

# 中華民國第 64 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國小組 物理科

080118

滑翔吧！旋轉中的飛行器

學校名稱：嘉義縣民雄鄉三興國民小學

作者：  小六 呂亮澈  小六 程圓善  小六 黃雨晨  小六 陳里甄  小六 張瑤家	指導老師：  賴虹羽  張朝復
---	-----------------------------

關鍵詞：旋轉、滑翔、飛行器

## 摘要

我們使用一般的紙杯，做出能在空中滑翔的紙杯飛行器，經過一系列的實驗設計，我們認為飛行器內外輪徑要有差異、外輪與內輪要有些重量差異，外輪杯口有重量且光滑平整，紙杯飛行器滑翔的距離會越遠，但飛行器的長度對紙杯飛行器滑翔的距離並不會有太大的影響。

## 壹、研究動機

我們在網路看過各式各樣飛行器的製作與介紹，覺得十分有趣也非常好奇，便想利用這次科展，將紙杯飛行器做些微小的改變，找出能讓紙杯飛行器滑翔得更遠的條件。我們學過力與運動和簡單機械，運用橡皮筋彈力傳送動力的原理，動手自製簡單發射器來進行實驗。相關教材/六年級「力與運動」、六年級「簡單機械」。

## 貳、研究目的

本研究目的如下：

- 一、探討紙杯內外輪徑差異，對飛行器滑翔距離的影響。
  - 二、探討紙杯有無外輪杯口重量，對飛行器滑翔距離的影響。
  - 三、探討在重量相同下拉開外輪杯口，比較紙杯外輪邊緣光滑度，對飛行器滑翔距離的影響。
  - 四、探討兩翼長度相同的紙杯飛行器，有無外輪杯口重量，對飛行器滑翔距離的影響。
  - 五、探討在紙杯飛行器重量、兩翼長度相同條件下，比較紙杯外輪邊緣光滑度，對飛行器滑翔距離的影響。
  - 六、探討紙杯飛行器長度，對飛行器滑翔距離的影響。
- 找出能讓紙杯飛行器滑翔得更遠的方法。

### 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)伯努力原理：

飛機能在天空中飛行，主要是受到以下四種力的作用：

- 1、推力：為了使飛機前進，來自引擎的推力；而紙飛機的推力，則來自人力。
- 2、阻力：飛機前進時，空氣與機身所產生的摩擦力，即為空氣阻力。
- 3、重力：機身本身所受到的地球引力，即為重力。

4、升力：飛機於前進時，在主翼上所產生的升力。

綜合以上四種力的交互作用，當飛機的推力大於阻力，且升力大於重力時，飛機即能上升且前進飛行。飛機的飛行是依據「伯努力原理」，也就是「流體的流速越快壓力越小，空氣有流動時，流動的部分壓力會變小，且流速越快，壓力就越小。正因空氣流動處的壓力小，所以使物體從壓力大的地方往壓力小的地方移動」；當飛機飛行時，機翼穿越空氣，由於上下機翼的曲面曲率不同，上面較凸，下面較平，因而造成流經機翼上下的氣流速率會有差別，經過上面的氣流速率較快，所以機翼上方的壓力較小，因而產生了升力。紙杯飛行器嚴格說來並不是飛行，而是滑翔，因紙杯提供了下降的阻力，增加下降所需時間；因此只要能保持姿態的平衡，就可以一邊前進一邊下降，看起來就像是在飛行。

## 伍、研究設備及器材

為避免風對紙杯飛行器的滑翔距離產生影響，我們以學校後棟地下室作為實驗場地。為求降低人為干擾，我們設計一個簡單的發射器，並由同一位同學負責測試，如下圖一、二、三、四。經過多次測試後，我們發現在橡皮筋 13 公分的長度纏繞紙杯飛行器兩圈、發射角度(20 度)、紙杯飛行器和釘子的距離 30 公分條件下，滑翔距離最遠。實驗數據如下表 5-1、5-2、5-3，所以後續實驗，發射器皆以此條件進行紙杯飛行器的滑翔測試。

表 5-1 (單位：公分)

圈數	纏繞一圈	纏繞兩圈
取中間值 6 次平均	295.8	307.6

表 5-2 (單位：公分)

角度	0 度	10 度	20 度
取中間值 6 次平均	188.3	297.5	387.5

表 5-3 (單位：公分)

與釘子距離	距離 30 公分	距離 40 公分
取中間值 6 次平均	383.3	300



## 陸、研究過程或方法

### 一、實驗一：比較紙杯飛行器內外輪徑差異，對滑翔距離的影響。

(一)實驗問題：紙杯飛行器內外輪徑差異，與滑翔距離有什麼關係？

(二)實驗假設：內外輪徑有差異的紙杯飛行器滑翔的距離越遠。

(三)實驗變因：

1.操作變因：紙杯飛行器內外輪徑有無差異。

2.控制變因：橡皮筋 13 公分的長度纏繞紙杯飛行器兩圈、紙杯飛行器和釘子的距離 30 公分、發射角度(20 度)、紙杯飛行器重量 7 公克、紙杯飛行器兩翼長度 7.5 公分。

3.應變變因：紙杯飛行器滑翔距離(公分)。

(四)實驗器材：



(五)實驗步驟：

1.以透明膠帶纏繞紙杯，製作兩個紙杯飛行器。一個有內外輪徑差異，後續以原形代稱，一個無內外輪徑差異為直筒形狀，確認飛行器重量皆 7 公克。

2.分別重複進行 10 次發射，進行實驗觀察並紀錄滑翔距離，剔除極端值，取 6 次並加以平均。

3.根據實驗一得到的結果，我們看到兩個飛行器都有馬格努斯效應，我們推測有內外輪徑差異的原形紙杯飛行器還多了伯努力原理的影響。因此，我們想要針對原形紙杯飛行器加以討論，探討影響原形紙杯飛行器的滑翔距離，除了內外輪徑差異外，還有哪些因素？所以，我們進一步設計實驗二、三、四、五、六。

### 二、實驗二：比較紙杯飛行器有無外輪杯口重量，對滑翔距離的影響。

(一)實驗問題：紙杯飛行器有無外輪杯口重量，與滑翔距離有什麼關係？

(二)實驗假設：有外輪杯口重量的紙杯飛行器滑翔的距離越遠。

(三)實驗變因：

- 1.操作變因：紙杯飛行器有無外輪杯口重量。
- 2.控制變因：橡皮筋 13 公分的長度纏繞紙杯飛行器兩圈、紙杯飛行器和釘子的距離 30 公分、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：



(五)實驗步驟：

- 1.根據實驗一得到的結果，我們看到直筒與原形紙杯飛行器，在重量及兩翼長度相同條件下，原形紙杯飛行器滑翔距離遠大於直筒紙杯飛行器，我們好奇除內外輪徑差異外，是不是紙杯外輪杯口重量也是造成滑翔距離差距的因素。所以，我們把紙杯飛行器外輪杯口剪掉，進行實驗二。
- 2.以透明膠帶纏繞紙杯，製作兩個紙杯飛行器，一個有外輪杯口，另一個無外輪杯口。
- 3.分別重複進行 10 次發射，進行實驗觀察並紀錄滑翔距離，剔除極端值，取 6 次並加以平均。

