嘉義縣國民中小學
科學展覽會作品說明書

屆　　別：65

科　　別：物理

組　　別：國小組

作品名稱：紙杯飛行器最佳發射條件測試之研究

關 鍵 詞：摩擦力　發射器　距離

編　　號：A105

嘉義縣第 65 屆國民中小學科學展覽會

作品說明書

科別：物理科

組別：國小組

作品名稱：紙杯飛行器最佳發射條件測試之研究

關鍵詞：摩擦力　　發射器　　距離

目錄

摘要---------- 02

壹、研究動機---------- 02

貳、研究目的---------- 02

參、研究架構圖---------- 03

肆、文獻探討---------- 03

伍、研究設備及器材---------- 04

陸、研究過程或方法---------- 05

柒、研究結果與討論---------- 07

捌、結論---------- 09

玖、參考資料及其他---------- 10

附錄----------11

摘要

以紙杯飛行器最佳發射條件測試，討論使用自製發射器時，(一)發射面不同的角度，(二)紙杯飛行器發射初始位置與釘子間距，(三)紙杯飛行器在固定橡皮筋長度下，不同纏繞圈數。以上，產生的摩擦力是否會對紙杯飛行器滑翔距離造成影響？我們進行一連串的實驗與比較，討論摩擦力與紙杯飛行器滑翔距離的關係。

壹、研究動機

在五年級自然課的「力與運動」單元中，我們學到了摩擦力這個概念，老師也讓我們實際觀察生活中各種與摩擦力有關的現象。某天，我們在網路上看到有人用紙杯做飛行器，覺得非常新奇，也好奇如果我們自己做紙杯飛行器，是不是可以靠發射器讓它飛得又直又遠？於是，我們組成研究團隊，開始思考：紙杯飛行器的滑翔距離會受到哪些因素影響呢？我們設計了三個實驗，透過改變不同發射條件，來找出影響飛行距離的最佳組合。

