
030808

摘要

我們想透過實驗研究，尋找如何將此飛行器飛得更遠、更穩，並找出它的黃金比例後，能將此富有科學探索精神的遊戲加以推廣，讓每位兒童都有歡笑童年。根據本次研究結果，飛行器之黃金比例為：

紙環周長：大的為 16cm，小紙環為 10cm。

紙環寬度：5cm。

吸管的長度：20cm。

紙張材質：以 200 磅的西卡紙最佳，但以一般的影印廢紙即能有不錯的效果，因此不需另外花錢購買紙張。

發射的力道：越用力效果越好。

發射的角度：以 20 度為最好。

本次實驗過程中遇到三個主要的瓶頸。首先是飛行器製做過程兩紙環跟吸管間無法牢固以往是用膠水跟膠帶，後來不斷試驗才克服這個問題。第二是發射器製做，以往用手發射無法克服定量問題後來嘗試用橡皮筋、彈弓都無良好效果，最後才製造出效果不錯的發射器。第三是發射角度問題，拿在手中誤差大後來改用桌面、譜架都遇到困難最後改用鐵椅才克服問題完成實驗。

飛翔的甜甜圈_尋找紙環飛行器的黃金比例

壹、 研究動機：

有次和同學到科工館參觀，正巧有街頭物理的活動，在好奇心的驅駛之下發現了這個好玩的遊戲，於是大家開始動手製作，試飛後，發覺到每個人的飛行狀況各不相同，有些飛得高，有些飛得很遠，也有同學一發射就急速墜地，是什麼原因造成這些差異？我們想透過實驗研究，尋找如何將此飛行器飛得更遠、更穩，並找出它的黃金比例後，能將此富有科學探索精神的遊戲加以推廣，讓每位兒童都有歡笑童年。

貳、 研究目的：

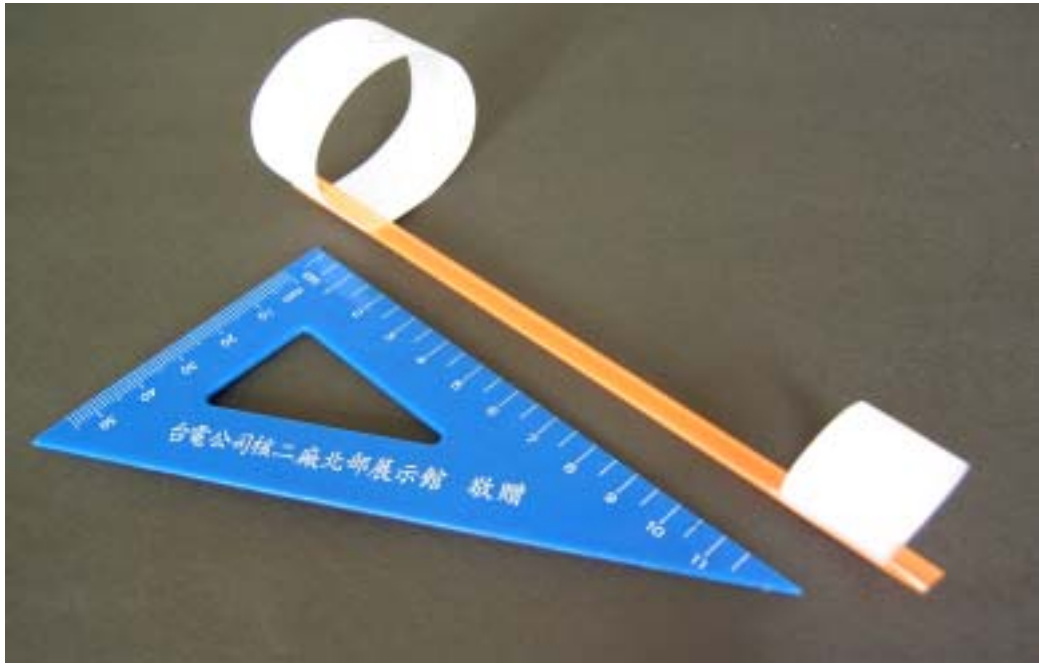
- 一、 了解飛行器飛行的原理
- 二、 紙環周長對飛行的影響
- 三、 吸管長度對飛行的影響
- 四、 紙環寬度對飛行的影響
- 五、 紙張的材質（厚度）對飛機的影響
- 六、 發射力道對飛行的影響
- 七、 發射角度對飛行的影響

參、 研究設備及器材

各類重量的紙張、橡皮筋(發射器的動力)、量角器(角度實驗)、可摺疊式椅子(作為發射架)、厚紙板(發射器的材料)、彈簧秤(橡皮筋拉力測量)

