

桃園市三坑國小 校務評鑑

貳、教務發展 四、學生學習成長 3. 鼓勵學生參加各類活動。

分類號	2-4-3-1
學校自評	參與中華民國第51屆中小學科學展覽榮獲國小組物理科第三名。

參賽活動名稱：中華民國第51屆中小學科學展覽

編號：080115

作品名稱：問水哪得高如許？為有熱源伴水來

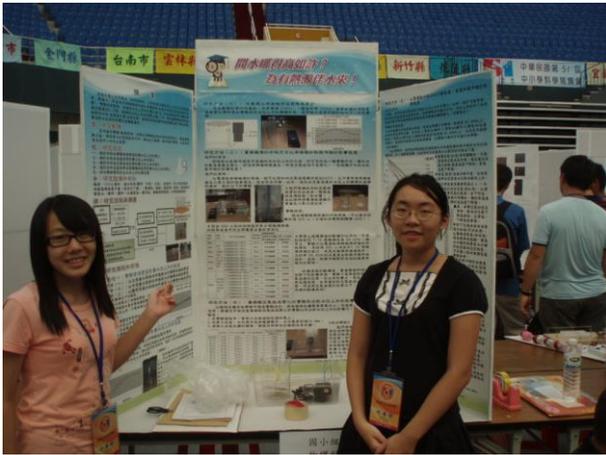
學校名稱：桃園縣龍潭鄉三坑國民小學

名次：第三名

參賽學生：陳熾云 張婉怡

第一指導老師：黃啟晉

參賽照片



說明：參賽背板



說明：中華民國第51屆中小學科學展覽開幕



說明:學生演練



說明:本校參賽同學、指導老師、主任、校長合影



說明:餐會



說明:閉幕頒獎典禮



說明:本校獲獎同學上台



說明:頒獎

獲獎公文

檔 號：
保存年限：

國立臺灣科學教育館 函

地址：111臺北市士林區士商路189號
承辦人：周茜芸
傳真：02-66102300
電話：02-66101234-1406
電子郵件：yu@mail.ntsec.gov.tw

受文者：桃園縣龍潭鄉三坑國民小學

發文日期：中華民國100年8月9日
發文字號：科實字第10000003008號
速別：速件
密等及解密條件或保密期限：
附件：

主旨：有關 貴校師生參加「中華民國第51屆中小學科學展覽會」獲大會獎獎金核發乙案，請 查照惠辦。

說明：

- 一、依本館100年5月3日科實字1000001593號函送「中華民國第51屆中小學科學展覽會補充規定事項」第17點規定辦理（大會獎第一名新台幣4萬元整、第二名新台幣2萬元整、第三名新台幣1萬元整、佳作新台幣5仟元整），並請確實將獎金轉發給獲獎作品之學生及指導教師，請勿移作他用。
- 二、「中華民國第51屆中小學科學展覽會」獲大會獎得獎作品名冊已公布於本館網站首頁（網址：www.ntsec.gov.tw/最新消息），請自行下載，並請即開立獎金收據郵寄本館辦理撥款手續，並請詳明繳款人：「國立臺灣科學教育館」及學校帳戶資料包括：戶名、金融機構名稱、帳號。
- 三、請第一名得獎學生於8月20日前檢送下列相關資料供本館辦理編輯第51屆全國科展優勝作品專輯之相關事宜。
(一)得獎感言乙篇：300字以內，WORD檔(作者共同撰寫乙篇

電子
文
轉



)。

(二)彩色生活照片乙張：3"x5"、人物清晰JPG檔（作者合照）。

正本：臺北市萬華區私立光仁國民小學、新北市新莊區丹鳳國民小學、臺中市后里區內埔國民小學、臺中市烏日區九德國民小學、臺南市永康區崑山國民小學、臺中市南屯區惠文國民小學、臺北市大安區幸安國民小學、高雄市新興區七賢國民小學、嘉義市西區興嘉國民小學、臺中市私立明道普霖斯頓國民小學、新北市板橋區板橋國民小學、新北市樹林區大同國民小學、苗栗縣大湖鄉大湖國民小學、臺北市文山區私立靜心中小學小學部、臺南市柳營區柳營國民小學、基隆市中正區八斗國民小學、新北市永和區永和國民小學、宜蘭縣羅東鎮羅東國民小學、桃園縣大園鄉竹圍國民小學、桃園縣中壢市華勳國民小學、桃園縣龍潭鄉三坑國民小學、彰化縣彰化市民生國民小學、臺南市鹽水區鹽水國民小學、國立東華大學附設實驗國民小學、臺中市南屯區大新國民小學、臺中市北屯區東光國民小學、臺北市中山區永安國民小學、臺北市立教育大學附設實驗國民小學、臺北市內湖區明湖國民小學、臺北市士林區天母國民小學、苗栗縣苗栗市建功國民小學、臺南市東區勝利國民小學、高雄市左營區永清國民小學、新北市私立康橋雙語國中小學、新北市樹林區樹林國民小學、宜蘭縣蘇澳鎮蘇澳國民小學、桃園縣立楊光國民中學、桃園縣立龍安國民小學、苗栗縣苑裡鎮中山國民小學、臺中市清水區清水國民小學、南投縣私立普台國民中小學、臺南市關廟區五甲國民小學、臺東縣臺東市豐榮國民小學、花蓮縣吉安鄉稻香國民小學、臺中市西區忠孝國民小學、臺南市東區東光國民小學、臺北市中山區中山國民小學、臺北市北投區立農國民小學、高雄市鼓山區中山國民小學、高雄市左營區新莊國民小學、高雄市三民區十全國民小學、高雄市新興區信義國民小學、新北市立義學國民中學、新北市立南山高級中學、新北市立海山高級中學、嘉義市私立嘉華高級中學附設國中、臺北市立蘭雅國民中學、臺北市私立薇閣高級中學附設國中、高雄市立陽明國民中學、南投縣立大成國民中學、彰化縣立陽明國民中學、新北市立福和國民中學、臺中市立豐東國民中學、桃園縣立光明國民中學、臺南市立海佃國民中學、國立高雄師範大學附屬高級中學、新北市立江翠國民中學、新北市立五峰國民中學、新北市立三和國民中學、苗栗縣立頭份國民中學、南投縣立宏仁國民中學、屏東縣立崇文國民中學、臺東私立均一國民中小學、花蓮縣立花崗國民中學、臺中市私立衛道高級中學附設國中、嘉義市立南興國民中學、臺北市立民生國民中學、臺北市私立復興實驗高級中學、彰化縣立大同國民中學、雲林縣立雲林國民中學、新北市立積穗國民中學、新北市立林口國民中學、宜蘭縣立中華國民中學、宜蘭縣立復興國民中學、桃園縣立新明國民中學、新竹縣立竹北國民中學、苗栗縣立照南國民中學、南投縣立南崗國民中學、花蓮縣立美崙國民中學、基隆市立中正國民中學、臺中市立居仁國民中學、臺中市立中山國民中學、臺中市立至善國民中學、嘉義市立北興國民中學、臺南市立建興國民中學、臺南市立安平國民中學、高雄市立五福國民中學、國立臺南第一高級中學、國立臺中女子高級中學、國立蘭陽女子高級中學、臺北市立中山女子高級中學、國立羅東高級中學、國立新竹女子高級中學、國立高雄師範大學附屬高級中學、國立嘉義女子高級中學、國立科學工業園區實驗高級中學、高雄市立高雄女子高級中學、國立竹北高級中學、國立宜蘭高級中學、臺北市立麗山高級中學、國立花蓮女子高級中學、國立馬公高級中學、臺北市立成功高級中學、國立新竹高級商業職業學校、國立秀水高級工業職業學校、國立鳳山高級中學、高雄市立路竹高級中學、國立馬祖高級