貳、研究目的

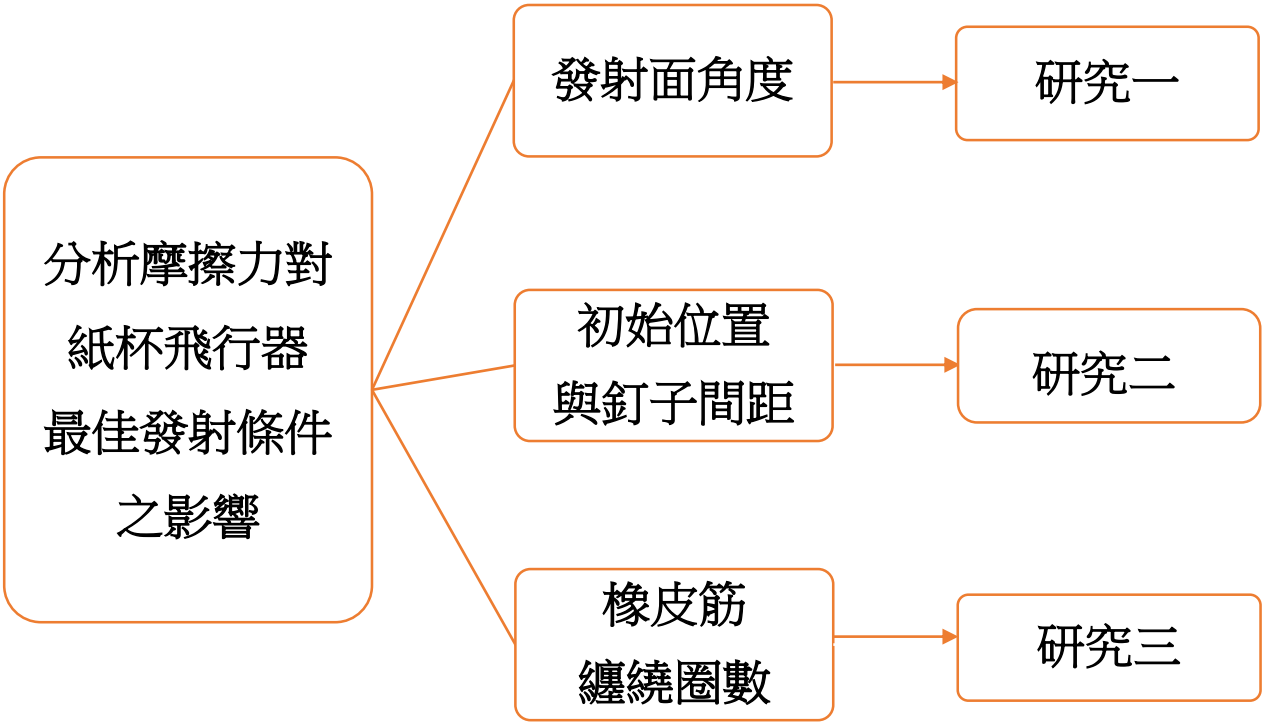
本研究目的如下：

一、討論使用自製發射器時，發射面不同的角度，是否影響紙杯飛行器的滑翔距離。

二、討論使用自製發射器時，紙杯飛行器和釘子不同的距離，發射的初始距離是否會影響滑翔距離。

三、討論使用自製發射器時，探討固定橡皮筋長度下，纏繞圈數不同，是否影響滑翔距離。

參、研究架構圖



肆、文獻探討

(一)馬格努斯效應：

是一種流體力學當中常見的現象。此效應說明，當一個旋轉中的物體（如球或圓柱體）受到來自側向的氣流作用時，物體的旋轉帶動了周圍氣流旋轉，使得氣流環繞在物體周圍的速度分布將會發生變化。一個順時針旋轉的物體上半部順著氣流的方向轉動，加快了氣流的速度；而下半部則逆向頂著氣流的方向轉動，減緩了氣流的速度。依據伯努利定理，氣流速度的減緩將導致壓力強度的增加，反之將導致壓力強度的降低。如此一來，這個旋轉物體在垂直於氣流場的方向就產生了壓力差，形成一股橫向力，稱之為「馬格努斯效應力」。

（二）摩擦力原理：

1、摩擦力：可解釋為由於物體表面與接觸面是粗糙或光 滑時，都使得物體在接觸面上移動時，受到阻礙而不容易移動。此阻礙力就是摩擦力。

2、摩擦力影響的因素：接觸面的性質，接觸面越粗糙， 摩擦力越大。物體的垂直接觸面正向力越大，摩擦力越大。

3、摩擦力有分為靜摩擦力、動摩擦力。通常動摩擦力會小於最大靜摩擦力。

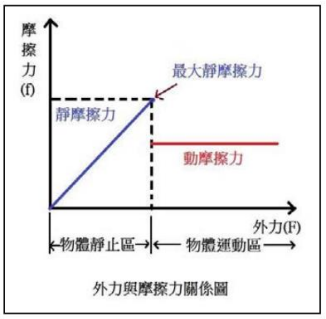
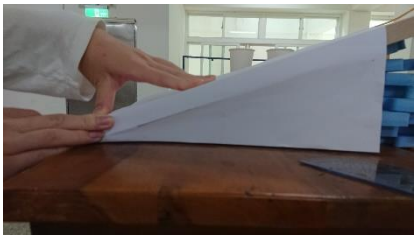
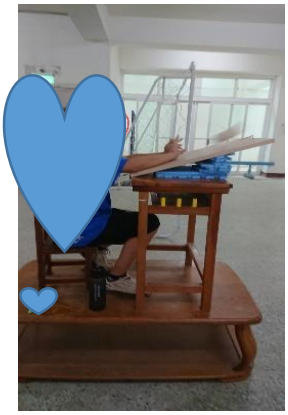


