

【2021 劑場科學探究競賽-這樣教我就懂】

高中(職)組 成果報告表單

題目名稱：紙蜻蜓

一、摘要：

靠著風力傳播來繁殖的桃花心木，種子具有薄翅的桃花心木在果實成熟時，果實的外殼會開裂，風一吹種子便像竹蜻蜓般飄飛下來。本研究旨在以簡單的紙蜻蜓模擬種子落下以及分析其下落時的軌跡變化並探究箇中原理。後又改變翅膀底部的寬度，探討改變紙蜻蜓底部寬度後，對於其降落軌跡有何影響。

而後我們發現，在降落初期紙蜻蜓翅膀尚未張開時，紙蜻蜓會以加速度下墜，而後隨著翅膀張開變成等速度運動。而改變底部寬度後，發現底部寬度越長，加速度落下時間較短，降落時間越長。

二、探究題目與動機

偶然漫步街旁看見桃花心木種子在空翻然落下，異於其他植物種子的模樣引起我與同學的興趣，上網查詢後，發現琳琅滿目的紙蜻蜓種類。我們選擇了一種形狀與竹蜻蜓較雷同者製作，在將紙蜻蜓從高處放下時，發現其下墜後過一陣子，待到翅膀張開後便會平穩的旋轉下墜。後上網查詢下，發現許多人改變變因大都選擇材質或是翅膀面積，鮮少有人改變紙蜻蜓尾端寬度，進行研究。故我們便選擇此變因來進行進一步的研究。

三、探究目的與假設

(一)探討紙蜻蜓的位置以及速度的關係

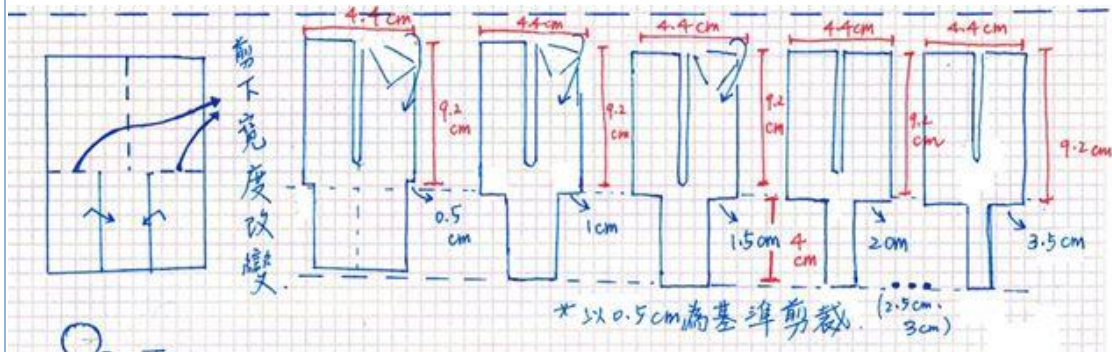
(二)固定翅膀大小，改變底部寬度，探討其與落地時間之關係

四、探究方法與驗證步驟

(一)研究設備及器材:

1.六隻紙蜻蜓(1.2 克重，翅膀面積= $9.2 \times 4.4\text{cm}$ ，底部內摺寬度為 0.5cm、1.0cm、1.5cm、2.0cm、2.5cm、3.0cm；示意圖如下圖手繪者)

2.電子秤、手機、tracker 軟體、excel 軟體



(二)研究方法

1.用重 1.2g 的紙摺成紙蜻蜓，翅膀面積為 $9.2 \times 4.4\text{cm}$ ，長度控制在 4cm，拍攝其落下軌跡，用 tracker 分析後，再用 excel 製成 x-t、v-t 圖分析。

2.用重 1.2g 的紙摺成紙蜻蜓，翅膀面積為 $9.2 \times 4.4\text{cm}$ ，長度控制在 4cm，將紙張

向內摺做出不同寬度的底部。

3.從離地兩公尺處使其落下，手機放置在固定位置拍攝落下影片。

4.利用 tracker 分析其落地時間，及開始落下至翅膀張開所需時間的變化。(每個長度皆拍攝五個影片，後以不確定度來推算時間)。

(三)觀察

1.紙蜻蜓在下落時，發現在剛開始翅膀尚未完全打開時下墜較快，而後翅膀完全張開後，便以一較穩定速度下墜。

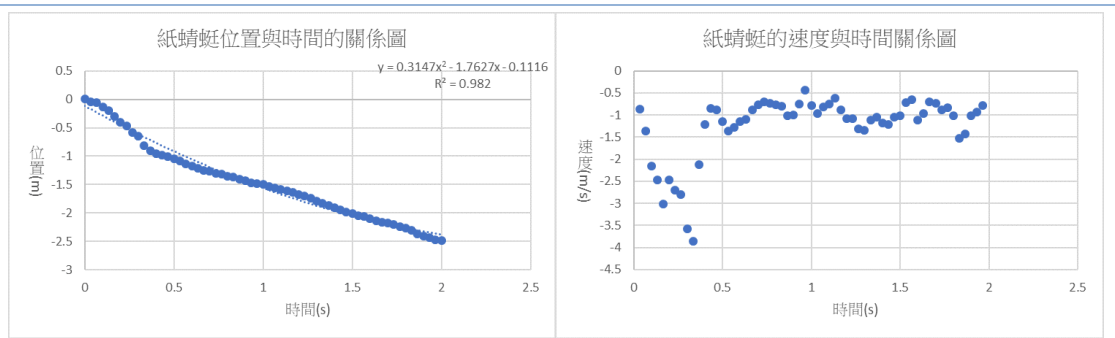
2.改變紙蜻蜓底部寬度後發現，隨著底部越寬，下落時越快達到平衡狀態已穩定速度下墜，而底部較窄者則相反。