**三、實驗三：在紙杯飛行器重量相同條件下，拉開紙杯外輪杯口，比較外輪邊緣光不光滑，對滑翔距離的影響。**

(一)實驗問題：紙杯飛行器外輪邊緣光不光滑，與滑翔距離有什麼關係？

(二)實驗假設：外輪邊緣光滑的紙杯飛行器滑翔的距離越遠。

(三)實驗變因：

- 1.操作變因：紙杯飛行器外輪邊緣光不光滑

2.控制變因：橡皮筋 13 公分的長度纏繞紙杯飛行器兩圈、紙杯飛行器和釘子的距離 30 公分、發射角度(20 度)、紙杯飛行器重量 7 公克。

3.應變變因：紙杯飛行器滑翔距離(公分)。

(四)實驗器材：



(五)實驗步驟：

1.根據實驗二得到的結果，我們看到紙杯飛行器滑翔距離相差約 70 公分，但因實驗二剪掉紙杯外輪杯口，導致兩個飛行器重量有差異，所以我們想要驗證在相同重量條件下，紙杯飛行器滑翔的距離是否會受到紙杯外輪邊緣光不光滑的影響。故設計實驗三，拉開一個紙杯飛行器的外輪杯口，使外輪邊緣產生皺褶。

2.以透明膠帶纏繞紙杯，製作兩個紙杯飛行器，一個外輪邊緣光滑，另一個外輪邊緣有皺褶。

3.分別重複進行 10 次發射，進行實驗觀察並紀錄滑翔距離，剔除極端值，取 6 次並加以平均。

#### 四、實驗四：比較兩翼長度相同的紙杯飛行器，有無外輪杯口重量，對滑翔距離的影響。

(一)實驗問題：比較兩翼長度相同的紙杯飛行器，有無外輪杯口重量，與滑翔距離有什麼關係？

(二)實驗假設：有外輪杯口重量的紙杯飛行器滑翔的距離越遠。

(三)實驗變因：

1.操作變因：紙杯飛行器有無外輪杯口重量。

2.控制變因：橡皮筋 13 公分的長度纏繞紙杯飛行器兩圈、紙杯飛行器和釘子的距離 30 公分、發射角度(20 度)、紙杯飛行器兩翼長度 7.2 公分。

3.應變變因：紙杯飛行器滑翔距離(公分)。



(四)實驗器材：



(五)實驗步驟：

- 1.根據實驗三得到的結果，我們看到紙杯飛行器滑翔距離相差約 100 公分，滑翔距離差距更大。因為實驗三，拉開一個紙杯飛行器的外輪杯口，導致兩個飛行器兩翼長度有差異。所以，我們想驗證在兩翼長度相同條件下，影響紙杯飛行器滑翔距離的主要因素，究竟是外輪杯口重量，還是外輪邊緣光不光滑。故分別設計實驗四，兩翼長度相同條件下，一個紙杯飛行器添加回外輪杯口；及實驗五，紙杯飛行器兩翼長度相同條件下，比較外輪邊緣光滑度。分別進行實驗。
- 2.以透明膠帶纏繞紙杯，製作兩個紙杯飛行器，一個添加外輪杯口，另一個不添加外輪杯口。
- 3.分別重複進行 10 次發射，進行實驗觀察並紀錄滑翔距離，剔除極端值，取 6 次並加以平均。

**五、實驗五：在紙杯飛行器重量、兩翼長度相同條件下，比較紙杯外輪邊緣光滑，對滑翔距離的影響。**

(一)實驗問題：比較紙杯飛行器外輪邊緣光滑，與滑翔距離有什麼關係？

(二)實驗假設：外輪邊緣光滑的紙杯飛行器滑翔的距離越遠。

(三)實驗變因：

- 1.操作變因：紙杯飛行器外輪邊緣光不光滑。
- 2.控制變因：橡皮筋 13 公分的長度纏繞紙杯飛行器兩圈、紙杯飛行器和釘子的距離 30 公分、發射角度(20 度)、紙杯飛行器兩翼長度 7.2 公分。
- 3.應變變因：紙杯飛行器滑翔距離(公分)。

(四)實驗器材：



(五)實驗步驟：

- 1.延續實驗四，在紙杯飛行器兩翼長度相同條件下，以紙杯外輪邊緣光不光滑，進行實驗。
- 2.以透明膠帶纏繞紙杯，製作兩個紙杯飛行器，一個外輪邊緣光滑，另一個外輪邊緣有皺褶。
- 3.分別重複進行 10 次發射，進行實驗觀察並紀錄滑翔距離，剔除極端值，取 6 次並加以平均。

#### 六、實驗六：比較紙杯飛行器長度，對飛行器滑翔距離的影響。

(一)實驗問題：比較紙杯飛行器長度，與滑翔距離有什麼關係？

(二)實驗假設：紙杯飛行器長度越長，飛行器滑翔的距離越遠。

(三)實驗變因：

- 1.操作變因：紙杯飛行器長度。
- 2.控制變因：橡皮筋 13 公分的長度纏繞紙杯飛行器兩圈、紙杯飛行器和釘子的距離 30 公分、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：



(五)實驗步驟：

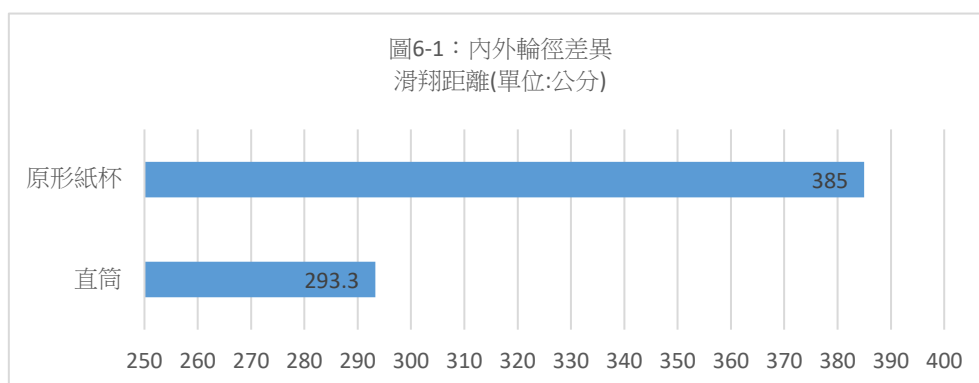
- 1.完成以上五個實驗後，我們好奇紙杯飛行器的長度，對滑翔的距離有何種程度影響，故又設計實驗六，進行實驗。
- 2.以透明膠帶纏繞紙杯，製作兩個紙杯飛行器，一個長度較長，另一個長度較短。
- 3.分別重複進行 10 次發射，進行實驗觀察並紀錄滑翔距離，剔除極端值，取 6 次並加以平均。

## 柒、研究結果與討論

### 一、實驗一：比較紙杯內外輪徑差異，對飛行器滑翔距離的影響。

#### (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：

有內外輪差的紙杯飛行器( 385 公分) > 無內外輪差的紙杯飛行器 ( 293.3 公分)

