

中華民國第 56 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 物理科

佳作

080111

翻轉紙片一大嘴巴飛行器

學校名稱：高雄市三民區河濱國民小學

作者： 小六 王靜慈 小六 吳雋哲 小六 葉芹言 小六 莊松樺	指導老師： 黃馨緯
---	------------------

關鍵詞：飛行器、馬格努斯效應

摘要

大嘴巴旋轉方向要符合馬格努斯效應，才能使紙片上升，製作大嘴巴時需選擇紙張材質輕盈，形狀必須符合慣性旋轉，並搭配不易變形容易操控的起風板，輔以玩家本身的訓練，便可成為好玩的科學小遊戲。實驗中，最佳的大嘴巴飛行器造型如下：利用日曆紙製成長寬比值為 4.0，長為 20 公分、寬為 5 公分的長方形，利用錯開接合的方式，讓兩端薄翼呈現 2 公分、且讓兩翼完整、成一字形，中空處為自然狀態的橢圓形。起風板選擇不易變形、輕盈的厚珍珠板。操作方式首先需先控制好大嘴巴啟動時為逆時針旋轉方向(從實驗者右側面觀察)，接著調整起風板角度，掌握好上升、下降、轉彎時的起風板角度及方向的訣竅，在無風的環境中便可大玩『大嘴巴飛行器』。

壹、研究動機

我們常看到喜愛飛行遊戲者玩著遙控飛機與滑翔翼，心想，如果能用簡單的方式就可以讓物體持久在空中飛行，該有多好。剛好有同學看到流言追追追(公視，2013)節目中(圖一)，發現一個又簡單又有趣的旋轉紙片(本實驗簡稱『大嘴巴』)，利用一個起風板將紙片旋轉後，就可以操縱紙片使它在空中走動，太酷了。我們很想了解其中的奧秘，並整理出讓紙片飛行得更好的變因，因此展開這次的研究。

本研究與課程相關之部分：**康軒(五上)-第四單元-力與運動。**



圖一：流言追追追(紙飛機，公視，2013)

貳、文獻探討

我們從網路搜尋，找到利用起風板讓紙片做無動力飛行的遊戲，造型及玩法非常多，最常見的如同翅膀般的滑翔紙翼，此外最特別的便是翻轉紙片。文獻中發現，翻轉紙片在國外稱為 Tumblewings，翻轉紙片有很多不同的造型設計，其飛行原理大都雷同。最常見的造型有兩種(如下表)，第一種是外型似 Z 的 Tumblewings(圖二)。第二種是貌似大嘴巴 (Big mouth)的 Tumblewings(圖三)。前者製作方式是將紙片利用上下左右翼的相反摺法所製作而成，摺法較為繁複，取得對稱才能做平穩轉動。而大嘴巴是利用兩張大小相同的紙片，在兩端約 2 公分處，沾上膠水或雙面膠黏住即可完成，造型簡單且飛行起來美感較佳，

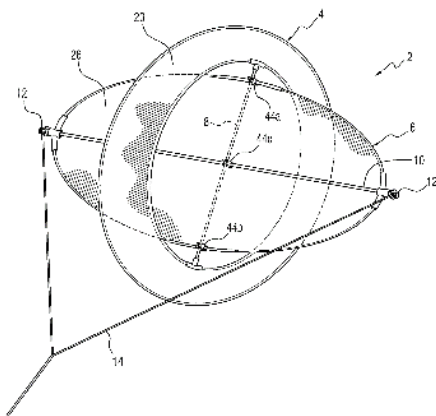


圖二：Z 型的 Tumblewings



圖三：大嘴巴狀的 Tumblewings

有些玩家也將旋轉紙片飛行器運用在日常生活上，例如下圖四的轉子風箏是由 斯蒂芬·格特 所設計，其特徵是利用風箏上面的翼和穩定器環互相垂直，讓機翼在飛行時利用旋轉產生昇力使風箏在空中更容易飛行。



圖四：轉子風箏(引自：維基百科)

參、研究目的

- 一、大嘴巴要如何旋轉才能往前飛行？
- 二、哪一種紙張適合製作大嘴巴？
- 三、找出滯空效果最好的大嘴巴造型。包含大嘴巴的長寬比例、兩翼摺向、大嘴巴的紙張造型、大嘴巴的開口形狀、紙張接合黏法、及兩翼長度等 6 項變因。
- 四、找出最佳的起風板材質？
- 五、如何操作起風板，使大嘴巴能被實驗者控制做出飛行？

肆、研究設備及器材

- 一、各種紙類：75 磅 A4 影印紙、報紙、色紙、描圖紙、日曆紙
- 二、起風板：塑楞板、厚紙板、厚珍珠板均四開大小
- 三、工具：膠水、雙面膠、剪刀、尺、切割墊
- 四、紀錄工具：攝影機、碼錶

伍、研究方法與結果

一、大嘴巴要如何旋轉才能往前飛行？

(一)實驗方法：

- (1)利用影印紙剪成兩張等長的長條紙，兩端於 1 公分處做黏合，製作一個大嘴巴。
- (2)將大嘴巴從 2 公尺高往下拋出，觀察大嘴巴旋轉方向與落地位置的關係。
- (3)了解大嘴巴往前走時，應該如何控制其旋轉方向。

(二)實驗記錄與結果

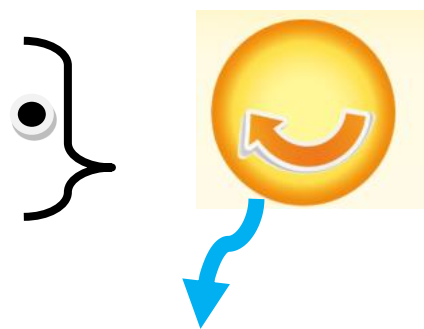
- (1)在 2 公尺高，輕輕撥動，讓大嘴巴呈現逆時針方向旋轉(從實驗者的右側觀察)，大嘴巴會從前方往下的斜線角度飛行，之後掉落在前面(圖五)。
- (2)反之，將大嘴巴撥往順時針方向撥動(從實驗者的右側觀察)，大嘴巴行徑路徑不定，且會快速掉落。若沒有碰到障礙物，大嘴巴會往後方飛行降落(圖六)。
- (3)也就是說，要使大嘴巴往前飛行，其旋轉方向是一大要因，實驗者需要輕撥大嘴巴，讓它可以逆時針旋轉，如此才能大嘴巴飛行風向無誤，才可以利用起風板來控制大嘴巴往前風轉動飛行。