中學、臺北市立第一女子高級中學、國立板橋高級中學、國立新豐高級中學、國立嘉義高級中學、國立新莊高級中學、國立武陵高級中學、國立大甲高級工業職業學校、國立屏東高級中學、國立臺中第一高級中學、國立華南高級商業職業學校、嘉義市私立興華高級中學、臺北市立南港高級工業職業學校、高雄市立中正高級工業職業學校、國立苗栗高級農工職業學校、國立岡山高級農業工業職業學校、國立東勢高級工業職業學校、國立民雄高級農工職業學校、國立羅東高級工業職業學校、國立新竹高級工業職業學校、國立蘇澳高級海事水產職業學校、國立西螺高級農業工業職業學校、國立龍潭高級農工職業學校、國立員林高級農工職業學校、臺北市立松山高級農工職業學校、國立員林崇實高級工業職業學校、國立瑞芳高級工業職業學校、國立彰化師範大學附屬高級工業職業學校、國立草屯高級商工職業學校、國立臺南高級工業職業學校、高雄市立高雄高級工業職業學校

副本：本館總務組、本館會計室、本館實驗組

2011-08-09
10:38:02

科展作品說明書

中華民國第 51 屆中小學科學展覽會 作品說明書

科 別：物 理 科

組 別：國 小 組

作品名稱：問水哪得高如許？為有熱源伴水來！

- 『深究蠟燭悶熄後水位上升之突破與創新』

關 鍵 詞：熱脹冷縮、模擬蠟燭燃燒、影響力

編 號：

問水哪得高如許？為有熱源伴水來

『深究蠟燭悶熄後水位上升之突破與創新』

摘要

一、我們的突破：

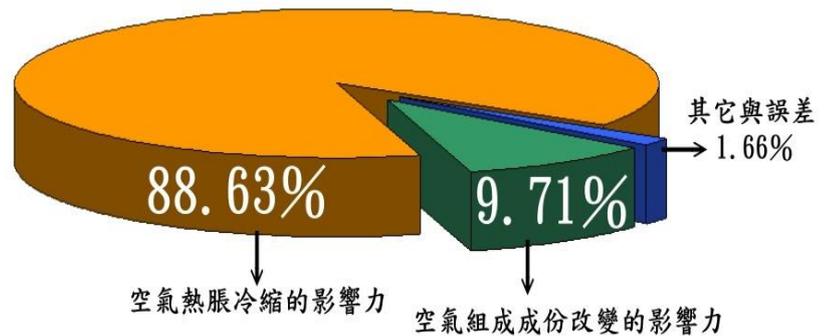
將過去僅以文字陳述「悶熄蠟燭後，空氣熱脹冷縮為水位上升的決定性因素」數據化。即是分別模擬出蠟燭燃燒的兩種現象：空氣加熱、空氣組成成份改變，再將實驗數據整理之後，提出創新的水位-溫度直尺圖、立體圓形圖來闡述兩者對水位爬升影響的具體數據來。

二、我們的創新：



水位-溫度直尺圖

空氣熱脹冷縮和空氣組成成份改變 VS 水位影響關係圖



立體圓形圖

壹：研究動機

我們從五六年級的課本找起以前做過的實驗，當我們回想起以前在做『蠟燭悶熄』實驗時，同學之間實驗出來的結果，水位上升的高度與所預期的”五分之一”差異挺大，那時已理解到氧氣僅佔空氣約五分之一。按照道理來說，實驗結果會和此數據不相上下，重複實驗數次後，發現水位上升的高度並不太符合，而且每次的高度亦截然不同，不過卻也因為老師當時沒有注意到此一奇特現象，就匆匆帶過而結束，我們也沒有發揮精益求精的精神，所以現在便藉由此次機會，動手設計實驗，期盼藉由實驗結果，與老師討論再綜合整理，以解決存留在我們心中的大疑團。

