

翩翩起舞 ---- 飛躍的紙蜻蜓

前言：

竹蜻蜓是一項受小朋友歡迎的玩具，我們製作了各種紙蜻蜓，試著探討紙蜻蜓翅膀的寬窄、長短、材質、摺法、風力的強弱、角度和大小、迴紋針數多寡、缺口數、洞口數、底部形狀對旋轉是否有影響，進而勾勒出紙蜻蜓的飛行原理。

壹、研究動機：

藝術與人文課，老師教我們利用各種材料，製作了許多新奇造型的紙蜻蜓，老師要我們帶幾種不同材質的紙張及迴紋針到學校，當時我們很好奇的想知道紙張和迴紋針究竟可以做出哪些有趣的玩具呢？在老師的逐步引導下我們發現了好玩的各式紙蜻蜓遊戲！現在就隨我們來一探究竟吧？

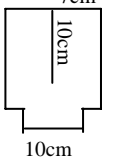
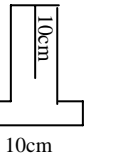
貳、研究目的：

- 一、探討翅膀的寬窄對旋轉是否有影響？
- 二、探討翅膀的長短對旋轉是否有影響？
- 三、探討紙的材質對旋轉是否有影響？
- 四、探討紙的摺法對旋轉是否有影響？
- 五、探討風力的強弱對旋轉是否有影響？
- 六、探討翅膀的角度和大小對旋轉是否有影響？
- 七、探討迴紋針數多寡對旋轉是否有影響？
- 八、探討翅膀的缺口數對旋轉是否有影響？
- 九、探討翅膀的洞口數對旋轉是否有影響？
- 十、探討紙蜻蜓的底部形狀對旋轉是否有影響？
- 十一、探討紙蜻蜓的飛行原理怎樣？

參、研究設備及器材：

圖畫紙、書面紙、西卡紙、粉彩紙、報紙、棉紙、迴紋針、碼錶、量身高器、量角器。

肆、研究過程及結果：

結果		翅膀寬度				
						
落地時間(秒)	第一次	1"54	1"59	1"43	1"43	0"95
	第二次	1"66	1"71	1"45	1"44	0"96
	第三次	1"74	1"52	1"47	1"12	1"03
	第四次	1"61	1"58	1"60	1"53	0"98
	第五次	1"69	1"66	1"37	1"19	1"02
旋轉情形		旋轉得很穩定，緩緩下降	轉速慢，與寬度9公分的情況相同，很穩定	旋轉速度較快	旋轉速度較快，與5公分的情況相同，但是有時候不穩定	不會旋轉，急速落下

一、翅膀的寬窄對旋轉是否有影響？

方法：(一) 將粉彩紙裁成長 13 公分、底部寬 10 公分、缺口長 10 公分、翅膀部份各 9 公分（第一個）、7 公分（第二個）、5 公分（第三個）、3 公分（第四個）、1 公分（第五個）的紙蜻蜓五個。

(二) 把翅膀兩邊摺平，下方夾迴紋針。

(三) 將這五個翅膀寬度不同的紙蜻蜓，置於 180 公分處，讓它自由落下，並且觀察降落旋轉的情形。

結果：(一) 翅膀的寬度大的旋轉速度慢，而且很穩定。

(二) 翅膀的寬度小的旋轉速度快，而且容易不穩定。

(三) 翅膀的寬度過小則不會旋轉，只會急速落下。

二、翅膀的長短對旋轉是否有影響？

方法：(一) 將粉彩紙裁成寬 10 公分，底部高 3 公分，翅膀長度分別為 4 公分（第一個）、7 公分（第二個）、10 公分（第三個）、13 公分（第四個）、16 公分（第五個）的紙蜻蜓五個。

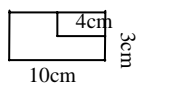
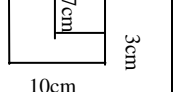
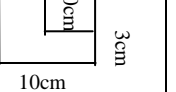
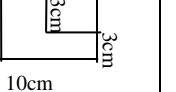
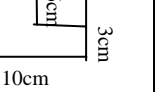
(二) 把翅膀往兩邊摺平，下方夾一個迴紋針。

