

中華民國第四十八屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 理化科

031612

風力知多少

學校名稱：宜蘭私立中道高級中學(附設國中)

作者： 國二 林佳緯 國二 林依頻 國二 吳胤楨 國二 游宜鎮	指導老師： 林嘉添 林秋明
---	-----------------------------

關鍵詞：三力平衡、壓力與接觸面積、風場分析

摘要、利用電風扇所提供的穩定風力來源，了解風扇所造成的風力分布圖(風場)。利用簡單的實驗器材取得相關數據，並根據國中所學之線段長短與力的大小成正比之關係，算出風力的大小。並把各球點所受之風力大小與其相對位置畫於方格紙上，討論其結果。

壹、研究動機

「能源」一直是大家所關切的問題，風力發電一直是現代化國家電力的來源之一，而台灣也逐漸有開發風力發電的相關消息出現，例如澎湖縣白沙鄉台電所設置的四部風力發電機組。於是乎就想對「風」所造成的力場有所了解，利用風扇所產生的穩定風力與較輕的保麗龍球來了解其風場，並試著找出些許的規律性。

貳、研究目的

- 一、利用穩定風力來源（風扇）及簡單的力的計算，找到風扇之風場圖。
- 二、探討不同位置的風力來源對風場的影響。

參、研究設備及器材

- 一、電風扇：扇葉圓心距地面高 75cm 風扇半徑 21cm
- 二、保麗龍球：半徑 25mm、30mm、40mm、50mm
- 三、棉線
- 四、鋼架及固定用膠帶
- 五、紗窗
- 六、測量工具：尺
- 七、裝置如圖 1 所示。



圖 1

肆、研究過程或方法

- 一、各位置點的決定：於地面上畫出前後左右間隔均為 10cm 的點；如圖 2 所示，共有 56 個觀察點。((0,0)距離風扇 100 公分)