貳：研究目的

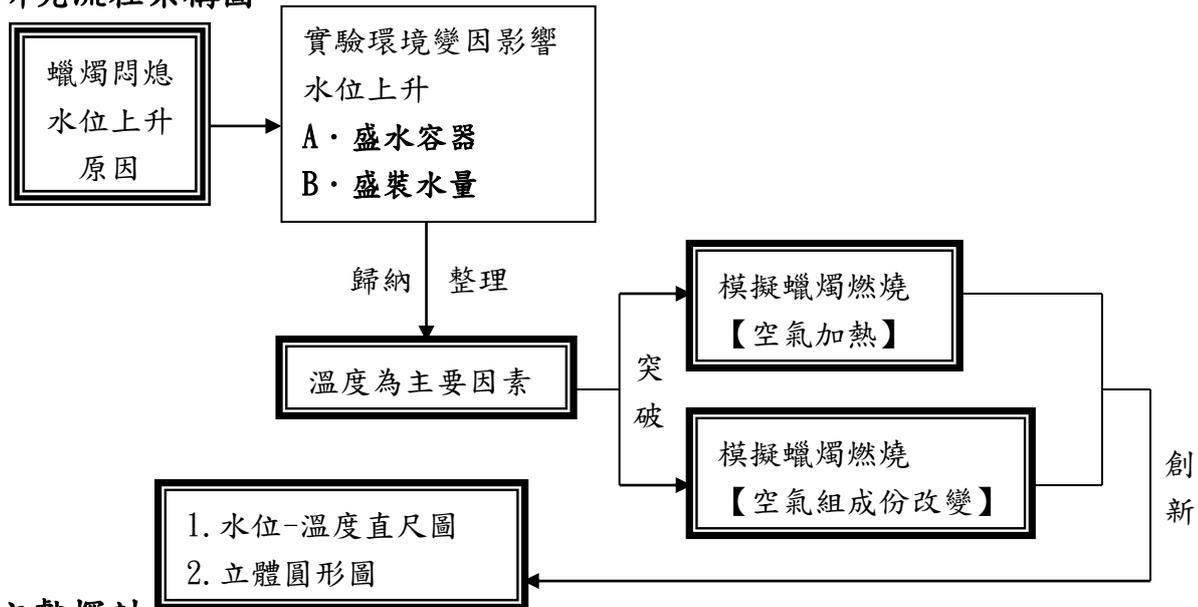
- 一、探討分析由實驗環境變因影響水位上升的變化
- 二、探討分析由溫度因素影響水位上升的變化
- 三、探討分析由空氣組成改變影響水位上升的變化
- 四、綜合歸納整理找出水位上升的關係圖

參：研究設備和材料



蠟燭	1000 cc燒杯 (實際體積為 1400 cc)	溫度計	圓筒式盛水容器 (實際體積為 3200 cc)
			
中型盛水容器 (實際體積為 3300 cc)	大型盛水容器 (實際體積為 8000 cc)	8801K 型熱電偶溫度計	特製蠟燭插置平臺 (詳見陸：研究過程和方法)
			
電湯匙	鋼棉	食用醋酸	

肆：研究流程架構圖



伍：文獻探討

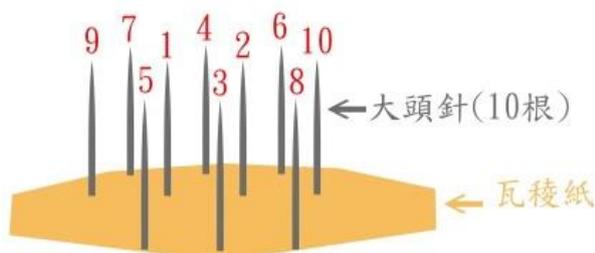
1. 林素霞等 (2002) 指出，火焰周圍空氣溫度會上升能影響到水位上升因素，即與空氣之熱脹冷縮有關，亦即瓶中空氣溫度越高，水位上升越高。

2. 陳榮祥等 (2002) 認為，悶熄蠟燭時水面上升的原因是因為熄火時溫度下降，「空氣熱脹冷縮的影響」，因此不能用一根蠟燭來說明氧氣占空氣含量 1/5 的概念，並在此實驗中，觀察到『蠟燭熄火前後溫度急劇降低才是水面急速上升的原因，氧氣消耗的量沒有影響。』

陸：研究過程和方法

為了要找出上述的疑問，依據研究目的設計實驗，並在實驗過程中發現到，蠟燭的擺放位置對影響水位上

升的因素有絕大關係，原先我們乃是用滴蠟油的方式來固定住蠟燭，但覺得此方式費時費力，後來改用黏土的方式固定蠟燭，但明明是同樣數量的蠟燭在燃燒，卻造成因為每次蠟燭位置不同，水位的高度也會有所不同，我們想要把這項誤差除掉，因此想出一個可以立即且又能每次都擺放在相同位置的特製蠟燭插置平臺。其設計和插放蠟燭方式如下；【本實驗蠟燭以此插放順序固定擺設之】



特製蠟燭插置平臺

★數字為插放蠟燭的固定位置

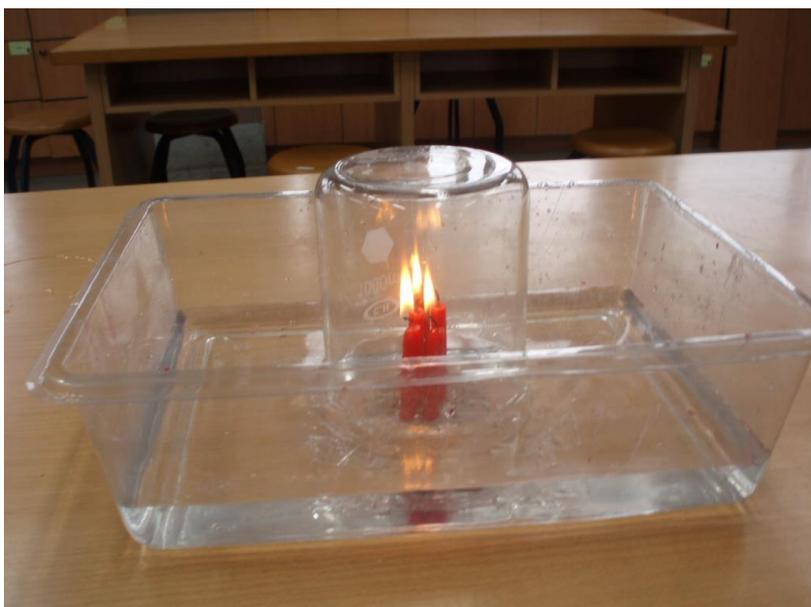
此平臺如研究設備與材料之實圖

研究過程一：實驗環境變因影響水位上升的程度

研究方法（一）：以大型盛水容器內所盛裝水的體積為操縱變因

【實驗一】實驗方法與裝置：

1. 使用大型盛水容器盛水 2000 cc，水溫為 17℃
2. 蠟燭根數由 1 根做到 10 根
3. 蠟燭長度統一為 7 公分，直徑 1 公分，燭心長度 0.4-0.6 公分
4. 悶熄蠟燭的燒杯選擇用 1000 cc 的容器（實際體積為 1400 cc）
5. 測量水位上升的體積，以紅筆標示後，利用總體積扣除標示的高度得到水位上升體積（且實驗三次取平均值做為實驗數據）

