牌的飛行狀況影響為何？

實驗編號	圖例顏色	平均角度	平均速度(公分/秒)	旋轉狀況(公分/圈)	飛行狀況
4.8×3.2	●	12	1260	無法識別	穩定飛行
5.6×3.7	◆	13	960	無法識別	穩定飛行
6.4×4.2	▲	15	900	無法識別	穩定飛行
7.2×4.8	■	18	840	17	穩定飛行
8×5.3	★	20	780	19	穩定飛行
8.8×5.4	◆	22	750	23	穩定飛行



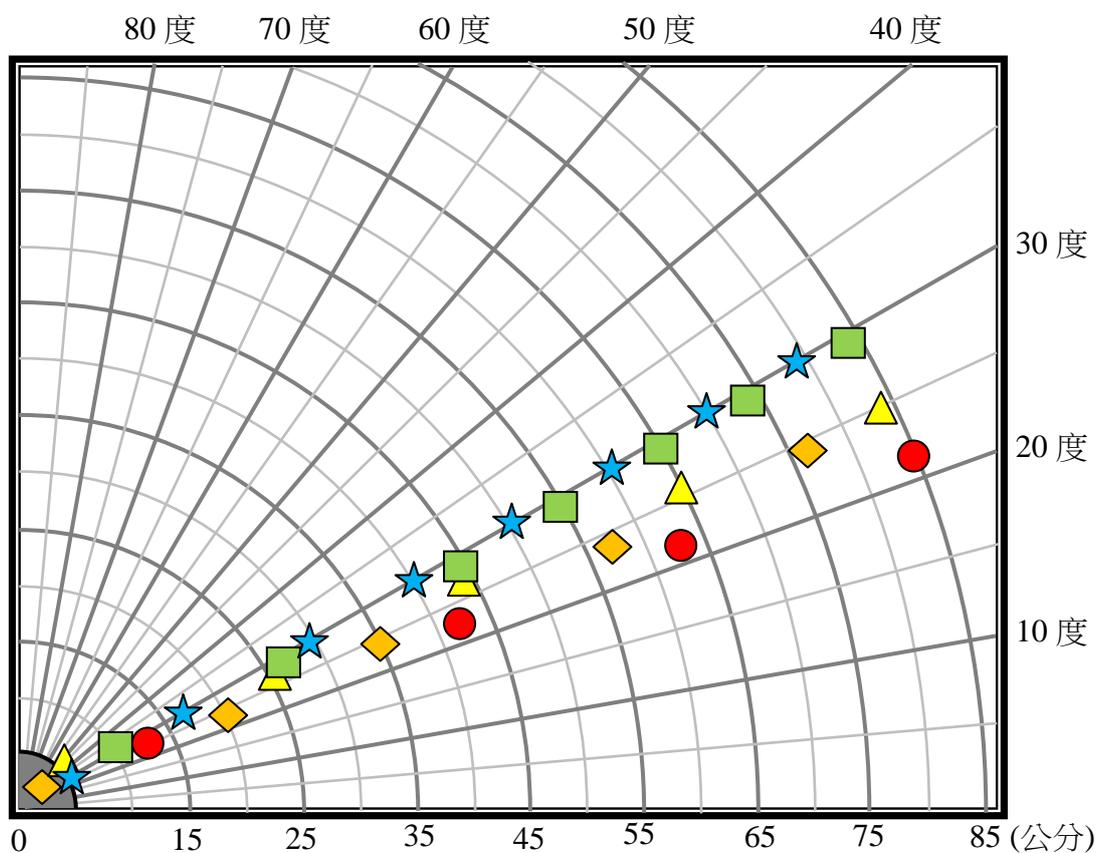
結果分析：

- 1.撲克牌尺寸變小時，相對的重量也變小，飛行角度也比較小，飛行速度也變快，例如 4.8×3.2 公分的撲克牌，飛行速度可以達到每秒 1260 公分。
- 2.撲克牌尺寸變小時，自我旋轉的速度也加快了，例如 4.8×3.2、5.6×3.7、6.4×4.2 這三個尺寸的撲克牌自我旋轉的速度，已無法從慢動作的影片中觀察得到。

(二)不同撲克牌重量對飛行速度和角度的影響。

實驗 G：撲克牌不同重量，對撲克牌的飛行狀況影響為何？

重量(g)	圖例顏色	平均角度	平均速度(公分/秒)	旋轉狀況(公分/圈)	飛行狀況
1.46	●	22	900	17	穩定飛行
3.08	◆	24	690	20	穩定飛行
4.68	▲	26	630	26	穩定飛行
6.32	■	28	540	21	穩定飛行
7.98	★	30	390	20	穩定飛行