(三) 將這五個翅膀長度不同的紙蜻蜓，置於 180 公分高處，讓它自由落下，並且觀察其降落旋轉的情形。

結果：(一) 翅膀長度適中（10 公分）旋轉得最平穩。

(二) 翅膀長度較短（4 公分、7 公分）旋轉速度快，較不平穩。

(三) 翅膀長度太長 (13 公分、16 公分) 旋轉速度較慢，轉的圈數較少，但下降速度快。

結果		翅膀寬度				
						
落地時間(秒)	第一次	0"91	1"02	1"32	1"25	1"18
	第二次	0"94	1"01	1"26	1"34	1"13
	第三次	0"99	1"15	1"24	1"22	1"03
	第四次	1"02	1"16	1"42	1"15	1"04
	第五次	0"98	1"21	1"37	1"19	1"09
旋轉情形		亂轉，很不平穩，容易翻轉	轉得較好，速度很快	旋轉得較平穩	速度變慢，轉的圈數減少	速度很慢，看起來好像在飄

三、紙的材質對旋轉是否有影響？

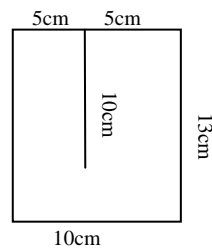
方法：(一) 將不同材質的紙裁成長 13 公分，寬 10 公分，缺口 10 公分 (如圖一)。

(二) 將裁好的紙張以一個迴紋針端正夾於下方寬 5 公分處，再將兩翅膀往左右兩邊摺平 (如圖二)。

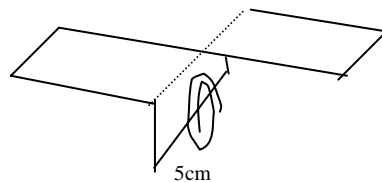
(三) 將做好的紙蜻蜓置於 180 公分高處，讓它自由落下，並觀察其降落旋轉的情形。

結果：(一) 圖畫紙和粉彩紙穩定性比較好，旋轉的比較優美。

(二) 棉紙剛開始旋轉得很順利，速度慢，會慢慢下降，但是實驗三次過後就變得不穩定，有時會急速落下。



圖一



圖二

(三) 書面紙、西卡紙和報紙較不穩定，旋轉得不優美。

紙質 結果		圖畫紙	書面紙	西卡紙	粉彩紙	報紙	棉紙
		落地時間(秒)	第一次	1"32	0"92	0"84	1"22
	第二次	1"05	1"06	0"96	1"45	1"04	1"76
	第三次	1"19	0"87	1"03	1"50	1"14	1"93
	第四次	1"48	0"77	0"96	1"39	0"97	0"82
	第五次	1"19	0"82	1"01	1"21	0"62	0"77
旋轉情形		轉得很好，速度適中，很穩定	比較沒有轉，只是飄	轉得很好，降落得很快	轉得很好，速度適中，很穩定	翅膀太軟，旋轉得不穩定	剛開始速度很慢，很平穩，後來較不穩定

四、紙的摺法對旋轉是否影響？

方法：(一) 將粉彩紙裁成長如實驗三中圖一，圖二的標準規格之紙蜻蜓三個，並在翅膀部份分別摺橫摺紋，豎摺紋，斜摺紋。

(二) 將做好的三個有摺紋之紙蜻蜓一一置於 180 公分高處，讓它自由落下，並且觀察其降落旋轉的情形。

結果：(一) 橫摺紋和豎摺紋旋轉速度較慢，斜摺紋旋轉速度較快。

(二) 豎摺紋旋轉穩定，由上而下能保持旋轉；橫摺紋有時會翻轉落下變得不穩定。

(三) 橫摺紋旋轉時看得到斜紋一圈一圈很漂亮。

摺法 結果		橫摺紋	豎摺紋	斜摺紋
		落地時間(秒)	第一次	1"24
	第二次	0"97	1"18	0"84
	第三次	1"37	1"24	1"13
	第四次	1"52	1"21	0"76
	第五次	1"49	1"36	0"98
旋轉情形		轉速較慢，很優美，但是有時很不穩定	轉速較慢很優美	速度很快，很漂亮，看得見一圈圈的紋路

