

中華民國第四十三屆中小學科學展覽會參展作品專輯

國小組

物理科

科別：物理科

組別：國小組

作品名稱：願望之翼 — 天燈飛行之探討

關鍵詞：空氣、熱、燃燒

編號：080101

學校名稱：

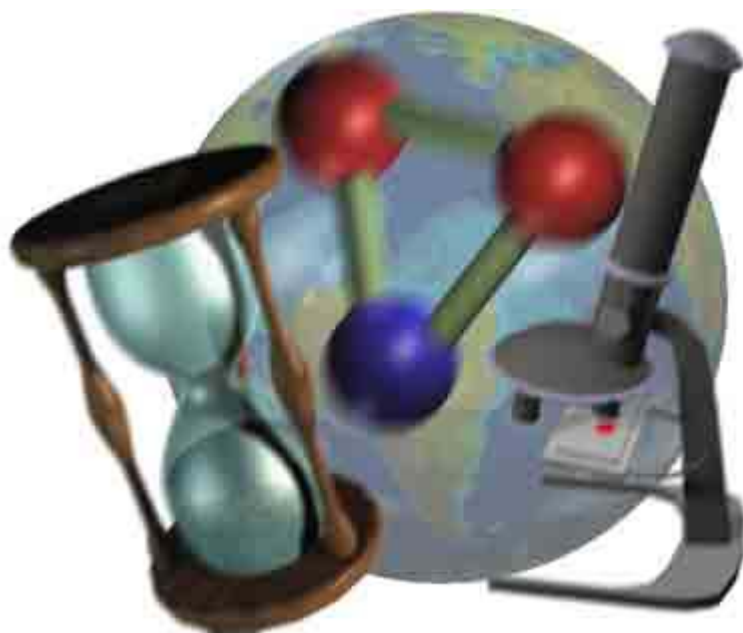
桃園縣大園鄉潮音國民小學

作者姓名：

許山鍾、陳懿翔、溫宜祥、童宗偉

指導老師：

林浚傑、李訓明



摘要

我們承襲一般坊間製作天燈的材料、方式製作天燈，由各種不同因素來探討，為何相同的條件下天燈飛行的結果會不一樣，其中包括沙拉油及煤油的不同混和比例、金紙不同摺法燃燒的方式、金紙數量、沾油金紙放置日數；進而探討天燈飛行時的浮力變化與天燈內部各位置溫度的變化情形，最後研究不同尺寸的小天燈，探討多小的天燈可以不被燒掉而飛上天空，以及天燈究竟可飛多高多遠。

在實驗中我們發現天燈能成功飛行的關鍵，在於燃燒的金紙能充分獲得空氣，因此將天燈金紙攤開折成蓮花狀，來增加空氣的接觸面積是天燈施放成功的關鍵，天燈燃料採用 $5:5$ 或 $4:6$ 之比例混合較合適，但天燈施放用的沾油金紙，由於揮發的關係不宜擺放過久；金紙數量跟天燈能否飛行無絕對關係，燃燒少量（即使只有兩張）的金紙張數，也可使天燈升起；只是燃燒張數的多寡，關係天燈停留空中的時間長短；我們發現製作天燈，它的尺寸大小不宜小於一般天燈大小的七成（約高 105 公分、直徑寬 63 公分），否則難以起飛，且易焚燬，在研究飛行多高、多遠時，因為要考量因素太多，僅知可飛高約三百公尺，時間約三分鐘，再考慮當時風向、風速便可推算多遠。

壹、研究動機

記得去年四年級升五年級的暑假，我們幾個同學參加學校所舉辦的育樂營，在活動結束的時候，我們有舉辦放天燈的活動，這是我們生平第一次親手放天燈，看到各組放的天燈，有的一下子就咻地直飛上天空；有的卻怎麼也不動地待在同學手上，任憑同學乾著急；還有的好不容易搖搖晃晃地飛起，卻飛到半空不久就掉了下來，當時就覺得既緊張又有趣。今年元宵節時，在電視上看到我們 陳總統 到平溪放天燈祈福的新聞報導，又勾起我們放天燈的回憶。在三年級的自然課中，我們曾學習過‘空氣受熱會上升’的單元（康軒版第五冊第七單元），可是為什麼同樣都點燃火源的天燈，有的飛得又快又高，有的卻怎麼也飛不起來？這其中必定有一些奧秘，我們便想要好好探討天燈的秘密，好讓天燈飛的又高又遠。

貳、研究目的

- 一、 影響天燈飛行的因素探討。
- 二、 天燈燃料，沙拉油與煤油的調配比例應如何才適當。
- 三、 沾燃料的金紙，不同摺法燃燒方式與天燈上升是否有關係。
- 四、 天燈內不同位置溫度與時間的變化。
- 五、 燃燒的金紙張數與天燈上升的關係。
- 六、 置放數日揮發後的金紙燃料，是否會影響天燈的上升。

