

作品名稱：三論渦旋 ～乘著歌聲的翅膀

高小組 物理科 第三名

縣市：台北市

作者：王啓倫

校名：再興小學

指導老師：王香娥 于學毓

關鍵詞：渦旋的律動、失速時的渦旋結構、三角翼後掠翼、攻角、
渦旋遵守動量守恆定律



中華民國第四十一屆中小學科學展覽會 作品說明書

名稱：三論渦旋～乘著歌聲的翅膀

一．研究動機

自從進入”渦旋”的領域已經三年了。大至宇宙星雲，小至鞭毛運動，都有它的蹤跡。

有天傍晚，一架飛機，劃過天際；飛機身後拖著好長一道橘色捲線；“為什麼不是直線？”。秋天轉眼來到，大雁排成“人”字型，飛過天際。它們成群的隊伍與我常見的鴿群，截然不同。小鳥難道知道成群結隊時該用哪種隊型？

大自然是最好的設計師。看看蜻蜓，它的翅膀和小鳥是多麼的不同；難怪老師說，別急著去看史帝芬史比柏的電影；在垃圾桶邊看看蒼蠅吧！

大自然精巧的設計，必有道理。我就從基本起，要知道蜻蜓怎樣飛，先得了解：怎樣停滯空中，不掉下來。如何維持上升力？

二．研究目的

- (一) 觀察自然的翅膀[種子與小鳥]
- (二) 探討上升力的加成因素
- (三) 上升的阻礙
失速下墜前的一剎那～渦旋結構
- (四) 渦旋與上升力～三角翼
- (五) 渦旋的律動之美

三．研究設備器材

- (一) 簡易實驗水槽 [已使用三年]
60cmx60cmx100cm
- (二) 渦流實驗水槽 [30cmx150cmx30cm]
- (三) 機翼模型 [於水中測試渦旋]
- (四) 簡易實驗飛機模型 [九架]
機身/機翼/尾舵
※機翼面積均為 200 平方公分
※機身與尾舵均完全相同
- (五) 發射台 [以橡皮筋做的彈力發射器]
- (六) 模型小鳥一隻
- (七) 量筒,清水,食用色素,脫脂鮮奶,酒精

四．研究過程或方式

【前言】

這次實驗是藉由：觀察自然界中最普遍的畫面：樹葉及種子的飄落、小鳥的飛翔；進而探討物體得以上升、停滯空中、下墜的基本現象。尤其是飛機射出後彎折下墜的原因探討是這次實驗的重心。

在可觀察的各式翅膀中，本實驗以簡易飛機翅膀為主要觀察對象。

這次實驗暫時不深入討論動力；也就是假設小鳥是能動的（發條啟動）、飛機是能平順飛的。

因為無法測量升力的大小：是用滯空時間作為評估的方式。

在撕紙自由落地實驗中，我先將紙舉起也就是讓紙具有位能，再放手讓紙自由落下，位能會慢慢減少，動能增加，直到接觸地面。

在模型小鳥實驗中，轉動發條，其實就是給予動力（彈力），發條轉動的越多圈，動力越大，速度也越快。

在實驗飛機項目中，我的發射架是使用橡皮筋的彈力發射（實驗過程中暫時不考慮動力因素；一方面在小鳥實驗中已討論過【由於在觀察紙張飄落的項目中，體認到『與空氣接觸面積的大小』是影響升力的一環；所以，在設計模型飛機時將〈翅膀面積〉設為相同、機身相同、尾舵相同；但是翅膀形狀不同；對相同飛機以〈不同發射角度〉處理。】另一方面也是有意讓翅膀的形狀成為操縱變因。）

所以固定動力、機身、翅膀面積、尾舵。

這次的實驗，並不討論如何做飛機；但是，我的實驗飛機的做法：是盡量將重心放在機翼前三分之一的地方。因為根據資料：矩形翼的升力合力點是在機翼前三分之一的地方。將升力與重力放在同一點是避免產生翻滾。【三分之一定位點適用於矩形翼】

