

中華民國第四十六屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國小組 自然科

081522

從伽利略落體定律探討降落傘運動變因和模擬  
空氣流動特性

學校名稱： 臺北縣永和市永和國民小學

作者： 小六 張亦萱 小六 陳威廷 小六 陳書瑤 小六 姜雅文 小六 王天闊 小六 陳韋均	指導老師： 莊惠年、 吳鳳美
---	-------------------

關鍵詞：自由落體、加速度、空氣阻力

# 作品名稱：從伽利略落體定律探討降落傘運動變因 和模擬空氣流動特性

## 摘要

本研究從伽利略落體運動，瞭解自由落體的等加速度運動及空氣阻力的存在；在風速的條件控制下，藉由不同形狀、面積和材料的一系列降落傘製作實驗，以六邊形、八邊形和十邊形最佳，面積越大落地時間越長，以及輕而軟材料（如薄雨衣、薄塑膠布和薄裡布）的降落傘為佳。為進一步瞭解穩定度和傘內空氣流動的特性，我們利用魚缸水槽製造平行水流，模擬並觀察降落傘內的水流代替空氣流動，並設計空洞傘型，觀察形成傘內渦流的現象；並以降落傘實驗發現適當大小的中心空洞，可以穩定飄浮或緩降，甚至可延長落地時間，若空洞過大或數量太多，可能造成輕度旋轉或搖晃。經討論結合日常生活中的玩具車旋轉輪軸及遙控器，設計出可控制降落傘左右運動方向的“遙控式降落傘”，具有很高的樂趣。

## 壹、研究動機

從課本中學過的力與運動，老師介紹我們看了伽利略的比薩斜塔實驗，並結合認識天氣一課中風速的知識，我們進行一系列降落傘的遊戲。網路上也有不少相關的介紹，我們希望以科學的方式，瞭解影響降落傘的主要變因，甚至可以操控降落傘。在老師的帶領下，我們結合魚缸水槽，代表空氣的流動，遙控車應用在降落傘上，讓我們充分享受科學研究的樂趣無窮！

## 貳、研究目的

- 一、從不同高度的自由落體下降時間，瞭解伽利略自由落體定律。
- 二、學習製作不同形狀、面積、材料的降落傘，並解決可能面臨的困難；例如穩定度、結繩方式如何不易打結、等面積不同形狀換算等。
- 三、實際進行測量不同降落傘下降時間，討論其影響的因素，並利用科學圖表說明觀察結果。
- 四、設計實驗模擬並觀察氣體流動特性。
- 五、自己動腦想一想，如何利用實驗結果控制降落傘運動，以及提出降落傘未來改進或設計的創見。

## 參、研究設備及器材

- 一、量角器、直尺、鉛筆、計算機、尼龍繩、底片盒或空藥罐。
- 二、不同材質料紙張（如白報紙、玻璃紙、包裝紙）、塑膠袋、舊雨衣、不同材質布料等。
- 三、剪刀、電焊槍、砝碼、碼錶、風速計。
- 四、小圓木屑、小玩偶、遙控車及遙控器。
- 五、端子、廢棄魚缸水槽、數位相機、電腦、印表機。

## 肆、研究過程和結果

我們收集得資料並經由多次討論，將研究分為四個部分，包括：

- 第一部分：伽利略自由落體與空氣阻力的影響
- 第二部分：影響降落傘落地時間變因之探討
- 第三部分：利用水流模擬傘內空氣流動現象及空洞式降落傘落實驗
- 第四部分：設計可控制方向遙控降落傘

實驗結果及討論詳細說明如下：

### 第一部分：伽利略自由落體與空氣阻力的影響

#### 研究一、自由落體實驗樓高和落地時間的關係

##### （一）步驟

1. 取底片空盒，分別至學校 2 樓、3 樓、4 樓、5 樓自由落下。
2. 空盒內裝砝碼 50 克，分別至學校 2 樓、3 樓、4 樓、5 樓自由落下。
3. 以碼錶測量落地時間，並重覆操作 5 次。

表.1 砝碼落地時間的測量

(單位：秒)

次 號	2F		3F		4F		5F	
	空盒	50 克	空盒	50 克	空盒	50 克	空盒	50 克
第 1 次	1.01	0.88	1.31	1.28	1.60	1.46	2.03	1.68
第 2 次	0.96	0.97	1.40	1.28	1.69	1.56	1.96	1.72
第 3 次	1.00	0.91	1.37	1.25	1.65	1.50	1.93	1.70
第 4 次	0.95	0.86	1.36	1.30	1.70	1.53	1.97	1.68
第 5 次	0.97	0.97	1.33	1.23	1.62	1.50	1.89	1.75
平均	0.98	0.92	1.35	1.27	1.65	1.51	1.96	1.71

