

# 落葉飄飄何所似

## 國中組物理科第二名

桃園縣立石門國民中學

作者：胡品圭、張孝恆、壽培君、黃司凡  
指導教師：詹賢媛、邱仁榮

### 一、研究動機

我們在學校裡時常看到樹葉翻翻滾滾的飄落，有的急速旋轉，有的前後擺動，飄落形態截然不同，為什麼會有這麼多變化呢？大家都很好奇，因此我們組隊、設計實驗並進行研究。

### 二、研究目的

探討落葉運動的成因及運用實驗中相關的理論來研究創意童玩。

### 三、研究設備及儀器架設

主要設備有自製葉片釋放實驗架（簡稱實驗架，如下列照片，說明如附件）、電子天平及攝／錄影設備三項。其他十餘項器材略。

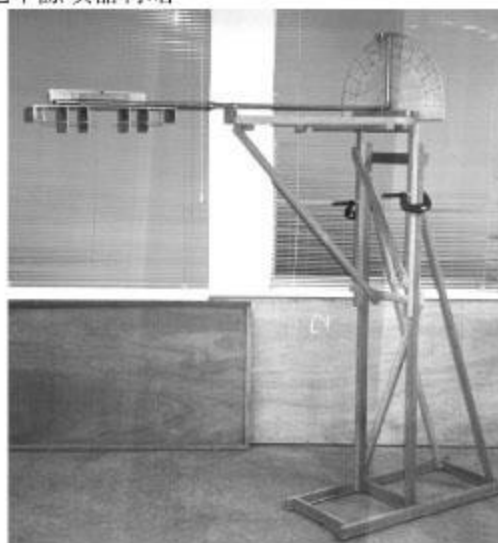
儀器架設步驟如下：

（一）調整實驗架高度為200cm。

（二）於葉片正下方地面上的中心位置，畫分為八等份，以順時針方向分別註明+1、+2、+3、+4、-4……-1作為方位指標。

（三）後方放置每格 $20 \times 20 \text{ cm}^2$ 之背景板面，以觀測落葉高度變化。

（四）於裝置前面約5公尺處以攝影機全程觀測並錄影。



### 四、研究過程

(一) 摘取16種樹葉，分別量測、分類及記錄其重量、形狀、平面中心、面積、重心、寬窄、彎曲度等數值，並觀察這些因素及環境因素（如：風力、傾斜）對落葉運動的影響。

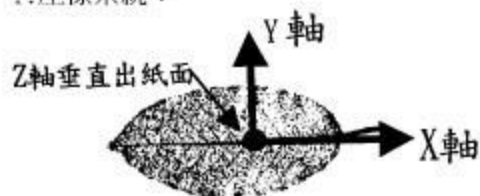
(二) 觀測及記錄上項各葉片在無風狀態下、自由下落的運動狀態包含落地時間、旋轉次數……等，以分析葉片之運動形態與前述九種因素的關係。

(三) 為容易取材及控制變因，採用葉片紙模型重作實驗以證實所得之關係。並依分析之結果證實或修正假設。

(四) 依據實驗所得經驗，發展有趣的童玩，並且能預測各種葉片在自然環境中自由落下的運動狀態。

(五) 定義各次實驗所用之座標系統及常用名詞如下：

1.座標系統：



2.常用名詞：

對X軸轉動現象稱滾翻

對Y軸轉動現象稱傾翻

對Z軸轉動現象稱旋轉

左右搖晃稱擺動

## 五、實驗設計、步驟及結果摘要：

(一) 實驗一：

量測十六種葉片之重量、形狀、平面中心、面積、重心、長寬比及葉片自然彎曲曲度，並歸納分類葉片各種特性。

1.自校園內及社區中摘取16種老葉，量測各葉片之重量、重心、面積、平面中心、長度及寬度。

2.量測各葉片之重心位置—平面中心距離，定義為葉片力臂。

3.計算葉片重量與力臂的乘積，定義為葉柄轉動力矩。

4.計算葉片的單位面積重及葉柄轉動力矩。

結論：除羊蹄甲（腎形）、槭、楓（掌形）外，其他葉片的長寬比均在0.281-0.972之間，故在實驗三葉片模型設計時就根據此現象，將葉形幾何化後，以圓形、橢圓形……窄橢圓，概略模擬。