1. 取出實驗用的簡易飛機模型
2. 每一架編號
3. 設置彈力發射台
4. 安裝模型機並發射
5. 記錄滯空時間[自發射至落地]
6. 拾回飛機
7. 重複步驟二至步驟六

★架設發射台時 以攻角 0° 4° 11° -4° 各試一次

★除了記錄滯空時間也要觀察飛機飛行的路徑

★橡皮筋不要太緊 以免影響實驗的可信度

★實驗場地盡量寬大 盡量保持無風狀態

★飛行中途若有碰撞則記錄無效

★ 盡量多測幾次 保持實驗的可信

※在簡易飛行翼實驗中，經過多次反覆實驗，發現小飛機經常上升到某個高點突然倒栽蔥掉了下來。為了更深入了解簡易飛行翼突然失去控制無法繼續上升或停留在空中的原因，特地設計了在實驗水槽中的實驗：

◆同一翼面，不同攻角【觀察流線變化】

※在簡易飛行翼實驗中，經過多次反覆實驗，發現小飛機中《三角翼及後掠翼》表現特別：

◆不同翼面 【觀察三角翼】

◆翼面表面的光滑度



※上升的阻礙～～失速時的流線變化

- 1、進行實驗水槽準備
- 2、將水槽放滿水後排空，排除前次實驗的影響
- 3、調製染料
- 4、設置染料滴定
- 5、將機翼模型準備好
- 6、放出染料 觀察水流流過機翼



★保持水流流速之穩定

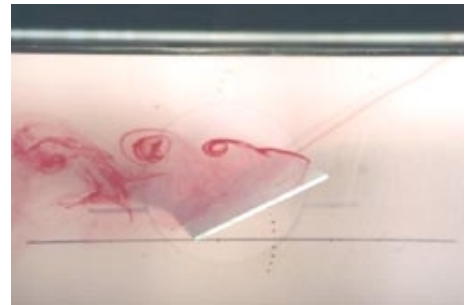
★實驗須在水平靜時進行

★機翼模型在攻角 0° 5° 15° 20° -5° 各試一次

※染料的調製是依比例設定

(1) 清水：食用色素 = 100：9

(2) 紅色染劑：脫脂鮮奶：酒精 = 105：

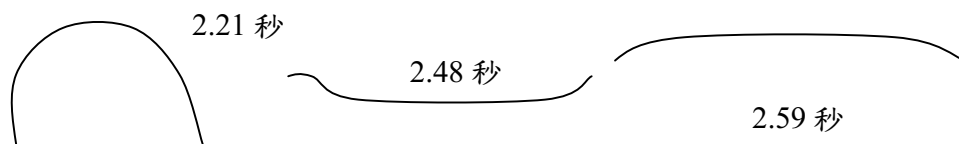


五．研究結果

1. 紙張大小 與 滯空時間

1	1/2	1/4	1/8	1/16	1/32	1/64	1/128	1/256	1/512
2.85	2.865	2.86	2.72	2.38	2.50	2.43	2.84	2.49	2.65

2. 紙張彎曲度 與 滯空時間



3. 翅膀拍撲次數 與 滯空時間

完全沒有拍撲動作	拍撲五下	拍撲十下	拍撲二十下
0.86	1.21	1.98	2.92

※由於模型小鳥重量遠超過紙飛機；在實驗過程中‘飄’的機會很少。

4. 實驗模型機試飛之發射角度與滯空時間

(1) 半翼面積 100cm 平方～矩形翼【滯空時間 || 飛行距】

★№7 展弦比=4.77；№5 展弦比=3.125；№3 展弦比=2.0



由於無法測量飛行翼在空中的飛行長度，所以飛行距是用發射台與落地點之間的距離來測量。在這種測量基礎上，滯空時間與飛行距沒有比例的關係；但是飛行距仍是一項很好的參考數值。

