

# 中華民國第 53 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國小組 物理科

080114

鐵扇公主之冰涼風熄火焰山

學校名稱：高雄市三民區十全國民小學

作者：	指導老師：
小六 陳孜霓	呂明吉
小五 張綺芸	黎懿瑩
小六 陳廷雅	
小五 黃宇秀	
小五 呂旻翰	

關鍵詞：冰涼扇、鋁扇、降溫

# 鐵扇公主之冰涼風熄火焰山

## 摘要

日本開發出一種不鏽鋼扇，浸水冰凍後可搨出像冷氣般涼風！我們對此節能減碳又能在炎夏保持涼爽的發明深感興趣，便設計實驗探討。

首先想知道哪種形狀的扇片能搨出較強風。實驗一、二知，以梯形的下底朝目標物搨動，可產生較強風。其中，我們設計了一較靈敏的單摺葉片風車，用以測量風力強弱。

再來，將不同材質梯形扇浸冷水、浸冰水和浸水冰凍，想知道哪種狀況下可搨出較涼風。實驗三～六得，降溫效果最佳的並非不鏽鋼扇，而是鋁扇。且扇片本身溫度愈低、鑽孔數愈多、厚度愈厚，對氣溫降溫效果愈佳。此外，我們另設計一種蠶絲紙扇，能降低氣溫最多，缺點是降溫時間很短。最後，我們發現降溫效果主要不是在大幅降低氣溫，而是在延長降溫持續時間。

## 壹、 研究動機

揮汗如雨的炙熱夏天，電視機前的我們看見令人眼睛一亮的新聞：日本開發出一種不鏽鋼的扇子，只要放在冷凍庫結冰，搨起來的效果就像吹冷氣一樣！到底是怎樣神奇的發明，可以節能減碳又在炎夏保持清涼呢？這讓我們幾個好朋友躍躍欲試，如果可以人手一把該有多好啊！

於是我們幾位感興趣的朋友就相約去請教老師，老師說剛好我們五下康軒版第三單元「熱的傳播與保溫」有提到相關的知識，要我們一起來設計實驗探討可以降溫又環保的神奇扇。

## 貳、 研究目的與問題

### 目的一、探討哪一種形狀的扇片所產生的風力較大

問題(一)、不同形狀的扇片在相同的搨動頻率下，吹動薄片所擺動的角度變化情形如何？

問題(二)、不同形狀的扇片在相同的搨動頻率下，吹動風車所轉動的角度變化情形如何？

### 目的二、探討哪一種材質的扇片能產生較涼的風

問題(三)、搨動不同材質的扇片，其前方位置的氣溫變化情形如何？

### 目的三、探討哪一種材質的扇片浸水後，能產生較涼的風

問題(四)、將浸泡過冷水的不同材質的扇片搨動，其前方位置的氣溫變化情形如何？

問題(五)、將浸泡過冰水的不同材質的扇片搨動，其前方位置的氣溫變化情形如何？

### 目的四、探討哪一種型式的扇片浸水冰凍後，能產生較涼的風

問題(六)、將不同材質的有孔扇片浸水冰凍後搨動，其前方位置的氣溫變化情形如何？

問題(七)、將不同鑽孔數的扇片冰凍後搨動，其前方位置的氣溫變化情形如何？

問題(八)、將不同厚度的有孔扇片冰凍後搨動，其前方位置的氣溫變化情形如何？

### 目的五、探討不同材質的扇片在不同的狀態下，其溫度變化情形

問題(九)、將不同材質的扇片分別浸冷水、浸冰水以及浸水冰凍後，取出靜置於室溫下，觀測其溫度變化情形如何？

### 參、 研究設備與器材



圖一 實驗裝置圖

各種形狀塑膠板扇片、自製搖擺器、自製測角器、自製風力測速器、三種不同葉片樣式的風車、白熾燈、銅板、鋁板、不鏽鋼板、壓克力板、蠶絲紙、熱電偶溫度計、紅外線溫度計、計時器、冷水、冰水、攝影機、電腦。

### 肆、 研究過程、方法、結果與討論

**問題一：**不同形狀的扇片在相同的振動頻率下，吹動薄片所擺動的角度變化情形如何？

**構想：**我們自製擺動扇片的裝置，將馬達的圓形軌跡經過連接改成直線來回運動軌跡，來穩定扇片擺動的頻率，以便操控實驗變因。

**實驗一、使用量角器來測量吹動薄片所擺動的角度變化**

**過程與方法：**

(一) 利用塑膠板製成重量相同但形狀不同的各式扇片，如下圖二所示。



圖二 重量相同但形狀不同的各式塑膠板扇片

(二) 依序將步驟(一)各式扇片裝置在自製搖擺器上。

(三) 打開馬達對準自製測角器上的薄片(如圖三)擺動，利用攝影記錄 10 秒鐘內，薄片被吹動所擺動的角度變化情形。



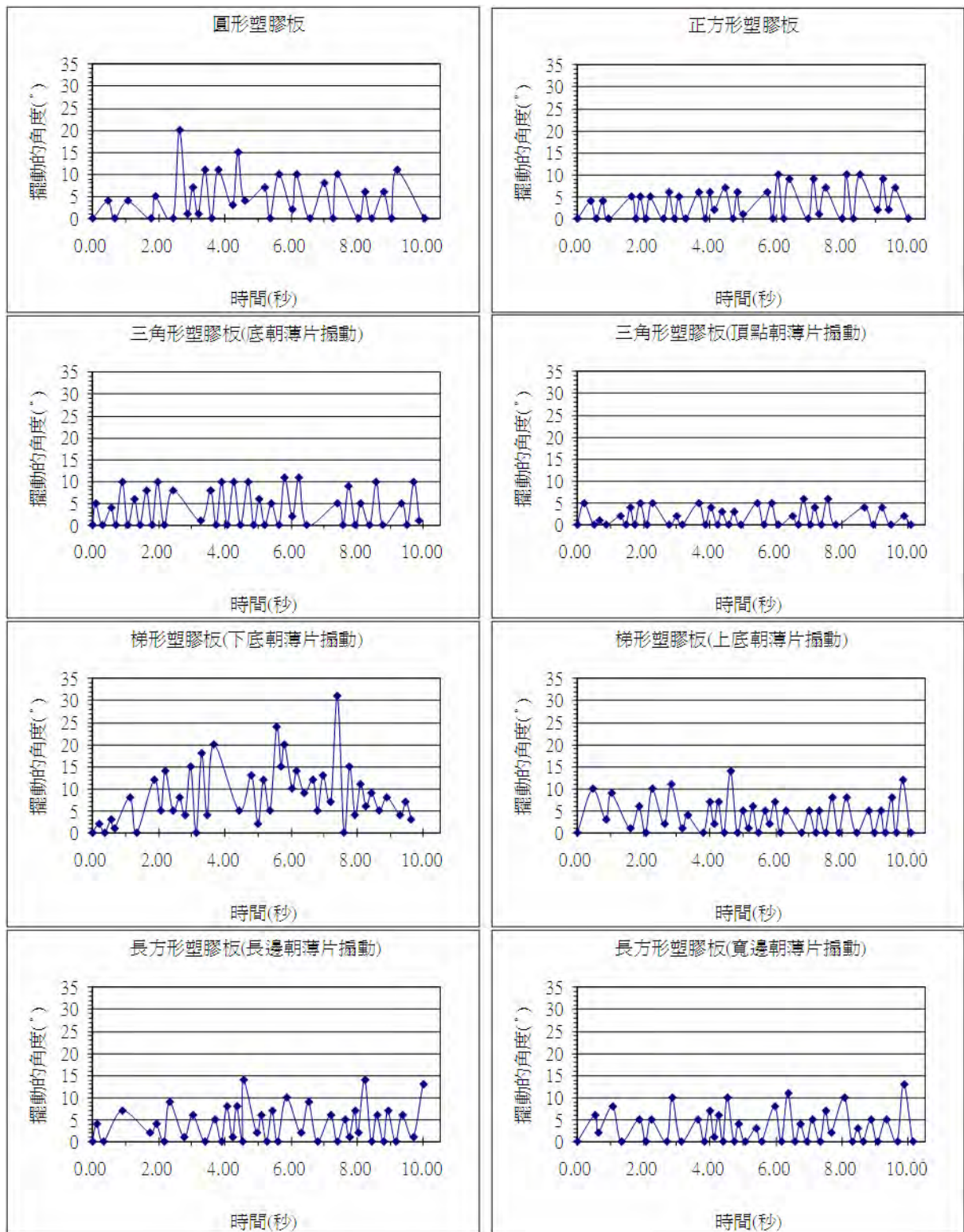
圖三 實驗一裝置圖

結果：

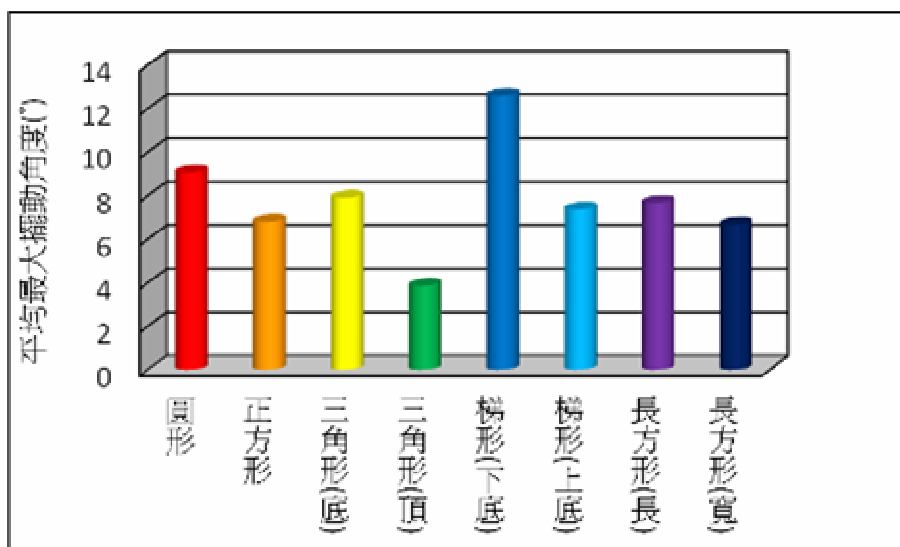
表一：振動各種不同形狀的塑膠扇片時，薄片在十秒內所擺動的相對最大和最小角度的變化情形