推測:

我們推測，紙蜻蜓在剛開始落下時，會呈加速度下墜，但當空氣阻力與重力達成平衡時，紙蜻蜓會以一較穩定姿態下墜。而在改變底部寬度後，底部向內摺越小者(底部越寬)，旋轉速度慢，葉片受空氣阻力影響有效面積減小，飛行會越不穩；然而在下墜期間，底部可能受氣流擾動而左右擺動，同時產生另一平面的空氣阻力，使紙蜻蜓趨向平衡。而兩者對紙蜻蜓運動作用相反的影響有待實驗解釋。

(四)實驗數據：

1.我們以 tracker 得到位置及時間以再以 excel 繪製出 $x-t$ 、 $v-t$ 圖，取出趨勢線可知相關係數趨近一，實驗準確性高，且在剛開始下落時紙蜻蜓確實以加速度下墜，後改成等速度運動。



圖(一) 紙蜻蜓運動之 x-t 圖

圖(二)紙蜻蜓運動之 v-t 圖：

2. 改變紙蜻蜓底部寬度並以上述方式分析，得到加速度運動時長整理如下：

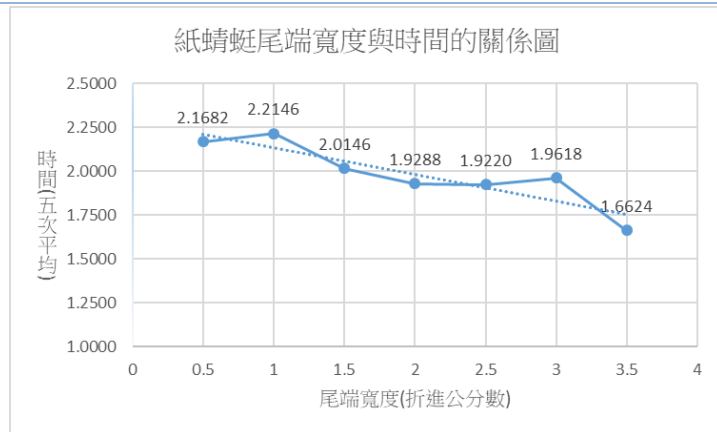
表(一) 不同紙蜻蜓底部寬度之加速度運動時長及所占比

單邊內折寬度(cm)	加速度運動時長(s)	總落地時長(s)	加速度時長所占比
0.5	0.199	2.195	9.07%
1.0	0.366	2.162	16.93%
1.5	0.299	1.895	15.78%
2.0	0.332	1.829	18.15%
2.5	0.399	1.829	20.01
3.0	0.332	1.995	16.64%

3. 改變紙蜻蜓底部寬度並以方式 1 分析，得到不同單邊內摺長度時間整理，並以不確定度計算結果，以及完成後繪製之數據如下表：

表(二) 不同紙蜻蜓底部寬度之總運動時長及其不確定度

單邊內折寬度(cm)	五次平均值(s)	A 類不確定度	組合不確定度
0.5	2.1682	0.0616	0.0623
1.0	2.2146	0.0572	0.0580
1.5	2.0146	0.0480	0.0489
2.0	1.9288	0.0613	0.0620
2.5	1.9220	0.0412	0.0422
3.0	1.9618	0.0493	0.0502



圖(三) 不同紙蜻蜓底部寬度之總運動時長折線趨勢圖

4.我們好奇改變紙蜻蜓之底部寬度與其角速度之關係，便以慢速度攝影查看六隻紙蜻蜓穩定下墜旋轉後所花的時間。並用 tracker 點出其旋轉一圈所花之時間。

表(三) 不同紙蜻蜓底部寬度之穩定下墜後旋轉一圈所花時間

單邊內折寬度(cm)	穩定下墜後旋轉一圈所花時間(單位:秒)
0.5	0.0433
1.0	0.0408
1.5	0.0392
2.0	0.0367
2.5	0.0375
3.0	0.0367

(五)實驗分析

由實驗結果可知，紙蜻蜓在剛開始下落時確實以加速度下墜，後因翅膀張開空氣阻力變大與重力達成平衡，而改成等速度運動。

改變底部寬度後，內摺寬度越短(=底部越寬)，加速度時間越短，落地時間越長。而內摺寬度越長(=底部越短)，旋轉一圈所花時間少，角速度大。旋轉速度快，有效面積大，理應較快達到平衡狀態，但實驗結果卻相反。且可以從表(二)之不確定

度中看到，底部寬度越寬，不確定度越高，也就是受其他因素影響的比例越高。由上可知在下墜期間，紙蜻蜓底部受氣流擾動而左右擺動，產生的空氣阻力影響，會大於改變底部寬度所造成的不穩定(有效面積大小差異所造成的旋轉速度改變)。

五、結論與生活應用

1. 紙蜻蜓在剛開始下落時確實以加速度下墜，後改成等速度運動。
2. 改變底部寬度後，內摺寬度越長(=底部越短)，加速度時間越長，落地時間越快。
3. 內摺寬度越長(=底部越短)，旋轉一圈所花時間少，角速度大。
4. 在下墜期間，紙蜻蜓底部受氣流擾動而左右擺動，產生的空氣阻力影響，會大於改變底部寬度所造成的不穩定(有效面積大小差異所造成的旋轉速度改變)。

參考資料

1. 國立臺灣師範大學物理系 物理示範實驗教室：紙蜻蜓的旋轉原理
<http://www.phy.ntnu.edu.tw/demolab/phpBB/viewtopic.php?topic=25258>
2. 國立台中教育大學 NTCU 科學教育與應用學系 科學遊戲實驗室
<http://scigame.ntcu.edu.tw/paper/paper-003.html>