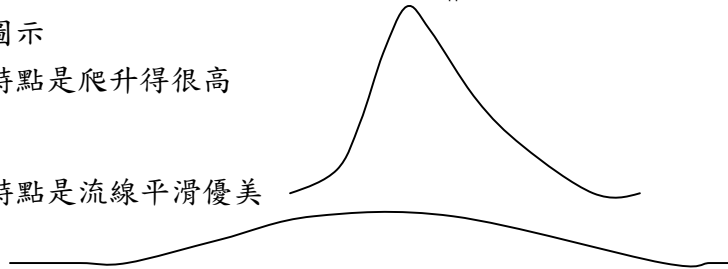
※№7 在落地近地面時，會滑翔一段距離。經過反覆多次實驗，發現 A/R 值較大的飛行翼在落地近地面時比較會飄[滑翔]。

(2) 半翼面積 100cm 平方～後掠型【滯空時間 || 飛行距】

※飛行路徑圖示

◦三角翼的特點是爬升得很高

◦後掠翼的特點是流線平滑優美



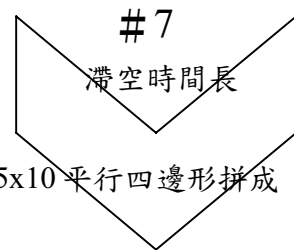
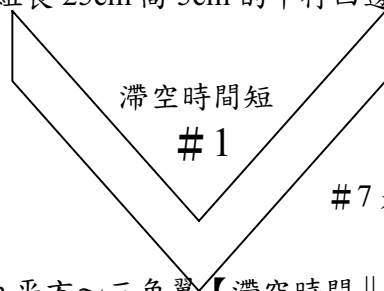
※三角翼能爬升得很高，可是往往倒栽蔥掉下來。



以下八架飛機是用全翼面積=250cm 平方製作



#1 是由兩組長 25cm 高 5cm 的平行四邊形拼成



#7 是由兩組 12.5x10 平行四邊形拼成

(1) 全翼面積 250cm 平方～三角翼【滯空時間 || 飛行距】

※#4 是後掠 $70^\circ \triangle [60^\circ, 60^\circ, 60^\circ]$ ，#6 是後掠 $45^\circ \triangle [90^\circ, 45^\circ, 45^\circ]$

※#4 能夠爬升得很高；尤其是發射角度 12° 時，他上升得幾乎碰到體育館的屋頂；令人印象深刻。

(2) 全翼面積 250cm 平方～胖梯形翼

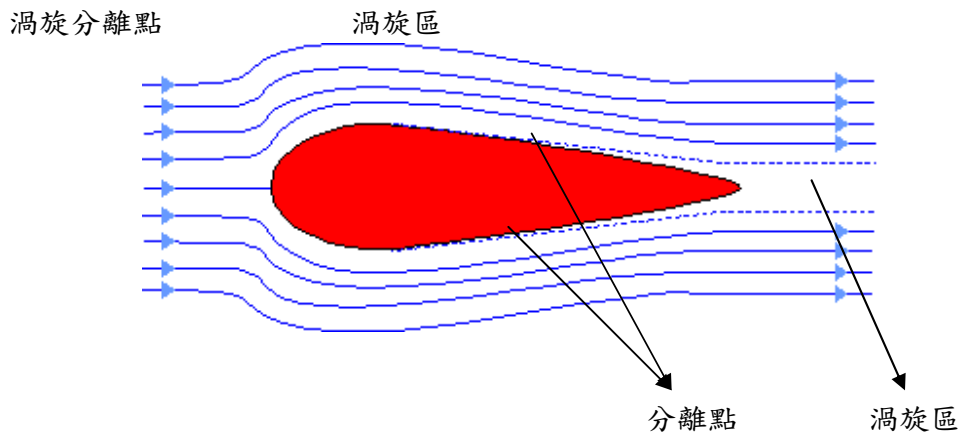
※最長的飛行距是由這架胖梯形所締造[14.5m]

※翼面是由兩個梯形組成[上底 10 下底 15 高 10]