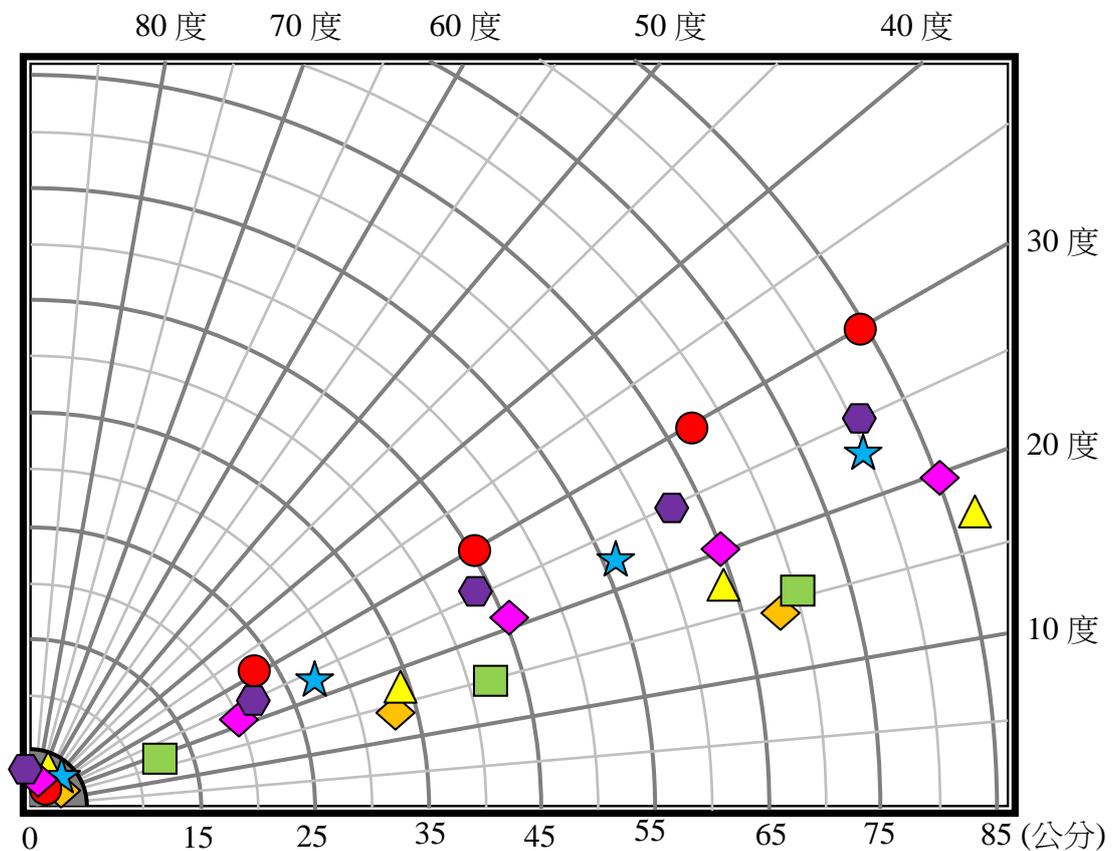
結果分析：

- 1.撲克牌較輕時，飛行偏轉角度較小，飛行速度也比較快。
- 2.撲克牌重量愈重，自我旋轉的狀況也有所不同，因為撲克牌重量較輕時，自我旋轉較快，同時向前飛行的速度也較快，撲克牌重量較重時，自我旋轉較慢，但向前飛行的速度也變慢，因此自我旋轉一圈的距離，會隨著不同的重量與飛行速度，而有所差異。

(三)不同撲克牌材質對飛行速度和角度的影響。

實驗 H：撲克牌不同材質，對撲克牌的飛行狀況影響為何？

材質	圖例顏色	平均角度	平均速度(公分/秒)	旋轉狀況(公分/圈)	飛行狀況
宣傳單內頁	●	30	660	19	穩定飛行
集點卡	◆	14	1050	22	穩定飛行
撲克牌	▲	18	900	20	穩定飛行
宣傳單封面	■	15	870	18	穩定飛行
塑膠牌	★	22	840	20	穩定飛行
餅乾外盒	◆	25	690	20	穩定飛行
墊板	◆	21	750	22	穩定飛行



結果分析：

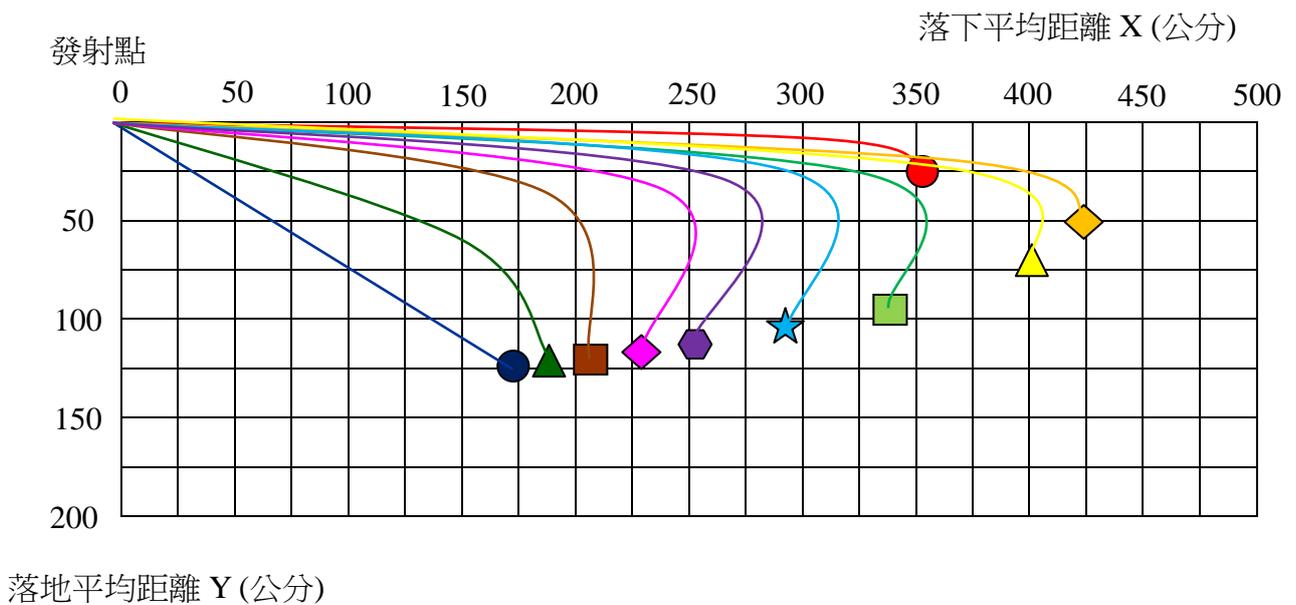
- 1.宣傳單內頁雖然重量輕，卻產生較大的飛行角度，主要原因可能是因為紙張材質較軟，故在飛行時受空氣阻力影響。
- 2.墊板雖然較重，但表面較光滑也較為硬，因此在飛行時，受空氣阻力影響較小。
- 3.由此可知，材質軟硬會影響飛牌的飛行速度、飛行角度等飛行因素。

四、撲克牌傾斜發射對飛行狀況的影響為何？

(一)不同仰角對撲克牌飛行路徑的影響。

實驗 I：不同仰角對撲克牌飛行路徑的影響。

仰角(度)	圖例顏色	飛行平均高度	落下平均距離 X (前方)	落下平均距離 Y(偏離)
0	●	0	354	28
10	◆	12	439	52
20	▲	29	406	71
30	■	48	335	91
40	★	61	288	109
50	◆	87	254	110
60	◆	102	228	113
70	■	115	207	118
80	▲	125	186	121
90	●	133	172	124