圓形	時間(秒)	0.00	0.47	0.67	1.07	1.77	1.90	2.43	2.63	2.87	3.03	平均 最大 角度 (°)
	擺動角度(°)	0	4	0	4	0	5	0	20	1	7	
	時間(秒)	3.20	3.40	3.60	3.80	4.23	4.40	4.60	5.20	5.37	5.63	
	擺動角度(°)	1	11	0	11	3	15	4	7	0	10	
	時間(秒)	6.03	6.17	6.57	7.00	7.27	7.40	8.03	8.23	8.43	8.80	
	擺動角度(°)	2	10	0	8	0	10	0	6	0	6	
	時間(秒)	9.03	9.20	10.03							9.06	
	擺動角度(°)	0	11	0								
正方形	時間(秒)	0.00	0.40	0.57	0.77	0.93	1.63	1.77	1.90	2.07	2.20	平均 最大 角度 (°)
	擺動角度(°)	0	4	0	4	0	5	0	5	0	5	
	時間(秒)	2.60	2.77	2.93	3.07	3.27	3.67	3.87	4.00	4.13	4.47	
	擺動角度(°)	0	6	0	5	0	6	0	6	2	7	
	時間(秒)	4.70	4.83	5.00	5.73	5.90	6.07	6.23	6.40	6.97	7.13	
	擺動角度(°)	0	6	1	6	0	10	0	9	0	9	
	時間(秒)	7.30	7.50	8.00	8.13	8.33	8.53	9.07	9.23	9.40	9.60	
	擺動角度(°)	1	7	0	10	0	10	2	9	2	7	
	時間(秒)	10.00									6.8	
	擺動角度(°)	0										
三角形 (底)	時間(秒)	0.00	0.10	0.30	0.57	0.70	0.90	1.07	1.27	1.43	1.63	平均 最大 角度 (°)
	擺動角度(°)	0	5	0	4	0	10	0	6	0	8	
	時間(秒)	1.80	1.97	2.17	2.43	3.27	3.57	3.73	3.90	4.07	4.27	
	擺動角度(°)	0	10	0	8	1	8	0	10	0	10	
	時間(秒)	4.47	4.70	4.87	5.03	5.20	5.40	5.63	5.80	6.03	6.23	
	擺動角度(°)	0	10	0	6	0	5	0	11	2	11	
	時間(秒)	6.47	7.40	7.57	7.73	7.93	8.10	8.37	8.57	8.77	9.33	
	擺動角度(°)	0	5	0	9	0	5	0	10	0	5	
	時間(秒)	9.50	9.70	9.87							7.9	
	擺動角度(°)	0	10	1								
三角形 (頂)	時間(秒)	0.00	0.20	0.50	0.67	0.87	1.30	1.47	1.60	1.73	1.90	平均 最大 角度 (°)
	擺動角度(°)	0	5	0	1	0	2	0	4	0	5	
	時間(秒)	2.10	2.27	2.77	3.00	3.17	3.67	3.87	4.03	4.23	4.37	
	擺動角度(°)	0	5	0	2	0	5	0	4	0	3	
	時間(秒)	4.57	4.73	4.93	5.43	5.63	5.87	6.07	6.50	6.67	6.83	
	擺動角度(°)	0	3	0	5	0	5	0	2	0	6	
	時間(秒)	7.03	7.17	7.37	7.57	7.80	8.67	8.93	9.20	9.47	9.87	
	擺動角度(°)	0	4	0	6	0	4	0	4	0	2	
	時間(秒)	10.07									3.85	
	擺動角度(°)	0										
梯形 (下底)	時間(秒)	0.00	0.20	0.37	0.57	0.67	1.13	1.33	1.87	2.07	2.20	平均 最大 角度 (°)
	擺動角度(°)	0	2	0	3	1	8	0	12	5	14	
	時間(秒)	2.43	2.63	2.80	2.97	3.13	3.30	3.47	3.67	4.43	4.80	
	擺動角度(°)	5	8	4	15	0	18	4	20	5	13	
	時間(秒)	5.00	5.17	5.37	5.57	5.70	5.80	6.03	6.17	6.40	6.67	
	擺動角度(°)	2	12	5	24	15	20	10	14	9	12	
	時間(秒)	6.80	6.97	7.20	7.40	7.60	7.77	7.93	8.10	8.27	8.43	
	擺動角度(°)	5	13	7	31	0	15	4	11	6	9	
	時間(秒)	8.67	8.90	9.30	9.47	9.63					12.6	
	擺動角度(°)	5	8	4	7	3						

梯形 (上底)	時間(秒)	0.00	0.47	0.87	1.03	1.60	1.87	2.07	2.27	2.63	2.83	平均 最大 角度 (°)
	擺動角度(°)	0	10	3	9	1	6	0	10	2	11	
	時間(秒)	3.17	3.33	3.80	4.00	4.13	4.27	4.43	4.63	4.83	5.00	
	擺動角度(°)	1	4	0	7	2	7	0	14	0	5	
	時間(秒)	5.17	5.30	5.47	5.67	5.80	5.97	6.13	6.30	6.77	7.00	
	擺動角度(°)	1	6	0	5	2	7	0	5	0	5	
	時間(秒)	7.20	7.30	7.50	7.70	7.90	8.13	8.43	8.80	8.97	9.17	
	擺動角度(°)	0	5	0	8	0	8	0	5	0	5	
	時間(秒)	9.30	9.50	9.63	9.83	10.07						
擺動角度(°)	0	8	0	12	0							
長方形 (長)	時間(秒)	0.00	0.13	0.33	0.90	1.73	1.93	2.17	2.33	2.77	3.03	平均 最大 角度 (°)
	擺動角度(°)	0	4	0	7	2	4	0	9	1	6	
	時間(秒)	3.40	3.70	3.90	4.07	4.23	4.37	4.53	4.57	4.97	5.10	
	擺動角度(°)	0	5	0	8	1	8	0	14	2	6	
	時間(秒)	5.27	5.43	5.60	5.87	6.30	6.53	6.80	7.20	7.40	7.63	
	擺動角度(°)	0	7	0	10	2	9	0	6	0	5	
	時間(秒)	7.77	7.93	8.03	8.23	8.43	8.60	8.80	8.93	9.17	9.37	
	擺動角度(°)	1	7	2	14	0	6	0	7	0	6	
	時間(秒)	9.70	10.00									
擺動角度(°)	1	13										
長方形 (寬)	時間(秒)	0.00	0.53	0.63	1.07	1.33	1.87	2.07	2.23	2.70	2.87	平均 最大 角度 (°)
	擺動角度(°)	0	6	2	8	0	5	0	5	0	10	
	時間(秒)	3.13	3.63	3.83	4.00	4.13	4.27	4.40	4.53	4.73	4.87	
	擺動角度(°)	0	5	0	7	1	6	0	10	0	4	
	時間(秒)	5.07	5.40	5.57	5.97	6.17	6.37	6.57	6.73	6.93	7.10	
	擺動角度(°)	0	3	0	8	0	11	0	4	0	5	
	時間(秒)	7.33	7.50	7.67	8.07	8.30	8.47	8.63	8.87	9.07	9.33	
	擺動角度(°)	0	7	2	10	0	3	0	5	0	5	
	時間(秒)	9.67	9.87	10.13								
擺動角度(°)	0	13	0									



圖四 擺動各種不同形狀的塑膠扇片時，薄片在十秒內所擺動的相對最大和最小角度的變化情形



圖五 煽動各種不同形狀的塑膠扇片時，薄片在十秒內所擺動的平均相對最大角度

- (一) 以下底朝薄片吹動的梯形塑膠板，所測得的擺動角度最大，平均最大角度達  $12.6^\circ$ ；以圓形塑膠板吹動薄片所測得的擺動角度為其次，平均最大角度達  $9.06^\circ$ 。
- (二) 以底朝薄片吹動的三角形塑膠板，所擺動的角度大於以頂點朝薄片吹動；以長邊朝薄片吹動的長方形塑膠板，所擺動的角度大於以寬邊朝薄片吹動的；以下底朝薄片吹動的梯形塑膠板，所擺動的角度大於以上底朝薄片吹動的。

#### 研究討論：

- (一) 因為用手來煽扇片無法使力道和速度每一次都保持穩定，為了做好控制變因，我們必須開發出自動搖擺器裝置。於是我們由手腳連動式健身車啟發了靈感，一開始我們用樂高積木組合了一個煽扇片的裝置，如圖六。沒想到原本擺動得很順暢的樂高裝置，加上扇片的重量之後竟然產生了很大的摩擦力，不但速度緩慢，而且常常脫落。後來，我們改用木條和螺絲來組合，做出了比較堅固的搖擺器裝置，並利用槓桿原理使得扇片達成平衡，以減少擺動時的摩擦力，如圖七。



圖六 樂高積木電動搖擺器



圖七 自製電動搖擺器

- (二) 為了做好各種形狀的扇片重量相同的控制變因，我們利用各種形狀的面積公式來計算，使得各種形狀的扇片面積相等。
- (三) 一般而言，塑膠扇片朝向薄片的邊長較長、高較大，則煽動時所產生的風較強。
- (四) 實驗結果顯示，薄片擺動的角度和頻率沒有很穩定，我們認為這是因為薄片本身擺動的頻率和扇片擺動的頻率不一致，造成有時加成、有時抵消。因此我們考慮再找另一種方式來進行測量。

問題二：不同形狀的扇片在相同的煽動頻率下，吹動風車所轉動的角度變化情形如何？

實驗二之一、製作雙摺、單摺、以及無摺的風車葉片，比較三種風車的轉動情形

構想：我們想用風車的轉動情形來找出哪一種形狀的扇片產生較大的風力。但是我們煽動扇片的速率不快，風力不大，所以必須設計出較靈敏的風車才能進行測量。

過程與方法：

- (一) 利用投影片製成形狀相同但摺痕不同的三種風車葉片，如下圖八所示。
- (二) 將梯形塑膠扇片裝置於自製搖擺器上。



圖八 三種不同摺痕的風車葉片



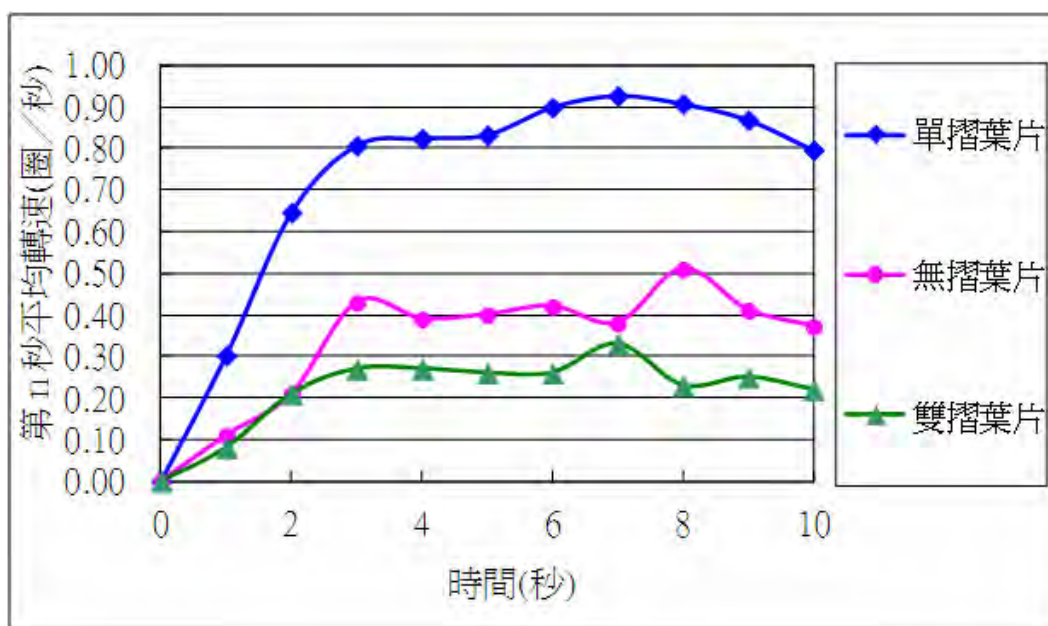
圖九 實驗二之一裝置圖

- (三) 依序將步驟(一)各式風車裝置於扇片前方的自製風力測速器上，如圖九。
- (四) 打開電源開關，利用攝影記錄 10 秒鐘內風車被吹動所轉動的角度變化情形。