※整體翼面面積 250cm 平方，看上去像個六角形。

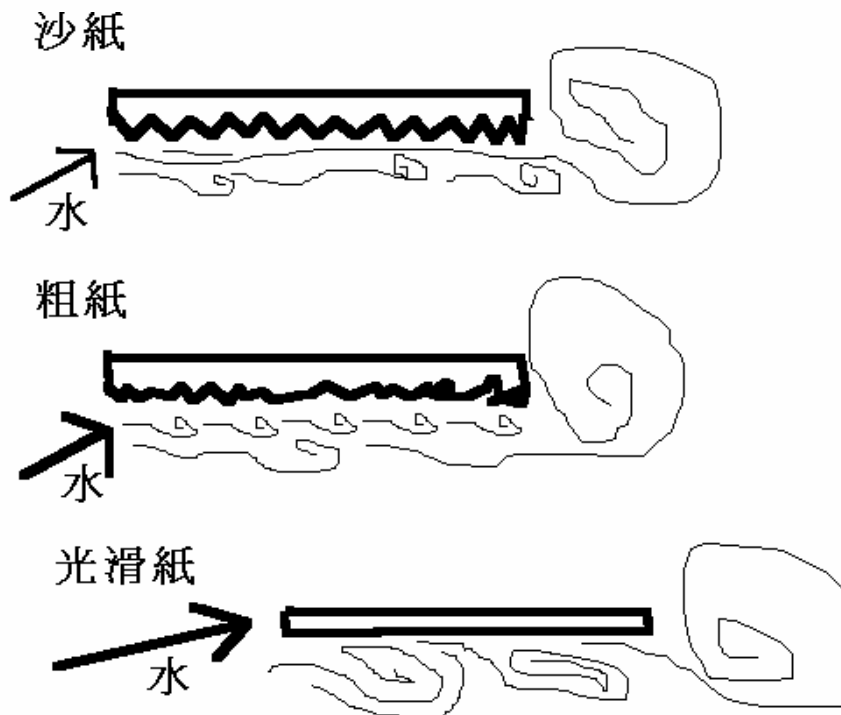
◆ 上升的阻礙～～渦旋剝離與分離點

5. 同一翼面，不同攻角～流線變化與渦旋結構不同



6. 不同翼面~後掠角不同；流線變化與渦旋結構不同

◆ 渦旋結構與翼面粗糙度



◆ 在這次實驗中有三項意外的發現：

[1] 撕紙自由落地時

在 1/128 紙片時，發現運動曲線截然不同；小片落地速度很快，但是滯空時間卻很長

[2] 在實驗水槽中，發現渦旋出現時：必定成對；一個是逆時針，一個是順時針

[3] 一般機翼，表面很光滑；那是在高速時，減少表面阻力；但是實驗發現：

★低速時 [就像我用的水槽]，有顆粒的表面，反而比光滑的表面，不容易產生渦旋！

六. 討論

(一) 滯空時間的研究

在實驗中以滯空時間作為測量升力的一項指標

1. 觀察起自細微處

在第一個實驗項中, 可以發現幾個很有趣的現象:

- (1) 大張的紙重量比較重, 但是滯空時間卻是比較久。所以誰能停留得久, 面積是主要決定因素。而且大紙片與小紙片, 運動曲線不同。
- (2) 由實驗可得: 微向下彎曲的大紙片可以獲得較多的升力; 滯空時間可以較長。

2. 翅膀拍撲學問大

(1) 小鳥翅膀拍撲次數越多滯空時間越長

(2) 拍撲動作一停止, 小鳥便自由落下

★那麼拍撲應是獲得升力的方法之一。

◎如果仔細觀察小鳥, 可以發現: 小鳥向下拍與向上撲並不完全相同。

向下時翅膀全張, 而向上時, 翅膀開始收起, 一再重複動作。

3. 自簡易飛行翼著手

•兩組個別重量相同

•機身完全相同

•兩組個別翅膀面積相同

所以兩組十五架模型飛機, 不同的是翅膀的形狀。

◎經過多次反覆實驗, 發現發射角度及機翼造型, 會影響滯空時間:

