

附件五～A

## 金門地區第 57 屆中小學科學展覽會 作品說明書

科 別：物理

組 別：

作品名稱：天使的華爾滋—斷毛羽球在鉛直下落時的晃動

關 鍵 詞：柏努力定律、進動、力矩（最多 3 個）

編 號：

製作說明：

- 1.說明書封面僅寫科別、組別、作品名稱及關鍵詞。
- 2.編號由國立臺灣科學教育館統一編列。
- 3.封面編排由參展作者自行設計。

# 天使的華爾滋---斷毛羽球在鉛直下落時的晃動

## 壹、摘要：

本實驗利用自製的簡易風洞、羽毛球、攝影機來觀察斷毛的羽球在自由下落時所出現的擺動現象，並再加以討論造成羽球晃動的成因。

## 貳、研究動機

上體育課跟同學在打羽球時，免不了會將羽毛球上的羽毛打斷掉，此時若對方打高遠球過來時，看到由高處垂直落下的羽毛球，其運動的軌跡並不是以往在九年段上學期學到的單純自由落體直線運動，羽毛球的掉落軌跡，會出現看似不規則搖動的現象，對此感到好奇，便設計實驗來加以深入討論。

## 參、研究目的

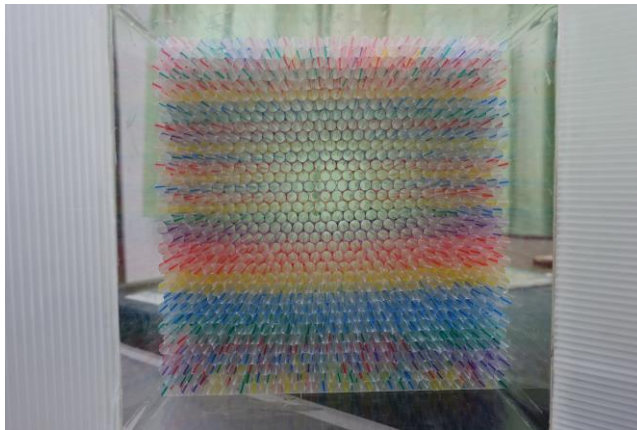
- 一、觀察正常無損壞羽球的鉛直掉落情形，並分析其原因。
- 二、觀察單側斷毛（一根毛、二根毛、三根毛）的羽球在鉛直向下掉落時的運動情形，並分析其成因。
- 三、觀察非對稱斷毛（各斷一根毛、各斷二根毛）的羽球在鉛直向下掉落時的運動情形，並分析其成因。
- 四、觀察對稱斷毛（各斷二根毛）的羽球在鉛直向下掉落時的運動情形，並分析其成因。

