

蚊香燃燒的研究

高小組物理科第二名

台北市西門國民小學

作 者：羅佳蓉、翁立窈

黃佳傑、謝明書

指導教師：陳存生、胡文素

一、研究動機

在四上自然科學「悶熄蠟燭」的實驗課後，我設計了如下的實驗：在形狀、容量大小均相同的甲、乙兩圓筒容器中，各放一燭心長短、火焰粗細均相同，唯長短不同的蠟燭，然後觀察他們的燃燒時間。實驗前我猜測甲容器必比乙容器燃燒時間短，因為甲容器之蠟燭長，所佔空間多，空氣就少，反之乙容器內的空氣就比較多了。可是，實驗結果却相反。我覺得真奇怪！到底是什麼原因呢？難道是容器中蠟燭燃燒位置的不同所影響的嗎？這引起我的好奇，因此和幾位同學在老師的指導下進行研究。

二、研究目的

瞭解容器內空氣的多或少是否就是蠟燭燃燒時間長或短的主要因素。

三、研究器材設備

- (一)玻璃瓶、玻璃管、玻璃水槽、塑膠圓筒。
- (二)蠟燭、蠟燭台、蚊香、火柴。
- (三)溫度計、注射筒、尺、碼錶、水、藥水瓶、鐵線。

四、研究過程和結果

實驗一：

(一)目的：探討在密閉圓筒內燃燒蠟燭，蠟燭長短的不同，會怎樣影響燃燒時間。

(二)方法：

1. 將同一品牌粗細大小相同的蠟燭，各截成甲組 12.5cm 和乙組 2.5cm 長短不同的二組蠟燭，燭心均 0.5cm，分別置於壓平的膠泥上。
2. 點燃蠟燭待火焰維持高 2 cm，寬 0.7 cm 時，用內徑 6.8 cm，高 19.8 cm 的玻璃圓筒（一端有蓋）罩住蠟燭，並壓緊，使與膠泥緊密。
3. 當筒口罩住膠泥時開始計時，到冒白煙為止。
4. 依此方法先做甲組十次後，再做乙組，將結果記錄於表一。
5. 每次操作前都要將圓筒擦拭乾淨，以電風扇吹 2 分鐘，然後筒口向上直立 2 分鐘，以驅散熱氣。（以下各實驗亦同）

(三)結果：

表 1. 蠟燭長短燃燒時間統計表

秒 次數 長短	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
長蠟燭 (12.5 cm)	21	23	23	22	21.5	22	21	20	22	23	21.85
短蠟燭 (2.5 cm)	20	21	19	21	18	18	18	17	18	17	18.7

1. 與研究動機相同。

2. 長蠟燭（空氣少）比短蠟燭（空氣多）燃燒時間長。

(四)討論：蠟燭熄滅是因筒內氧燃盡的緣故，理因長蠟燭佔的空間大，筒內空氣少，熄滅時間應比較快才對，可是結果却相反，這是為什麼？我們困惑了很久，後經老師的鼓勵，我們加以討論比較，想是不是還有其他原因影響了熄滅的快慢——是不是燭火在筒內位置高低的不同影響的？因此，設計下一個實驗。

實驗二：

(一)目的：探討在密閉圓筒內燃燒蠟燭，火焰位置的不同會怎樣影響燃燒時間。

(二)方法：

1. 將同一品牌粗細大小相同的蠟燭，截成同樣長 2.5 cm，分成甲、乙兩組。燭心均 0.5 cm 長。甲組置壓平膠泥上，乙組以鐵線撐高成 12.5 cm，插在膠泥上。（膠泥直徑長 13 cm，厚 2 cm）。

2. 點燃燭火後，甲、乙兩組操作方法和實驗一同。結果記錄於表二。

(三)結果：

表 2. 火焰高低燃燒時間統計表

秒次數 位置	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
火焰位高	26	26	21	23	23	27	22	27	21	20	23.6
火焰位低	17	17	17	15	19	20	18	21	16	17	17.7

(四)討論：

1. 由結果發現，在高處的燭火比低處的燃燒時間長。與實驗一相近。另外，燭火高的自罩上圓筒之後，不久火焰就變小，由小火焰一直到熄滅，而位置低的罩上後，還保持原火焰大小，一段時間後，等火焰突然變小後很快就熄滅了。