※後掠角度越大, 速度越快, 爬升得越高。

【後掠 70° #4: 在發射角 12°時; 爬升得最高】

※№8: 後掠 65° [半翼展=10cm/最大弦長=20cm] 在發射角 4°時, 滯空時間和飛行距都表現亮眼。

※№9 和 #7 的飛行流線都非常優美; 但是№9 的 AR 值較大, 滯空時間比 #7 長。

◎在上一次的實驗中, 了解到物體運動時, 會產生渦旋阻力。

★渦旋阻力較大 動能損失較多

◎實驗用的飛機: 結構非常簡單, 機身/機翼/尾舵, 而與空氣接觸最多的部分, 應是機翼。

★渦旋阻力的來源應是機翼

◎在這次實驗中 •重量相同•機身完全相同•翅膀面積相同

每架實驗機, 機翼造型不同或發射角度不同; 滯空時間不同, 運動流線不同。

(二) 優美的曲線

一張紙片不受外力下自由落地

面積 [1 1/2 1/4]、面積 [1/8 1/16 1/32 1/64]、面積 [1/128 及更小的]

★仔細觀察,自 1/128 開始,運動曲線與之前較大張的完全不同。滯空時間突然變長。

◎自然界也有很多類似的例子,很多植物的種子都帶著小翅膀。由本實驗發現 1/128[A4*1/128] 大小,其滯空時間突然變長,不難想像:如此大小的植物種子自然孕育天成的巧妙。

★經過多次反覆實驗,發現攻角及機翼造型,的確影響滯空時間。為了更深入了解攻角及機翼造型對飛行的影響;以及渦旋在其中的變化~由於渦旋在空氣中很難顯現,特地設計了在實驗水槽中的實驗:

(三) 相同翼面/不同攻角~渦旋結構

★由實驗結果發現攻角愈大渦旋產生愈早。

★攻角的改變,影響流線。

當攻角為 0°時流線平靜離開翼面一段距離後看到渦線

但是<攻角漸大>時,『渦旋發生得越早,越來越明顯』。

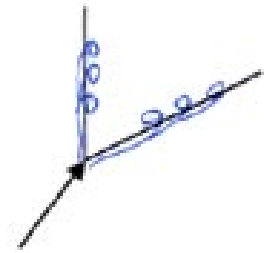
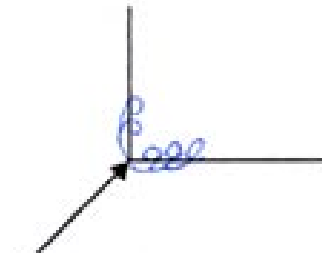
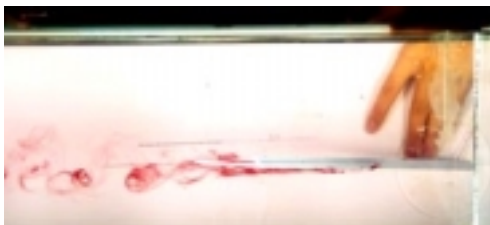
渦旋的產生若妨礙了流線繞行物體的完整性,上升力將無法持續;物體無法繼續停留在空中。

