

中華民國第 54 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 物理科

080112

造飛機追風趣

學校名稱：新竹縣竹北市六家國民小學

作者： 小四 梁淳鈺 小四 林妤庭 小四 張詠晴 小四 陳柏宇 小四 陳宗楷 小四 陳品方	指導老師： 陳佳穗 黎立夫
---	-------------------------

關鍵詞：吸管飛機、牛頓運動定律、康達效應

摘要

本研究主要是在探討影響吸管飛機飛行遠近的因素及探究吸管飛機的飛行原理。我們自製發射器，並探討紙環材質、紙環形狀、紙環寬度、紙環周長、機身重量、重心位置及發射角度對吸管飛機飛行距離的影響。我們的研究結果如下：紙環材質選用不易變形的護貝雲彩紙；紙環形狀以正方形最好；紙環寬度需前環窄後環寬；前環周長需比後環周長小；機身不宜過重以及重心位置必須在中間位置最佳；而在我們的研究條件下最佳的發射角度為 5 度~10 度。我們也發現吸管飛機能飛翔升空的原理是因為傾斜的紙環改變了氣流的流動方向，而被改變方向的氣流會施予紙環一反作用力，故吸管飛機能受到一向上的升力。

壹、 研究動機

造飛機，造飛機，……飛到白雲裡。小學二年級的時候，學校舉辦科學遊戲競賽，當時有一項比賽項目是吸管飛機。我們很好奇為什麼兩個小小的紙環以及一根吸管所作成的吸管飛機也能飛？甚至有的吸管飛機飛得比一般紙飛機更遠？

我們嘗試做了許多不同的吸管飛機，製作過程中，許多人的吸管飛機不見得都能順利飛翔，看起來簡單的吸管飛機，為什麼不是每一架都成功呢？

經過多次製作不同吸管飛機及測試飛行距離的歷程，透過變因的控制，希望能探索隱藏在吸管飛機中的秘密，也從中找出「吸管飛機」所應用的科學原理。

貳、 研究目的

- 一、研發能控制力道大小的吸管飛機發射器。
- 二、探討不同變因對於吸管飛機飛行距離的影響。
- 三、探討吸管飛機能夠飛翔的原因。
- 四、依據飛翔原理研發其他型態的吸管飛機。

參、 研究設備及器材

- 一、 吸管飛機：雲彩紙、膠帶、泡綿膠、護貝膠膜、吸管
- 二、 發射架：木塊、膠帶、釘子、竹筷、橡皮筋、彈簧
- 三、 器材及工具：剪刀、美工刀、裁紙刀、尺、卷尺、護貝機、彈簧秤、電子天平

肆、 研究過程或方法

一、 發射器的研發過程

(一)、用手發射

一開始我們都是手持來發射飛機，但是漸漸我們發現影響結果的變因太多了，包含了手的力道、發射角度、發射高度……，都會影響飛機的飛翔距離，因此無法做為實驗數據。故用手發射飛機只適用於遊戲當中，不適合當作科學實驗的方法。所以我們想製作一架能控制發射力道的發射架。

(二)、第一代發射器

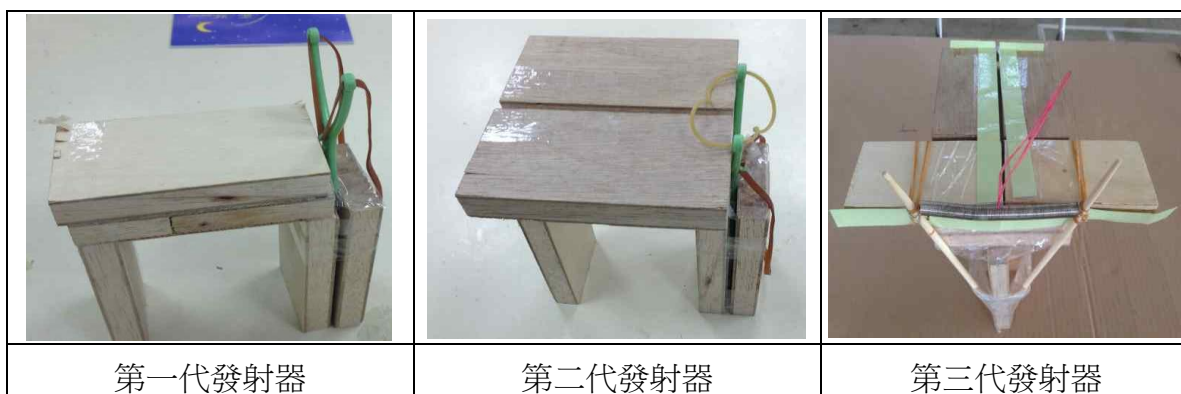
我們想到在玩電玩遊戲 Angry Birds 時，利用彈弓將憤怒鳥彈出去，也許我們也可以利用彈弓將吸管飛機發射出去。但試了幾次之後發現並不好用，要一手拿彈弓，另一手拿飛機，還要保持發射力道一定(將橡皮筋拉至同樣長度)，實在是太困難了。於是我們利用木頭製作了一架發射器，把彈弓架在木頭上。

(三)、第二代發射器

第一代發射器雖然解決了手持的困擾，但是飛機發射仍然不夠穩定，而且發射角度也很難固定，飛機歪來歪去，還不時因彈出時撞到橡皮筋而墜機。於是我們改良第一代發射器的缺點，製作出第二代發射器。第二代把第一代發射器再架高些，木板的相隔處留了凹槽當作飛行軌道，使吸管飛機能正立、平穩的從發射器上穩穩的起飛。為了確定橡皮筋在每次發射時是否彈力都一樣，我們除了注意每次橡皮筋拉長的距離外，還用了彈簧秤測量每次發射時的彈力。橡皮筋也做了記號保持兩邊長度相同，並用線綁住中心點，確保發射彈力一致。

(四)、第三代發射器

第二代發射器在第一次的改變紙環形狀的研究中還算好用，我們也順利的找出最佳形狀紙環，但是到了第二個星期要繼續探討不同紙環寬度時，卻發現橡皮筋彈力變差，我們必須把橡皮筋拉得更長才有跟上次一樣的彈力，而且橡皮筋幾乎快要被扯斷了。於是，我們將彈弓和橡皮筋改為竹筷和彈簧，並且增加了擋板，確保每次彈簧的伸長量一致。使用第三代發射器，我們重新做過所有的實驗，發現飛機的飛行更加穩定，同一飛機在相同變因下每次的落點更趨於一致。



二、選擇發射場地

風會影響飛機的飛行狀況，所以，製作好的飛機，我們選在無風的學生活動中心裡進行測量。發射桌面高度 75 公分，發射架置於桌面上。地面從 0 公分開始，每隔 50 公分貼一條線，貼至 1000 公分。目測落點位置，再用長 50 公分長尺測量飛機落點距離。