2. 根據上面的發現，既然筒內空氣量一定，那火焰大小變化很可能影響燃燒時間的重要因素，所以我們又做了下一個實驗。

實驗三：

(一)目的：探討在密閉圓筒內燃燒蠟燭，燭火位置高低的不同，會怎樣影響火焰的變化。

(二)方法：

1. 和實驗二相同。

2. 開始計時同時，用自行設計的鐵線十字尺度置於火焰旁，測火焰大小，直到熄滅冒白煙為止。將每秒火焰變化情形記下來。

(三)結果：表 3-1 十次實驗記錄明細表（見平時實驗記錄簿）

表 3-2 蠟燭火焰的變化

火焰 變化 情況 時間	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
	火焰位置高	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
火焰位置低	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

表 3-3 燭火高低火焰變化及熄滅時間十次平均表

秒數 位置 項目	火焰位置高	火焰位置低
開始變小	5.8	7.6
熄滅時間	22.7	17.1

(四)討論：

1.高處的燭火自計時 5.8 秒後開始變小，然後燒至 22.7 秒熄滅。低處燭火自計時 7.6 秒後才變小，到 17.1 秒就熄滅了。所以，位置高的火焰變化比位置低的快，但熄滅時間却較慢。從這看來，火焰由大變小的時間不同是影響燃燒時間的重要因素。我們再設計下一個實驗。

實驗四：

(一)目的：探討在密閉圓筒內燃燒蠟燭，火焰大小會怎樣影響燃燒時間。

(二)方法：

- 1.將實驗分甲（火焰位置低的）和乙（火焰位置高的）二組，甲、乙再分成ㄩ、ㄦ二組。每小組蠟燭 2.5 cm 二支，鐵線 11 cm 二根。
- 2.ㄩ組點燃 2 支蠟燭，ㄦ組 1 支，使ㄩ組火焰大於ㄦ的。
- 3.以下方法和實驗二同。

(三)結果：

表 4 - 1 甲組一火焰位置低燃燒時間統計表

秒 次 數 組 別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
勾 燃燒蠟燭二支	8.5	6.9	8.2	7.8	9	8.4	8.5	9.1	7.5	9.4	8.3
叉 燃燒蠟燭一支	17	18	17.8	16.9	18.1	17.9	18.3	18	17.2	19.8	17.9

表 4 - 2 乙組一火焰位置高燃燒時間統計表

秒 次 數 組 別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
勾 燃燒蠟燭二支	10	11.5	10.5	12	10.5	9.4	10.4	8.8	10	11	10.4
叉 燃燒蠟燭一支	21.2	21.4	23.2	21.5	22.9	21.7	22.3	22.6	22.3	23.5	22.2

(四)討論：由表 4 - 1 、 4 - 2 知道，火焰無論高或低，火焰大的燃燒時間短、火焰小的燃燒時間長。可是我們很疑惑，在同一容器中，燃燒粗細長短相同，只是火焰位置高低不同的蠟燭，為什麼火焰大小變化不同，是不是因位置不同，使它們燃燒時需要的空氣也不一樣了？經過我們討論，我們以五上第三單元氧燃燒後水會進入圓筒的方法和氧經燃燒後二氧化碳和石灰水交互作用所成混濁情況來比較燃燒時需要的空氣量。

實驗五之一：

(一)目的：探討在密閉圓筒內燃燒蠟燭，燭火位置高低的不同，會怎樣影響氧氣的耗費。

(二)方法：

1. 在內徑 28.5 cm，高 13.2 cm 的圓形玻璃水槽內盛水，在中央放一高 3.5 cm 的橡皮塞做燭台。以下準備方法和操作方法和實驗二同。

2. 圓筒外貼有 20 cm 的直尺刻度，用來測水上升高度。在剛罩上

圓筒時，水都會進入，這時要使之維持一定高度（0.5 cm），以便實驗後的計算。連續作五次。

(三)結果：

表 5 - 1 蠟燭燃燒燭火位置高低水位上升統計表

cm 位置 秒 次 區 分	火 焰 位 高						火 焰 位 低					
	1	2	3	4	5	平均值	1	2	3	4	5	平均值
熄滅時間	21.5	22	21.5	23	22.2	22.04	18	19.5	18.5	18.8	19	18.76
實測水位	1.9	2	2.5	2.5	2.6	2.3	4.3	4	4	3.7	4	4