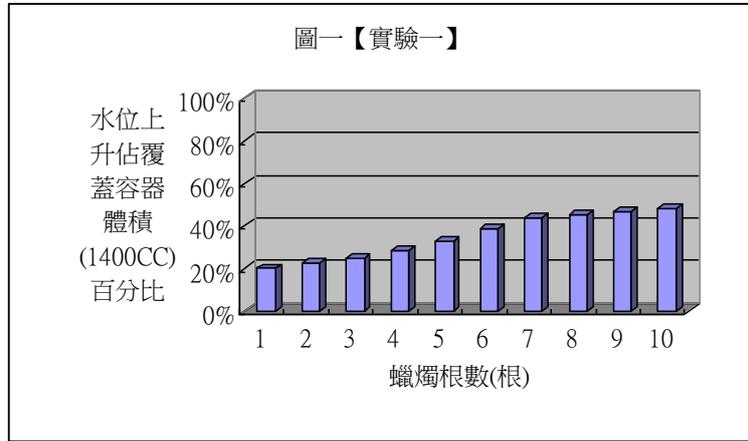


實驗結果：

	1根 蠟燭	2根 蠟燭	3根 蠟燭	4根 蠟燭	5根 蠟燭	6根 蠟燭	7根 蠟燭	8根 蠟燭	9根 蠟燭	10根 蠟燭
平均上升水位體積 (cc)	280	320	350	400	460	540	610	630	650	670
平均上升水位體積 容器總體積(1400 cc)	20%	22.8 %	25%	28.6 %	32.8 %	38.6 %	43.6 %	45%	46.4 %	47.9 %

發現：

1. 由結果發現，蠟燭根數確實和水位上升高度有所關係，根數越多水位上升越大。
2. 水位上升在4-7根時爬升最快。
3. 水位爬升至48%附近時，已趨於緩慢。



升越大。

慢。

溫為 17°C

【實驗二】實驗方法與裝置：

1. 使用大型盛水容器盛水 1000 cc，水
2. 蠟燭根數由 1 根做到 10 根
3. 蠟燭長度統一為 7 公分，直徑 1 公分，燭心長度 0.4-0.6 公分
4. 悶熄蠟燭的燒杯選擇用 1000 cc 的容器（實際體積為 1400 cc）
5. 測量水位上升的體積，以紅筆標示後，利用總體積扣除標示的高度得到水位上升體積（且實驗三次取平均值做為實驗數據）



實驗結果：

	1根 蠟燭	2根 蠟燭	3根 蠟燭	4根 蠟燭	5根 蠟燭	6根 蠟燭	7根 蠟燭	8根 蠟燭	9根 蠟燭	10根 蠟燭
平均上升水位體積 (cc)	270	320	370	440	470	540	560	610	650	690
平均上升水位體積 容器總體積(1400 cc)	19.3 %	22.9 %	26.4 %	31.4 %	33.6 %	38.6 %	40%	43.6 %	46.4 %	49.3 %