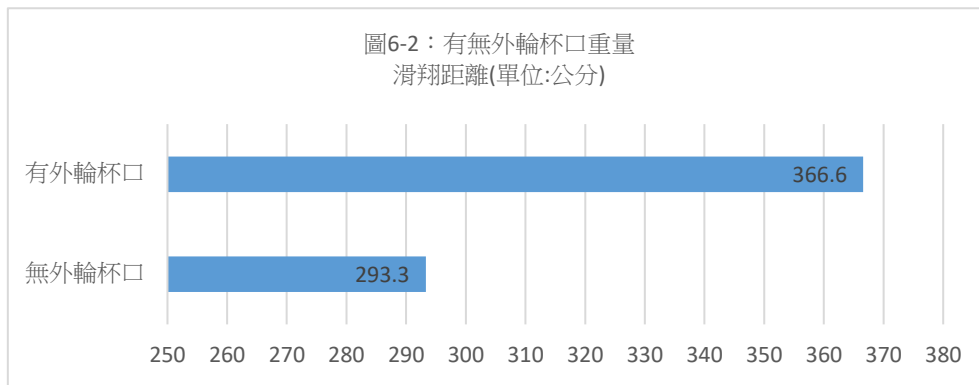
##### 2.由圖 6-1 的實驗結果發現與實驗假設相同，實驗討論如下述：

根據實驗一得出：兩個紙杯飛行器都有馬格努斯效應，我們推測有內外輪徑差異的原形紙杯飛行器還多了伯努力原理的影響，因為紙杯外輪杯口重量，造成旋轉過程中原形紙杯飛行器內外輪徑轉速差異，讓抬升力量有更大差異，故滑翔距離更遠。

### 二、實驗二：比較紙杯有無外輪杯口重量，對飛行器滑翔距離的影響。

#### (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：

有外輪杯口的紙杯飛行器( 366.6 公分) > 無外輪杯口的紙杯飛行器( 293.3 公分)

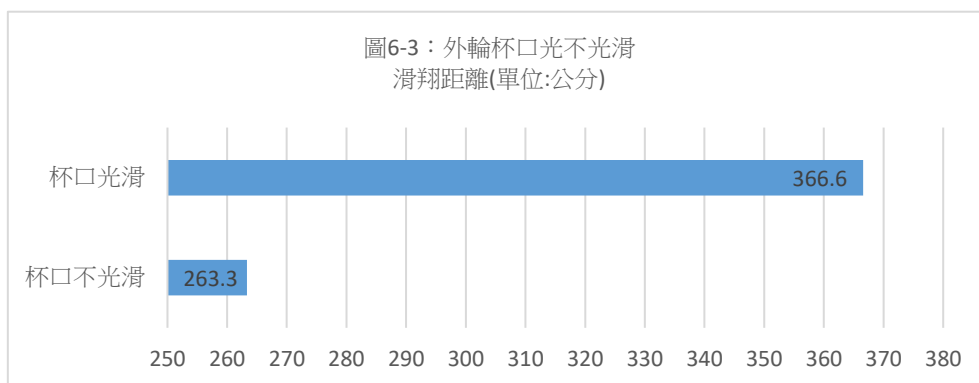
2.由圖 6-2 的實驗結果發現與實驗假設相同，實驗討論如下述：

根據實驗二得出：有外輪杯口的原形紙杯飛行器，紙杯外輪杯口重量，使內外輪徑轉速差異更大，可增強飛行器滑翔距離。

三、實驗三：在紙杯飛行器重量相同條件下，拉開紙杯外輪杯口，比較外輪邊緣光不光滑，對滑翔距離的影響。

(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：

外輪杯口光滑的紙杯飛行器( 366.6 公分) > 外輪杯口不光滑的紙杯飛行器( 263.3 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：

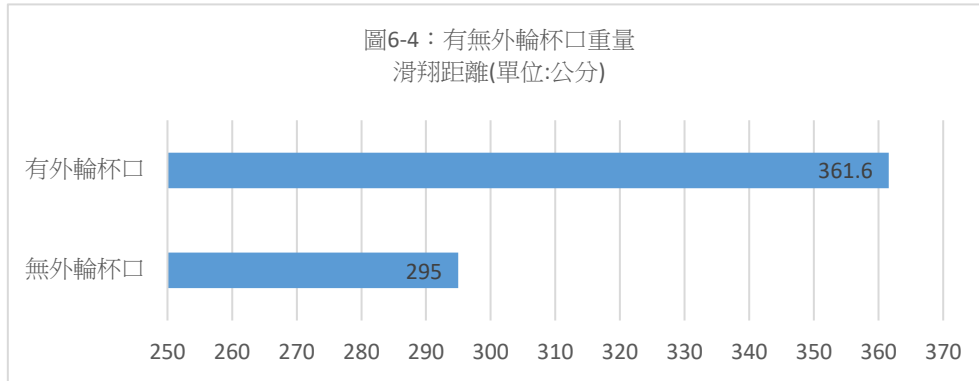
根據實驗三得出：在紙杯飛行器重量相同條件下，外輪邊緣光滑，滑翔的距離較外輪

邊緣不光滑有皺褶的紙杯飛行器來的更遠，相差約 100 公分。

#### 四、實驗四：比較兩翼長度相同紙杯飛行器，有無外輪杯口重量，對飛行器滑翔距離的影響。

(一)實驗結果：

實驗後的原始數據附於附錄四，實驗統計結果如下：



(二)實驗討論：

1.滑翔距離比較：

有外輪杯口的紙杯飛行器( 361.6 公分 ) > 無外輪杯口的紙杯飛行器( 295 公分 )

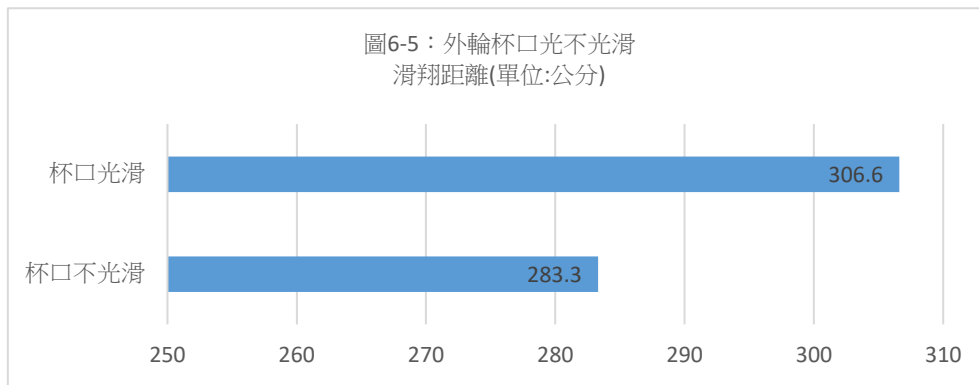
2.由圖 6-4 的實驗結果發現與實驗假設相同，實驗討論如下述：

根據實驗四得出：在紙杯飛行器兩翼長度相同條件下，有外輪杯口的飛行器滑翔的距離，與無外輪杯口的飛行器相差約 100 公分。雖然有外輪杯口重量的飛行器較重，但滑翔的距離卻更遠。

#### 五、實驗五：在紙杯飛行器重量、兩翼長度相同條件下，比較紙杯外輪邊緣光滑，對滑翔距離的影響。

(一)實驗結果：

實驗後的原始數據附於附錄五，實驗統計結果如下：



(二)實驗討論：

1.滑翔距離比較：

外輪杯口光滑的紙杯飛行器( 306.6 公分) > 外輪杯口不光滑的紙杯飛行器( 283.3 公分)