葉柄的單位面積重皆大於葉片的單位面積重，故造成葉片的平面中心與重心不在同一點上；而印度橡膠樹、緬梔等葉片，其葉柄重約佔全重的1/3多，使得平面中心與重心距離拉長，並且因本身重量較重，故葉柄轉動力矩較大。

(二) 實驗二：

觀測葉片在無風、水平放置及高2公尺條件下，自由落下之運動狀態，以探討影響運動狀態的可能因素。摘要結果如下（數據略）：

- 1.所有葉片落下時間均在0.68-1.64秒之間，大於自由落體所須時間0.639秒，故空氣浮力是影響葉片飄落狀態因素之一。
- 2.葉片之單位面積愈重，轉動總次數平均值愈小，甚至為0。
- 3.長、短（X、Y）軸向皆有彎曲的，如五尺槭、三角楓落下運動過程中轉動總次數，顯然較少，且三角楓僅在Z軸旋轉。
- 4.對X軸彎曲的葉片則對X軸滾轉明顯減少，對Y軸彎曲的葉片則對Y軸傾翻明顯減少。
- 5.葉形愈細長，擺動現象愈少；葉形愈寬，擺動現象愈多。
- 6.所有葉子的滑動方向大都在同葉片始放置的葉柄方位，而葉柄轉動力矩較大者，方向性愈一致；另印度橡皮樹、緬梔等因葉柄轉動力矩太大，快速落在原點附近。
- 7.三角楓因其葉形及葉片對X軸彎曲致每次飄落方位都在+3；大大葉及馬拉巴栗葉，方向性一致且滑動距離最遠。
- 8.因本組儀器及人為觀測不夠精密，飄落總軌跡無法掌控，滑動距離量測代表意義最有爭議。
- 9.樹葉的形狀可歸納為圓形及不同寬度的橢圓形等。依此設計葉片設計，以便掌握變因及探討影響運動狀態的確實因素。

### （三）實驗三：

從上述觀察歸納，我們設計圓形、橢圓細長等不同大小、形狀、重量的紙片，在無風、水平放置及2公尺高的條件下，進行自由下落實驗，以進一步探討影響運動狀態的因素。

A、面積及單位面積積重之影響	D、重心位置之影響
B、形狀之影響	E、葉片彎曲度之影響
C、重量之影響	F、放置傾斜之影響

實驗A、B、C樣品之準備：用電腦繪圖、製作長軸（葉長）為10cm短軸（葉寬）為10cm、8cm、6cm、4cm、2cm的圓及橢圓，並以白紙、硬紙板、壁報紙複製，並分別剪下；另以壁報紙影印縮小82%及71%模型葉並剪下，一一量測各模型葉之特性。

實驗D樣品之準備：取各模型葉1/3重量的紙黏土，分別黏在各模型葉中肋的『正中心』、『正中心與葉柄中點』及『葉柄上』，分別測其重量、重心位置。

#### 實驗E

1.用針線縫連各壁報紙模型葉之葉寬兩邊的葉緣，使葉片規則性彎曲，線長控制在與原短軸長比為1、0.8、0.6、0.4、0.2。

2.縫連各壁報紙模型葉之葉長兩邊葉緣，使葉片規則性彎曲，線長控制在與原短軸長比為1、0.9、0.8、0.7、0.6。

#### 實驗F

設定水平為零度，改變葉片放置角度，傾斜時以葉柄在上葉尖朝下，並定義方向為（-）；另葉尖在上葉柄朝下，則定義方向為（+），控制傾斜角各為0、15、30、45、90度。

實驗三的實驗結果與實驗四的合併討論：

#### （四）實驗四：

探討模型葉在不同風速、水平放置及2公尺高的條件下，自由落下的運動狀態。作法為：將電風扇放置在木架旁，使風向(1)與葉中肋成垂直。(2)直吹葉柄，(3)直吹葉尖；控制風速為無風、弱風（3檔）、中風（2檔）、強風（1檔）。