## 肆、研究設備及器材

簡易自製風洞、剪刀、吸管、相機腳架、羽毛球、具攝影功能的數位相機、保麗龍膠、塑膠板、風速計、電腦、軟體、彩色膠帶。

## 伍、研究方法與過程：

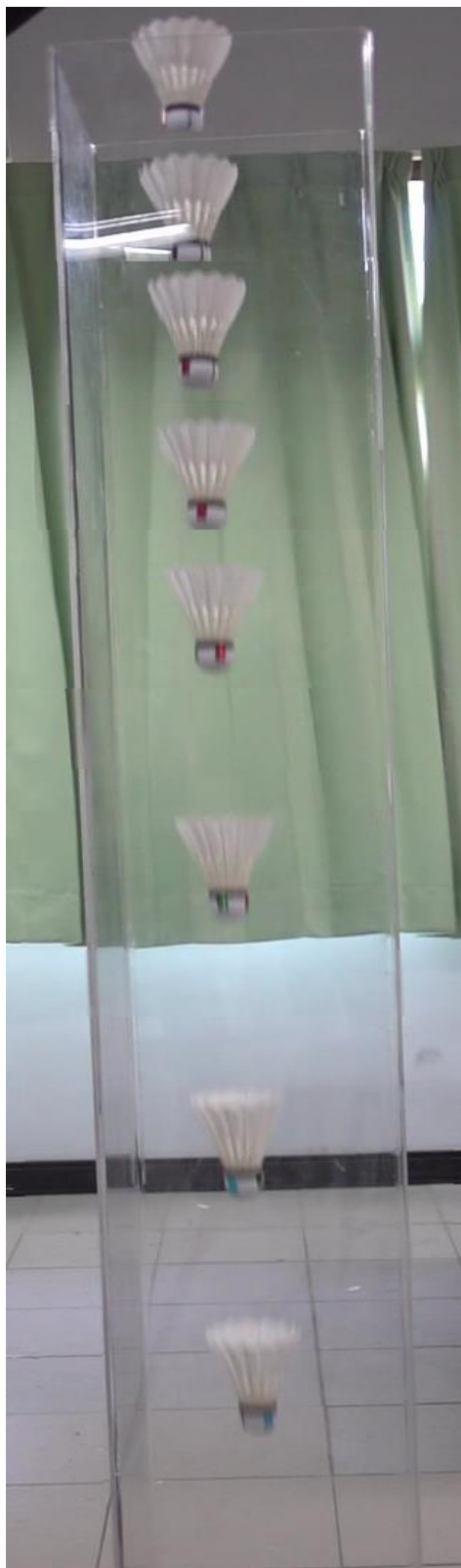
- 一、簡易穩定風洞的設計。





透明壓克力通道長度為 1.5 公尺：下方由風扇向上吹風透過吸管製作的整流段，製造一個穩定向上的氣流，風速為  $2.4\text{m/s}$ ，藉以延長羽球的鉛直掉落時滯空時間，以便使用相機拍攝影片觀察，同時也可免除側風的干擾。

- 二、 觀察正常無損壞羽球在風洞中鉛直掉落時的運動情形。  
由下圖觀察可知，正常無損壞的羽球在鉛直向下掉落時，球體的運動軌跡為一直線，但球體的本身會以對稱中心為軸有自轉的現象。



正常無損壞的羽球，鉛直掉落的連續圖

三、 觀察單側斷毛（一根毛、二根毛、三根毛）的羽球在鉛直向下掉落時的運動情形，並利用數位相機拍攝影片。



單側斷毛羽球（斷三根毛）



單側斷毛羽球（斷二根毛）



單側斷毛羽球（斷一根毛）



斷三根毛



斷二根毛



斷一根毛

單側斷毛羽球鉛直掉落連續圖

四、 觀察非對稱斷毛（各一根毛、各二根毛）的羽球在鉛直向下掉落時的運動情形，並利用數位相機拍影片。



各斷一根毛

各斷二根毛

非對稱斷毛羽球下落情形

五、 觀察對稱斷毛（各斷二根毛）的羽球在鉛直向下掉落時的運動情形，並利用數位相機拍影片。



對稱斷毛（各斷二根毛）鉛直掉落連續圖



## 陸、研究結果

### 一、觀察正常羽球在風洞中鉛直掉落時的運動情形。

#### 1. 羽球基本結構：



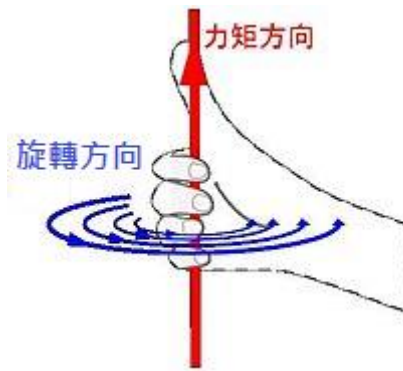
- (1) 含有羽毛共 16 枚長度約在 6.4cm，且每根羽毛的排列方式皆是左邊的羽毛右半部壓在右邊羽毛的左半部上。
- (2) 球頭由軟木製作，具有彈性整個羽球的重量約為 4.95 公克重。
- (3) 羽毛插入球頭方向與鉛直方向夾角為  $18^\circ$ 。

#### 2. 羽球鉛直掉落時的運動情形：

無損壞的羽球，在鉛直掉落時軌跡為一直線，但球體本身會以對中心為軸有自轉現象。應與羽毛排列的方式有關，當羽球向下掉落時，氣流相對羽球是向上的流動方向，氣流切割過羽毛時產生向上的力矩，導致羽球轉動，氣流相對羽球的速度越大，也會使羽球本身的自轉速度加快。