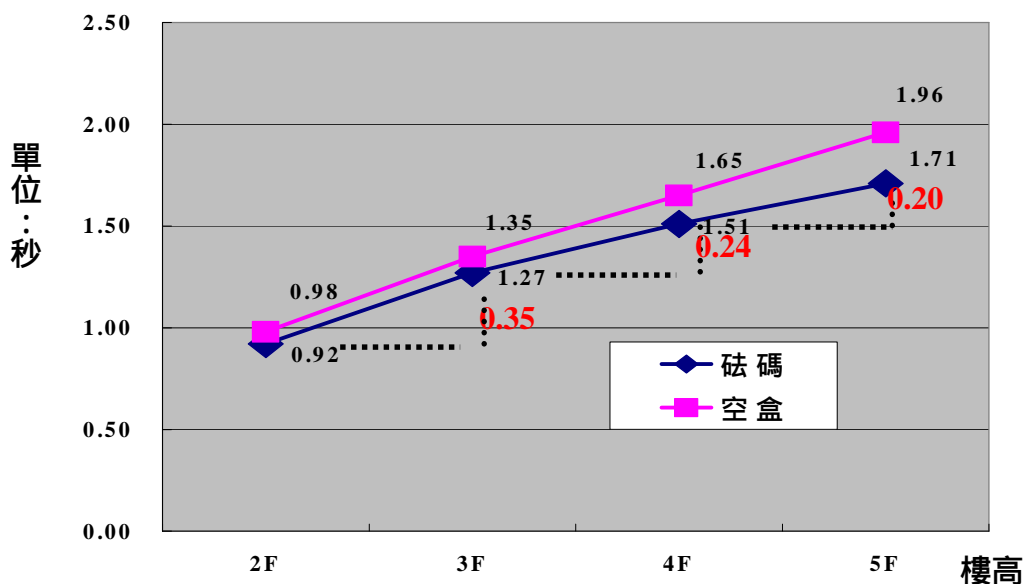


圖.1 砝碼自不同樓高落地的平均時間

- (二) 結果說明：
1. 樓層越高，落地平均時間越長。
  2. 每增一層樓，落地時間並不是等比率增加，而是所增加的時間越少（如圖從 0.35 秒-0.20 秒）。
  3. 自由落體運動並不是等速度運動，而是（等）加速度運動。
  4. 伽利略認為在理想狀況下（沒有任何阻力），物體都是以相同的速度落下，與重量無關；而本研究發現內裝砝碼的底片盒先落地，空底片盒較慢落地，主要受空氣阻力的作用過程不同的影響。

自由落體中空氣阻力常見的應用，以降落傘最為常見，我們希望從伽利略的落體實驗出發，探討**影響降落傘落地時間的變因**、**空氣阻力在傘內的流動**，希望結合日常玩具進一步設計可控制方向的遙控降落傘。

## 第二部分：影響降落傘落地時間變因之探討

**實驗環境條件**：為使降落傘落地時間測量實驗時，“風”的不確定因素影響減到最低，或實驗環境條件儘量一致，我們採用中央氣象局蒲福風級對照表（如表.2）；即是在微風以下進行實驗，並以風杯風速儀事先測量當時風速。

表.2 蒲福風級（Beaufort Scale）對照表（資料來源：中央氣象局）

風級	0 - 無風	1 - 軟風	2 - 輕風	3 - 微風	4 - 和風	5 - 清風	6 - 強風
m/s	不足 0.3	0.3~1.5	1.6~3.3	3.4~5.4	5.5~7.9	8.0~10.7	10.8~13.8
敘述	煙直上。	僅煙能表示風向，但不能轉動風標。	人面感覺有風，樹葉搖動，普通之風標轉動。	樹葉及小枝搖動不息，旌旗飄展。	塵土及碎紙被風吹揚，樹之分枝搖動。	有葉之小樹開始搖擺。	樹之木枝搖動，電線發出呼呼嘯聲，張傘困難。
風級	7 - 疾風	8 - 大風	9 - 烈風	10 - 狂風	11 - 暴風	12 - 颶風	
m/s	13.9~17.1	17.2~20.7	20.8~24.4	24.5~28.4	28.5~32.6	32.7~36.9	
敘述	全樹搖動，逆風行走感困難。	小樹枝被吹折，步行不能前進。	建築物有損壞，煙囪被吹倒。	樹被風拔起，建築物有相當破壞。	屋子倒塌破壞，人也可能被吹起。	人類被吹倒，極少見如出現必有重大災害。	



圖.2 風杯式風速儀

$$\text{平均風速} = \frac{\text{風程(公尺)}}{\text{測量時間(秒)}}$$

我們在戶外測量總時間為 10 分鐘，依風程讀數計算後對照蒲福風級，決定是否可進行實驗。

## 研究二、不同形狀降落傘落地時間的測量

### (一) 步驟

1. 以塑膠布為材料，分別製作面積相等均為  $900\text{ cm}^2$  的三角形、四邊形、五邊形、六邊形、八邊形、十邊形和十二邊形等七個降落傘傘面（作法如附錄、一）。
2. 結繩長度均為  $45\text{ cm}$ ，底下繫底片空盒，內裝砝碼  $50\text{ 克}$ 。
3. 自學校 5 樓高度自由落下，以碼錶測量落地時間，並重覆操作，取最集中的 5 次時間計算平均落地時間。



圖 3. 七種不同形狀等面積降落傘及施放情形

### (二) 數據：

表. 3 不同形狀降落傘落地時間的測量

(單位：秒)

形狀	三角形	四邊形	五邊形	六邊形	八邊形	十邊形	12 邊形
第 1 次	5.34	7.20	8.09	12.62	9.82	10.10	9.85
第 2 次	6.45	9.13	9.20	11.31	11.57	10.37	10.27
第 3 次	5.73	8.60	8.25	10.73	11.28	11.90	8.88
第 4 次	6.58	7.66	8.40	11.58	10.69	11.76	10.65
第 5 次	5.12	7.32	10.10	10.93	11.73	11.87	9.29
平均	5.84	7.98	8.81	11.43	11.02	11.20	9.79
特性說明	有點旋轉。	旋轉晃動。	有點搖晃。	平穩。	小旋轉。	平穩。	搖晃。

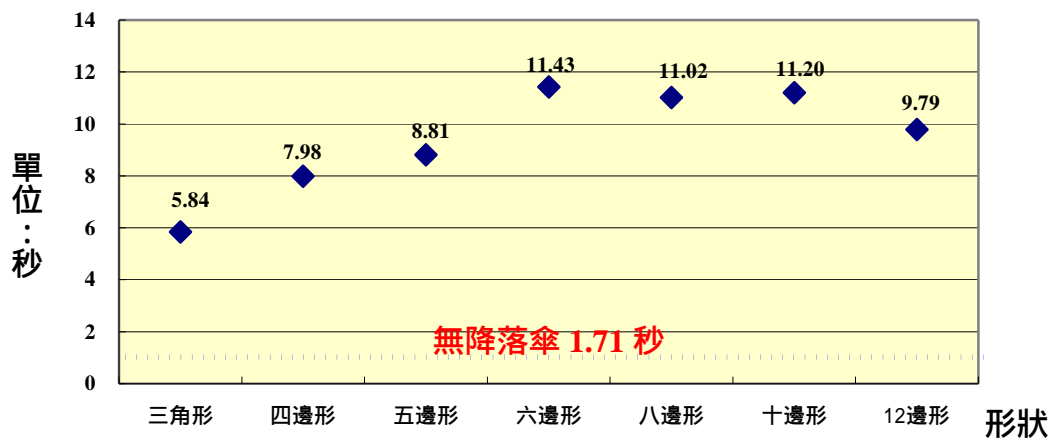


圖 4. 等面積不同形狀降落傘的平均落地時間

### (三) 討論及結果：

1. 本研究發現三角形降落傘落地時間最短，隨邊數增加，延遲降落時間愈長。以六邊形、八邊形和十邊形落地時間最長，效果最佳，可達 11 秒以上，降落過程也較平穩。
2. 12 邊形結繩數目較多，易有部分纏繞，降落過程不平穩，縮短降落時間。
3. 雖在微風標準以下實驗，瞬間橫風仍會造成差異，我們以重覆實驗，取最集中的 5 次時間作平均，讓瞬間風的差異最小，以突顯形狀變因的影響。