※實驗三、四結果與討論：由於數據太多（略），故列表摘要如下：

結果	葉形寬、窄	單位面積重
落地時間	1. 葉形愈寬，飄浮時間愈長。 葉形愈細長，落地時間愈短。 2. 若葉片彎曲，則窄葉片比寬葉片落地時間長。	1. 單位面積重量愈重，葉片的落地時間愈短。 2. 單位面積重量愈輕，飄浮在空中時間愈長。
對 X 軸滾轉	1. 葉形愈寬對 X 軸滾轉頻率愈低。 2. 無論葉形寬窄，在葉片對 x 軸彎曲後，對 x 軸滾轉情形驟降。 3. 葉片傾斜時寬葉片對 x 軸滾轉增多；窄葉片反而減少。	1. 質地輕-尤其是細長的葉片，X 軸滾轉頻率高，重的不易滾轉。 2. 葉片彎曲後滾轉較難，甚至於機率近 0。
對 Y 軸傾翻	1. 葉形寬闊容易對 Y 轉傾翻。 2. 葉片傾斜時 y 軸傾翻機率變多。	1. 傾斜度愈大，對 y 軸傾翻機率愈大。 2. 葉片對 y 軸愈彎曲，對 y 軸傾轉機率愈降低。
對 Z 軸旋轉	1. Z 軸旋轉較少發生，葉形愈細長，對 Z 軸旋轉頻率愈高。 2. 葉形較窄，風力愈大時，對 z 軸的旋轉愈多。	1. 葉形對 x-軸彎曲後，對 z 軸旋轉機率增加。 2. 葉形對 y 軸彎曲後，對 z 軸旋轉機率降低。
總轉動次數	1. 愈細長愈易轉動、次數也愈多。 2. 窄橢圓及細長形常出現對 X 軸滾轉或伴隨 Z 軸旋轉。 3. 其餘三種寬葉片，常見對各軸向轉動及擺動交錯或前後出現	1. 質地輕的機率較大。 2. 質地重的葉片，穩定性高不易轉動。 3. 葉形彎曲後，總轉動次數降低

滑動距離	1. 葉形愈寬闊，滑動距離愈長。 2. 葉形愈細長，滑動距離愈短。 3. 有風時，滑動距離較長。	葉柄轉動力矩愈大，滑落距離愈長-限制葉柄重量在全葉重 1/3 以內
方向性	重心與平面中心在同一點時，落點方向不定。	葉片彎曲度增加，定點降落機率增加。
前後擺動	1. 質地輕的葉片中，寬葉片擺動次數多、擺幅也較大；細長形葉片不易擺動。 2. 葉柄轉動力矩愈大(葉柄愈重)、愈細長，擺動現象加劇。	1. 質地輕的易擺動。 2. 風力愈大擺動次數愈多 3. 葉柄轉動力矩愈大，擺動增加-限制葉柄重量在全葉 1/3 以內。

## 六、原理與原則

1. 當葉片彎曲後，重心向下移動，葉片重心在下方，故穩定性增加，不易滾轉及傾翻。惟葉片下落時，空氣阻力與葉緣作用，造成對 Z 軸旋轉運動機率增加，因而葉片落在中心點的機率也相對提升。

2. 葉片單位面積重越大，轉動慣量越大，越不易旋轉。故其旋轉總合越小(對不同的葉形)(假設：面積相同，重量平均分佈)。

3. 短軸／長軸(葉寬)對於繞各軸旋轉趨勢之影響：

(1) 葉片落下時相對氣流的流場示意圖如右圖。

(2) 右圖顯示葉片的邊緣部份受氣流影響最大。

(3) 葉片最易變形的部份也是邊緣部份。

(4) 橢圓形紙模型的轉動慣量：(參考 1)。

$$I_{xx} = 1/4ma^2 = 1/4d \cdot \pi \cdot a \cdot b \cdot a^2 = 1/4d \pi a^3 b$$

[設 d：單位面積重；a：半短軸長=1/2短軸長(1/2葉寬)；

b：半長軸長=1/2長軸長(1/2葉長)且 b 固定]

$$I_{yy} = 1/4mb^2 = 1/4d \pi ab^3 ; \quad I_{zz} = 1/4m(a^2+b^2) = 1/4d \pi ab(a^2+b^2)$$