#### 轉動方向的判斷：

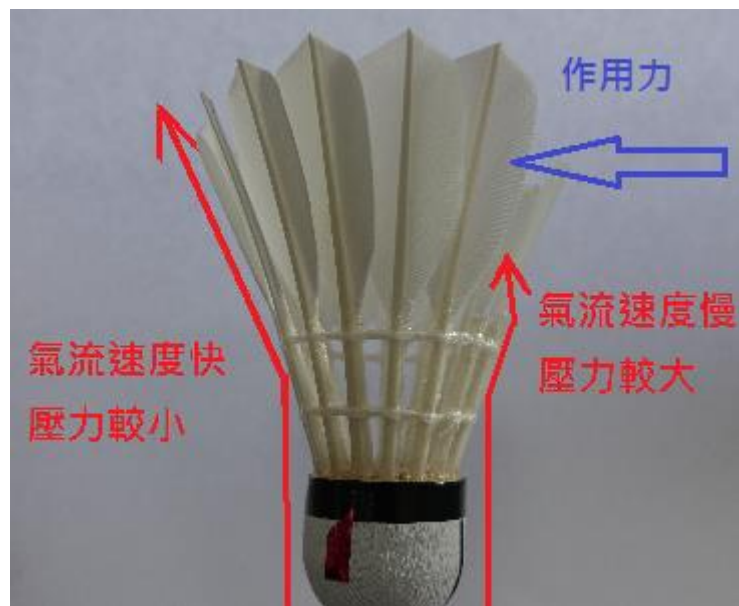
轉動的方向判斷，並不是如國中自然所學的順時針方向與逆時針方向，而是有另一外一種方式，如下圖以除右手大拇趾外四根手指跟著轉動方向旋轉，此時大拇指方向即為轉動方向。



轉動方向的判斷示意圖

羽球的掉落會受到空氣阻力的影響，當掉落速度越大時，空氣阻力也越大，此時運動中的合力大小也因此是一個變動的數值，較難以推論出掉落高度與掉落速度兩者之間的關係。











## 二、 單側斷毛羽球垂直落下時的運動情形



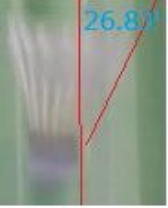









斷毛羽球下像掉落時的氣流模擬圖

如上圖，依照**柏努力定律**，斷毛的羽球在垂直落下時，因羽毛球旁經過的氣流流速不均勻，會受到一個向左的作用力，作用在羽毛上，導致羽毛會向左偏，但羽球本身自轉方向向上，作用力與羽球自轉方向垂直，造成進動現象。











因為有進動現象，觀察時從一側水平去看就會觀察到羽球左右搖晃，因此我們採用從上方掉落距離約 60 公分處的位置，從影片中擷取照片分析各種情單側斷毛情況下，羽球晃動的最大角度

		
		
		
	平均角度 $33.60^{\circ}$ 羽球羽毛原始角度 $18.00^{\circ}$ 羽球平均晃動角度 $15.60^{\circ}$	

單側斷三根毛羽球向下掉落時晃動角度

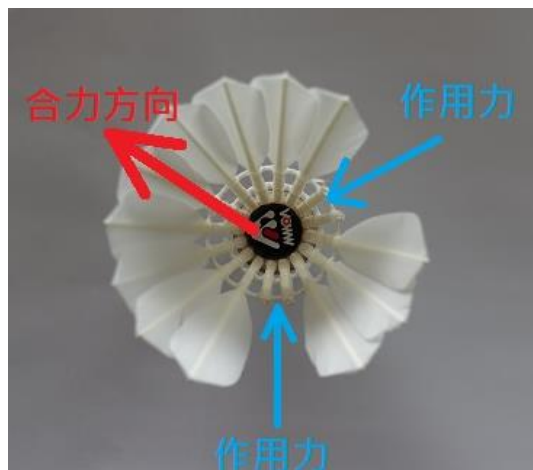
		
		
		
	平均角度 $27.00^{\circ}$ 羽球羽毛原始角度 $18.00^{\circ}$ 羽球平均晃動角度 $9.00^{\circ}$	

單側斷二根毛羽球向下掉落時晃動角度

		
		