肆、 研究步驟

- 一、 了解飛行器飛行的原理：下圖為本實驗所製作之飛行器



- (一)、請教專長人士
- (二)、查詢網路及書上資料。

二、紙環周長對飛行的影響：下圖為不同紙環周長的飛行器



- (一) 取長度為 20cm 的吸管，用廢影印紙剪出紙環寬度為 2 公分，製作以下飛行器。

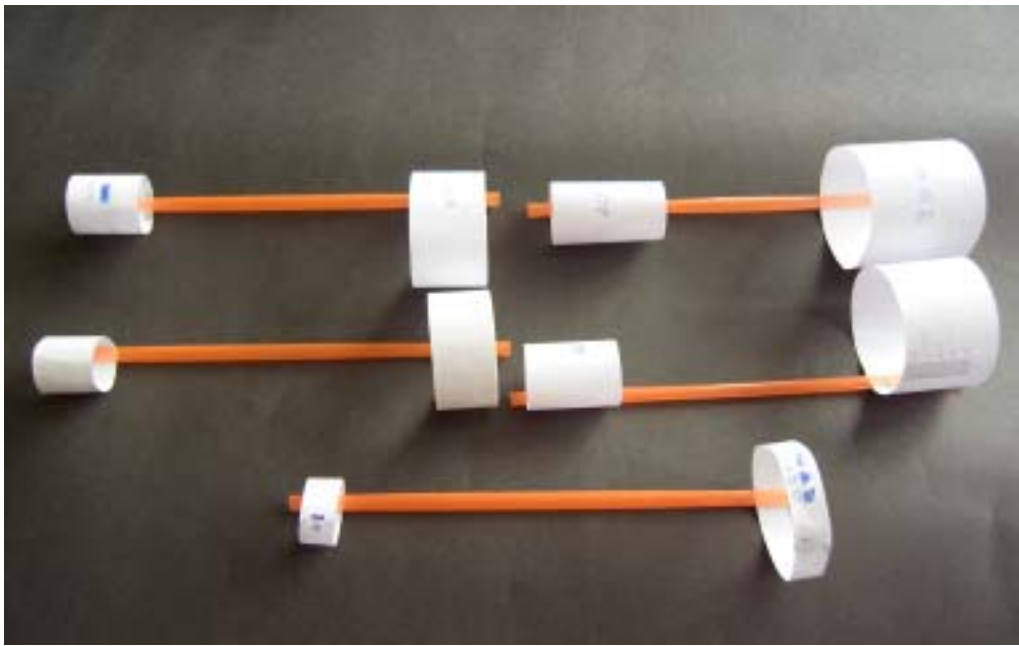
- (二) 固定大紙圈長度大小為 20cm，小紙圈長度分別為 17cm、15cm、13cm、12cm、11cm、10cm、8cm 公分等飛行器。
- (三) 以力道為 5 公斤重，角度 20 度發射，分別量出其飛行的距離，重複 3 次並紀錄之。
- (四) 將大紙圈長度改為 18、16、14、12cm，重複 1 到 3 步驟。

三、 吸管長度對飛行的影響： 下圖為不同吸管長度的飛行器



- (一) 用廢影印紙剪出紙環寬度為 2 公分，大小紙環分別為 16cm-10cm 製作以下飛行器。
- (二) 取吸管長度分別為 20、18、16、14、12cm 製作飛行器。
- (三) 以力道為 5 公斤重，角度 20 度發射，分別量出其飛行的距離重複 3 次並紀錄之。
- (四) 將大小紙圈長度改為 14cm 及 8cm，重覆 1 到 3 步驟。
- (五) 將紙環寬度長度改為 5cm，重覆 1 到 4 步驟。

四、紙環寬度對飛行的影響：下圖為不同紙環寬度的飛行器



- (一) 取 20cm 吸管，大小紙環分別為 16cm 及 10cm 製作以下飛行器。
- (二) 將紙環寬度分別裁剪為 1cm、2cm、3cm、4cm、5cm、6cm、7cm 製作飛行器。
- (三) 以力道為 5 公斤重，角度 20 度發射，分別量出其飛行的距離重複 3 次並紀錄之。
- (四) 取 20cm 吸管，大小紙環改為 14cm 及 8cm，重複 2 到 3 步驟。
- (五) 換成以 16cm 的吸管作實驗，重複 1 到 4 步驟。

五、紙張的材質（磅數）對飛機的影響：下圖為不同材質之飛行器



- (一) 取 20cm 吸管，大小紙環分別為 16cm 及 10cm，紙寬為 2cm 製作以下飛行器。
- (二) 分別以 80、140、200 磅的紙張製作飛行器。
- (三) 以力道為 5 公斤重，角度 20 度發射，分別量出其飛行的距離重複 3 次並紀錄之。
- (四) 將大小紙環改為 14cm 及 8cm，重複 2 到 3 步驟。
- (五) 將紙寬改為 5cm，重複 1 到 4 步驟。

六、發射力道對飛行的影響：下圖為自製發射架之圖片



- (一) 取 20cm 吸管，用廢影印紙剪出大小紙環分別為 16cm 及 10cm，紙寬為 5cm，製作以下飛行器。
 - 2. 以力道為 2、2.5、3、3.5、4、4.5、5 公斤重，角度 20 度發射，分別量出其飛行的距離重複 3 次並紀錄之。
 - 3. 將大小紙環改為 14cm 及 8cm，重複第 2 步驟。