三、決定紙環材質

一開始我們使用雲彩紙來製作紙環，但是發現紙環很容易被弄得彎曲變形。為了解決這個問題，我們改用透明塑膠片做為紙環，但透明塑膠片太輕容易飄，透明不易

觀察。我們想到老師在製作一些照片時都會使用護貝膠膜來保護照片，於是我們將紙環都護貝起來，以防止彎曲變形。並分別利用雲彩紙、塑膠片和護貝雲彩紙做為紙環材質製作成飛機，比較哪一種飛行較穩定。

四、決定紙環形狀

學習製作飛機時，常常一不小心把紙環折到，我們很擔心這些紙環不圓的飛機是否會影響實驗結果，所以我們先探討紙環形狀對飛機飛行的影響。

紙環製作方法：

步驟(一)：先裁取寬 2 公分，長度分別為 24(23+1)公分和 18(17+1)公分的紙帶兩條

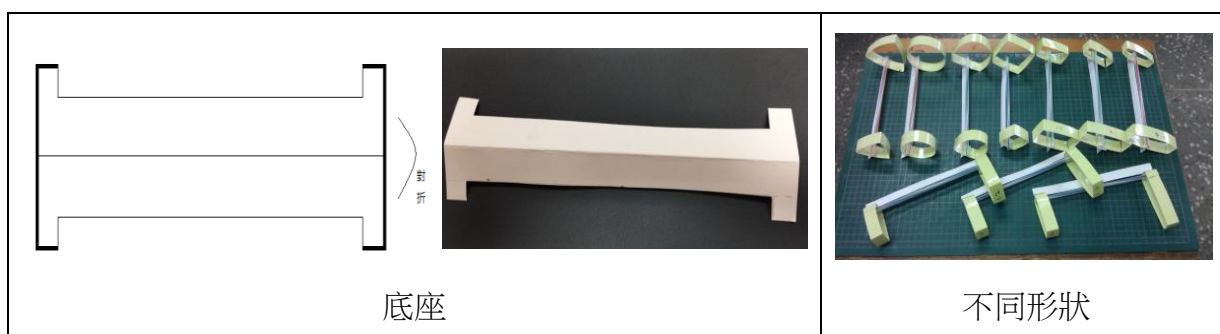
步驟(二)：將上述兩條紙帶彎成圓形，並以雙面膠固定，紙帶交疊部分為 1 公分。

步驟(三)：重覆步驟一、二，分別作出其他不同形狀的紙環的紙環。

步驟(四)：將吸管長度剪成長度 20 公分，並將紙環以泡綿膠黏在吸管兩端。

步驟(五)：為了讓吸管飛機在發射過程中能沿著軌道射出，我們將吸管飛機黏上底座。

底座的製作方式如下：



五、分別改變不同的變因，探討影響飛行遠近的因素

(一). 前後環的寬度

紙環的寬度會影響紙環重量，我們將寬度 1 公分的紙環繞三圈，如此它便能和寬度 3 公分的紙環一樣重，每個做出的紙環都再用電子天平進行校準。



(二). 前後紙環的周長

分成以下 2 個部分探討。

1. 前後環寬度皆為 2 公分：改變前後紙環的周長，找出最佳周長比例。須控制前後環重量一致，故量取同樣長度紙帶，以改變交疊部分來控制環的周長大小，找出最佳周長比例。



2.前環寬度 1 公分、後環寬度 2 公分：
改變前後紙環的周長，找出最佳周長比
例。須控制前後環重量一致，方法同上。



(三).吸管飛機總重量

將迴紋針同時夾在吸管前後兩端中
央處，增加飛機重量，不改變重心位置。
市售迴紋針重量並不一致，所以先用電子
天平測量迴紋針重量，選用重量皆為
0.4gw 的迴紋針。



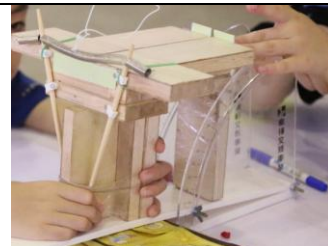
(四).吸管飛機重心位置

共使用 6 支迴紋針，一開始將迴紋針
都夾在前環中央吸管處，逐支的將迴紋針
移到後環中央吸管處，讓重心位置由前逐
漸往後移動。



(五).飛機發射角度

將發射器置於能調整角度的架子
上。由 0 度開始，每次增加發射角度 5 度，
一直增加至 25 度。



六、其他型態吸管飛機

(一).單環飛機

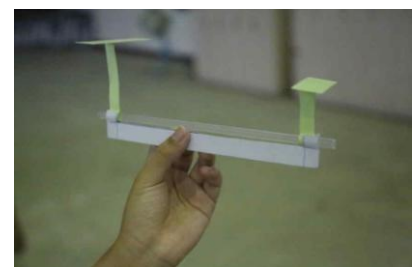
製作單環飛機，並利
用迴紋針調整重心，使飛機
的重心位於中間。



單環飛機

(二).T 型飛機

改為支撐在中間的 T 形
飛機，因為前後重量差距較
小，所以用黏土調整重心。



T 型飛機

伍、 研究結果與討論

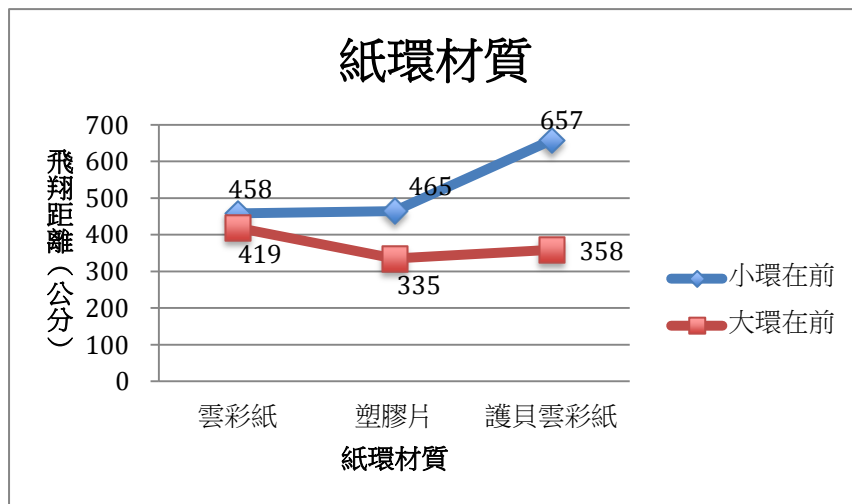
【實驗一】探討不同變因對於吸管飛機飛行距離的影響。

子題(一)：探討不同的紙環材質對飛翔距離有何影響？

1、研究結果

紙環周長：16cm、26cm 紙環寬度：2cm 吸管長度：20cm 拉力大小：0.6kgw

材質 次數	小環在前			大環在前		
	雲彩紙	塑膠片	護貝 雲彩紙	雲彩紙	塑膠片	護貝 雲彩紙
一	486	461	613	360	333	343
二	500	450	676	462	350	347
三	453	549	680	400	322	348
四	398	423	662	440	337	354
五	455	440	655	434	334	400
平均距離(cm)	458	465	657	419	335	358