結果：

表二：三種不同摺痕的風車葉片受到梯形塑膠扇片吹動時，所轉動的角度變化情形

	時間	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
無摺葉片	角度(°)	0	41	117	270	409	552	703	839	1021	1169	1303
	第 n 秒平均轉速(圈/秒)	0.00	0.11	0.21	0.43	0.39	0.40	0.42	0.38	0.51	0.41	0.37
單摺葉片	角度(°)	0	109	342	633	930	1230	1554	1888	2215	2528	2815
	第 n 秒平均轉速(圈/秒)	0.00	0.30	0.65	0.81	0.83	0.83	0.90	0.93	0.91	0.87	0.80
雙摺葉片	角度(°)	0	27	101	199	296	389	482	600	684	775	855
	第 n 秒平均轉速(圈/秒)	0.00	0.08	0.21	0.27	0.27	0.26	0.26	0.33	0.23	0.25	0.22



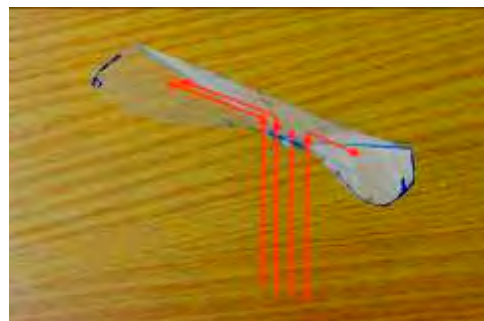
圖十 三種不同摺痕的風車葉片的第 n 秒平均轉速的變化情形



- (一) 單摺葉片的風車轉動較穩定，轉速較快，每秒平均轉速最高達 0.93 圈／秒。
- (二) 雙摺葉片的風車轉速較慢，每秒平均轉速最高只達 0.33 圈／秒。

**研究討論：**

- (一) 爲了方便測量轉動的角度，我們將六個葉片組合成一風車，每轉動一個葉片表示轉了 60 度。我們又將每個葉片畫分成六個區塊，每轉動一個區塊表示轉了 10 度。
- (二) 三種不同摺痕的風車葉片受到風力吹動時之受力情形不同，導致轉動的速率也不同。當風吹向葉片，氣體會向左右分流，向右流的空氣遇到右邊摺片會使風車順時針方向轉動，而向左流的空氣遇到左邊摺片，反而使風車朝逆時針方向轉動，所以才會造成雙摺葉片的風車轉速最慢，如右圖十一所示。
- (三) 由於單摺葉片的風車轉速較快，轉動較穩定、靈敏，因此選擇單摺葉片的風車來當作以下實驗的測量工具。



圖十一 雙摺葉片風車受到風力吹動受力情形

**實驗二之二、在不同形狀的扇片煽動下，測量風車轉動的角度變化情形**

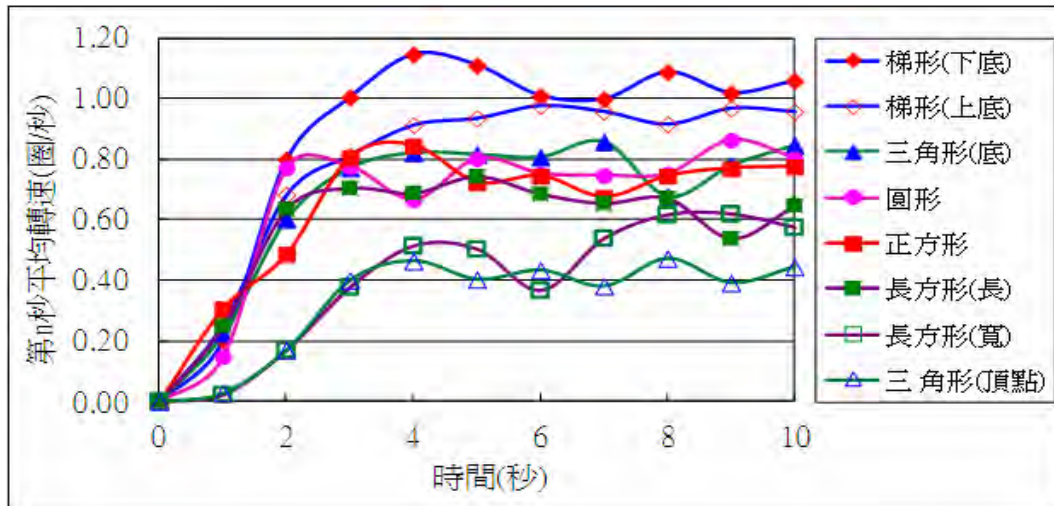
**過程與方法：**

- (一) 依序將各式塑膠板扇片裝置在自製搖擺器上。
- (二) 將單摺葉片的風車置於扇片前，然後開啓電源，利用攝影記錄 10 秒鐘內風車被吹動所轉動的角度變化情形。

**結果：**

表三：煽動各種不同形狀的塑膠扇片時，風車在十秒內的第 n 秒平均轉速變化情形

		時間(秒)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
圓形	角度(°)	0	53	331	610	850	1139	1410	1679	1950	2261	2550	
	第 n 秒平均轉速(圈/秒)	0.00	0.15	0.77	0.78	0.67	0.80	0.75	0.75	0.75	0.86	0.80	
正方形	角度(°)	0	110	285	575	879	1139	1407	1650	1918	2195	2474	
	第 n 秒平均轉速(圈/秒)	0.00	0.31	0.49	0.81	0.84	0.72	0.74	0.68	0.74	0.77	0.78	
三角形 (底朝風車)	角度(°)	0	80	297	575	871	1165	1456	1765	2009	2290	2595	
	第 n 秒平均轉速(圈/秒)	0.00	0.22	0.60	0.77	0.82	0.82	0.81	0.86	0.68	0.78	0.85	
三角形 (頂點朝風車)	角度(°)	0	10	71	215	382	527	683	820	990	1131	1291	
	第 n 秒平均轉速(圈/秒)	0.00	0.03	0.17	0.40	0.46	0.40	0.43	0.38	0.47	0.39	0.44	
梯形 (下底朝風車)	角度(°)	0	73	361	723	1136	1536	1900	2260	2652	3020	3400	
	第 n 秒平均轉速(圈/秒)	0.00	0.20	0.80	1.01	1.15	1.11	1.01	1.00	1.09	1.02	1.06	
梯形 (上底朝風車)	角度(°)	0	92	338	631	960	1297	1649	1994	2324	2673	3018	
	第 n 秒平均轉速(圈/秒)	0.00	0.26	0.68	0.81	0.91	0.94	0.98	0.96	0.92	0.97	0.96	
長方形 (長邊朝風車)	角度(°)	0	89	318	572	820	1088	1335	1571	1813	2007	2240	
	第 n 秒平均轉速(圈/秒)	0.00	0.25	0.64	0.71	0.69	0.74	0.69	0.66	0.67	0.54	0.65	
長方形 (寬邊朝風車)	角度(°)	0	8	69	205	390	571	703	897	1119	1342	1549	
	第 n 秒平均轉速(圈/秒)	0.00	0.02	0.17	0.38	0.51	0.50	0.37	0.54	0.62	0.62	0.58	



圖十二 煽動各種不同形狀的塑膠扇片時，風車在十秒內的第 n 秒平均轉速變化情形

- (一) 以下底朝風車吹動的梯形塑膠板，所測得的每秒平均轉速最快，最大達 1.15 圈／秒。而以上底朝風車吹動的梯形塑膠板，所測得的每秒平均轉速次快，最大達 0.98 圈／秒。
- (二) 以三角形的頂點朝風車吹動時，所測得的每秒平均轉速最慢，都在 0.5 圈／秒以下。

**研究討論：**

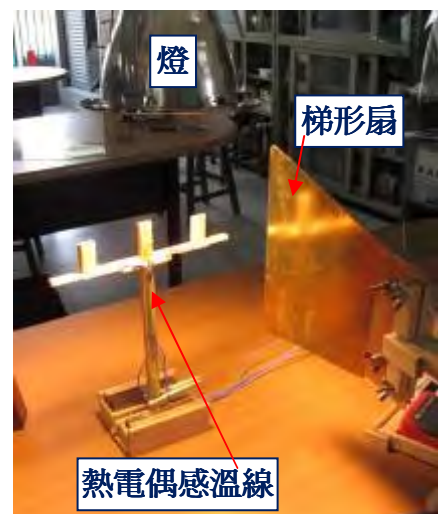
- (一) 實驗一和實驗二之二的結果並沒有完全一致，這是因為實驗一所測得的是局限於小範圍(薄片)的風力大小。而本實驗二之二所測得的風力是屬於較大範圍(風車)的整體表現。
- (二) 由實驗一和實驗二之二的結果都顯示，以梯形的下底來煽動的效果最佳，因此以下實驗的扇片皆以這種形狀來進行。