大嘴巴往前方轉動，之後降落。



圖五：大嘴巴呈現逆時針方向旋轉



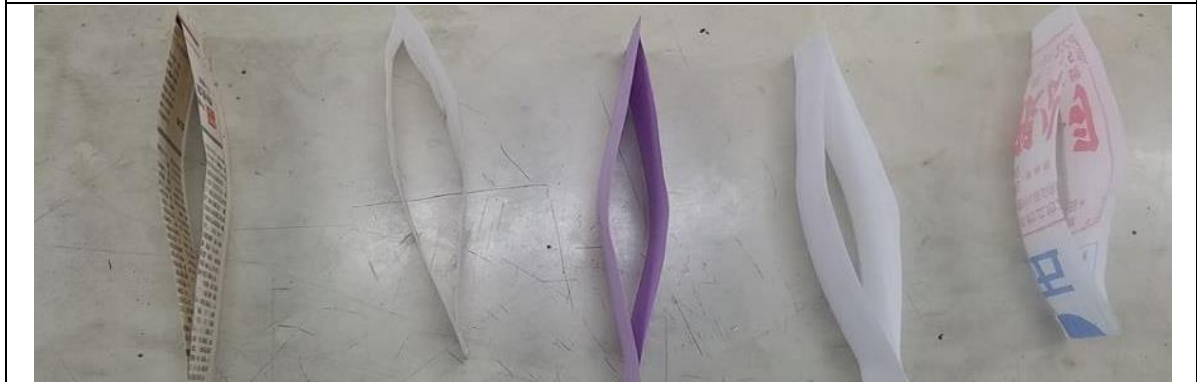
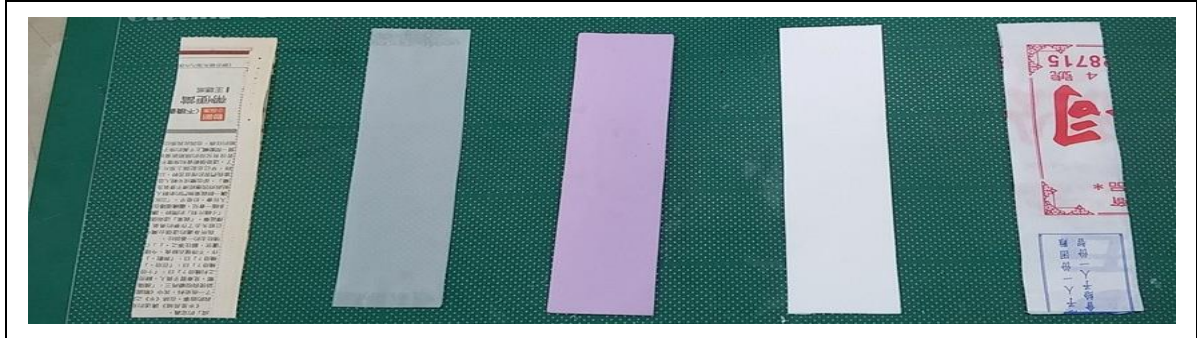
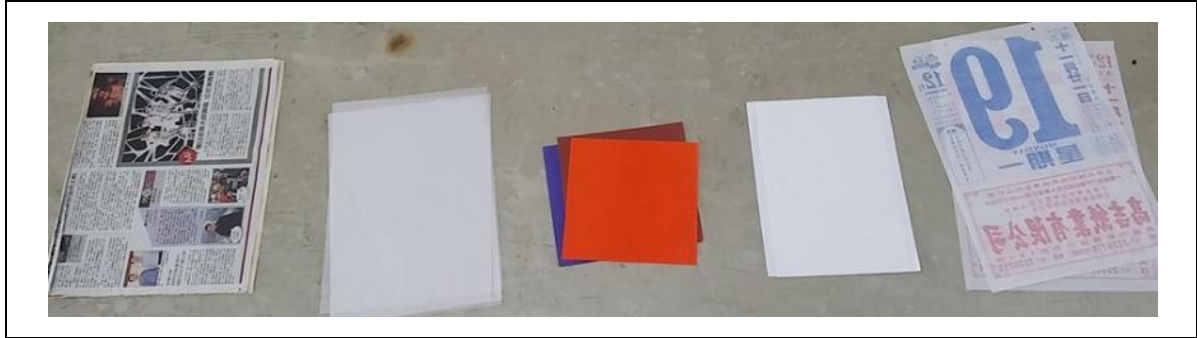
圖六：大嘴巴呈現逆時針方向旋轉

二、哪一種紙張適合製作大嘴巴？

(一)實驗方法

- (1)選五種不同紙張，報紙、描圖紙、色紙、影印紙、日曆紙(圖七)。
- (2)做成 3 個一樣大的大嘴巴，長寬為 20cm、5cm。黏貼處為 1 公分寬。
- (3)利用電子微秤(圖八)分別測量各種紙張所做成的 3 個大嘴巴重量，算出平均重量(圖九)。
- (4)將大嘴巴從 2 公尺高往下拋出，利用碼錶計算落地時間(圖十)，將結果紀錄下來。

報紙	描圖紙	色紙	影印紙	日曆紙
----	-----	----	-----	-----



圖七：五種紙張質材製作的大嘴巴



圖八：微量電子秤

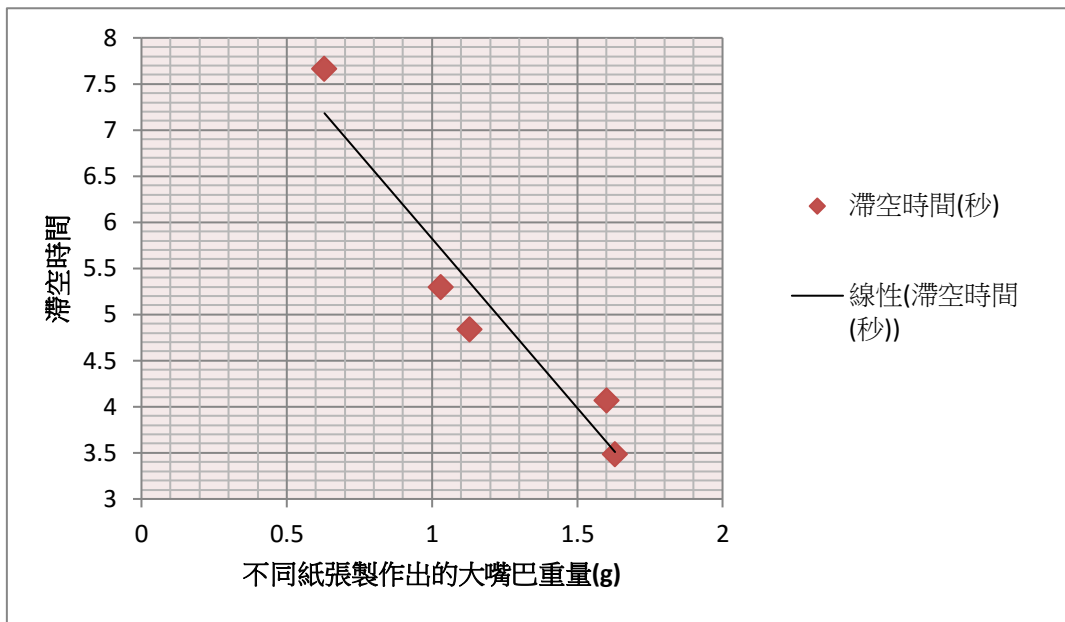


圖九：秤重色紙 1.6 克



2. 實驗紀錄

紙張材質	報紙	描圖紙	色紙	影印紙	日曆紙
平均重量	1.13 克	1.03 克	1.63 克	1.60 克	0.63 克
時間 1(秒)	4.76	5.12	3.19	4.14	7.82
時間 2(秒)	4.78	5.42	3.86	4.08	7.50
時間 3(秒)	4.98	5.36	3.41	3.98	7.68
平均時間(秒)	4.84	5.30	3.49	4.07	7.67



圖十一：大嘴巴重量與旋轉滯空時間的關係

3. 實驗結果

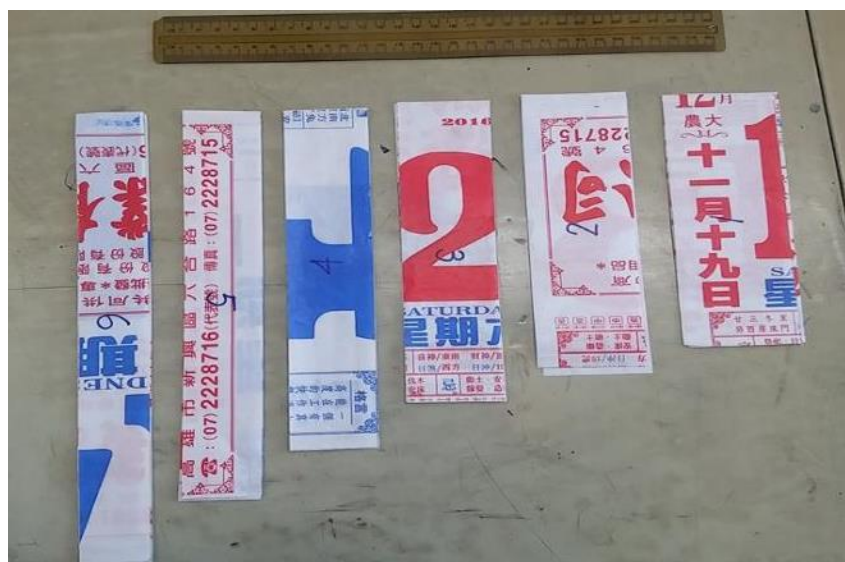
- (1) 同樣大小的大嘴巴，其重量大小為：色紙 > 影印紙 > 報紙 > 描圖紙 > 日曆紙
- (2) 滯空時間順序為：色紙 < 影印紙 < 報紙 < 描圖紙 < 日曆紙
- (3) 大嘴巴重量愈輕，滯空時間愈長，比較能符合飛行的要件
- (4) 建議選擇較輕盈的紙張製作大嘴巴，本實驗的大嘴巴以日曆紙為最佳紙張考量。

三、找出大嘴巴滯空效果最好的造型。包含大嘴巴的長寬比例、兩翼摺向、大嘴巴的造型、大嘴巴的開口形狀、紙張接合黏法、及兩翼長度等 6 項變因。

(一) 【研究三~1】比較不同長、寬比例的大嘴巴(圖十二)，在空中的滯留時間有何不同？

1. 實驗方法：

- (1) 將五種不同紙張—報紙、描圖紙、色紙、影印紙、日曆紙。
- (2) 每種紙質分別做成 5 個等面積、等重量，但長寬比例不同的大嘴巴。
- (3) 其 5 種長寬比分別如下：16.7×6.0、18.2×5.5、20.0×5.0、22.2×4.5、25.0×4.0、28.6×3.5(單位公分)。換算成比值(長/寬)為：2.78、3.3、4.0、4.9、6.25、8.17。
- (4) 將大嘴巴從 2 公尺高往下拋出，利用碼錶計算落地時間，將結果紀錄下來。