2、討論

- (1) 以上三種紙環材質，雲彩紙顏色鮮明容易看見，但卻容易變形。塑膠片不易變形，但是透明不易觀察其飛行狀況。護貝雲彩紙兼具兩者優點是較佳選擇。
- (2) 飛翔距離最遠的是以護貝雲彩紙做成小環在前的吸管飛機。
- (3) 小環做為前環時，不同材質紙環的飛翔距離都是比大環做為前環時還要遠。小環在前，飛機比較會飛，看起來有飛翔的樣子，落地後還會滑行一段距離。大環在前，不論是哪一種材質都不像飛行，飛機比較像是被彈射出去後就落地，且在空中時都會自動轉成小環在前，翻轉後馬上就落地了。但大環在前時，雲彩紙做為紙環的有較為不同的現象，小環翻轉至前後還會向前飛翔一段距離，所以飛翔距離較其他兩者遠。所以接下來的研究我們主要以後環周長大於前環周長為主軸繼續研究。

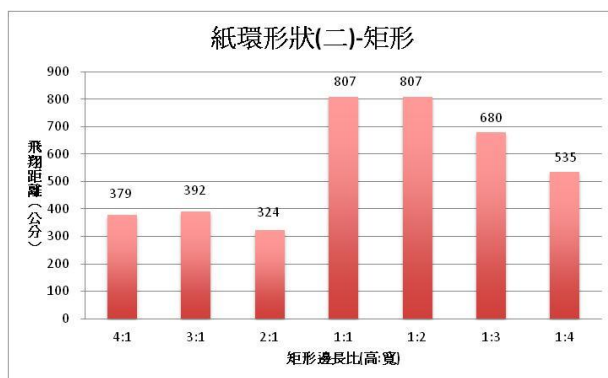
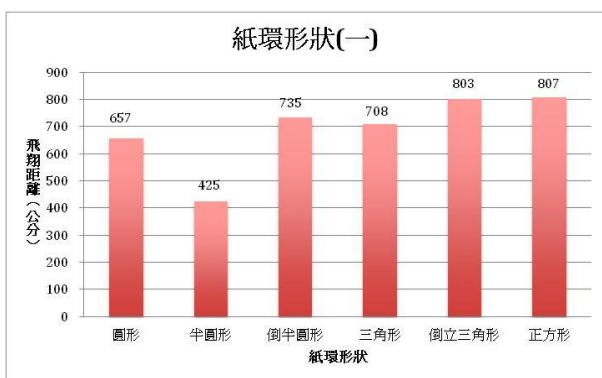
子題(二)：探討不同紙環形狀對飛翔距離有何影響？

1、研究結果

紙環周長：16cm、26cm 紙環寬度：2cm 吸管長度：20cm 拉力大小：0.6kgw

形狀 次數	圓形	半圓形	倒立 半圓形	三角形	倒立 三角形	正方形	矩形
一	613	520	760	700	890	821	如下 表
二	676	418	718	710	789	799	
三	680	407	753	700	807	789	
四	662	396	737	717	735	806	
五	655	384	705	713	795	822	
平均距離(cm)	657	425	735	708	803	807	

邊長比(高:寬) 次數	4:1	3:1	2:1	1:1	1:2	1:3	1:4
一	373	350	253	821	830	671	553
二	348	354	371	799	781	619	531
三	332	410	373	789	838	676	572
四	436	440	327	806	800	693	494
五	406	405	298	822	787	741	527
平均距離(cm)	379	392	324	807	807	680	535



2、討論

- (1) 在這些不同紙環的形狀中，以正方形和倒立三角形飛得最遠，我們熟知的圓形紙環吸管飛機其飛行距離還不如這兩種形狀。
- (2) 三角形和半圓形都是上下不對稱的形狀，而這兩種形狀都是倒立的比正立的飛得遠。
- (3) 正方形也是矩形的一種，所以我們在固定的周長下改變了矩形的邊長比，比較不同的矩形形狀對飛行遠近的影響，我們發現以邊長 1：1(正方形)和 1：2 的矩形飛得最遠。

子題(三)：探討不同紙環寬度對飛翔距離有何影響？

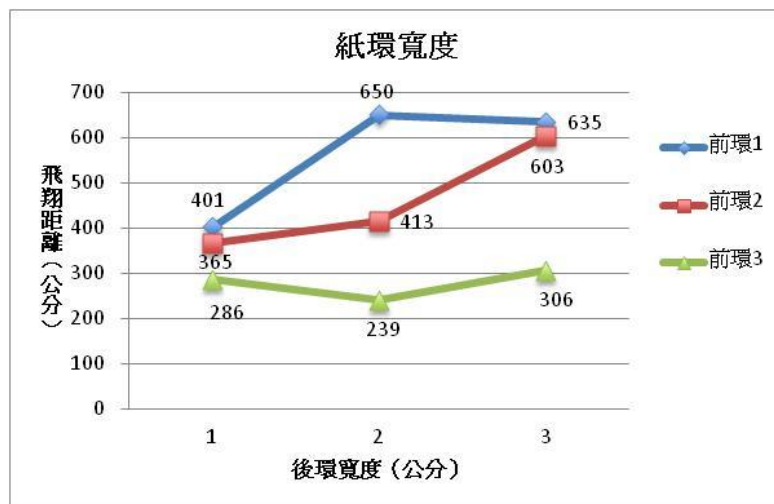
1、研究過程：

改變紙環的寬度就會改變紙環的重量，而改變了紙環重量又會影響到整個吸管飛機的重量及重心位置，為了控制這兩項變因，我們使用寬度不同，相同面積的紙帶來做成紙環，所以 1 公分寬紙帶就會是 3 公分寬紙帶的三倍長。但是不同的紙帶長又會影響到紙環周長，故不論紙帶多長，我們都是將其作成周長 20 公分的正方形，多餘的紙帶就纏繞在正方形外面。

2、研究結果

前後環紙環周長：20cm 吸管長度：20cm 拉力大小：0.8kgw

飛機編號	A 11	A 12	A 13	A 21	A 22	A 23	A 31	A 32	A 33
前環寬度(cm)	1	1	1	2	2	2	3	3	3
後環寬度(cm)	1	2	3	1	2	3	1	2	3
一	410	690	630	368	428	601	320	208	372
二	415	652	601	365	371	615	286	238	318
三	406	602	649	366	391	564	283	240	314
四	350	660	626	364	413	658	285	276	225
五	425	645	667	361	463	579	254	234	300
平均距離(cm)	401	650	635	365	413	603	286	239	306