(四)討論：位置低的水位上升 4 cm 占圓筒高 1/5，與氧佔空氣量 21% 相當。從上表我們發現，位置低的燭火熄滅後，進入筒內的水較多，所以我們認為位置低的蠟燭燃燒時耗費的空氣量比高的多。我們接著以二氧化碳和石灰水交互作用做了下面的實驗。

實驗五之二：

(一)目的：同實驗五之一。

(二)方法：

- 按照實驗二、三的過程操作實驗。並準備注射筒和貼有標籤的玻璃瓶（也分甲乙組），瓶內裝有石灰水 8 c.c.。
- 待燭火熄滅冒白煙後開始以針筒自圓筒上下兩孔各抽 5 c.c.，再注入石灰水瓶內。每次注射後各搖五次。連續作五次。
- 抽取完後，把各瓶搖十次，觀察混濁程度和 1 天後沉澱顆粒。

(三)結果：

表 5 - 2 二氧化碳與石灰水交互作用

區 分	火 焰 高	火 焰 低
混濁程度	較淡（瓶上字體看得較淡）	較混濁（瓶上字體看得較模糊）
沉澱顆粒	碳酸鈣沉澱較少	碳酸鈣沉澱較多

(四)討論：由實驗結果知道，位置低和高的蠟燭燃燒後，二者石灰水測試以位置低的較混濁，顆粒也較多。我們綜合實驗五之一、二的結果，知道了位置低的燃燒時耗費氧量較多，位置高的較少。

可是我們不懂為什麼會有這種現象？於是我們推想是因蠟燭位置的不同，造成氧供給情況不同，故又設計下一實驗。

實驗六：

(一)目的：探討在密閉圓筒內燃燒蠟燭（蚊香），從煙的流向觀察火焰高低的不同，會怎樣影響筒內空氣的流動。

(二)方法：

1. 將同一品牌的蚊香截成 3 cm 長的 4 段，分甲、乙兩組實驗。甲直接插在膠泥上，乙用膠帶貼於 10 cm 鐵線頂端，底插膠泥上。
2. 點燃蚊香後以圓筒玻璃罩住，當罩住膠泥時開始計時。觀察煙第一次至圓筒頂及下底之時間，並把煙流動情形加以記錄。

(三)結果：

表 6-1 甲組（位置低）煙流動狀況

秒 次 數 項 目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均	說 明
第一 波 煙	上升至頂	1	1.1	1	0.9	1	1	1	0.9	1	1	1
	由頂→蚊香	2.5	2.7	1.8	3	1.1	3.4	2.2	4	2.1	1.7	2.45
	由頂→底	4	4.9	3.5	4.1	3	6	4	7.5	4	3	4.4
	循環一圈	5.5	7	6	8	7.5	9.5	11	9	10	4.5	7.8
最先循環至 蚊香之煙		3	2.3	2	3.4	2.6	5	3	4.7	3.1	2	3.1
	速度轉慢	105	103	102	100	101	102	104	105	105	102	103

表 6-2 乙組（位置高）煙流動狀況

秒 次 數 項 目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均	說 明
第一 波 煙	上升至頂	0.5	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5
	由頂→蚊香	1.6	1.2	1.5	1.6	1.7	1.3	2	1.6	2.1	2.3	1.69
	由頂→底	6.5	5.6	7.5	6.7	7.5	5.7	8.2	7.5	9.3	9.5	7.4
	循環一圈	18	17	16	18	15.5	19	20	17.5	21	14	17.6
最先循環至 蚊香之煙		5	3.4	6	5.2	5.5	4.5	5.6	4.8	6.7	5.3	5.2
	速度轉慢	85	83	81	84	87	82	86	83	87	85	84.3

由上表知：

1. 蚊香到頂，低處約 1 秒，高處約 0.5 秒；由頂降至蚊香，低處為 2.45 秒，高處約 1.69 秒。可見煙上去快，下來慢。
2. 由頂降至下底，低處約 4.4 秒，高處約 7.4 秒。顯然低的下降快。
3. 煙下降至蚊香以後，速度又比上段更慢。
4. 低處和高處蚊香，其煙流動狀況的比較：