圖十二：不同長寬比例的大嘴巴

2. 實驗記錄

(1) 材質：報紙

長×寬(cm)	16.7×6.0	18.2×5.5	20.0×5.0	22.2×4.5	25.0×4.0	28.6×3.5
比值	2.78	3.30	4.00	4.90	6.25	8.17
時間 1(秒)	5.01	5.85	4.88	4.12	4.30	無法轉動
時間 2(秒)	4.97	6.19	4.81	4.22	4.26	無法轉動
時間 3(秒)	5.32	5.20	4.89	4.35	4.32	無法轉動
平均時間(秒)	5.1	5.75	4.86	4.23	4.29	=

(2) 描圖紙

寬×長(cm)	16.7×6	18.2×5.5	20×5	22.2×4.5	25×4	28.6×3.5
比值	2.78	3.30	4.00	4.90	6.25	8.17
時間 1(秒)	4.72	4.79	5.09	4.78	4.93	無法轉動
時間 2(秒)	4.91	4.84	5.53	4.62	4.25	無法轉動
時間 3(秒)	4.67	4.81	5.25	4.68	4.10	無法轉動
平均時間(秒)	4.77	4.81	5.29	4.69	4.39	=

(3) 色紙

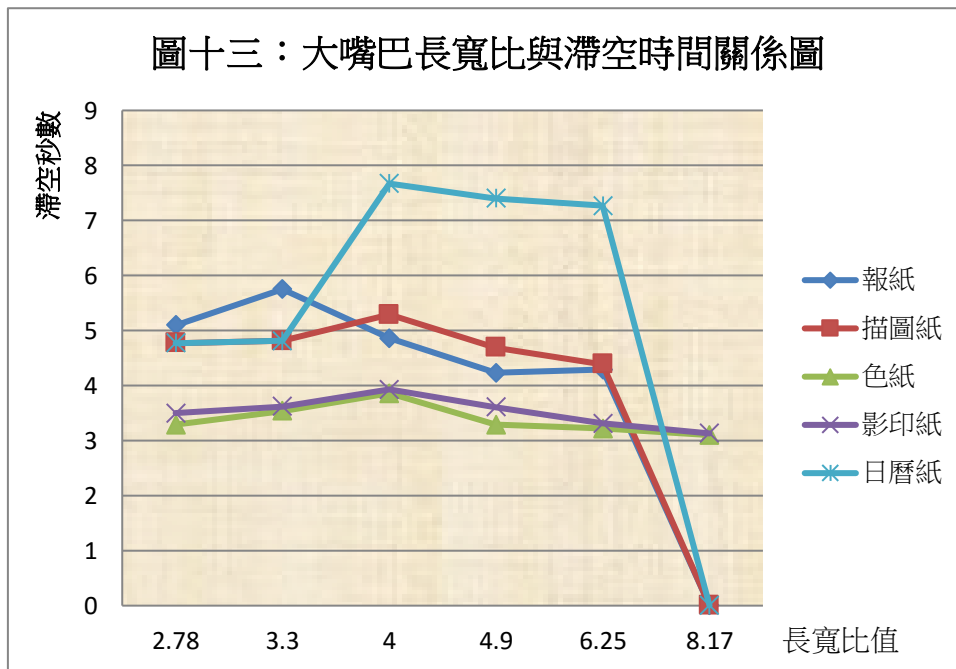
寬×長(cm)	16.7×6	18.2×5.5	20×5	22.2×4.5	25×4	28.6×3.5
比值	2.78	3.30	4.00	4.90	6.25	8.17
時間 1(秒)	3.12	3.48	3.79	3.25	3.25	3.05
時間 2(秒)	3.54	3.33	3.95	3.48	3.27	3.27
時間 3(秒)	3.22	3.81	3.85	3.14	3.14	2.97
平均時間(秒)	3.29	3.54	3.86	3.29	3.22	3.10

(4)影印紙

寬×長(cm)	16.7×6	18.2×5.5	20×5	22.2×4.5	25×4	28.6×3.5
比值	2.78	3.30	4.00	4.90	6.25	8.17
時間 1(秒)	3.19	3.75	3.95	3.69	3.40	3.58
時間 2(秒)	3.78	3.47	3.84	3.56	3.22	2.88
時間 3(秒)	3.52	3.64	4.01	3.59	3.31	2.94
平均時間(秒)	3.50	3.62	3.93	3.61	3.31	3.13

(5)日曆紙

寬×長(cm)	16.7×6	18.2×5.5	20×5	22.2×4.5	25×4	28.6×3.5
比值	2.78	3.30	4.00	4.90	6.25	8.17
時間 1(秒)	4.52	4.20	7.92	8.02	7.43	無法轉動
時間 2(秒)	4.20	4.24	7.40	7.38	7.14	無法轉動
時間 3(秒)	4.12	4.12	7.68	6.79	7.23	無法轉動
平均時間(秒)	4.77	4.81	7.67	7.40	7.27	=



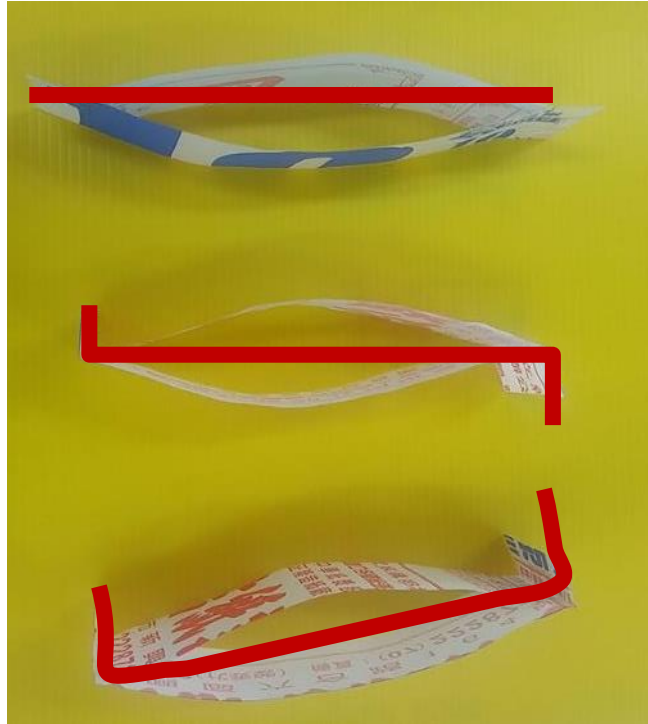
3.實驗結果：

- (1)利用描圖紙、色紙、影印紙及日曆紙所做出的大嘴巴，長寬比值以 4.00 最佳。
- (2)報紙做的大嘴巴是以 3.30：1 的比例最好。
- (3)用影印紙、色紙材質較重所製成的大嘴巴，不論任何長寬比值，飛行效果都不佳。
- (4)材質較輕盈的描圖紙、報紙及日曆紙在比值超過 8.0 時不容易飛行。

(二)【研究三~2】改變兩翼的摺向，比較其滯空時間有何不同？

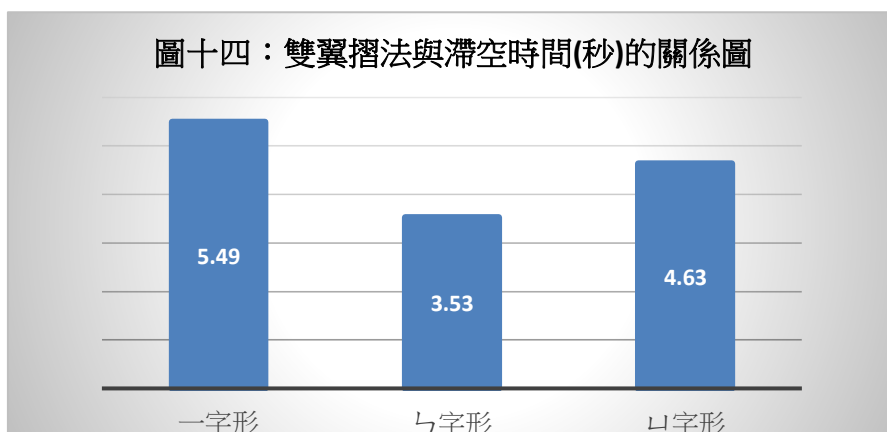
1.實驗方法：

- (1)製作三個重量均等、長寬比值為4(長20公分、寬5公分)的大嘴巴，兩翼在重疊2公分處做黏合。
- (2)一隻大嘴巴的兩翼不改變作為『一字形』的形狀，另外兩隻大嘴利用摺痕改變兩翼方向，一隻稱為『ㄣ字形』。另一隻稱為『凵字形』。
- (3)分別將大嘴巴從2公尺高往下拋出，利用碼錶計算落地時間，並紀錄結果。