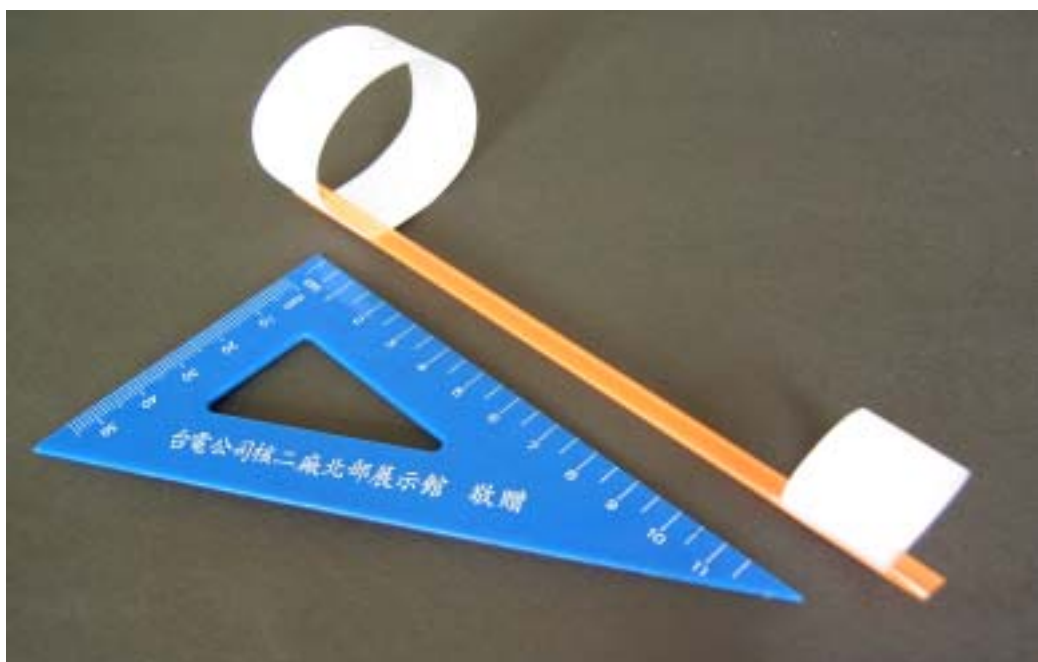
六、發射角度對飛行的影響：下圖為自製發射座之圖片



1. 取 20cm 吸管，用廢影印紙剪出大小紙環分別為 16cm 及 10cm，紙寬為 5cm，製作以下飛行器。
2. 以力道為 5 公斤重，角度依序為 0、10、20、30、40、50、60 度發射，分別量出其飛行的距離重複 3 次並紀錄之。

伍、 研究結果

一、了解飛行的原理：飛行器構造如下圖



- (一) 其飛行的原理和紙飛機類似，是利用空氣阻力作用在紙圈上，使氣流順暢而保持直線飛行，且避免急速下墜。
- (二) 小圈圈在前除了讓前面的重量較後面輕，使飛行器前端身能保持上仰外，也為了不讓前進的阻力過大。
- (三) 根據白努力定律得知同一高度，氣流速度較大的地方壓力較小，飛行器飛行時，圓圈造成的弧度使得上層的氣流較下層為快，因此飛行器的下方有較大的上壓力，可防延緩飛行器因重力造成的下墜現象，有利於持續向前飛行。

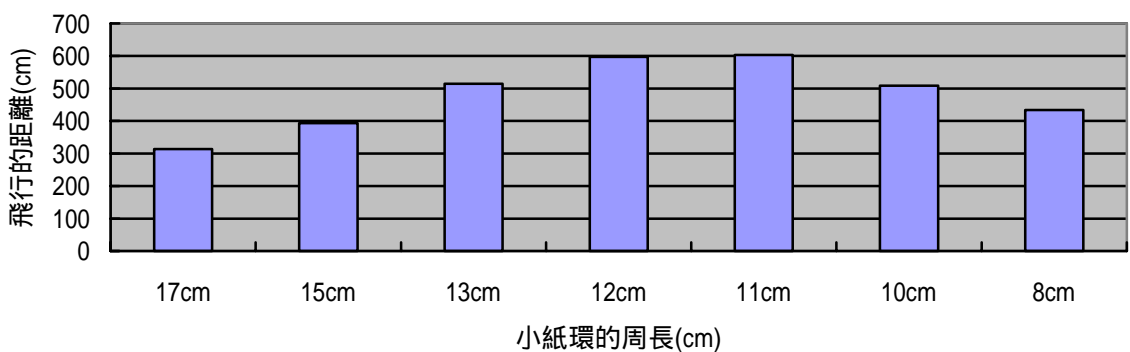
二、紙環周長對飛行的影響：結果如下

- (一) 固定圈紙周長大小為 20cm，吸管長度 20cm，紙寬 2cm

紀錄小環周長與飛行距離 (cm) 的關係

小圈長 次數	17cm	15cm	13cm	12cm	11cm	10cm	8cm
實驗一 (cm)	298	363	531	627	636	491	430
實驗二 (cm)	323	437	512	599	573	513	427
實驗三 (cm)	321	379	501	565	591	522	444
平均 (cm)	314	393	514.67	597	603.33	508.67	433.67

固定大圈圈周長大小為 20cm

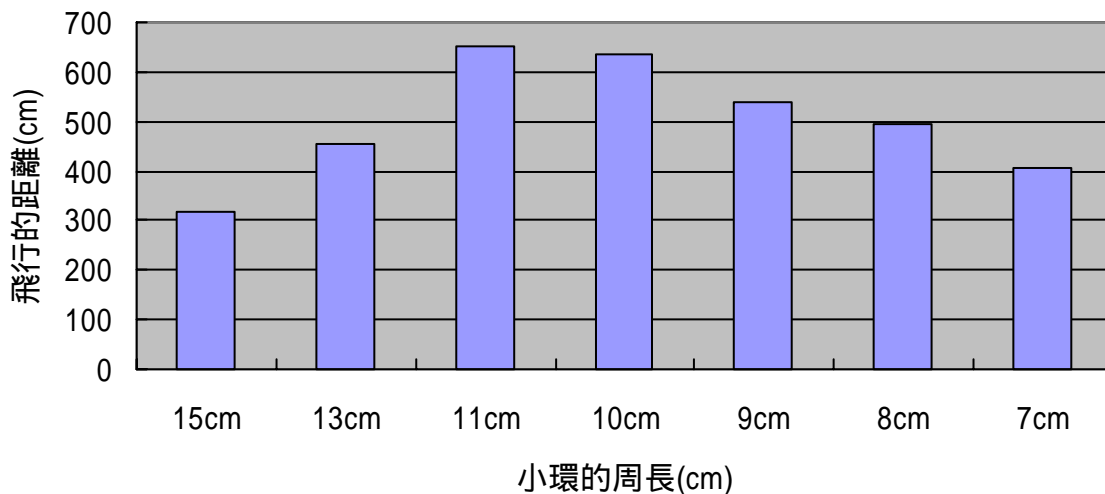


(二) 固定圈紙周長大小為 18cm，吸管長度 20cm，紙寬 2cm

紀錄小環周長與飛行距離 (cm) 的關係

小圈長 次數	15cm	13cm	11cm	10cm	9cm	8cm	7cm
實驗一 (cm)	345	460	615	698	519	473	437
實驗二 (cm)	316	475	634	619	531	513	396
實驗三 (cm)	291	423	703	594	571	497	387
平均 (cm)	317.33	452.67	650.67	637	540.33	494.33	406.67