**問題三：煽動不同材質的扇片，扇片前方位的氣溫變化情形如何？**

**實驗三、在不同材質的扇片煽動下，用熱電偶溫度計測量前方位的氣溫變化情形**

**過程與方法：**

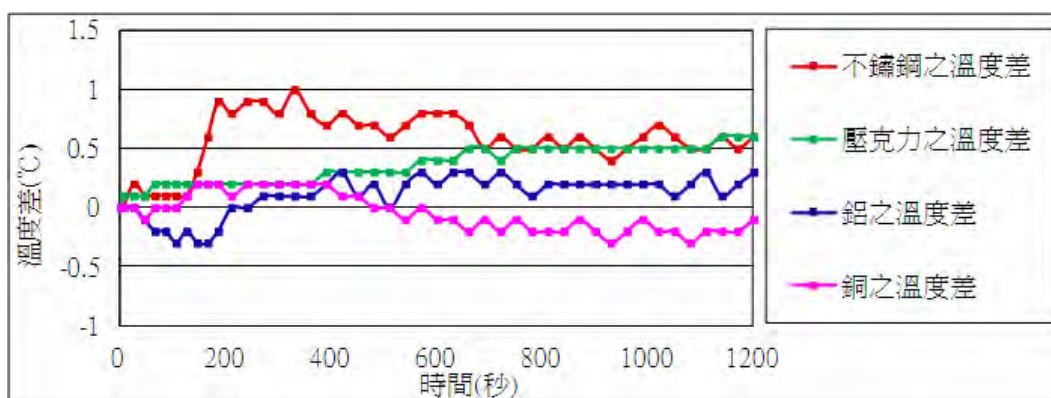
- (一) 利用壓克力、鋁、不鏽鋼和銅，做成相同形狀的梯形扇。
- (二) 在 100W 白熾燈泡照射下，依序將步驟(一)的四種梯形扇裝置於自製搖擺器上，打開電源，將梯形扇對準前方的熱電偶溫度計煽動。
- (三) 利用攝影記錄 20 分鐘內扇片前方的氣溫變化以及扇片本身的溫度變化情形，如圖十三。



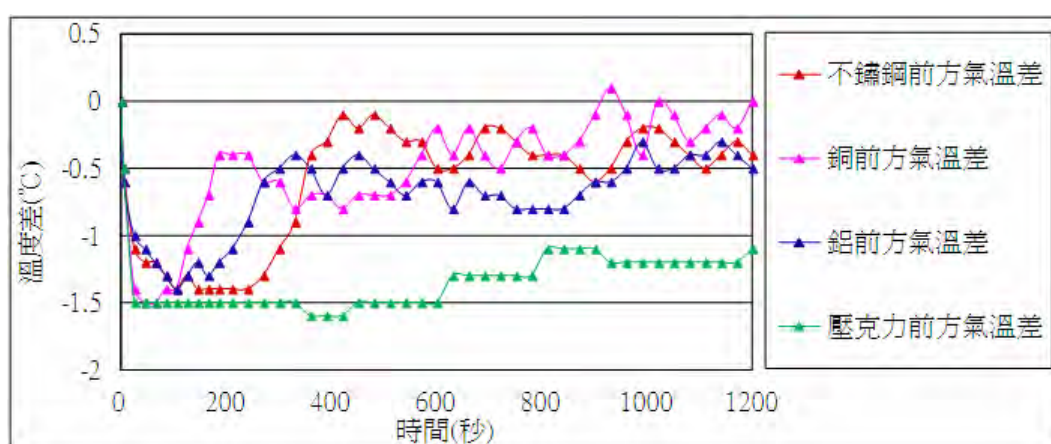
圖十三 實驗三裝置圖

## 結果：

(因實驗數據太多，僅列於實驗日誌裡)



圖十四 各種梯形扇振動時的表面溫差變化情形



圖十五 振動各種梯形扇前方的氣溫差變化情形

- (一) 振動壓克力板使氣溫下降的效果最好，最低降了  $1.6^{\circ}\text{C}$ ，且降溫時間持續最久。
- (二) 振動銅板雖然也使氣溫最多下降了  $1.5^{\circ}\text{C}$ ，但降溫時間持續較短，約三分鐘。
- (三) 振動不鏽鋼板使氣溫最多下降了  $1.4^{\circ}\text{C}$ ，降溫時間持續約六分鐘。
- (四) 振動鋁板使氣溫最多下降了  $1.4^{\circ}\text{C}$ ，降溫時間持續約四分半。
- (五) 不鏽鋼板表面的溫度較容易上升。

## 研究討論：

- (一) 本實驗必須照燈泡來產生熱以模擬太陽，如果不用燈泡，無論梯形扇如何振，氣溫幾乎都沒變化。
- (二) 我們在教室裡測量氣溫，是屬於開放的空間，起初測得的氣溫變化起伏很大，後來我們將教室門和窗戶都關閉來進行實驗，測量結果才大有改善。
- (三) 本實驗結果以壓克力板的降溫效果較好，我們認為是，因壓克力板是熱的不良導體，不易受到白熾燈的照射而升高表面溫度，所以使氣溫下降的維持時間較長。而金屬板是熱的良導體，受到白熾燈的照射後，表面溫度容易上升，所以使氣溫下降的維持時間會較短。
- (四) 鋁和銅的散熱效果比不鏽鋼好，所以鋁和銅的表面溫度較不易上升，而不鏽鋼的表面溫度上升較多。

(五) 銅、鋁和不鏽鋼板容易吸熱和放熱，所以造成的溫度差變化起伏較大，而壓克力板不易吸熱和放熱，所以造成的溫度差變化起伏較小。

**問題四：將浸泡過冷水的不同材質的扇片搨動，扇片前方位置的氣溫變化情形如何？**

**構想：**我們想讓梯形扇本身的溫度不要上升太快，所以將各種梯形扇浸入冷水後再重複進行實驗。

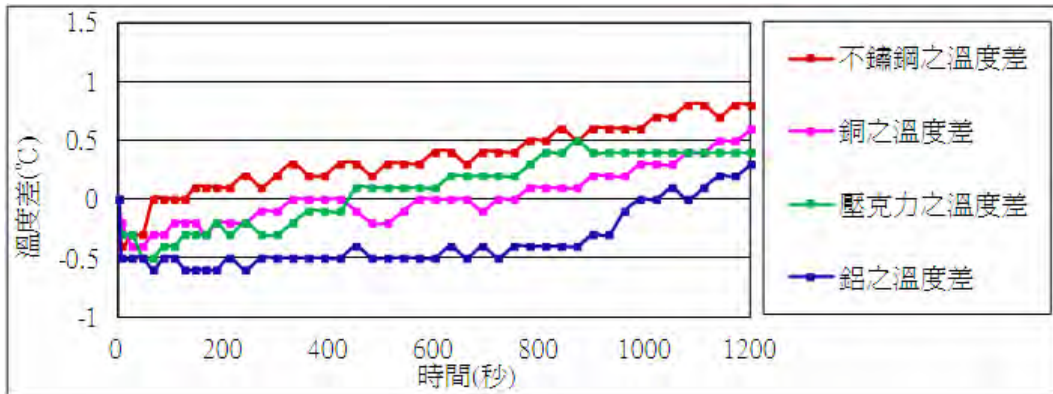
**實驗四、將浸泡過冷水的不同材質的扇片搨動，用熱電偶溫度計測量扇片前方位置的氣溫變化情形**

**過程與方法：**

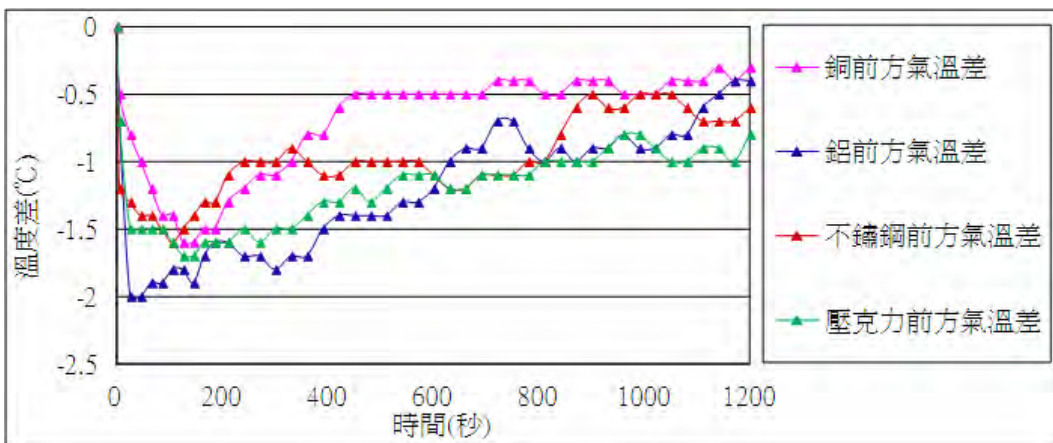
- (一) 將四種不同材質的梯形扇先後浸入室溫(約 24°C)的冷水中。
- (二) 分別取出步驟(一)的梯形扇，然後重複實驗三步驟(二)和(三)進行實驗與測量。

**結果：**

(因實驗數據太多，僅列於實驗日誌裡)



圖十六 各種浸過冷水的梯形扇搨動時的表面的溫差變化情形



圖十七 搨動各種浸過冷水的梯形扇前方的氣溫差變化情形

- (一) 所有的梯形扇都使得氣溫有明顯的下降，其中以搨動鋁板使氣溫下降的效果最好，最低降了 2°C。氣溫下降效果其次的是壓克力板，最低降了 1.7°C。再其次是不鏽鋼板和銅板，都是最低降了 1.6°C，但是銅板的降溫時間持續較短。
- (二) 所有的梯形扇本身的表面溫度，一開始都是先下降，然後再慢慢上升，其中以鋁板的表面溫度下降最明顯，而以不鏽鋼板的表面溫度上升較多。

### 研究討論：

- (一) 因梯形扇表面有水，水蒸發會吸收梯形扇本身和周圍空氣的熱量，所以使得梯形扇本身和周圍空氣的溫度有下降的情形。
- (二) 本實驗結果是鋁板的降溫效果比壓克力板好些，這是因為板面上的水蒸發時較容易從鋁板帶走熱量，而較不易從壓克力板帶走熱量所致。

### 問題五：將浸泡過冰水的不同材質的扇片搨動，扇片前方位置的氣溫變化情形如何？

**構想：**我們想降低梯形扇一開始的溫度，所以將各種梯形扇浸入冰水後再重複進行實驗。

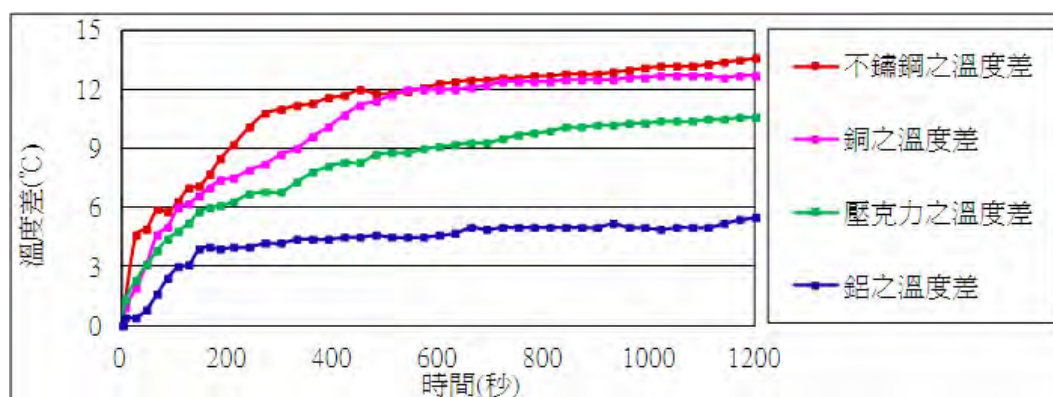
### 實驗五、將浸泡過冰水的不同材質的扇片搨動，用熱電偶溫度計測量扇片前方位置的氣溫變化情形