3、討論

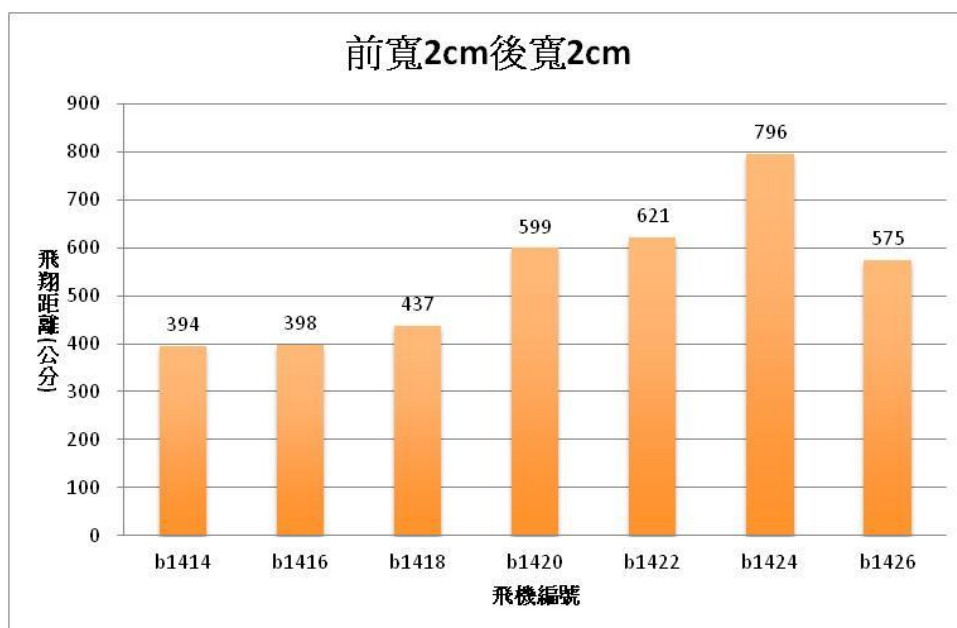
- (1) 觀察飛行現象：飛機編號 A21、A31、A32 會在空中轉圈後落地，比較像是東西被彈出後落地，而沒有飛翔的樣子。飛機編號 A 12、A13、A23 這三隻飛機最有飛翔的感覺，飛行時平順的往前，落地時還會往前滑行 1~2 公尺。
- (2) 後環寬度比前環寬度還寬的飛機都能飛得不錯，如前環寬 1 公分後環寬 2 或 3 公分，及前環寬 2 公分後環寬 3 公分的吸管飛機飛行距離都比較遠。
- (3) 前後環寬度一致的，又會比前環寬後環窄的吸管飛機飛得更好。

子題(四)-1：前後環寬度一致時，探討不同紙環周長對飛翔距離有何影響？

1、研究結果

前環寬度 2cm，後環寬度 2cm，固定前環周長 14cm，後環周長依次為 14、16、18、20、22、24、26cm，吸管長度：20cm，拉力大小：0.6kgw

飛機編號	b1414	b1416	b1418	b1420	b1422	b1424	b1426
前環周長 (cm)	14	14	14	14	14	14	14
後環周長 (cm)	14	16	18	20	22	24	26
一	382	423	464	632	585	775	581
二	426	400	441	615	635	768	572
三	401	444	438	573	635	781	584
四	385	371	443	594	666	837	568
五	378	352	400	583	582	820	569
平均距離(cm)	394	398	437	599	621	796	575



2、討論

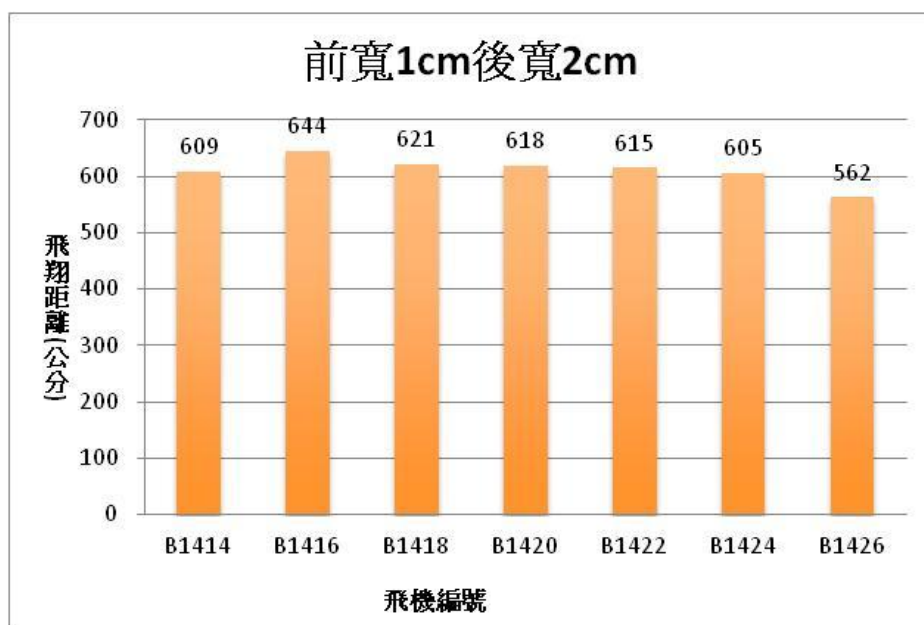
- (1) 前後環寬度一樣時，前後環周長差 0~4 公分時，飛機不太會飛。
- (2) 當後環的周長越大，亦即後環越大時，飛機越飛越遠。當環周長差從 4 公分增至 6 公分時，飛機飛翔的距離增加了約 163 公分，當環周長差增至 10 公分時，飛翔距離最遠，飛翔 5 次中最遠的一次達 837 公分。
- (3) 當環周長差達 12 公分時，飛行距離又變近了。

子題(四)-2：前後環寬度不同時，探討不同紙環周長對飛翔距離有何影響？

1、研究結果

前環寬度 1cm，後環寬度 2cm，固定前環周長 14cm，後環周長依次為 14、16、18、20、22、24、26cm，吸管長度：20cm，拉力大小：0.6kgw

飛機編號	B1414	B1416	B1418	B1420	B1422	B1424	B1426
前環周長 (cm)	14	14	14	14	14	14	14
後環周長 (cm)	14	16	18	20	22	24	26
一	625	630	642	670	620	600	575
二	625	641	612	570	610	610	550
三	597	650	628	580	595	600	540
四	598	645	627	650	637	625	583
五	600	655	597	620	612	592	564
平均距離(cm)	609	644	621	618	615	605	562



2、討論

- (1) 固定前環周長 14 公分，後環周長由 14 公分逐漸增加，每次增加 2 公分。我們發現在前後環周長差為 2 公分的時候，飛翔距離最遠。
- (2) 漸漸增加後環周長時，飛翔距離落差並不大，但是，當後環周長增為 26 公分時，飛翔距離有比較明顯的變近。所以前後周長不宜落差太大，長度差約 2~10 公分，皆有不錯的飛翔距離。
- (3) 於是，我們選取前後環差 2 公分和 4 公分，將前後環都漸漸變大，看看飛行距離有無變化。