固定大圈周長大小為 18cm



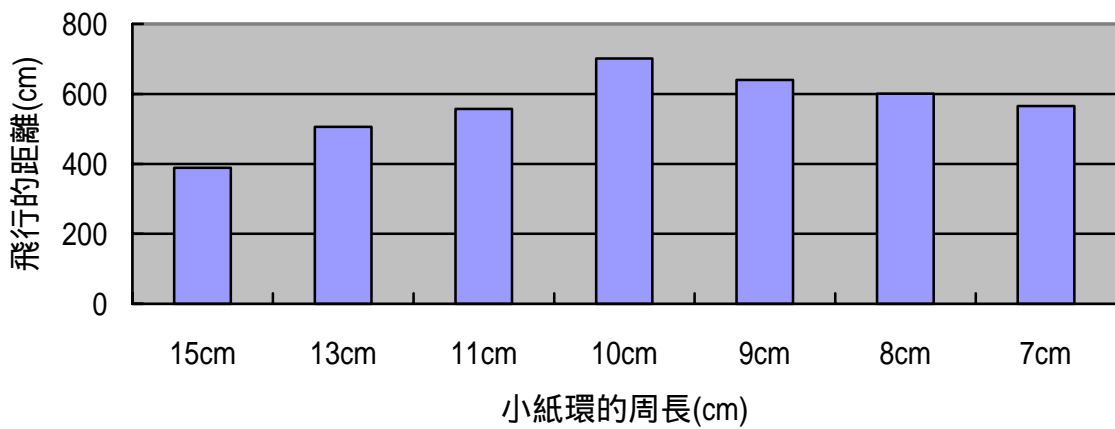
(三) 固定圈紙周長大小為 16cm，吸管長度 20cm，紙寬 2cm

紀錄小環周長與飛行距離 (cm) 的關係

小圈長 次數	14cm	12cm	11cm	10cm	9cm	8cm	7cm
實驗一 (cm)	369	551	540	726	651	589	572

實驗二 (cm)	357	487	588	673	613	585	571
實驗三 (cm)	441	479	542	706	657	627	511
平均 (cm)	389	505.67	556.67	701.67	640.33	600.33	564.67

固定大圈圈周長大小為 16cm

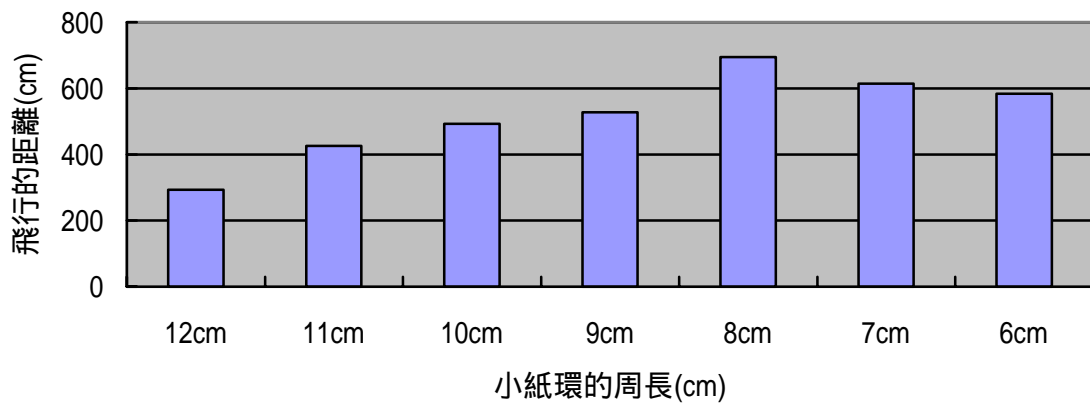


(四) 固定圈紙周長大小為 14cm，吸管長度 20cm，紙寬 2cm

紀錄小環周長與飛行距離 (cm) 的關係

小圈長 次數	12cm	11cm	10cm	9cm	8cm	7cm	6cm
實驗一 (cm)	224	427	477	493	680	584	584
實驗二 (cm)	317	406	518	578	693	661	567
實驗三 (cm)	338	443	482	512	710	596	599
平均 (cm)	293	425.33	492.33	527.67	694.33	614	583.33

固定大圈圈周長大小為 14cm

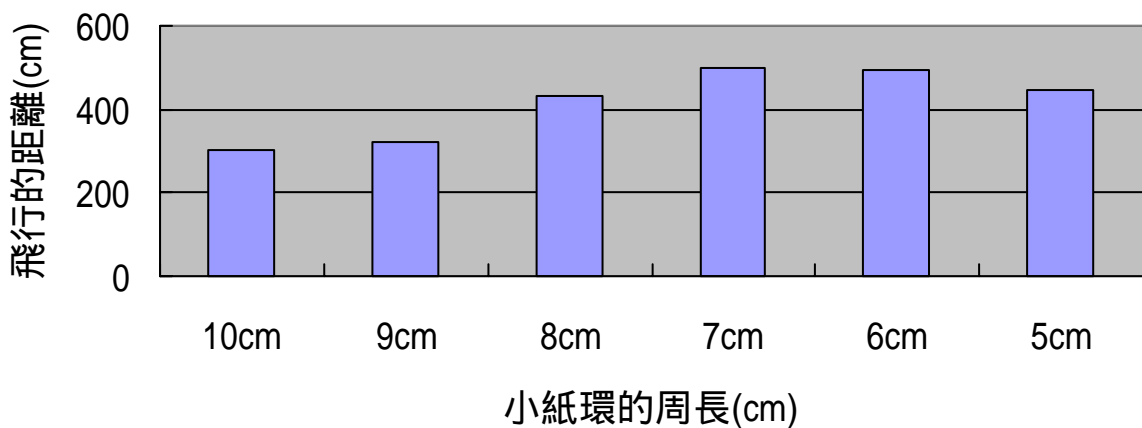


(五) 固定圈紙周長大小為 12cm，吸管長度 20cm，紙寬 2cm

紀錄小環周長與飛行距離 (cm) 的關係

小圈長 次數	10cm	9cm	8cm	7cm	6cm	5cm
實驗一 (cm)	264	327	427	490	479	434
實驗二 (cm)	317	315	418	531	491	461
實驗三 (cm)	330	321	452	502	510	441
平均(cm)	303.67	321	432.33	497.67	493.33	445.33