結果分析：

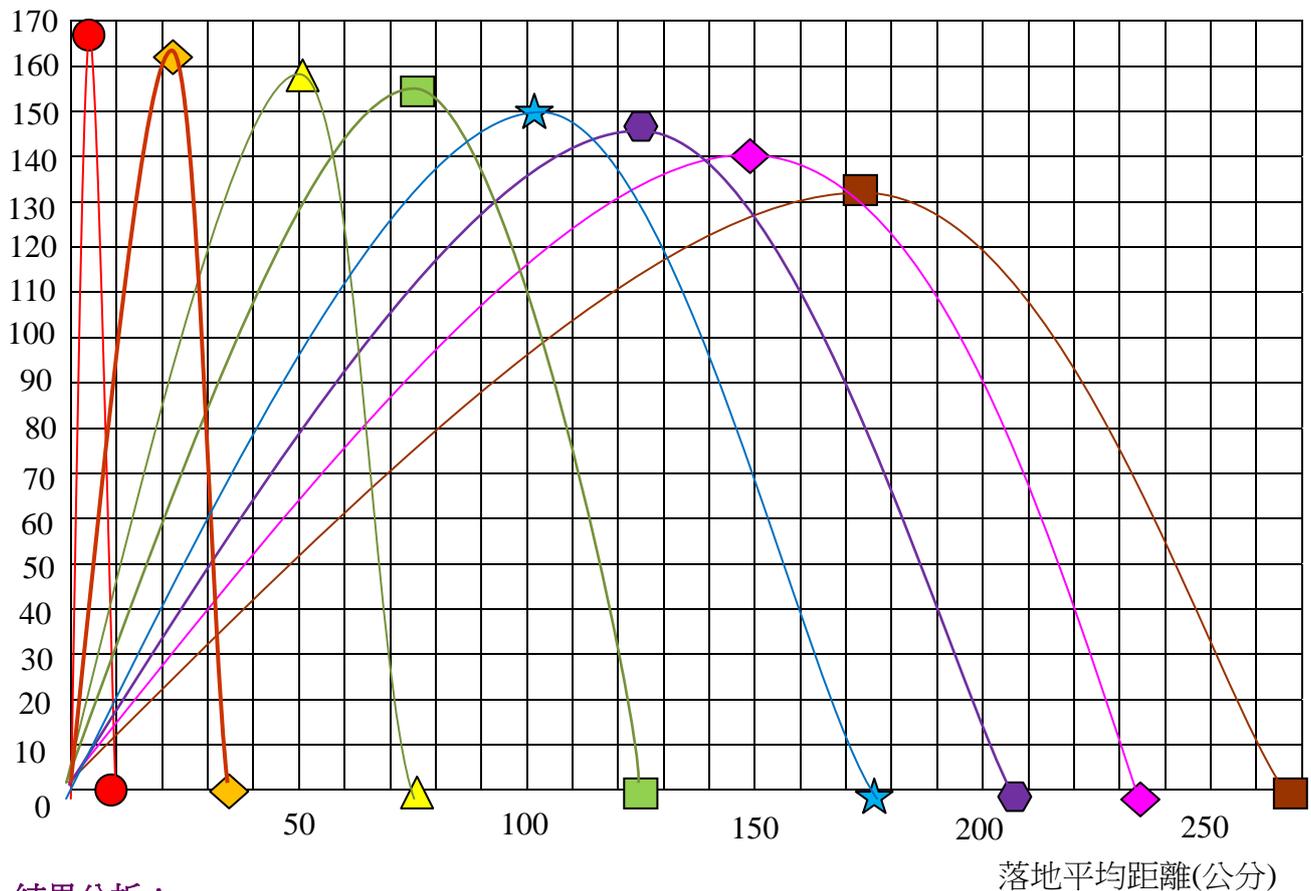
- 1.仰角 0 度時為使發射器能將撲克牌朝正前方，故配合撲克牌發射的偏離角度，轉動下方的基座，使其產生基座產生旋轉角。當撲克牌朝正向方飛行，但也發現撲克牌會逐漸偏離正前方，朝向右側飛行，是因為撲克牌本身的自轉所造成。
- 2.仰角 20 度時。撲克的飛行路徑已不是完全向前，已有迴旋到右側，且距離發射點的位置也不是愈來愈遠，是愈來愈接近。

(二)不同傾斜角對撲克牌飛行路徑的影響。

實驗 J：不同傾斜角對撲克牌飛行路徑的影響。

傾斜角(度)	圖例顏色	飛行平均高度(公分)	落下平均距離(公分)
55	●	168	10
60	◆	162	35
65	▲	157	78
70	■	154	128
75	★	150	178
80	◆	147	208
85	◆	141	236
90	■	132	270

飛行平均高度(公分)



結果分析：

- 1.配合撲克牌發射器，傾斜角為 55 度，可以得到飛行最高且落下時是最接近發射出去的位置。
- 2.隨著傾斜角愈來愈大，落地的距離也愈來愈大，傾斜角為 90 度，可得到撲克牌落下最遠的距離。

陸、討論

一、要讓撲克牌可以穩定飛行，必須讓撲克牌在飛行過程中產生適當的自我旋轉，而要使撲克牌由靜止到產生自我旋轉，必須要有一個作用力與作用力距離轉軸的距離而形成力矩，如圖 23 所示。力矩愈大愈容易使撲克牌產生自我旋轉。

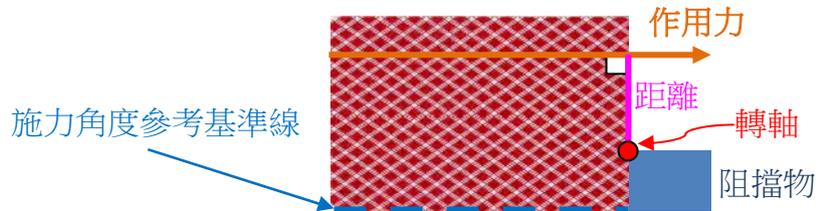


圖 23. 力矩示意圖

二、要讓撲克牌可以穩定飛行，必須讓撲克牌在飛行過程中產生適當的自我旋轉，因為當撲克牌自我旋轉時，可以產生轉動慣量亦稱慣性矩，是一個物體對於旋轉運動的慣性，使撲克牌在往前飛行時，不會因空氣的阻力與氣流產生的作用力，而使撲克牌產生翻轉的情況而無法穩定向前飛行。

三、透過固定端高度、固定端長度與發射高度，可以決定撲克牌的施力角度，配合橫式放置撲克牌或直式放置撲克牌，施力角度有一定的範圍，當施力角度為零度發射時，且發射高度為撲克牌中心高度時，因作用力通過撲克牌中心，而使撲克牌產生平移的方式移動，沒有轉動慣量，撲克牌因空氣的阻力與氣流產生的作用力，而產生翻轉而無法飛行，而當施力角度太小時，施力點與轉軸的距離太小，而使產生自我旋轉的作用力矩太小，自我旋轉的效果不佳，轉動慣量太小，同樣無法飛行。

四、發射撲克牌的實驗中，增加阻擋點，可以改變轉軸的位置，而使原本無法產生自我旋轉而穩定飛行的撲克牌，得以變成穩定飛行的狀況。

五、在相同的拉力之下，固定端寬度愈寬，固定端長度就變短，可以裝載發射的長度也隨之變小，這也是弓箭的弓是彎曲的原因之一，而在固定端寬度變寬時，撲克牌比較不會再碰觸到發射後的橡皮筋而影響飛行速度與飛行角度；若以相同的固定端長度條件下，固定端寬度愈寬，則產生的拉力就愈大，但固定端寬度若太大，則橡皮筋容易因長時間的拉伸而產生彈性疲乏。

六、撲克牌發射者使用手進行撲克牌的迴旋拋射時，除了讓撲克牌產生自我旋轉的狀態，另外讓撲克牌有一個發射的仰角與傾斜角，就可以讓撲克牌往斜上方飛行，轉動慣量會讓撲克牌維持自我旋轉的狀態，而撲克牌受地球引力作用，斜向射出去有重量的撲克牌會由低處向高處移動過程速度會變慢，再由高處向低處落下，撲克牌斜向射出去的仰角和傾斜角，會使撲克牌在落下時，受空氣作用力而同樣以一個斜度落下，若增加手部拋射出的一種迴轉力，撲克牌就能以一個有弧度的飛行路徑，回到撲克牌發射者的手中。