圖1-2 外力與摩擦力關係圖

伍、研究設備及器材

戶外測試時發現紙杯飛行器的滑翔距離，容易受到風的影響。討論後我們以學校室內球場作為實驗場地，並由同一位同學負責測試。

圖一	圖二	圖三
		
圖四	圖五	圖六
		
圖七	圖八	圖九

陸、研究過程或方法

一、實驗一：自製發射器，比較發射面不同的角度，所產生的摩擦力是否會對紙杯飛行器滑翔距離產生影響？

(一)實驗問題：發射面不同的角度，是否影響紙杯飛行器的滑翔距離？

(二)實驗假設：發射面角度可能影響紙杯接觸與脫離發射器的摩擦面積，從而間接影響初速與滑翔距離。發射器發射面角度越小，紙杯飛行器滑翔距離越遠。

(三)實驗變因：

1.操作變因：調整發射器發射面角度，進行實驗觀察與紀錄。

2.控制變因：紙杯飛行器兩翼長度 7.5 公分、橡皮筋 13 公分的長度纏繞紙杯飛行器兩圈、紙杯飛行器發射距離 40 公分。

3.應變變因：紙杯飛行器滑翔距離(公分)。

(四)實驗器材：

紙杯、橡皮筋、2 公分寬膠帶、雙面膠、磅秤、自製發射器。

(五)實驗步驟：

1.磅秤秤紙杯重量，排除不同重量的紙杯。確認每條橡皮筋長度。

2.以 18 公分長透明膠帶纏繞紙杯，紙杯飛行器重量 7 公克。

3.橡皮筋 13 公分的長度纏繞紙杯飛行器兩圈，紙杯飛行器發射距離 30 公分。

4.調整發射器發射面角度，分別為 0 度、10 度、20 度。

5.分別重複進行 10 次發射，排除離群值，取 6 次並加以平均。

6.進行實驗觀察並紀錄滑翔距離。

二、實驗二：自製發射器，比較紙杯飛行器發射初始位置與釘子間距，所產生的摩擦力是否影響紙杯飛行器滑翔距離？

(一)實驗問題：發射初始位置與釘子間距，所產生的摩擦力是否影響紙杯飛行器滑翔距離？

(二)實驗假設：紙杯飛行器與釘子間距，可能影響紙杯接觸與脫離發射器的摩擦面積，

從而間接影響紙杯飛行器滑翔。紙杯飛行器與釘子間距越遠，紙杯飛行器滑翔距離越遠。

(三)實驗變因：

1.操作變因：調整紙杯飛行器和釘子的距離，進行實驗觀察與紀錄。

2.控制變因：紙杯飛行器兩翼長度 7.5 公分、橡皮筋 13 公分的長度纏繞紙杯飛行器兩圈、發射角度(20 度)。

3.應變變因：紙杯飛行器滑翔距離(公分)。

(四)實驗器材：

紙杯、橡皮筋、2 公分寬膠帶、雙面膠、磅秤、自製發射器。

(五)實驗步驟：

1.磅秤秤紙杯重量，排除不同重量的紙杯。確認每條橡皮筋長度。

2.以 18 公分長透明膠帶纏繞紙杯，紙杯飛行器重量 7 公克。

3.橡皮筋 13 公分的長度纏繞紙杯飛行器兩圈，調整紙杯飛行器發射的距離，分別為 30 公分、40 公分。

4.分別重複進行 10 次發射，排除離群值，取 6 次並加以平均。

5.進行實驗觀察並紀錄滑翔距離。

三、實驗三：自製發射器，比較紙杯飛行器不同纏繞圈數，所產生的摩擦力是否對紙杯飛行器滑翔距離造成影響？

(一)實驗問題：固定橡皮筋纏繞紙杯的長度，不同纏繞圈數與紙杯飛行器滑翔距離有什麼關係？

(二)實驗假設：纏繞圈數可能影響紙杯接觸與脫離發射器的摩擦面積，從而間接影響紙杯飛行器滑翔。纏繞圈數越多，紙杯飛行器滑翔距離越遠。