五、風力的強弱對旋轉是否有影響？

方法：(一) 將粉彩紙裁成長如實驗三中圖一、圖二的標準規格之紙蜻蜓一個。

(二) 第一次將紙蜻蜓置於教室並將所有窗戶關上，使紙蜻蜓處於無風狀態。第二次置於走廊，使紙蜻蜓處於弱風狀態。第三次置於操場，使紙蜻蜓處於強風狀態。

(三) 紙蜻蜓均由 180 公分高處自由落下，並觀察其降落旋轉情形。

結果：(一) 紙蜻蜓在無風狀態下，旋轉情況良好。

(二) 在走廊有微弱的風會干擾紙蜻蜓的旋轉，把紙蜻蜓吹走，旋轉情形較不好。

(三) 在操場有強風會使紙蜻蜓無法順利旋轉，紙蜻蜓很快就會被強風吹落地。

結果		無風 (教室)	弱風 (走廊)	強風 (操場)
落地時間 (秒)	第一次	1"33	1"76	0"95
	第二次	1"22	1"35	0"85
	第三次	1"07	1"64	0"88
	第四次	1"21	1"57	0"91
	第五次	1"24	1"56	0"84
情形 旋轉		旋轉情形良好，紙蜻蜓緩緩落下	風將紙蜻蜓吹走，吹到較遠處，旋轉不穩定	隨強風亂轉，非常不穩定

六、翅膀的角度大小對旋轉是否有影響？

方法：(一) 將粉彩紙裁如實驗三中圖一、圖二的標準規格。

(二) 翅膀中間固定一條細鐵絲，使翅膀的角度固定。

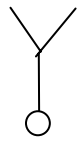
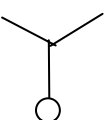
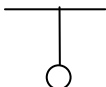
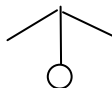

(三) 用量角器測量兩片翅膀張開的角度，第一次是向上 60 度，第二次是向上 120 度，第三次是 180 度，第四次是向下 120 度，第五次是向下 60 度

結果：(一) 向上夾角過小如 60 度，空氣無法停留在翅膀下，所以常急速落下，旋轉情形不好。

(二) 向上夾角稍大如 120 度，旋轉速度慢，平衡也較好。

(三) 夾角 180 度在空中停留最久，平衡最好。

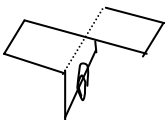
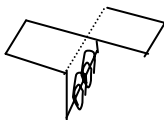
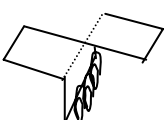
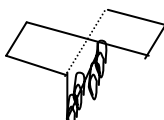
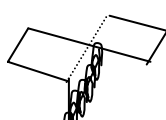
(四) 夾角往下的不會旋轉，會翻轉過去，然後落下。

夾角		60°	120°	180°		
						
結果					120°	60°
落地時間(秒)	第一次	0"83	1"14	1"25	1"01	0"74
	第二次	0"78	1"11	1"39	1"05	0"95
	第三次	0"82	1"16	1"41	1"09	1"02
	第四次	0"94	1"12	1"27	0"97	0"94
	第五次	0"89	1"24	1"24	0"90	1"01
旋轉情形		旋轉很快,不太穩定	轉速較慢,有時不穩定	轉得最慢,很優美很穩定	不會旋轉,任意翻轉掉下來。	不會旋轉,有時候會翻轉過去著旋轉。

七、迴紋針數的多寡對旋轉是否有影響？

方法：(一) 將粉彩紙裁成長 13 公分，寬 10 公分，於寬 5 公分處剪長 10 公分的缺口如實驗三中圖一、圖二的紙蜻蜓一個。

(二) 在紙蜻蜓下方第一次夾 1 個，第二次夾 2 個，第三次夾 3 個，第四次夾 4 個，第五次夾 5 個迴紋針，迴紋針均緊靠著紙蜻蜓

迴紋針數		一個	二個	三個	四個	五個
						
結果						
落地時間(秒)	第一次	1"40	1"46	1"41	1"37	1"24
	第二次	1"48	1"59	1"42	1"30	1"02
	第三次	1"39	1"40	1"20	1"25	1"26
	第四次	1"44	1"61	1"31	1"26	1"15
	第五次	1"42	1"53	1"32	1"31	1"24
旋轉情形		旋轉得很慢,下降很緩慢	旋轉得很慢,下降也很緩慢,和一個迴紋針情況相同。	旋轉速度加快,下降速度也加快。	旋轉速度加快,下降速度也加快。和三個迴紋針情況相同。	加速旋轉,落地很快。