#### 過程與方法：

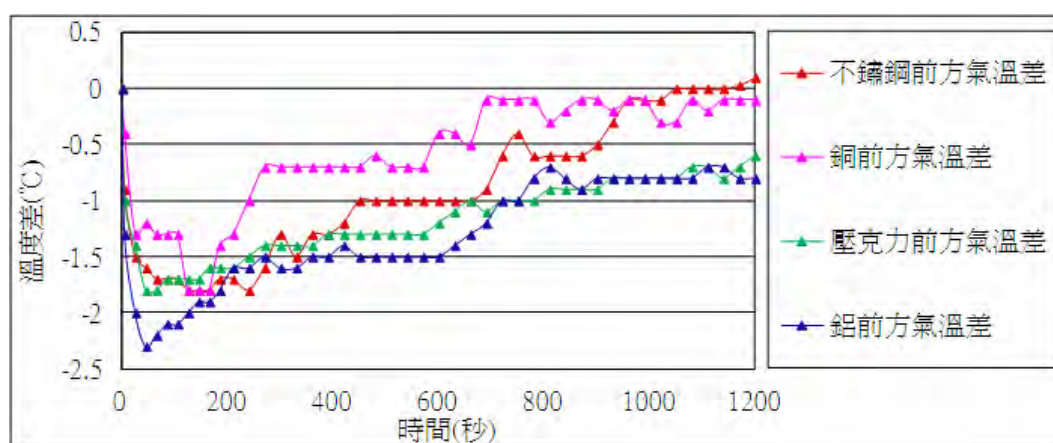
- (一) 將四種不同材質的梯形扇先後浸入約  $10^{\circ}\text{C}$  的冰水中。
- (二) 分別取出步驟(一)的梯形扇，然後重複實驗三步驟(二)和(三)進行實驗與測量。

#### 結果：

(因實驗數據太多，僅列於實驗日誌裡)



圖十八 各種浸過冰水的梯形扇搨動時的表面的溫差變化情形



圖十九 搨動各種浸過冰水的梯形扇前方的氣溫差變化情形

- (一) 所有的梯形扇都使得氣溫有明顯的下降，其中以搨動鋁板使氣溫下降的效果最好，最低降了  $2.3^{\circ}\text{C}$ 。氣溫下降效果其次的是壓克力板，最低降了  $1.8^{\circ}\text{C}$ 。再其次是不鏽鋼板和銅板，都是最低降了  $1.8^{\circ}\text{C}$ ，但是銅板的降溫時間持續較短。

(二) 所有的梯形扇本身的表面溫度，都是緩慢上升，其中以鋁板的表面溫度上升較少，而以不鏽鋼板的表面溫度上升較多。

**研究討論：**

(一) 我們將梯形扇先浸入約 10°C 左右的冰水中，使得梯形扇本身溫度下降許多，所以一開始使得氣溫下降較多，且氣溫下降的持續時間也較長。

**問題六：將浸水冰凍後的不同材質的有孔扇片搗動，扇片前方位的氣溫變化情形如何？**

**構想：**我們想再降低梯形扇本身的溫度，且要延長維持低溫的時間，所以將各種梯形扇先鑽孔，然後浸入水中使水保留在孔中，再冰凍使其維持低溫時間延長，來進行實驗。

**實驗六之一、將浸水冰凍的不同材質的有孔扇片搗動，用熱電偶溫度計測量扇片前方位的氣溫變化情形**

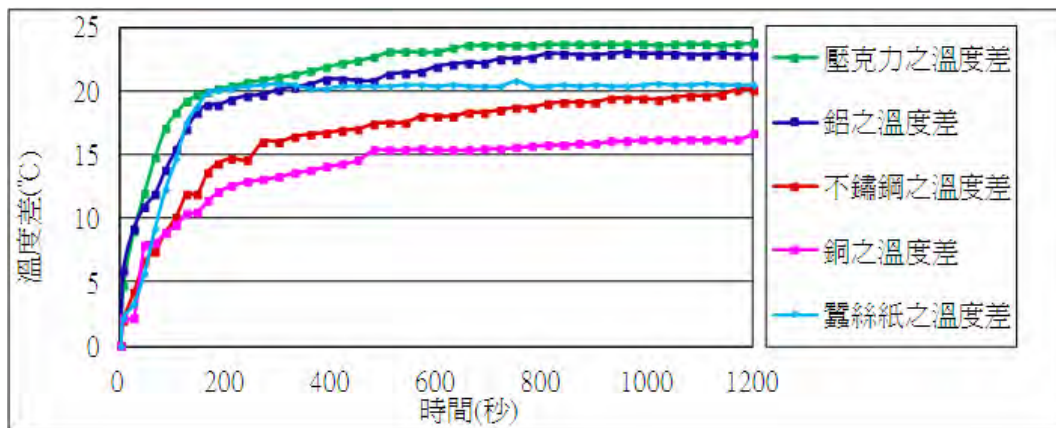
**過程與方法：**

(一) 將五種不同材質的有孔梯形扇先後浸水後冰凍起來。

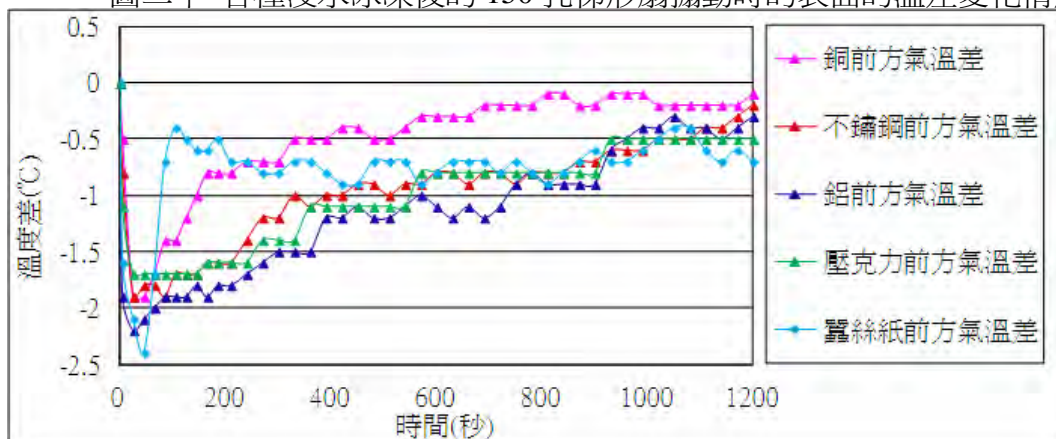
(二) 分別取出步驟(一)的梯形扇，然後重複實驗三步驟(二)和(三)進行實驗。

**結果：**

(因實驗數據太多，僅列於實驗日誌裡)



圖二十 各種浸水冰凍後的 150 孔梯形扇搗動時的表面的溫差變化情形



圖二十一 搗動各種浸水冰凍後的 150 孔梯形扇前方的氣溫差變化情形

(一) 所有的梯形扇都使得氣溫有明顯的下降，其中以搗動蠶絲紙板使氣溫下降最多達 2.4 °C，但降溫時間持續最短約不到一分半。整體而言，對氣溫降溫效果最佳的是鋁板，

最低降了 2.2°C，且降溫持續時間較久。對於氣溫下降再其次的是不鏽鋼板和銅板，都是最低降了 1.9°C，但是銅板的降溫時間持續較短。而壓克力板最低只降了 1.7°C。

(二) 所有的梯形扇本身的表面溫度，都是緩慢上升，其中以銅板的表面溫度上升較少，而以壓克力板的表面溫度上升較多。

#### 研究討論：

(一) 梯形扇上的孔愈大，則保留的水愈多。所以我們分別鑽了直徑 1.5、2.0、2.5、3.0 和 3.5mm 的孔，浸水後將表面的水甩掉，結果發現直徑 3.0 和 3.5mm 孔中的水被甩掉了，而直徑 2.5mm 孔中的水變少了，只有直徑 1.5 和 2.0mm 孔中的水還保留著，這是因為孔中水的表面張力作用大於被甩開的力量，所以水才能保留在孔中。最後我們決定將梯形板鑽直徑 2.0mm 的孔，以保留較多的水。

(二) 爲了讓梯形扇保留更多的水，我們另外找了一種材質(蠶絲紙)來製作梯形扇，其質地堅韌不易撕破，且表面纖維很多(如圖二十二)，我們認爲可以保留住很多水。剛開始做了一層和雙層蠶絲紙的梯形扇，冰凍後發現保留住的水不多，降溫效果不好。最後我們做了五層蠶絲紙的梯形扇，才明顯地將很多水保留在扇裡。



圖二十二  
蠶絲紙

(三) 雖然蠶絲扇造成氣溫下降最多，但是維持低溫時間最短，我們認爲這是因為蠶絲扇本身的質量很小，導致吸收周圍的熱量不多，所以降溫持續時間很短。

(四) 一般而言，梯形板本身溫度愈低，則氣溫降溫效果愈好，即氣溫降愈低、低溫持續時間愈久。但是本實驗的實驗結果顯示，浸水冰凍後的梯形扇降溫效果並沒有優於浸冰水的梯形扇。我們認爲可能是我們在梯形扇鑽孔數不夠多(原只有約 150 孔)，導致保留在扇本身的水不夠多，所以降溫效果不如預期。