固定大紙環周長為12cm



三、吸管的長度對飛行的影響：結果如下

(一) 固定圈紙周長大小為 16cm-10cm，紀錄飛行的距離 (cm)

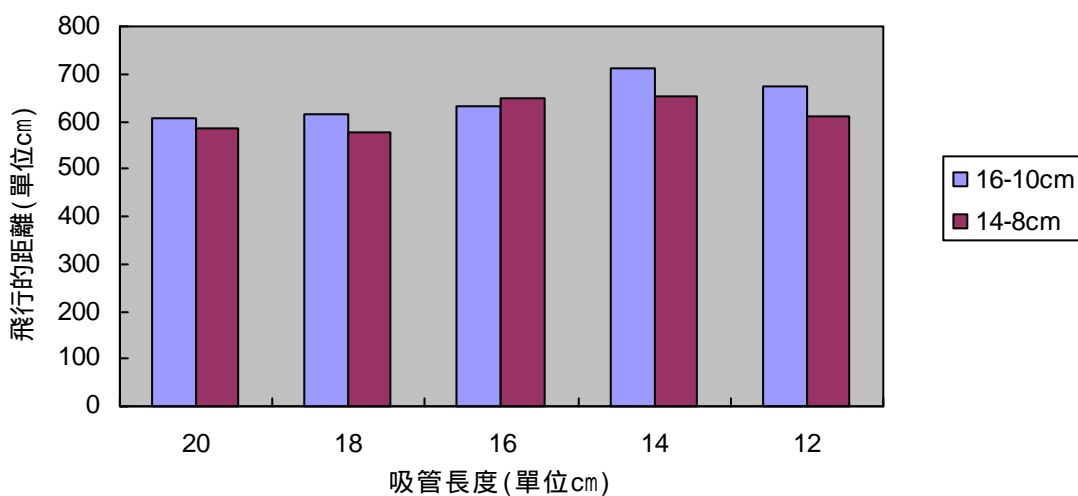
吸管長度 次數	20cm	18cm	16cm	14cm	12cm
實驗一 (cm)	593	607	674	731	644
實驗二 (cm)	632	613	624	713	702
實驗三 (cm)	596	621	602	685	670
平均 (cm)	607	613.67	633.33	709.67	672

(二) 固定圈紙周長大小為 14cm-8cm，紙張寬度為 2cm

紀錄吸管長度與飛行的距離 (cm) 的關係

吸管長度 次數	20cm	18cm	16cm	14cm	12cm
實驗一 (cm)	601	586	651	633	581
實驗二 (cm)	584	563	687	643	653
實驗三 (cm)	574	579	609	684	599
平均 (cm)	586.33	576	649	653.33	611

吸管長度對飛行了影響紙寬2cm



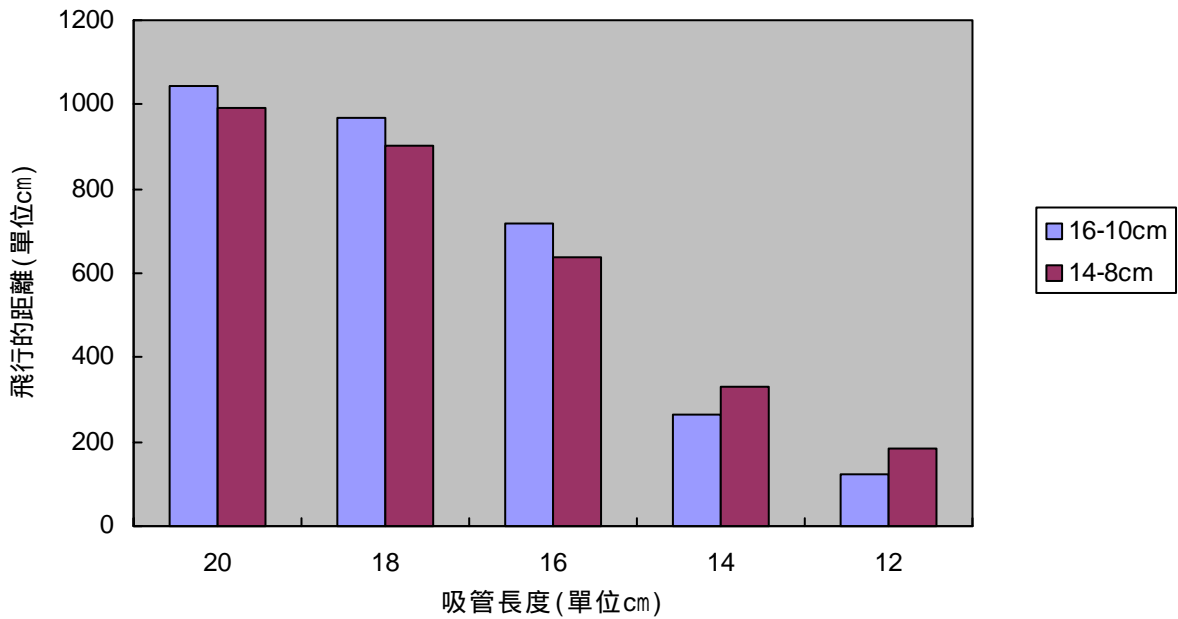
(三) 固定圈紙周長大小為 16cm-10cm，紙張寬度為 5cm
紀錄吸管長度與飛行的距離 (cm) 的關係