柒、結論

一、撲克牌以不同的發射條件進行水平直射，對飛行狀況的影響如下：

- (一)配合撲克牌的直放或橫放，要讓撲克牌能穩定飛行，配合撲克牌的發射位置，**施力角度有一定的範圍**，太小或過大都會使撲克牌無法穩定飛行。
- (二)**適當的提供阻擋點**，可以使撲克牌產生不同的發射旋轉中心，進而改變撲克牌的飛行速度與飛行角度。

二、不同橡皮筋發射條件對飛行狀況的影響如下：

- (一)當橡皮筋在相同的拉力對撲克牌以不同的距離發射時，隨著距離愈大，橡皮筋碰觸撲克牌時的力量就愈小，飛行速度會變慢，飛行角度偏移愈大。
- (二)橡皮筋對撲克牌以**不同拉力**大小進行發射時，拉力愈大，飛行速度愈快，飛行角度偏移愈小，拉力愈小，飛行速度愈慢，飛行角度偏移愈大。

三、不同撲克牌特性對飛行狀況的影響如下：

- (一)相同材質的撲克牌，**尺寸**愈小，重量愈輕，飛行速度愈快，飛行角度偏移愈小。
- (二)相同尺寸大小的撲克牌，重量愈重，飛行速度愈慢，飛行角度偏移愈大，同時受地球引力影響，下墜的速度也會加快。
- (三)相同撲克牌尺寸大小，不同材質的情況下，**重量或軟硬度**要有明顯的差異，才會產生飛行速度和飛行角度偏移的明顯差異。

四、撲克牌傾斜發射對飛行狀況的影響如下：

- (一)在撲克牌飛行角度朝正前方的發射基準條件下，發射仰角逐漸增大，撲克牌飛行的距離也逐漸變遠，但持續增加發射仰角的角度，撲克牌開始有迴旋的情形產生，且愈能飛回接近發射撲克牌的起點位置。

(二)在撲克牌飛行角度朝正上方的發射基準條件下，發射傾斜角增大或減小，撲克牌飛離發射撲克牌的起點位置都會愈遠。

五、要使發射的撲克牌能迴旋飛回接近發射的起點位置，需考慮下列二個因素：(一)**速度**：撲克牌的飛行速度與撲克牌的自我旋轉速度；(二)**角度**：仰角、傾斜角與旋轉角，如圖 24 所示。

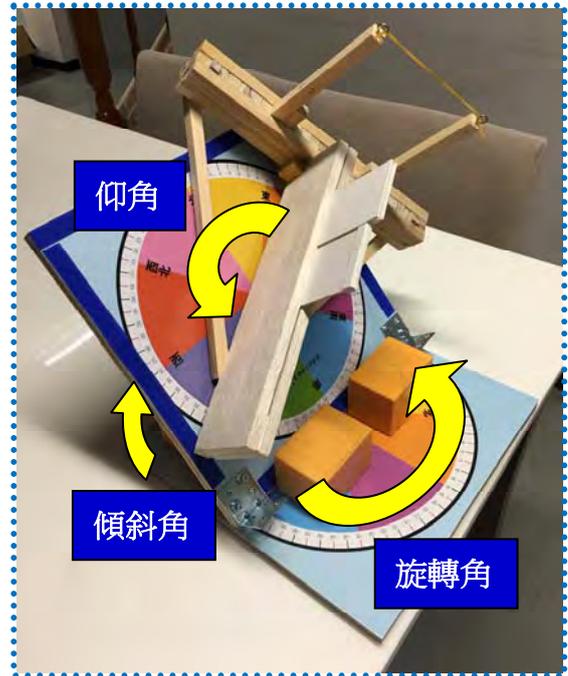


圖 24. 仰角、傾斜角與旋轉角示意圖

捌、參考資料

- 一、史家瑩（2016）。國民小學自然與生活科技四下。台南市：翰林。
- 二、史家瑩（2016）。國民小學自然與生活科技六下。台南市：翰林。
- 三、中央大學物理系。物理觀念通。轉動慣量。

<http://ezphysics.nchu.edu.tw/ccp/kinematics/k8.htm>

- 四、智慧生活物理第一哩系列課程。力矩與轉動慣量和角加速度。

<http://aca.cust.edu.tw/online/custcourses/physical/physical1/course/j05.html>

【評語】 080111

這個工作對於撲克牌飛行回到原處的行為進行了一系列的變因與結果的討論。其中包含了施力方式與量值、發射條件、紙牌種類、旋轉控制等因素的控制。結果也很明確地呈現出撲克牌迴轉飛行的結果。學生也對於這些變因對於飛行結果作了一些整理和簡單可能的推論。整體看起來是個完整的工作。這是個有趣的現象，研究上也呈現了成功的結論。學生也能實際地利用手展示這個撲克牌回飛的情況，算是個將研究成果實際展示到生活中的表現。

作品海報

摘要

撲克牌的飛牌原理是利用作用力施力於撲克牌上，使撲克牌沿作用力的方向產生移動，且在移動的過程撲克牌本身必須產生自我旋轉，如此撲克牌才能穩定的飛行。以橡皮筋拉力產生作用力於撲克牌上，使撲克牌產生飛行的情況下，施力角度有一定的範圍，太小或過大都會使撲克牌無法穩定飛行；適當的阻擋點，可以使撲克牌產生不同的發射旋轉中心，改變撲克牌的飛行速度與飛行角度；橡皮筋拉力愈大，飛行速度愈快，飛行角度偏移愈小；撲克牌重量愈重，飛行速度愈慢，飛行角度偏移愈大。發射仰角愈大，撲克牌飛行距離會從愈來愈遠而反轉飛回愈接近的發射撲克牌的位置；同時考慮飛行速度、發射仰角、傾斜角與旋轉角，才有機會使撲克牌飛回接近發射點。

壹、研究動機

從電影與網路影片中，看到簡單的撲克牌在飛牌高手的手中，就像是充滿神奇的魔力，可以以柔克剛，對於比自身材質還硬的物質造成損傷，也可以像裝了無線遙控裝置一樣，隨著飛牌高手的心意，以直線或旋轉迴旋的路徑到達目標位置，到底這樣的飛牌技能與效果，是純粹的影片後製特效，還是真有可能發生呢？親自動手射撲克牌，卻發現丟出去的撲克牌，跟自己想像的飛行路徑完全不同，甚至飛不起來，直接就掉落地面。該如何才能讓撲克牌飛起來呢？撲克牌不同的發射條件對飛行的速度和角度有什麼影響呢？不同大小或不同材質的撲克牌對飛行的速度和角度又有什麼影響呢？如何才能控制撲克牌飛行的路徑，讓飛出去的撲克牌再飛回到自己的手中呢？