則橢圓之  $I_{xx}$  及  $I_{zz}$  均成  $a^3$  的關係而變化。

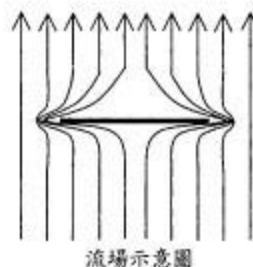
(5) 對短軸或長軸值相同的各葉片紙模型，若其變型量相同，則相對氣流所產生的「使葉片紙模型旋轉」之力矩亦相同。

(6) 結合(4)、(5)，若 b 值固定，且葉片紙模型的變型量相同，則相對氣流產生的「使葉片模型旋轉」之力矩及角加速度關係為：

對 X 軸滾轉之力矩  $T_x$  隨 a 值成正比，

對 X 軸滾轉之角加速度  $\alpha_x$  隨  $a^3$  成反比。

同理： $T_y$  隨 a 成正比， $\alpha_y$  與 a 無關；



流場示意圖

$T_z$ 隨 $a$ 成正比， $\alpha_z$ 則隨 $a^2$ 增加而減少。

因此在 $b$ 值固定的情況下， $a/b$ 愈大（葉形寬闊）則 $\alpha_x$ 、 $\alpha_z$ 愈小；在相同的外來氣動力矩的影響下， $a/b$ 愈小（葉形細長），愈易繞 $X$ 、 $Z$ 旋轉；尤其由對 $X$ 軸滾轉更為明顯。

(7)愈輕的紙模型，對三軸的轉動慣量也愈小，愈易繞各軸旋轉。

4.對前述流暢的趨勢加以延伸，若葉片紙模型成彎曲狀況，則因氣動力效應在邊緣地帶較強，故與重心位置相比，其浮力中心相對在上，造成重心相對在下的穩定平衡狀態，因此我們可以推論：彎曲的葉片紙模型對 $X$ 軸滾轉及對 $Y$ 軸傾翻機率應較小。

5.在葉片下落的過程中，若因任何因素而導致葉片傾斜時，則葉片承受的空氣作用力示意如下：



(1)上列左圖為傾斜的平面葉片受力之側視圖，該圖顯示空氣作用力平行且均勻分布於重心兩側，因此沒有使葉片導正之力矩，故葉片呈現不穩定平衡狀態。

(2)中圖為傾斜的彎曲葉片受力之側視圖，顯示重心左側之空氣作用力比較接近垂直於葉片的左側（與右側相比），因此葉片左側的作用力較右側大，以致葉片承受了使葉片導正的力矩，因而呈現穩定平衡的狀態。當然葉片也就不易翻滾，這正是四周翹起的葉片如三角楓等，不易翻滾的原因。

(3)右圖為由(2)所連想到的創意物體的側視圖，該物體由兩個平面垂直連接而成。若該物體在空氣中傾斜落下時，則上半部所承受的作用力亦產生一可使該物體導正的力矩。故該物體也是一種穩定平衡的構型。

## 七、玩具設計與預測各種葉片飄落運動狀態

### （一）玩具設計及原理依據：

從上述原理原則可知不易對 $X$ 軸及 $Y$ 軸翻滾且平穩落下的物體其構型應符合下列條件：

1.  $X$ 軸及 $Y$ 之軸長接近且中心部位低（或周圍高）、重心低。



2. 物體的上半部有一垂直平面。

## (二) 玩具製作：

我們根據上述條件 1 設計“三角風車”及“微笑轉輪”兩件玩具；根據上述條件 2 製作“不倒小貓”一件玩具（參考 8）。製作方法、原理及玩法簡述如下：

### 1. 三角風車的製作、原理及玩法：

(1) 取三條長 21 公分寬 3 公分紙片（長寬均可自行調整）並自長度中點對摺，成為長 10.5 公分寬 3 公分三條夾層紙片。

(2) 依序將每一夾層紙片開口端的兩層紙自另一夾層紙條開口端的兩層紙之間穿過，並依序、逐次將三張夾層紙條的開口端拉出，直到拉緊使三張夾層紙片結合在一起，而完成製作。