子題(四)-3：前後環寬度不同時，固定環周長差，將前後環都漸漸變大，探討不同紙環周長對飛翔距離有何影響？

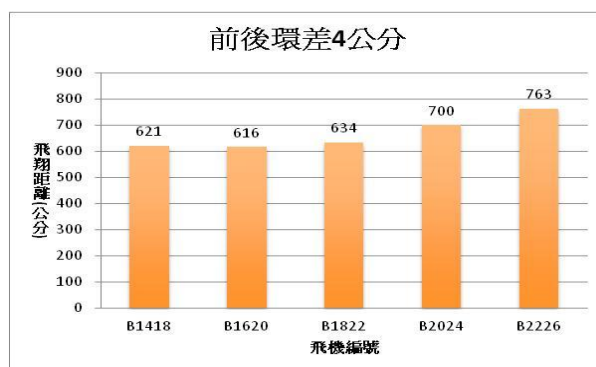
1、研究結果：

(1) 前環寬度 1 公分，後環寬度 2 公分，固定前後環差 2 公分

飛機編號	B1416	B1618	B1820	B2022	B2224	B2426
前環周長 (cm)	14	16	18	20	22	24
後環周長 (cm)	16	18	20	22	24	26
一	630	665	670	724	677	735
二	641	600	650	703	685	721
三	650	600	641	684	685	701
四	645	650	674	667	710	724
五	655	595	664	658	703	731
平均距離 (cm)	644	622	660	687	692	722

(2) 前環寬度 1 公分，後環寬度 2 公分，前後環周長差 4 公分

飛機編號	B1418	B1620	B1822	B2024	B2226
前環周長 (cm)	14	16	18	20	22
後環周長 (cm)	18	20	22	24	26
一	642	641	610	665	772
二	612	575	653	760	758
三	628	590	648	702	761
四	627	636	621	680	749
五	597	637	639	692	775
平均距離 (cm)	621	616	634	700	763



2、討論

(1) 不論是前後環周長差 2 公分或 4 公分，當前後環周長逐漸增加時，飛行距離都跟著變遠，所以大環比小環飛得更好。

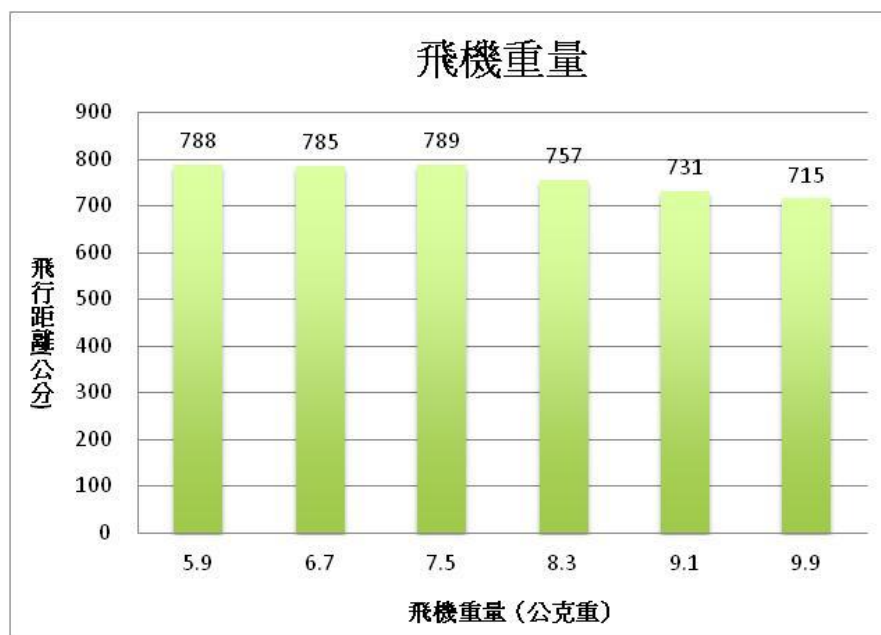
子題(五)：探討不同紙環重量對飛翔距離有何影響？

1、研究過程：

- (1) 迴紋針重量不一，先用電子天平測量迴紋針重量，選用重量皆為 0.4gw 的迴紋針。
- (2) 將迴紋針同時夾在吸管前後兩端中央處，增加飛機重量，不改變重心位置。
- (3) 每次實驗吸管飛機的重量增加 0.8gw。
- (4) 研究限制：完全不加迴紋針吸管飛機重量 5.9gw，故無法探討更輕飛機的飛行狀況。

2、研究結果：以飛機編號 b1424 的飛機進行實驗

飛機編號	C0	C1	C2	C3	C4	C5
前後迴紋針數	0	1	2	3	4	5
飛機重量 (gw)	5.9	6.7	7.5	8.3	9.1	9.9
一	781	793	775	776	724	712
二	792	782	811	751	721	729
三	787	780	797	750	740	707
四	798	778	782	764	737	717
五	781	792	778	743	733	711
平均距離 (cm)	788	785	789	757	731	715



3、討論：

飛機重量對於飛行的遠近略有影響，越重的飛機飛行的距離越近。但是飛機重量從 5.9 公克至 7.5 公克，飛行的距離都差不多。重量從 8.3 公克後，影響才漸為顯著，重量至 9.9 公克，飛翔距離只縮短了約 50 公分。觀察飛機的飛行狀況，每隻飛機都能很平順的飛行，只是稍重的飛機落地較早。

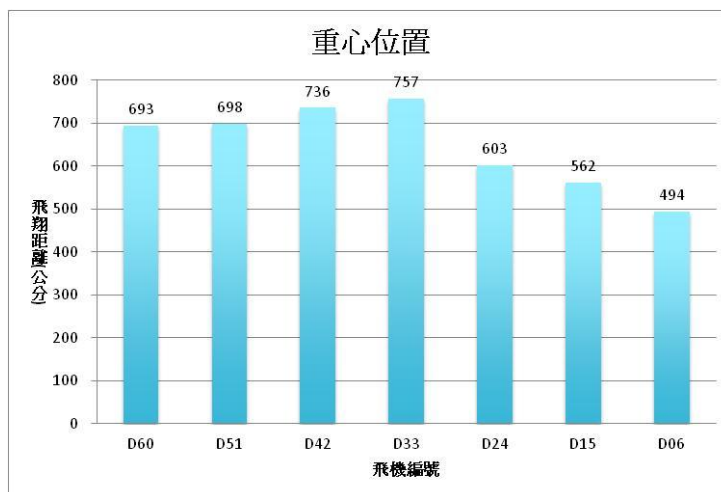
子題(六)：探討不同紙環重心位置對飛翔距離有何影響？

1、研究過程：

- (1) 迴紋針重量不一，先用電子天平測量迴紋針重量，選用重量皆為 0.4gw 的迴紋針。
- (2) 共使用 6 支迴紋針，一開始將迴紋針都夾在前環中央吸管處，逐支的將迴紋針移到後環中央吸管處，讓重心位置由前逐漸往後移動。