#### 實驗六之二、增加不同材質梯形扇的鑽孔數至 400 孔，將其浸水冰凍後搨動，用熱電偶溫度計測量扇片前方位的氣溫變化情形

**構想**：我們原本在各種梯形扇鑽孔約 150 孔，將其浸水冰凍後搨動對降低氣溫的效果不如預期的好，我們猜測可能是鑽孔不夠多，以致保留在扇上的水不夠多，所以我們打算增加鑽孔數至約 400 孔來保留更多的水，希望能提升降低氣溫的效果。

#### 過程與方法：

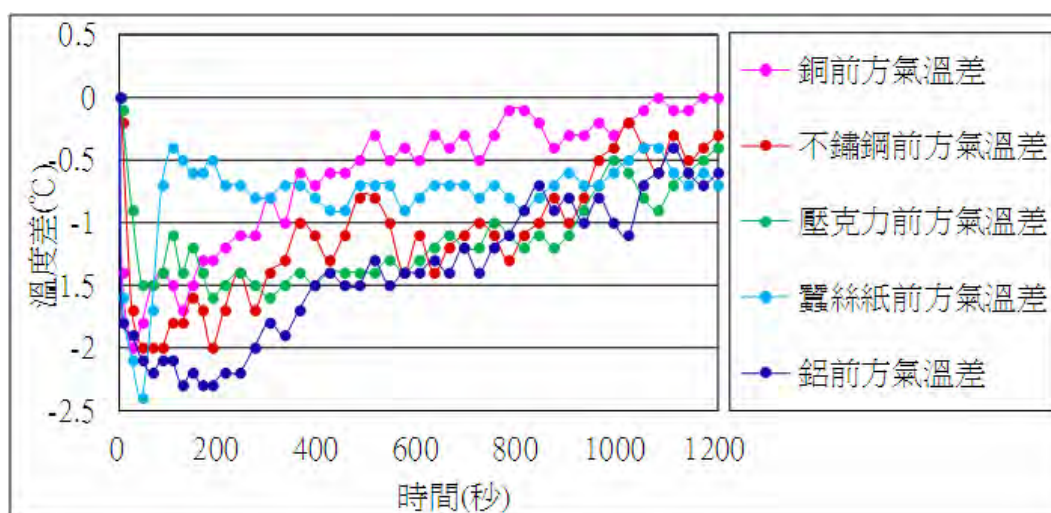
(一) 增加原本四種不同材質梯形扇的鑽孔數至 400 孔，然後分別將其浸水後冰凍起來。

(二) 分別取出步驟(一)的梯形扇，然後重複實驗三步驟(二)進行實驗。

(三) 利用攝影記錄 20 分鐘內扇片前方的氣溫變化情形。

**結果：**

(因實驗數據太多，僅列於實驗日誌裡)



圖二十三 搨動各種浸水冰凍後的 400 孔梯形扇前方的氣溫差變化情形

- (一) 增加梯形扇的鑽孔數確實使得氣溫有明顯的下降，且氣溫下降持續時間也增長。其中以搨動鋁板對氣溫降溫的效果最佳，最低下降達 2.3°C。

**研究討論：**

- (一) 我們在網路看到日本的不鏽鋼冰扇子，表面的圖案是利用孔洞所編排而成，孔洞數應該不下千個，而我們的梯形扇最多才只有 400 孔，所以對提升降溫效果還有改善的空間。
- (二) 我們想利用降溫效果最佳的鋁板進行改良，再次增加其鑽孔數，來觀測對氣溫降溫的效果如何。

### 實驗六之三、增加鋁製梯形扇的鑽孔數至 950 孔，將其浸水冰凍後搨動，用熱電偶溫度計測量扇片前方位的氣溫變化情形

**構想：**因為日本不鏽鋼冰扇子的孔洞數很多，我們想再增加鋁製梯形扇的鑽孔數，看看是否可再提升對氣溫降溫的效果。

**過程與方法：**

- (一) 將 150 孔、400 孔和 950 孔的鋁製梯形扇分別浸水後冰凍起來。
- (二) 分別取出步驟(一)的鋁製梯形扇，然後重複實驗六之二步驟(二)和(三)進行實驗。

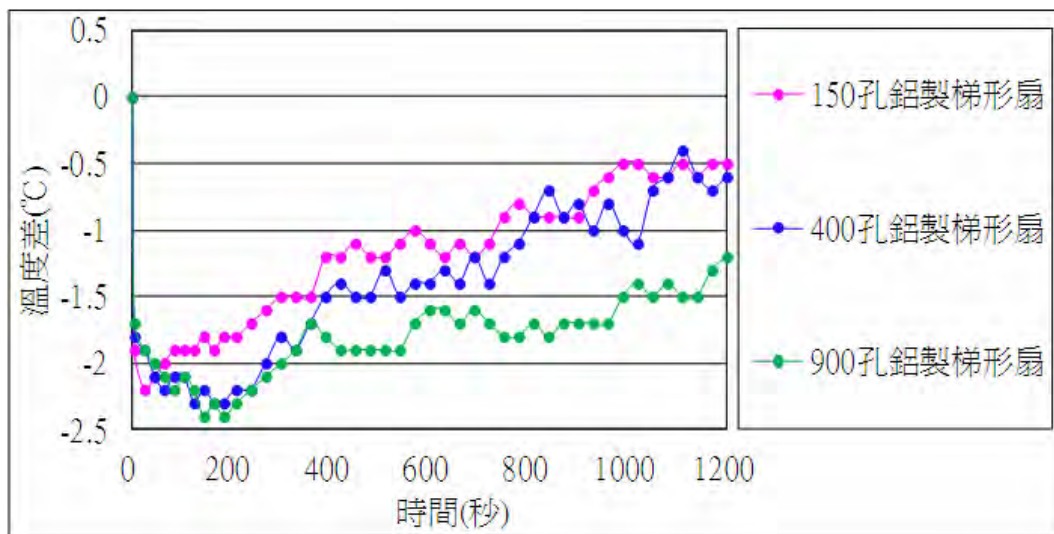
**結果：**

表四：搨動不同孔數的浸水冰凍後的鋁製梯形扇，觀測其前方的氣溫差變化情形

時間(秒)	0	5	25	45	65	85	105	125	145	165	185	210	
150 孔	溫度	31.5	29.6	29.3	29.4	29.5	29.6	29.6	29.6	29.7	29.6	29.7	29.7
	溫差	0	-1.9	-2.2	-2.1	-2	-1.9	-1.9	-1.9	-1.8	-1.9	-1.8	-1.8
400 孔	溫度	30	28.2	28.1	27.9	27.8	27.9	27.9	27.7	27.8	27.7	27.7	27.8
	溫差	0	-1.8	-1.9	-2.1	-2.2	-2.1	-2.1	-2.3	-2.2	-2.3	-2.3	-2.2
900 孔	溫度	35.5	33.8	33.6	33.5	33.4	33.3	33.4	33.3	33.1	33.2	33.1	33.2
	溫差	0	-1.7	-1.9	-2	-2.1	-2.2	-2.1	-2.2	-2.4	-2.3	-2.4	-2.3



時間(秒)		240	270	300	330	360	390	420	450	480	510	540	570
150孔	溫度	29.8	29.6	30	30	30	30.3	30.3	30.4	30.2	30.2	30.4	30.5
	溫差	-1.7	-1.9	-1.5	-1.5	-1.5	-1.2	-1.2	-1.1	-1.3	-1.3	-1.1	-1
400孔	溫度	27.8	28	28.2	28.1	28.3	28.5	28.6	28.5	28.5	28.7	28.5	28.6
	溫差	-2.2	-2	-1.8	-1.9	-1.7	-1.5	-1.4	-1.5	-1.5	-1.3	-1.5	-1.4
900孔	溫度	33.3	33.4	33.5	33.6	33.8	33.7	33.6	33.6	33.6	33.6	33.6	33.8
	溫差	-2.2	-2.1	-2	-1.9	-1.7	-1.8	-1.9	-1.9	-1.9	-1.9	-1.9	-1.7
時間(秒)		600	630	660	690	720	750	780	810	840	870	900	930
150孔	溫度	30.4	30.2	30	30.3	30.3	30.6	30.8	30.6	30.6	30.6	30.6	30.9
	溫差	-1.1	-1.3	-1.5	-1.2	-1.2	-0.9	-0.7	-0.9	-0.9	-0.9	-0.9	-0.6
400孔	溫度	28.6	28.7	28.6	28.8	28.6	28.8	28.9	29.1	29.3	29.1	29.2	29
	溫差	-1.4	-1.3	-1.4	-1.2	-1.4	-1.2	-1.1	-0.9	-0.7	-0.9	-0.8	-1
900孔	溫度	33.9	33.9	33.8	33.9	33.8	33.7	33.7	33.8	33.7	33.8	33.8	33.8
	溫差	-1.6	-1.6	-1.7	-1.6	-1.7	-1.8	-1.8	-1.7	-1.8	-1.7	-1.7	-1.7
時間(秒)		960	990	1020	1050	1080	1110	1140	1170	1200			
150孔	溫度	31	31.1	31.1	31.2	31.1	31.1	30.8	30.6	30.7			
	溫差	-0.5	-0.4	-0.4	-0.3	-0.4	-0.4	-0.7	-0.9	-0.8			
400孔	溫度	29.2	29	28.9	29.3	29.4	29.6	29.4	29.1	29			
	溫差	-0.8	-1	-1.1	-0.7	-0.6	-0.4	-0.6	-0.9	-1			
900孔	溫度	33.8	34	34.1	34	34.1	34	34	34.2	34.3			
	溫差	-1.7	-1.5	-1.4	-1.5	-1.4	-1.5	-1.5	-1.3	-1.2			



圖二十四 搨動不同孔數的浸水冰凍後的鋁製梯形扇前方的氣溫差變化情形

- (一) 鋁製梯形扇的鑽孔數愈多，則對氣溫降溫的效果愈佳。
- (二) 以 900 孔鋁製梯形扇對氣溫降溫的效果最佳，最低降了 2.4°C，且維持降溫 1.5°C 的時間約達 16 分鐘之久。

#### 研究討論：

- (一) 對氣溫降溫的效果佳包含了兩個的項度，一是氣溫下降較低，二是維持降溫的時間較久。
- (二) 當梯形扇鑽孔數增加時，對氣溫下降的幅度並不大，但是對於維持降溫的時間卻有明顯的增長。因此鑽孔數對氣溫降溫的效果，主要是影響在維持降溫的時間增長。

(三) 我們將鋁製梯形扇表面的鑽孔由 150 孔→400 孔→950 孔的改良情形如下圖二十五所示。原本只鑽了「好冰涼」三個字約 150 孔，後來在邊緣鑽了一些修飾的線條約 250 孔。最後我們將扇面重新設計成企鵝的圖案約 950 孔，看起來感覺較冰涼。