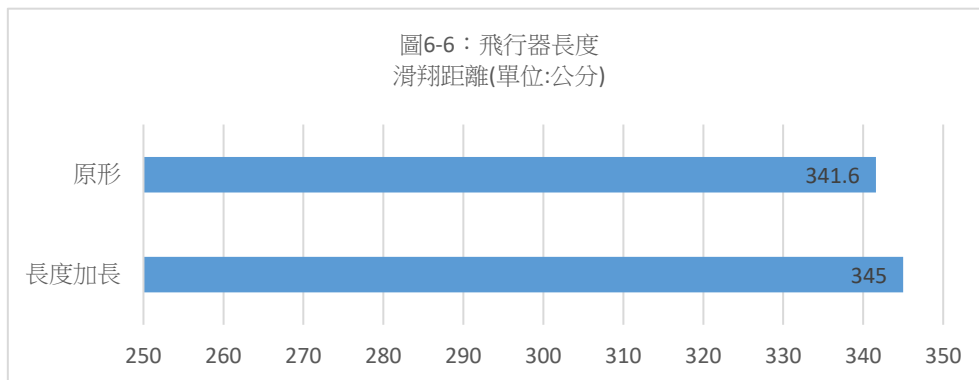
2.由圖 6-5 的實驗結果發現與實驗假設相同，實驗討論如下述：

根據實驗五得出：在紙杯飛行器重量、兩翼長度相同條件下，外輪邊緣光滑的紙杯飛行器，滑翔距離較外輪邊緣不光滑有皺褶的紙杯飛行器來的遠一些。

六、實驗六：比較紙杯飛行器長度，對飛行器滑翔距離的影響。

(一)實驗結果：

實驗後的原始數據附於附錄六，實驗統計結果如下：



(二)實驗討論：

1.滑翔距離比較：

長度加長的紙杯飛行器 ( 345 公分) > 原形紙杯飛行器 ( 341.6 公分)

2.由圖 6-6 的實驗結果發現與實驗假設相同，實驗討論如下述：

根據實驗六我們推論，在此實驗中長度不是影響滑翔距離的主因，紙杯飛行器加長後可以增加滑翔距離，但因重量相對變重，此消彼長，一升一降飛行器滑翔的距離並未

拉長。

## 捌、結論

以我們設計的實驗條件，我們推測影響紙杯飛行器滑翔距離有下列三項因素：

1.紙杯飛行器外輪杯口重量：根據實驗一、二、四的實驗結果，我們看到有外輪杯口重量的紙杯飛行器，其滑翔的距離分別是 385 公分、366.6 公分、361.6 公分與無外輪杯口重量的紙杯飛行器滑翔的距離分別相差 91.7 公分、73.3 公分、66.6 公分。所以我們推測紙杯飛行器外輪杯口重量是影響飛行器滑翔距離最重要的因素。

2.紙杯飛行器外輪杯邊緣光滑度：根據實驗三、五的實驗結果，我們看到外輪杯邊緣光滑的紙杯飛行器，其滑翔距離分別是 366.6 公分、306.6 公分與外輪杯邊緣不光滑有皺摺的紙杯飛行器滑翔的距離分別相差 103.3 公分、22.7 公分。實驗三飛行器滑翔的距離相差 103.3 公分，我們推測實驗三因為外輪杯邊緣光滑的紙杯飛行器同時也存在杯口重量，兩項因素的加乘效果，讓實驗三飛行器滑翔距離相差 103.3 公分。實驗五飛行器外輪杯邊緣光滑的紙杯飛行器不存在杯口重量，此實驗飛行器滑翔距離相差 22.7 公分，因此我們推論紙杯飛行器外輪杯邊緣光滑度，對紙杯飛行器滑翔距離也是有影響。

3.紙杯飛行器的長度，有可能本身真的沒有影響。排除人為操縱失誤，我們推測飛行器因長度加重，重量也隨之增加，雖然紙杯飛行器滑翔距離有遠一點，但差距很小。因此我們推論長度不是影響紙杯飛行器滑翔距離的重要因素。

根據我們設計的實驗，得到的結果，我們推測原形紙杯飛行器滑翔距離最遠，是因為有內外輪徑差異，且紙杯外輪杯口的重量，也造成旋轉過程中飛行器內外輪徑轉速有差異，讓抬升力量有更大的差異，推測符合伯努力定律的原理，因此原形紙杯飛行器滑翔的距離更遠。

## 玖、參考資料及其他

一、本篇作品照片及圖片，皆由作者自行拍攝及繪製。

二、怪怪飛行器（NTCU科學遊戲實驗室）

三、飛機飛行原理（香港教育城）

四、六上自然與生活科技課本—第四單元：力與運動。新北市：康軒文教事業股份有限公司。

五、六下自然與生活科技課本—第一單元：簡單機械。新北市：康軒文教事業股份有限公司。

六、中華民國第 57 屆中小學科學展覽會作品說明書，國小組物理科：凌空飛翔的紙蟬。

七、中華民國第 57 屆中小學科學展覽會作品說明書，國小組物理科：這樣飛太遠！--探討飛行筒的飛行現象。

八、屏東縣第 60 屆中小學科學展覽會作品說明書，國小組物理科：會飛的「0-1-0」--影響吸管紙環飛機飛行距離因素的探討。



## 附錄一

研究目的一、探討紙杯內外輪徑差異，對飛行器滑翔距離的影響。(單位：公分)

形狀 次數	圓筒	原形
第一次	270	310
第二次	290	230
第三次	310	370
第四次	290	300
第五次	300	440
第六次	400	380
第七次	410	310
第八次	360	380
第九次	300	430
第十次	200	290
取中間值 6 次平均	293.3	385

## 附錄二

研究目的二、探討紙杯有無外輪杯口重量，對飛行器滑翔距離的影響。(單位：公分)

外輪杯口 次數	剪掉外輪杯口	有外輪杯口 原形
第一次	320	310
第二次	290	350
第三次	330	460
第四次	290	380
第五次	290	380
第六次	300	400
第七次	290	370
第八次	300	360
第九次	290	360
第十次	280	310
取中間值 6 次 平均	293.3	366.6

### 附錄三

研究目的三、在重量相同下拉開外輪杯口，比較紙杯外輪邊緣光滑，對飛行器滑翔距離的影響。(單位：公分)

外輪邊緣 次數	外輪邊緣光滑 原形	外輪邊緣不光滑
第一次	310	300
第二次	350	280
第三次	460	260
第四次	380	270
第五次	380	300
第六次	400	260
第七次	370	270
第八次	360	280
第九次	360	260
第十次	310	260
取中間值 6 次 平均	366.6	263.3

## 附錄四

研究目的四、比較兩翼長度相同紙杯飛行器，有無外輪杯口重量，對飛行器滑翔距離的影響。(單位：公分)

輪邊 次數	又添加外輪杯口	無外輪杯口
第一次	400	310
第二次	300	300
第三次	350	280
第四次	350	290
第五次	370	300
第六次	390	300
第七次	340	290
第八次	370	290
第九次	360	300
第十次	370	290
取中間值 6 次平均	361.6	295

## 附錄五

研究目的五、在紙杯飛行器重量、兩翼長度相同條件下，比較紙杯外輪邊緣光滑，對飛行器滑翔距離的影響。(單位：公分)

外輪邊緣 次數	外輪邊緣光滑	外輪邊緣不光滑
第一次	310	290
第二次	290	280
第三次	280	290
第四次	300	300
第五次	310	310
第六次	320	320
第七次	300	270
第八次	340	280
第九次	310	260
第十次	310	290
取中間值 6 次 平均	306.6	283.3

