

中華民國第四十七屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國中組 生活與應用科學科

030814

轉！轉！轉！---尋找旋轉燈籠的黃金比例

學校名稱：花蓮縣立自強國民中學

作者： 國二 王曾佑 國二 黃建宇 國二 古馥華 國一 吳柏賢	指導老師： 紀博三 陳齊
---------------------------------------------	--------------------

關鍵詞：旋轉燈籠 熱對流 旋轉圈數

## 摘 要

本研究旨在探討影響旋轉燈籠旋轉速率的因素。研究過程是將一具有棉線、扇面的上紙杯與另一具有氣孔、蠟燭的下紙杯相結合，將蠟燭點燃，拉起棉線，利用對流作用，使兩紙杯共同旋轉，形成一個旋轉燈籠。我們分別以扇面、氣孔、蠟燭、棉線四項變因來規劃實驗設計，除探討各單項變因如何影響旋轉圈數外，更對各變因間彼此的交互作用作更深入的討論。

結果發現，當扇面面積越小、角度越小、數目越多、蠟燭越長、燭芯越長、棉線越長、氣孔越多時，都會旋轉得越快。而各因素彼此交互作用下，仍遵守單因素之結果。最後得到旋轉燈籠的黃金比例：扇面長度 1.0 cm、寬度 0.3 cm、角度 10 度、數量 14 個；蠟燭長度 6.0cm、燭芯長度 3.0 cm；棉線長度 50 cm；氣孔數量 8 個。

# 轉！轉！轉！

## —尋找旋轉燈籠的黃金比例

### 壹、研究動機：

元宵節燈會時，看到了一種特殊的燈籠，按下開關，燈籠就會發光，並開始旋轉，後來又看到另一種以蠟燭點燃的傳統燈籠，於是我們的好奇心驅使我們把蠟燭放進以紙杯做成的燈籠裡，再開幾個讓空氣流通的扇面、氣孔，看它是不是也會旋轉？此外，氣孔及扇面的數量、長寬度與角度、蠟燭及燭芯長短、棉線長短，及它們的交互作用……等，是不是會影響紙杯的旋轉圈數呢？而怎樣的「旋轉紙燈籠」才可以轉得最快呢？種種疑問在腦海中一一浮現，使我們開始以下的實驗。

### 貳、研究目的：

- 一.扇面對紙杯旋轉圈數的影響。
- 二.蠟燭對紙杯旋轉圈數的影響。
- 三.棉線長度對紙杯旋轉圈數的影響。
- 四.氣孔數量對紙杯旋轉圈數的影響。
- 五.各因素間的交互作用。

### 參、研究設備及器材：

棉線、紙杯、蠟燭、打火機、剪刀、膠帶、直尺、打洞機、美工刀、紀錄表、筆、計時器、竹籤、量角器

### 肆、研究過程與方法：

- 一.旋轉紙杯的基本構造（如附件一）與操作（如附件二）
  - 1.上紙杯：在一底部直徑 5 公分、高 8 公分的紙杯上，離紙杯底部 2 公分處分別割出 4 個扇面，其長、寬為 2 公分、0.5 公分，角度維持在 90 度。於上紙杯的頂部綁上棉線 30 公分。
  - 2.下紙杯：另取一個大小相同的紙杯，以打洞機打出 4 個氣孔，並在其底部圓心位置黏上長度 4 公分、燭芯長度 1 公分的蠟燭。
  - 3.在上紙杯的杯面上畫上記號以作為旋轉的起點。將蠟燭點燃，迅速地將上紙杯與下紙杯以膠帶黏合，拉起棉線，每 10 秒紀錄紙杯旋轉的圈數，60 秒時停止。各實驗設計重複三次，將所得的數據整理並算出平均。
  - 4.除了實驗設計作各操縱變因的改變外，其餘的變因都以如上的規格操作。

## 二.影響旋轉紙杯旋轉速率變因的實驗設計

實驗小組經過討論後，列出以下可能會影響紙杯旋轉的變因，實驗設計如下：

### (一) 扇面對旋轉圈數的影響：

- 1.長度：分別割出長度為 1、2、3、4 公分的扇面。
- 2.寬度：分別割出寬度為 0.3、0.5、0.8、1.0、1.3、1.5、1.8、2.0 公分的扇面。
- 3.角度：分別維持在 10、45、90、135、180 度。
- 4.數量：分別割出扇面數目 1~15 個的紙杯。

### (二) 蠟燭對旋轉圈數的影響

- 1.蠟燭長度：分別黏上長度分別為 1、2、3、4、5、6 公分的蠟燭。
- 2.燭芯長度：黏上燭芯長度分別為 0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0 公分的蠟燭。