圖二十五 150 孔、400 孔和 950 孔鋁製梯形扇

#### 實驗六之四、改變 400 孔鋁製梯形扇的厚度，將其浸水冰凍後搨動，用熱電偶溫度計測量在扇片前方位的氣溫變化情形

**構想**：梯形扇保留的水愈多，則對氣溫降溫的效果愈好。影響梯形扇保留的水量多少，除了孔洞的粗細、數量之外，還有孔洞的深度。所以我們在不同厚度的鋁製梯形扇上鑽相同的孔來進行實驗，想知道對氣溫降溫的效果如何。

**過程與方法**：

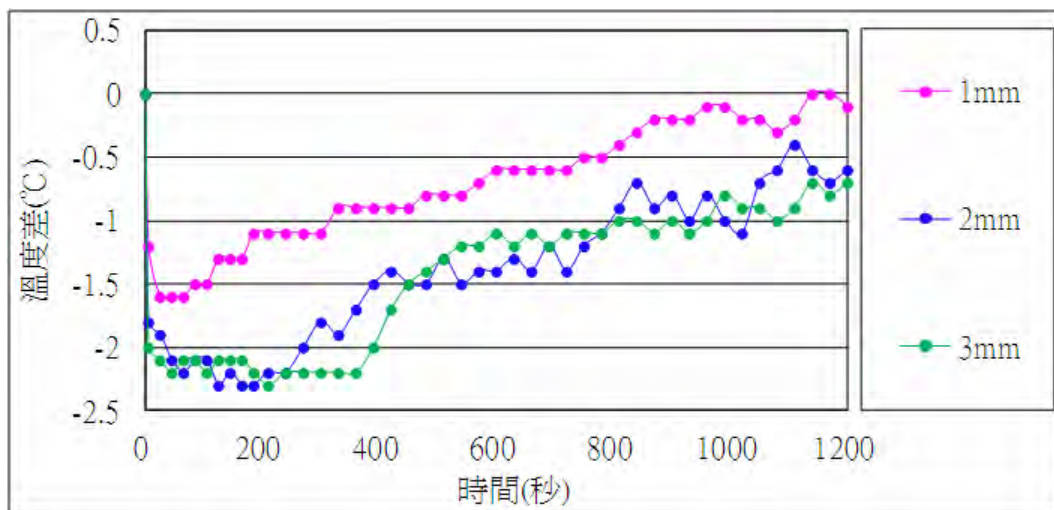
- (一) 將厚度 1mm、2mm 和 3mm 的 400 孔鋁製梯形扇先後浸水後冰凍起來。
- (二) 分別取出步驟(一)的梯形扇，然後重複實驗六之二步驟(二)和(三)進行實驗。

**結果**：

表五：搨動不同厚度的浸水冰凍後的 400 孔鋁製梯形扇，觀測其前方的氣溫差變化情形

時間(秒)		0	5	25	45	65	85	105	125	145	165	185	210
1	溫度	32.7	31.5	31.1	31.1	31.1	31.2	31.2	31.4	31.4	31.4	31.6	31.6
	mm 溫差	0	-1.2	-1.6	-1.6	-1.6	-1.5	-1.5	-1.3	-1.3	-1.3	-1.1	-1.1
2	溫度	30	28.2	28.1	27.9	27.8	27.9	27.9	27.7	27.8	27.7	27.7	27.8
	mm 溫差	0	-1.8	-1.9	-2.1	-2.2	-2.1	-2.1	-2.3	-2.2	-2.3	-2.3	-2.2
3	溫度	33.8	31.8	31.7	31.6	31.7	31.7	31.6	31.7	31.7	31.7	31.6	31.5
	mm 溫差	0	-2	-2.1	-2.2	-2.1	-2.1	-2.2	-2.1	-2.1	-2.1	-2.2	-2.3
時間(秒)		240	270	300	330	360	390	420	450	480	510	540	570
1	溫度	31.6	31.6	31.6	31.8	31.8	31.8	31.8	31.8	31.9	31.9	31.9	32
	mm 溫差	-1.1	-1.1	-1.1	-0.9	-0.9	-0.9	-0.9	-0.9	-0.8	-0.8	-0.8	-0.7
2	溫度	27.8	28	28.2	28.1	28.3	28.5	28.6	28.5	28.5	28.7	28.5	28.6
	mm 溫差	-2.2	-2	-1.8	-1.9	-1.7	-1.5	-1.4	-1.5	-1.5	-1.3	-1.5	-1.4
3	溫度	31.6	31.6	31.6	31.6	31.6	31.8	32.1	32.3	32.4	32.5	32.6	32.6
	mm 溫差	-2.2	-2.2	-2.2	-2.2	-2.2	-2	-1.7	-1.5	-1.4	-1.3	-1.2	-1.2

時間(秒)		600	630	660	690	720	750	780	810	840	870	900	930
1	溫度	32.1	32.1	32.1	32.1	32.1	32.2	32.2	32.3	32.4	32.5	32.5	32.5
	mm 溫差	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.5	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2
2	溫度	28.6	28.7	28.6	28.8	28.6	28.8	28.9	29.1	29.3	29.1	29.2	29
	mm 溫差	-1.4	-1.3	-1.4	-1.2	-1.4	-1.2	-1.1	-0.9	-0.7	-0.9	-0.8	-1
3	溫度	32.7	32.6	32.7	32.6	32.7	32.7	32.7	32.8	32.8	32.7	32.8	32.7
	mm 溫差	-1.1	-1.2	-1.1	-1.2	-1.1	-1.1	-1.1	-1	-1	-1.1	-1	-1.1
時間(秒)		960	990	1020	1050	1080	1110	1140	1170	1200			
1	溫度	32.6	32.6	32.5	32.5	32.4	32.5	32.7	32.7	32.6			
	mm 溫差	-0.1	-0.1	-0.2	-0.2	-0.3	-0.2	0	0	-0.1			
2	溫度	29.2	29	28.9	29.3	29.4	29.6	29.4	29.1	29			
	mm 溫差	-0.8	-1	-1.1	-0.7	-0.6	-0.4	-0.6	-0.9	-1			
3	溫度	32.8	33	32.9	32.9	32.8	32.9	33.1	33	33.1			
	mm 溫差	-1	-0.8	-0.9	-0.9	-1	-0.9	-0.7	-0.8	-0.7			

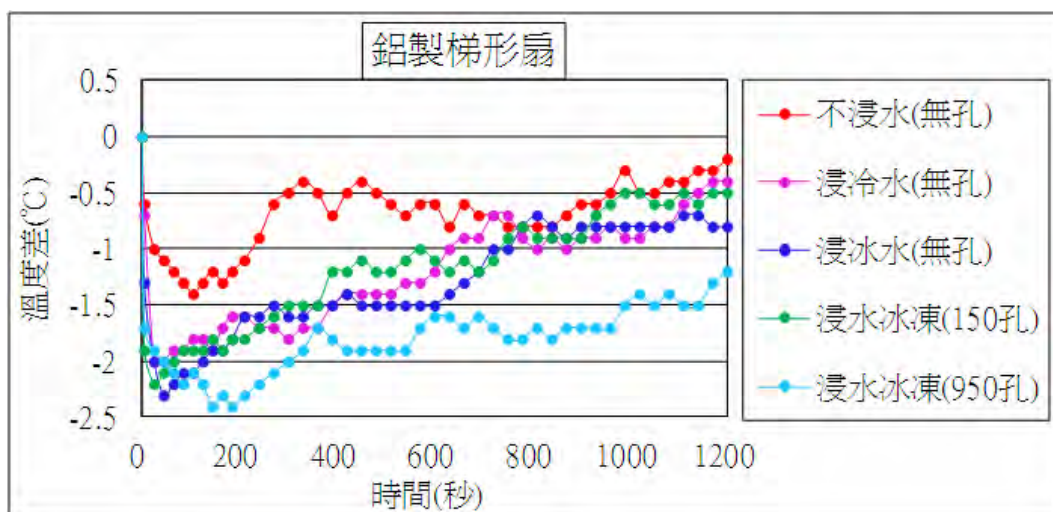


圖二十六 搨動不厚度的浸水冰凍後的 400 孔鋁製梯形扇前方的氣溫差變化情形

- (一) 1mm 厚的鋁製梯形扇對氣溫降溫的效果最差。
- (二) 2mm 和 3mm 厚的鋁製梯形扇，對氣溫下降的最大幅度都差不多，但是 3mm 厚的鋁製梯形扇的降溫維持時間較長，其維持降溫 1.5°C 以上的時間約達 7 分半；而 2mm 厚的鋁製梯形扇維持降溫 1.5°C 以上的時間約只有 6 分半。

**研究討論：**

- (一) 鋁製梯形扇的厚度愈大，則保留的水分愈多，對氣溫降溫的效果愈佳。但是並不是使得氣溫有明顯的下降的幅度，而是明顯地延長維持降溫的時間。
- (二) 雖然 3mm 厚的鋁製梯形扇對氣溫降溫的效果比 2mm 厚的鋁製梯形扇稍好，但是重量較重，重量增加為 1.5 倍，較不易拿取。
- (三) 綜合實驗三、四、五和六的結果，得知對氣溫降溫的效果最佳的是鋁製梯形扇，且鑽孔數愈多、鋁板愈厚，保留的水愈多，對氣溫降溫的效果愈佳。我們將幾種鋁製梯形扇對氣溫降溫的情形整理如下圖二十七。



圖二十七 振動四種不同狀態的鋁製梯形扇前方的氣溫差變化情形

- (四) 原本 150 孔鋁製梯形扇的降溫效果不如浸冰水(約 10°C)來得好，原因除了扇保留的水不夠多之外，還有另一個原因，就是浸冰水比浸水冰凍的溫度高些，水較易蒸發，蒸發時會吸收扇本身與周圍空氣的熱量，所以降溫的效果稍好些。

#### 問題七：不同材質的梯形扇在不同的初始狀態下，於室溫下的溫度變化情形如何？

**構想**：不同材質的梯形扇對氣溫降溫的效果不一樣，我們想知道不同材質梯形扇本身的溫度變化情形如何，於是分別將其浸冷水、浸冰水與浸水冰凍後，靜置於室溫下觀測其溫度變化情形。

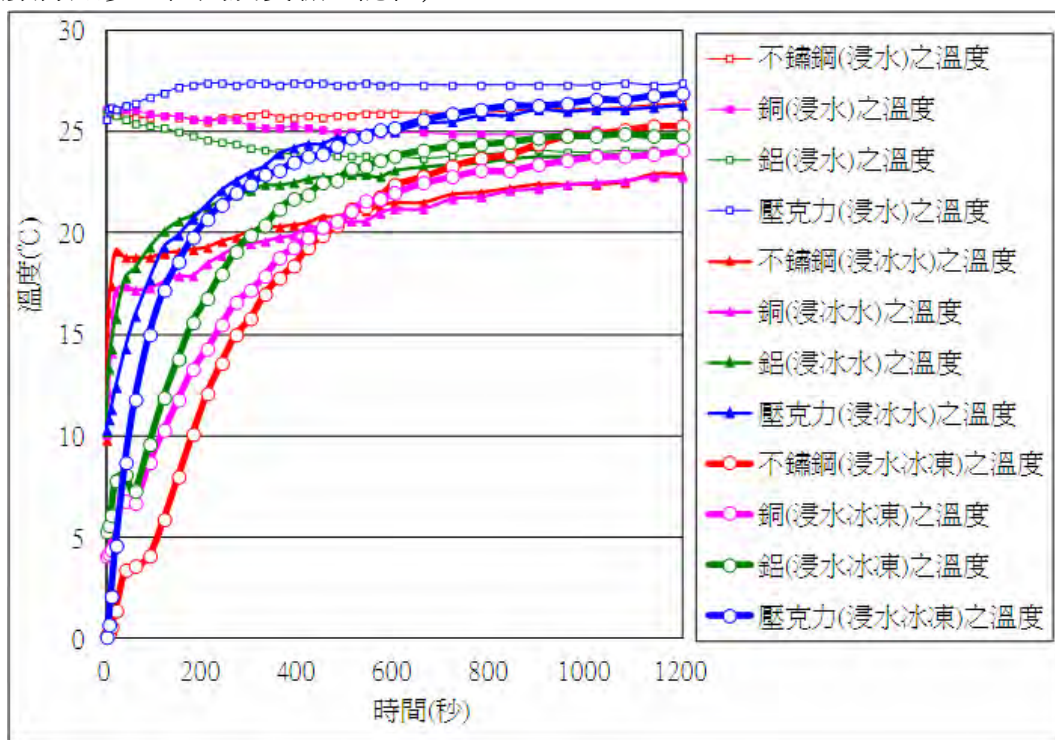
#### 實驗七、將鋁製梯形扇分別浸冷水、浸冰水以及浸水冰凍後靜置於室溫下，用紅外線溫度計觀測其溫度變化情形