(三)實驗變因：

1.操作變因：不同纏繞圈數，進行實驗觀察與紀錄。

2.控制變因：固定橡皮筋纏繞紙杯的長度 13 公分、紙杯飛行器兩翼長度 7.5 公分、發射角度(20 度) 、紙杯飛行器發射的距離 40 公分。

3.應變變因：紙杯飛行器滑翔距離(公分)。

(四)實驗器材：

紙杯、橡皮筋、2 公分寬膠帶、雙面膠、磅秤。

(五)實驗步驟：

1.磅秤秤紙杯重量，排除不同重量的紙杯。確認每條橡皮筋長度。

2.以 18 公分長透明膠帶纏繞紙杯，紙杯飛行器重量 7 公克。

3.固定橡皮筋的長度 13 公分纏繞紙杯，分別纏繞一圈、兩圈。

4.分別重複進行 10 次發射，排除離群值，取 6 次並加以平均。

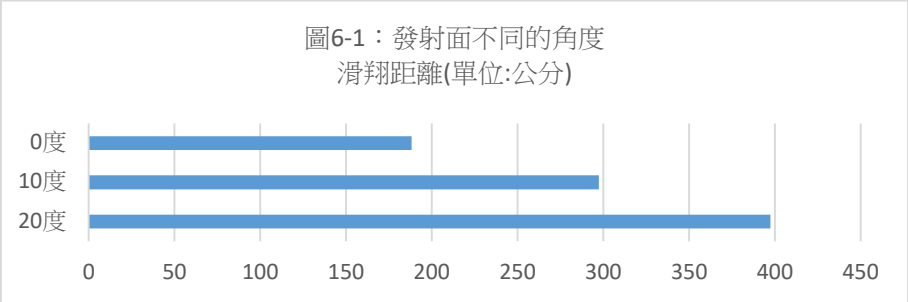
5.進行實驗觀察並紀錄滑翔距離。

柒、研究結果與討論

一、實驗一：自製發射器，比較發射面不同的角度，所產生的摩擦力是否會對紙杯飛行器滑翔距離產生影響？

(一)實驗結果：

實驗後的原始數據附於附錄一，實驗統計結果如下：



(二)實驗討論：

1.滑翔距離比較：

發射器發射面角度 20 度(397.5 公分) ＞10 度(297.5 公分) ＞0 度(188.3 公分)

2.由圖 6-1 的實驗結果發現與實驗假設不同，實驗討論如下述：

(1)進行使用自製簡單發射器時，我們推測實驗過程中摩擦力，可能對紙杯飛行器滑

翔距離造成影響。

(2)根據實驗數據，我們發現發射器發射面角度越大，紙杯飛行器滑翔距離越遠。發射器發射面角度 20 度與角度 0 度，滑翔距離平均差距約 209 公分。

(3)我們推測，當發射面角度越小，雖然造成的摩擦力較大，但因紙杯飛行器飛出的高度不夠高，還來不及產生馬格努斯效應及伯努利定理，紙杯就直接落下。

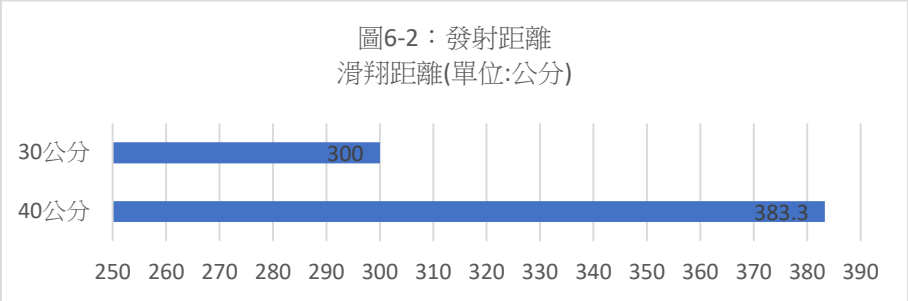
(4)我們為更進一步探究，發射器不同的發射距離，所產生的摩擦力，是否對紙杯飛行器滑翔距離造成影響？因此進行實驗二。

(5)實驗過程中，我們發現紙杯飛行器滑翔距離與實驗次數成反比，有可能是為橡皮筋彈性疲乏，決定每次實驗不重複使用橡皮筋。

二、實驗二：自製發射器，比較紙杯飛行器發射初始位置與釘子間距，所產生的摩擦力是否影響紙杯飛行器滑翔距離？

(一)實驗結果：

實驗後的原始數據附於附錄二，實驗統計結果如下：



(二)實驗討論：

1.滑翔距離比較：

紙杯飛行器發射的距離 40 公分(383.3 公分) ＞ 距離 30 公分(300 公分)

2.由圖 6-2 的實驗結果發現與實驗假設相同，實驗討論如下述：

(1)根據實驗數據，我們發現紙杯飛行器發射的距離越遠，紙杯飛行器滑翔距離越遠。距離 30 公分與距離 40 公分發射，紙杯飛行器滑翔距離平均差距約 83 公分。

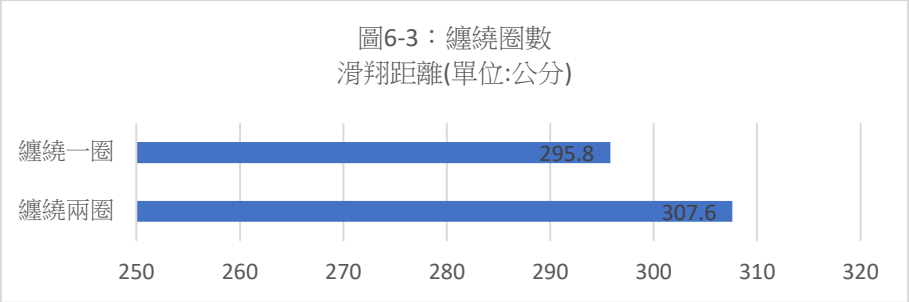
(2)我們推測，當紙杯飛行器發射距離越遠，造成的摩擦力越大，紙杯飛行器旋轉得圈數增加，馬格努斯效應及伯努利定理明顯，故飛行器滑翔距離較遠。

