

探討颱風之性質演變 及大氣主環流實驗模型之製作

國中組地球科學特別獎第二名

雲林縣立土庫國民中學

作者：楊芳玲、張玉禎
周秀玲、許秀快等
指導老師：張武宏、賀觀察



一、研究動機

台灣位於亞熱帶地區，每年受颱風侵襲，常引起嚴重災害，生命及財產之損失甚鉅，足以影響經濟建設之發展。目前對於颱風警報準確性與適時性之要求愈來愈高，爲了瞭解熱帶性風暴一旦形成颱風後，是否會侵襲台灣地區的可能性。我們嘗試以簡單的設計，應用物理、化學等科學知識，用以解決地球科學教學上，產生許多實際的困難。尤其對於現象錯綜複雜，誘因極多；時空範圍廣大之颱風之性質，演變以及大氣主環流風系等知識，以實驗補助

方式來探討，旨在避免深奧理論的引入，以及提供一些深入淺出的接觸了解。

二、研究目的

1. 了解颱風之路徑、中心位置、中心氣壓、最大風速以及颱風半徑等問題。
2. 認識颱風及大氣主環流（經向環流），並了解其所造成之影響。
3. 探討颱風的逼近或穿越台灣之預報法則。
4. 了解熱與流體運動之關係。
5. 了解地球自轉所造成大氣風系之偏轉現象。
6. 認識類比關係在科學上的應用，以及解決地球科學課程教學上所產生許多實際的困難。

三、研究方法

甲 1. 探討颱風之性質演變及思路過程

實驗一：颱風的路徑與陀螺的比較

探討一：利用磁性的魔術陀螺

探討二：民國六十四年妮娜（Nina）颱風的行進路徑與在夏秋季侵襲台灣之關係。

2. 探討颱風的能

實驗二：颱風的能與溫度、壓力、濕度之關係。

探討一：利用雲霧罐及加壓裝置。

探討二：颱風的能與壓力之關係。

探討三：颱風的能與供應方式。

3. 探討颱風眼（中心）

實驗三：颱風眼與熱帶氣旋之關係：

探討一：利用大鋁盒、布條及紅、藍、黑水。

探討二：製作一小型颱風眼旋轉器。

探討三：利用倒置玻璃鐘罩及化學藥品

探討四：利用薄鐵片蛇身及紙風車

結果：

(1)蛇身會旋轉，且置放愈久旋轉愈快。

(2)風車亦如蛇身般會旋轉。

討論：

(1)颱風是一種熱帶氣旋，常發生在西太平洋上。它的主要原因是由於廣大的海洋受到強烈的陽光照射，大量熱空氣上升，因四周較涼的空氣猛烈吹入；再因地球自轉的影響，形成渦流，愈近中心，渦流速度愈大，這就是熱帶氣旋。發生於東亞在區的，通稱颱風。

(2)颱風的範圍，從數十公里到一千公里不等，外圍風力較小，越近中心，風力越大，但在中心的地方卻沒有風，這地方叫做颱風眼。

(3)本實驗利用蠟燭或酒精燈，使空氣一部分受熱膨脹，這膨脹的熱空氣就比周圍的冷空氣輕，因此會上升，周圍的冷空氣就流過來填補它的位置，由於空氣的流動，而產生風力，此風力使懸掛之蛇身或風車旋轉。由蛇身旋轉情形，可明顯看出颱風眼。

探討五：空氣渦旋的力量

1 材料：圓形的紙匣子、蠟燭、香、檀木、量尺

2 方法：

(1)取圓形的紙匣子，在蓋上開一個硬幣大小的圓洞。

(2)在距離紙匣約一米遠的地方，放一支燃點著的蠟燭。

(3)把紙匣上的小圓洞，對準蠟燭火焰的方向，用手指在紙匣底上對準圓洞的地方敲擊，觀測其對火焰影響。

3 結果：

效 果 位 置	蠟 燭 火 焰				
	10公分	20公分	30公分	40公分	50公分
影 響	熄	熄	熄	熄	熄
效 果 位 置	蠟 燭 火 焰				
	60公分	70公分	80公分	90公分	100公分
影 響	熄	亮	亮	亮	亮