2、研究結果：以飛機編號 b1424 的飛機進行實驗

飛機編號	D60	D51	D42	D33	D24	D15	D06
前迴紋針數(支)	6	5	4	3	2	1	0
後迴紋針數(支)	0	1	2	3	4	5	6
一	696	696	734	776	620	535	511
二	693	691	775	751	603	575	488
三	696	708	739	750	587	573	491
四	695	689	700	764	591	558	496
五	687	706	731	743	612	567	485
平均距離 (cm)	693	698	736	757	603	562	494



3、討論：

重心位置對於飛翔距離影響遠大於重量的變化。飛機編號D33 能夠飛得最遠，此架吸管飛機是前後環各加 3 支迴紋針，所以重心位置仍在中心。飛機編號D42 是前環加 4 支迴紋針，後環加 2 支迴紋針，飛機的總重量不變，但是重心略微往前，飛翔距離較短些。我們發現逐漸將重心往前，飛翔距離會越來越近，觀察飛機飛翔狀況仍然飛行平順，只是前環較重些，前環會先著地，但落地後的滑行距離會較遠。飛機編號 D24 是前環加 2 支迴紋針，後環加 4 支迴紋針，飛機的總重量不變，但是重心略微往後，飛翔距離明顯縮短很多。逐漸將重心往後，飛翔距離也會越來越近；觀察飛機飛翔狀況則發現，飛機飛得不太平順，被彈出後後環會往下掉，最後吸管飛機會垂直掉落。所以，飛機重心若略微向前，還是能順利飛行，飛翔距離稍近些，但是重心只要偏後，飛機較無法順利飛行。

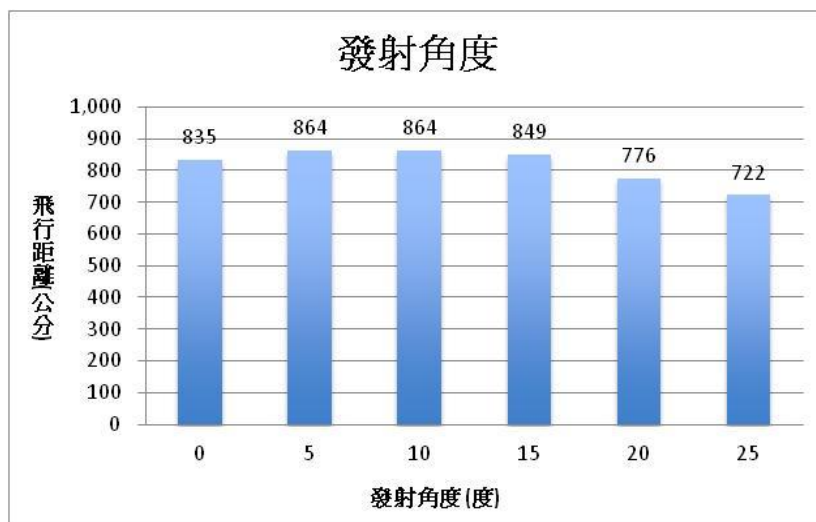
子題(七)：探討不同發射角度對飛翔距離有何影響？

1、研究過程：

- (1) 將發射器架在能控制角度的斜面上。
- (2) 分別調整發射角度為仰角 0° 、 5° 、 10° 、 15° 、 20° 、 25° 。

2、研究結果：以飛機編號 b1424 的飛機進行實驗

飛機編號	E 0	E 5	E 10	E 15	E 20	E 25
仰角角度	0°	5°	10°	15°	20°	25°
一	838	901	875	836	834	724
二	841	793	862	836	814	712
三	847	869	862	880	775	695
四	821	878	865	858	734	694
五	826	880	858	834	723	786
平均距離 (cm)	835	864	864	849	776	722



(三)、討論：

發射角度 $0^\circ \sim 15^\circ$ 飛翔的距離都差不多遠，但是在 5° 和 10° 是飛得最遠的發射角度，超過 15° 後飛翔的距離會越來越近。

【實驗二】探討吸管飛機能夠飛翔的原因。

子題(一)：他抓得住我！利用相機拍出吸管飛機射出時的瞬間畫面。

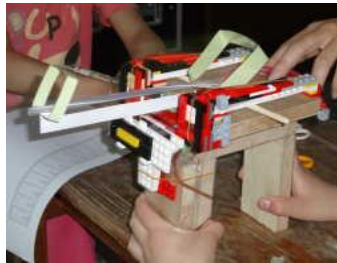
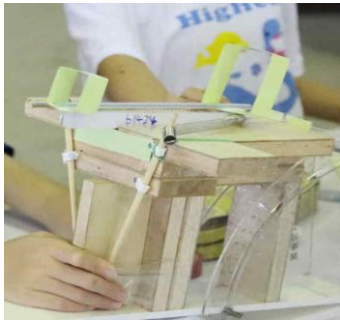
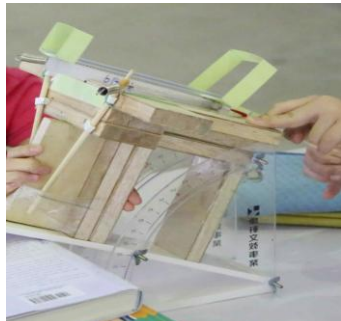



1、研究過程：

- (1) 我們先搜尋歷屆科展文章，發現有不少人做過同樣的主題，但是很少人探討飛機升力的來源，或是以白努力定律含糊帶過。只有一篇高中國際科展的文章”狂舞飛圈”提出不同的看法，文章中提到改變飛機的仰角，可以測得升力，升力最大值出現在仰角 25° 左右，並以康達效應的理論推算出升力，與實際測量值相同。但是我們的

吸管飛機發射架是水平的，我們很疑惑為什麼在飛機發射瞬間，仍可以觀測到飛機向上抬升的現象呢？

(2) 我們在發射的瞬間，利用數位相機連拍，看是否能找到藏在這一瞬間的祕密。

2、研究結果

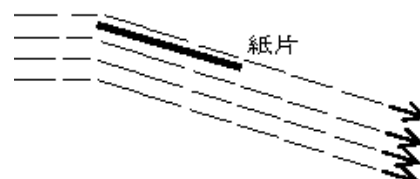
發射瞬間 (彈簧已離手)	 <p>圖一：發射角度 0 度</p>	 <p>圖二：發射角度 5 度</p>	 <p>圖三：發射角度 25 度</p>
離開發射台後	 <p>圖四：發射角度 5 度</p>	 <p>圖五：發射角度 20 度</p>	 <p>圖六：單環飛機</p>