## 研究三、不同面積降落傘落地時間的測量

### (一) 步驟

1. 以塑膠布為材料，分別製作不同面積的八邊形降落傘；即中心至頂點（外接圓半徑） $R=5\text{cm}$ ， $10\text{cm}$ ， $15\text{cm}$ ， $20\text{cm}$ ， $25\text{cm}$ ， $30\text{cm}$ 。
2. 結繩長度均為直徑，底下繫底片空盒，內裝砝碼 50 克。
3. 自學校 5 樓高度自由落下，以碼錶測量落地時間，並重覆操作，取最集中的 5 次時間計算平均落地時間。

### (二) 數據：

表. 4 不同面積的八邊形降落傘落地時間的測量 (單位：秒)

外接圓半徑	R=5cm	R=10cm	R=15cm	R=20cm	R=25cm	R=30cm
第1次	2.18	4.15	10.03	12.75	14.56	14.86
第2次	2.31	3.83	8.12	12.32	13.77	16.18
第3次	2.48	2.99	9.16	10.93	13.42	15.98
第4次	1.93	3.52	10.1	11.17	14.25	14.26
第5次	2.39	3.63	8.67	9.72	12.27	15.04
平均	2.26	3.62	9.22	11.38	13.65	15.26
特性說明	快速直下。	旋轉直下。	中度旋轉。	輕搖晃。	輕搖晃。	平穩。

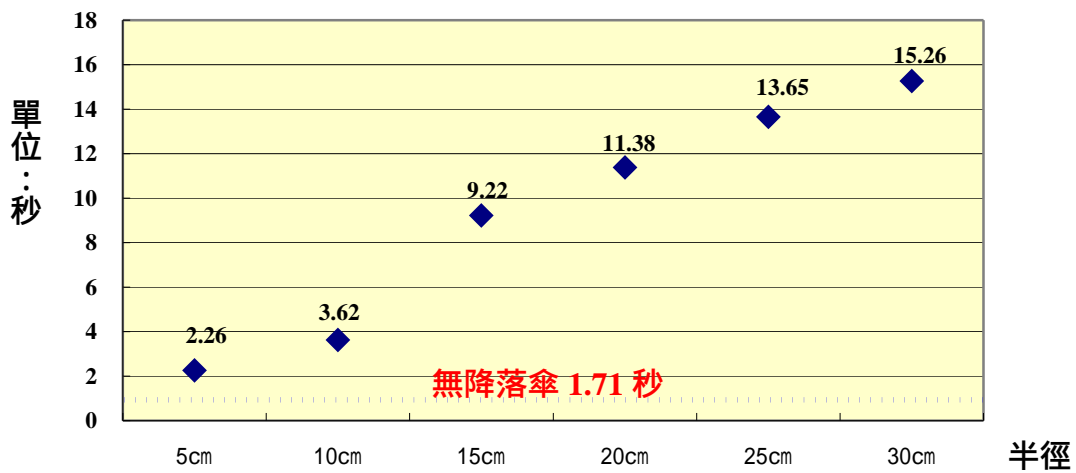


圖 5. 不同面積、相同材質降落傘的平均落地時間



圖 6. 不同面積、相同材質降落傘及實驗



### (三) 討論及結果：

1. 本研究發現面積越大（即外接圓半徑越大），降落傘可發揮最佳的效果，落地時間加長；即面積越大，降落傘完全展開後，空氣阻力越大。
2. 半徑 5cm 的八邊形降落傘，空氣產生的阻力相對於負重很小，和自由落體 1.71 秒接近。
3. 面積越大，降落傘下降過程亦顯得較平穩。

### 研究四、不同材料降落傘落地時間的測量

#### (一) 步驟

1. 以日常生活中不同材料，分別製作等面積的十邊形降落傘；即中心至頂點（外接圓半徑） $R=30\text{cm}$ 。
2. 結繩長度均為直徑，底下繫底片空盒，內裝砝碼 50 克。
3. 自學校 5 樓高度自由落下，以碼錶測量落地時間，並重覆操作，取最集中的 5 次時間計算平均落地時間。



圖 7. 等面積不同材料的十邊形降落傘

(二) 數據：

表. 5 不同材料等面積的十邊形降落傘的平均落地時間 (單位：秒)

<b>紙類</b>	<b>白報紙</b>	<b>玻璃紙</b>	<b>包裝紙</b>	<b>粗宣紙</b>	<b>道林紙</b>
平均時間	8.97	7.52	9.88	6.78	4.58
特性說明	尚平穩。	易折痕，不平衡。	輕度旋轉。	易折痕，不平衡。	太硬，不易完全展開
<b>布類</b>	<b>薄裡布</b>	<b>細絲巾</b>	<b>廣告旗</b>	<b>尼龍布</b>	<b>厚裡布</b>
平均時間	14.89	14.77	11.36	10.93	9.29
特性說明	透氣、平穩。	透氣、平穩。	含膠，中度旋轉。	尚平穩。	較重、稍搖晃。
<b>塑膠類</b>	<b>薄雨衣</b>	<b>薄塑膠</b>	<b>垃圾袋</b>	<b>包裝袋</b>	<b>厚塑膠</b>
平均時間	17.38	15.96	16.27	12.63	13.05
特性說明	輕且稍搖晃。	輕且稍搖晃。	輕且輕度旋轉。	稍硬、尚平穩。	稍重、搖晃。