### (三) 棉線長度對旋轉圈數的影響

綁上長度分別為 10、20、30、40、50、60 公分的棉線。

### (四) 氣孔數量對旋轉圈數的影響

打出數量分別為 1、2、3、4、5、6、8 個的氣孔。

### (五) 各變因的交互作用

將上述各變因中取結果最佳的前三項處理，作各變因的交互作用。

### (六) 尋找旋轉最快的紙杯

將上述因素的最佳條件集合在一起，測試其旋轉速度。

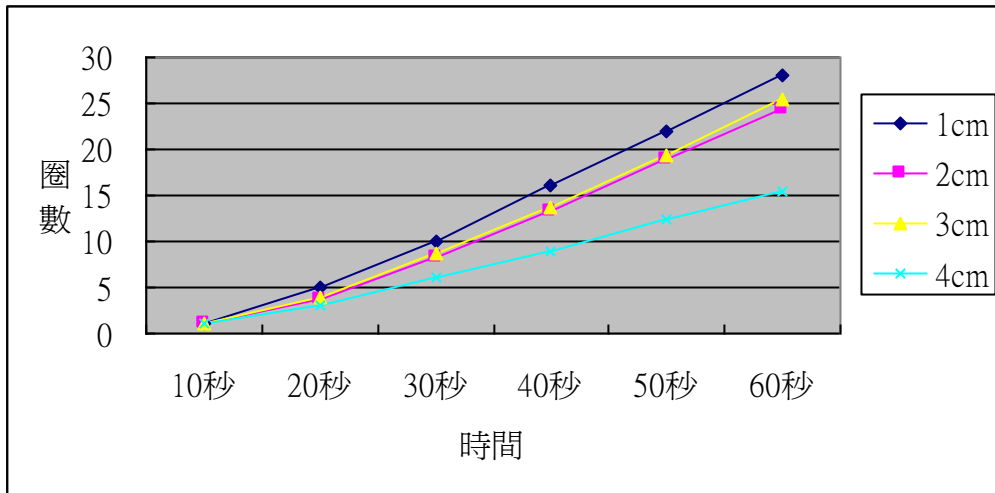
## 伍、研究結果：

### (一) 扇面對旋轉圈數的影響：

1.扇面長度：結果如下圖一。

(1) 最多者為 1 公分，最少者為 4 公分。所以研究小組推論：扇面長度越長者，旋轉越慢。

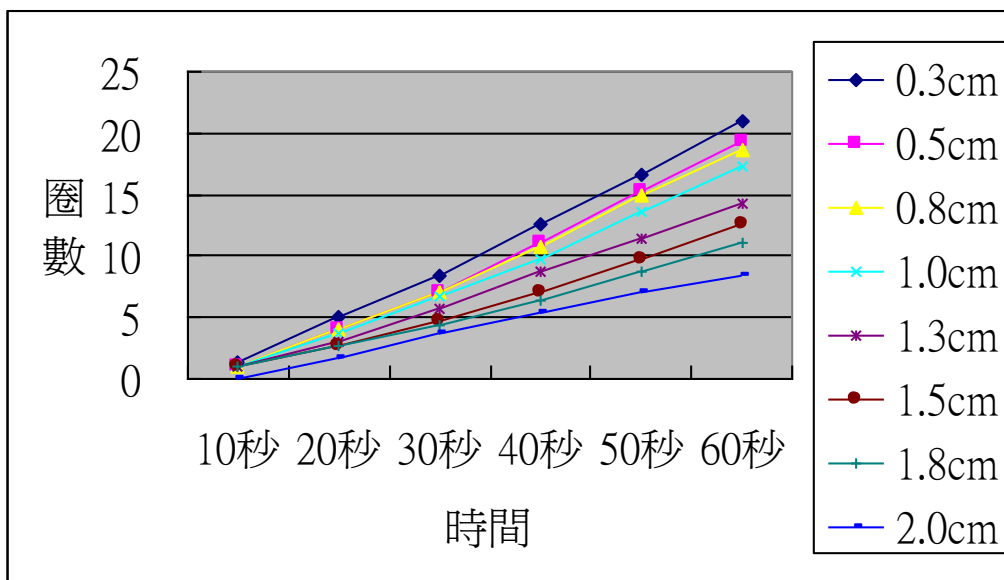
(2) 3 公分與 2 公分的旋轉速率大致相同。



圖一、扇面長度對旋轉紙杯圈數的影響

2.扇面寬度：結果如下圖二。

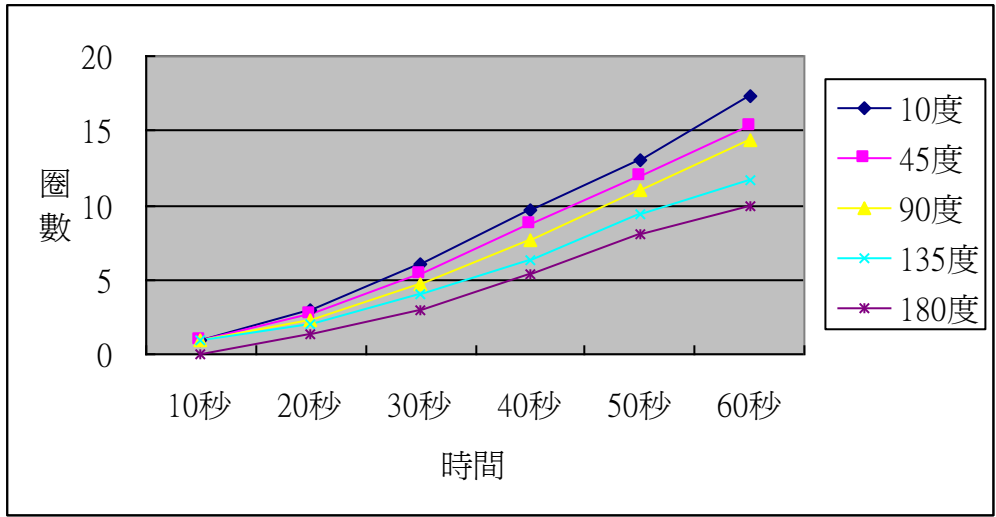
最多者為 0.3 公分，最少者為 2.0 公分。研究小組推論：扇面寬度越大者，旋轉越慢。



圖二、扇面寬度對旋轉紙杯圈數的影響

3.扇面角度：結果如下圖三。

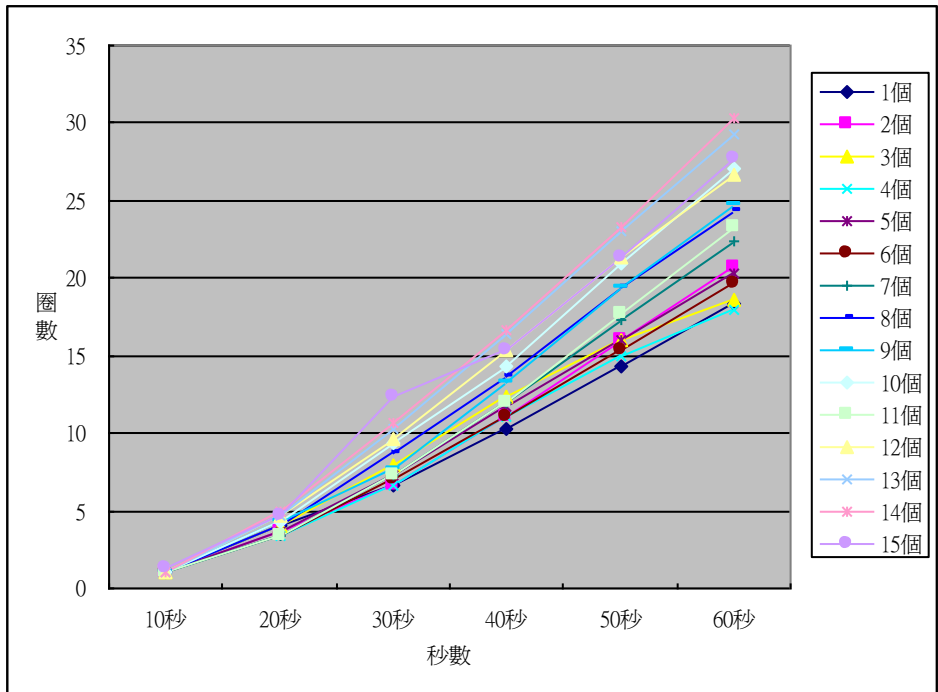
最多者為 10 度，最少者為 180 度。研究小組推論：扇面角度越大者，旋轉越慢。