探討三：倘颱風對準台灣北端作西向或西北向行進，此時有副低壓形成，緊靠台灣東南邊際（近於台東，即東經 $121^{\circ}09'$ 北緯 $22^{\circ}45'$ 處）

探討四：倘颱風朝向台灣作西北向行進，且有向北灣曲的路徑對準台灣或有一個颱風沿台灣東海岸向北行者，此時有一副低壓出現在台灣西海岸，並有向北緩移減弱之勢。

探討五：假定颱風朝向台灣作西北向進行，而言一向北彎曲之路徑逼近台灣者。或一個颱風沿東海岸向北行，此時有一副低壓出現在台灣西海岸。

探討六：假定颱風走向北北西逼近台灣，而氣旋彩環流的垂直軸分裂成兩部份，下層部份向西北，上層部份向東北

。

4. 大氣主環流（經向環流）實驗模型之製作

實驗五：大氣主環流模型試驗

(1) 目的：

本模型試驗將以解釋：

a 為何噴射氣流位於緯度三十度呢？

b 為何經向環流不能伸展至極地呢？

c 可以表示大氣之經向環流。(解釋大氣運動狀況)

d 可以解釋大氣主環流受地球角動量不減之影響。

(2)概念：

a 因為太陽並不在地球運行軌道(黃道)的中央，並且地球自轉軸由黃道垂直方向偏向太陽，具有 23.5° 之傾斜角，乃造成四季及地表受熱不均勻之現象，由此產生熱環流。

b 由於地球自轉，使熱環流系統轉變成大氣主環流風系。

c 由於大氣主環流系統的存在，使低緯度多餘的熱量，能夠輸送至極區及較高緯度地帶。其結果不僅造成全球性的氣候型態，更因此影響自然及人文景觀的型態。

乙、探討熱與流體運動之關係

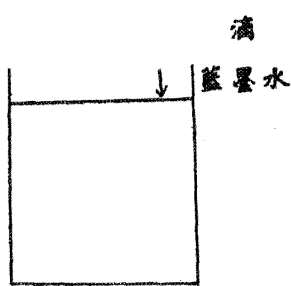
1 探討熱與流體運動之關係

實驗一：

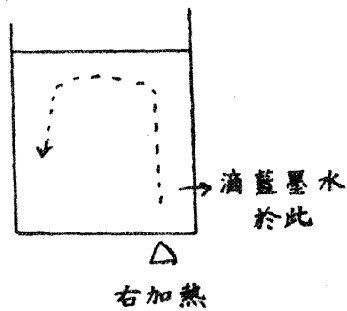
探討一：利用大燒杯

結果：

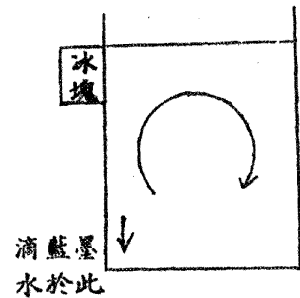
圖一



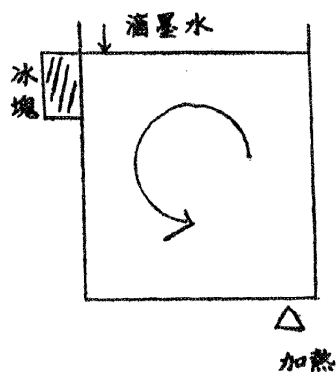
圖二



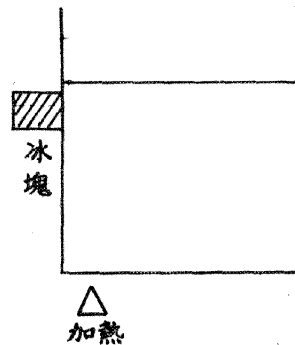
圖三



圖四



圖五



探討二：利用二隻廣口瓶

結果：

(1) 因為熱水的密度比冷水小，熱水因而上昇後冷卻，染色的冷水則降至底下的瓶子內。

(2) 將熱水瓶子置於冷水瓶子上方，將需要很長的時間，才能使染色的冷水和熱水混合。

探討三：利用墨水瓶及玻璃槽

結果：墨水瓶內的熱水，像火山爆一樣地湧出。

探討四：利用小煙鹵(探討對流作用)