圖 8. 等面積不同材料的十邊形布類、塑膠類降落傘飛行情形

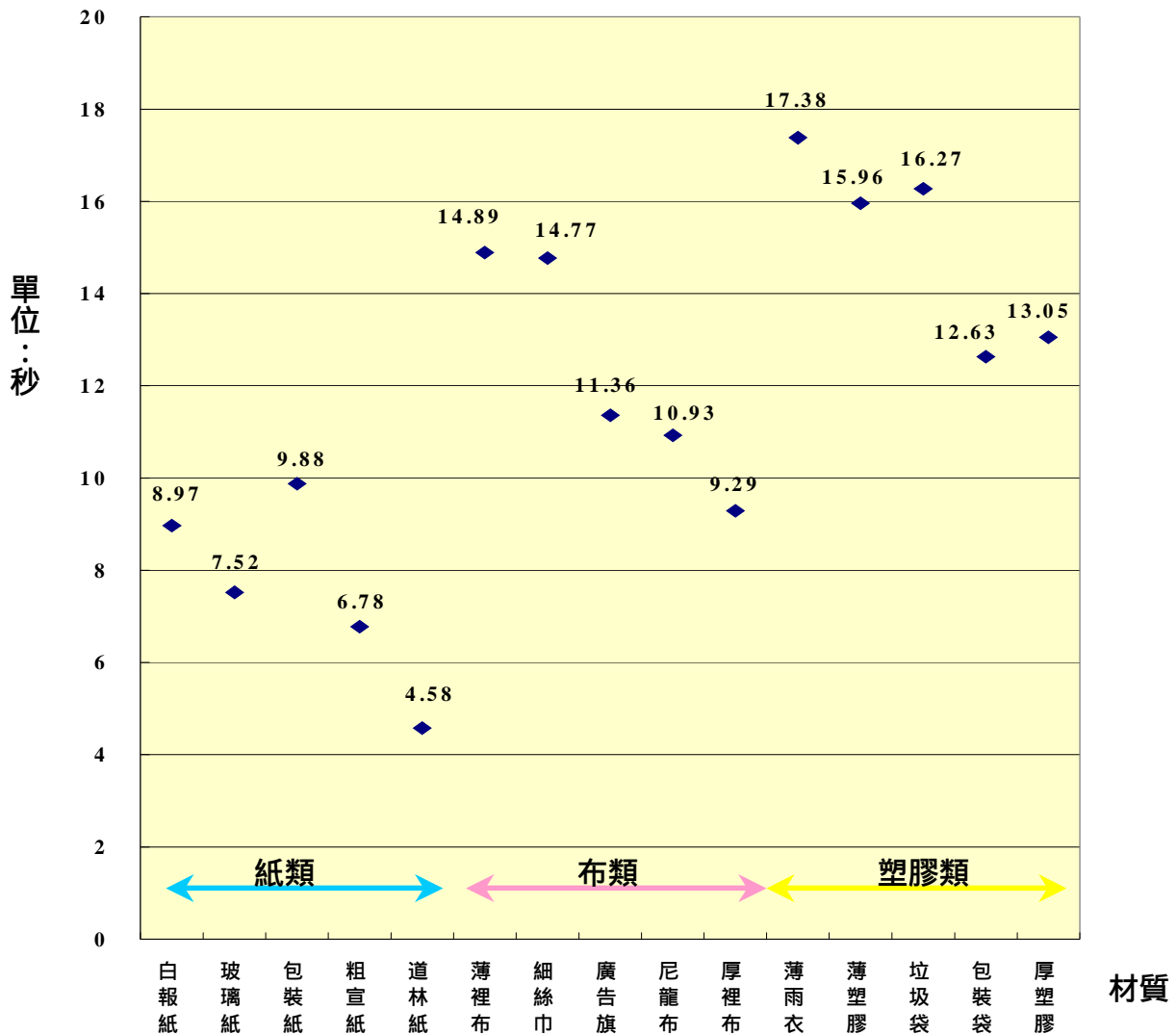


圖 9. 不同材質降落傘的平均落地時間分布圖

### (三) 討論及結果：

1. 本研究三類材料中，以紙類降落傘較差，即落地時間短；而塑膠類的落地時間稍比布類長，但布類透氣性佳，降落過程穩定度較平穩。
2. 各類材料中屬較硬、較重材質落地時間則較短，平穩性也較差；例如紙類中的道林紙、粗宣紙，布類的厚裡布，塑膠類的包裝袋、厚塑膠袋等。
3. 經由討論，為進一步瞭解氣流在傘內的流動特性，以及將降落傘面設計不同大小的空洞，是否對下降過程穩定度和落地時間有所影響，我們進行第三部分的研究。

### 第三部分：利用水流模擬傘內空氣流動現象及空洞式降落傘落實驗

設計模擬實驗台：第二部分可發現降落傘落下過程中，搖晃程度不一，對傘內空氣流動現象應作進一步的觀查和瞭解。我們利用魚缸水槽製造平行水流，模擬並觀察降落傘內的水流代替空氣流動，並設計空洞傘型，觀察形成傘內渦流的現象。

## 研究五、利用平行水流模擬降落傘內渦流現象

### (一) 步驟

1. 利用魚缸水槽形成平行水流，代表空氣流動方向。
2. 製作傘形面板、中心空洞傘形面板和 3 個空洞傘形面板三種型式。
3. 水中灑入小圓柱木屑，飄浮水面以利觀察木屑流動。
4. 分別於前端置入三種面板，觀察並記錄木屑流動特性。