七、 迷你型天燈可否飛上天空（不同比例的天燈探討）。

八、 一般天燈可飛多高多遠。

參、研究設備及器材

一、 燒杯 250cc、量杯 20cc、玻璃棒、三腳架、天秤、馬錶、盛水容器、溫度計、彈簧秤。

二、 壽金紙、煤油、沙拉油、竹片、宣紙、鐵絲、風箏線、彈力線。

肆、研究過程、方法、結果

一、 天燈燃料，沙拉油與煤油的調配比例應如何才適當？

（一）說明：目前常見的天燈燃料，是由金紙沾上沙拉油及煤油的混合液，經洽詢天燈老師傅，一般經驗是採 5:5 或 4:6 之沙拉油與煤油比例調製，我們想要瞭解他們憑經驗混合比例的適當性，以及不同比例燃料燃燒的差異性，因此以多種不同混合比例燃料燃燒來做比較。

（二）步驟：利用燒杯分別調配 7:3、6:4、5:5、4:6、3:7 之沙拉油及煤油比例，以它為火源加熱 250cc 之室溫水，測量水溫上升情形。

（三）數據：

表（一）不同比例燃料加熱 250cc 水升溫表（°C）

時間分:秒 水溫 混合比例											
	00:00		02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00
沙拉油:煤油比例 7:3	29.5	30.5	33	36	39	42	44.5	47	48.5	50	51
沙拉油:煤油比例 6:4	29.5	31	33.5	37.5	41.5	45	48	51	53.5	55.5	57
沙拉油:煤油比例 5:5	29.5	31.5	36	40	44	48	51	54	56	58	59
沙拉油:煤油比例 4:6	29.5	32	36	41	45	50	53	56	58	60.5	62
沙拉油:煤油比例 3:7	29.5	32.5	36.5	43.5	47.5	55	63	68	72	73.5	74.5

二、 沾燃料的金紙，其不同摺法燃燒方式與天燈上升的關係。

（一）說明：天燈燃料是沾混合油的金紙，沒有經驗的天燈施放者，往往直接將金紙掛上點燃，結果不易飛起，反之，若將金紙予以摺過點燃，天燈就可順利飛起，可見以不同的摺法掛於天燈上燃燒，將產生不同的熱力效果，我們想要瞭解其中到底有什麼不同的變化，因此分別以不同的摺法燃燒來探討它差異性。

（二）步驟：1 取沙拉油及煤油比（4:6）各十三張之金紙分別以不同的摺法來燃燒之；分別為（A）整疊整疊不攤開（B）撲克牌展開式（C）蓮花式三組。

2. 利用彈力線受力變長的現象，來測試拉力與時間變化情形，並記錄下來。

(三) 數據：

表（二）天燈金紙不同摺法燃燒拉力表 A) 整疊整疊不攤開 B) 撲克牌展開式 C) 蓮花式三組（克）

時間分秒	0:10	0:20	0:30	0:40	0:50	1:00	1:10	1:20	1:30	1:40	1:50	2:00	2:10	2:20	2:30	2:40	2:50	3:00
A)拉力 g	0.0	2.9	2.9	5.9	11.7	5.9	5.9	5.9	5.9	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8
B)拉力 g	5.3	5.8	5.8	8.8	11.7	23.4	23.4	28.0	23.4	23.4	20.5	20.0	18.0	17.0	17.5	29.2	52.6	5.3
C)拉力 g	5.3	138.7	146.7	152.0	141.3	125.3	112.0	104.0	98.7	85.3	66.7	58.7	45.3	40.0	32.0	29.3	25.3	21.3

時間分秒	3:10	3:20	3:30	3:40	3:50	4:00	4:10	4:20	4:30	4:40	4:50	5:00	5:10	5:20	5:30	5:40	5:50	6:00
A)拉力 g	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	11.7	23.4	23.4	23.4	17.6	17.6	11.7	11.7	11.7
B)拉力 g	64.3	64.3	70.2	64.3	64.3	64.3	64.3	72.0	70.2	58.5	40.9	23.4	5.8	5.5	5.0	5.0	4.7	3.2
C)拉力 g	18.7	13.3	8.0	5.3	2.7	1.3	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

時間分秒	6:10	6:20	6:30	6:40	6:50	7:00	7:10	7:20	7:30	7:40	7:50	8:00	8:10	8:20
A)拉力 g	11.7	23.4	35.1	41.0	64.4	87.8	87.8	58.5	29.3	14.6	5.9	2.9	2.9	0.0
B)拉力 g	3.2	2.9	2.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
C)拉力 g	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