發現：

1. 由結果發現，蠟燭根數亦確實和水位有所關係，根數越多水位上升越大。
2. 水位爬升幅度緩慢增加，平均每增加就爬升 3-5 百分點，並無較急遽增加之

《比較與判斷》

*比較：

由實驗一和實驗二的實驗設置方較，兩者差別僅在大型盛水容器所盛不同，但實驗結果顯示水位上升曲線大，可由右側圖三得知。

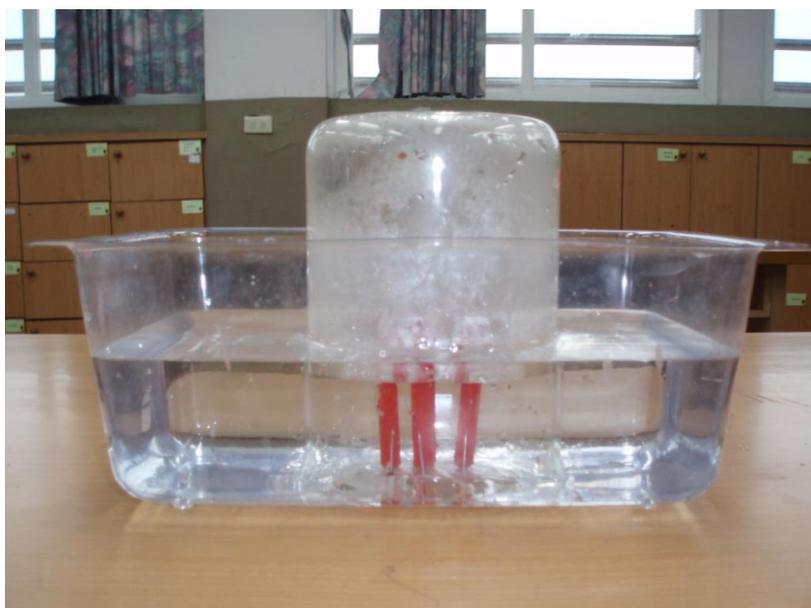
*判斷：

在水量足夠吸取而能完全爬升之盛水容器所盛裝之水量多寡無法大量高低，推估兩曲線之差異可視為誤差

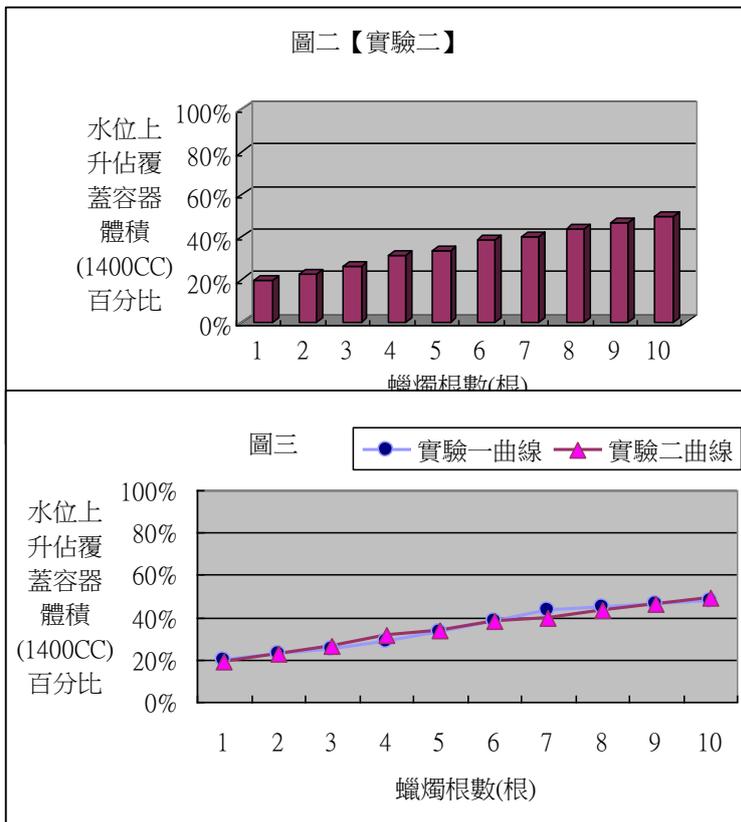
研究方法（二）：以中型盛水容器內所盛裝水的體積為操縱變因

【實驗三】實驗方法與裝置：

1. 使用中型盛水容器盛水 2000 cc，水溫為 17°C
2. 蠟燭根數由 1 根做到 10 根
3. 蠟燭長度統一為 7 公分，直徑 1 公分，燭心長度 0.4-0.6 公分
4. 悶熄蠟燭的燒杯選擇用 1000 cc 的容器（實際體積為 1400 cc）
5. 測量水位上升的體積，以紅筆標示後，利用總體積扣除標示的高度得到水位上升體積（且實驗三次取平均值做為實驗數據）



實驗結果：



上升高度

一根蠟燭部分。

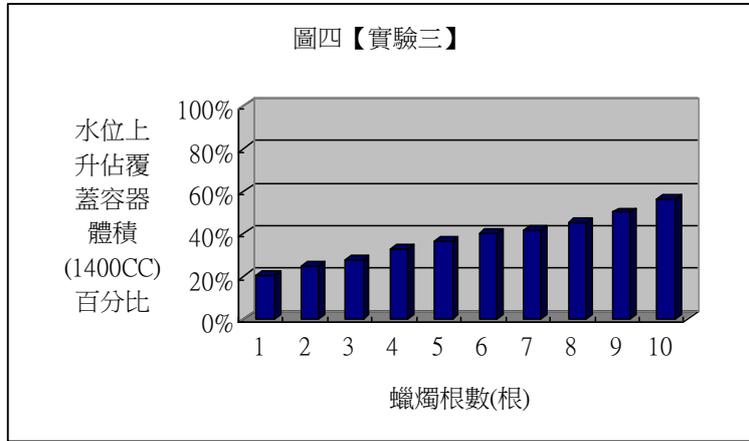
式做比裝之水量差異性不

狀況下，影響水位值。

	1 根 蠟燭	2 根 蠟燭	3 根 蠟燭	4 根 蠟燭	5 根 蠟燭	6 根 蠟燭	7 根 蠟燭	8 根 蠟燭	9 根 蠟燭	10 根 蠟燭
平均上升水位體積 (cc)	290	350	390	460	510	560	580	630	700	790
平均上升水位體積 容器總體積(1400 cc) %	20.7 %	25% %	27.8 %	32.8 %	36.4 %	40% %	41.4 %	45% %	50% %	56.4 %

發現：

1. 由結果發現，蠟燭根數亦確實和水位有所關係，根數越多水位上升越大。
 2. 水位爬升幅度緩慢增加，並無特別急
 3. 平均每增加一根蠟燭就爬升 3-5 百
- 驗二結果雷同。



上升高度
增者。
分點，與實
溫為 17°C

【實驗四】實驗方法與裝置：

1. 使用中型盛水容器盛水 1000 cc，水
2. 蠟燭根數由 1 根做到 10 根
3. 蠟燭長度統一為 7 公分，直徑 1 公分，燭心長度 0.4-0.6 公分
4. 悶熄蠟燭的燒杯選擇用 1000 cc 的容器（實際體積為 1400 cc）
5. 測量水位上升的體積，以紅筆標示後，利用總體積扣除標示的高度得到水位上升體積（且實驗三次取平均值做為實驗數據）

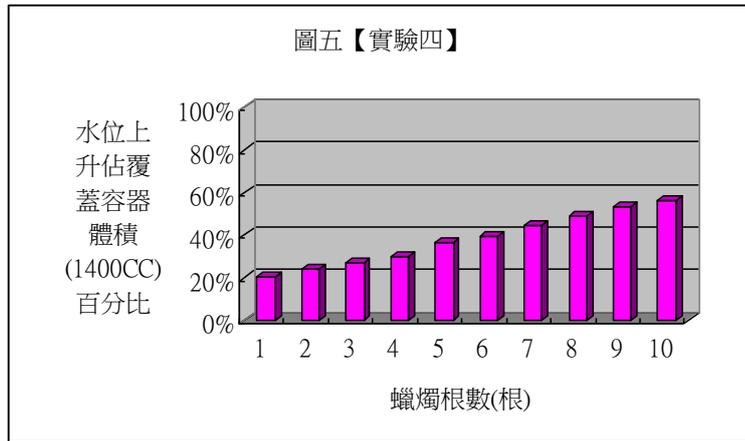


實驗結果：

	1 根 蠟燭	2 根 蠟燭	3 根 蠟燭	4 根 蠟燭	5 根 蠟燭	6 根 蠟燭	7 根 蠟燭	8 根 蠟燭	9 根 蠟燭	10 根 蠟燭
平均上升水位體積 (cc)	290	340	380	420	510	550	620	680	750	790
平均上升水位體積 容器總體積(1400 cc) %	20.7 %	24.3 %	27.1 %	30% %	36.4 %	39.3 %	44.3 %	48.6 %	53.6 %	56.4 %