(a) 三種傘形面板；無空洞、單一空洞、三個空洞



平行水流管

(b) 魚缸水槽，向面板方向產生水流。

圖 10. 平行水流模擬水槽及面板

### (二) 討論及結果：



圖 11. (a) 無空洞面板：木屑分布情形

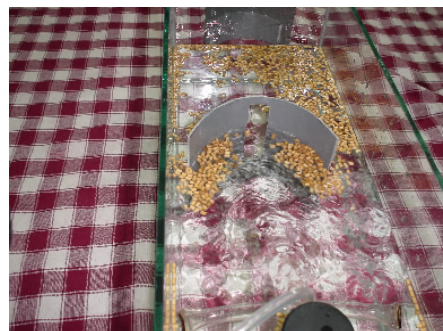


圖 11. (b) 單一空洞面板：木屑分布情形



圖 11. (c) 三個空洞面板：木屑分布情形

圖 11. 水流代表空氣流動，木屑在三種不同面板的分布情形

觀察小木屑的流動，我們可以清楚觀察傘形面板內流體的運動，發現以下特性：

1. 無空洞面板內木屑（即表空氣）堆積在傘內，形成渦旋式流動，逐漸被推擠至傘緣後被水流帶走；即傘內堆積木屑（空氣）較多（如圖 11(a)）。
2. 中心空洞面板內，小木屑部分從中央空洞逕行向後流失，其餘向兩側堆積，以小渦流形式向兩側推移，至傘緣後被水流帶走（如圖 11(b)）。
3. 三個空洞面板，木屑由三個空洞迅速向後流過，少部分向兩側堆積至傘緣後被水流帶走，較少集中木屑（如圖 11(c)）。
4. 空洞可使木屑（即表空氣）堆積較少，可使傘面較穩定，但空氣阻力相對也較小。

（三）可應用之特性：

我們可實際將上述觀測結果，實際設計於降落傘中；即傘面設計數量、大小和分布不同的空洞，觀測降落傘落地時間和飛行狀態。

## 研究六、不同空洞式降落傘落地時間的測量

（一）步驟

1. 取塑膠布製作成面積相同（中心至頂點距離  $R=25\text{cm}$ ）的八邊形降落傘六個。
2. 每一降落傘中心分別為無空洞、半徑 2cm 空洞、半徑 4cm 空洞、4 個半徑 2cm 空洞、半徑 6cm 空洞、9 個半徑 2cm 空洞。（示意圖如下圖 12.）

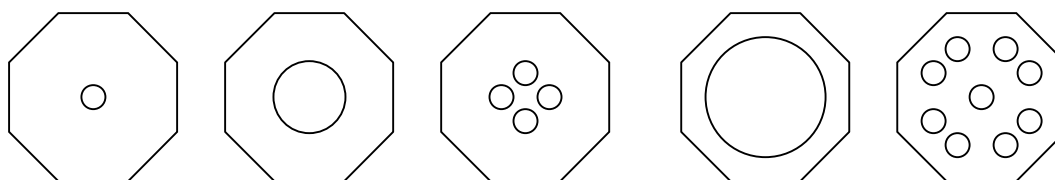


圖 12. 六種不同空洞式降落傘示意圖

3. 每一降落傘下之底片空盒內載重 2 個砝碼 (50 g)
4. 自學校 5 樓高度自由落下，以碼錶測量落地時間，並重覆操作，取最集中的 5 次時間計算平均落地時間。

(二) 數據：

表. 6 等面積不同空洞形式八邊形降落傘的平均落地時間 (單位：秒)

空洞半徑	無空洞	空洞 2cm	空洞 4cm	空洞 4個 2cm	空洞 6cm	空洞 9個 2cm
平均時間	13.65	14.73	13.25	12.78	9.67	10.24
特性說明	輕度搖晃。	平穩飄浮	平穩緩降	輕度旋轉	搖晃	旋轉輕搖晃

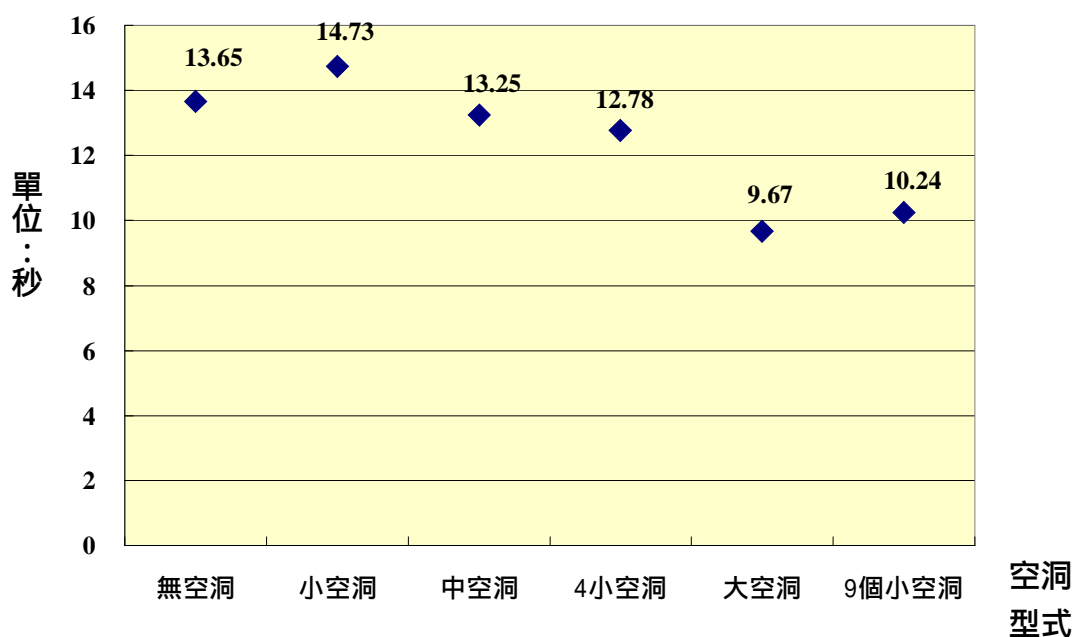


圖 13. 不同空洞型式降落傘的平均落地時間分布圖

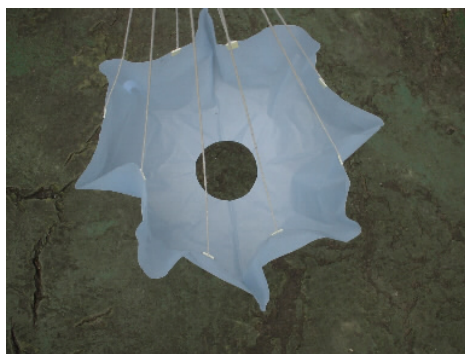


圖 14. 大空洞(R=6cm)型式降落傘實物

(三) 討論及結果：

1. 本研究發現適當大小的中心空洞，可以穩定飄浮或緩降，甚至可延長落地時間，如 2cm 中心（小）空洞降落傘。
2. 空洞過大或數量太多，可能造成輕度旋轉或搖晃，也因空氣由空洞流失（研究五），空氣阻力變小，而逐漸加速落地時間。