(3)我們再討論各項變因，好奇橡皮筋纏繞圈數的摩擦力，是否會對紙杯飛行器滑翔距離造成影響，故進行實驗三。

三、實驗三：比較紙杯飛行器不同纏繞圈數，所產生的摩擦力，是否對紙杯飛行器滑翔距離造成影響？

(一)實驗結果：

實驗後的原始數據附於附錄三，實驗統計結果如下：



(二)實驗討論：

1.滑翔距離比較：

橡皮筋的長度 13 公分，纏繞兩圈（307.6 公分） ＞ 纏繞一圈（295.8 公分）

2.由圖 6-3 的實驗結果發現與實驗假設相同，實驗討論如下述：

(1)因橡皮筋長度有限，在此長度限制下，為求易於固定紙杯飛行器，最大圈數只能兩圈。

(2)實驗過程中，我們發現纏繞兩圈紙杯飛行器向上彈得高度更高，停在空中的時間較久，但實驗結果發現纏繞兩圈的紙杯飛行器滑翔距離較遠，與纏繞一圈的紙杯飛行器滑翔距離差距並不大，約 12 公分。

(3)我們推測纏繞圈數所產生的摩擦力，對於飛行器滑翔距離造成的影響不顯著。

捌、結論

一、比較發射面不同的角度所產生的摩擦力，是否對紙杯飛行器滑翔距離造成影響？

由實驗一我們推測除了摩擦力，紙杯飛出的高度是否足夠產生馬格努斯效應及伯努利定理，也是影響飛行器滑翔距離的主要因素之一。

二、比較紙杯飛行器發射初始位置與釘子間距，所產生的摩擦力是否影響紙杯飛行器滑翔距

離？

由實驗二我們推測當紙杯飛行器發射距離越遠，造成的摩擦力越大，紙杯飛行器旋轉圈數增加，馬格努斯效應及伯努利定理明顯，故飛行器滑翔距離較遠。

三、**比較紙杯飛行器不同纏繞圈數所產生的摩擦力，對紙杯飛行器滑翔距離產生影響？**

纏繞圈數多雖然稍微有影響，但差距不大。我們推測圈數與旋轉有關，但在本實驗條件下對於飛行器滑翔距離影響不大。

由此實驗我們發現，除了摩擦力外，飛行高度、旋轉圈數、發射角度等因素亦可能同時影響滑翔距離。

玖、參考資料及其他

一、怪怪飛行器（NTCU 科學遊戲實驗室）

二、五下自然與生活科技課本—第一單元：力與運動。新北市：康軒文教事業股份有限公司。

三、中華民國第 62 屆中小學科學展覽會作品說明書，國小組物理科：繩奇摩力步步升。

附錄一

研究目的一、探討使用自製發射器時，發射面角度對紙杯飛行器滑翔距離的影響。

(單位：公分)

角度 / 次數	0 度	10 度	20 度
第一次	300	305	430
第二次	280	300	450
第三次	260	280	390
第四次	200	310	410
第五次	170	350	370
第六次	200	370	390
第七次	260	350	405
第八次	180	310	410
第九次	200	280	380
第十次	180	280	330
取中間值 6 次平均	188.3	297.5	397.5

附錄二

研究目的二、探討使用自製發射器時，紙杯飛行器發射的距離對紙杯飛行器滑翔距離的影響。 (單位：公分)

與釘子距離 次數	距離 40 公分	距離 30 公分
第一次	410	300
第二次	360	320
第三次	380	350
第四次	370	290
第五次	360	310
第六次	390	300
第七次	380	330
第八次	390	310
第九次	390	300
第十次	350	290
取中間值 6 次平均	383.3	300

附錄三

研究目的三、探討在固定橡皮筋纏繞紙杯的長度下，不同纏繞圈數對紙杯飛行器滑翔距離的影響。(單位：公分)

圈數 / 次數	纏繞一圈	纏繞兩圈
第一次	260	380
第二次	320	390
第三次	300	300
第四次	290	306
第五次	300	310
第六次	290	330
第七次	150	305
第八次	275	295
第九次	240	260
第十次	240	250
取中間值 6 次平均	295.8	307.6