秒 區 分 狀 況	甲 組 (位置低)	乙 組 (位置高)	流動速度
蚊香→頂→下底	5.4	7.9	低 > 高
第一波煙循環至蚊香	7.8	17.6	低 > 高
煙流動時最先循環至蚊香	3.1	5.2	低 > 高
蚊香上區煙流動速度轉慢	103	84.3	低 < 高

(四) 討論：由結果知煙流動狀況，低處的比高處好。我們認為在低處燃燒時，空氣供應狀況較高處好。在實驗中我們也發現，低高兩處蚊香，自蚊香以上至筒頂區域，煙上下速度較快。而蚊香下至筒底之區域，煙下降速度就緩慢多了。蚊香上區煙流速由快轉慢，我們想是當氧供應量無法維持原有的，燃燒不順暢，火焰就變小，煙流速必減弱。因此位低的到 103 秒，位高的到 84.3 秒開始由快變慢，與實驗三相印證。但這現象引起我們困惑和討論，想是不是容器內溫度不一樣所致。再設計下一實驗。

實驗七：

(一) 目的：在密閉圓筒內燃燒蚊香，觀察蚊香燃燒位置的不同，會怎樣影響圓筒內溫度的變化。

(二) 方法：

1. 將圓筒側面下底起 7 cm , 17 cm 處（距蚊香上 4.5 cm ）各鑽一小洞，足納溫度計。另將蚊香截成 3 cm 數段，分甲、乙二組實驗。

2. 選三支與室溫同度溫度計，二支黏牢於圓筒，另一支自膠泥斜穿入圓筒下底。觀察記錄溫度上升狀況和下降時的時間與度數。
3. 依此方法分別實驗位置高（12.5 cm），位置低（2.5 cm），連續十次。
4. 每次插入溫度計前調整為原來室溫20 °C。

(三) 結果：

表 7-1 甲燃燒蚊香位置低溫度變化表（十次平均）

秒 位 置 ℃	0	5	10	15	20	30	40	50	60
7 cm	20	21.3	23.3	26	27.6	31.8	34.9	37.2	38.1
17 cm	20	20.7	21.5	22.6	22.3	24	24.8	25.2	25.8
0.5 cm	20	20	20.05	20.09	20.1	20.26	20.39	20.53	20.68

秒 位 置 ℃	70	80	90	100	110	130	150	170	
7 cm	40.2	41.2	42.3	43.4	42.5	40.3	↓		
17 cm	26.6	27.2	27.3	27.4	27.6	27.7	27.1	↓	
0.5 cm	20.81	20.94	21.01	21.16	21.25	21.46	21.4	↓	

表 7-2 乙燃燒蚊香位置高溫度變化表（十次平均）

秒 位 置 ℃	0	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80
17 cm	20	21	22.5	24.8	26.2	28.2	30.4	32.3	33.7	35	36.1
7 cm	20	0.2	20.4	20.7	21	21.3	21.5	21.7	21.9	22.1	22.1
0.5 cm	20	20	20	20	20	20	20	20	20.07	20.1	20.1

秒 位 置 ℃	90	100	110	130	150	170	200	230	260	300
17 cm	37.1	37.8	38.6	37.7	37.1	↓					
7 cm	22.4	22.5	22.8	23	23.1	23.2	23.3	23.7	23.6	23.2	↓
0.5 cm	20.2	20.2	20.2	20.3	20.3	20.3	20.4	20.4	20.4	20.4	↓

表 7-3 燃燒蚊香（蚊香上 4.5 cm 處）增溫變化表

秒組 組 C	0	5	10	15	20	30	40	50	60	70	說 明
甲（位置低）	0	1.3	2	2.7	1.6	4.2	3.1	2.3	1.7	2.1	7 cm 處
乙（位置高）	0	1	1.5	2.3	1.4	2	2.2	1.9	1.4	1.3	17 cm 處
秒組 組 C	80	90	100	110	130	150	170	200	說 明
甲（位置低）	1	1.1	1.1	-0.9	-2.2						7 cm 處
乙（位置高）	1.1	1	0.7	0.8	-0.9	-0.6					17 cm 處