發現：

1. 由結果發現，蠟燭根數亦確實和有所關係，根數越多水位上升越大。
2. 水位爬升幅度緩慢增加，尤其以多。



水位上升高度
五根時爬升最

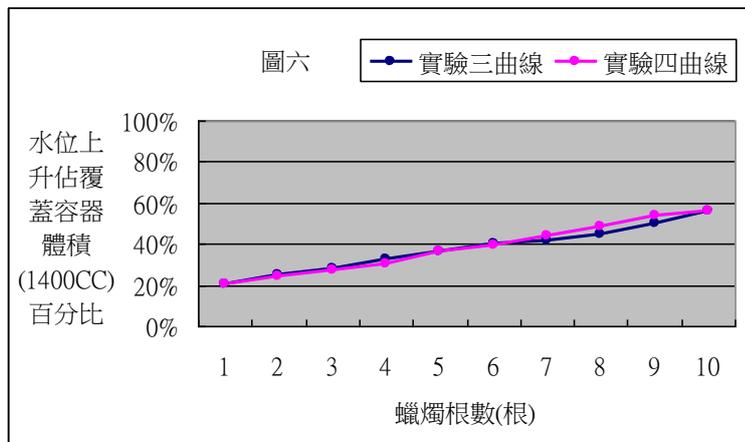
《比較與判斷》

*比較：

由實驗三和實驗四的實驗設置較，兩者差別僅在中型盛水容器所不同，但實驗結果顯示水位上升曲大，可由右側圖六得知。

*判斷：

在水量足夠吸取而能完全爬升水容器所盛裝之水量多寡無法大高低，推估兩曲線之差異可視為誤



方式做比
盛裝之水量
線差異性不

之狀況下，盛
量影響水位
差值。

研究方法（三）：以圓筒型盛水容器內所盛裝水的體積為操縱變因

【實驗五】實驗方法與裝置：

1. 使用圓筒型盛水容器盛水 2000 cc，水溫為 17°C
2. 蠟燭根數由 1 根做到 10 根
3. 蠟燭長度統一為 7 公分，直徑 1 公分，燭心長度 0.4-0.6 公分
4. 悶熄蠟燭的燒杯選擇用 1000 cc 的容器（實際體積為 1400 cc）
5. 測量水位上升的體積，以紅筆標示後，利用總體積扣除標示的高度得到水位上升體積（且實驗三次取平均值做為實驗數據）

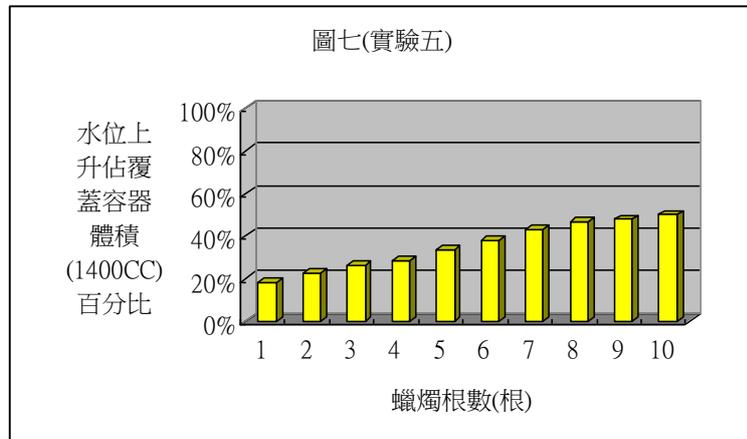


實驗結果：

	1根 蠟燭	2根 蠟燭	3根 蠟燭	4根 蠟燭	5根 蠟燭	6根 蠟燭	7根 蠟燭	8根 蠟燭	9根 蠟燭	10根 蠟燭
平均上升水位體積 (cc)	250	320	370	400	470	530	600	650	670	700
平均上升水位體積 容器總體積(1400 cc) %	17.9 %	22.9 %	26.4 %	28.6 %	33.6 %	37.9 %	42.8 %	46.4 %	47.8 %	50%

發現：

1. 由結果發現，蠟燭根數亦確實和水有所關係，根數越多水位上升越大。
2. 水位爬升幅度在 5-7 根時最急遽，3-5% 上升。



位上升高度
餘者多以

【實驗六】實驗方法與裝置：

1. 使用圓筒型盛水容器盛水 1000 cc，水溫為 17°C
2. 蠟燭根數由 1 根做到 10 根
3. 蠟燭長度統一為 7 公分，直徑 1 公分，燭心長度 0.4-0.6 公分
4. 悶熄蠟燭的燒杯選擇用 1000 cc 的容器（實際體積為 1400 cc）
5. 測量水位上升的體積，以紅筆標示後，利用總體積扣除標示的高度得到水位上升體積（且實驗三次取平均值做為實驗數據）