## 附錄六

研究目的六、探討紙杯飛行器長度，對飛行器滑翔距離的影響。(單位：公分)

輪邊 次數	加長長度	原形
第一次	340	330
第二次	320	380
第三次	300	420
第四次	430	360
第五次	360	340
第六次	380	390
第七次	380	360
第八次	350	370
第九次	360	320
第十次	340	340
取中間值 6 次平均	345	341.6

## 【評語】 080118

本作品利用實驗方法探討影響紙杯飛行器滑行時間的因子。文獻探討部分，詳列及分析影響飛機飛行的作用力，也正確標定本實驗為滑翔。相關研究的報導很多，針對紙杯旋轉滑翔相對比較少。然而探索之題材涉及複雜的空氣動力學，紙杯投射過程及後續實驗的設定及分析，不容易清晰得到定量的關聯性，期待後續的延伸學習，尋求較新穎的突破。

## 作品簡報





# 滑翔吧！ 旋轉中的飛行器

# 摘要

我們使用一般的紙杯，做出能在空中滑翔的紙杯飛行器，經過一系列的實驗設計，我們認為飛行器內外輪徑要有差異、外輪與內輪要有些重量差異，外輪杯口有重量且光滑平整，紙杯飛行器滑翔的距離會越遠，但飛行器的長度對紙杯飛行器滑翔的距離並不會有太大的影響。

## 壹、研究動機

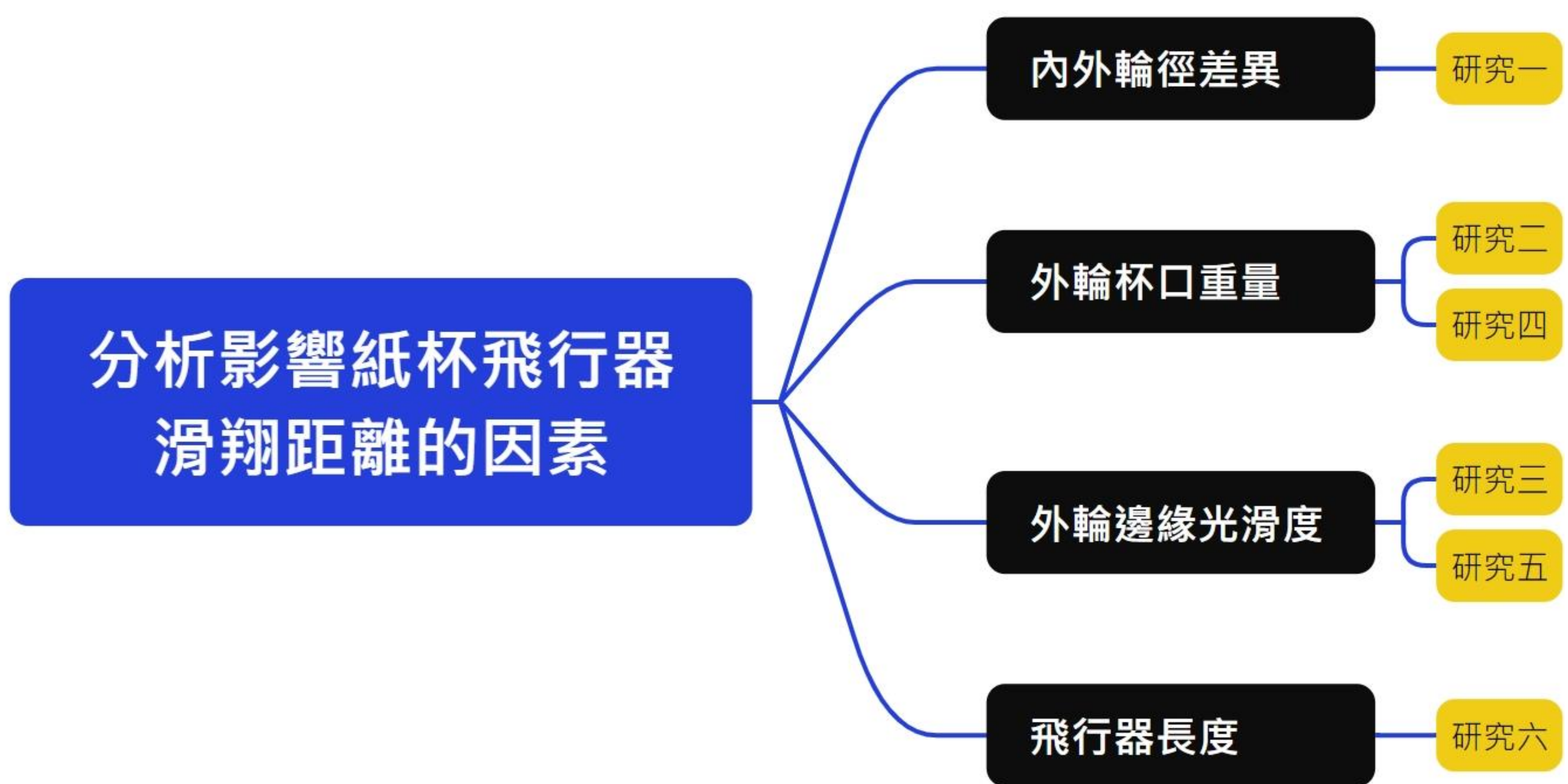
我們在網路看過各式各樣飛行器的製作與介紹，覺得十分有趣也非常好奇，便想利用這次科展，將紙杯飛行器做些微小的改變，找出能讓紙杯飛行器滑翔得更遠的條件。我們學過力與運動和簡單機械，運用橡皮筋彈力傳送動力的原理，動手自製簡單發射器來進行實驗。

## 貳、研究目的

本研究目的如下：

- 一、探討紙杯內外輪徑差異，對飛行器滑翔距離的影響。
  - 二、探討紙杯有無外輪杯口重量，對飛行器滑翔距離的影響。
  - 三、探討在重量相同下拉開外輪杯口，比較紙杯外輪邊緣光滑度，對飛行器滑翔距離的影響。
  - 四、探討兩翼長度相同的紙杯飛行器，有無外輪杯口重量，對飛行器滑翔距離的影響。
  - 五、探討在紙杯飛行器重量、兩翼長度相同條件下，比較紙杯外輪邊緣光滑度，對飛行器滑翔距離的影響。
  - 六、探討紙杯飛行器長度，對飛行器滑翔距離的影響。
- 找出能讓紙杯飛行器滑翔得更遠的方法。

## 參、研究架構圖



## 肆、研究設備及器材

為避免風對紙杯飛行器的滑翔距離產生影響，我們以學校後棟地下室作為實驗場地。為求降低人為干擾，我們設計一個簡單的發射器，並由同一位同學負責測試，如下圖一、二、三、四。經過多次測試後，我們發現在橡皮筋13公分的長度纏繞紙杯飛行器兩圈、發射角度(20度)、紙杯飛行器和釘子的距離30公分條件下，滑翔距離最遠。實驗數據如下表5-1、5-2、5-3，所以後續實驗，發射器皆以此條件進行紙杯飛行器的滑翔測試。

表5-1 (單位：公分)

圈數	纏繞一圈	纏繞兩圈
取中間值 6次平均	295.8	307.6

表5-2 (單位：公分)

角度	0度	10度	20度
取中間值 6次平均	188.3	297.5	387.5

表5-3 (單位：公分)