(四) 討論：從表 7-1 ~ 7-3 可獲得如下的認識：

1. 蚊香上 4.5 cm 處，甲（位置低）受熱的溫度比乙（位置高）受熱的溫度高，且隨秒增高。可見甲受熱速度較乙快，火焰較大。
2. 蚊香上溫度下降時間，甲約 100 ~ 110 秒，乙約 110 ~ 130 秒，甲比乙快；下降的速度甲由最高 43.4 °C → 42.5 °C → 40.3 °C，乙由最高 38.6 °C → 37.7 °C → 37.1 °C，顯見甲下降速度較快，說明甲變小後很快熄滅。
3. 蚊香為界，上區近蚊香溫度愈高，離遠逐漸降低。如甲 (43.4 °C → 27.7 °C) 相差大，熱空氣上升易，冷空氣下降也易，所以實驗六蚊香以上煙上下流動快。
4. 蚊香上下溫差大，如乙 (38.6 °C → 23.6 °C → 20.4 °C)，上面熱空氣較輕，下面冷空氣較重，熱空氣下降不易，冷空氣上升不易，因此流動緩慢。證明實驗六自蚊香下至下底流動速度比上面慢。
5. 自蚊香以上，煙流動區域位低的比位高範圍大；反之自蚊香以下位高的比位低範圍大。說明位低的空氣流動順暢區比位高的

大，不順暢區則較小。

6.由實驗一～七系列討論，我們明白位置高低，空氣對流狀況影響了圓筒內溫度變化、煙流動情形、空氣供應量以及火焰大小，進而影響蠟燭燃燒時間。由此推得同一密閉容器內的空氣量多或少不是決定燃燒時間長或短的準則。如果筒長增 $\frac{1}{2}$ 倍（空氣量增 $\frac{1}{2}$ 倍），其燃燒時間是否增同倍？我們又進一步探討。

實驗八之一：

(一)目的：探討在加倍高度的密閉容器內燃燒蚊香，從煙的流向觀察蚊香位置的不同，會怎樣影響容器內空氣的流動。

(二)方法：

1.依實驗六方法進行實驗。以口徑 4.5 cm 容器高增為 5 倍（約 100 cm），兩頭透空，實驗前先以膠泥封住上底口，以防空氣進入。

2.先做甲組後再乙組。測量在 2、3、4、5 倍容器中燃燒時間。

(三)結果：

1.甲組—(蚊香位置低) 煙流動的快慢

管尺 上升 高度 秒 次數 cm	cm 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100	說 明										煙停滯 cm 58	第一波 上升高度 ▲ 63 cm (60.5 cm)
		7.5	17.5	27.5	37.5	47.5	57.5	▲	▲	▲	▲		
1	1	3	6	9	16	22	▲ 30						
2	1	2	5	9	10	17	▲ 26					58	▲ 63 (60.5 cm)
3	1	2	4	7	12	31	▲ 31					56	▲ 60 (57.5 cm)
平均	1	2.3	5	8.3	12.7	23.3	▲ 29					57.4	▲ 62 (59.5 cm)

2.乙組一(蚊香位置高)煙流動的快慢

管 尺 度 cm	上升 高度 cm	明									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
秒 次 數	度 高 度 cm	7.5	17.5	27.5	37.5	47.5	▲				煙停滯
1		1	2	7	11	20	▲ 31				cm 61~63 (52.5 cm)
2		1	3	5	12	15	▲ 27				cm 65 (55.5 cm)
3		1	3	4	8	14	▲ 35				cm 62 (57.5 cm)
平 均		1	2.6	5.3	10.3	16.3	▲ 31				cm 63上下 (55.3 cm)

註：(1)管尺度以管子靠下面一端為基準算起的高度。

(2)上升高度以火點燃蚊香處為基準算起的高度。

(3)▲指第一波煙上升到最高處所需時間。

2.兩組實驗比較：

(1)甲、乙組煙未達上底口。

(2)煙停滯高度，甲 57.4 cm、乙 63 cm；空氣未污染長度甲 42.6 cm、乙 37 cm。流動情形甲組 30 cm 以下快速流動，30 ~ 40 cm 煙呈打滾，到 40 cm 以後緩慢上升。而乙組在 25 cm ~ 35 cm 上下快速流動，(蚊香以下微緩流動)，35 ~ 40 cm 煙呈打滾，45 cm 以後煙緩慢上升。