圖三、扇面角度對旋轉紙杯圈數的影響

4.扇面數量：結果如下圖四。

最多者為 14 個，最少者為 1 個與 4 個。整體趨勢看來，仍然是數量越多，旋轉越快。值得注意的是數量 14 個的效果最好。

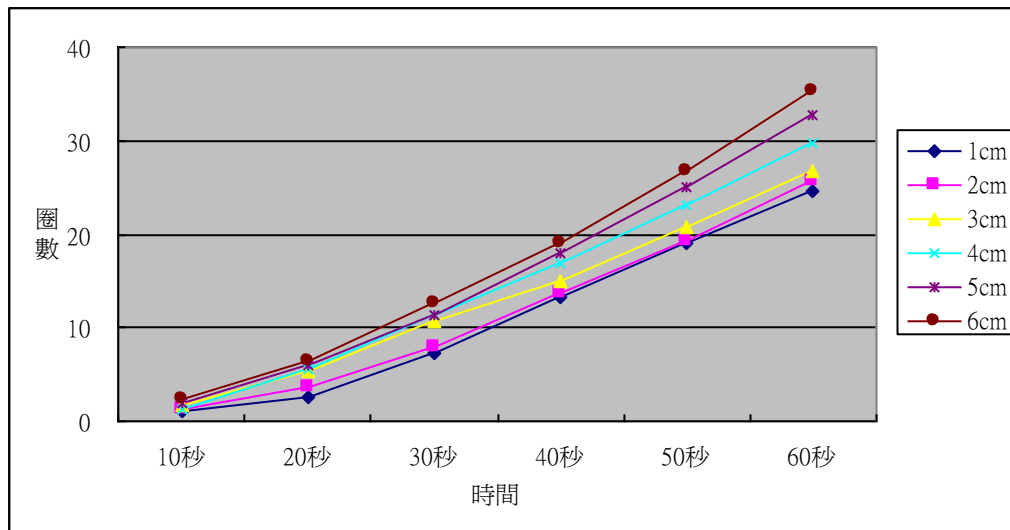


圖四、扇面數對旋轉紙杯圈數的影響

(二) 蠟燭對旋轉圈數的影響

1.蠟燭長度：結果如下圖五。

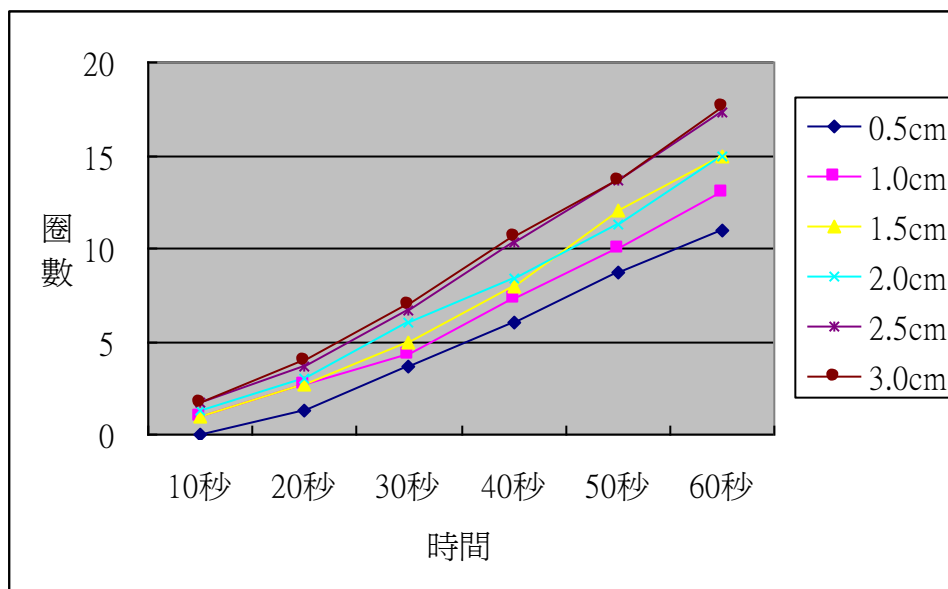
最多者為 6 公分，最少者為 1 公分。研究小組推論：蠟燭越長者，旋轉越快。



圖五、蠟燭長度對旋轉紙杯圈數的影響

2. 燭芯長度：結果如下圖六。

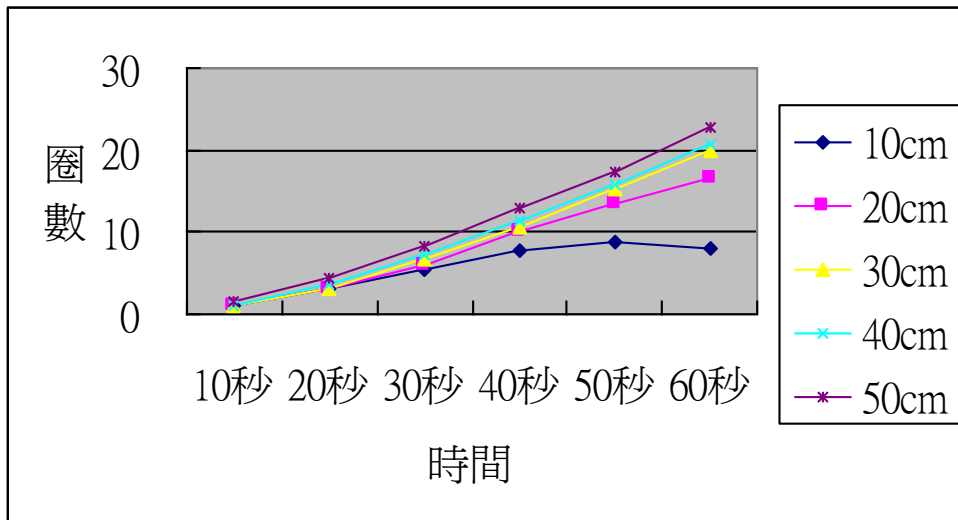
- (1) 最多者為 3 公分，最少者為 0.5 公分。研究小組推論：燭芯越長者，旋轉越快。
- (2) 3 公分與 2.5 公分的旋轉速率大致相同。而 1.5 公分與 2.0 公分的旋轉速率大致相同。



圖六、燭芯長度對旋轉紙杯圈數的影響

(三) 棉線長度對旋轉圈數的影響：結果如下圖七。

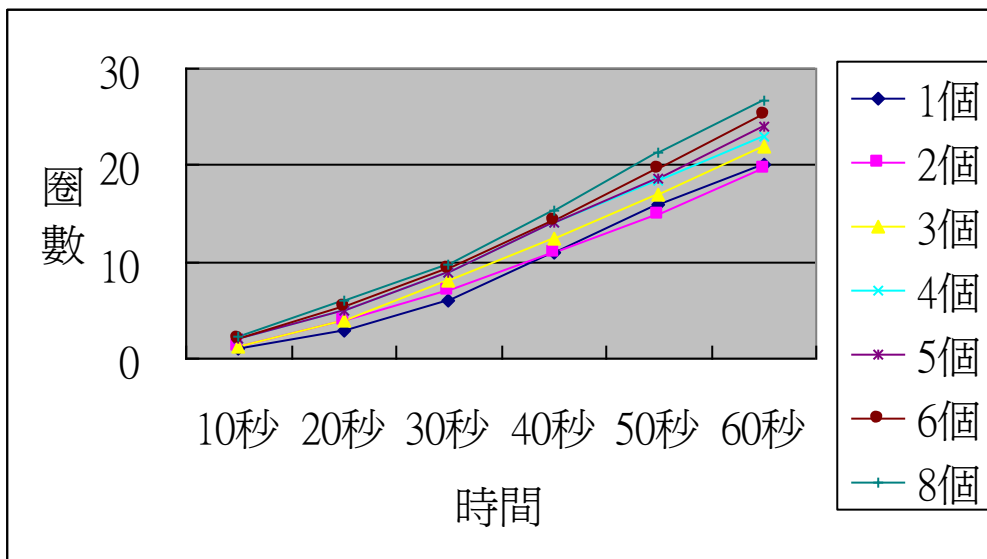
- (1) 最多者為 50 公分，最少者為 10 公分。研究小組推論：棉線長度越長者，旋轉越快。
- (2) 40 公分與 30 公分的旋轉速率大致相同。而 10 公分在轉到第 7~8 圈時，因已旋轉到棉線扭力的極限，故往回頭轉。



圖七、棉線長度對旋轉紙杯圈數的影響

(四) 氣孔數量對紙杯圈數的影響：結果如下圖八。

最多者為 8 個，最少者為 1 個。研究小組推論：氣孔數量越多者，旋轉越快。



圖八、氣孔數量對旋轉紙杯圈數的影響

(五) 各變因的交互作用

1. 扇面長度 V.S. 扇面寬度

結果如下表一。最多者為扇面長度 1 公分、寬度 0.3 公分，最少者為扇面長度 3 公分、寬度 0.8 公分。研究小組推論：當兩者交互作用時，扇面長度越短、扇面寬度越小者，旋轉越快。此與圖一、圖二結果相符。