與釘子距離	距離30公分	距離40公分
取中間值 6次平均	383.3	300



## 肆、研究過程或方法

### 〈實驗一、比較紙杯飛行器內外輪徑差異，對滑翔距離的影響〉

- (一)實驗問題：紙杯飛行器內外輪徑差異，與滑翔距離有什麼關係？
- (二)實驗假設：內外輪徑有差異的紙杯飛行器滑翔的距離越遠。
- (三)實驗操作變因：紙杯飛行器內外輪徑有無差異。
- (四)實驗步驟：



1. 以透明膠帶纏繞紙杯，製作兩個紙杯飛行器。一個有內外輪徑差異，後續以原形代稱，一個無內外輪徑差異為直筒形狀，確認飛行器重量皆7公克。
2. 分別重複進行10次發射，進行實驗觀察並紀錄滑翔距離，剔除極端值，取6次並加以平均。
3. 根據實驗一得到的結果，我們看到兩個飛行器都有馬格努斯效應，我們推測有內外輪徑差異的原形紙杯飛行器還多了伯努力原理的影響。因此，我們想要針對原形紙杯飛行器加以討論，探討影響原形紙杯飛行器的滑翔距離，除了內外輪徑差異外，還有哪些因素？所以，我們進一步設計實驗二、三、四、五、六。

### 〈實驗二、比較紙杯飛行器有無外輪杯口重量，對滑翔距離的影響〉

- (一)實驗問題：紙杯飛行器有無外輪杯口重量，與滑翔距離有什麼關係？
- (二)實驗假設：有外輪杯口重量的紙杯飛行器滑翔的距離越遠。
- (三)實驗操作變因：紙杯飛行器有無外輪杯口重量。
- (四)實驗步驟：



1. 根據實驗一得到的結果，我們看到直筒與原形紙杯飛行器，在重量及兩翼長度相同條件下，原形紙杯飛行器滑翔距離遠大於直筒紙杯飛行器，我們好奇除內外輪徑差異外，是不是紙杯外輪杯口重量也是造成滑翔距離差距的因素。所以，我們把紙杯飛行器外輪杯口剪掉，進行實驗二。
2. 以透明膠帶纏繞紙杯，製作兩個紙杯飛行器，一個有外輪杯口，另一個無外輪杯口。
3. 分別重複進行10次發射，進行實驗觀察並紀錄滑翔距離，剔除極端值，取6次並加以平均。

### 〈實驗三、在紙杯飛行器重量相同條件下，拉開紙杯外輪杯口比較外輪邊緣光不光滑，對滑翔距離的影響〉

- (一)實驗問題：紙杯飛行器外輪邊緣光不光滑，與滑翔距離有什麼關係？
- (二)實驗假設：外輪邊緣光滑的紙杯飛行器滑翔的距離越遠。
- (三)實驗操作變因：紙杯飛行器外輪邊緣光不光滑。
- (四)實驗步驟：



1. 根據實驗二得到的結果，我們看到紙杯飛行器滑翔距離相差約70公分，但因實驗二剪掉紙杯外輪杯口，導致兩個飛行器重量有差異，所以我們想要驗證在相同重量條件下，紙杯飛行器滑翔的距離是否會受到紙杯外輪邊緣光不光滑的影響。故設計實驗三，拉開一個紙杯飛行器的外輪杯口，使外輪邊緣產生皺褶。
2. 以透明膠帶纏繞紙杯，製作兩個紙杯飛行器，一個外輪邊緣光滑，另一個外輪邊緣有皺褶。
3. 分別重複進行10次發射，進行實驗觀察並紀錄滑翔距離，剔除極端值，取6次並加以平均。

### 〈實驗四、比較兩翼長度相同的紙杯飛行器，有無外輪杯口重量，對滑翔距離的影響〉

- (一)實驗問題：比較兩翼長度相同的紙杯飛行器，有無外輪杯口重量，與滑翔距離有什麼關係？
- (二)實驗假設：有外輪杯口重量的紙杯飛行器滑翔的距離越遠。
- (三)實驗操作變因：紙杯飛行器有無外輪杯口重量。
- (四)實驗步驟：



1. 根據實驗三得到的結果，我們看到紙杯飛行器滑翔距離相差約100公分，滑翔距離差距更大。因為實驗三，拉開一個紙杯飛行器的外輪杯口，導致兩個飛行器兩翼長度有差異。所以，我們想驗證在兩翼長度相同條件下，影響紙杯飛行器滑翔距離的主要因素，究竟是外輪杯口重量，還是外輪邊緣光不光滑。故分別設計實驗四，兩翼長度相同條件下，一個紙杯飛行器添加回外輪杯口；及實驗五，紙杯飛行器兩翼長度相同條件下，比較外輪邊緣光滑度。分別進行實驗。
2. 以透明膠帶纏繞紙杯，製作兩個紙杯飛行器，一個添加外輪杯口，另一個不添加外輪杯口。
3. 分別重複進行10次發射，進行實驗觀察並紀錄滑翔距離，剔除極端值，取6次並加以平均。

### 〈實驗五、在紙杯飛行器重量、兩翼長度相同條件下，比較紙杯外輪邊緣光滑，對滑翔距離的影響〉

- (一)實驗問題：比較紙杯飛行器外輪邊緣光滑，與滑翔距離有什麼關係？
- (二)實驗假設：外輪邊緣光滑的紙杯飛行器滑翔的距離越遠。
- (三)實驗操作變因：紙杯飛行器外輪邊緣光不光滑。
- (四)實驗步驟：



1. 延續實驗四，在紙杯飛行器兩翼長度相同條件下，以紙杯外輪邊緣光不光滑，進行實驗。
2. 以透明膠帶纏繞紙杯，製作兩個紙杯飛行器，一個外輪邊緣光滑，另一個外輪邊緣有皺褶。
3. 分別重複進行10次發射，進行實驗觀察並紀錄滑翔距離，剔除極端值，取6次並加以平均。

### 〈實驗六、比較紙杯飛行器長度，對飛行器滑翔距離的影響〉

- (一)實驗問題：比較紙杯飛行器長度，與滑翔距離有什麼關係？
- (二)實驗假設：紙杯飛行器長度越長，紙杯飛行器滑翔的距離越遠。
- (三)實驗操作變因：紙杯飛行器長度。
- (四)實驗步驟：

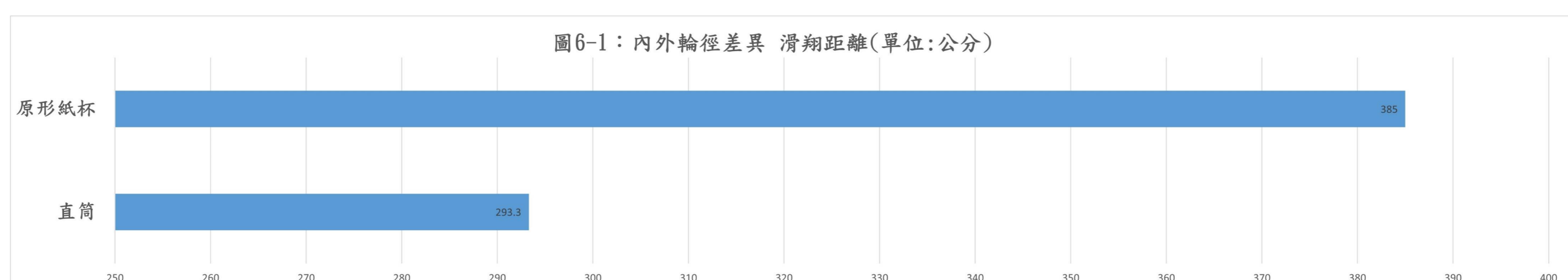


1. 完成以上五個實驗後，我們好奇紙杯飛行器的長度，對滑翔的距離有何種程度影響，故又設計實驗六，進行實驗。
2. 以透明膠帶纏繞紙杯，製作兩個紙杯飛行器，一個長度較長，另一個長度較短。
3. 分別重複進行10次發射，進行實驗觀察並紀錄滑翔距離，剔除極端值，取6次並加以平均。