2.實驗記錄：

兩翼方向	一字形	ㄣ字形	凵字形
時間 1(秒)	5.59	3.53	4.90
時間 2(秒)	5.40	3.69	4.53
時間 3(秒)	5.47	3.38	4.46
平均時間(秒)	5.49	3.53	4.63



3.實驗結果：

- (1)兩翼摺成ㄣ字形的靈感是來自第一種外型似Z的 Tumblewings，原以為此種造型旋轉較為平穩，結果發現反而最快下降。兩翼呈現凵字形的大嘴巴滯空時間也不長，推測與接觸氣流的面積較小所造成。
- (2)兩翼平展成一字形，旋轉時較為平穩，具有最好的滯空能力。

(三)【研究三～3】比較不同大嘴巴的形狀與洞數多寡，比較其滯空旋轉時間的差異。

1.實驗方法：

- (1)在紙張、重量相同的狀況下，改變大嘴巴的形狀。
 - a.將日曆紙裁成 4 種形狀的大嘴巴，將面積均控制在 90 平方公分。
 - b.四種形狀分別編號為甲、乙、丙、丁。
 - c.將大嘴巴從 2 公尺高的地方往下拋出，利用碼錶計算落地時間，將結果紀錄下來。



圖十五：四種面積相同但造型不同的大嘴巴

(2)在紙張、形狀、面積均同的狀況下，比較大嘴巴是否因為紙張打洞數多寡，而影響滯空旋轉時間。

a.利用日曆紙裁成3種一模一樣的大嘴巴。

b.一個大嘴巴保持原狀，一個大嘴巴上下各打9個洞，一個上下各打15個洞(均勻打動)。

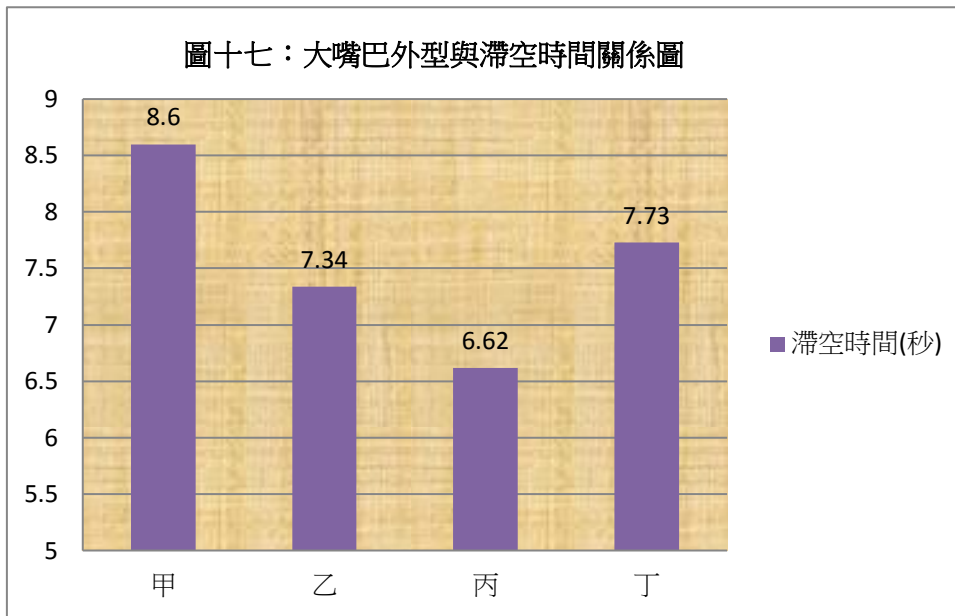
c.分別將大嘴巴從2公尺高的地方往下拋出，利用碼錶計算落地時間，將結果紀錄下來。



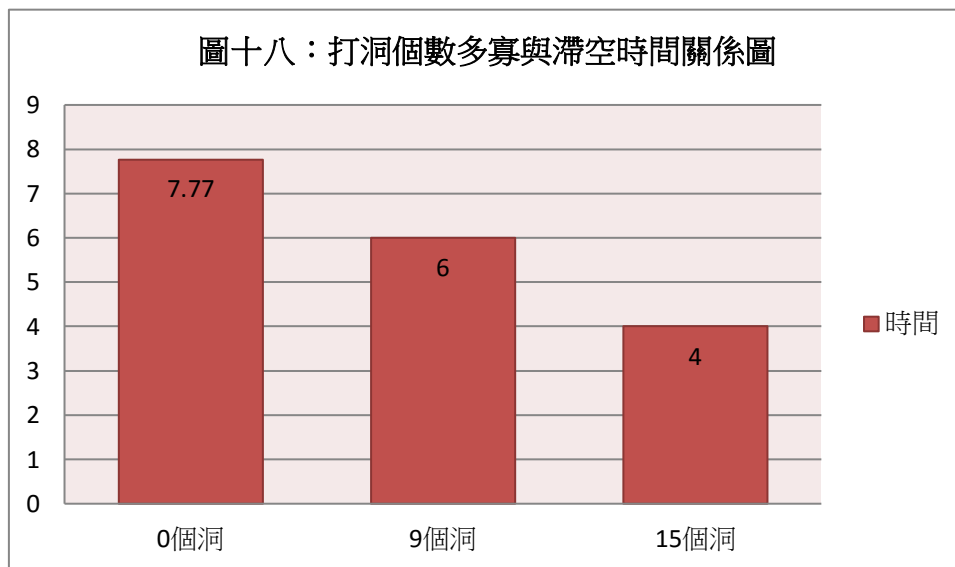
圖十六：打洞數不同的大嘴巴

2.實驗記錄

	甲	乙	丙	丁
大嘴巴形狀				
面積	$18 \times 5 = 90$	$\text{長方形} + 2 \times \text{梯形}$ $= 9 \times 5.5 + (4.5 + 5.5) \times 4$ $= 49.5 \times 10 \times 4$ $= 49.5 + 40$ $= 89.5 \div 90$	$\text{長方形} + 2 \times \text{梯形}$ $= 7.2 \times (4 + 0.5 \times 2)$ $+ (4 + 5) \times 6$ $= 7.2 \times 5 + 9 \times 6$ $= 36 + 54$ $= 90$	$\text{長方形} + 2 \times \text{梯形}$ $= 2 \times (3.7 + 1.15 \times 2)$ $+ (3.7 + 5) \times 9$ $= 2 \times 6 + 78.3$ $\div 90$
時間 1(秒)	8.94	7.31	6.56	7.91
時間 2(秒)	8.35	7.58	6.69	7.94
時間 3(秒)	8.52	7.13	6.60	7.34
平均時間(秒)	8.60	7.34	6.62	7.73



打洞個數	0 個洞	9 個洞	15 個洞
時間 1(秒)	7.39	6.03	3.62
時間 2(秒)	8.13	5.58	3.53
時間 3(秒)	7.80	6.38	4.04
平均時間(秒)	7.77	6.00	4.00



3.研究結果

- (1) 改變兩種大嘴巴的造型，在造型上，滯空時間長短依次是甲>丁>乙>丙。仍以原來的長方型形狀甲最為優秀，其次是最接近長方形的丁，愈接近紡錘型的效果愈差。
- (2) 利用打洞數讓飛行機翼造型做改變，結果發現不打洞的滯空效果比較好，打洞數愈多飛行