3、討論

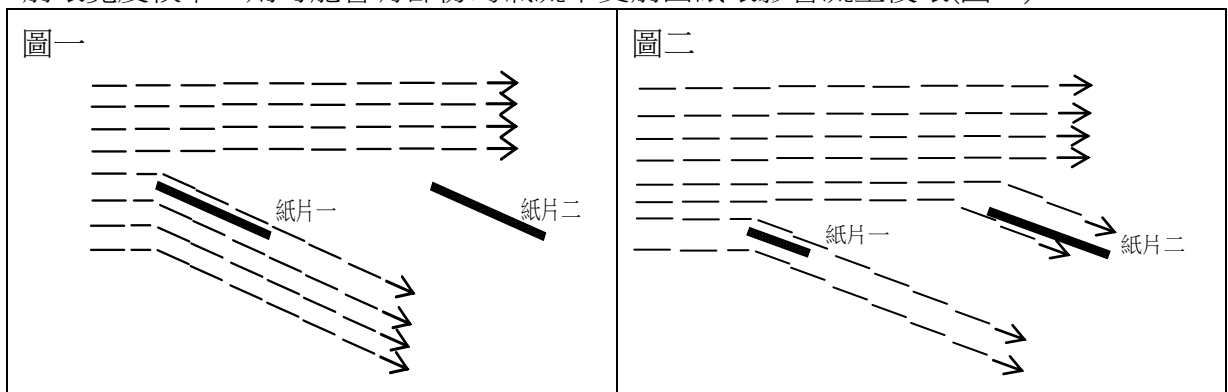
(1) 藉由機翼的設計讓我們了解飛機升力的來源。機翼的「翼弦線」(Chord)大多不是水平的，機翼前沿稍為向上而後沿向下，與水平做成一夾角，這個夾角稱為「衝角」(Angle of Attack)。Coanda effect 康達效應（或附壁作用）指出，如果平順地流動的流體經過具有一定彎度的凸表面的時候，有向凸表面吸附的趨向。氣流流經向下傾的機翼，流動的方向偏向下，根據牛頓第三運動定律，向下的氣流便會施予紙環一反作用力，此力量便是飛機升力的來源。



(2) 我們觀察到吸管飛機在發射瞬間，紙環會向後傾斜，這是因為彈簧會給吸管飛機一向前的推力，這個突然向前的推力會使紙環因慣性作用(牛頓第一運動定律)而向後傾斜。傾斜的紙環會跟平行而來的氣流有一個夾角，推測氣流會沿著傾斜的紙環向下彎曲，因而產生一向上的升力。



- (2) 吸管飛機離開發射台後，因不再受彈簧的推力作用，所以紙環也不再向後倒，但在發射瞬間的升力已順利的使吸管飛機傾斜一個角度，故吸管飛機能向上飛翔。
- (3) 傾斜的紙環形成升力，我們便能夠說明為什麼正方形、倒立半圓形和倒立三角形都能飛得比圓形紙環的吸管飛機還遠，因為氣流所碰到的紙環壁是以傾斜上邊的面為主，而兩側的紙壁並無作用。這三種形狀上邊都能有較大的面。而在矩形的實驗中邊長比 1：4 的矩形 \square 應該比邊長比 1：1 的正方形 \square 上邊有更大的面，為何飛行距離較近，推測其原因應該是較短的側邊無法使上邊的面順利傾斜，故升力較小。
- (4) 利用此一原理我們亦可以說明為何吸管飛機須做成前環較小或是前環寬度較窄。由於在水平發射時，碰到傾斜前環的氣流會轉彎，若前環過大或是過寬，會使得氣流無法順利碰到第二個環，造成前面升力過大，而後環沒有升力，此時吸管飛機在飛出時便會翻轉，無法順利飛翔(圖一)。這與我們觀察到的現象是一致的。如果是前環較小或是前環寬度較窄，則可能會有部份的氣流不受前面紙環影響流至後環(圖二)。









- (5) 升力大的條件是接觸面積要大，但是大面積卻也是阻力的來源，所以升力大阻力就大。若較大的升力落在前環，則前環的阻力也大，這與我們在騎腳踏車時，如果前輪突然煞車，而後輪沒踩煞車，則會很容易翻車的道理是相同的。
- (6) 在”狂舞飛圈”這份科展報告中提到最佳產生的升力角度是仰角 25 度，我們的最佳發射角度是 5 度~10 度間，但與前人的研究略有不同。推測的原因應該是與紙環在發射的過程中產生的形變有關，紙環因形變產生的傾斜再加上發射時的仰角，在 5 度~10 度間恰好達到最佳發射角度，因此能飛得最遠。

子題(二)：現形吧！氣流看不到，水流瞧得見。

1、研究過程：

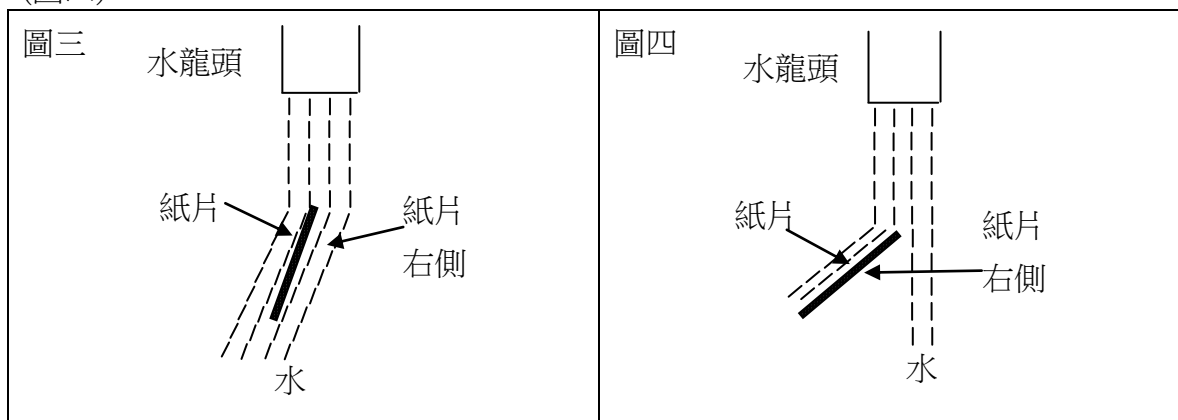
- (1).空氣的流動不易看見，但是流水卻是平常都能見得到的現象，我們想利用流水來模擬空氣流過紙環時的現象，驗證子題(一)的推論。
- (2).把護貝雲彩紙裁成 1 公分寬和 2 公分寬的紙片。
- (3).將裁好的紙片放到水龍頭下，控制固定大小的水流量，改變紙片與水流的夾角，觀察流水的變化情形。

2、研究結果：

	紙片與水流平行	紙片與水流夾角小	紙片與水流夾角大
1 公分寬的 護貝雲彩紙			
2 公分寬的 護貝雲彩紙			

3、討論

- (1) 當紙片與水流平行時，我們可以看到水流不論是通過 1 公分寬的紙片，或是 2 公分寬的紙片都是直直的通過，並無變化。(圖三)
- (2) 當紙片與水流有一個小夾角時，我們發現水流沿著紙片彎曲了，2 公分寬的紙片使水流彎曲的效果比 1 公分寬的紙片明顯。
- (3) 當紙片與水流的夾角更大時，外側的水流不再沿著紙片彎曲了，而是跟紙片分離。(圖四)