(四) 三角翼與後掠翼

★三角翼速度最快。上升的最高。

★後掠翼飛行流線最穩定。平滑上升[不高];平滑下降。在負攻角時,滯空時間最長。

★在實驗水槽中,發現水流經過三角翼時,會自側邊翻捲而上,由於三角形的特殊後掠形狀,渦旋對三角翼的影響應不只是負面。



★渦旋翻捲而上,造成翼上層表面速度比其他翼面[矩形或梯形或橢圓]快;壓力差較大,因而升力較大。

★不過渦旋在三角翼面的幫助[使得速度變快,能上升很高];同樣在水槽中看到三角翼後面的渦變強[渦旋阻力變大]。

七. 結論

(五) 取得升力【無外力支援】

★與空氣有較大的接觸面積

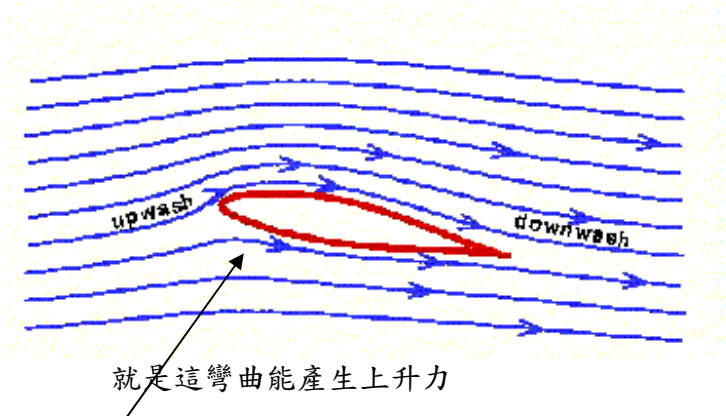
★往復式的拍撲動作

★渦旋助力[後掠型]

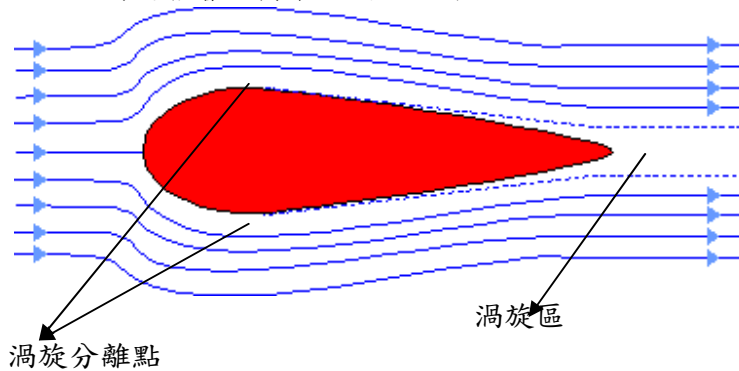
失去升力

- ★渦旋阻力增強
- ★渦流分離點提早發生
 - ◆攻角不適當
 - ◆形體之重心/流線不適當

(六) 攻角是上升力最重要的影響元素



(七) 渦旋結構是影響攻角最重要的元素



(八) 渦旋遵守動量守恆
自實驗中發現：渦旋出現時，必然成對。
一個是逆時針，一個是順時針。

八. 參考資料及其他

- ◆飛機的身材係數~展弦比(AR 值)
 - b^2/S 約為 b/c
 - b: 兩翼尖端的距離
 - S: 機翼面積
 - C: 弦長

評語：

本作品對於各種機翼形狀的滑行阻力有詳細的觀察及分析（例如渦旋剝離與分離點，失速現象等）研究方法正確詳實，亦含有相當豐富的飛行參考知識。

作者簡介

作品名稱：三論渦旋～乘著歌聲的翅膀

高小組 物理科 第三名

縣市：台北市 作者：王啓倫

出生日：民國 77 年 10 月 18 日，生於台北市

父 親：王興隆／MBA - Tulane (USA) ／電腦

母親（胡貞一）：BS-成功大學

大姊（王啓芬）：政大應用數學系

二姊（王啓芳）：東海景觀設計系

三姊（王啓芸）：再興中學初一

愛 好：躲避球、籃球、乒乓球、圍棋、鋼琴、電腦遊戲、實驗、閱讀、拼圖

專 長：實驗、乒乓球、圍棋、土工、實物組裝

一年級：班長、模範生、德育獎章

二年級：科展-泡泡之美、甄選入資優班、德育獎章

三年級：科展-陀螺王的黃金比例【研究精神獎】、台北市土工比賽優等獎、北市心算亞軍

、班長、模範生、五育獎章

四年級：科展-水中的舞姬～渦旋【優等獎】、全校紙工比賽第一名、智育獎章、心算四段

五年級：科展-再論渦旋－能量的推手～渦旋【優等獎】、模範生、班長、空手道準八級、

師大少年發明教室（最佳表現獎）

六年級：科展-三論渦旋～乘著歌聲的翅膀【特優】 圍棋十級、全校乒乓球比賽第二名