**過程與方法**：

- (一) 將壓克力、鋁、銅和不鏽鋼四種不同材質的梯形扇，分別浸冷水、浸冰水，以及浸水冰凍。
- (二) 分別取出步驟(一)的梯形扇靜置於室溫下，利用紅外線溫度計觀測其 20 分鐘內本身的溫度變化情形。

## 結果：

(因實驗數據太多，僅列於實驗日誌裡)



圖二十八 四種不同材質的梯形扇在不同初始狀態於室溫下的溫度變化情形

(一) 將梯形扇浸冷水後取出靜置於室溫下：

1. 壓克力板本身溫度有緩慢上升的趨勢。
2. 鋁板、銅板和不鏽鋼板本身溫度有緩慢下降的趨勢，其中以鋁板溫度下降最多。

(二) 將梯形扇浸冰水後取出靜置於室溫下：

1. 壓克力板溫度上升最多，鋁板次之，而不鏽鋼板和銅板上升較少。
2. 不鏽鋼板和銅板一開始溫度急遽上升，但是一會兒之後溫度有點兒反轉下降，之後溫度變成緩慢上升。

(三) 將梯形扇浸水冰凍後取出靜置於室溫下：

1. 壓克力板溫度上升最多，鋁板次之，而不鏽鋼板和銅板上升較少。
2. 不鏽鋼板和銅板一開始溫度快速上升，但是一會兒之後溫度又變成緩慢上升一小段時間後，溫度又再次快速上升。

## 研究討論：

(一) 將梯形扇浸冷水後取出靜置於室溫下：

1. 壓克力板是非金屬，不易傳導熱。當板面上的水蒸發時，較不易從板面吸收帶走熱量，所以壓克力板溫度不降反升。
2. 鋁板、銅板和不鏽鋼板是金屬，易傳導。當板面上的水蒸發時，較易從板面吸收帶走熱量，所以板面溫度下降。尤其鋁的熱傳導性較佳，所以溫度下降最多。

(二) 將梯形扇浸冰水以及浸水冰凍後取出靜置於室溫下：

1. 壓克力板的質量最小，鋁板次之，而不鏽鋼板和銅板質量較大。根據熱量( $H$ ) = 質量( $m$ ) $\times$ 比熱( $s$ ) $\times$ 溫差( $\Delta T$ )，因壓克力板的  $m \times s$  最小，所以溫差  $\Delta T$  最大。
2. 鋁板的  $m \times s$  次小，所以溫差  $\Delta T$  次大。

3. 不鏽鋼板和銅板的  $m \times s$  較大，所以溫差  $\Delta T$  較小。
- (三) 我們實驗結果是鋁製梯形扇對氣溫降溫的效果最佳，而不是日本所開發的不鏽鋼扇，我們將鋁扇的優缺點整理如下：
1. 降溫效果較佳。
  2. 鋁質量輕易拿(鋁板 162g，不鏽鋼板 472g)。
  3. 鋁材料價格比不鏽鋼便宜。
  4. 質地較軟，易加工(好鑽孔)，可以節省製作成本；不鏽鋼質地較硬，難鑽孔，我們弄斷了好幾支鑽頭。
  5. 鋁扇的缺點是：
    - (1) 鋁易氧化失去金屬光澤，較不美觀。而不鏽鋼較不易氧化，易維持美觀。
    - (2) 鋁質地較軟，易磨損、刮傷。而不鏽鋼質地較硬，較堅固不易磨損。

## 伍、 研究結論

- 一、 以梯形的下底朝薄片吹動的塑膠板，所造成的擺動角度最大，平均最大角度達  $12.6^\circ$ ；以圓形塑膠板吹動薄片所造成的擺動角度為其次，平均最大角度達  $9.06^\circ$ ；以三角形的頂點朝薄片吹動的塑膠板，所造成的擺動角度最小，平均最大角度只有  $3.85^\circ$ 。
- 二、 單摺葉片的風車轉動較穩定，且轉速較快，每秒平均轉速最高達 0.93 圈/秒。
- 三、 以梯形的下底朝風車吹動的塑膠板，所造成的轉速最快，每秒平均轉速最大達 1.15 圈/秒；以三角形的頂點朝風車吹動時，所造成的轉速最慢，每秒平均轉速都在 0.5 圈/秒以下。
- 四、 在實驗三中，煽動壓克力板使氣溫下降的效果最好，最低降了  $1.6^\circ\text{C}$ ，且降溫時間持續最久。
- 五、 在實驗四中，煽動浸過在室溫下約  $24^\circ\text{C}$  的冷水的鋁板，使氣溫下降的效果最好，最低降了  $2^\circ\text{C}$ 。
- 六、 在實驗五中，煽動浸過約  $10^\circ\text{C}$  冰水的鋁板，使氣溫下降的效果最好，最低降了  $2.3^\circ\text{C}$ 。
- 七、 在實驗六之一中，將各種 150 孔梯形扇浸水冰凍後煽動，以蠶絲紙板使氣溫下降最多約  $2.4^\circ\text{C}$ ，但降溫時間持續最短約不到一分半。整體氣溫下降效果較好的是鋁板，最低降了  $2.2^\circ\text{C}$ 。
- 八、 在實驗六之二、六之三中，得知梯形扇的鑽孔數愈多，對氣溫降溫的效果愈佳。其中以 950 孔鋁製梯形扇對氣溫降溫的效果最佳，最低降了  $2.4^\circ\text{C}$ ，且維持降溫  $1.5^\circ\text{C}$  的時間約達 16 分鐘之久。
- 九、 在實驗六之四中，400 孔鋁製梯形扇的厚度愈厚，對氣溫降溫的效果愈佳。其中以 3mm 厚的 400 孔鋁製梯形扇對氣溫降溫的效果最佳，最低降了  $2.3^\circ\text{C}$ ，且維持降溫  $1.5^\circ\text{C}$  的時間約達 7 分半。但是 3mm 厚的重量是 2mm 厚的 1.5 倍，不易拿取。
- 十、 在實驗七中：
  - (一) 將梯形扇浸冷水後靜置於室溫下，壓克力板本身溫度有緩慢上升的趨勢，而鋁板、銅板和不鏽鋼板本身溫度有緩慢下降的趨勢，其中以鋁板溫度下降最多。

(二) 將梯形扇浸冰水後靜置於室溫下，壓克力板溫度上升最多，鋁板次之，而不鏽鋼板和銅板上升較少。且不鏽鋼板和銅板一開始溫度急遽上升，但是一會兒之後溫度有點兒反轉下降，之後溫度變成緩慢上升。

(三) 將梯形扇浸水冰凍後靜置於室溫下，壓克力板溫度上升最多，鋁板次之，而不鏽鋼板和銅板上升較少。且不鏽鋼板和銅板一開始溫度快速上升，但是一會兒之後溫度又變成緩慢上升一小段時間後，溫度又再次快速上升。

十一、整體而言，梯形扇本身溫度愈低、鑽孔數愈多、厚度愈厚，則對氣溫降溫效果愈好，即氣溫降愈低，且降溫持續時間愈久。

十二、鋁製梯形扇和不鏽鋼扇相較的優點是，降溫效果較好、質輕較易拿、材料較便宜且質地較軟易鑽孔加工，可以降低製作成本。

## 陸、 未來工作

雖然我們找出將有鑽孔的鋁製梯形扇浸水冰凍後煽動，對氣溫降溫的效果最佳，但是總覺得攜帶上還是有些兒不便。我們覺得可以參照摺扇的設計加以改良，不僅使其降溫效果佳，而且又方便攜帶。

## 柒、 參考資料

- 一、 丁佩姬(民 84)。桂冠科學百科全書：1 物質與能量(38~41 頁)。臺北市：桂冠圖書。
- 二、 林伊特(民 98 年 2 月 10 日)。觀念物理 3—熱傳遞(143~166 頁)。臺北市：天下遠見出版股份有限公司。
- 三、 林麗霞 (民 86)。小博士教室 27 物理篇(3)—溫度、熱量、物態、變化、熱能 (10-16,32-33,45-46,70-76 頁)。台北市：國際少年村。
- 四、 林宏明 (民 99 年 4 月)。戰勝科展的第 1 本書—溫度與熱 (102-115 頁)。貓頭鷹出版。
- 五、 董俊良、戴明鳳 (民 98 年 11 月 25 日)。熱電偶式與熱敏式電子溫度器。取自：  
<http://www.phys.nthu.edu.tw/~gplab/file/thermocouple.pdf>
- 六、 錢怡君(民 101 年 7 月 11 日)。沾水冷凍「冰扇子」完全節能不插電。TVBS 新聞。取自：  
[http://www.tvbs.com.tw/news/news\\_list.asp?no=jimmyliu220120711223215&&dd=2012/7/11%20%A4U%A4%C8%2011:02:10](http://www.tvbs.com.tw/news/news_list.asp?no=jimmyliu220120711223215&&dd=2012/7/11%20%A4U%A4%C8%2011:02:10)

## 【評語】 080114

1. 從生活中遇到的問題，設計研究方法來解決問題，很有科學探究的精神。
2. 能根據實驗需求設計搖擺器，兼顧變因的控制，能充分掌握科學研究之精神。
3. 實驗的進行，如果可以先從生活中切入，如測量一般小學生用墊板來解熱之溫度變化，再來說明及強化此研究的價值會更好！
4. 研究中皆用硬質板來進行實驗，若能改用軟質板來進行實驗是否會有不同結果，可以進一步研究。