(3) 三角風車共有四個頂點。其中一個係三張夾層紙片聯結的頂點，稱為車頂；另外三個頂點均為夾層紙片的開口端，稱為葉頂；自車頂至葉頂的三個平面稱為葉面。靠近車頂部份的葉面為兩張夾層紙片重疊，因此風車重心較接近車頂。

(4) 設車頂為座標原點，Z 軸自原點垂直通過三個葉頂所構成的平面。若將車頂向下，我們很容易看出：三角風車的重心在下、浮力中心在上成穩定平衡；三個葉片繞 Z 軸均勻分布，故僅能產生對 Z 軸的旋轉力矩。

我們將風車自二樓隨意（以任何姿態）放下，它都能自行調整車頂在下的姿態、像陀螺般繞 Z 軸旋轉並鉛垂落地。

### 2. 微笑轉輪的製作、原理及玩法：（參見右圖）

(1) 取圓形紙片，將座標原點設在圓心，X-Y 平面在紙面上，Z 軸通過圓心並垂直向上。

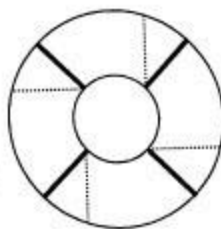
(2) 將圓周均分成數等分（可自行設定），並將每一等分自圓周沿實線割開，再將割開的每一等分沿線虛向上摺起。當然也可以沿虛線割開，沿實線向上摺起。

(3) 在圓心處黏上少許紙黏土，即完成製作。

(4) 將微笑轉輪自某一高度平平放下，就會繞 Z 軸慢慢旋轉且搖晃地落到地面。

### 3. 不倒小貓的製作、原理及玩法：

製作方法參見右圖（參考 8）；將小貓自某一高度放下時，不論正放或倒放，小貓都能正立落地。道理很簡單，參考原理原則 5.(3) 就可了解：不倒小貓是穩定平



●紙輪的做法：  
畫一貓的形狀，用剪刀剪下。



(參考 8)

帶下的方法：



圖向上，腳在下的做法。

紙輪朝下，腳在下的做法。

平衡型，當然不會倒啊！

### (三) 實驗討論：

#### 1. 三角風車特性探討：

實驗結果討論	葉面長度	材質(重量)
落地時間	葉面愈短落地時間愈快	愈重落地時間愈快。
擺動現象	不擺動	不擺動
滑動距離	不明顯，且都在中心點附近落地	不明顯，且在中心點附近落地
方向性	葉面愈短愈近鉛垂落地	※※※※
對 x、y 軸旋轉	不滾轉，不傾翻。	不滾轉，不傾翻。
對 z 軸旋轉	葉面愈長旋轉愈快速	愈重，旋轉愈慢。

#### 2. 微笑轉輪特性探討：

(1) 微笑轉輪扇葉越多、輪面微彎，則轉速越快。

(2) 微笑轉輪的周邊翹起、重心在下成穩定平衡狀態，且僅可產生繞 Z 軸旋轉的力矩。

(3) 摺起部份的面積及角度愈大，轉速也愈快；所加紙黏土越重則落地時間越短，且較不易搖晃。

### (四) 遊戲—葉子滑翔翼—誰滑得最遠又最直？

#### 1. 方法：

(1) 依據實驗的經驗，摘取47片樹葉，分類、編號。

(2) 每片葉片葉柄朝前，於1.5公尺高水平自由落下五次，取滑得最遠、最近直線前進的一次，紀錄成績並比較葉片特性。

#### 2. 結果：前13名者：

名次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
葉名	倫桃第	倫桃第	欖仁葉	欖仁葉	倫桃第	倫桃第	倫桃第	黑板樹	芒果葉	櫻花葉	9號	13號	8號
滑行距離	206 cm	162 cm	150 cm	146 cm	138 cm	122 cm	120 cm	116 cm	106 cm	99 cm	89 cm	72 cm	70 cm
葉形	倒卵形	倒卵形	倒卵形	倒卵形	倒卵形	倒卵形	倒卵形	正卵形	正卵形	倒卵形	細橢圓	正卵形	細橢圓