結果

煙鹵罩		火焰大小	氣流流動範圍		亮度效果
分割法	圖例		熱上升	冷下降	
0		小	中央	四周	劣
$\frac{1}{2}$		中	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	可
$\frac{1}{3}$		中	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{3}$	可
$\frac{1}{4}$		中	$\frac{2}{4}$	$\frac{2}{4}$	良
$\frac{1}{5}$		大	$\frac{3}{5}$	$\frac{2}{5}$	良
$\frac{1}{6}$		大	$\frac{3}{6}$	$\frac{3}{6}$	優
$\frac{1}{7}$		大	$\frac{4}{7}$	$\frac{3}{7}$	優
$\frac{1}{8}$		大	$\frac{4}{8}$	$\frac{4}{8}$	優

2. 探討地球自轉造成偏轉現象對大氣之影響

實驗二：科氏效應 (Coriolis Effect)

探討一：利用紙板旋轉

結果：

圖 1：紙板靜止，由中心
向周圍畫線。

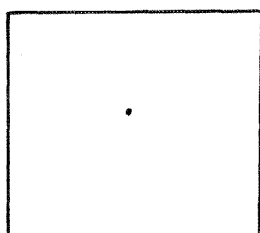


圖 2：反時針轉，中心
向周圍畫線。

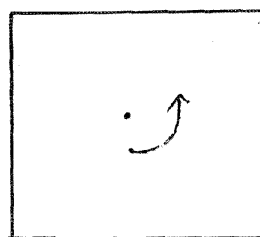


圖 3：反時針轉，由周
圍畫向中心。

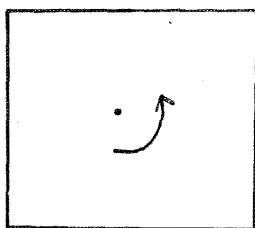


圖 4：順時針，由中心
向周圍畫線。

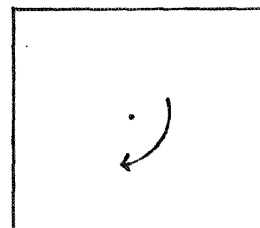
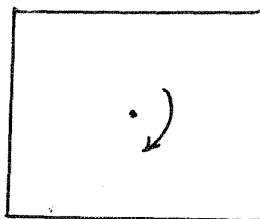


圖 5：順時針，由周圍向中心畫線




探討二：利用動力旋轉

結果：

利用電唱機不同轉速度，可明顯表示科氏效應

表一、快手畫直線所得偏向角

轉速度 擬示位置 種類 次數		16次/分	33次/分	45次/分	78次/分
		緯度20度	緯度40度	緯度60度	緯度80度
偏向角	一	16.0°	20.0°	22.5°	30.0°
	二	17.0°	20.1°	22.0°	30.5°
	三	15.0°	19.0°	25.0°	29.0°
	四	16.0°	20.0°	24.0°	30.0°
	平均	16.0°	19.8°	23.3°	29.9°
科氏效應		科氏效應漸小，赤道附近為零  科氏效應漸大，兩極處最大			

表二、慢手畫直線，所得偏向角

轉速度 擬示位置 種類 次數		16次/分	33次/分	55次/分	78次/分
		緯度20度	緯度40度	緯度60度	緯度80度
偏向角	一	29.0°	30.0°	31.0°	32.0°
	二	28.0°	32.0°	30.0°	35.0°
	三	28.5°	29.0°	33.0°	36.0°
	四	27.0°	30.0°	30.0°	36.0°
	平均	28.1°	30.3°	31.0°	34.8°
科氏效應		科氏效應漸小，赤道附近為零  科氏效應漸大，兩極處最大			