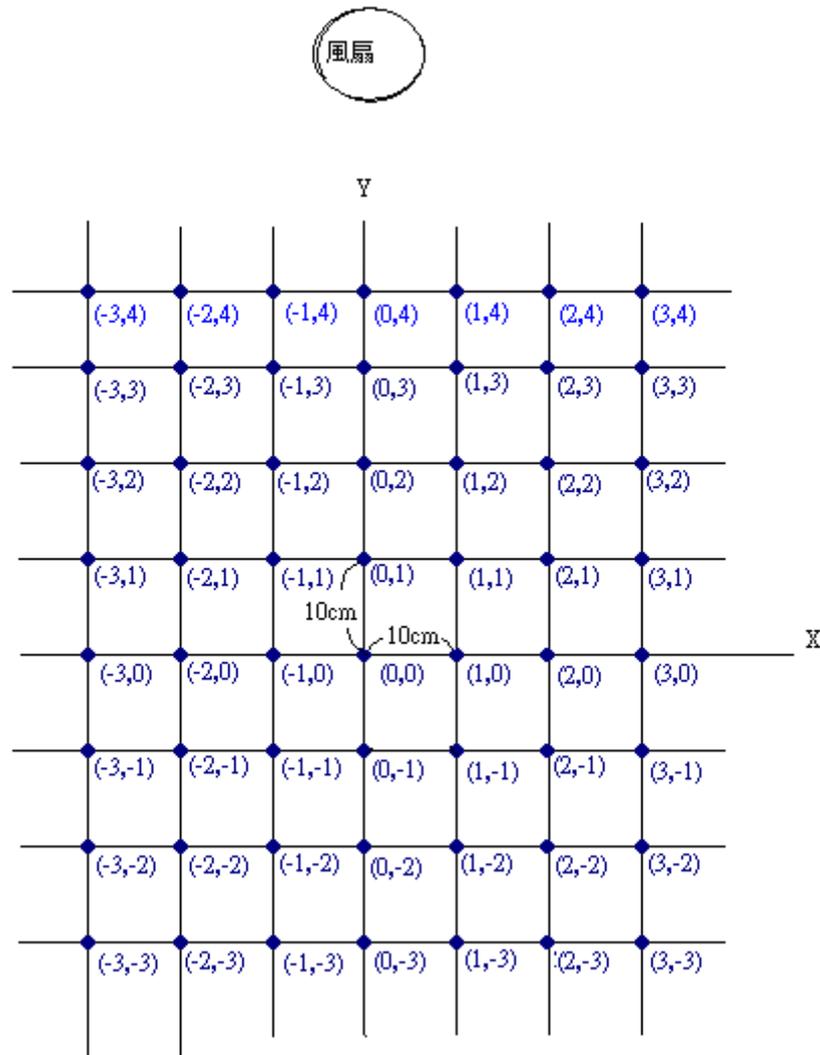


圖 2

- 二、尋找合適的形狀：分別針對正方體、長方體、角柱體、球體進行測試。
- 三、尋找合適的大小球體：分別針對半徑為 25mm、30mm、40mm 與 50mm 保麗龍球進行測試。
- 四、架設裝置：整個裝置如圖 1 所示（照片）
- 五、進行各個點的風力測量。
- 步驟 1：將風扇置於固定位置後，並將鋼架上的保麗龍球，至於圖 2 中位置點 1 的正上方。
- 步驟 2：打開風扇，風力穩定後，取得保麗龍球的最高點紀錄，即是(h)，並量取原球點位置與最高點處之水平距離，同樣記錄，即是(L)。
- 註一：最高點的取得，當保麗龍球撞擊紗窗後，仍有反彈，則不是所要的最高點；所要的高點乃是球撞擊紗窗後，仍能持續於紗窗上。如圖 3 所示。