表一、扇面長度與寬度交互作用對旋轉圈數的影響

扇面長度 (cm)	時間 (秒)	10	20	30	40	50	60
	扇面 寬度(cm)						
1	0.3	2	5	11	18	22	28
	0.5	1	4	9	15	20	25
	0.8	1	4	8	13	18	23
2	0.3	1	4	8	13	19	24
	0.5	1	4	7	11	15	20
	0.8	1	3	6	10	14	18
3	0.3	1	3	7	11	14	18
	0.5	1	3	6	10	13	17
	0.8	1	3	6	8	11	15

2.扇面長度 V.S. 扇面角度

結果如下表二。最多者為扇面長度 1 公分、角度 10 度，最少者為長度 3 公分、角度 90 度。研究小組推論：當兩者交互作用時，長度越短、角度越小者，旋轉越快。此與圖一、圖三結果相符。

表二、扇面長度與扇面角度交互作用對旋轉圈數的影響

扇面長度 (cm)	時間 (秒)	10	20	30	40	50	60
	扇面 角度(度)						
1	10	1	3	6	10	14	19
	45	1	3	7	11	15	18
	90	0	2	5	9	13	17
2	10	1	3	6	10	13	17
	45	1	3	5	9	12	15
	90	1	2	5	8	11	14
3	10	1	2	4	7	11	14
	45	0	2	4	7	10	12
	90	0	2	3	6	9	11

### 3.扇面長度 V.S. 扇面數目

結果如下表三。最多者為長度 1 公分、數目 14 個，最少者為長度 1 公分、數目 13 個。與圖四結果大致相符，即 14 個會比 13 個、15 個旋轉圈數多。研究小組推論：扇面長度與數目息息相關，兩者交互作用時，尚無法找出一致的趨勢。雖然如此，但我們仍然可以看出長度 1 公分、數目 14 個的紙杯，其旋轉圈數最多。此與圖一、圖四結果相符。