下方中間部分。

(三) 每次都將紙蜻蜓置於 180 公分高處落下，以觀察降落情形。

結果：(一) 紙蜻蜓夾 1-2 個迴紋針時，旋轉速度緩慢，降落所花時間較長，很穩定。

(二) 迴紋針數增為 3-4 個時，旋轉速度加快，降落所花時間逐漸縮短。

(三) 迴紋針增加為 5 個時，轉速很快而且快速降落。

八、翅膀的缺口數對旋轉是否有影響？

方法：(一) 將粉彩紙四張裁成長如實驗三中圖一、圖二的標準規格之紙蜻蜓四個。

(二) 第一個紙蜻蜓不剪缺口，第二個紙蜻蜓在翅膀剪掉五公分的缺口並將此缺口向下摺 90 度，第三個紙蜻蜓在翅膀剪兩道 5 公分長的缺口並將二道缺口向下摺 90 度，第四個紙蜻蜓在翅膀剪三道 5 公分長缺口，並將三道缺口向下摺 90 度。

(三) 將這四個缺口數不同的紙蜻蜓置於 180 公分高處落下，以觀察降落情形。

結果：(一) 紙蜻蜓左右翅膀無缺口轉速慢但比有缺口的容易旋轉。

(二) 左右翅膀缺口數增加會像滑翔翼般在空中滑翔，所以轉速很緩慢，但滑翔的速度略快。

(三) 翅膀缺口數少會顯得不平穩，缺口數越多愈平穩。

結果		翅膀缺口數			
		0 個	1 個	2 個	3 個
落地時間(秒)	第一次	1"30	1"27	1"24	1"37
	第二次	1"35	1"22	1"26	1"30
	第三次	1"26	1"27	1"42	1"36
	第四次	1"42	1"07	1"21	1"34
	第五次	1"27	1"12	1"29	1"35
旋轉情形		轉速慢，旋轉得很好	旋轉速度慢，有時候會很不穩定	旋轉緩慢，很優美	旋轉非常慢，但是很穩定，像是在滑翔

九、翅膀的洞口數對旋轉是否有影響？

方法：（一）將粉彩紙四張裁如實驗三中圖一、圖二的標準規格。

（二）第一個紙蜻蜓不剪缺口，第二個的翅膀中央剪下一個長 3 公分寬 1 公分的洞口。第三個剪下兩個洞口，洞與洞之間隔 1 公分。第四個剪下三個洞口，洞與洞之間隔皆 1 公分。

（三）將這四個洞口數不同的紙蜻蜓置於 180 公分高處，使它自由落下，並觀察其降落旋轉的情形。

翅膀洞口數		0 個	1 個	2 個	3 個
結果					
落地時間(秒)	第一次	1"29	1"24	1"19	1"13
	第二次	1"31	1"26	1"23	1"17
	第三次	1"34	1"26	1"19	1"13
	第四次	1"43	1"30	1"21	1"24
	第五次	1"37	1"29	1"24	1"17
旋轉情形		很穩定，旋轉得很好。	很穩定，比翅膀沒有洞的紙蜻蜓更快降落	比翅膀有一個洞的紙蜻蜓落得更快	旋轉的圈數減少，降落得很快

結果：（一）紙蜻蜓左右翅膀無洞口會比較穩定，旋轉得很緩慢。

（二）翅膀的洞口數愈多，降落得愈快，而且旋轉圈數會減少。

十、紙蜻蜓底部形狀對旋轉是否有影響？

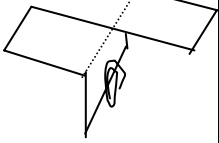
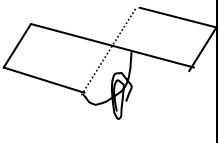
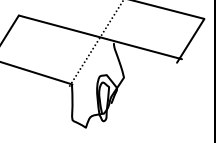
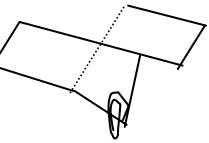
方法：（一）將粉彩紙四張裁如實驗三中圖一、圖二的標準規格之紙蜻蜓四個。