圖 3

步驟 3：重複上述步驟 6 次。

步驟 4：更換其他位置，重複步驟 1~3。

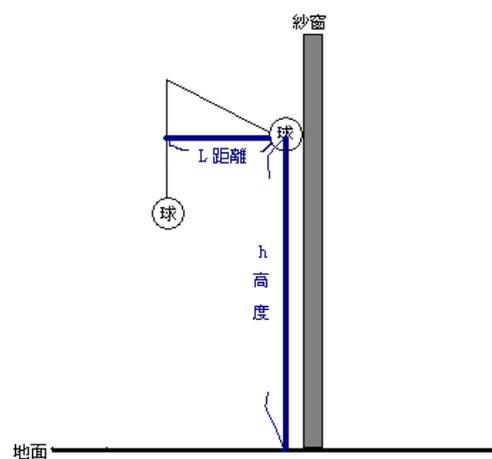
伍、研究結果

形狀：因為球體最為對稱，受力最為均勻，所以受力後晃動程度較為規則，故採用球體做實驗。

大小：經實驗後，以晃動情形決定採用半徑 30mm 的保麗龍球，其質量為 2.53mg。

一、實驗結果：

(一) 相對位置關係圖



(二) 各固定點的圓球，受力後的高度與距離。如表 1 所示。

位置		實驗一	實驗二	實驗三	實驗四	實驗五	實驗六	實驗七	平均值
(0,0)	距離(L)	19.1	17.5	18.2	21.0	22.8	19.5	17.5	19.37
	高度(h)	82.0	80.1	77.5	81.3	83.5	80.2	80.5	80.73
(-1,0)	距離(L)	20.1	19.3	19.0	19.4	20.0	17.5	18.3	19.09
	高度(h)	82.1	82.3	79.5	79.5	81.2	80.2	80.0	80.69
(1,0)	距離(L)	20.9	19.6	19.2	19.3	19.1	17.2	18.6	19.13
	高度(h)	83.7	80.2	80.5	81.0	81.5	78.7	80.3	80.84
(-2,0)	距離(L)	23.1	17.5	17.8	21.8	22.5	20.0	20.3	20.43
	高度(h)	85.4	79.5	79.9	84.0	85.5	83.9	84.6	83.26
(2,0)	距離(L)	23.5	21.0	19.3	18.2	19.0	19.5	20.5	20.14
	高度(h)	85.8	84.5	85.0	84.5	82.5	81.5	83.0	83.83
(0,-1)	距離(L)	15.9	17.5	17.0	19.5	19.0	18.2	18.5	17.94
	高度(h)	78.0	80.1	78.5	82	80.5	81.1	80.2	80.06
(-1,-1)	距離(L)	16.5	21.1	21	18.3	19.5	19.5	19.2	19.30
	高度(h)	80.2	79.5	79.5	79.4	79.2	79.8	78.5	79.44
(1,-1)	距離(L)	17.2	18.8	18.1	20.5	19.1	20.5	19.4	19.09
	高度(h)	77.1	78.8	78.0	79.0	78.1	79.6	79.9	78.64
(-2,-1)	距離(L)	21.3	19.5	21.0	22.5	23.6	20.1	24.1	21.73
	高度(h)	77.1	79.3	82.6	82.5	82.5	83.0	83.1	81.44
(2,-1)	距離(L)	24.0	21.2	23.7	19.5	19.5	22.1	20.3	21.47
	高度(h)	81.0	83.6	83.1	81.2	79.5	81.5	80.5	81.49
(0,-2)	距離(L)	14.3	17.5	15.2	14.3	14.5	17.2	15.5	15.50
	高度(h)	77.1	81.0	77.1	77.8	77.1	80.5	79.0	78.51
(-1,-2)	距離(L)	16.1	18.5	19.5	19.1	17.5	17.5	16.5	17.81
	高度(h)	76.1	77.5	80.2	79.2	78.3	78.8	78.6	78.39
(1,-2)	距離(L)	18.5	16.5	19.4	16.3	15.5	19.5	16.8	17.50
	高度(h)	81.0	78.5	79.4	81.2	78.3	81.5	79.6	79.93
(-2,-2)	距離(L)	18.2	16.5	16.5	17.0	18.5	17.5	18.5	17.53
	高度(h)	81.0	78.5	78.3	80.1	81.5	79.3	79.8	79.79
(2,-2)	距離(L)	21.0	17.3	19.1	19.8	20.5	21.5	21.4	20.09
	高度(h)	82.3	80.9	80.5	80.7	81.2	79.5	80.5	80.80
(0,1)	距離(L)	18.5	16.3	18.1	20.5	16.5	20.0	15.9	17.97
	高度(h)	81.7	81.5	83.1	83.5	81.3	81.5	80.5	81.87
(-1,1)	距離(L)	17.5	21.5	17.5	18.5	17.5	17.3	18.5	18.33
	高度(h)	82.5	84.0	81.8	79.5	80.4	80.7	82.0	81.56