吸管長度 次數	20cm	18cm	16cm	14cm	12cm
實驗一 (cm)	1124	985	725	254	125
實驗二 (cm)	947	952	698	276	116
實驗三 (cm)	1065	968	734	258	130
平均 (cm)	1045.33	968.33	719	266	123.67

(四) 固定圈紙周長大小為 14cm-8cm，紙張寬度為 5cm
紀錄吸管長度與飛行的距離 (cm) 的關係

吸管長度 次數	20cm	18cm	16cm	14cm	12cm
實驗一 (cm)	1014	894	658	324	158
實驗二 (cm)	870	924	624	365	195
實驗三 (cm)	1090	913	638	298	201
平均 (cm)	991.33	900.33	640	329	184.67

吸管長度對飛行距離影響紙寬5cm



四、紙環寬度對飛行的影響：其結果如下

(一) 固定圈紙周長大小為 16cm-10cm，吸管長度 20cm

紀錄紙環寬度與飛行距離 (cm) 的關係

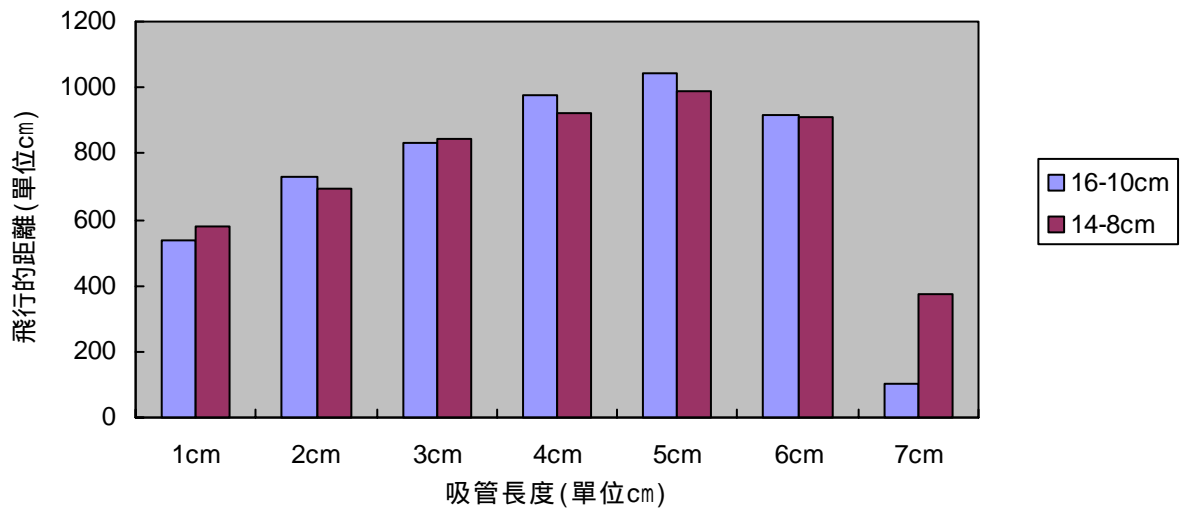
紙圈寬 次數	1cm	2cm	3cm	4cm	5cm	6cm	7cm
實驗一 (cm)	571	726	801	1078	1124	894	210
實驗二 (cm)	539	673	873	933	947	953	37
實驗三 (cm)	492	796	829	922	1065	955	63
平均 (cm)	534	731.67	834.33	977.67	1045.3	914.33	103.33

(二) 固定圈紙周長大小為 14cm-8cm，吸管長度 20cm

紀錄紙環寬度與飛行距離 (cm) 的關係

紙圈寬 次數	1cm	2cm	3cm	4cm	5cm	6cm	7cm
實驗一 (cm)	591	680	871	917	1014	936	249
實驗二 (cm)	548	693	794	879	870	864	311
實驗三 (cm)	599	710	875	973	1090	937	554
平均 (cm)	579.33	694.33	846.67	923	991.33	912.33	371.33

紙環寬度對飛行影響



五、紙張的材質（質量）對飛機的影響

(一) 固定圈紙周長大小為 16cm-10cm，吸管長度 20cm，紙寬 2cm

紀錄不同紙張與飛行距離 (cm) 的關係

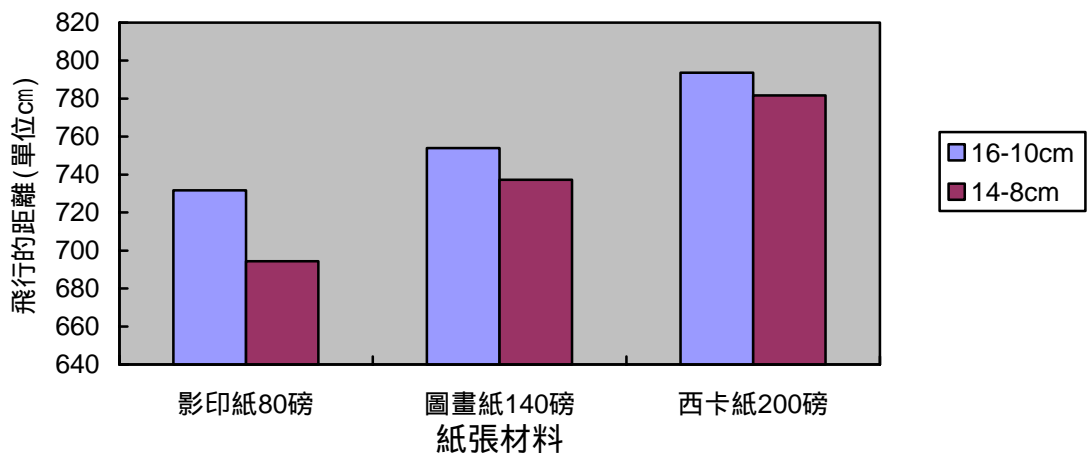
紙張 次數	影印紙 80 磅	圖畫紙 140 磅	西卡紙 200 磅
實驗一 (cm)	726	788	858
實驗二 (cm)	673	734	791
實驗三 (cm)	796	740	732
平均 (cm)	731.67	754	793.67