（二）第一個紙蜻蜓底部不變，為長方形。第二個紙蜻蜓底部剪成半圓形。第三個紙蜻蜓底部剪成五邊形。第四個紙蜻蜓底部剪成三角形。

（三）將這四個底部形狀不同的紙蜻蜓置於 180 公分高處，使它自由落下，並且觀察其降落旋轉的情形。

結果：（一）紙蜻蜓的底部是長方形，降落得最慢。

（二）底部是三角形的紙蜻蜓，降落得最快。

底部 形狀 結果		長方形	半圓形	五邊形	三角形
					
落地時間 (秒)	第二次	1"29	1"27	1"25	1"12
	第二次	1"31	1"18	1"23	1"19
	第三次	1"38	1"27	1"17	1"16
	第四次	1"32	1"14	1"20	1"15
	第五次	1"33	1"23	1"21	1"13
旋轉情形		旋轉得很慢，下降速度最慢	降落速度比底部為長方形的紙蜻蜓稍快一點	降落時間與底部為半圓形的差不多，但旋轉速度快一點	降落時間最快，最快降落地面

十一、紙蜻蜓的飛行原理怎樣？

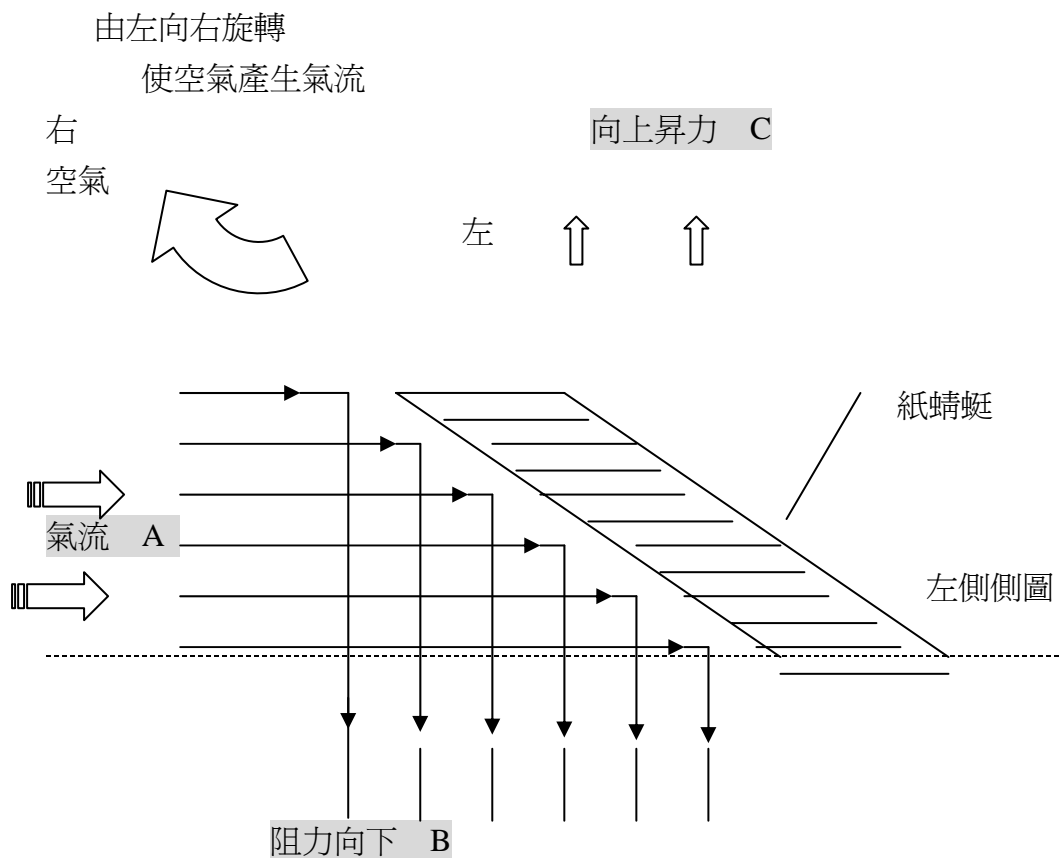
方法：我們以搓動旋轉紙蜻蜓及電風扇旋轉情形操實驗。

結果：(一) 我們發現紙蜻蜓由左向右旋轉（反時針方向）電扇扇葉由右向左旋轉。

(二) 我們認為紙蜻蜓的飛行原理如下：

1. 紙蜻蜓以軸為中心旋轉力的作用而向右旋轉。
2. 因旋轉而使靜止的空氣產生氣流 A 的力。
3. A 的力同時也為紙蜻蜓旋轉阻力，因側翼傾斜 20 度而使氣流向下作用而產生 B 向下的力。
4. 因 B 向下的力的反作用力而產生 C 的昇力。
5. 如果 C 的昇力大於紙蜻蜓本身的重量，那麼紙蜻蜓就會飛起。
6. 等到 C 的昇力消失，紙蜻蜓就會掉下來。