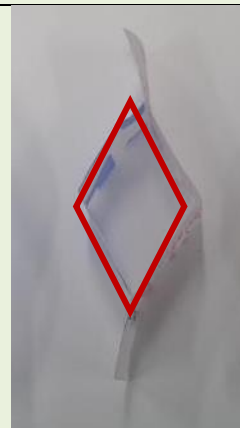

效果愈差，且不平穩。

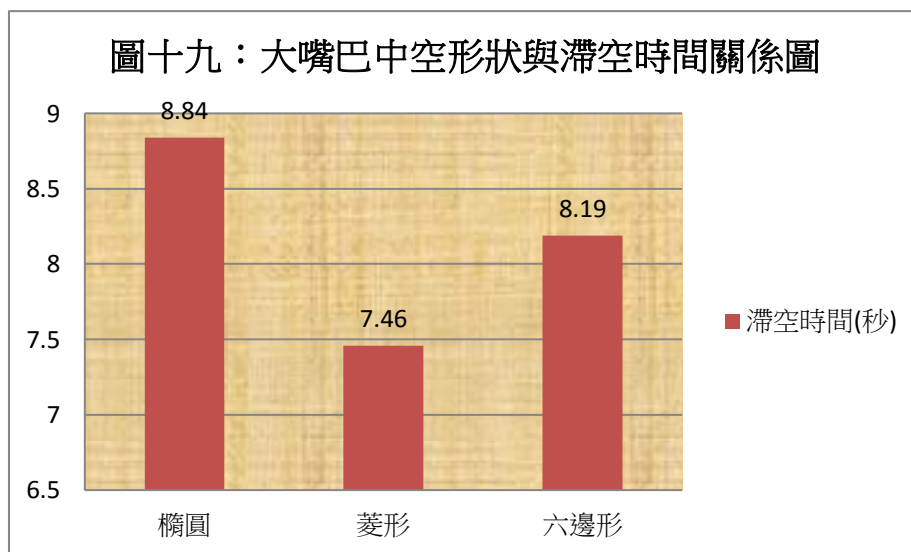
(四)、【研究三~4】 改變大嘴巴的開口形狀，是否會造成旋轉滯空時間的差異。

1.實驗方法：

- (1).用日曆紙製作 3 種大小相同的長方形大嘴巴。
- (2).將大嘴巴開口處做塑形，分別是橢圓、菱形、及六邊形。
- (3).分別將大嘴巴從 2 公尺高的地方往下拋出，利用碼錶計算落地時間，將結果紀錄下來。

2.實驗記錄

大嘴巴形狀 	橢圓	菱形	六邊形
			
時間 1(秒)	8.85	7.80	8.00
時間 2(秒)	9.02	7.59	8.50
時間 3(秒)	8.64	7.00	8.06
平均時間(秒)	8.84	7.46	8.19



3.實驗結果：大嘴巴中間的空洞，以自然打開的橢圓型旋轉滯空時間最為優秀，其次是比較接近橢圓形的六邊形，菱形的旋轉最不平穩。

(五)【研究三~5】比較大嘴巴紙張接合黏法，是否會影響滯空時間？

1.實驗方法：

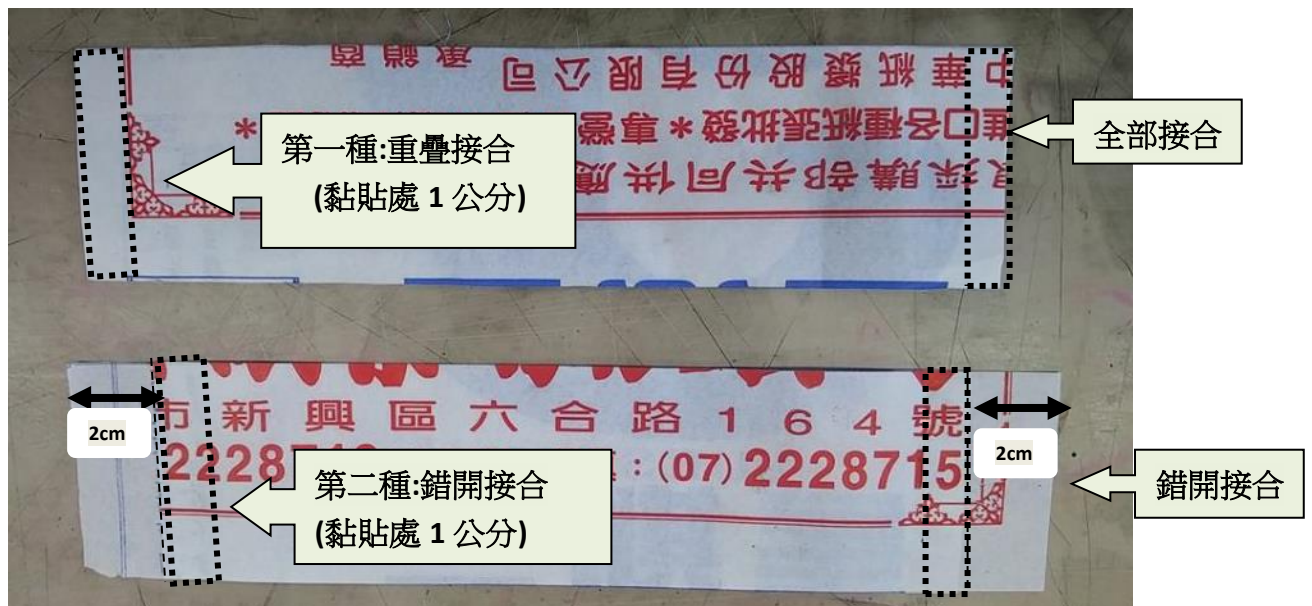
1.將日曆紙裁成長寬比值為 4 的大嘴巴(長 20 公分、寬 5 公分)。

(2)實驗中採用的兩翼接合法有兩種：

第一種是**重疊接合**：將大嘴巴兩翼的邊緣，取出 1 公分，用口紅膠對齊黏合。

第二種是**錯開接合**：將大嘴巴兩翼的邊緣錯開 2 公分後，用口紅膠黏合。

(3)將大嘴巴從 2 公尺高往下拋出，利用碼錶計算落地時間，將結果紀錄下來。



2.實驗記錄

兩翼黏合法	重疊接合	錯開接合
時間 1(秒)	6.76	7.39
時間 2(秒)	6.95	8.13
時間 3(秒)	6.85	7.80
平均時間(秒)	6.75	7.77

3. 實驗結果：大嘴巴的紙張接合方式，以錯開接合方法，可能因而使兩翼的長度增加，造成飛行滯空效果會比較優異。

(六)【研究三~6】改變大嘴巴兩翼的長度，是否會影響滯空時間？

1.實驗方法：

(1)將日曆紙裁成長寬比例最佳的大嘴巴(長 20 公分、寬 5 公分)，讓實驗中的每隻大嘴巴

重量均相等。

(2)利用錯開黏合方式，將兩翼長度保留出1公分、2公分、3公分、4公分長，在黏貼處為1公分寬(圖二十)。

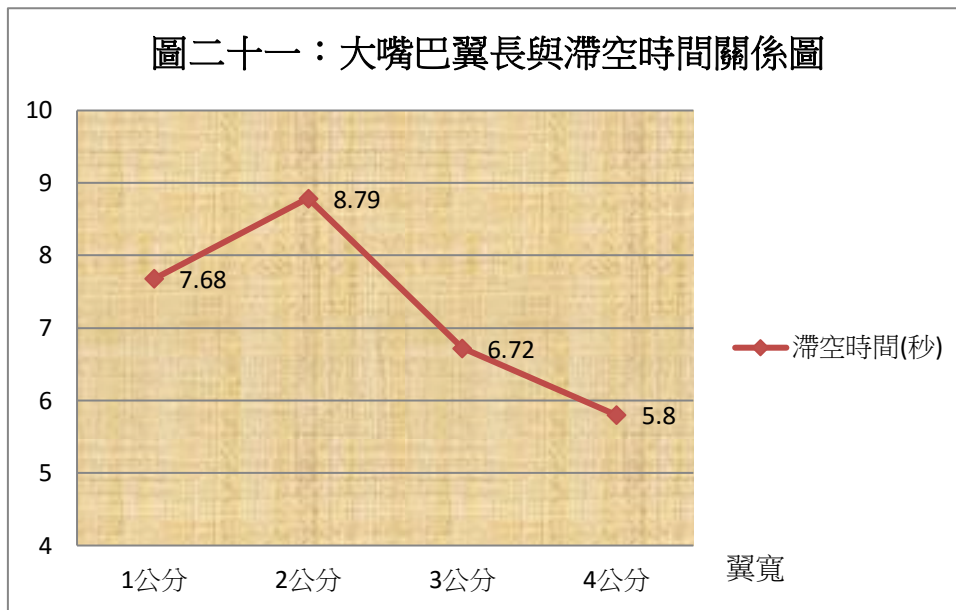
(3)將大嘴巴從2公尺高的地方往下拋出，利用碼錶計算落地時間，將結果紀錄下來



圖二十：兩翼不同长度的大嘴巴

2. 實驗記錄

翼長	1公分	2公分	3公分	4公分
時間 1(秒)	7.78	8.70	6.81	5.88
時間 2(秒)	7.70	9.07	6.87	6.01
時間 3(秒)	7.56	8.60	6.49	5.52
平均時間(秒)	7.68	8.79	6.72	5.80