		
	平均角度 $24.03^{\circ}$ 羽球羽毛原始角度 $18.00^{\circ}$ 羽球平均晃動角度 $6.03^{\circ}$	





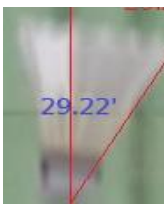



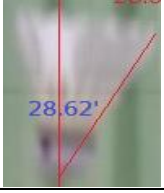

單側斷一根毛羽球向下掉落時晃動角度

### 三、 非對視斷毛羽球垂直落下時的運動情形













不對稱斷毛羽球的力圖

因為羽球斷毛處有二，羽球的每個斷毛處，都會因柏努力定律生成對應作用力，此時羽球羽毛就會朝合力的方向晃動。此時同樣採用從上方掉落距離約 60 公分處的位置，測其羽毛的晃動角度。

		
		
		
	<p>平均角度 <math>28.82^{\circ}</math>  羽球羽毛原始角度 <math>18.00^{\circ}</math>  羽球平均晃動角度 <math>10.82^{\circ}</math></p>	

非對稱斷各二根毛羽球向下掉落時晃動角度

		
		
		
	<p>平均角度 <math>28.35^{\circ}</math>  羽球羽毛原始角度 <math>18.00^{\circ}</math>  羽球平均晃動角度 <math>10.35^{\circ}</math></p>	

非對稱各斷一根毛羽球向下掉落時晃動角度

四、 對稱斷毛羽球垂直落下的運動情形



由上面的連續圖示可以看出，當兩個斷毛處恰好對稱時，作用力會相互抵銷，羽球不會發生擺動的現象。

## 柒、討論

- 一、羽球在鉛直落下時，因羽毛的排列，本身會自轉，且掉落速度越快自轉速度也越快，隨著下落的距離增加，羽球速度也變快，導致空氣阻力也變大。
- 二、單側斷毛的羽球當斷毛數量越多，氣流依據柏努力定律所造成的作用力也越大，羽球的晃動也就越大，並且羽球的羽毛會向著柏努力定律作用力的方向（羽毛缺口的反方向）晃動。
- 三、若羽球的斷毛有兩處時，兩處段毛處都會因伯努力定律產生作用力，此時羽球羽毛就會朝合力方向晃動
- 四、若羽球有對稱斷毛，則因為柏努力定律生成的兩個作用力相互抵銷，羽球羽毛並不會產生晃動現象。
- 五、羽球相對於氣流的速度增加時，柏努力定律的作用力也增加，羽毛的晃動幅度也會加大。

## 捌、結論

- 一、羽球的鉛直落下時，有空氣阻力，其阻力大小會隨著速度大小而增加，空氣阻力增加的同時也會加速羽球的自轉速度，再加上斷毛後產生柏努力定律的作用力，致使羽球掉落時除自轉外，會以球頭為中心做錐狀的搖動。
- 二、看似簡單的羽球垂直掉落，日常中輕易可見，沒想到仔細研究下卻是很複雜，非等加速度直線運動、轉動、進動同時會出現在斷毛羽球上，難以使用準確的數據分析。
- 三、羽球運動時，難免會因為擊球點不正確，將羽毛打斷，羽球的飛行就會出現變化，除非剛好兩處斷毛是對稱的，但這機率也太低了點。

## 玖、參考資料

- 一、康軒版國中自然八下 6-1 力與平衡、6-2 摩擦力、6-3 壓力。
- 二、康軒版國中自然九上 1-4 加速度與等加速度運動、2-2 牛頓第二運動定律、2-4 圓周運動與萬有引力。
- 三、[http://web.ntpu.edu.tw/~jasonchen/sports\\_classroom/badminton\\_classroom/bt\\_knowledge\\_and\\_skills.htm](http://web.ntpu.edu.tw/~jasonchen/sports_classroom/badminton_classroom/bt_knowledge_and_skills.htm)
- 四、<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%8A%9B%E7%9F%A9>
- 五、<http://chiuphysics.cgu.edu.tw/yun-ju/CGUWeb/PhyChiu/H104Rotation/Precession.htm>