(3)第一波煙上升速度比較：

甲組(位低)—平均 29 秒上升高度 59.5 cm (62 cm ~ 2.5 cm)

乙組(位高)—平均 31 秒上升高度 55.3 cm (67.8 cm ~ 12.5 cm)

所以，第一波上升速度甲 > 乙。

(4)綜之，甲組蚊香燃燒(位低)優於乙組(位高者)

3.表 8 - 1 - 5 口徑 4.5 cm 實測燃燒蠟燭時間表

秒數 次數 倍數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均	附註
1 倍 19.8 cm	6	5.6	7	6.2	5.8	6	5.5	7.3	5.7	5.9	6.17	
2 倍 39.6 cm	12.3	10.2	10.4	11.8	12	10.8	11	13.1	10.4	12.5	11.45	↓ 接近倍數
3 倍 59.4 cm	12.4	10	11.5	10.8	11.5	12.7	12	12.3	13.1	11.7	11.80	管愈長增加時間越減 ↓
4 倍 79.2 cm	12	11.1	11.8	11.6	12.4	11.9	12.8	10.9	12.6	10.8	11.79	停滯
5 倍 100 cm	12.4	12	10.6	12.3	12.7	10.8	11.8	11.7	12.1	11.6	11.80	管內空氣沒全燃燒

(四)討論：以口徑 4.5 cm 管長 19.8 cm 的圓筒加倍實測蠟燭燃燒，結果在 4 倍管長所測時間 11.79 秒與 3 倍的 11.8 秒相當，顯未因加倍管長（空氣量）燃燒時間也加倍，反逐漸減少。且管上端有部份未染煙，是否那一部份空氣不發生作用？於是我們再做一實驗。

實驗八之二：

(一)目的：探討八之一實驗去掉上底膠泥，觀察煙流動的情況。

(二)方法：

1. 先依實驗八之一進行實驗，待煙上升至停滯高度，去掉膠泥。
2. 實驗開始時即去掉膠泥，讓兩端透空，再依八之一方法實驗。
3. 觀察上式 1. 2. 煙流動情況。並以實測蠟燭燃燒時間。

(三)結果：

1. 方法 1. 中，煙到停滯時去掉膠泥，煙的流動沒改變，不影響。
2. 依方法 2. 實驗亦同，所得結果與實驗八相近。

3. 表 8 - 2 - 3

口徑 4.5 cm、管長 100 cm 實測蠟燭燃燒時間表

秒 次 數 位 置	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
2.5 cm 處	11.8	12.2	10.8	11.4	12.8	13.4	11.8	11.2	10.9	11.6	11.79
12.5 cm 處	14.6	16.2	17.3	15.4	14.5	16.1	17.1	14.2	15.2	13.9	15.45

(四)討論：上面 11.79 秒與八之一中結果 3. 實測 3、4、5 倍管長時間相近，和口管停滯高度 57.4 cm 和 3 倍管長相近，顯然管中部份空氣未燃燒。綜合八之一、二知道，煙在管內 55 ~ 65 cm 高度處呈停滯狀況，高 35 ~ 45 cm 的空間不受影響。我想是不是所有不同口徑的圓筒都有這現象，於是我們再進一步實驗。

實驗八之三：

(一)目的：探討在不同口徑圓筒內燃燒蚊香，會不會同實驗八之二，煙上升至某一高度就停滯不上升。

(二)方法：

1. 將口徑分匚 (7.5 cm)、匱 (5.5 cm)、匚 (4.5 cm)、匱 (2.5 cm) 四組，長均 100 cm 的圓筒。並於圓筒下底每隔 10 cm 畫一尺度。
2. 將 3 cm 長蚊香插在膠泥上，點燃後分別罩上匚匱匚匱各組圓筒，視煙上升情況，加以記錄，各組重覆實驗五次。

(三)結果：

不同口徑煙上升停滯狀況表

cm 上升高 度 組 別	次 數	1	2	3	4	5	平均值
匚 (口徑 7.5 cm)	9	94.5	96	97	94	95.4 cm	
匱 (口徑 5.5 cm)	76.5	75	76.5	74.5	76	75.7	
匚 (口徑 4.5 cm)	56	58	57.5	58	57.5	57.4	
匱 (口徑 2.5 cm)	29	28.5	29	29.2	28.5	28.8	