3. 探討大氣與角動量不滅之關係：

實驗三：

探討一：利用電唱機及銅柱

結果：

轉速度 慣性運動量 結果		16 轉 / 分	33 轉 / 分	45 轉 / 分	78 轉 / 分
		在旋 中轉 心後	一	0.5 圈	1.4 圈
二	0.6		1.6	1.6	4.8
三	0.5		1.3	1.6	4.8
平均	0.5		1.4	1.6	4.8
在圓 盤 一 後	一	0.5	1.1	1.6	5.0
	二	0.5	1.0	1.7	5.0
	三	0.5	0.9	1.6	5.2
	平均	0.5	1.0	1.6	5.0
在圓 盤 邊 緣 後	一	0.6	1.9	1.7	5.5
	二	0.6	1.8	1.8	5.1
	三	0.5	1.6	1.7	5.4
	平均	0.6	1.8	1.7	5.3

探討二：利用旋轉椅

結果：

(1) 大坐旋轉上，如果將手脚置放於椅面上，則旋轉快。

(2) 手脚伸開，旋轉，則因角動量大，則旋轉慢。

探討三：利用洋傘

結果：

位置 次數	傘 頂	傘 腰	傘 邊
一	11.5°	18.2°	22.1°
二	10.2°	18.0°	21.9°
三	11.0°	18.4°	21.2°
平 均	10.9°	18.2°	21.7°

4. 探討噴射氣流

實驗四：噴射氣流風洞及兩點風洞之製造

探討一：水平風切力實驗

結果：

種類 風力強度	旋 轉 器 位 置	
	左 側	右 側
一	順時針旋轉，快速	逆時針旋轉，快速
二	順時針旋轉，較慢	逆時針旋轉，較慢

探討二：垂直風切力實驗

結果：

種類 風力強度	旋 轉 器 位 置	
	左 側	右 側
一	順時針旋轉，快速	逆時針旋轉，快速
二	順時針旋轉，較慢	逆時針旋轉，較慢

探討三：利用保利龍球探討噴射氣流

結果：

表一：風洞無裝網

次數 結果 電流量	一	二	三	四	五	六	七	平均
110 V 電流量	78cm	78cm	81cm	85cm	81cm	82cm	71cm	79cm
80 V 電流量	36cm	58cm	44cm	46cm	45cm	41cm	33cm	44cm

次數 結果 電流量	一	二	三	四	五	六	七	平均
110 V 電流量	10.9cm	11.1cm	11.4cm	11.5cm	10 cm	13.5cm	12 cm	11.5cm
80 V 電流量	9.2 cm	9.7cm	9.8cm	9.9cm	10.1cm	10.7cm	10.3cm	9.9cm

探討四：利用肥皂泡探討噴射氣流

結果：

次數 結果 電流量	一	二	三	四	五	六	平均
110 V 電流量	噴射氣流強，將肥皂泡吹到教室牆上。						
80 V 電流量	3.2公尺	3.0公尺	3.4公尺	3.6公尺	3.4公尺	3.5公尺	3.3公尺

探討五：利用水滴探討噴射氣流

結果：

結果 電流量	次數	一	二	三	四	五	六	平均
110V電流量		70公分	84公分	88公分	92公分	99公分	103公分	89公分
80V電流量		81公分	79公分	78公分	78公分	79公分	82公分	80公分