研究七、根據以上研究結果，以較大型降落傘綜合比較降落傘落地時間的測量

(一) 步驟

1. 取三種較輕質材料（垃圾袋、塑膠布、薄裡布），分別製成等面積六邊形（R=45cm）、八邊形（R=43.13cm）和十邊形（R=42.31cm）的無空洞和單一中心空洞（R=2cm），合計共 18 個降落傘。
2. 結繩長度均為直徑，底下繫底藥罐盒，內裝砝碼 50 克。
3. 自學校 5 樓高度自由落下，以碼錶測量落地時間，並重覆操作，取最集中的 5 次時間計算平均落地時間。

(二) 數據：

表. 7 大型降落傘綜合比較平均落地時間

（單位：秒）

性質	塑膠布			垃圾袋			薄裡布		
	六邊形	八邊形	十邊形	六邊形	八邊形	十邊形	六邊形	八邊形	十邊形
無洞	16.45	15.88	15.30	15.66	17.08	15.97	16.33	15.78	14.25
中心空洞	14.25	15.29	14.99	14.67	15.83	15.78	12.07	12.36	11.58
特性說明	一般而言，降落過程中，單一中心空洞式降落傘，較少旋轉搖晃，穩定性較佳。								

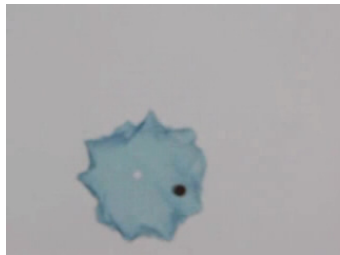
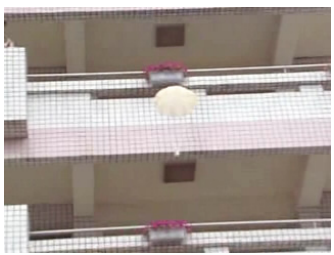
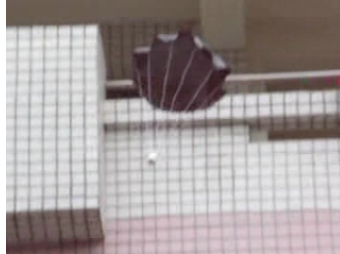
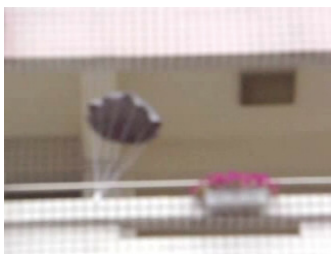


圖 15. 不同材質、形狀及空洞式降落傘及其在空中飛行的連續圖片





圖 16. 大型降落傘綜合比較平均落地時間分布圖

(三) 討論及結果：

1. 為進一步驗證研究二 研究六的結果，我們取前述研究變因中較佳的條件特性，製作大型降落傘試驗。研究發現一般而言，降落過程中，單一中心空洞式降落傘，較少旋轉搖晃，穩定性較佳。
2. 空洞式降落傘落地時間均略低無洞降落傘，研究五得知適當的空洞可增加平穩度，但空氣阻力的也降低。
3. 薄裡布空洞式降落傘落地時間明顯最短，可能與該材質本身具較佳的通風性相關。
4. 三種材質、邊形的造成的落地時間差異，並不明顯。

第四部分：設計可控制方向遙控降落傘

如前述，在微風以下的環境，重覆多次數據的集中性，減低瞬間風的影響，我們已經瞭解控制降落傘落地時間、穩定度的幾個主要變因。我們進一步討論，希望能控制降落傘的運動方向；結合日常生活中的玩具車旋轉輪軸及遙控器，進行以下的設計和試驗：

## 研究八、設計可控制方向遙控降落傘

### (一) 步驟

1. 利用遙控車控制輪軸，連結降落傘的結繩。
2. 並將遙控車輪軸裝置於玩偶上。

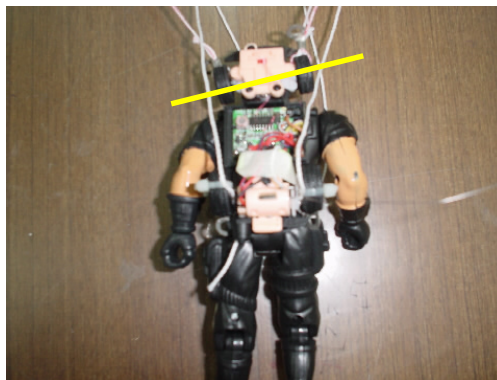
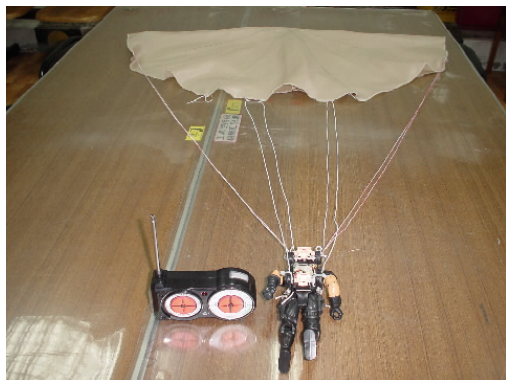