表三、扇面長度與扇面數目交互作用對旋轉圈數的影響

扇面長度 (cm)	時間 (秒)						
	扇面 數目(個)	10	20	30	40	50	60
1	13	1	4	7	10	13	17
	14	1	4	8	13	19	24
	15	1	4	7	10	14	19
2	13	1	4	7	12	15	19
	14	1	4	7	12	16	20
	15	1	3	6	10	15	18
3	13	1	4	8	12	17	22
	14	1	4	8	11	16	21
	15	1	4	7	11	15	20

### 4.扇面長度 V.S. 蠟燭長度

結果如下表四。最多者為扇面長度 1 公分、蠟燭長度 6 公分，最少者為扇面長度 3 公分、蠟燭長度 4 公分。研究小組推論：當兩者交互作用時，扇面長度越短、蠟燭長度越長者，旋轉越快。此與圖一、圖五結果相符。

表四、扇面長度與蠟燭長度交互作用對旋轉圈數的影響

扇面長度 (cm)	時間 (秒)	10	20	30	40	50	60
	蠟燭 長度(cm)						
1	6	2	6	11	18	25	33
	5	1	5	10	16	22	28
	4	1	4	7	11	16	20
2	6	1	5	10	15	21	27
	5	1	4	9	14	19	25
	4	1	4	9	14	19	24
3	6	2	5	9	13	18	23
	5	1	4	8	13	18	23
	4	1	4	7	11	14	19

5.扇面長度 V.S. 棉線長度

結果如下表五。最多者為扇面長度 1 公分、棉線長度 50 公分，最少者為扇面長度 3 公分、棉線長度 30 公分。研究小組推論：當兩者交互作用時，扇面長度越短、棉線長度越長者，旋轉越快。此與圖一、圖七結果相符。

表五、扇面長度與棉線長度交互作用對旋轉圈數的影響

棉線 長度 (cm)	時間 (秒)	10	20	30	40	50	60
	扇面 長度(cm)						
30	1	1	2	4	7	9	12
	2	1	2	4	7	9	12
	3	1	2	4	6	8	11
40	1	1	2	6	9	13	17
	2	1	2	5	8	12	16
	3	1	2	4	7	10	14
50	1	1	3	6	10	15	19
	2	1	3	6	9	15	18
	3	1	3	6	9	13	16

### 6.扇面長度 V.S. 氣孔數量

結果如下表六。最多者為扇面長度 1 公分、氣孔數量 8 個，最少者為扇面長度 3 公分、氣孔數量 5 個。以研究小組推論：當兩者交互作用時，扇面長度越短、氣孔數量越多者，旋轉越快。此與圖一、圖八結果相符。

表六、扇面長度與氣孔數量交互作用對旋轉圈數的影響

氣孔數量 (個)	時間 (秒) 扇面 長度(cm)	10	20	30	40	50	60
		5	1	1	3	5	10
5	2	1	3	6	9	11	13
	3	1	3	6	7	8	10
	6	1	0	2	4	8	11
6	2	1	2	5	8	12	15
	3	1	2	5	7	10	13
	8	1	1	3	6	11	14
8	2	1	2	5	8	12	15
	3	1	2	5	7	10	13

### 7.扇面寬度 V.S. 扇面角度

結果如下表七。最多者為扇面寬度 0.3 公分、角度 10 度，最少者為扇面寬度 0.8 公分、角度 90 度。研究小組推論：當兩者交互作用時，扇面寬度越小、扇面角度越小者，旋轉越快。此與圖二、圖三結果相符。

表七、扇面寬度與扇面角度交互作用對旋轉圈數的影響

扇面寬度 (cm)	時間 (秒) 扇面 角度(度)	10	20	30	40	50	60
		0.3	10	2	5	10	15
45	1		5	8	14	20	26
90	1		4	9	15	19	24
0.5	10	2	5	10	14	19	24
	45	1	5	9	15	20	24
	90	1	4	7	12	16	21
0.8	10	2	5	9	14	19	24
	45	1	4	8	12	17	22
	90	1	4	7	10	15	20

8.扇面寬度 V.S. 蠟燭長度

結果如下表八。最多者為扇面寬度 0.3 公分、蠟燭長度 6 公分，最少者為扇面寬度 0.8 公分、蠟燭長度 4 公分。研究小組推論：當兩者交互作用時，扇面寬度越小、蠟燭長度越長者，旋轉越快。此與圖二、圖五結果相符。

表八、扇面寬度與蠟燭長度交互作用對旋轉圈數的影響

扇面寬度 (cm)	時間 (秒) 蠟燭 長度(cm)	10	20	30	40	50	60
		0.3	4	1	3	7	12
5	1		3	7	12	17	23
6	1		4	8	13	18	24
0.5	4	1	3	7	10	14	19
	5	1	3	7	11	15	20
	6	1	4	8	13	18	23
0.8	4	1	3	5	8	11	13
	5	1	4	6	10	14	17
	6	1	4	7	11	15	20

9.扇面寬度 V.S. 棉線長度

結果如下表九。最多者為扇面寬度 0.3 公分、棉線長度 50 公分，最少者為扇面寬度 0.8 公分、棉線長度 30 公分。研究小組推論：當兩者交互作用時，扇面寬度越小、棉線長度越長者，旋轉越快。此與圖二、圖七結果相符。

表九、扇面寬度與棉線長度交互作用對旋轉圈數的影響

棉線長度 (cm)	時間 (秒)	10	20	30	40	50	60
	扇面寬度 (cm)						
30	0.3	1	4	7	10	14	18
	0.5	1	3	6	9	13	17
	0.8	1	2	5	8	10	14
40	0.3	1	4	8	12	16	22
	0.5	1	4	8	12	16	21
	0.8	1	3	5	9	12	16
50	0.3	1	4	9	13	18	24
	0.5	1	3	7	11	15	21
	0.8	1	3	6	10	13	18

10.扇面寬度 V.S. 氣孔數量

結果如下表十。最多者為扇面寬度 0.3 公分、氣孔數量 8 個，最少者為扇面寬度 0.8 公分、氣孔數量 5 個。研究小組推論：當兩者交互作用時，扇面寬度越小、氣孔數量越多者，旋轉越快。此與圖二、圖八結果相符。