貳、研究目的

- 撲克牌不同的發射條件水平直射，對飛行狀況影響為何？
 - 撲克牌不同施力角度對飛行角度和飛行速度的影響。
 - 增加阻擋點對飛行角度和飛行速度的影響。
- 橡皮筋不同的發射條件，對飛行狀況的影響為何？
 - 橡皮筋對撲克牌以不同距離發射對飛行速度和角度的影響。
 - 橡皮筋以不同拉力大小進行發射對飛行速度和角度的影響。
- 不同的撲克牌特性對飛行狀況的影響為何？
 - 不同撲克牌大小對飛行速度和角度的影響。
 - 不同撲克牌重量對飛行速度和角度的影響。
 - 不同撲克牌材質對飛行速度和角度的影響。
- 撲克牌傾斜發射對飛行狀況的影響為何？
 - 不同仰角對撲克牌飛行路徑的影響。
 - 不同傾斜角對撲克牌飛行路徑的影響。

參、研究設備及器材

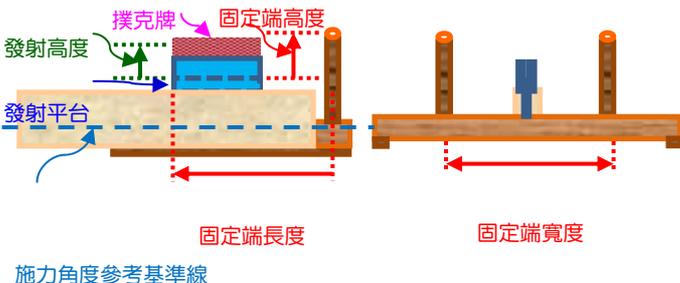
一、研究器材：

1. 電子推拉計 × 1台	2. 電子秤 × 1台
3. 數位錄影機 × 1台	4. 燈架 × 1個
5. 行動載具 × 1台	6. 腳架 × 2支
7. 橡皮筋 × 30條	8. 撲克牌 × 10副
9. 500W 燈 × 1盞	10. 彩色筆 × 1盒
11. 壓克力板 × 2片	12. 棉線 × 1段
13. 木條 × 20根	14. 塑膠盒 × 7個
15. 羊眼螺絲 × 20支	16. 固定夾 × 2支
17. 白板 × 1片	18. 白板筆 × 1支
19. 厚紙板 × 1批	20. 量角器 × 1個
21. 鉛塊 × 1批	22. 線鋸 × 1支
23. 魔鬼氈 × 1批	24. 方位盤 × 2塊