圖 17. 結合遙控車控制輪軸和降落傘結繩形成“遙控式降落傘”。

### (二) 討論及結果

1. 遙控器可以控制輪軸轉動，帶動牽引結繩；即可讓降落傘作方向的改變。

#### 👉 問題發現：

第一代“遙控式降落傘”效果並不佳，輪軸轉動不夠大。

## 🔧 解決方式：

我們在輪軸上加長連桿，再連接結繩，可獲得較明顯的效果。

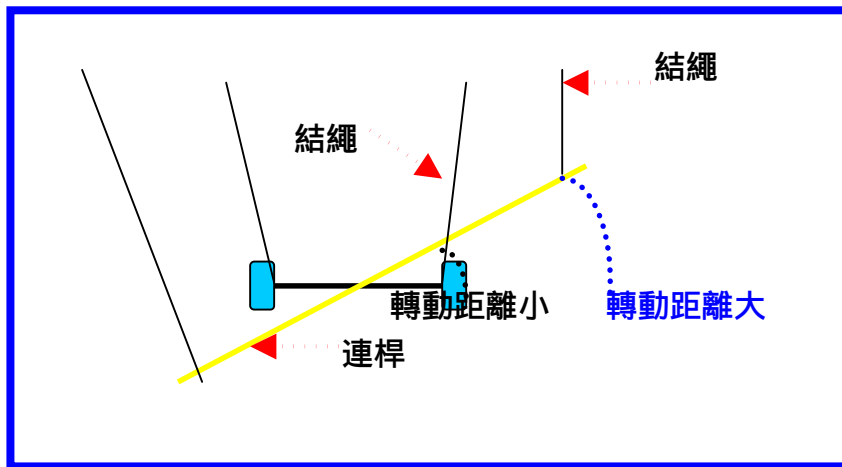


圖 18. 連桿效用示意圖

2. 試驗過程，尤如電玩需試誤法調整，空中飄移過程目前無法訂出方位，可控制方向為玩偶的左右，前後暫無法控制。但實驗中具有相當高的樂趣。
3. 遙控齒輪捲軸機構的玩具；如遙控坦克車，具有拉動結繩的功能，也可裝置於降落傘上，牽動結繩，進一步控制降落傘之運動。

## 伍、討論

1. 實驗時我們發現“風”亦是一項重要的影響因素，為避免實驗環境條件的差異過大，必須預先測定風速在微風以下。
2. 由於無法避免瞬間風的影響，我們藉由重覆實驗，取較集中的 5 次數據計算平均落地時間，減低不確定瞬間風的影響。
3. 經過多次施放，結繩容易扭曲打結，為解決此一問題，我們以焊槍鑽孔，尾端以端子固定；即每條結繩各有專用結繩孔，可大幅減低打結現象。如圖 19.



圖 19. 結繩各有專用結繩孔，尾端以端子固定，可使各結繩不易打結。

4. 結繩每次試驗後應即整理，否則經過一段時間再行施放，結繩易扭曲變形，不易整理；此和傘兵收傘後折疊收藏是必要的。

5. 本研究採用結繩數與邊長數相同；依據前人研究經驗，結繩長度以中心至頂點距離（外接圓半徑）的 2 倍
6. 本研究以碼錶記時，精度可達百分之一秒，但施放過程仍應良好的小組配合，專心實驗，以減低誤差。

## 陸、結論

1. 我們利用自由落體瞭解風的阻力，及其落體運動的(等)加速度運動及空氣阻力的存在。
2. 學習風杯風速計獲得平均風速；在微風以下的環境，發現影響降落傘落地時間的主要影響因素：
  - (1)不同形狀（等面積、相同材質）：

三角形降落傘落地時間最短，隨邊數增加，延遲降落時間愈長。以六邊形、八邊形和十邊形落地時間最長，效果最佳，可達 11 秒以上，降落過程也較平穩。
  - (2)不同面積（相同形狀、材質）：

面積越大（即外接圓半徑越大），降落傘可發揮最佳的效果，落地時間加長；即面積越大，降落傘完全展開後，空氣阻力越大。面積越大，降落傘下降過程亦顯得較平穩。
  - (3)不同材料（相同面積、形狀）：

以紙類降落傘較差，即落地時間短；而塑膠類的落地時間稍比布類長，但布類透氣性佳，降落過程穩定度較平穩。  
各類材料中屬較硬、較重材質落地時間則較短，平穩性也較差；例如紙類中的道林紙、粗宣紙，布類的厚裡布，塑膠類的包裝袋、厚塑膠袋等。
3. 為進一步瞭解穩定度和傘內空氣流動的特性，我們利用魚缸水槽製造平行水流，模擬並觀察降落傘內的水流代替空氣流動，並設計空洞傘型，觀察形成傘內渦流的現象；並以降落傘實驗發現：
  - (1) 無空洞面板內木屑（即表空氣）堆積在傘內，形成渦旋式流動，逐漸被推擠至傘緣後被水流帶走；即傘內堆積木屑（空氣）較多。
  - (2) 中心空洞面板內，小木屑部分從中央空洞逕行向後流失，其餘向兩側堆積，以小渦流形式向兩側推移，至傘緣後被水流帶走。
  - (3) 三個空洞面板，木屑由三個空洞迅速向後流過，少部分向兩側堆積至傘緣後被水流帶走，較少集中木屑。
  - (4) 空洞可使木屑（即表空氣）堆積較少，可使傘面較穩定，但空氣阻力相對也較小。
  - (5) 以實際降落傘測試發現，適當大小的中心空洞，可以穩定飄浮或緩降，甚至可延長落地時間；空洞過大或數量太多，可能造成輕度旋轉或搖晃，也因空氣由空洞流失，空氣阻力變小，而逐漸加速落地時間。
4. 綜合以上，以大型降落傘測試發現：
  - (1) 一般而言，降落過程中，單一中心空洞式降落傘，較少旋轉搖晃，穩定性較佳。
  - (2) 空洞式降落傘落地時間均略低無洞降落傘，研究五得知適當的空洞可增加平穩度，但

空氣阻力的也降低。

(3)薄裡布空洞式降落傘落地時間明顯最短，可能與該材質本身具較佳的通風性相關。

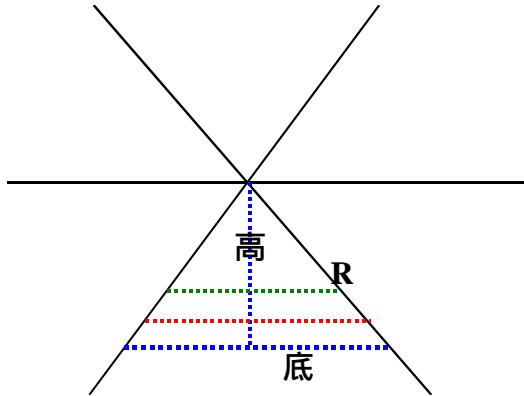
5. 我們結合日常生活中的玩具車旋轉輪軸及遙控器，設計可控制降落傘的運動方向；並加上連桿，可增加改變的幅度，是一件很有趣的自製玩具。
6. 可控制運動方向的降落傘，目前只能控制玩偶的左右方向，未來希望能繼續進一步完成前後、左右均能控制的降落傘。