三、 天燈內不同位置溫度與時間的變化。

(一) 說明： 天燈飛行時，內部充滿加熱後的空氣，我們想瞭解它們內部不同位置的溫度是否有所差異，以及在燃料燃燒的過程中它們內部溫度是如何變化的。

(二) 步驟：1 取沙拉油及煤油比（4：6）各十三張之金紙，分別以不同的摺法來燃燒測量之；（A）整疊不攤開（B）撲克牌展開式（C）蓮花式三組。

2. 分別在天燈不同位置:頂尖端、頂側邊、中側邊、底側邊放置溫度計，分別記錄溫度隨時間的變化情形。

(三) 數據：

表（三）天燈內不同位置溫度表 A) 整疊不攤開 B) 撲克牌展開式 C) 蓮花式（℃）

時間 分秒	0:10	0:20	0:30	0:40	0:50	1:00	1:10	1:20	1:30	1:40	1:50	2:00	2:10	2:20	2:30	2:40	2:50	3:00	3:10	3:20	3:30
頂尖端A	32	38	42	60	82	100	108	120	130	145	154	165	170	170	175	180	184	185	185	184	181
頂側邊A	30	32	35	48	70	90	105	122	140	150	160	165	170	170	175	175	176	176	176	178	178
中側邊A	28	29	30	35	47	62	75	90	100	110	122	130	135	142	150	151	155	156	157	158	159
底側邊A	30	30	29	32	32	34	35	42	42	50	55	56	56	58	55	58	55	60	62	65	65
頂尖端B	30	70	110	160	198	220	230	234	235	235	238	240	240	240	240	238	234	230	228	222	215
頂側邊B	30	40	55	80	90	110	130	150	160	175	190	195	200	202	204	204	204	202	200	198	194
中側邊B	30	39	50	65	80	100	120	135	150	170	180	184	186	190	190	190	188	193	188	185	177
底側邊B	29	32	44	48	50	55	60	62	65	65	68	70	74	75	75	78	76	76	75	74	72
頂尖端C	48	135	218	260	270	272	262	252	240	230	225	224	220	218	210	204	195	188	180	180	178
頂側邊C	38	75	110	150	172	185	188	186	180	178	178	174	172	170	168	168	166	168	166	164	162
中側邊C	30	65	100	135	155	165	170	172	170	170	170	169	168	161	160	156	158	155	150	149	145
底側邊C	30	48	65	75	82	84	84	83	88	90	91	91	91	91	91	92	95	96	95	90	88

時間 分秒	3:40	3:50	4:00	4:10	4:20	4:30	4:40	4:50	5:00	5:10	5:20	5:30	5:40	5:50	6:00	6:10	6:20	6:30	6:40	6:50	7:00
頂尖端A	180	180	180	178	174	175	175	175	178	178	178	177	178	178	182	184	184	185	190	194	198
頂側邊A	178	176	176	175	174	174	174	173	172	172	174	174	175	178	176	178	178	179	182	184	188
中側邊A	160	156	152	150	150	150	150	150	149	150	150	149	150	150	150	151	152	155	156	159	160
底側邊A	66	68	70	75	75	76	80	82	82	82	84	86	88	88	87	87	86	88	92	95	100
頂尖端B	210	206	204	204	200	190	180	168	156	142	134	120	110	104	95	90	84	78	74	70	66
頂側邊B	190	188	186	186	184	178	170	160	152	140	130	110	110	104	96	94	88	84	78	74	70
中側邊B	174	170	168	166	164	159	152	140	130	120	112	104	98	90	86	80	76	72	68	66	62
底側邊B	72	71	71	70	71	70	68	65	65	63	60	60	58	55	55	52	52	50	50	48	46

頂尖端C	176	173	168	165	160	156	154	150	148	144	138	133	130	124	118	112	109	106	105	102	99
頂側邊C	158	156	154	152	150	146	140	140	138	130	126	122	120	116	110	108	104	103	102	102	100
中側邊C	140	140	140	141	135	130	130	130	125	120	120	119	115	111	107	105	102	100	100	99	95
底緣邊C	87	88	88	88	85	84	84	82	82	80	78	78	77	70	72	72	72	70	70	70	70

時間 分:秒	7:10	7:20	7:30	7:40	7:50	8:00	8:10	8:20	8:30	8:40	8:50	9:00	9:10	9:20	9:30	9:40	9:50	10:00	10:10	10:20	10:30
頂尖端A	200	200	198	188	178	162	150	140	130	114	105	96	90	84	78	72	68	65	62	60	57
頂側邊A	194	200	202	195	185	175	160	140	132	114	110	105	98	90	85	80	75	72	68	64	62
中側邊A	165	165	170	168	160	150	135	130	120	116	106	100	95	89	81	75	71	69	65	60	60
底緣邊A	105	110	105	100	92	82	77	70	65	60	57	55	50	48	46	44	42	40	39	39	38
頂尖端B	63	60	58	56	52	52	51	50	48	47	46	45	44	43	42	42	42	42	41	41	42
頂側邊B	68	64	62	60	56	55	53	52	51	50	49	48	47	45	44	44	43	43	42	42	42
中側邊B	60	58	56	54	52	50	50	48	46	46	45	44	42	42	42	42	41	40	40	40	40
底緣邊B	45	45	44	44	42	42	40	40	39	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38
頂尖端C	98	96	94	90	86	82	78	74	71	67	65	62	59	58	54	52	49	49	49	48	46
頂側邊C	99	98	94	90	86	83	78	76	74	69	67	64	61	58	55	53	51	50	50	48	46
中側邊C	97	90	90	89	85	81	79	75	70	68	65	61	59	58	54	50	51	50	48	46	45
底緣邊C	70	69	68	65	60	58	56	54	52	50	49	46	45	41	40	40	40	39	38	36	36