二、撲克牌發射器的設計與製作：



圖 1 第一代發射器 圖 2 第二代發射器 圖 3 第三代發射器



三、撲克牌飛行測試記錄裝置的設計與製作：

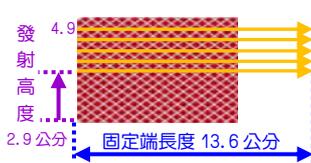


肆、研究過程及方法

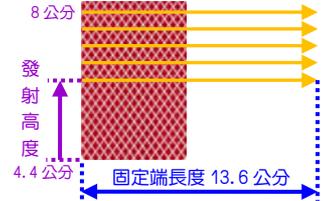
一、撲克牌不同的發射條件發射，對飛行狀況的影響為何？

實驗 A：以水平發射，不同的發射高度對飛行狀況的影響為何？

實驗 A-1：橫式撲克牌

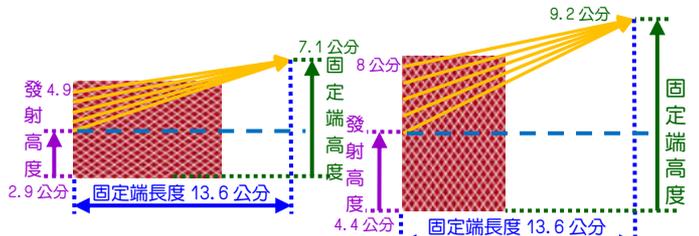


實驗 A-2：直式撲克牌

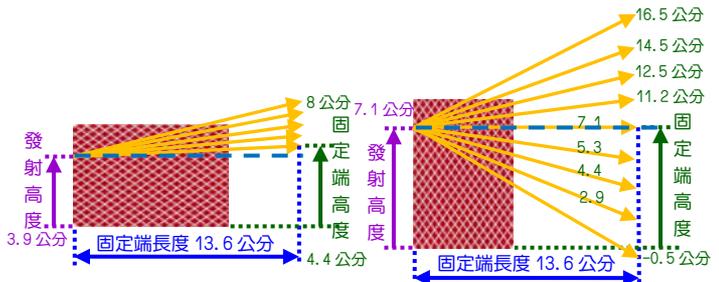


實驗 B：撲克牌以不同的的施力角度對飛行狀況的影響為何？

實驗 B-1：不同的發射高度位置 實驗 B-2：不同的發射高度位置



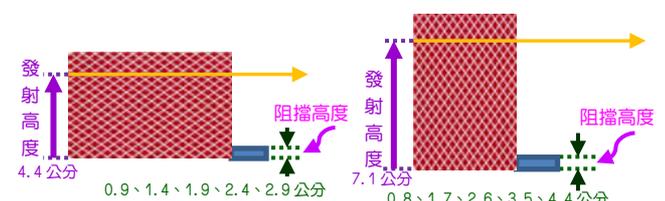
實驗 B-3：不同的固定端高度 實驗 B-4：不同的固定端高度



實驗 C：以水平相同的發射高度位置，增加不同的阻擋高度

實驗 C-1：橫式撲克牌

實驗 C-2：直式撲克牌

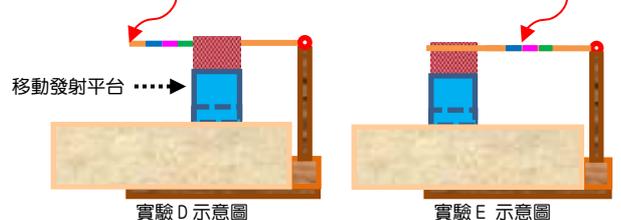


二、橡皮筋不同的發射條件發射，對飛行狀況的影響為何？

實驗 D：橡皮筋對撲克牌的以不同距離的發射方式，對撲克牌的飛行狀況影響為何？

實驗 E：橡皮筋以不同的拉力大小發射撲克牌，對撲克牌的飛行狀況影響為何？

4、3、2、1、0公分 拉橡皮筋至固定位置 350±35 公克 調整橡皮筋鬆緊至對應的拉力大小



三、不同撲克牌特性對飛行狀況的影響為何？

實驗 F：撲克牌不同大小尺寸，對撲克牌的飛行狀況影響為何？

尺寸	4.8×3.2	5.6×3.7	6.4×4.2	7.2×4.8	8×5.3	8.8×5.2
圖示						

實驗 G：撲克牌不同重量，對撲克牌的飛行狀況影響為何？

張數	1	2	3	4	5
秤重圖片					
重量(g)	1.46	3.08	4.68	6.32	7.98

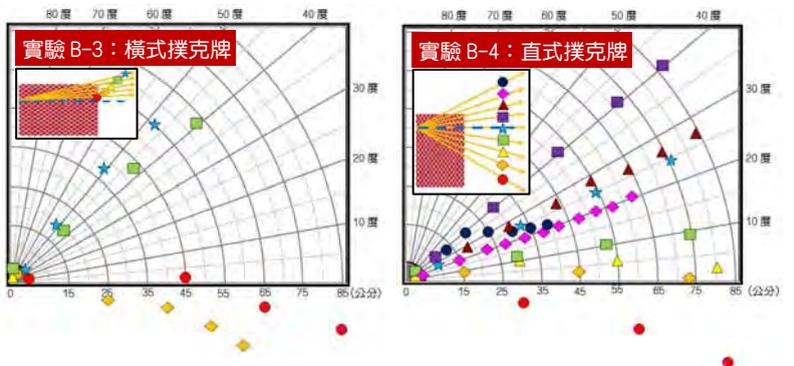
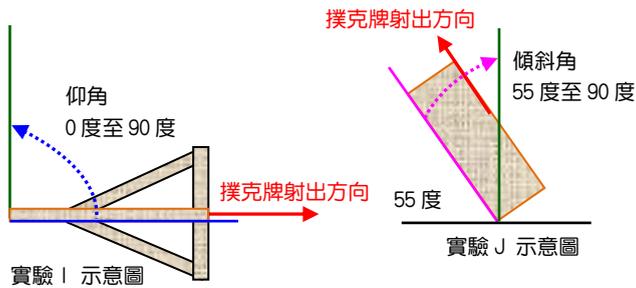
實驗 H：撲克牌不同材質，對撲克牌的飛行狀況影響為何？

材質	傳單 內頁	集點卡	撲克牌	傳單 封面	塑膠牌	包裝 外盒	墊板
圖片							
重量 g	0.93	1.2	1.49	1.51	1.93	2.18	2.66

四、撲克牌傾斜發射對飛行狀況的影響為何？

實驗 I：不同仰角對撲克牌飛行路徑的影響為何？

實驗 J：不同傾斜角對撲克牌飛行路徑的影響為何？



實驗 C：撲克牌以水平發射，相同的發射高度位置，增加不同的阻擋高度

實驗 C-1：橫式撲克牌，增加阻擋點

阻擋物高度 (公分)	0.9	1.4	1.9	2.4	2.9
圖例顏色	●	◆	▲	■	★
平均飛行角度(度)	10	15	25	15	20
平均飛行速度(公分/秒)	1050	990	960	840	750
旋轉狀況(公分/圈)	22	21	20	19	17
飛行狀況	穩定	穩定	穩定	穩定	穩定

實驗 C-2：直式撲克牌，增加阻擋點

阻擋物高度 (公分)	0.8	1.7	2.6	3.5	4.4
圖例顏色	●	◆	▲	■	★
平均飛行角度(度)	22.5	38	42	48	50
平均飛行速度(公分/秒)	690	750	990	1020	690
旋轉狀況(公分/圈)	16	17	21	22	14
飛行狀況	穩定	穩定	穩定	穩定	穩定

伍、研究結果

一、撲克牌以不同的發射條件發射，對飛行狀況的影響

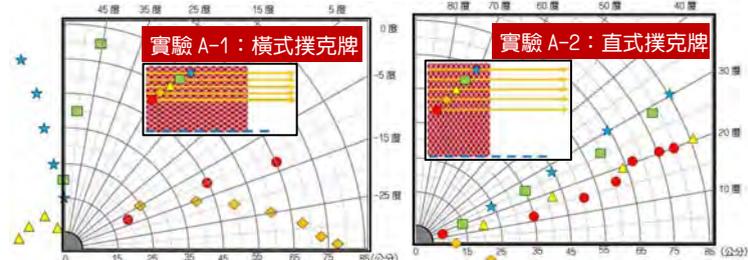
實驗 A：橡皮筋以水平方式發射，不同的發射高度對飛行狀況的影響

實驗 A-1：橫式撲克牌

發射高度 (公分)	2.9	3.4	3.9	4.4	4.9公分
圖例顏色	●	◆	▲	■	★
平均飛行角度(度)	-10	曲線	曲線	45	55
平均飛行速度(公分/秒)	750	450	150	600	300
旋轉狀況(公分/圈)	x	x	x	30	x
飛行狀況	不穩定	不穩定	無法飛	穩定	不穩定

實驗 A-2：直式撲克牌

發射高度 (公分)	4.4	5.3	6.2	7.1	8
圖例顏色	●	◆	▲	■	★
平均飛行角度(度)	曲線	曲線	20	25	30
平均飛行速度(公分/秒)	810	300	720	750	630
旋轉狀況(公分/圈)	x	x	30	20	10
飛行狀況	無法飛	無法飛	穩定	穩定	穩定



實驗 B：撲克牌以不同的的施力角度對飛行狀況的影響

實驗 B-1：橫式撲克牌，不同的發射高度位置

發射高度 (公分)	2.9公分	3.4公分	3.9公分	4.4公分	4.9公分
圖例顏色	●	◆	▲	■	★
平均角度(度)	47.5	37.5	40	50	52.5
平均速度(公分/秒)	600	660	690	660	570
旋轉狀況(公分/圈)	25	25	25	23	20
飛行狀況	穩定	穩定	穩定	穩定	穩定

實驗 B-2：直式撲克牌，不同的發射高度位置

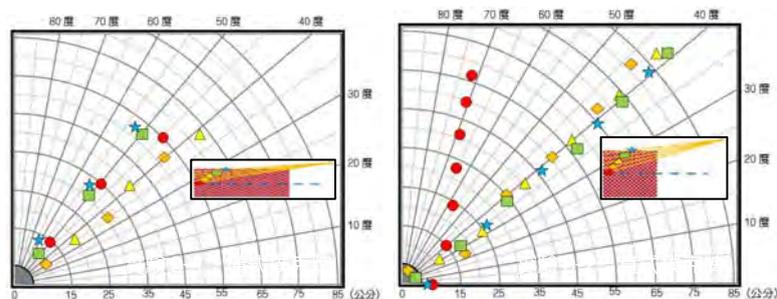
發射高度 (公分)	4.4公分	5.3公分	6.2公分	7.1公分	8公分
圖例顏色	●	◆	▲	■	★
平均角度(度)	70	40	40	40	40
平均速度(公分/秒)	360	510	450	660	600
旋轉狀況(公分/圈)	25	15	25	20	20
飛行狀況	穩定	穩定	穩定	穩定	穩定

實驗 B-3：橫式撲克牌，不同的固定端高度

施力角度 (度)	2.11°	4.21°	9.6°	13.24°	16.78°
圖例顏色	●	◆	▲	■	★
平均角度(度)	曲線	曲線	x	40	50
平均速度(公分/秒)	1200	750	x	690	540
旋轉狀況(公分/圈)	x	x	x	20	30
飛行狀況	無法飛	無法飛	無法飛	穩定	穩定