(四)討論：煙上升停滯高度分別爲匱 95.4 cm, 叉 75.7 cm, □ 57.4 cm, ▨ 28.8 cm，我們得知口徑愈大的管，煙上升停滯高度愈高。爲何會這樣呢？我們推想是因管內燃燒蚊香，往上的熱空氣阻擋了要下降的冷空氣，而口徑小更影響對流不易。爲探討我們的推想是不是正確，所以設計下列二種實驗來證明。

實驗九之一：

(一)目的：研究如何使窄管裡的火源源不斷的燃燒。

(二)方法之一：

1.我們想用煙函對流原理來實驗。首先在□管（口徑 4.5 cm）離底部 3 cm 處打一小洞（直徑約 1 cm），先以膠帶封住。依實驗八之三方法燃燒蚊香，使煙上升至停滯地方。此時去掉封貼的膠帶，使管外空氣流入。觀察停滯的煙有何變化。

(三)結果：只見已停滯的煙，又飄往上升，越過管口不斷冒出。

(四)討論：我們認爲是管內空氣對流不易，造成煙停滯現象，後由於空氣由底部洞口進入，使恢復對流。雖然這證明我們的想法是對的，但希望有更好的，所以又設計下一個實驗。

(五)方法之二：

1.依實驗八之三之方法，在管裡燃燒蚊香，使煙至停滯現象。

2.此時將比□管口徑小的▨管（口徑 2.5 cm），自□管上底插入，使恰好罩上□管內的蚊香上面，使蚊香燃燒的煙由此管上升，而留出▨管距□管內側的空間，供□管上面至管外冷空氣的下降至蚊香燃燒處。觀察，管內煙的動向。

(六)結果：看到已停滯的煙，由▨管上升冒出管外，至蚊香熄滅止。

實驗九之二：

(一)目的：燃燒蠟燭，以驗證圓管內燭火源源不斷燃燒。

(二)方法：和實驗九之一同，只蚊香更爲蠟燭，再觀察燃燒情形。

(三)結果：

1.當□管火焰漸小時以▨管放入，火焰由小漸大，進而更大且明亮，燭火繼續燃燒，直到蠟燭燒盡。

2.當▨管漸往上移，火焰逐漸變小，移到 60 cm 處，燭火就熄滅。

3. 當匱管放至燭火下方（未到底），火焰拉長，較不明亮，黑煙多，但燭火仍繼續燃燒。匱管至底，燭火又逐漸變小而熄滅。

(四) 討論：

1. 結果 1，由實驗九之一煙的對流現象知，熱氣由匱管出去，管內外的冷空氣由匱管間的空氣源源不斷流入，流入的冷空氣正好在燭火處，因此燭火燃燒的供應量持續且多。

2. 結果 2，由實驗八之三知，因熱氣上升，佈滿管內，阻擋冷空氣下降，因此燭火供應量逐漸減少，燭火變小而後熄滅。

3. 結果 3，我們討論結果認為是因對流而由匱管與匱管間流入的冷空氣，再由匱管下往上流至燭火處，氧供應量較不充足，所以形成火焰拉長，黑煙升起。由這實驗知道，管內空氣多或少並不表示蠟燭燃燒時間長或短，其他空氣對流狀況順暢否，也是影響蠟燭燃燒的主要因素。

五、總討論

(一) 短蠟燭（燭火位置低的）在圓筒內燃燒時，大火焰的時間維持較久而燃燒時間較短的原因，根據實驗五、六、七我們的推想是：位置低上方的空間大，空氣對流量多，幫助燃燒的氧供給順暢（比較快）所以火焰大，但也比較快被用完，熄滅就快。

(二) 長蠟燭（燭火位置高的），大火焰時間短，但以小火焰燒較久是因燭火上方對流空氣量少，（下方幾乎沒有對流現象）氧供給不順暢，所以火焰小。但燃燒時間也較長。

(三) 容器內熱空氣雖會上升，冷空氣下降，但上升後溫度會下降，所以熱空氣上升到一定高度便不再上升了，而口徑愈大，上升高度愈高。雖然圓筒上端是空的，但超過一定高度以上的空氣也不會下降（實驗八之一、二、三）。