3.實驗結果：

- (1)利用描圖紙做成翼長不同的大嘴巴，結果發現翼長為 2 公分的大嘴巴滯空時間最長。
- (2)原本預測翼長最長的 4 公分，滯空時間應該最好，沒想到反而愈差，推測應該偏離了大嘴巴的最佳長寬比例(長寬比為 24：4)。

四、【研究四】找出最佳的起風板材質？

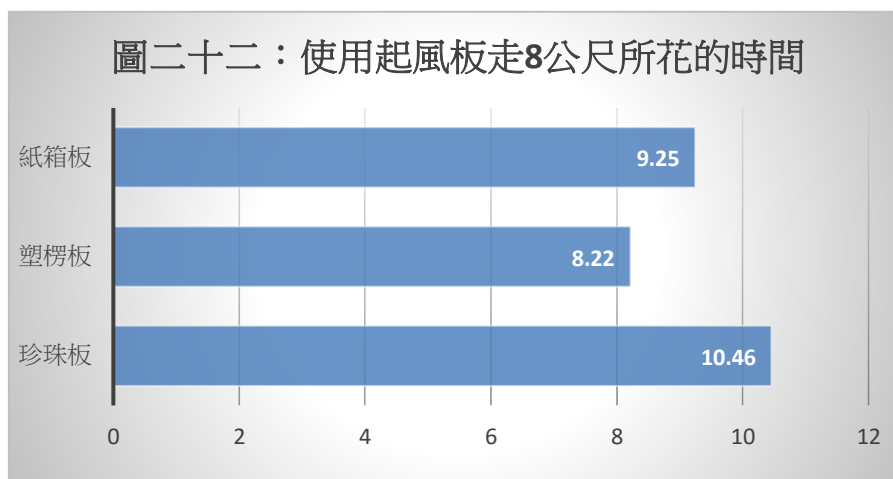
(一)實驗方法

- 1.以厚片珍珠板、塑楞板、紙箱板作為起風板的材料，並將 3 種起風板裁成一樣大小 (55cm*40cm)。
- 2.分別紀錄 3 位學生，利用上述 3 種起風板走完全程 8 公尺(教室前後距離)，紀錄所花費的時間。
- 3.越能慢慢控制大嘴巴前進速度，顯示是愈好用的起風板。
- 4.詢問三位使用者，比較三種起風板的優缺點。



(二)實驗記錄

起風板材質	厚紙板	珍珠板	塑楞板
人員 A	8.77	9.30	7.89
人員 B	9.87	11.39	9.09
人員 C	9.12	10.70	7.69
平均時間(秒)	9.25	10.46	8.22



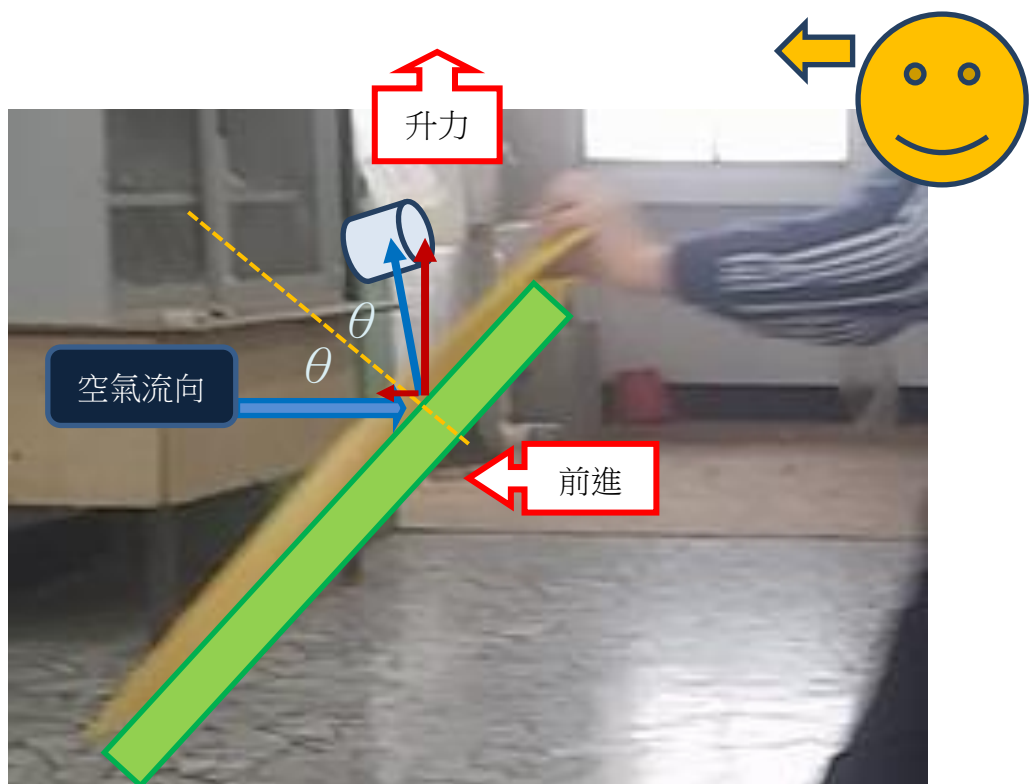
(三)實驗結果

- 1.利用珍珠板可以平穩的控制大嘴巴，可以用很緩慢的速度走完全程。其次是厚紙板，最難控制大嘴巴的是塑楞板。
- 2.厚珍珠板最貴，但最容易操控，優點包含表面平整、重量輕，不易變形，容易控制大嘴巴飛行。
- 3.紙箱板的優點容易取得。缺點：紙箱板重量較重，不小心撞到牆壁或地板時容易變形。
- 4.塑楞板的缺點：塑楞板表面較不平整，操作時，大嘴巴容易往下墜落停在塑楞板上；大嘴巴容易產生歪斜，不受控；實驗者走路速度必須加快，增加昇力。

五、【研究五】如何操作起風板以控制大嘴巴飛行？

(一)實驗方法

1. 參考研究二～三，利用日曆紙做出最完美的大嘴巴，配合珍珠板來做實驗。
- 2.到學校地下室(無風、空曠)處進行實作。
- 3.拍下實驗者操作大嘴巴前進過程，分析如何控制起風板調整大嘴巴方向。