(1,1)	距離(L)	22.5	18.1	16.5	17.1	19.2	15.5	18.2	18.16
	高度(h)	86.2	80.2	79.4	79.3	79.5	79.3	81.2	80.73
(-2,1)	距離(L)	17.2	18.7	21.3	17.4	19.3	21.7	22.1	19.67
	高度(h)	84.1	86.1	86.3	82.5	82.9	84.3	84.5	84.39
(2,1)	距離(L)	23.5	22.5	24.0	25.5	23.5	22.8	23.5	23.61
	高度(h)	87.5	85.5	91.0	80.0	85.9	87.6	84.3	87.97
(0,2)	距離(L)	18.5	15.5	19.3	17.5	21.3	20.7	17.8	18.66
	高度(h)	80.1	81.7	81.9	85.5	87.1	81.5	81.1	82.70
(-1,2)	距離(L)	21.5	18.5	18.5	19.3	21.3	19.1	17.8	19.43
	高度(h)	84.5	77.8	80.7	81.5	81.8	82.1	81.5	81.41
(1,2)	距離(L)	24.5	20.5	19.4	16.9	15.8	17.2	18.5	18.97
	高度(h)	84.9	83.1	84.7	83.5	83.5	85.5	85.1	84.33
(-2,-2)	距離(L)	22.1	19.4	17.6	19.1	19.6	20.7	22.1	20.09
	高度(h)	80.3	84.2	83.5	85.7	86.0	86.7	86.5	84.70
(2,2)	距離(L)	25.5	25.0	22.0	24.5	23.8	25.6	24.1	24.35
	高度(h)	85.7	91.1	83.2	89.5	88.6	87.9	88.5	87.78
(0,-3)	距離(L)	13.1	14.5	13.6	14.5	12.9	13.8	12.5	13.56
	高度(h)	76.5	78.1	76.8	77.4	76.5	77.9	75.5	76.96
(-1,-3)	距離(L)	12.8	14.3	13.1	14.5	12.7	13.8	12.3	13.36
	高度(h)	76.5	77.6	77.0	77.8	76.5	77.4	75.5	76.90
(1,-3)	距離(L)	12.3	14.1	11.5	11.4	11.6	12.3	12.1	12.19
	高度(h)	77.5	76.5	77.5	76.5	77.1	77.8	76.3	77.03
(-2,-3)	距離(L)	11.3	12.1	13.8	11.5	16.5	12.1	13.6	12.99
	高度(h)	75.5	75.8	77.3	77.9	77.5	77.8	79.6	77.34
(2,-3)	距離(L)	11.5	12.1	12.5	12	12.8	12.1	12.5	12.21
	高度(h)	77.8	78.1	77.5	77.1	76.4	76.5	76.2	77.09
(-3,-3)	距離(L)	13.5	13.1	11.8	12.5	12.1	12.3	13.9	12.74
	高度(h)	77.1	76.4	77.7	76.2	77.1	77.5	76.9	76.99
(3,-3)	距離(L)	8.1	8.0	8.8	8.3	8.9	8.2	9.2	8.50
	高度(h)	75.1	75.3	77.1	75.4	74.5	74.5	77.8	75.67
(-3,-2)	距離(L)	10.2	11.3	14.7	12.8	14.3	14.6	15.0	13.27
	高度(h)	77.1	75.5	76.1	75.4	77.5	77.4	78.3	76.76
(3,-2)	距離(L)	14.1	11.5	12.1	13.6	12.8	11.5	12.5	12.59
	高度(h)	77.8	75.7	76.5	78.4	75.8	75.5	75.5	76.46

(-3,-1)	距離(L)	14.5	14.2	14.8	14.1	14.3	13.8	14.5	14.31
	高度(h)	76.2	77.4	76.1	76.3	77.0	76.5	77.4	76.70
(3,-1)	距離(L)	11.5	13.2	13.5	12.8	12.7	12.5	13.0	12.74
	高度(h)	76.1	76.5	77	77.1	76.5	77.1	76.7	76.71
(-3,0)	距離(L)	15.1	13.5	15.5	14.8	13.5	14.9	13.5	14.40
	高度(h)	77.5	76.9	79.5	78.3	76.5	78.0	78.3	77.86
(3,0)	距離(L)	12.3	15.5	15.1	9.8	13.1	12.5	12.3	12.94
	高度(h)	76.1	77.5	79.0	76.1	77.8	78.4	78.3	77.60
(-3,1)	距離(L)	15.1	12.6	13.5	14.1	14.8	13.5	14.0	13.94
	高度(h)	79.5	77.1	78.5	77.8	78.5	78.5	79.3	78.46
(3,1)	距離(L)	12.4	12.3	13.1	13.5	12.4	11.9	13.0	12.66
	高度(h)	76.5	75.5	75.4	79.8	76.2	76.5	79.5	77.06
(-3,2)	距離(L)	10.2	11.5	11.5	12.1	11.8	11.7	12.3	11.59
	高度(h)	76.7	78.7	77.5	78.5	76.8	77.8	77.5	77.64
(3,2)	距離(L)	10.5	12.5	10.5	12.3	11.4	11.3	10.8	11.33
	高度(h)	76.1	76.4	74.8	75.8	76.5	76.5	75.5	75.94
(-3,3)	距離(L)	21.0	16.5	23.5	23.0	21.5	21.5	22.6	21.37
	高度(h)	86.5	78.5	89.0	88.0	87.3	88.2	81.9	85.62
(3,3)	距離(L)	0							
	高度(h)	75.0							
(-2,3)	距離(L)	21.5	20.2	22.8	22.5	20.7	22.1	25.9	22.24
	高度(h)	85.1	88.1	90.2	90.0	90.5	89.8	92.1	89.40
(2,3)	距離(L)	24.1	23.5	22.3	26.1	25.8	25.1	25.3	24.60
	高度(h)	88.3	90.1	88.2	90.5	88.3	89.5	90.0	89.27
(-1,3)	距離(L)	20.5	20.3	22.5	20.5	22.1	22.8	23.4	21.73
	高度(h)	83.5	83.1	83.1	81.5	82.1	83.7	84.3	83.04
(1,3)	距離(L)	21.0	23.3	21.0	22.0	20.8	22.5	23.5	22.02
	高度(h)	88.0	87.5	85.5	86.0	86.5	83.9	87.2	86.37
(0,3)	距離(L)	13.0	16.5	15.3	15.6	16.4	16.1	15.4	15.47
	高度(h)	75.5	78.5	77.8	79.1	79.5	79.3	78.1	78.25
(0,4)	距離(L)	22.5	17.5	17.2	17.6	18.3	17.5	18.5	18.44
	高度(h)	85.0	80.0	82.7	81.2	82.5	81.5	82.2	82.15
(1,4)	距離(L)	14.6	14.1	15.5	19.8	18.7	16.2	16.5	16.48
	高度(h)	83.3	84.1	79.8	81.5	80.3	82.5	82.9	82.05
(2,4)	距離(L)	21.0	24.3	22.5	21.5	22.8	22.6	23.1	22.54
	高度(h)	85.5	87.2	88.5	85.0	84.9	86.5	86.3	89.12
(3,4)	距離(L)	0							