時間 分:秒	10:40	10:50	11:00	11:10	11:20	11:30	11:40	11:50	12:00	12:10	12:20	12:30	12:40	12:50	13:00	13:10	13:20	13:30	13:40	13:50	14:00
頂尖端A	54	50	50	48	48	46	45	45	45	44	42	42	42	42	42	41	40	40			
頂側邊A	60	55	54	52	50	48	48	46	45	45	44	44	44	44	42	42	42	42			
中側邊A	59	52	50	50	49	50	46	45	45	45	43	43	43	42	42	41	41	41			
底緣邊A	38	37	37	36	36	35	35	35	34	34	34	33	33	33	33	32	31	31			
頂尖端B	42	42	42	41	41	42	41	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40			
頂側邊B	42	42	42	41	41	41	41	41	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40			
中側邊B	40	40	40	40	37	37	37	37	36	36	36										
底緣邊B	38	37	37	36	36	34	34	34	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33			
頂尖端C	45	44	43	42	42	42	42	41	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40			
頂側邊C	45	44	43	43	42	42	41	41	41	40	40	40	40	40	40	40	40	40			
中側邊C	45	45	44	44	43	41	40	41	41	41	41	41	41	39	39	39	39	39			
底緣邊C	35	34	33	32	32	32	32	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31			

四、 燃燒的金紙張數與天燈上升的關係。

(一) 說明：目前坊間天燈一般是掛上十來張左右之金紙做為燃料，我們想要瞭解不同張數的金紙燃燒與天燈上升的關係，因此以不同燃燒之張數做比較。

(二) 步驟：取沙拉油及煤油比（4：6）之金紙各1、2、3、5、7、11、13張，以（C）蓮花式摺紙組方式燃燒來測試拉力與時間變化情形，並記錄之。

(三) 數據：

表（四）燃燒金紙張數與天燈拉力表（克）

時間分:秒	0:00	0:10	0:20	0:30	0:40	0:50	1:00	1:10	1:20	1:30	1:40	1:50	2:00	2:10	2:20	2:30	2:40	2:50	3:00
張數 15	0.0	0.0	138.7	152.0	157.3	152.0	138.7	125.3	112.0	106.7	104.0	90.7	77.3	66.7	53.3	45.3	40.0	38.0	36.0
張數 13	0.0	5.3	138.7	146.7	152.0	141.3	125.3	112.0	104.0	98.7	85.3	66.7	58.7	45.3	40.0	32.0	29.3	25.3	21.3
張數 11	0.0	5.3	125.3	152.0	146.7	136.0	120.0	104.0	98.7	90.7	72.0	58.7	50.7	40.0	34.7	26.7	24.0	21.3	14.7
張數 7	0.0	5.3	138.7	138.7	125.3	110.0	93.3	88.0	72.0	56.0	48.0	40.0	32.0	24.0	16.0	10.7	10.7	8.0	2.7
張數 5	0.0	152.0	138.7	125.3	120.0	112.0	77.3	45.3	18.7	0.0									
張數 3	0.0	125.3	152.0	138.7	125.3	72.0	26.7	5.3	0.0										
張數 2	0.0	2.7	152.0	72.0	16.0	0.0													
張數 1	0.0	2.7	21.3	2.7	0.0														

時間分:秒	3:10	3:20	3:30	3:40	3:50	4:00	4:10	4:20	4:30	4:40	4:50
張數15	34.7	32.0	26.7	21.3	16.0	13.3	10.7	8.0	5.3	1.3	0.0
張數13	18.7	13.3	8.0	5.3	2.7	1.3	1.3	0.0			
張數11	8.0	5.3	0.0	0.0	0.0						
張數7	0.0										
張數5											
張數3											
張數2											
張數1											

五、 置放數日揮發的金紙燃料，是否會影響天燈的上升

(一) 說明：我們想瞭解具揮發性的天燈燃料，在調配後如果擱置不同的天數，它們燃燒時是否會有差異，因此以不同放置天數的燃料紙，分別來測試天燈拉力與時間的變化情形。

(二) 步驟：取沙拉油及煤油比（4：6）之金紙 11 張依（C）蓮花式摺紙組方式燃燒，分即日、一日、二日等放置天數，來測試拉力與時間變化情形，並記錄之。

(三) 數據：

表（五）金紙置放數日揮發與燃燒拉力表（克）

時間分秒	0:00	0:10	0:20	0:30	0:40	0:50	1:00	1:10	1:20	1:30	1:40	1:50
當日	0.0	140.0	152.0	152.0	152.0	145.0	138.7	138.0	130.7	120.0	112.0	98.7
隔日	0.0	5.3	125.3	152.0	146.7	136.0	120.0	104.0	98.7	90.7	72.0	58.7
二日	0.0	0.0	13.3	98.7	125.3	130.7	117.3	93.3	72.0	61.3	40.0	29.3

	2:00	2:10	2:20	2:30	2:40	2:50	3:00	3:10	3:20	3:30	3:40
當日	90.7	72.0	56.0	42.7	24.0	16.0	8.0	5.3	2.7	1.3	0.0
隔日	50.7	40.0	34.7	26.7	24.0	21.3	14.7	8.0	5.3	0.0	
二日	24.0	18.7	5.3	1.3	0.0						