(二) 固定圈紙周長大小為 14cm-8cm，吸管長度 20cm，紙寬 2cm

紀錄不同紙張與飛行距離 (cm) 的關係

紙張 次數	影印紙 80 磅	圖畫紙 140 磅	西卡紙 200 磅
實驗一 (cm)	680	734	834
實驗二 (cm)	693	716	759
實驗三 (cm)	710	762	752
平均 (cm)	694.33	737.33	781.67

紙張材料對飛行了影響



六、發射力道大小對飛行器的影響：

(一) 固定圈紙周長大小為 16cm-10cm，吸管長度 20cm，紙寬 5cm

紀錄發射力道與飛行距離 (cm) 的關係

發射力 次數	2kgw	2.5kgw	3kgw	3.5kgw	4kgw	4.5kgw	5kgw
實驗一 (cm)	397	513	491	614	619	713	726

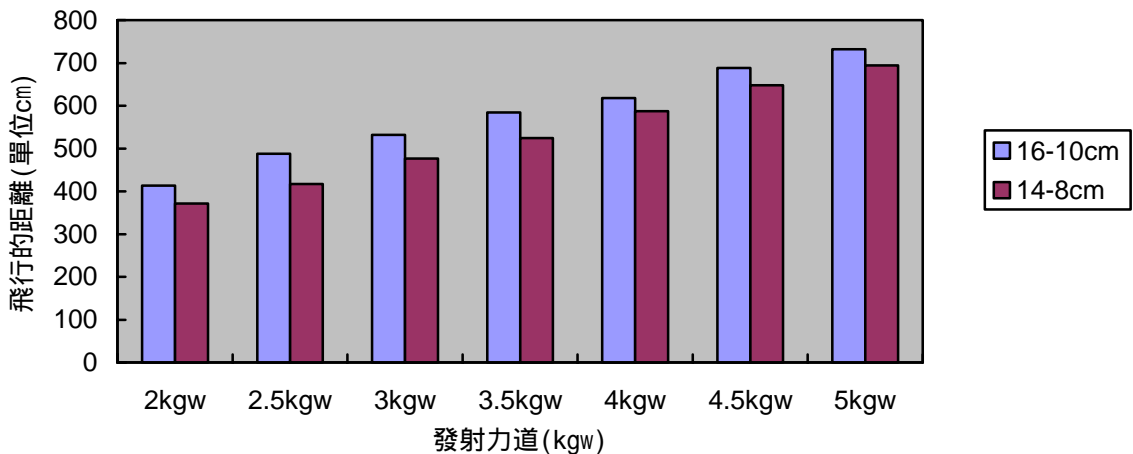
實驗二 (cm)	441	492	547	579	653	668	673
實驗三 (cm)	403	457	558	560	581	685	796
平均 (cm)	413.67	487.33	532	584.33	617.67	688.67	731.67

(二) 固定圈紙周長大小為 14cm-8cm，吸管長度 20cm，紙寬 5cm

紀錄發射力道與飛行距離 (cm) 的關係

發射力 次數	2kgw	2.5kgw	3kgw	3.5kgw	4kgw	4.5kgw	5kgw
實驗一 (cm)	321	433	480	490	552	599	680
實驗二 (cm)	392	425	463	581	597	692	693
實驗三 (cm)	401	393	487	502	613	652	710
平均 (cm)	371.33	417	476.67	524.33	587.33	647.67	694.33

發射力道對飛行影響



七、發射角度對飛行器的影響：

(一) 固定圈紙周長大小為 16cm-10cm，吸管長度 20cm，紙寬 5cm

紀錄發射角度與飛行距離 (cm) 的關係

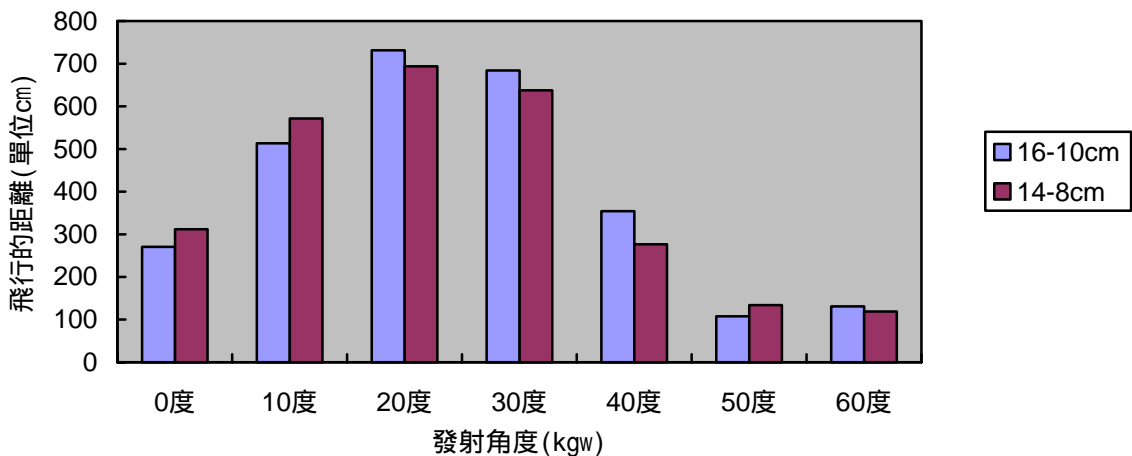
發射角 次數	0 度	10 度	20 度	30 度	40 度	50 度	60 度
實驗一 (cm)	249	479	726	692	329	124	154
實驗二 (cm)	293	519	673	647	354	87	121
實驗三 (cm)	271	542	796	714	380	112	118
平均 (cm)	271	513.33	731.67	684.33	354.33	107.67	131