紙蜻蜓飛行原理圖：



伍、討論：

- 一、紙蜻蜓翅膀愈寬聚集空氣愈多，旋轉較穩，愈窄則空氣少轉速加快。
- 二、紙蜻蜓翅膀太短收集空氣就少，轉速較快也容易不穩定。
- 三、紙蜻蜓的翅膀太長會太重，雖可停留較多空氣，但垂直下降情形多。
- 四、硬材質的紙可能重量太重，所以不太會旋轉，邊飄邊落下，降落快。
- 五、軟材質的重量輕，比較薄，可以旋轉很好，但因易吸汗，易損壞而不穩。
- 六、紙質粗滑對降落也有關係。紙質較粗降落較慢，較滑，降落較快。
- 七、豎摺紋紙蜻蜓由於直的摺痕較長聚在摺痕下的空氣多，所以較穩定。
- 八、斜摺紋由於受到空氣的推力 [助力]，所以旋轉得較快。
- 九、橫摺紋的紙蜻蜓在旋轉時易受氣流影響翻轉，乃因橫的方向空氣易跑掉。
- 十、風力強紙蜻蜓會亂飛且無法旋轉；當風力小，阻力小，紙蜻蜓才會旋轉。

- 十一、翅膀夾角往上有利空氣流動，夾角往下空氣不易流動；180 度則最平穩。
- 十二、紙蜻蜓的迴紋針愈多，轉速愈快，在空中停留的時間就愈短。
- 十三、以粉彩紙的重量，夾 1-2 個迴紋針很適合，不夾無法平衡，太多過重。
- 十四、翅膀缺口數較多，在空中轉速緩慢且平穩，聚集空氣多。
- 十五、翅膀洞口少，翅膀下可保留的空氣多；洞口多，空氣易從洞口跑掉。
- 十六、紙蜻蜓旋轉需要空氣推動，無洞口比較容易旋轉，洞口數多空氣易跑。
- 十七、紙蜻蜓底部是長方形時降落時間最久。這與面積最大所受阻力也大。
- 十八、紙蜻蜓的穩定度與翅膀較有關，與底部形狀較無關係。
- 十九、我們發現飛行情形與質料有關，質料堅硬飛行時才不會變形或擺動。
- 二十、翼面的阻力面積愈大作用力愈大，因而反作用力也愈大（浮力也愈大），紙蜻蜓就飛得愈高。

陸、結論：

- 一、紙飛機、紙螺旋、飛盤和紙蜻蜓都會飛，它們都有翼，因此我們認為紙蜻蜓旋轉後會和翼有關。
- 二、紙蜻蜓翅膀寬度大可使他停留在空中旋轉的時間較久。
- 三、紙蜻蜓翅膀長短要適中。太長容易下垂，太短旋轉時較不穩定。
- 四、軟硬適中，材質略粗的紙 [圖畫紙、粉彩紙] 所製的紙蜻蜓較穩定。
- 五、翅膀摺豎摺紋時旋轉穩定性高；摺斜摺紋時旋轉會呈一圈圈紋路。
- 六、紙蜻蜓要旋轉得好，必須在無風的地方比較容易成功。
- 七、當紙蜻蜓翅膀呈 180 度時最平衡，在空中停留時間最久。
- 八、迴紋針的作用在平衡紙蜻蜓的重心，所以不需太多以免增加重量。
- 九、紙蜻蜓翅膀缺口數多，有利飛行，會聚集空氣，紙蜻蜓更穩定。
- 十、紙蜻蜓翅膀無洞口旋轉得比較好，降落的時間也比較長。
- 十一、紙蜻蜓底部劃破空氣的邊愈大（長方形）降落慢，邊愈尖（三角形）降落快。
- 十二、紙蜻蜓的飛行是因為翼旋轉而產生氣流的阻力，進而產生反作用力及向上的昇力，當昇力大於紙蜻蜓的重量時，紙蜻蜓就飛起來了。

柒、參考資料：

- 一、(新編光復科學圖鑑) 自然科學實驗 光復書局 1995年3月
- 二、小牛頓兒童科學園地〈15、25、48、55期〉。
- 三、中國孩子的疑問〈174至175頁〉。
- 四、中國兒童百科全書〈第二輯426頁〉。
- 五、科學教授〈148至149頁〉。