	高度(h)	75.0							
(-1,4)	距離(L)	21.0	24.3	22.5	21.5	22.0	22.2	23.4	22.41
	高度(h)	85.5	87.2	88.5	85.0	86.5	84.3	85.6	86.08
(-2,4)	距離(L)	19.5	23.2	22.0	24.5	25.4	23.5	23.5	23.08
	高度(h)	91.2	92.1	91.0	90.5	89.5	87.0	89.2	88.64
(-3,4)	距離(L)	4.0	6.0	2.0	5.0	7.0	4.0	4.0	4.57
	高度(h)	78.5	75.9	76	76.3	77.2	75.8	73.0	76.1

表 1

(二) 計算結果：

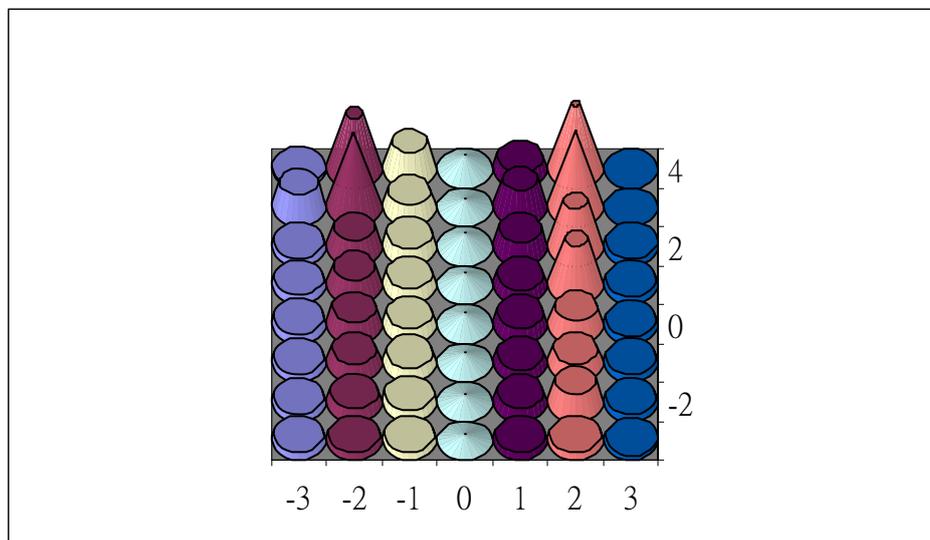
1. 利用線段長與力的大小成正比，如下列數學式， $\frac{\text{風力}}{L} = \frac{\text{球重}}{91.5 - h}$ ，即算出各點的風力大小。其單位為公克重(gw)。
2. 所有點的風力大小，如表 2 所示。
3. 數學式中的 L 與 h，均是所有實驗資料的平均值。