3.討論：前7名的樹葉皆為倒卵形，且對X軸微彎曲，葉柄較重。桃倫第因為質地較輕，所以滑得最遠又近直線前進。

(五) 預測各種葉片飄落運動狀態：

我們將研究結果歸納整理，當對各種葉片特性及環境因素分析了解後，即可預測飄落運動狀態。參考指標如下表：

預測葉片運動參考指標表：

環境與葉片特性		落地時間	擺動次數	滑動距離	滑向葉柄方向	總轉動次數	對X軸滾轉	對Y軸傾翻	對Z軸旋轉
項目	量值								
葉形寬窄	正圓 ↓ 細長	長 ↓ 短	多 ↓ 不易	長 ↓ 短	—	少 ↓ 多	少 ↓ 多	多 ↓ 少	不容易 ↓ 容易
單位面積	重 ↓ 輕	短 ↓ 長	不易 ↓ 容易	—	—	少 ↓ 多	不易 ↓ 容易	—	—
葉柄重量 葉柄轉動力矩	大 ↓ 小	極大時 近鉛垂 落地 短→長	—	極大值 滑動距離=0 長→短	多 ↓ 少	—	—	—	—
葉片面積	大 ↓ 小	—	—	遠 ↓ 近	—	多 ↓ 少	—	不容易 ↓ 容易	—
對X軸彎曲	大 ↓ 小	短 ↓ 長	減少	減少	定點降落 機率增加	降低	不容易 接近不 滾動	驟降	增加
對Y軸彎曲	大 ↓ 小	短 ↓ 長	增加	減少	定點降落 機率增加	降低	降低	降低	降低
對x、y軸彎曲半徑	大 ↓ 小	長 ↓ 短	無	驟降	降低	—	不容易 接近不 滾轉	(同面) 接近不 傾翻 (異面) 驟增	快速 ↓ 慢
傾斜度	垂直 大→小	減少 ↓ —	降低	—	—	降低	減少 ↓ 增加	驟增 ↓ 增加	減少
風速、風向	大 ↓ 小	加快	增加量大 ↓ 增加量少	增加	側吹風力大會 改變原來飄落 方向	增加	增加量大 ↓ 增加量少	增加	增加量大 ↓ 增加量少

## 八、結論

(一) 在研究中，我們發現：

1. 葉形寬闊的葉片，對Y軸傾翻的機率大；葉形細長的葉片（如竹葉、相思樹），對X軸滾轉的機率大，且滾轉快速。

2. 葉柄轉動力矩大一葉柄重約全葉1/3以內、質地輕且對X軸微彎的倒卵形葉片，飄落方向一致可近直線滑動且滑行距離最遠，是葉子滑翔高手。這與紙飛機的形狀及原理相同（參考2-5）。

3. 楓、槭等掌狀葉，葉尖微翹且平面中心重心位置近同一點，故飄浮時間長，即使有風亦不易翻轉但易對Z軸旋轉，所以此類葉片在秋冬枯黃飄零時，是大家公認詩情畫意的美景。

4. 三角風車及微笑轉輪的浮力中心相對在重心之上，故平衡性高；因扇片旋轉故更加平穩。這與項3楓、槭的原理相同。

(二) 影響葉片飄落運動狀態的變因有：

重量、形狀、平面中心、面積、重心、寬窄比例、自然彎曲度及環境中因素（如：風力、風向）…等。雖然我們可以根據實驗經驗、葉片特性及客觀環境條件，來預測葉片飄落運動狀態，但若在上述諸多變因的交互作用下，葉片飄落運動狀態變化萬千，故仍然不能做絕對正確的判斷。

(三) 由此研究：

我們更覺得自己的不足，因為我們更驚訝造物主的奇妙，每一片葉子的飄落都是一次驚奇！一聲驚嘆！有趣又好玩。落葉飄飄何所似——葉片小精靈秀！秀！秀！

## 九、參考資料

1. P.427工程力學，動力篇：編著 巫垂晃，南宏圖書有限公司。
2. PP.60-61，會旋轉的紙飛機，小牛頓兒童科學園地109期，牛頓出版股份有限公司。
3. PP.66-67實現飛行的的翅膀—滑翔翼，小牛頓兒童科學園地102期，牛頓出版股份有限公司。
4. 空氣的浮力，何林墾編著，學生科學文庫第一輯109冊，維新書局。
5. 空氣的流動，何林墾編著，學生科學文庫第一輯110冊，維新書局。
6. PP.16-21及PP.72-74，用乒乓球來作實驗，科學才藝教室2下篇，有趣的