六、迷你型天燈可否飛上天空（不同比例的天燈探討）

(一) 說明：在天燈故鄉—平溪的街頭店家，除販賣一般施放的天燈外，也常見不同尺寸的小天燈，大的如半人高，小的如拳頭，其中多為裝飾用，我們想探討小天燈是否也可以順利飛行，以及多小比例的天燈可以不被燒掉而飛上天空，

(二) 步驟：

1. 製作長度比為 0.8、0.7、0.6、0.5、0.4、0.3、0.2 等不同比例尺寸之天燈。
2. 由於天燈開口縮小，所以天燈燃料之金紙依面積比例縮小，選煤油及沙拉油比（6：4），依原此寸天燈燃料十三張之金紙重 59 公克，依比例去縮小掛載燃燒。
3. 如果天燈燒毀，則改一張一張增加燃料金紙之方式燃燒分別測試，觀察逐漸增加燃料後可否飛起。
4. 利用蓮花式綁法燃燒釋放，測量是否有拉力及飛行情形。

(三) 數據：

表（六）不同天燈尺寸飛行拉力表（克）

時間 分秒	0:00	0:10	0:20	0:30	0:40	0:50	1:00	1:10	1:20	1:30	1:40	1:50	2:00	2:10	2:20	2:30	2:40	2:50	3:00	3:10	3:20	3:30
-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

0.8 比例	0.0	10.7	35.0	50.7	56.0	58.7	58.7	53.3	53.3	50.7	45.3	37.3	32.0	29.3	26.7	21.3	16.0	13.3	12.0	5.3	5.3	0.0
0.7 比例	0.0	0.0	6.7	25.3	24.0	22.7	16.0	13.3	12.0	12.0	10.7	10.7	9.3	8.0	6.7	5.3	5.3	4.0	1.3	0		
0.6 比例	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	1.3	1.3	0.0	0.0	0.0	註：燃燒 11 張金紙可浮起，但天燈頂部嚴重燒焦。											
0.5 比例	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	註：逐漸增加燃料天燈均無法飛起，直至焚燬。											
0.4 比例	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0												
0.3 比例	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0												
0.2 比例	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0												

七、天燈飛行多高多遠

(一) 說明：實際施放天燈可以飛多高多遠。

(二) 步驟：

1. 利用蓮花式綁法燃燒釋放，並於底部綁釣魚線。
2. 釣魚線每隔十公尺劃上紅線以便記錄飛行高度。
3. 從燃燒開始計時，每間隔十秒記錄施放線長長度。

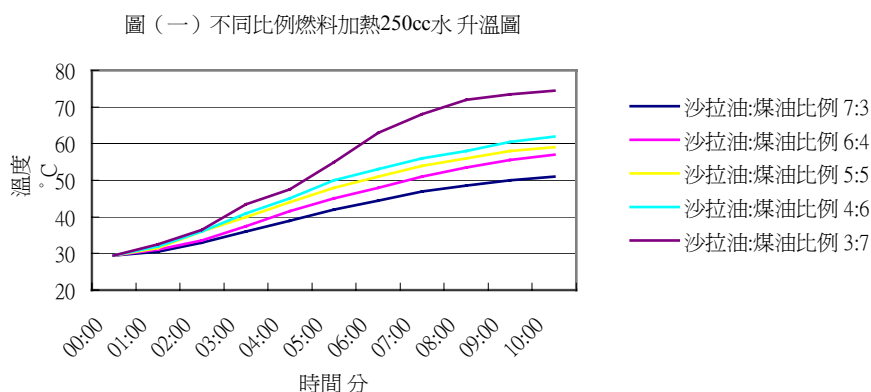
(三) 數據：

表（七）天燈飛行記錄表（公尺）

時間 分秒	0:00	0:10	0:20	0:30	0:40	0:50	1:00	1:10	1:20	1:30	1:40	1:50	2:00	2:10	2:20	2:30	2:40	2:50	3:00	3:10	3:20	3:30
第一次	0	10	50	100	170	250	270	280	285	300	300	280	265	240	200	150	140	130	100	80	30	0
第二次		15	65	140	185	250	275	280	290	295	295	290	260	245	205	155	120	90	40	0	0	0
第三次		10	60	110	180	250	265	285	295	300	300	290	265	250	200	165	135	125	85	60	20	0