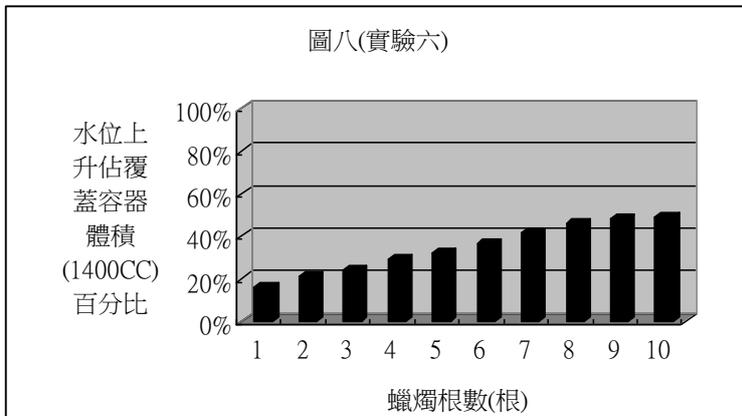


實驗結果：

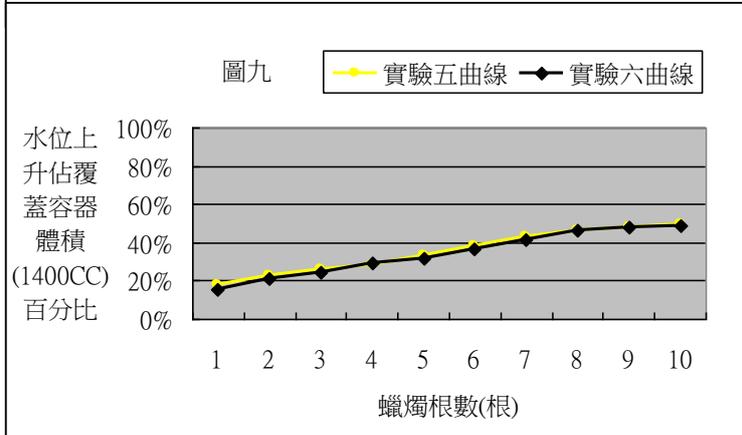
	1根 蠟燭	2根 蠟燭	3根 蠟燭	4根 蠟燭	5根 蠟燭	6根 蠟燭	7根 蠟燭	8根 蠟燭	9根 蠟燭	10根 蠟燭
平均上升水位體積 (cc)	220	300	340	410	450	510	580	650	670	680
平均上升水位體積 容器總體積(1400 cc) %	15.7	21.4	24.3	29.2	32.1	36.4	41.4	46.2	47.9	48.6

發現：

1. 由結果發現，蠟燭根數亦確實和水位有所關係，根數越多水位上升越大。
2. 水位爬升幅度緩慢增加，平均每增加就爬升 3-5 百分點，並無較急遽增加之



上升高度
一根蠟燭
部分。



比較，兩
水量不
異性不
狀況下，
影響水位

《比較與判斷》

***比較：**

由實驗五和實驗六的實驗設置方式做者差別僅在圓筒型盛水容器所盛裝之不同，但實驗結果顯示水位上升曲線差大，可由右側圖九得知。

***判斷：**

在水量足夠吸取而能完全爬升之盛水容器所盛裝之水量多寡無法大量高低，推估兩曲線之差異可視為誤差值。

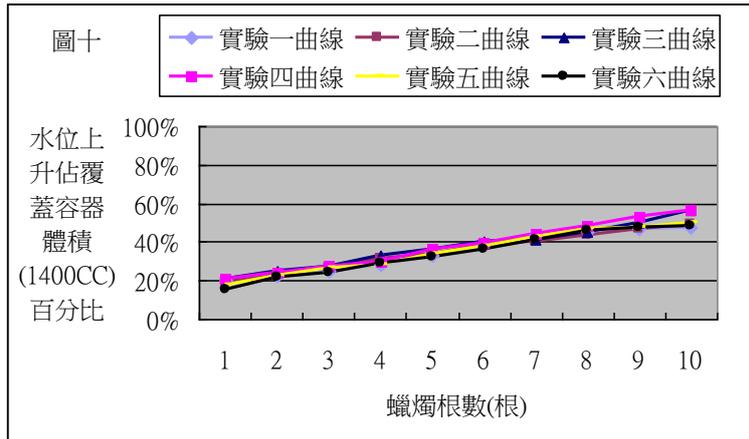
《歸納》

由右側圖十(即綜合圖三和圖六和圖理出下列發現：

1. 在其他條件皆穩當控制住的情況以盛水容器大小為操縱變因，或是以內所盛裝水量多寡為操縱變因皆無法水位上升，六條曲線之差異可視為誤致。

2. 曲線爬升的幅度沒有突然的上形，以此推估會造成水位上升

差別乃在燒杯內空氣溫度之高低，於是著手進行有關溫度變因影響水位上升之實驗。



九)可整

下，無論盛水容器大量影響差所導

升情

研究過程二：實驗溫度因素影響水位上升的程度

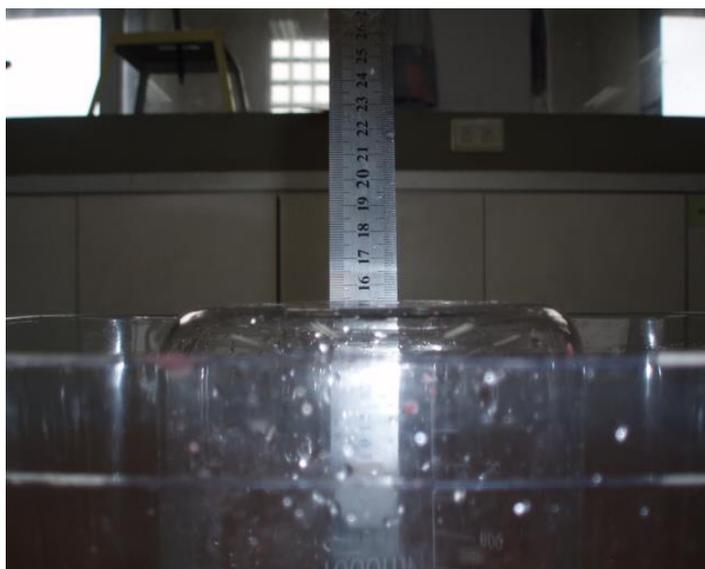
研究方法 (一)：探測蠟燭上方燃燒溫度的情形

我們仔細想想在悶熄蠟燭的實驗當中，蠟燭罩在 1000 cc 的燒杯裡 (實際體積為 1400 cc)，在燃燒的過程當中，因為罩杯內空氣受到加熱，而使空氣產生熱脹冷縮的效果，當蠟燭熄滅的同時，即是水位飆升的同時，因此我們非常好奇，設計一系列有關溫度變因的實驗，希望能夠釐清水位上升的現象。

首先，先測量燭火溫度為多少，可幫助罩杯內空氣加熱到多少？

【實驗七】實驗方法與裝置：

1. 將 1-10 根蠟燭分別按照固定位置的順序插在特製的平臺上，並在上方蓋上 1000 cc 的燒杯，如下圖，且在後方貼上鐵尺
2. 經過測量結果，得知罩杯頂層高度為 15 公分後 (如下圖 1)，移開罩杯
3. 將 8801K 型熱電偶溫度計的探測偶置於 15 公分高處，開始測量