	-3	-2	-1	0	1	2	3
4	0.733	20.391	10.441	4.984	4.402	23.959	0
3	9.183	26.793	6.502	2.960	10.853	27.906	0
2	2.125	7.464	4.883	5.364	6.705	16.572	1.847
1	2.707	7.008	4.655	4.731	4.276	16.921	2.226
0	2.682	6.274	4.478	4.554	4.529	6.654	2.353
-1	2.454	5.465	4.048	3.972	3.744	5.414	2.176
-2	2.277	3.795	3.441	3.011	3.820	7.756	2.125
-3	2.226	2.328	2.328	2.353	2.125	2.151	1.366

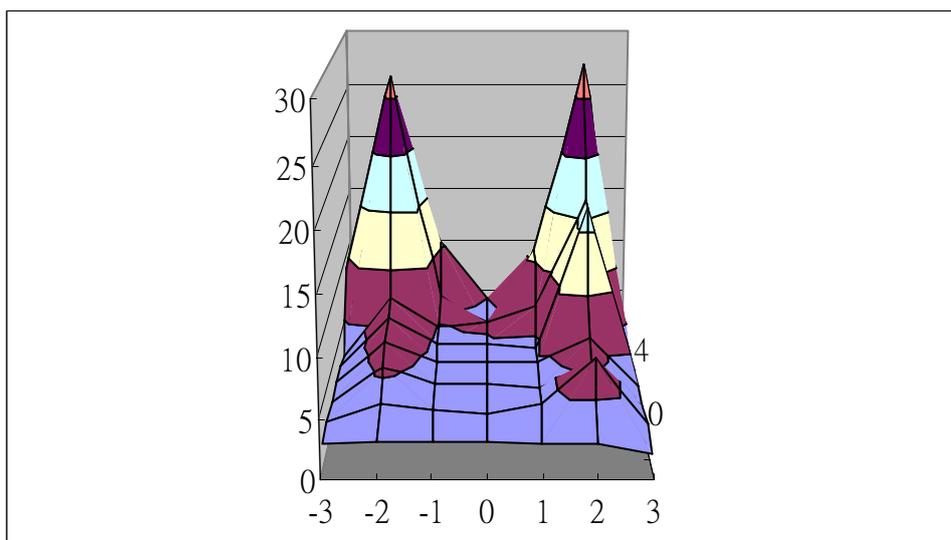
表 2

(三) 風場示意圖：將上述結果轉換成下列圖形。

1、風場錐型圖



2、風場立體曲面圖



陸、討論

一、結果

- (一) 因球體最為對稱，所以受力最平均，軌跡較正常。
- (二) 球體：(實驗結果如附表)

距風扇 1m (0,0)				
球心與扇葉中心距地等高 75cm				
Size(半徑)	25mm	30mm	40mm	50mm
吹起終點到原點距離	19	17	14.5	13

- 1、較大的球：球體表面積較大，質量也較重，所以風力太弱無法吹起，使實驗結果不易測量。
- 2、較小的球：球體質量太輕，會讓每組實驗的數據相近，無法比較。
- (三) 棉線：因重量不會過輕，也不會被風吹起而蜷曲使實驗產生誤差。
- (四) 在座標(-2, 3)與(2, 3)的位置具有最強的風力。

二、問題

- (一) 原本實驗時訂定使用板子，但實驗時發現板子會使風力反彈，以致於球無法碰觸到板子，故後來決定用紗窗代替板子。
- (二) 球碰到紗窗的點測量因風向不同，使球吹起的點左右也不同，故決定在紗窗上每 5cm 畫一種顏色，用起測量球碰到的點與原點的角度關係。如圖 4 所示。