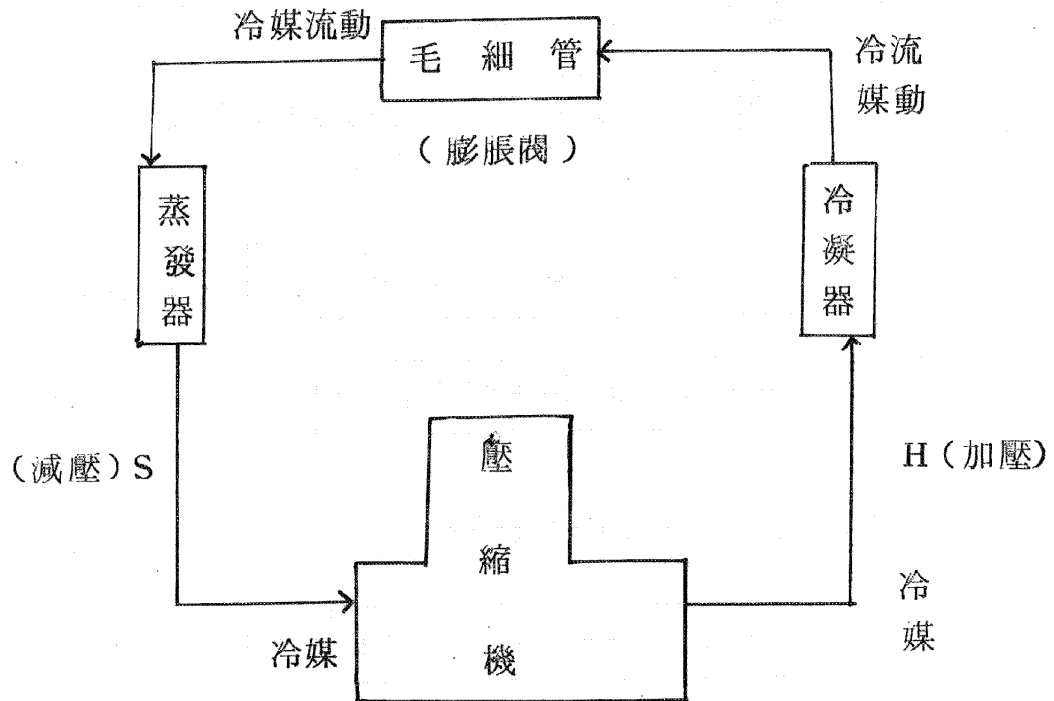
探討六：應用雨點風洞探討人造雨點之大小

結果：

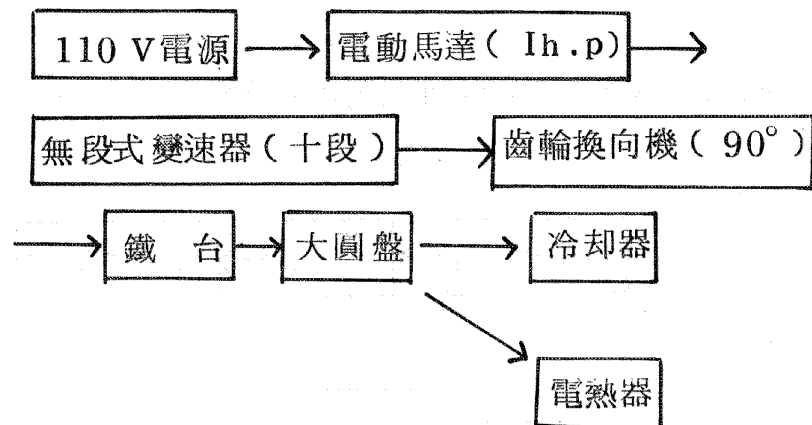
結果 次數	項目	麩粉粉盤 直徑 (mm)	圓型濾紙 直徑 (mm)
1		1.0	1.2
2		0.5	1.6
3		0.8	1.4
4		1.0	1.0
平均		0.8	1.3