伍、討論

一、天燈燃料，沙拉油與煤油的調配比例應如何才適當。



(一) 由不同混合比例所形成的溫度散佈點觀察，其散佈點連成的五條線段呈上、中、

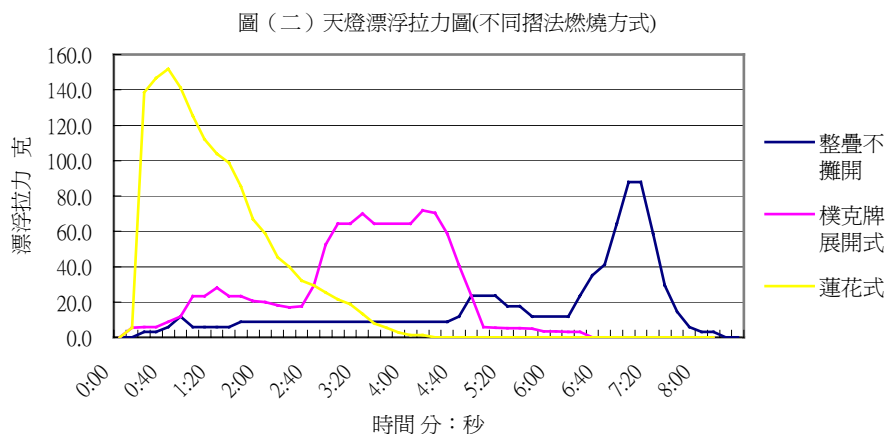
下無交叉分布，顯示煤油所佔比例越高，造成溫度上升的速度越快。

(二) 實驗中發現沙拉油：煤油混合比例 3：7 時，雖然造成溫度上升的效果最好，但過程中會有溫度突然劇烈上升的現象產生。

(三) 在實驗中發現，沙拉油比例比較高時，較不易點燃，溫度的上升趨勢比較緩和。

(四) 目前坊間天燈燃料是採 5：5 或 4：6 之沙拉油與煤油的比例調製，由實驗結果證實此經驗混合比例頗為適當，可以提供足夠熱能，也不會燃燒過於劇烈。

二、金紙不同摺法燃燒方式與天燈上升的關係（天燈內浮力與時間變化）。



(一) 由不同摺法所形成的時間與拉力折線圖觀察，其三條線段的拉力高峰段出現時段差異頗大，其中 C 組拉力最快出現，力道也最大；B 組次之，力道較為平緩，A 組最晚產生，力道則是曇花一現。

(二) A 組（金紙整疊不攤開）由於接觸空氣面積小，造成氧氣供應慢，所以燃燒緩和，產生的拉力相當微弱，結果天燈不易上升，這解釋了為何有些天燈飛不起來的原因，等待最後燃燒到金紙中心時，才一下昇起來，因燃料已盡，為時不久。

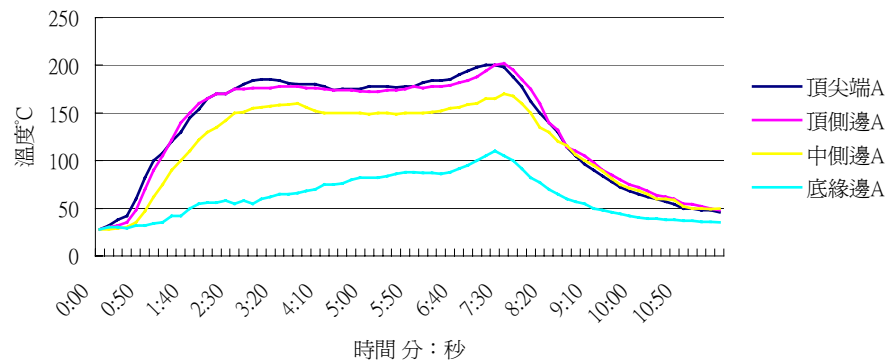
(三) B 組（撲克牌展開式）明顯分成兩高峰期，初期外圍展開的金紙快速燃燒，產生較大拉力，待後來火力燃燒至中心更旺時，拉力再明顯提升。

(四) C 組（蓮花式）因為接觸空氣面積最廣，一下子就快速燃燒往上竄升，其上升速度最快且拉力極大，這解釋了為何有人放的天燈，上升的又快又猛。

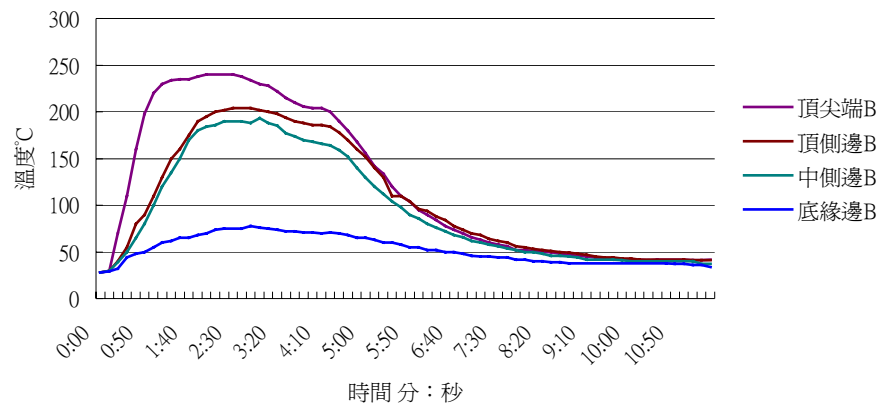
(五) 由此結果，顯示天燈是否能成功飛行的關鍵，就在於燃燒的金紙是否能充分接觸空氣，快速燃燒提供足夠的熱氣來來瞬間充滿天燈內部，而 B 組（撲克牌展開式）C 組（蓮花式三組）由於熱量提供緩慢，因此不易上升。所以推斷那些會飛到一半又掉下來的天燈，必定是金紙展開的不夠充分！