表十、扇面寬度與氣孔數量交互作用對旋轉圈數的影響

扇面寬度 (cm)	時間 (秒)	10	20	30	40	50	60
	氣孔 數量(個)						
0.3	5	1	2	5	7	10	13
	6	1	2	5	8	11	13
	8	1	2	5	8	11	14
0.5	5	1	2	4	7	10	12
	6	1	2	4	7	10	13
	8	1	3	5	8	10	13
0.8	5	1	2	4	5	7	10
	6	1	2	4	6	8	10
	8	1	2	4	6	9	11

11. 扇面角度 V.S. 扇面數量

結果如下表十一。最多者為扇面角度 10 度、數量 14 個，最少者有兩個，一個為角度 90 度、數量 13 個，另一個為角度 90 度、數量 15 個。研究小組推論：當兩者交互作用時，扇面角度越小、數量越多者，旋轉越快。但以角度 10 度、數量為 14 個時，可得到較多旋轉圈數。此與圖三、圖四結果相符。

表十一、扇面角度與扇面數量交互作用對旋轉圈數的影響

扇面角度 (度)	時間 (秒)	10	20	30	40	50	60
	扇面 數量(個)						
10	13	3	6	10	16	23	29
	14	2	6	12	18	27	35
	15	3	6	11	17	26	32
45	13	1	4	8	12	19	25
	14	1	4	8	13	20	26
	15	1	4	8	14	20	27
90	13	1	4	7	10	14	19
	14	1	4	7	11	16	20
	15	1	4	7	10	14	19

### 12. 扇面角度 V.S. 蠟燭長度

結果如下表十二。最多者為扇面角度 10 度、蠟燭長度 6 公分，最少者為角度 90 度、蠟燭長度 4 公分。研究小組推論：當兩者交互作用時，扇面角度越小、蠟燭長度越長者，旋轉越快。此與圖三、圖五結果相符。

表十二、扇面角度與蠟燭長度交互作用對旋轉圈數的影響

蠟燭長度 (cm)	時間 (秒)	扇面角度(度)					
		10	20	30	40	50	60
4	10	1	2	5	7	9	11
	45	1	2	4	7	8	10
	90	0	2	3	5	7	8
5	10	1	3	5	9	12	14
	45	1	2	5	7	10	13
	90	1	3	4	7	9	11
6	10	1	3	7	12	17	23
	45	1	3	7	12	15	21
	90	1	3	7	12	17	21

### 13. 扇面角度 V.S. 棉線長度

結果如下表十三。最多者為扇面角度 10 度、棉線長度 50 公分，最少者為角度 90 度、長度 30 公分。研究小組推論：當兩者交互作用時，扇面角度越小、棉線長度越長者，旋轉越快。此與圖三、圖七結果相符。



表十三、扇面角度與棉線長度交互作用對旋轉圈數的影響

棉線長度 (cm)	時間 (秒) 扇面 角度(度)	10	20	30	40	50	60
		30	10	1	4	9	14
	45	1	4	8	13	18	23
	90	1	4	8	12	16	21
40	10	1	5	10	15	20	28
	45	1	5	10	14	19	27
	90	1	4	8	13	19	25
50	10	2	6	11	17	24	31
	45	2	5	10	16	21	28
	90	2	5	10	15	20	27

14. 扇面角度 V.S. 氣孔數目

結果如下表十四。最多者為扇面角度 10 度、氣孔數 8 個，最少者為角度 90 度、氣孔數 5 個。研究小組推論：當兩者交互作用時，扇面角度越小、氣孔數目越多者，旋轉越快。此與圖三、圖八結果相符。

表十四、扇面角度與氣孔數目交互作用對旋轉圈數的影響

扇面 角度 (度)	時間 (秒) 氣孔 數目(個)	10	20	30	40	50	60
		10	5	1	4	9	15
6	1		4	9	16	22	29
8	1		6	12	19	26	34
45	5	1	5	9	15	20	25
	6	1	4	8	14	21	27
	8	2	6	11	18	24	30
90	5	1	3	6	10	15	17
	6	1	4	7	11	16	18
	8	1	4	6	11	15	20

### 15. 扇面數目 V.S. 蠟燭長度

結果如下表十五。最多者為扇面數目 14 個、蠟燭長度 6 公分，最少者為扇面數目 13 個、蠟燭長度 4 公分。研究小組推論：當兩者交互作用時，扇面數目越多、蠟燭長度越長者，旋轉越快。但以扇面數 14 個、蠟燭長 6 公分時，可得到較多旋轉圈數。此與圖四、圖五結果相符。

表十五、扇面數目與蠟燭長度交互作用對旋轉圈數的影響

扇面數目 (個)	時間 (秒)	蠟燭長度(cm)					
		10	20	30	40	50	60
13	4	1	2	4	7	10	12
	5	1	2	5	9	12	15
	6	1	2	5	8	13	16
14	4	1	2	5	8	11	14
	5	1	3	5	9	14	18
	6	1	4	6	11	16	21
15	4	1	3	5	7	10	13
	5	1	2	5	8	13	17
	6	1	3	5	10	15	20

### 16. 扇面數目 V.S. 棉線長度

結果如下表十六。最多者為扇面數 14 個、棉線長 50 公分，最少者為扇面數目 14 個、棉線長 30 公分。研究小組推論：當兩者交互作用時，扇面數目越多、棉線長度越長者，旋轉越快。但以扇面數 14 個、棉線長 50 公分時，可得到較多旋轉圈數。此與圖四、圖七結果相符。

表十六、扇面數目與棉線長度交互作用對旋轉圈數的影響

棉線長度 (cm)	時間 (秒) 扇面數目(個)	時間 (秒)					
		10	20	30	40	50	60
30	13	1	4	8	14	16	19
	14	1	4	8	12	16	21
	15	1	4	8	12	17	21
40	13	1	4	7	11	16	20
	14	1	4	7	14	19	23
	15	1	4	8	13	17	22
50	13	1	4	8	13	18	23
	14	1	4	9	14	19	24
	15	1	4	8	13	17	22

17. 扇面數目 V.S. 氣孔數目

結果如下表十七。最多者為扇面數 14 個、氣孔數 8 個，最少者為扇面數 15 個、氣孔數 5 個。研究小組推論：當兩者交互作用時，扇面數 14 個、氣孔數 8 個，旋轉越快，此與圖四、圖八結果相符。而扇面數為 13 或 15 時、氣孔數越多者，旋轉越快。