實驗 B-4：直式撲克牌，不同的固定端高度

施力角度 (度)	-29.2	-17.16	-11.23	-7.54	0	16.78	21.66	28.55	34.65
圖例顏色	●	◆	▲	■	★	■	▲	◆	●
平均角度(度)	-25	3	5	10	25	40	27	20	曲線
平均速度(公分/秒)	930	900	750	720	690	660	420	300	x
旋轉狀況(公分/圈)	x	21	19	18	16	24	20	13	x
飛行狀況	無法飛	穩定	穩定	穩定	穩定	穩定	不穩定	無法飛	無法飛



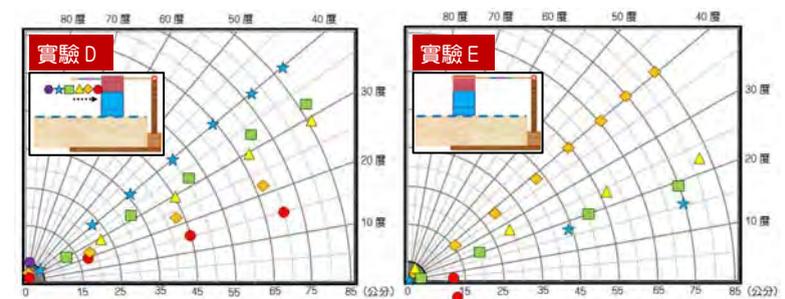
二、橡皮筋以不同的發射條件對飛行狀況的影響

實驗 D：橡皮筋對撲克牌的以不同距離的發射，對撲克牌的飛行狀況影響

發射間隔距離 (公分)	0	1	2	3	4	5
圖例顏色	●	◆	▲	■	★	●
平均飛行角度(度)	20	25	30	32	40	x
平均飛行速度(公分/秒)	840	750	690	600	570	x
旋轉狀況(公分/圈)	17	16	16	15	10	x
飛行狀況	穩定	穩定	穩定	穩定	穩定	無法飛

實驗 E：橡皮筋以不同的拉力大小發射撲克牌，對撲克牌的飛行狀況影響

拉力大小 (公克)	150	250	350	450	550
圖例顏色	●	◆	▲	■	★
平均飛行角度(度)	x	40	23	20	17
平均飛行速度(公分/秒)	x	390	750	900	1320
旋轉狀況(公分/圈)	x	11	19	20	24
飛行狀況	無法飛	穩定	穩定	穩定	穩定



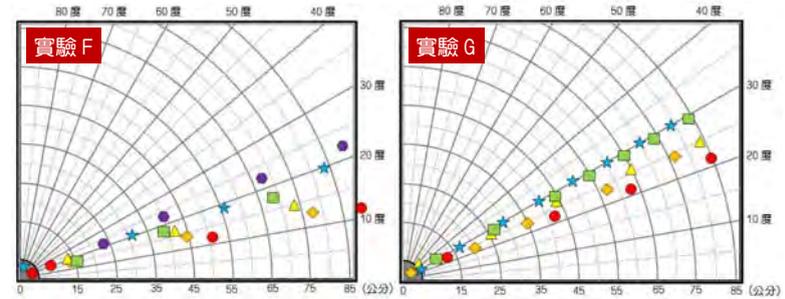
三、不同撲克牌特性對飛行狀況的影響

實驗 F：撲克牌不同大小尺寸，對撲克牌的飛行狀況影響

尺寸大小 (公分)	4.8×3.2	5.6×3.7	6.4×4.2	7.2×4.8	8×5.3	8.8×5.4
圖例顏色	●	◆	▲	■	★	●
平均飛行角度(度)	12	13	15	18	20	22
平均飛行速度(公分/秒)	1260	960	900	840	780	750
旋轉狀況(公分/圈)	無法識別	無法識別	無法識別	17	19	23
飛行狀況	穩定	穩定	穩定	穩定	穩定	穩定

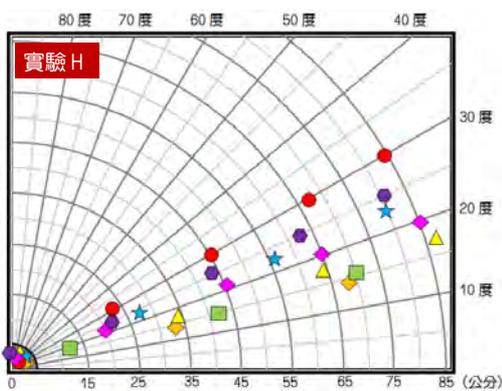
實驗 G：撲克牌不同重量，對撲克牌的飛行狀況影響

重量 (公克)	1.46	3.08	4.68	6.32	7.98
圖例顏色	●	◆	▲	■	★
平均飛行角度(度)	22	24	26	28	30
平均飛行速度(公分/秒)	900	690	630	540	390
旋轉狀況(公分/圈)	17	20	26	21	20
飛行狀況	穩定	穩定	穩定	穩定	穩定



實驗 H：撲克牌不同材質，對撲克牌的飛行狀況影響

材質	宣傳單內頁	集點卡	撲克牌	宣傳單封面	塑膠牌	餅乾外盒	墊板
圖例顏色	●	◆	▲	■	★	⬢	◆
平均飛行角度(度)	30	14	18	15	22	25	21
平均飛行速度(公分/秒)	660	1050	900	870	840	690	750
旋轉狀況(公分/圈)	19	22	20	18	20	20	22
飛行狀況	穩定	穩定	穩定	穩定	穩定	穩定	穩定

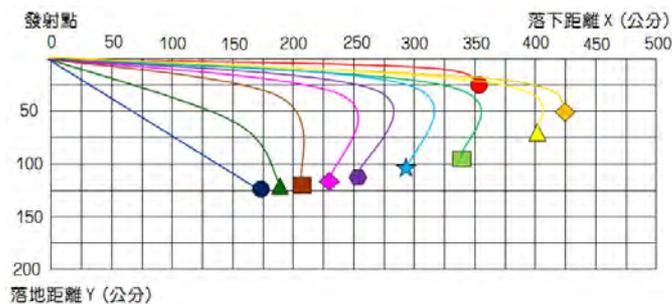


四、撲克牌傾斜發射對飛行狀況的影響

實驗 I：不同仰角對撲克牌飛行路徑的影響

單位：公分

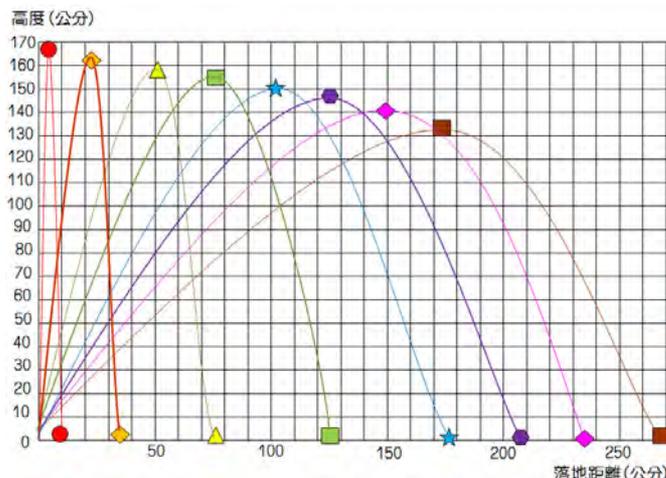
仰角	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
圖例	●	◆	▲	■	★	⬢	◆	■	▲	●
平均高度	0	12	29	48	61	87	102	115	125	133
平均距離 X	354	439	406	335	288	254	228	207	186	172
平均距離 Y	28	52	71	91	109	110	113	118	121	124