(四) 加倍容器長度，空氣量也加倍，但燃燒時間却不成倍數。

1. 由實驗八之一結果：可知，煙在匱管 $30 \sim 40\text{ cm}$ 處打滾， 30 cm 以下範圍煙上下流動快； 40 cm 以上煙緩慢上升，可推知煙在一定高度內對流順暢，超過這高度，對流就逐漸不順暢了。

2. 在對流快速的範圍內，如口管 40 cm 以下，燃燒時間尚達倍數，但超此範圍就不成倍數，有愈長增加時間逐漸減少的趨勢，直到最高限度。再增長，燃燒時間也不會增加了。（實驗八之三）

六、結論

(一) 長短不同蠟燭在圓筒內燃燒情形（筒內空氣量差較多）和燭火高低位置不同燃燒情形（筒內空氣量較接近）一樣。（實驗一、二、三）

1. 以火焰大小來比較，由正常變小火焰—長蠟燭和位置高的變得快。
2. 以燃燒時間來比較—長蠟燭和位置高的燭火燃燒得比較久。
3. 由此看出：蠟燭在容器內的燃燒時間，是燭蕊在筒內位置的高低影響比較大，並不是受筒內空氣量的影響。

(二) 火焰大小不同在圓筒內燃燒的情形，和結論一類似（實驗四）。

(三) 燃燒時氧消耗量比較：

1. 以短蠟燭（位置低的）消耗量較多，幾乎接近空氣中 $\frac{1}{5}$ 氧量。
2. 以短蠟燭（位置低的）燃燒時產生二氧化碳較多。（實驗五）

(四) 空氣對流有一定範圍，火焰上的對流較順暢，但超過範圍後，對流作用漸緩慢。而火焰位置下的，對流不順暢。（實驗六、七）

(五) 加長容器長度（超過停滯高度），雖然圓筒上端是空的，燃燒時間雖較長，仍然不能繼續燃燒（實驗八）。雖使長度增為 2、3、4…倍，但是時間却不成倍數增加，越長增加的愈少。

(六) 使蠟燭在長容器內繼續燃燒的方法（實驗九）：在管內挿一支細管，使細管超出容器上端，下不碰底，就可使蠟燭不斷燃燒。

(七) 我們的發現給同學們上課做實驗時的參考資料：

1. 實驗容器的口徑和長度：口徑大的比小的好。若使用 4.5 cm 口徑的高度不要超過 60 cm。（約口徑 13 倍）

2. 國小自然科學第七冊八「悶熄蠟燭」的實驗結果應該是這樣：

(1) 長短蠟燭在同樣大小瓶子裡燃燒比較——長的蠟燭燃燒時間較長，但火焰變小較快。

(2)粗細蠟燭在同樣大小瓶子裡燃燒比較——細的燃燒時間較長。
(3)燭蕊長短不同在同樣大小瓶子裡燃燒比較——燭蕊短的因火
焰較小，所以燃燒時間較長。

3.國小自然科學第九冊三「兩種氣體」「在水中悶熄蠟燭」的實
驗，燃燒短的蠟燭，以被壓入玻璃鐘罩裡的水比較多，所以使
用短蠟燭的效果比較接近正確。

4.國小自然科學第七冊「悶熄蠟燭」單元：

(1)p.68 頁，容器加倍，燃燒時間也加倍的概念，並非指所
有容器而言。容器形狀不同（如口管），雖加倍，但因對流
狀況不同，燃燒時間必不會成倍數關係。

(2)教學指引列舉變因有空氣多少、蠟燭長短、顏色、燭蕊長短
…但實驗告訴我們：位置高低、空氣對流狀況也是不可忽視
的變因。

七、參考資料

- (一)自然課本教學指引第七、九冊。
- (二)國中理化第一冊，國立編譯館主編。
- (三)學生科學辭典 60 年 10 月初版，光復書局。
- (四)第十八屆、第廿六屆全國科展優勝作品專輯。

評語

- 探討蠟燭在不同環境中的燃燒狀態。尤其對蠟燭在不同位置之燃燒
之研究，以燭焰大小、燃燒時間、及二氧化碳之產量（溶解於石灰
水中產生的碳酸鈣量表示）之實驗很能綜合應用所學，對一現象提
出完整而正確之分析方法。甚為難得。