圖 4

- (三) 由實驗可發現，靠近風扇的地方，右側風力較強；距風扇較遠的地方，左側左側風力較大。其原因推論可能是扇葉所造成風力不均勻的現象。
- (四) 風扇順時鐘轉，扇葉葉面往右傾斜，(3,4)、(3,3)因扇葉傾斜，故沒有受風。
- (五) 中間的 x 軸 1、-1、0 等風力較小，判斷因扇葉中心有固定用的構造，會阻礙風的軌跡，故中間風力較小。
- (六) (1,4)、(0,4)、(-1,4)、(1,3)、(0,3)、(-1,3)等點較不易測量，因為中間近距離的點受左右兩側風力互相影響，晃動得較劇烈。

三、實驗結果延伸

(一) 經由以上由實驗中所得知的數據資料，我們先算出在每個測量點上之風力 F 。

(二) 除了可利用先前的數學式 $\frac{\text{風力}}{L} = \frac{\text{球重}}{91.5 - h}$ 外，亦可利用「力的分解與平衡」。

其中， $F \Rightarrow$ 風力、 $F_1 \Rightarrow$ 球的重量、 $F_2 \Rightarrow$ 張力，則可得 $F^2 + F_1^2 = F_2^2$ 的數學式，同時 $\frac{F_1}{F} = \tan \theta \Rightarrow F = \frac{m}{\tan \theta}$ ，其中需注意的有

(1) F 的單位為公克重 (gw)。

(2) 此部份超出國中範圍，故還是利用數學式 $\frac{\text{風力}}{L} = \frac{\text{球重}}{91.5 - h}$ ，來求風力大小較適宜。

四、未來的計畫

- (一) 想要測量在球心距地面 85、65 公分各點位置的測量(上下 10 公分)，進一步討論風力大小與高度的關係。當然亦可延伸成三度空間的風力圖，或許會有更多的發現。
- (二) 改用平板的扇葉測量各點，避免扇葉構造所造成每個位置受到的風力不同而產生問題。並將不同扇葉所得之風力圖作一比較，尋求其中的規律性。
- (三) 依據單擺的等時性，所以我們的計算風力的方式必須在 5 度以內，才能測出精準的數據。我們將利用較大顆的保麗龍球，使它晃動的角度較小，算出其風力大小，並與目前所得的資料作一比較。
- (四) 當球的位置不是在正中心時，球的晃動並非很規則，為減少實驗誤差，則統一量取最高點。