## 伍、研究結果與討論

### 〈實驗一、比較紙杯飛行器內外輪徑差異，對滑翔距離的影響〉

- (一)實驗統計結果如右圖：



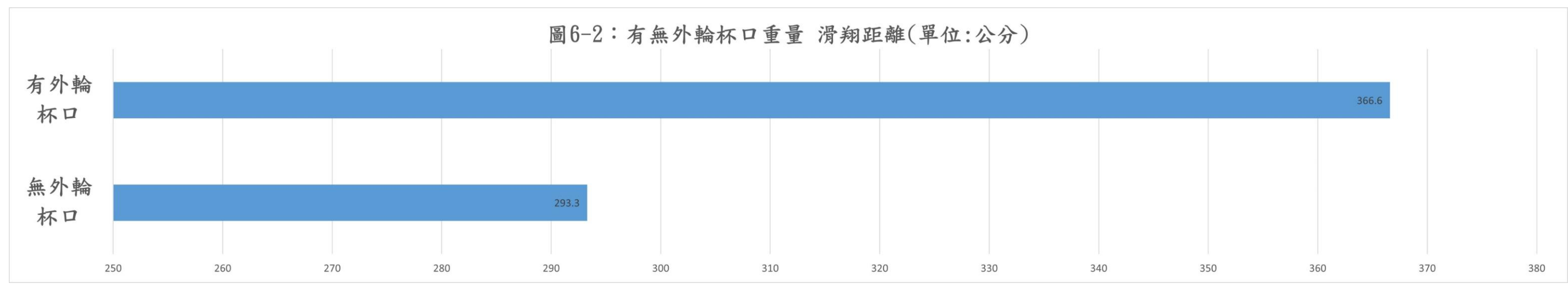
- (二)實驗討論：

1. 滑翔距離比較：有內外輪差的紙杯飛行器( 385公分) > 無內外輪差的紙杯飛行器 ( 293.3公分)
2. 由圖6-1的實驗結果發現與實驗假設相同，實驗討論如下述：

根據實驗一得出：兩個紙杯飛行器都有馬格努斯效應，我們推測有內外輪徑差異的原形紙杯飛行器還多了伯努力原理的影響，因為紙杯外輪杯口重量，造成旋轉過程中原形紙杯飛行器內外輪徑轉速差異，讓抬升力量有更大差異，故滑翔距離更遠。

## 〈實驗二、比較紙杯飛行器有無外輪杯口重量，對滑翔距離的影響〉

(一)實驗統計結果如右圖：



(二)實驗討論：

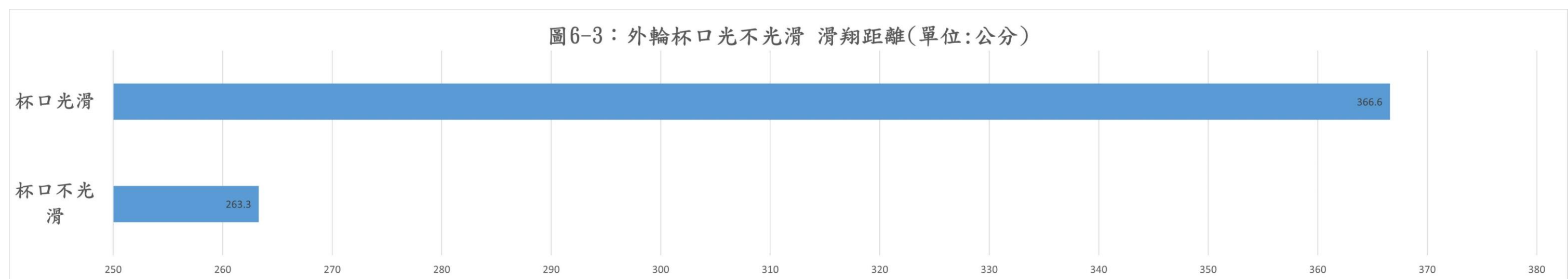
1. 滑翔距離比較：有外輪杯口的紙杯飛行器( 366.6公分) > 無外輪杯口的紙杯飛行器( 293.3公分)

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：

根據實驗二得出：有外輪杯口的原形紙杯飛行器，紙杯外輪杯口重量，使內外輪徑轉速差異更大，可增強飛行器滑翔距離。

## 〈實驗三、在紙杯飛行器重量相同條件下，拉開紙杯外輪杯口比較外輪邊緣光不光滑，對滑翔距離的影響〉

(一)實驗統計結果如右圖：



(二)實驗討論：

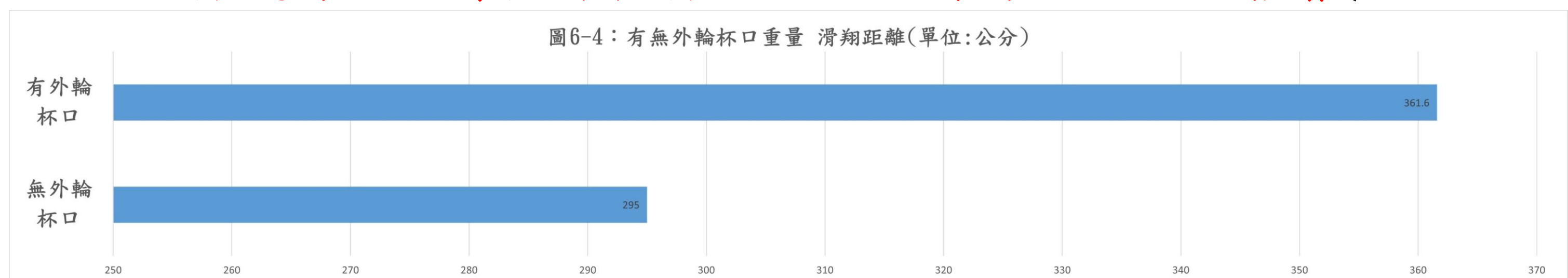
1. 滑翔距離比較：外輪杯口光滑的紙杯飛行器( 366.6公分) > 外輪杯口不光滑的紙杯飛行器( 263.3公分)