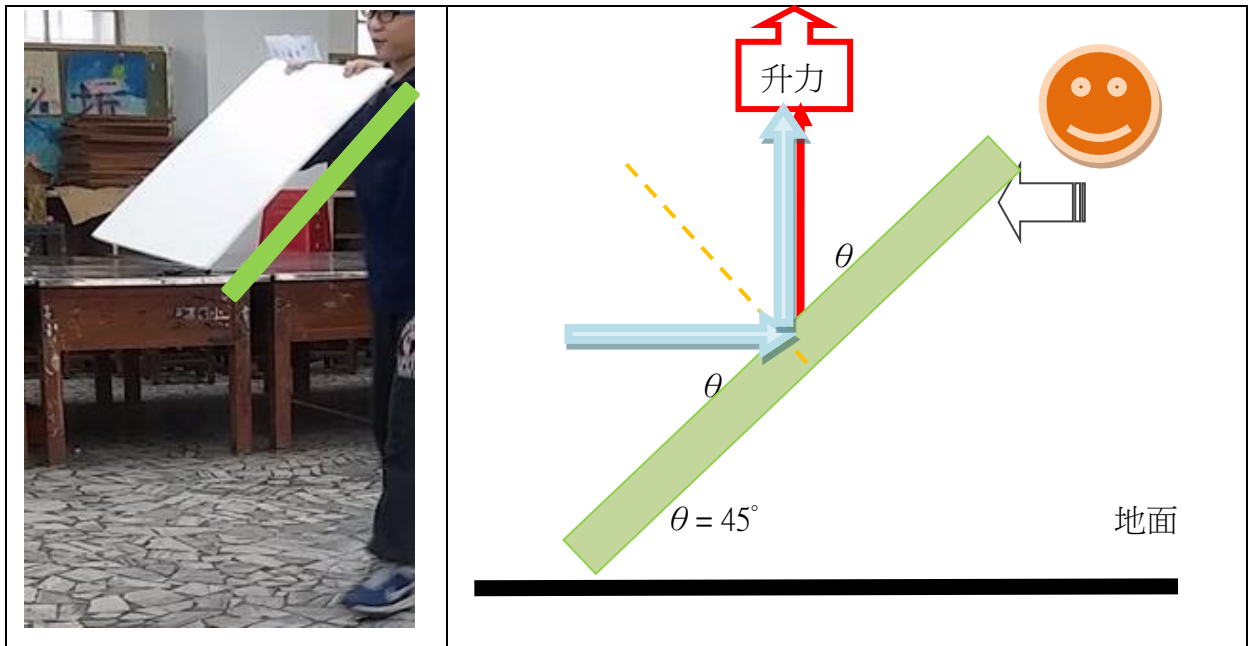


(二)實驗結果

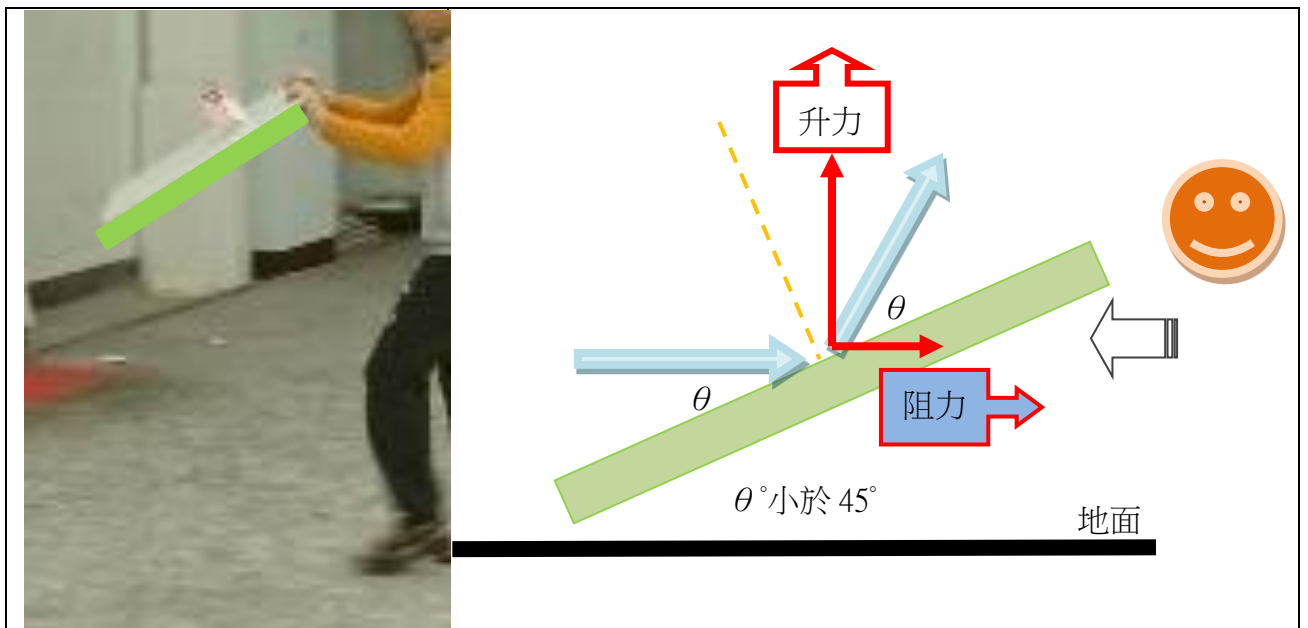
根據影片的動作分析，我們發現大嘴巴的控制，與起風板的傾斜角度有相當的關係。

以下分為幾個動作做說明。

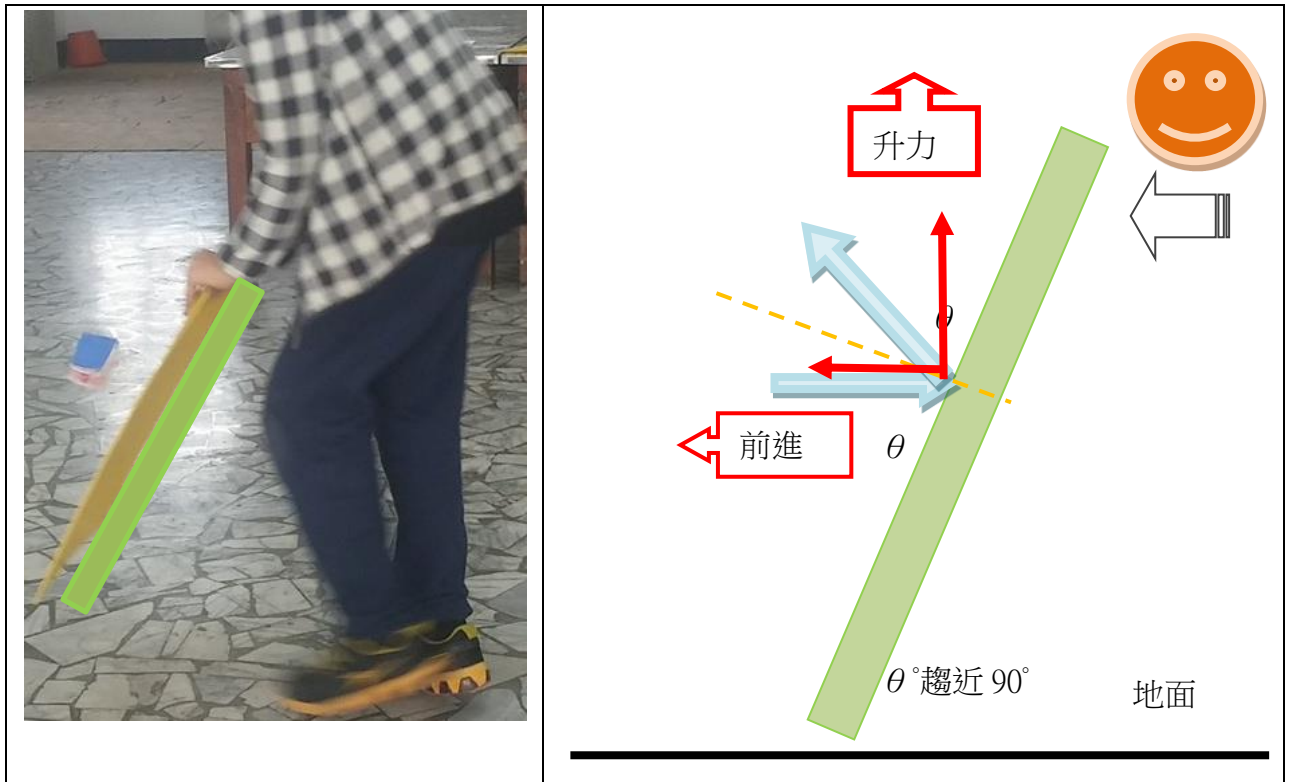
- 1.上升：起風板與地面夾角接近 45° 時，也就是 $\theta = 45^\circ$ ：此時，打到起風板上的反作用力經過入射與反射關係，升力最強。當升力 $>$ 大嘴巴重量時，大嘴巴會往持續上升。



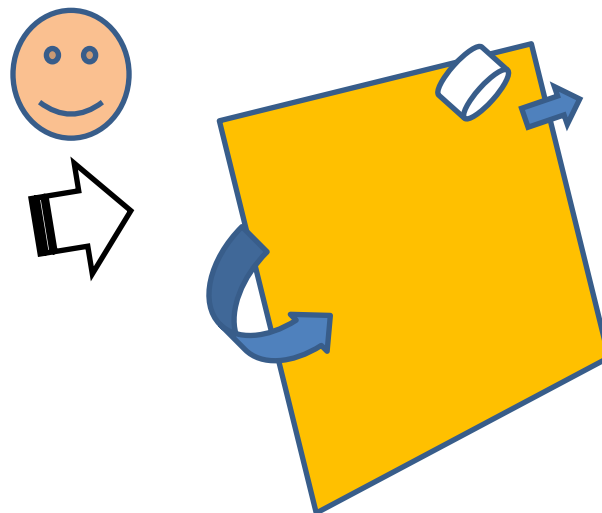
- 2.減速：起風板與地面夾角小於 45° ，也就是 $\theta < 45^\circ$ ，此時，起風板也會產生升力，但會有另一股分力(亦即前進的阻力)往實驗者方向，使大嘴巴被往後推，形成減速剎車現象。



3.下降：起風板與地面夾角在 75° 接近 90° 度時，也就是起風板與地面趨近垂直時，會產生較小的升力。如果角度再垂直些，當升力 < 大嘴巴的重量時，大嘴巴會往下掉。