科學實驗，美勞教育出版社。

7.PP.22-23及P.72用紙來作實驗，科學才藝教室2下篇，有趣的科學實驗，美勞教育出版社。

8.PP.52-55，光復科學圖鑑 自然科實驗，光復圖書股份有限公司。

## 附件：葉片釋放實驗架研究製作說明書

### 一、研製動機：

我們發現實驗初期的結果非常散亂，主要原因為每次釋放葉片初始姿態不同及因為手痠，雙手跟著葉片放下。因此我們突破各種困難並經多次改良，完成實驗架的設計製作。

### 二、要求條件：

- 1.葉片可以每次以相同的姿態放在相同的位置。
- 2.只需輕拉機關，就可釋放葉片。
- 3.可以調整高度、水平及傾斜角。

### 三、實驗架組成構想及製作摘要：

我們的實驗架由下支撐架、上支撐架、連接桿、量角器及葉片釋放彈力夾〔簡稱夾頭〕所組成，摘要說明如下：

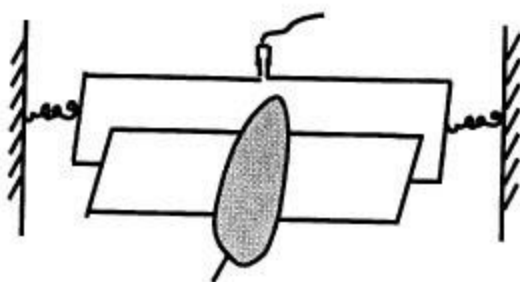
1.葉片釋放彈力夾〔簡稱夾頭〕：這是整個實驗架最主要的部分。我們的設計構想如下：

(1)作兩根C形鐵絲，並反向對放，葉片可放在上面。

(2)另用兩根L形鐵絲連接上述C形鐵絲。兩根L形鐵絲的外端以彈簧連接在固定座上；另作一小卡夾卡住L形鐵絲上端；再將小卡夾上綁一根細線（我們用的是釣魚線）。實驗時只要輕拉細線使小卡夾脫離，水平C形鐵絲就會向左右彈開，葉片自然落下。夾頭的整體構想如下圖：

(3)將上面完成的部份安裝在固定座上，就完成夾頭的製作，這個夾頭可以滿足要求條件1和條件2兩項需求。

2.上、下支撐架均由木棍釘製而成。用兩個C形夾結合在一起，以滿足可以調整高度的要求的要求。下支撐架底部有三個調整螺絲，以滿足可以調整水平的要求。



3. 連接桿由兩根舊自來水管成90度連接而成。水平的長管子以螺絲和項1的夾頭固定在一起，並卡在上支撐架上方的水平部分上，以使水平長管只能在卡槽內轉動，它的功用是帶動夾頭，以滿足調整傾斜角的要求。垂直的短管子有若角度指針及兼作角度固定的用途。量角器為在一塊合板上畫上角度而成的大量角器，並垂直固定在上支撐架的上方如此我們就可同時滿足傾斜角的調整及固定並可讀取角度值。

#### 四、實驗架組合：

組合後的實驗架如作品說明書中照片所示。

#### 五、結論：

我們所設計、改良及製作的實驗架已可滿足全部的要求條件。它不僅是這次科展實驗最重要的儀器，也是我們另一項創作的成果。好在我們作出來了，否則真不知實驗要如何作下去呢！

#### 評語

本件的特色可歸納如下：

1. 直接從日常生活中常人易觀察到卻又疏忽之問題下手：落葉運動看似簡單、實則複雜。
2. 作者思路細密，考慮到了各種可能性，並製作不同之葉片模型進行測試。
3. 完整性令人欣賞：從重心位置，葉片之平面特性及立體結構著手，完整做出各種性質的依賴性。