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：

根據實驗三得出在紙杯飛行器重量相同條件下，外輪邊緣光滑，滑翔的距離較外輪邊緣不光滑有皺褶的紙杯飛行器來的更遠，相差約100公分。

## 〈實驗四、比較兩翼長度相同的紙杯飛行器，有無外輪杯口重量，對滑翔距離的影響〉

(一)實驗統計結果如右圖：



(二)實驗討論：

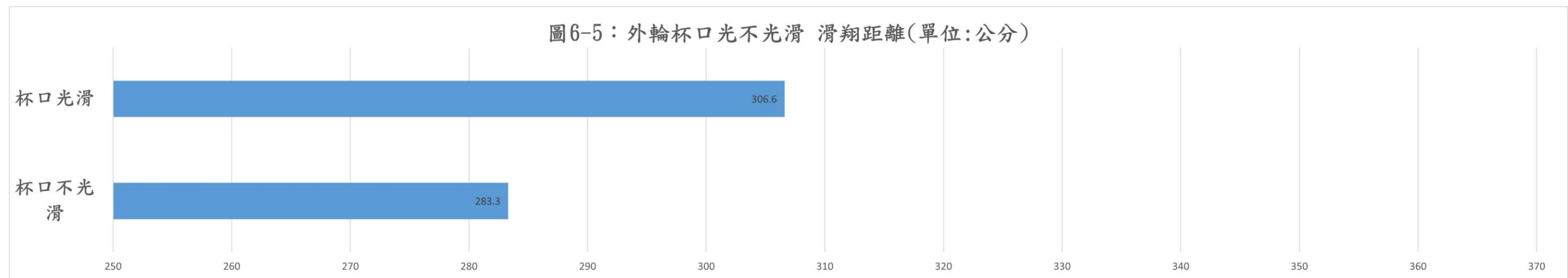
1. 滑翔距離比較：有外輪杯口的紙杯飛行器( 361.6公分) > 無外輪杯口的紙杯飛行器( 295公分)

2. 由圖6-4的實驗結果發現與實驗假設相同，實驗討論如下述：

根據實驗四得出：在紙杯飛行器兩翼長度相同條件下，有外輪杯口的飛行器滑翔的距離，與無外輪杯口的飛行器相差約67公分。雖然有外輪杯口重量的飛行器較重，但滑翔的距離卻更遠。

## 〈實驗五、在紙杯飛行器重量、兩翼長度相同條件下，比較紙杯外輪邊緣光滑，對滑翔距離的影響〉

(一)實驗統計結果如右圖：



(二)實驗討論：

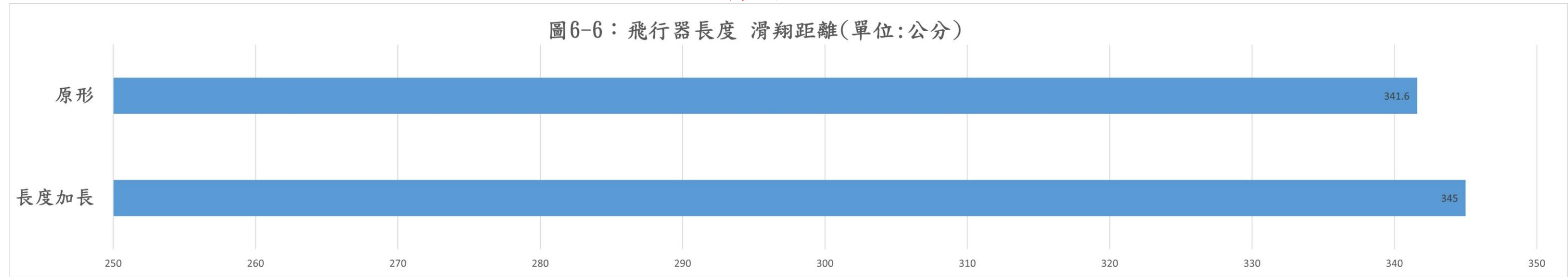
1. 滑翔距離比較：外輪杯口光滑的紙杯飛行器( 306.6公分) > 外輪杯口不光滑的紙杯飛行器( 283.3公分)

2. 由圖6-5的實驗結果發現與實驗假設相同，實驗討論如下述：

根據實驗五得出：在紙杯飛行器重量、兩翼長度相同條件下，外輪邊緣光滑的紙杯飛行器，滑翔距離較外輪邊緣不光滑有皺褶的紙杯飛行器來的遠一些。

## 〈實驗六、比較紙杯飛行器長度，對飛行器滑翔距離的影響〉

(一)實驗統計結果如右圖：



(二)實驗討論：

1. 滑翔距離比較：長度加長的紙杯飛行器( 345公分) > 原形紙杯飛行器( 341.6公分)

2. 由圖6-6的實驗結果發現與實驗假設相同，實驗討論如下述：

根據實驗六我們推論，在此實驗中長度不是影響滑翔距離的主因，紙杯飛行器加長後可以增加滑翔距離，但因重量相對變重，此消彼長，一升一降飛行器滑翔的距離並未拉長。

## 陸、結論

以我們設計的實驗條件，我們推測影響紙杯飛行器滑翔距離有下列三項因素：

1. 紙杯飛行器外輪杯口重量：根據實驗一、二、四的實驗結果，我們看到有外輪杯口重量的紙杯飛行器，其滑翔的距離分別是385公分、366.6公分、361.6公分與無外輪杯口重量的紙杯飛行器滑翔的距離分別相差91.7公分、73.3公分、66.6公分。所以我們推測紙杯飛行器外輪杯口重量是影響飛行器滑翔距離最重要的因素。

2. 紙杯飛行器外輪杯邊緣光滑度：根據實驗三、五的實驗結果，我們看到外輪邊緣光滑的紙杯飛行器，其滑翔距離分別是366.6公分、306.6公分與外輪邊緣不光滑有皺褶的紙杯飛行器滑翔的距離分別相差103.3公分、22.7公分。實驗三飛行器滑翔的距離相差103.3公分，我們推測實驗三因為外輪邊緣光滑的紙杯飛行器同時也存在杯口重量，兩項因素的加乘效果，讓實驗三飛行器滑翔距離相差103.3公分。實驗五飛行器外輪邊緣光滑的紙杯飛行器不存在杯口重量，此實驗飛行器滑翔距離相差22.7公分，因此我們推論紙杯飛行器外輪邊緣光滑度，對紙杯飛行器滑翔距離也是有影響。

3. 紙杯飛行器的長度：有可能本身真的沒有影響。排除人為操縱失誤，我們推測飛行器因長度加重，重量也隨之增加，雖然紙杯飛行器滑翔距離有遠一點，但差距很小。因此我們推論長度不是影響紙杯飛行器滑翔距離的重要因素。

根據我們設計的實驗，得到的結果，我們推測原形紙杯飛行器滑翔距離最遠，是因為有內外輪徑差異，且紙杯外輪杯口的重量，也造成旋轉過程中飛行器內外輪徑轉速有差異，讓抬升力量有更大的差異，推測符合伯努力定律的原理，因此原形紙杯飛行器滑翔的距離更遠。

## 柒、參考資料

一、本篇作品照片及圖片，皆由作者自行拍攝及繪製。

二、怪怪飛行器 (NTCU科學遊戲實驗室)。

三、飛機飛行原理 (香港教育城)

四、六上自然與生活科技課本—第四單元：力與運動。新北市：康軒文教事業股份有限公司。

五、六下自然與生活科技課本—第一單元：簡單機械。新北市：康軒文教事業股份有限公司。

六、中華民國第57屆中小學科學展覽會作品說明書，國小組物理科：凌空飛翔的紙蟬。

七、中華民國第57屆中小學科學展覽會作品說明書，國小組物理科：這樣飛太遠！--探討飛行筒的飛行現象。

八、屏東縣第60屆中小學科學展覽會作品說明書，國小組物理科：會飛的「0-1-0」--影響吸管紙環飛機飛行距離因素的探討。