- (4) 藉由流水的實驗我們可以看到水流通過彎曲的紙片確實有康達效應的存在，而當角度過大時水流不能再依附紙片表面流動。所以當吸管飛機傾斜的角度過大時，因康達效應消失，升力大幅下降，而阻力卻大幅上升，這就會發生失速 (Stall) 的情況。

- (5) 故由角度過大的水流實驗中，我們可以說明重心在後的吸管飛機為什麼飛得不遠，因為後面比較重，飛機後傾的角度過大，康達效應會消失，造成飛機失速下墜，所以飛得不遠。

【實驗三】 依據飛翔原理研發其他型態的吸管飛機。

子題(一)：做成只有一邊有環的單環飛機。

1. 研究過程：

- (1) 較大的前環會有較大的阻力，而使得吸管飛機容易翻覆，若是沒有前環，而只有後環的吸管飛機又會是如何呢？我們取寬 2 公分長 27 公分的紙帶做成周長 16 公分和周長 24 公分的紙環。
- (2) 以電子天平先測量做好的紙環重量。
- (3) 用迴紋針調整吸管飛機重量，使其重心落於吸管飛機之中心位置。

2. 研究結果：

飛機編號	F16	F24	G16	G24
重心位置	未調整，偏後	未調整，偏後	中間	中間
後環周長	16	24	16	24
一	431	645	595	575
二	430	684	496	541
三	442	639	488	545
四	416	607	529	513
五	428	689	483	587
平均距離 (cm)	429	653	518	552

3. 討論：

- (1) 單環在前的吸管飛機，就如同我們所預期不會飛翔，會在空中翻轉後落地。
- (2) 調整過重心的單環飛機飛得並不一定比重心偏後的好。原因是環在後方，主要的升力亦落在後環，重心偏後恰可達成平衡，故也能穩定飛翔。
- (3) 將重心調整在中間的單環飛機飛行時機身較水平，前頭不會往上翹，飛行時非常平穩，然後落下，落地時會往前滑行一段距離。
- (4) 較大後環的吸管飛機比較小後環的吸管飛機能飛得更遠。

子題 2：將飛機紙環改為 T 形而非環狀。

1. 研究過程：

- (1) 既然環型吸管飛機是靠上方紙環傾斜造成的升力，兩側側邊的紙環是不會有升力產

生。所以我們把兩邊的紙環去除，改在中間加一支撐紙片，觀察這個不是環型的 T 型飛機是否也能飛翔呢？

- (2) 雖然 b1424 飛行效果最佳，但我們擔心若支撐架過長，可能在飛行時紙片容易受風速搖晃不穩影響觀察。所以以飛行效果還不錯的 b1420 吸管飛機邊長為標準，做出前方上邊長 3.5 公分寬 2 公分，後方上邊長 5 公分寬 2 公分的 T 字形飛機。

2. 研究結果與討論：

- (1) T 型飛機還沒調整重心時，不太會飛。調整過重心後，使重心位於正中間，確實能飛得不錯，飛到 700-800 公分左右。
- (2) T 型飛機因只有中間的支撐，紙片易傾斜，若沒有調整水平比較會有大幅度轉彎。

陸、 結論

一、 發射架的研發：

發射架的好壞明顯的影響到實驗結果，第二代發射架在紙環形狀的改變以及前後環寬的實驗中還能使用，因為這兩個實驗飛行距離的落差較大，仍然可以看出一些規律性。但是到了第四個實驗在不同環寬的情況下改變前後環周長時，因為飛機都能順利飛行，所以這時因橡皮筋彈力的誤差明顯影響到數據的準確性。數據雜亂無章，我們因而不斷改良發射架並換上彈簧，也重新做了好幾次實驗才把發射架改良至最佳狀況。

二、 不同變因對於吸管飛機飛行距離的影響：

- (一) 吸管飛機紙環的材質以護貝雲彩紙最好，紙環不易變形且材料容易取得。
- (二) 不同形狀的紙環以倒立三角形和正方形飛得最遠，倒立半圓形也能飛很遠，圓形紙環飛機並不是飛得最遠的。
- (三) 當前後環周長一樣大時，後環寬度必須比前環寬度還寬，吸管飛機才會飛得遠。
- (四) 後環寬度比前環寬度還要寬的時候，即使前環和後環一樣大也很會飛。若是前後環一樣寬，則後環就必須比前環大才能飛得遠。
- (五) 飛機重量在 5.9 公克至 7.5 公克間，飛行距離差不多，超過 7.5 公克時飛行距離會逐漸變近。
- (六) 飛機重心必須要在中間較好，略微偏前影響較小，但若是中間偏後則飛行變差，重心越後面，飛機越不會飛。
- (七) 在我們的條件下，吸管飛機的發射角度以 5 度~10 度間最好，能飛得最遠。

三、 吸管飛機能夠飛翔的原因：

由攝影拍下紙環受力瞬間的變形及水流的實驗，我們認為吸管飛機能飛行升空，其升力來源應是來自於康達效應產生的升力。

四、其他型態的吸管飛機：

- (一)單環飛機：單環飛機，紙環在前，無法飛翔。紙環在後，不論是否有調整其重心位置，皆能飛翔。
- (二)T 形飛機：能夠驗證吸管飛機的飛翔是利用上邊紙環的傾斜所形成的升力

五、我們所做出的正方形紙環機比圓形紙環機能飛得更遠。單環飛機以及 T 型機能夠飛翔的原因這更是白努力沒有說的秘密喔！誰說吸管飛機一定要是圓形紙環呢？

柒、參考資料及其他

- 一、尤丁玫等(民 102)，國中自然與生活科技三上，台北市：康軒文教。
- 二、中華民國第四十二屆科展作品，國小組，物理科，看誰的吸管飛最遠
- 三、中華民國第四十五屆科展作品，國中組，生活應用科技，尋找紙環飛行器的黃金比例
- 四、台灣 2008 年國際科展，物理與太空科學，狂舞飛圈
- 五、中華民國第五十二屆科展作品，國小組，物理科，還原真相探究雙環潛艇
- 六、癮科學：飛機為什麼會飛，民國 103 年 2 月 20 日，取自
<http://chinese.engadget.com/2009/03/23/on-flight/>
- 七、怪怪飛行器，民國 103 年 2 月 20 日，取自 <http://scigame.ntcu.edu.tw/air/air-006.html>
- 八、飛機飛行的物理，民國 103 年 2 月 20 日，取自
http://www.ied.edu.hk/apfslt/v5_issue1/ngph/ngph2c.htm#twoc

【評語】 080112

本作品討論影響紙環飛機飛行距離的各種變因，並分別進行實驗量測。參與的小朋友對所做的工作抱有高度的熱忱，讓評審能很清楚的感受到小朋友積極、認真的一面。在設計飛機時若能大幅減輕機身的重量，則更能顯示出紙環飛機的特色。