實驗 J：不同傾斜角對撲克牌飛行路徑的影響

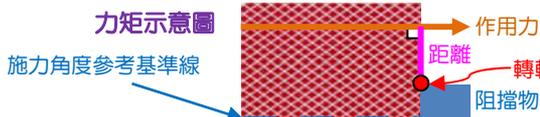
單位：公分

傾斜角	55	60	65	70	75	80	85	90
圖例	●	◆	▲	■	★	⬢	◆	■
平均高度	168	162	157	154	150	147	141	132
平均距離	10	35	78	128	178	208	236	270



陸、討論

一、要讓撲克牌可以穩定飛行，必須讓撲克牌在飛行過程中產生適當的自我旋轉，而要使撲克牌由靜止到產生自我旋轉，必須要有一個作用力與作用力距離轉軸的距離而形成力矩，如下圖所示。力矩愈大愈容易使撲克牌產生自我旋轉。



二、要讓撲克牌可以穩定飛行，必須讓撲克牌在飛行過程中產生適當的自我旋轉，因為當撲克牌自我旋轉時，可以產生轉動慣量亦稱慣性矩，是一個物體對於旋轉運動的慣性，使撲克牌在往前飛行時，不會因空氣的阻力與氣流產生的作用力，而使撲克牌產生翻轉的情況而無法穩定向前飛行。

三、透過固定端高度、固定端長度與發射高度，可以決定撲克牌的施力角度，配合橫式放置撲克牌或直式放置撲克牌，施力角度有一定的範圍，當施力角度為零度（水平）發射時，且發射高度為撲克牌中心高度時，因作用力通過撲克牌中心，而使撲克牌產生平移的方式移動，沒有轉動慣量，因空氣阻力產生的作用力，使撲克牌翻轉而無法飛行，而當施力角度太小，發射點與轉軸的距離太小，使自我旋轉的作用力矩太小，自我旋轉的效果不佳，轉動慣量太小，同樣無法飛行。

四、發射撲克牌的實驗中，增加阻擋點，可以改變轉軸的位置，而使原本無法產生自我旋轉而穩定飛行的撲克牌，變成穩定飛行的狀況。

五、在相同的拉力之下，固定端寬度愈寬，固定端長度就變短，可以裝載發射的長度也隨之變小，這也是弓箭的弓是彎曲的原因之一，而在固定端寬度變寬時，撲克牌比較不會再碰觸到發射後的橡皮筋而影響飛行速度與飛行角度；若以相同的固定端長度條件下，固定端寬度愈寬，則產生的拉力就愈大，但固定端寬度若太大，則橡皮筋容易因長時間的拉伸而產生彈性疲乏。

六、撲克牌發射者使用手進行撲克牌的迴旋拋射時，除了讓撲克牌產生自我旋轉的狀態，另外讓撲克牌有一個發射的仰角與傾斜角，就可以讓撲克牌往斜上方飛行，轉動慣量會讓撲克牌維持自我旋轉的狀態，而撲克牌受地球引力作用，斜向射出有重量的撲克牌會由低處向高處移動過程速度會變慢，再由高處向低處落下，撲克牌斜向射出去的仰角和傾斜角，會使撲克牌在落下時，受空氣作用力而同樣以一個斜度落下，若增加手部拋射出的一種迴轉力，撲克牌就能以一個有弧度的飛行路徑，回到撲克牌發射者的手中。

柒、結論

一、撲克牌不同的發射條件進行水平直射，對飛行狀況影響如下：

- 配合撲克牌的直放或橫放，要讓撲克牌能穩定飛行，配合撲克牌的發射位置，施力角度有一定的範圍，太小或過大都會使撲克牌無法穩定飛行。
- 適當的提供阻擋點，可以使撲克牌產生不同的發射旋轉中心，進而改變撲克牌的飛行速度與飛行角度。

二、不同橡皮筋發射條件對飛行狀況的影響如下：

- 當橡皮筋在相同的拉力對撲克牌以不同的距離發射時，隨著距離愈大，橡皮筋碰觸撲克牌時的作用力就愈小，飛行速度會變慢，飛行角度偏移愈大。
- 橡皮筋對撲克牌以不同拉力大小進行發射時，拉力愈大，飛行速度愈快，飛行角度偏移愈小，拉力愈小，飛行速度愈慢，飛行角度偏移愈大。

三、不同撲克牌特性對飛行狀況的影響如下：

- 相同材質的撲克牌，尺寸愈小，重量愈輕，飛行速度愈快，飛行角度偏移愈小。
- 相同尺寸大小的撲克牌，重量愈重，飛行速度愈慢，飛行角度偏移愈大，同時受地球引力影響，下墜速度也會加快。
- 撲克牌相同尺寸大小，不同材質的情況下，重量或軟硬度要有明顯差異，才會產生飛行速度和角度偏移的明顯差異。

四、撲克牌傾斜發射對飛行狀況的影響如下：

- 在撲克牌飛行角度朝正前方的發射基準條件下，發射仰角逐漸增大，撲克牌飛行的距離也逐漸變遠，但持續增加發射仰角的角度，撲克牌開始有迴旋的情形產生，且愈能飛回接近發射撲克牌的起點位置。

- 在撲克牌飛行角度朝正上方的發射基準條件下，發射傾斜角增大或減小，撲克牌飛離發射撲克牌的起點位置都會愈遠。

五、要使發射的撲克牌能迴旋飛回接近發射的起點位置，需考慮下列二個因素：

- 速度：撲克牌的飛行速度與撲克牌的自我旋轉速度；
- 角度：仰角、傾斜角與旋轉角，如右圖所示。



捌、參考資料及其它

- 史家瑩（2016）·國民小學自然與生活科技四下·台南市：翰林。
- 史家瑩（2016）·國民小學自然與生活科技六下·台南市：翰林。
- 中央大學物理系。物理觀念通。轉動慣量。
<http://ezphysics.nchu.edu.tw/ccp/kinematics/k8.htm>