3. 模型製作流程簡圖：

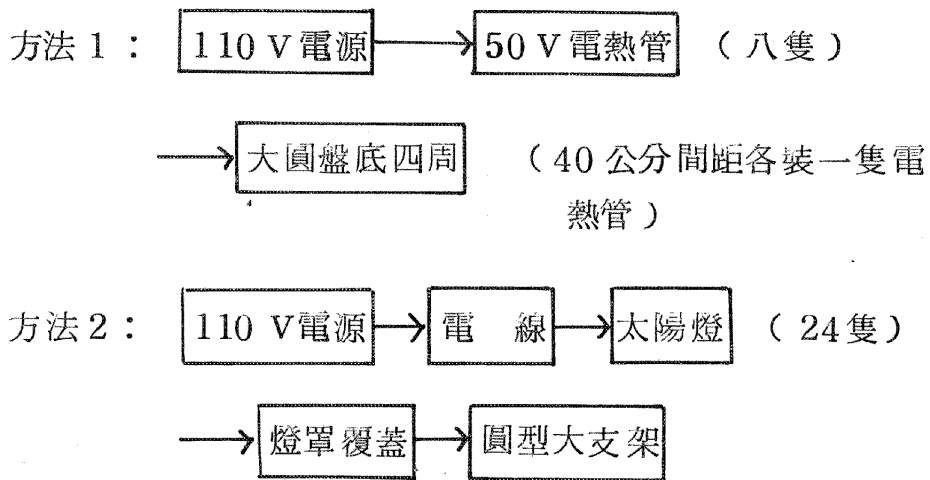
圖一：冷媒冷却流動流程圖



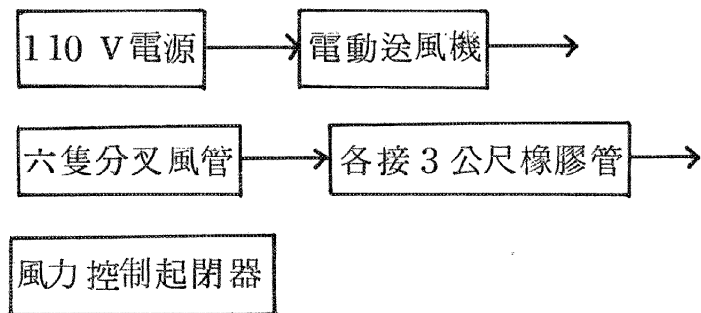
圖二、模型轉動起閉流程圖



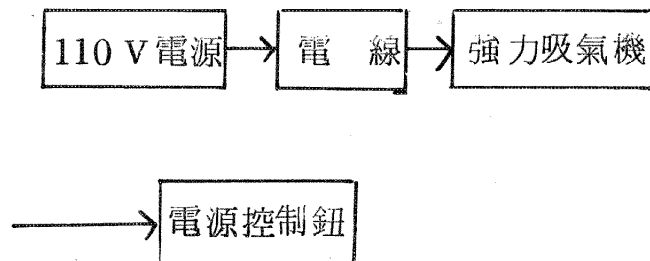
圖三：模型轉動所需熱源之流程圖



圖四：模型所需風力裝置流程圖：



圖五：模型內風力吸排控制裝置流程圖：



4. 實驗方法：

實驗方法一：行星風系（大氣之環流）

(1) 探討信風帶

結果：形成南北半球兩低緯度信風帶（東風帶）

(2) 探討西風帶

結果：

① 形成南北半球 30 度處之馬緯度無風帶。

② 形成 35° ~ 55° 間之西風帶。

(3) 探討極區東風帶

結果：形成南北極區東風

實驗方法二：熱帶風暴（颱風眼形成之製作）

結果：形成模擬颱風眼

實驗方法三：大氣主環流及噴射氣流

(1) 非對稱的僅斜波

結果：7 轉 / 秒以前形成非對稱的傾斜波，9 轉 / 秒以後圓盤內四周產生無數連串波。

(2) 噴射氣流及大氣主環流

結果：

圓盤轉速	4 轉 / 分	5 轉 / 分	6 轉 / 分	7 轉 / 分	8 轉 / 分	9 轉 / 分
結果	形成大氣主環流	形成大氣主環流	形成噴射氣流對稱波	噴射氣流形成二個應稱波	四個以上對稱波	連串波動

五、結 論

1 本文討論颱風之性質演變原因，利用物理、化學之理論，應用儀器，分別探討有關颱風形成之原因，颱風中心距離、速率、方向，同時結合機械學，電氣學等之技術，製作了一台，能模

擬解釋大氣之運動狀況之實驗模型儀器。

2 製作了一台二公尺直徑之大氣主環流實驗盆，可以表示大氣性質：

(1)冷源與熱源間之溫度梯度代表極地與赤道間之溫度梯度。試驗盆中之熱量，是依靠水，代表大氣中之熱量運輸是依靠空氣；冷源與熱源之間水的流動，代表大氣之經向環流。

(2)試驗盆旋轉時，維持一定角動量，代表地球之角動量不減。將上述兩點綜合起來，即能描述盆內水之變化，亦可解釋大氣之運動狀況。

3 主環流（經向環流），可使赤道與極地間之溫度梯度減小，即使全球之熱量分佈近於平衡；次環流（旋渦），為主要運輸角動量，且為每日天氣變化之主要因素；在低緯度地區，大部分靠經向環流運輸，而在中緯度與高緯度地區，大部分靠旋渦運輸；這兩種運輸機構，構成大氣之主要運動，亦是供應噴射氣流能量之來源。