表十七、扇面數目與氣孔數目交互作用對旋轉圈數的影響

扇面數目 (個)	時間 (秒) 氣孔數目(個)	時間 (秒)					
		10	20	30	40	50	60
13	5	1	3	7	11	13	16
	6	1	4	7	10	13	17
	8	1	4	6	10	13	17
14	5	1	3	6	10	13	17
	6	1	4	7	12	15	19
	8	1	4	7	12	16	20
15	5	1	3	6	9	12	15
	6	1	3	6	11	14	16
	8	1	3	6	11	15	17

### 18. 蠟燭長度 V.S. 棉線長度

結果如下表十八。最多者為蠟燭長 6 公分、棉線長 50 公分，最少者為蠟燭長 4 公分、棉線長 30 公分。研究小組推論：當兩者交互作用時，蠟燭越長、棉線越長者，旋轉越快。此與圖五、圖七結果相符。

表十八、蠟燭長度與棉線長度交互作用對旋轉圈數的影響

蠟燭長度 (cm)	時間 (秒)	10	20	30	40	50	60
	棉線長度 (cm)						
4	30	1	4	7	11	16	22
	40	1	5	9	15	21	27
	50	2	7	13	18	23	31
5	30	2	4	7	11	17	23
	40	2	5	9	15	21	28
	50	2	6	11	17	30	35
6	30	2	5	9	15	20	25
	40	2	5	11	16	22	29
	50	2	5	12	20	29	37

### 19. 蠟燭長度 V.S. 氣孔數目

結果如下表十九。最多者為蠟燭長 6 公分、氣孔數 8 個，最少者為蠟燭長 4 公分、氣孔數 5 個。研究小組推論：當兩者交互作用時，蠟燭長越長、氣孔數越多者，旋轉越快。此與圖五、圖八結果相符。

表十九、蠟燭長度與氣孔數目交互作用對旋轉圈數的影響

氣孔數目(個)	時間(秒)	10	20	30	40	50	60
	蠟燭長度(cm)						
5	4	1	2	4	6	9	11
	5	1	3	5	8	11	14
	6	1	3	6	10	14	17
6	4	1	3	7	10	14	18
	5	1	4	7	11	16	20
	6	2	5	9	14	18	24
8	4	1	4	5	12	16	21
	5	1	5	9	14	18	24
	6	2	85	14	20	26	32

20. 棉線長度 V.S. 氣孔數目

結果如下表二十。最多者為棉線長 50 公分、氣孔數 8 個，最少者為棉線長 30 公分、氣孔數 5 個。研究小組推論：當兩者交互作用時，棉線長越長、氣孔數越多者，旋轉越快。此圖七、圖八結果相符。

表二十、棉線長度與氣孔數目交互作用對旋轉圈數的影響

棉線長度(cm)	時間(秒)	10	20	30	40	50	60
	氣孔數量(個)						
30	5	1	4	8	12	17	20
	6	2	5	9	13	17	22
	8	2	5	10	15	20	27
40	5	2	6	10	15	20	25
	6	2	7	12	18	24	30
	8	2	6	11	18	25	32
50	5	2	6	13	19	26	32
	6	2	7	13	19	26	33
	8	2	6	13	20	28	36

## (六) 尋找旋轉最快的紙杯

- 1.扇面長度：1.0 cm
- 2.扇面寬度：0.3 cm
- 3.扇面角度：10 度
- 4.扇面數量：14 個
- 5.蠟燭長度：6.0 cm
- 6.燭芯長度：3.0 cm
- 7.棉線長度：50 cm
- 8.氣孔數量：8 個

綜合上述各因素的最佳條件，測試旋轉速度。結果如下表二十一。與其它條件相較，果然旋轉最快。

表二十一、各因素的最佳條件對旋轉圈數的影響

次 \ 秒	10	20	30	40	50	60
一	4	9	15	21	28	36
二	3	8	15	24	32	40
三	2	7	14	21	28	38
平均	2	7	14	22	29	38

## 陸、討論：

### 一.本實驗應用到的原理：

當流體中有某部分溫度較其他部分高時，分子受熱膨脹排列較為疏鬆，活動空間也較大，密度變小，因而往上升，低溫流體則下沉，如此一來就產生了「流動」，即所謂的對流。例如煙囪的設置幫助氣體對流，當熱空氣向上時，新鮮冷空氣由下端不斷補充，使爐內的燃燒效果更好。

而在本實驗中，當蠟燭燃燒時，周圍的空氣吸熱膨脹上升，往上尋找出路，當上紙杯有扇面時，熱空氣會推動扇面以散發至大氣中，而此時若下紙杯具有氣孔時，紙杯外的冷空氣得以進入填補原熱空氣遺留下來的的位置，此時便產生對流作用。對流作用越旺盛，紙杯旋轉得越快。

### 二.影響紙杯旋轉圈數的因素

#### (一) 扇面的影響

上紙杯的扇面長度、寬度、角度、數量都會影響紙杯旋轉的圈數。

- 1.由實驗結果得知，扇面長、寬越小，紙杯旋轉得越快；我們可以看成扇面的面積越小，紙杯旋轉得越快。因為當扇面的面積越大時，熱空氣很快地就會往扇面的四周產生擴散、擾流現象，以致於無法集中力來推動扇面。
- 2.當扇面的角度越小時，熱空氣擴散、擾流的機會也越小，因此可以得到較多的旋轉圈數。
- 3.當扇面數越多時，熱空氣往上尋找的出路也越多，此時搭配著自下紙杯氣孔進來的冷空氣來填補位置，順利產生對流作用，對流作用越旺盛，紙杯旋轉得越快。但要特別注意的是，偶數的扇面，由於彼此之間呈對稱，造成的對流作用會較單數的扇面旺盛，因此，我們可以發現不管是在單一變因，或者變因間的交互作用實驗中，扇面數為 14 的紙杯，其旋轉速度都會較 13、15 的紙杯來得快。