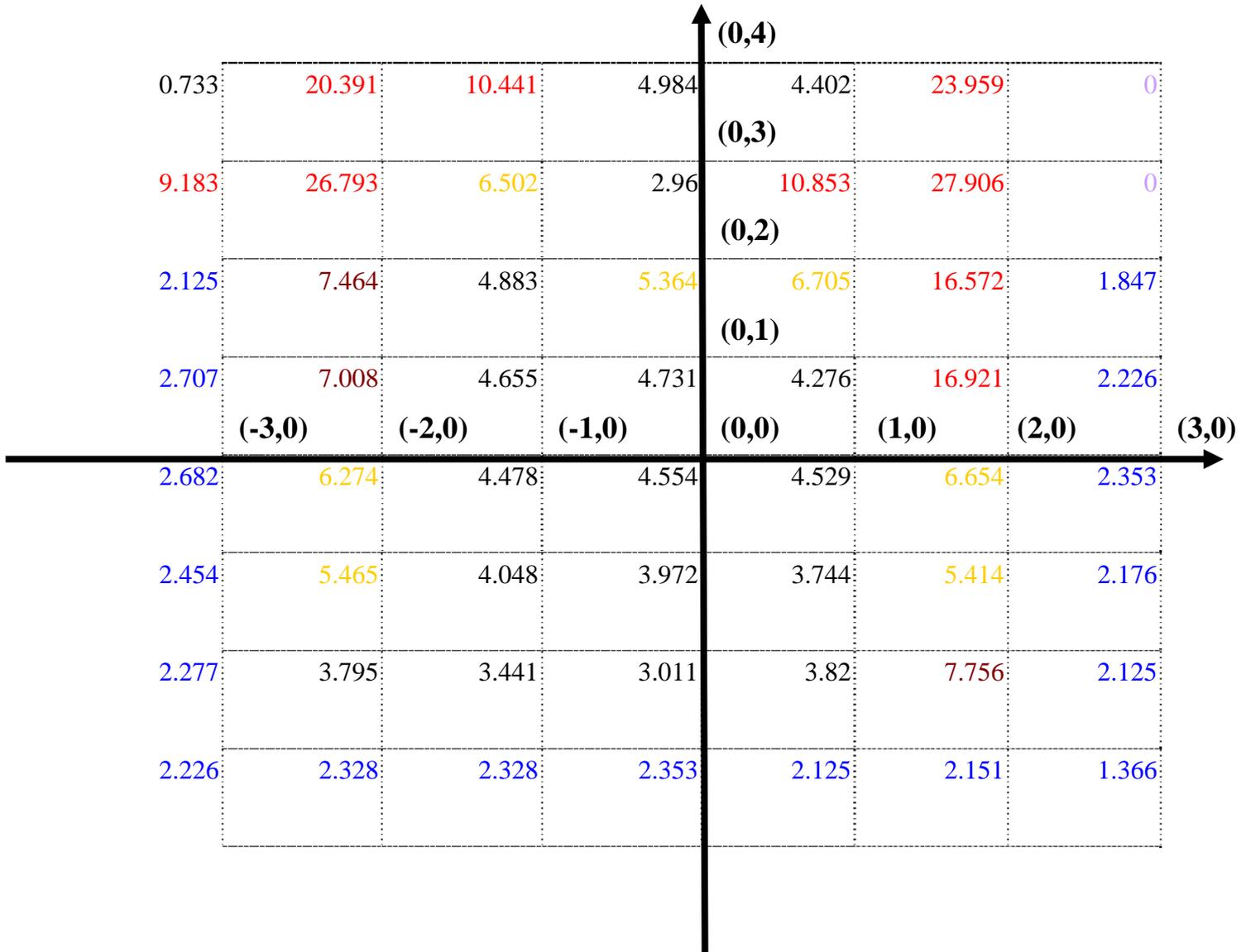
柒、結論

1. 由實驗結果我們可以得知，當電風扇開啓時並非正前方的風力最大，而是距中心線左右兩側 20cm 的地方，可得較強的風力；而 20cm 外的風力也有漸小的趨勢，未來可持續往離中心更遠或更近的位置進行測試。
2. 扣除實驗過程的人為誤差，應該可以推論當距離愈遠的時候，其風力則愈小。
3. 會有上述之實驗推論，探討其可能原因有兩點
 - (1) 電風扇的構造，因為扇葉並非平板形狀，而是有傾斜的角度，導致風力並非是兩邊對

稱大小相近的。

(2)封閉空間內的氣體流動有關，但以我們目前所學尚無法了解。

4.當我們由實驗結果所得的數據要畫出風場圖時，遇到了很大的阻礙，並無法完成。只好利用間距著色的方法，才使得數據圖形較易於分析。如圖 5 所示。



1-2.9 藍色 3-4.9 黑色 5-6.9 黃色 7-8.9 棕色 9 以上紅色

圖 5

5.本實驗所求得的風力大小，是以保麗龍球的重力分析而得，然而此風力(F)應是該處的風壓(P)乘以保麗龍球的截面積(A)所形成的，因為 $F=P \times A$ ；因此我們當初選擇球體當受力體是非常明智的，因為球體的各方向的截面積都相同。所以風力(F)可代表風壓(P)，另外若受力體的截面積愈大時，在同一位置所受的風力也會愈大。

捌、參考資料及名稱

- | | | |
|------------|-------|-----|
| 1.物質科學物理篇 | 龍騰出版社 | 上冊 |
| 2.自然與生活科技 | 南一出版社 | 第四冊 |
| 3.自然與生活科技 | 南一出版社 | 第五冊 |
| 4.高中數學 | 康熙出版社 | 第三冊 |
| 5.生活中的物理應用 | 龍騰出版社 | |

【評語】 031612

1. 本實驗藉由一簡單的設計，利用小保麗龍球來測量電扇所產生的風場。
2. 研究的結果討論了風場的量測。但對於進一步的衍生及應用尚少討論。