4 由模型試驗中得知對稱的噴射氣流，因地球自轉偏向力，以及赤道與極地間之溫度梯度，故不能維持恒久，而分裂形成旋渦狀之氣團，因此，環繞著中緯度地區，有許多並排列之冷氣團旋渦與暖氣團旋渦，此種位能分佈，稱為旋渦位能（Eddy Potential Energy），在接近地面時，冷氣團旋渦產生高氣壓（反氣旋），而暖氣團旋渦則產生低氣壓（氣旋）；但到達對流層頂平面時，因冷空氣之垂直壓力遞減率，較暖空氣大，故冷氣團旋渦則形成低壓槽，其內之空氣是冷的，而暖氣團旋渦則形成高壓脊，其內之空氣是暖的。

六、困難之克服，未來的研究及展望

1 製作大氣主環流試驗模型盆時，我們遭遇到下列幾點困難，而終究將其克服：

(1)模型大小問題

試驗模型盆，要多大，才能將大氣主環流完全演譯出來

，首先困擾著我們。依全國科學展覽輔導手冊規定，展示模型為60平方公分，然而對於全球性大氣團之演變情況，應以愈大愈能展示出各種的氣旋和反氣旋以及主環流之變化情形。原擬製作一4公尺直徑長之大圓盆，然而我們一般門窗最大寬度也僅2.1公尺，因此我們爲了科學精神之求真求實，排除種種問題及困難，製作2公尺直徑之大模型試驗盆。同時爲了牽就科展會場，另又製作一隻90公分寬之試驗模型盆（仍超過規定30公分（全國科展20屆以前均在台北市南海路國立科學教育館展出，展覽會場空間有限，同時展覽品也多，因此不得已做了如此之規定其用意是出之善意。然而如此會圍限了科學之發展及俱有創意者之發揮，我們希望對於能事先報備而安排適當空間，使我們長期來的研究成果，能夠展示出來，虛心接受大家之批評指教。

(2) 電源（電荷量）問題

爲了達到演繹效果，我們在整個實驗模型中，電源之用量及分配，均做了妥善的安排。因整個模型所需總電量爲72安培（A）（馬達，5安培，電熱管32安培，冷凍器5安培，紅外線燈泡30安培），而一般教室均在20安培左右。因此我們準備30公尺以上之電纜線。使用電源必須由總開關接應。同時爲能適應展示會場，各種電源調整爲各自獨立，如此單獨使用，安排組件使用電源次序，就能很方便操作。

(3) 模型圓盤轉速問題：

赤道上地面隨地軸之轉動速率每小時爲一千哩，中緯度急流之典型速率爲每小時一百哩，故其間之比率爲一比十。

普通馬達轉速1720轉／分，裝置一座變速器，同時用一皮帶接到直徑各60cm，4cm之定輪軸上，使馬達轉速

降到7.15轉／分 $\left\{ \left(1720 \text{ 轉／分} \div \frac{1}{60} \right) \right\} \div \frac{1}{4} = 7.15$

轉／分

a 當將盆慢轉，可見繞冷源之「風」，在盆之外緣或赤道上，風速與盆之轉速相同，故其之比值為一。（此時流場繞冷源成對稱式，且不隨時間變化）

b 當將盆快轉，最大水速與盆邊速率之比降至一比十，故此項水速相當於大氣中時速一百哩的風速且形成連串波動，隨時變化，與高空西風帶之波動極為相似。

(4)搬運問題：

整個試驗模型連冷熱源支架，佔有很大空間，因此爲了以後展覽搬運方便，在設計之初將整個模型均可將其化整爲零，唯有大圓盤，爲防其水漏仍是整體性。

2. 未來的研究及展望：

此次研究大氣有關之知識，探討了有關熱氣旋形成之原因，中心距離、速率、方向等問題。吾們將深入探討熱帶氣旋各種雲系之成因及演變；同時將綜合三十年來颱風進行途徑，預定製作一台能夠演示颱風進行途徑之預報機，探討在何項變因下，將侵襲台灣或則將轉向。