(二) 固定圈紙周長大小為 14cm-8cm，吸管長度 20cm，紙寬 5cm

紀錄發射角度與飛行距離 (cm) 的關係

發射角 次數	0 度	10 度	20 度	30 度	40 度	50 度	60 度
實驗一 (cm)	387	514	680	613	312	147	91
實驗二 (cm)	284	614	693	661	261	102	142
實驗三 (cm)	265	586	710	639	256	153	126
平均 (cm)	312	571.33	694.33	637.67	276.33	134	119.67

發射角度對飛行器影響



陸、討論

- 一、 本次研究沒有將風的因素列入考慮，因此選擇在無空調的密閉環境作實驗，但因無法完全避免氣流的因素，因此可能造成誤差。順風或逆風和風速等條件對飛行有很大的影響，希望能於下次繼續進行研究。
- 二、 這次在製作圈圈飛行器的過程中，我們發現雖然後面圈圈較大（重量較重），但飛行器再下落時總是朝下，我們推測那是因為後端的紙環面積大，下落時空氣阻力大所致。
- 三、 承上一論點，如果把前面的紙環寬度做得比後面大一些，則前後兩端的阻力比較一致，推測應該可以飛的更好。
- 四、 經由以上兩點推論，我們實際做了三架飛行器做測試，果然飛行的效果更好，下次若有機會將進一步做探討。
- 五、 這次科展研究，最難突破的是發射的定量問題。原先用手直接發射發覺很難拿捏每次的角度及力道，後來改用橡皮筋直接彈射很容易卡住或因摩擦到紙環而造成誤差，經不斷的試驗及改良終於製造出效果不錯的發射器，這一點最讓大家非常興奮。

- 六、 有了發射架，還需克服發射角度的問題，大夥兒研究了好久，最後想到用可折疊式鐵椅裝上量角器，終於克服了發射底座的問題。
- 七、 經過實驗發現前面紙圈太大時是無法飛行的，原因應該是因為前進時阻力過大的原因。
- 八、 在發射角度的實驗中發現當角度超過 30 度時，飛行的距離便短很多，這與理論上物體以 45 度能丟的最遠不同，推測主因是因為向上仰的角度使紙環的阻力增大，不利於往前飛翔。
- 九、 本實驗的紙環飛行器由於對稱性良好，因此大多以直線向前飛行，但當我們將飛行器的紙環壓平時，他的飛翔狀況和紙飛機就很相似，可能因為吸管兩側沒有完全對稱，造成受力不均勻而有轉彎的情形。
- 十、 我們這次實驗的吸管是在大賣場買到的較細的吸管，吸管的口徑大小不同，硬度及重量都不相同，應該也會影響到飛行的狀況。本次沒有列入研究，將於下次進一步探討。
- 十一、 一般人對於本飛翔器的玩法是以手直接發射，手拿的位置在吸管的中間稍後（約為重心的位置），且發射時施力的時間較長，整個氣流較順暢，因此飛行狀況會比發射器發射更好。
- 十二、 飛行器的紙環寬度較窄時，飛行容易造成旋轉的情形，且也不容易飛遠，推測是因為寬度不夠時，受不穩定氣流的影響較明顯，且旋轉可能增加摩擦以致影響飛行距離。
- 十三、 吸管的長度在紙寬較窄時，雖然 14cm 為最佳，但沒有太明顯的差異，而寬度改為 5 公分時，18 及 20 公分就有很明顯的優勢，本時驗目的在找出最好的飛行效果的條件，因此我們在結論上推薦用 18-20 公分之吸管配合 4-6 公分紙寬。

十四、在大小圈圈周長的實驗，普遍而言，小圈圈的周長約為大圈圈的二分之一強時較佳，比二分之一小時，飛行效果尚可，但比二分之一大較多時，飛行效果明顯差很多，推測是因為圈圈大時飛行阻力變大所致。

柒、結論

根據本次研究結果，飛行器之黃金比例為：

紙環周長：大的為 16cm，小紙環為 10cm。

紙環寬度：5cm。

吸管的長度：20cm。

紙張材質：以 200 磅的西卡紙最佳，但以一般的影印廢紙即能有不錯的效果，因此不需另外花錢購買紙張。

發射的力道：越用力效果越好。

發射的角度：以 20 度為最好。

捌、未來展望

雖然在這次的實驗我們做得還算成功，但因材料的限制而遇上瓶頸，也因為經驗的不足，而嘗試了很多錯誤。但經過這次科展，除了認識許多志同道合的好朋友外，也更感受到科學樂趣，特別是當我們自製出發射架及發射器時，那種成就感真是筆墨難以形容。此次的作品是以趣味及生活化為主軸，也希望這個遊戲能加以推廣，讓更多人和我們一樣能在科學實驗中找到趣味。有了這次科展的寶貴經驗後，讓我們更有信心，期待下次科展能更進一步探討氣流對飛行器的各種影響。

玖、參考資料

一、國中自然與生活科技課本第五冊。(民 93)。南一書局。

二、陳為友、姜靜、馮學斌(民 93)。影響世界的物理大發現。

臺北縣：豐閣。

三、Muriel Mandell；林佳蓉譯(民 88)。365 個簡單有趣的科學遊戲。
台北市：方智

四、呂紹鄂(80)。飛行大紀行。台北市：冠南

030808