三、天燈內不同位置溫度與時間的變化。

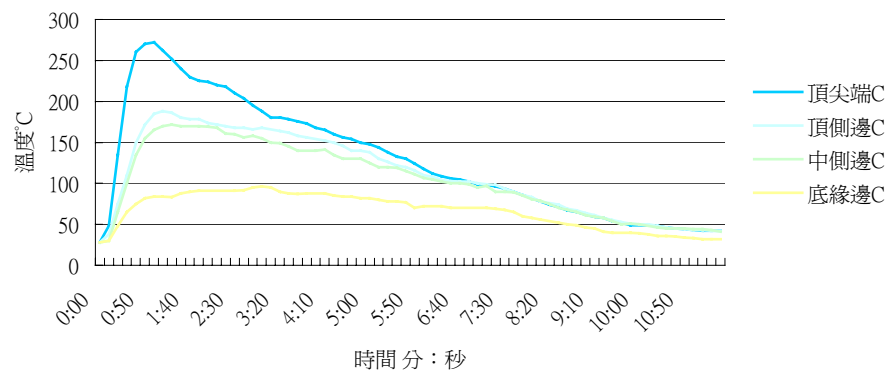
圖（三）天燈內部溫度變化圖(金紙不攤開)



圖（四）天燈內部溫度變化圖（金紙撲克牌展開式）



圖（五）天燈內部溫度變化圖(金紙蓮花式)



（一）由圖形散佈點觀察，越往天燈上端溫度越高，越靠底緣溫度越低，驗證熱空氣往上升的原理。

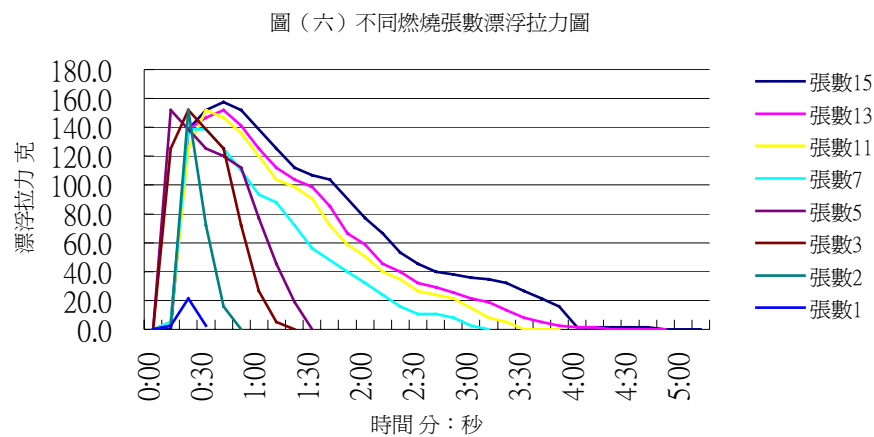
（二）圖三 A 組（金紙整疊不攤開）最高溫度約兩百℃、圖四 B 組（撲克牌展開式）

最高溫度約兩百五十℃、圖五 C 組（蓮花式）最高溫度約三百℃，顯示出相同條件下，由於不同摺法造成燃燒時接觸空氣量的不同，產生不同的溫度變化，接觸空氣量越多燃燒越旺盛，氣溫上升較快且較高。

（三）圖三 A 組（金紙整疊不攤開）燃燒緩慢，溫度較低，變化也較平緩持久，圖五 C 組（蓮花式）燃燒最劇烈，溫度竄升快，下降也快，能量釋放快速，圖四 B 組（撲克牌展開式）介於二者之間。

（四）各組溫度的變化也和前一項拉力的變化實驗相呼應，A 組（金紙整疊不攤開）燃燒緩慢，溫度低，拉力小，C 組（蓮花式）燃燒旺盛，溫度高，拉力大，B 組（撲克牌展開式）介於二者之間。

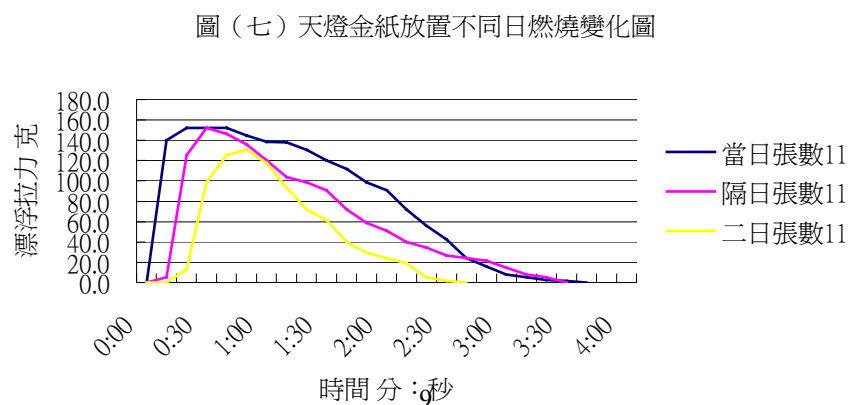
四、燃燒的金紙張數與天燈上升的關係。



（一）實驗中燃燒金紙一張就可以使天燈微飄，兩張就能夠使天燈起飛，只是無法持久。結果顯示即使燃燒少量的金紙，由於空氣接觸面較多，可以迅速燃燒生熱，天燈依舊可以迅速起飛。由圖（六）顯示，燃料的多寡和飛行持久力有關。