由製作大氣主環流實驗模型，啓發了，我們對地震對海洋、海濤波動之影響，同時將深入探討各類海洋、海溝流動情形。

七、參考資料

- 1 陳國彥著：中山自然科學大辭典（第六冊）第三章氣候與氣象，台灣商務印書館出版 62 年 12 月。
- 2 Henry Lepp 著，戚啓勳譯：最新地球科學（dynamic earth）自然雜誌社 67 年 3 月
- 3 戚啓勳編著：物理氣候學基礎，正中書局印行 66 年 11 月
- 4 B.T. Retallack 著戚啓勳譯：地球科學上下冊幼獅書局印行 63 年 3 月
- 5 戚啓勳 編著：氣象，科學月刊社 67 年 9 月
- 6 戚啓勳 編著：普通氣象學，正中書局印行 63 年 6 月

7. Isaac Asimov 著：王大庚，王唯工譯：大氣，台灣商務印書館發行 68年4月
8. James G. Edinger 著，劉康寰譯：風的觀察，台灣商務印書館發行 59年11月
9. Elmar R. Reiter 著，許萬德譯：噴射氣流，台灣商務印書館發行 60年11月
10. 李松齡編：氣象學，台灣商務印書館印行 59年1月
11. Louis J. Battan 著，程振粵譯：污濁的天空，台灣商務印書館發行 59年2月
12. Louis J. Battan 著，易定華譯：雷達觀測氣象，台灣商務印書館發行 59年4月
13. 史中一編：地球和宙科學線學，台灣商務印書館發行 60年6月
14. D.K. C. Mac Donald 著，李啓新譯：
物理學零點，台灣商務印書館發行 60年7月
15. 劉鴻喜編著：自然地球學，三民書局印行 69年1月
16. 蔣丙然編著：氣候學，正中書局印行 56年5月
17. A Austin Miller 著：蕭廷奎譯：氣候學，正中書局印行
59年4月
18. Captain David C. Holmes 著，宋游楠崑譯：
瞭解天氣，正文書局印行 63年1月
19. Duncan C. Blanchard 著，薛公憲譯（：從雨滴到火山
，正文書局印行 63年1月
20. 唐榮澤譯：轉向颱風的強度，中國文化學院氣象系刊第二期
62年6月
21. 林宗嵩譯：地球旋轉對物體運動之影響，中國文化大學氣象系
刊第二期 62年6月
22. 黃元杰：人類改造颱風之過去及未來
中國文化大學氣象系刊第二期 62年6月

- 23.張揚棣：颱風淺說，中國文化大學，氣象系刊第二期 62年
6月
- 24.王繼忠：風的來去踪影，中國文化大學氣象系刊第二期 62
年6月
- 25.吳宗堯、戚啓勳著：用比擬法預估颱風侵台期內之降水量，氣
象學報季刊第十九卷第三期 62年9月
- 26.徐晉准、王博義著：北太平洋西部轉向颱風之分析研究，氣象
學報季刊 Vol 20. No 1 63年3月
- 27.劉子敬著：颱風經過台灣之性質演變，氣象學報季刊 Vol. 21
No. 1
- 28.魏元恒、徐君明著：颱風頻率長期變化之例證研究，氣象學報
季刊 Vol 21. No. 2
- 29.徐寶箴、劉復誠著：颱風經過台灣及其鄰近地區之衛星雲，氣
象學報季刊 Vol 21. No. 3
- 30.陳毓雪、鮑學禮著：颱風路徑客觀預報方法之進一步研究，氣
象學報季刊 Vol 21. No. 3

評語：1 頗有創意，觀念也正確，富有教學價值。

2 學生自作部份嫌少。

惟師生共同研究精神可佩，值得鼓勵。