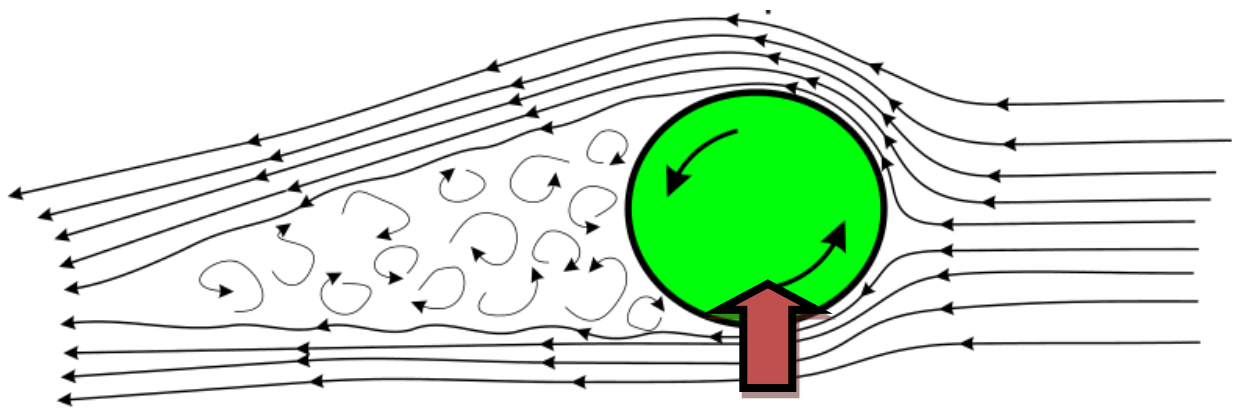


4.左右轉：將起風板的右端往前傾，大嘴巴便會向左傾斜。反之，便向右轉。



陸、研究討論

一、大嘴巴能夠往前飛行，與大嘴巴旋轉的方向有關。若以實驗者的右側面觀察，大嘴巴必須以逆時針方向旋轉，才能產生上升的力量(如下圖)。我們可以利用**馬格努斯效應**來說明大嘴巴需要逆時針旋轉的原因。當物體（如圓柱體）在流體經過時如進行滾轉運動，則因流體黏滯性的效果，將使得鄰近此物體之流體被帶動而旋轉，此時流體將有流速大小不等的現象產生，而根據柏努利定律(Bernoulli's Law)將在此物體表面造成壓力差，產生側向力，此即為德國科學家馬格努斯於 1852 年所發現的馬格努斯效應。實驗中，當大嘴巴以逆時針方向旋轉時，上方的空氣流動方向與大嘴巴旋轉方向相同，使得空氣流速較快，並使得氣流往下偏流。反之大嘴巴下面，空氣流動方向與旋轉方向相反，使空氣流速較慢。也就是說說，大嘴巴上方的空氣流速快（壓力小）、下方流速慢（壓力大），形成了壓力差，產生往上的作用力，使大嘴巴可以漂浮在半空中(如圖二十三)。



圖二十三：馬格努斯效應

二、為了使大嘴巴飛行效果提高，紙張的選擇也是重要關鍵。在【研究二】中我們比較了報紙、描圖紙、色紙、影印紙、日曆紙所做的大嘴巴，結果發現紙張愈重，滯空時間愈短，反之，紙張愈輕，滯空時間愈長。因此建議選擇輕盈的日曆紙來製作大嘴巴效果最好。其次是描圖紙及隨手可得的報紙。

三、【研究三】中，為了製作出效果最好的造型的大嘴巴，我們找出了六種可能會影響大嘴巴外型的變項，包含大嘴巴的長寬比例、兩翼摺向、大嘴巴的紙張造型、大嘴巴的開口形狀、紙張接合黏法、及兩翼長度等 6 項變因。

(一)在【長寬比例】上較重的紙張，如影印紙、色紙，不受長寬比值的影響，滯空時間差異不多。材質較輕盈的描圖紙、報紙及日曆紙，造型太過細長不易飛行。報紙以 3.33 : 1 的比例最好，日曆紙、描圖紙長寬比值在 4.0 時旋轉滯空最佳。

(二)在【兩翼摺向】的變化上，因為有摺向的大嘴巴在飛行時與氣流接觸的面積較小，建議讓兩翼平展成一字形為最優。

(三)在【大嘴巴的造型】上我們在大嘴巴表面積相同的控制下，讓有些大嘴巴呈現紡錘型，並將大嘴巴打洞，試圖減輕其中重量。結果發現愈接近紡錘型的大嘴巴，及有打洞的大嘴巴都會使周圍的氣流不平均，不利慣性旋轉，建議仍以完整紙張長方型的大嘴巴為優。

(四)在【大嘴巴的開口形狀】我們發現六邊形、菱形的滯空效果都沒有橢圓來得好，可能是氣流打在大嘴巴內側時呈現愈接近圓形狀態的大嘴巴愈能平均受力，旋轉穩定性最佳。

(五)在【紙張接合黏法】大嘴巴的飛翼處接合方式，以錯開接合方法，飛行滯空時間較重疊黏合優異。錯開黏合後兩翼邊緣只有一張日曆紙，兩翼長比平常增加一些長度，因而使滯空時間較優異。

(六)在【兩翼長度】上，我們利用錯開接合方式製作大嘴巴，發現兩翼長不是愈長愈好，在翼長留出 2 公分的狀況下，滯空旋轉時間最長。

四、【研究四】我們比較了厚珍珠板、厚紙版、塑楞板三種起風板材質。在相同距離下，由 3 位實驗者分別利用三種起風板操作同一隻大嘴巴，紀錄完成的時間，並說明行進中操作起風板的感想。結果發現厚珍珠板質地輕盈、不易變型、表面平滑且容易操控，最適合用來當做起風板，其次是厚紙板，最差的是表面不平整的塑楞板。

五、【研究五】，我們整理出如何調整起風板的角度的，來改變大嘴巴的上升、停止、下降、左右轉等的滯空飛行方向。結果發現：

(一)要使大嘴巴上升，起風板與地面的夾角在 45° 左右，會產生做大昇力，利用昇力可以抵銷大嘴巴的重量。若要提供前進的氣流，建議起風板與地面夾角要大於 45° 。

(二)要使大嘴巴前進速度變慢，起風板角度與地面的夾角應調整為小於 45° ，此時會產生一股往實驗者方向的氣流，藉此以減緩大嘴巴的前進的速度。

(三)要使大嘴巴下降，起風板與地面角度應慢慢調整到大約在 75° 至垂直，以減少產生上升的氣流。

(四)控制大嘴巴左右轉，只要將起風板單邊轉向，如同騎腳踏車般，將板面傾向左面便會向左轉，傾向右面便會向右轉。

六、總而言之，大嘴巴是個簡易製作且不需花

費金錢的有趣飛行器，只要能找到適合的紙材及比例製作大嘴巴，並選擇適當的起風板，輔以玩家本身控制大嘴巴的訓練，掌握下面幾個原理，便可成為好玩的科學小遊戲((註一)

(一)大嘴巴旋轉方向要符合馬格努斯效應，才能使紙片上升。

(二)大嘴巴外型必須能形成保持穩定的旋轉慣性，使大嘴巴能平穩地繞著軸心轉動前進。

(三)利用起風板，調整適合角度製造出上升或前進氣流，才能抵抗大嘴巴本身重量並提供前進的推力。

柒、參考資料

1. 公視 (2013)。流言追追追--紙飛機 <https://www.youtube.com/watch?v=s1Qx1CdkK2g>
2. 維基百科:轉動慣量，<http://ezphysics.nchu.edu.tw/ccp/kinematics/k8.htm>
3. 不想落地—Tumble Wing(2015)。高雄市英明國中第 55 屆科展，國中物理組。
4. BIG MOUTH TUMBLEWING MAKE AND FLY
<https://www.schooltube.com/video/f3ba37634e9049bfb666/BIG%20MOUTH%20TUMBLEWING%20MAKE%20AND%20FLY>
5. 魔力棒球，<http://www2.nsysu.edu.tw/physdemo-kh/2012/A2/A2.php>。
6. 馬格努斯效應。科學遊戲實驗室，國立台中教育大學 NTCU，科學教育與應用學系，<http://scigame.ntcu.edu.tw/air/air-023.html>。
7. 李名揚(2006)。王建民怎樣讓棒球轉彎？。聯合報，2006/08/02，
http://mail1.ctsh.mlc.edu.tw/~ctsh_h/cthchem/psweb/newspaper/chien_ming_wang.html

註一：大嘴巴飛行競賽



【評語】 080111

飛行的機制可以設計更進一步的研究。另形狀、比例、與真實的大小可以再精進。