## （二）蠟燭的影響

蠟燭長度、燭芯長度也會影響紙杯旋轉的圈數。

- 1.由結果可知，蠟燭的長度越長，紙杯旋轉得越快。因為當空氣吸熱膨脹後若無上升管道，很快就會往下及四周產生擴散、擾流現象。而上升距離越短，產生擴散、擾流的情況越少。蠟燭長度 6 公分的紙杯，是熱空氣上升至扇面距離最短者，所以旋轉速率也較其它長度者為快。
- 2.當燭芯長度越長，其產生的火焰也越大；火焰越大，單位時間內所加熱的空氣也越多，以致於對流作用越旺盛，紙杯旋轉得越快。

## （三）棉線長度

由結果可知，棉線長度越長者，旋轉圈數越多。我們認為這是棉線長度越長者，其扭力越小，也因此越晚達到扭力的飽和點。而棉線長度越短者，如 10 公分的棉線，在轉到第 7~8 圈時，因已旋轉到棉線扭力的極限，故往回頭轉。

## （四）氣孔數量

根據原理，當熱空氣推動扇面以散逸至大氣中，而此時若下紙杯具有較多的氣孔時，則會有較多的冷空氣得以進入填補原熱空氣遺留下來的的位置，以致於對流作用旺盛，紙杯旋轉得較快。

## 三、實驗的檢討

我們相信造成紙杯旋轉的熱對流，可能會與實驗當時的室溫、溼度、實驗場所內空氣的流通程度有極大的關係。因此，在探討單一變因與變因間的交互作用實驗中，雖然所控制的變因雖然相同，但往往因為季節氣溫、溼度的不同，而影響到空氣的流通程度，造成其旋轉圈數會不同。相信在未來的研究中，這些因素的控制是需要努力的方向。

#### 四、本實驗的另類思考

(一) 夏天時，太陽照射在鐵皮屋的屋頂，屋頂下的空氣吸熱後會膨脹上升，熱空氣產生擴散、擾流而將熱往下傳，以致於身處其中而悶熱難耐。

解決方案：建議在鐵皮屋的屋頂附近作數個適當大小之對流孔，以方便空氣吸熱後膨脹上升時，能很快從對流孔散逸到大氣中，而冷空氣會從門窗進入屋內，然後將熱空氣往上推升，再吸收由屋頂傳下來的熱後，再從屋頂附近的空氣對流孔散逸到大氣中，以達到充分的對流循環。

(二) 新聞報導曾指出某間土地公廟的金爐會自動將金紙一張一張地吸入。這真的是一種神蹟嗎？

思考方向：從研究結果中推測是因為爐門開口的大小、進氣門的大小、金爐的高度、煙囪的長度、排氣口的口徑，各因素之間的各項比例達到最適合的黃金比例才會有此一結果。

#### 柒、結論：

1. 扇面的面積越小，角度越小，數目越多時，紙杯旋轉越快。
2. 蠟燭的長度越長，熱空氣上升至扇面距離越短，紙杯旋轉越快；燭芯長度越長，其產生的火焰也越大，造成對流作用越旺盛，紙杯旋轉越快。
3. 棉線長度越長者，其單位長度內的扭力越小，旋轉圈數越多。而棉線長度越短者，會因旋轉到棉線扭力的極限，而往回頭轉。
4. 較多的氣孔會有較多的冷空氣得以進入填補原熱空氣遺留下來的的位置，以致於對流作用旺盛，紙杯旋轉得越快。
5. 各因素彼此交互作用下的旋轉紙杯，仍遵守單因素實驗下所得之結果。
6. 旋轉燈籠的黃金比例：
  - (1) 扇面長度：1.0 cm
  - (2) 扇面寬度：0.3 cm
  - (3) 扇面角度：10 度
  - (4) 扇面數量：14 個
  - (5) 蠟燭長度：6.0 cm
  - (6) 燭芯長度：3.0 cm
  - (7) 棉線長度：50 cm
  - (8) 氣孔數量：8 個

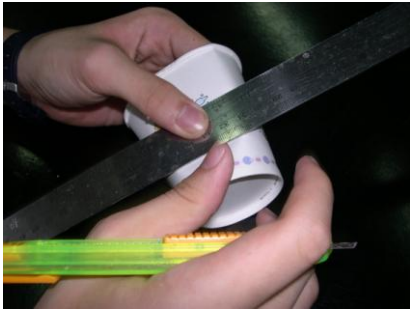
#### 捌、參考資料：

1. 郭騰元 (2000)。蠟燭的科學遊戲 (下)。臺北市：牛頓開發教科書公司。
2. 黃顯中 (2002)。空氣對流多功能應用。臺北市：中華民國第 42 屆中小學科學展覽會作品說明書。



## 附錄一：旋轉紙杯的基本構造

## 附錄二：旋轉紙杯的製作流程圖



在一底部直徑 5 公分、高 8 公分的紙杯（上紙杯）上，離紙杯底部 2 公分處分別割出 4 個扇面，其長度為 2 公分，寬度為 0.5 公分，角度則都維持在 90 度。



於上紙杯的頂部綁上棉線 30 公分，並以 2 公分的牙籤將棉線固定在上紙杯內。



另取一個大小相同的紙杯（下紙杯），以打洞機打出 4 個氣孔



在下紙杯底部的圓心位置黏上長度 4 公分、燭芯長度 1 公分的蠟燭。





將蠟燭點燃。



迅速地將上紙杯與下紙杯以膠帶黏合。



拉起棉線，以上紙杯杯面上所畫的記號作為旋轉的起點。每 10 秒紀錄紙杯旋轉的圈數，60 秒時停止。各種實驗設計各重複三次，將所得的數據作整理並算出平均。





【評語】 030814 轉！轉！轉！---尋找旋轉燈籠的黃金比例

燈籠是非常傳統的器具，作者能從中找出進行研究的題材，實屬不易。本作品找出好燈籠之各種參數值，如扇面長、寬、角度、數量、蠟燭長度、燭蕊長度、棉線長度、氣孔數量等。若能推演出適用於各種大小不同燈籠之參數，將更具價值。另，作品名稱的「黃金比例」恐有誤導之嫌，因為「黃金比例」是數學上一個特別定義的值。