## 柒、參考資料及其他

- 一、第五單元：力與運動，國民小學自然與生活科技 5 上。康軒出版社。
- 二、第四單元：認識天氣，國民小學自然與生活科技 3 下。康軒出版社。
- 三、第一單元：簡單機械，國民小學自然與生活科技 6 下。康軒出版社。
- 四、Michael White 原著；李元綺譯（民 81），改變世界的科學家：伽利略 - 現代實驗科學之父。臺北市：牛頓。
- 五、降落傘及著陸系統設計比賽。民 94 年 9 月 1 日，取自：  
<http://www2.fed.cuhk.edu.hk/s030092/EDD5169A/%AD%B0%B8%A8%B3%CA%A4%F1%C1%C9.htm>。
- 六、陸上應用蒲福風級及各地颱風分級對照表，民 94 年 9 月 30 日，取自：  
<http://home.pchome.com.tw/togo/jdbox/tr/typhoonwind2.htm>
- 七、降落傘的製作程序及注意事項（民 92 年 4 月 10 日）。民 94 年 9 月 1 日，取自：  
<http://www.sonking.com.tw/page44.htm>

## 附錄一、等面積多邊形傘面計算方法

### 1. 作圖趨近法：



總面積為  $A$  的多邊形

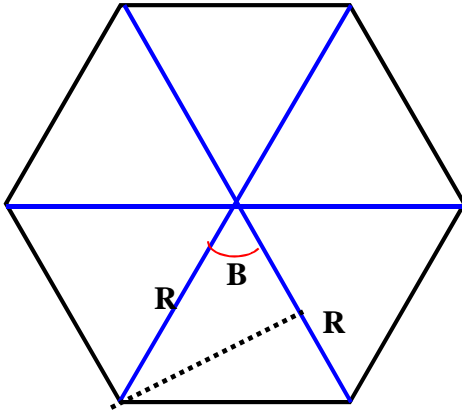
☞以六邊形為例

劃出以圓心角為  $360^\circ/6$  的半徑 6 條

用直角尺找到一組底和高

使  $\text{底} \times \text{高}/2 = A/6$

### 2. 三角函數法



總面積為  $A$  的多邊形

☞以六邊形為例

劃出以圓心角為  $360^\circ/6$  的半徑 6 條

$(R \times R \times \text{Sin}B) / 2 = A / 6$

可求得  $R$

註： $\text{Sin}B = \text{對邊} / \text{斜邊}$

$\text{對邊} = \text{斜邊} \times \text{Sin}B$

### 3. 研究二、製作 $900\text{cm}^2$ 的各多邊形，相關角度、邊長等幾何關係，如下頁附錄表。

## 附錄表一、 等面積各邊形的製作： 圓心角、 外接圓半徑、 邊長、 三角形高的關係

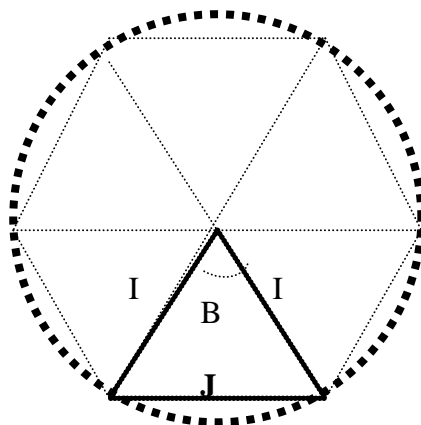


A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
N 邊形	外接圓各邊頂角度數	徑度量	sin	面積	面積 X2	F/A	G/D	R	邊長	高	驗算
3	60	1.047197551	0.866025	900	1800	600	692.8203	26.32148	45.59014	13.16074	900
4	90	1.570796327	1	900	1800	450	450	21.2132	30	15	900
5	72	1.256637061	0.951057	900	1800	360	378.5264	19.45575	22.87161	15.74004	900
6	60	1.047197551	0.866025	900	1800	300	346.4102	18.6121	18.6121	16.11855	900
8	45	0.785398163	0.707107	900	1800	225	318.1981	17.83811	13.6527	16.48026	900
10	36	0.628318531	0.587785	900	1800	180	306.2343	17.49955	10.81532	16.64306	900
12	30	0.523598776	0.5	900	1800	150	300	17.32051	8.965755	16.73033	900
圓形				900	16.92569	900		16.92569			

以六邊形為例，如左圖

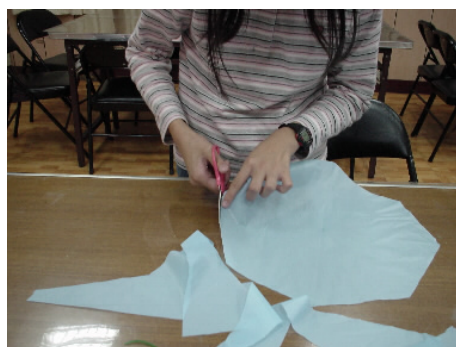
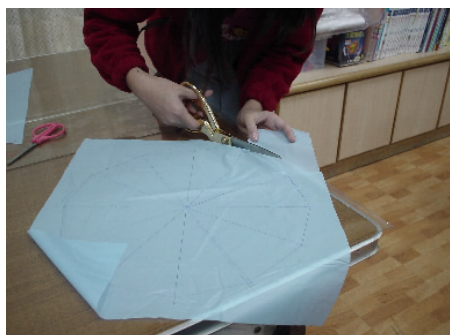
$$A = 6$$

$$B = 360 \text{ 度} / A = 36 \text{ 度}$$



總面積設為  $900 \text{ cm}^2$  每個三角形面積 =  $900 / A$   
 每個三角形面積 =  $\frac{1}{2} R \times R \times \sin B = \frac{1}{2} \text{底 (邊長)} \times \text{高}$

## 附錄二、降落傘製作實照





### 附錄三、各類降落傘飛行測試實照



評 語

081522 從伽利略落體定律探討降落傘運動變因和模擬空氣流動特性

1. 研究設計的方法很好。
2. 不同降落傘的設計頗俱有解決問題的創意。
3. 團隊默契佳。
4. 微風實驗條件是否適當？時間差太大之研究可再細緻。