（二）目前放天燈，一般約掛附金紙約十來張左右，由實驗結果來看是適當的。

五、置放數日揮發後的金紙燃料，是否會影響天燈的上升。



(一) 由實驗結果觀察，顯示立即浸泡燃油的金紙，它的燃燒生熱效果最好，隨著時間增加，燃燒效果有變差的趨勢。

(二) 由於燃油具有揮發性，所以天燈金紙放置時間越久，明顯看出燃燒效果會變差，因此天燈施放用的沾油金紙，不宜擺放過久。

六、迷你型天燈可否飛上天空（不同比例的天燈探討）。

(一) 經由實驗結果得知，約縮小為一般施放天燈大小尺寸的百分之七十以上時（約大於高 105 公分、寬 63 公分），天燈仍可以順利飛起，若小於此尺寸，不僅難以飛起，且易焚燬。

(二) 探討迷你天燈難以起飛的原因，應是內部空氣容量比較小，無法產生足夠的熱空氣，使它上升。另外在實驗中發現，迷你天燈外部周圍的空氣溫度頗高，顯示它表面積所散失的熱量多，造成天燈內外的溫度差距比較小，自然不易飛起。

(三) 本實驗和前面四、討論燃燒的金紙張數與天燈上升的關係中，得到相同的現象，就是如果這個縮小尺寸的天燈可以容易飛起的話，只要少數的燃料，它就可以飄起來，燃料多寡的差別只是飛起的持久性。

七、天燈飛行多高多遠

(一) 由實驗結果觀察天燈飛行，一開始上升很快，然後緩慢上升；約二分鐘後達到最高，在高空停留歷時約一分鐘，然後慢慢下降，在接近地面時墜落速度加快。

(二) 經由實驗結果得知飛行高度約三百公尺，全程歷時約三分鐘結束。

(三) 探討天燈飛行多高、多遠的情況，應考量的相關因素有許多；比如說不同高度的風向、風速、氣溫等；不過如果得知當時平均風速、風向應可推斷天燈最後的落點。

陸、結論

一、沙拉油及煤油的不同混和比例會影響燃燒效率，目前坊間天燈燃料採用 5:5 或 4:6 之比例混合，經由實驗知道此經驗比例是合適的，既可以提供足夠熱能，也不會燃燒過於劇烈。。

二、天燈能成功飛行的關鍵，在於燃燒的金紙能充分獲得空氣，因此將天燈金紙攤開折成蓮花狀，來增加空氣的接觸面積是天燈施放成功的關鍵。

三、天燈內部越往上端溫度越高，越靠底緣溫度越低，驗證熱空氣往上升的原理。

四、天燈的浮力大小與天燈內部的溫度相關，溫度越高浮力越大。

五、燃燒少量（即使只有兩張）的金紙張數，也可使天燈升起；只是燃燒張數的多寡，關係天燈停留半空的時間長短。

- 六、 燃油具有揮發性，所以天燈金紙放置時間過久，燃燒效果會變差，因此天燈施放用的沾油金紙，不宜擺放過久。
- 七、 製作天燈，它的尺寸大小不宜小於一般天燈大小的七成（約高 105 公分、直徑寬 63 公分），否則難以起飛，且易焚燬。
- 八、 探討天燈飛行多高、多遠的情況，應考量的因素過多；其中以風向、風速為最難量測；不過如果得知當時風速、風向，以平均風速乘以時間(三分鐘)得到距離的方式，應可推斷天燈最後的落點。

柒、參考資料及其他

- 一、 國小自然課本，康軒版第五冊第七單元、第六冊第六單元、第七冊第四單元、第八冊第一、二、四單元、第九冊第六單元、第十冊第三單元。
- 二、 台北縣平溪鄉，明通雅舍王肇經先生。

捌、附錄



平溪之旅：明通雅舍王榮經老師
講解天燈的製法



實驗一：沙拉油比例比較高時，較不易點
燃，溫度的上升趨勢比較緩和。



錯誤！



A) 整疊整疊不攤開

B) 撲克牌展開式

C) 蓮花式

實驗二：天燈能成功飛行的關鍵，在於燃燒的金紙能充分獲得
空氣，因此將天燈金紙攤開折成蓮花狀，來增加空氣的接觸面
積是天燈施放成功的關鍵。



實驗三：由圖形散佈點觀察，越往天燈上端溫度越高，越靠底線溫度越低，驗證熱空氣往上升的原理。



實驗四：實驗中燃燒金紙一張就可以使天燈微飄，兩張就能夠使天燈起飛，只是無法持久。



實驗五：由實驗結果顯示立即浸泡燃油的金紙，它的燃燒生熱效果最好，隨著時間增加，燃燒效果有變差的趨勢。



實驗六：製作天燈，它的尺寸大小不宜小於一般天燈大小的七成（約高105公分、直徑寬63公分），否則難以起飛，且易焚燬。

實驗七：最後實際施放天燈
探討飛行多高、多遠的情況，
因需要考量的因素太多；其中
又以風向、風速為最難控制之
變因。



評語

研究主題具有強烈的鄉土氣息，研究方法設計簡單，研究的同學對浮力有深刻的了解。
學生對研究數據記錄與統計很詳實，設計浮力測量的方法很簡單。