實驗結果：

	1 根 蠟燭	2 根 蠟燭	3 根 蠟燭	4 根 蠟燭	5 根 蠟燭	6 根 蠟燭	7 根 蠟燭	8 根 蠟燭	9 根 蠟燭	10 根 蠟燭
--	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	------------

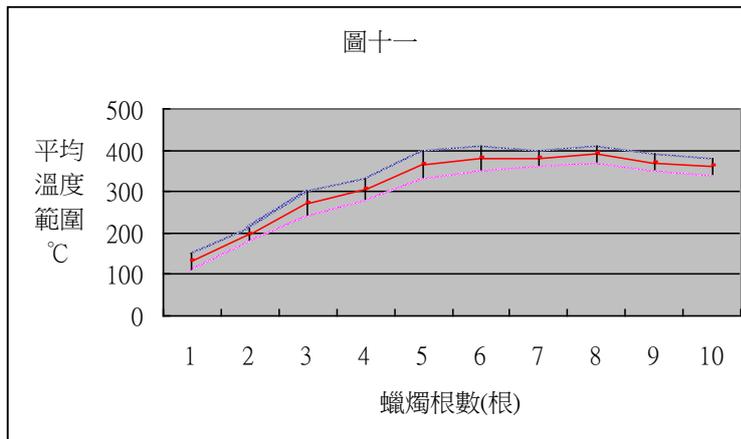
平均溫度範圍°C	110	180	240	280	330	350	360	370	350	340
	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
	150	210	300	330	400	410	400	410	390	380

發現：

1. 我們發現一個非常有趣的現期燭火溫度是一直往上增加的，但沒蠟燭和 10 根蠟燭的溫度並非這樣的結果顯示在 8 根蠟燭時溫度範圍最度範圍為最低。

2. 由於燭火燃燒非常不穩定，火焰位動，甚至其形狀大小都會改變，所以能選取一個最常出現的範圍，加以紀

3. 在此測量過程中也發現，只要蠟燭溫度跳動的範圍會越小。亦即，測量根數比較少的蠟燭時，溫度差常會超過 120°C 以上，此一現象尤以 1 根蠟燭最為明顯，相反的，測量根數比較多的蠟燭，其溫度跳動範圍可以少至 30°C 左右。



象，原先預想到在 9 根結果，實驗高，1 根溫

置常會飄溫度測量只錄之。

根數越高，

《歸納》：

因為蠟燭是平均插在特製的平臺上，黏有探測偶的受測位置乃在這些燭火上方 15 公分的中心點，所以在蠟燭根數越多的情況下燃燒，空氣受熱程度較均勻，溫度跳動範圍才會越來越小。至於 9 根和 10 根蠟燭其溫度範圍反而下降，推測是因為擺放位置比 8 根蠟燭還要鬆散，加熱程度受此影響，而使得所測得的平均溫度範圍反而沒有 8 根蠟燭來得高。

研究方法（二）：測量燭火熄滅瞬間溫度降為多少

我們的想法：

* 既然瞭解到空氣受蠟燭燃燒後會溫度會上升，但在燭火熄滅的同時，空氣溫度下降幅度有多少？如果能得知此一訊息，預期能對水位上升有更客觀的數據能瞭解。

* 再者，從文獻探討的資料中查到，林素霞等（2002）、陳榮祥等（2002）皆認為燒杯內空氣溫度的變化情形乃是此實驗的關鍵因素，決定水位上升的影響性原因，本組努力思考該如何突破這項關卡。

我們的策略：

* 在實驗過程中，**突破點** 臨時購買一支 8801K 型熱電偶溫度計（溫度監測範圍可從 -50°C 至 1300°C），利用此一裝置和巧妙構思準確探測到燒杯內空氣溫度變化情形。

【實驗八】實驗方法與裝置：

1. 利用膠帶和雙面膠將 1000 cc 燒杯內要受測的五個點黏著在上面，如下圖
2. 使用大型盛水容器盛水 1000 cc，水溫為 17°C
3. 蠟燭根數由 1 根做到 10 根
4. 蠟燭長度統一為 7 公分，直徑 1 公分，燭心長度 0.4-0.6 公分
5. 測量水位上升的體積，以紅筆標示後，利用總體積扣除標示的高度得到水位上升體積
6. 紀錄溫度變化範圍（從燭火燃燒開始監測，上限是溫度最高點，下限是燭火熄滅 20 秒後的溫度）



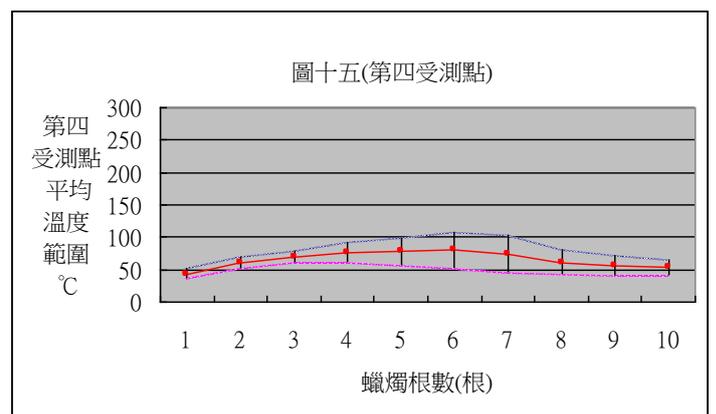
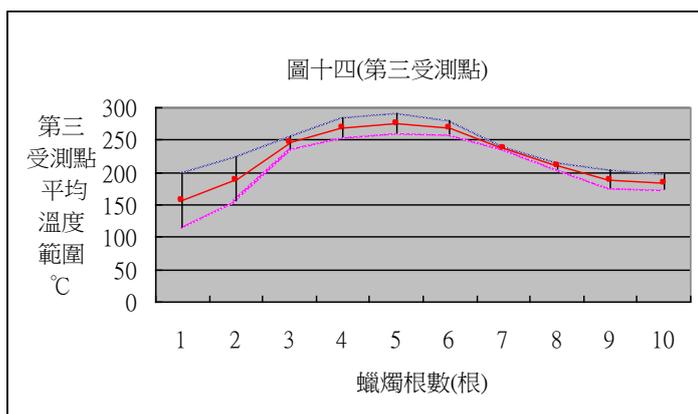
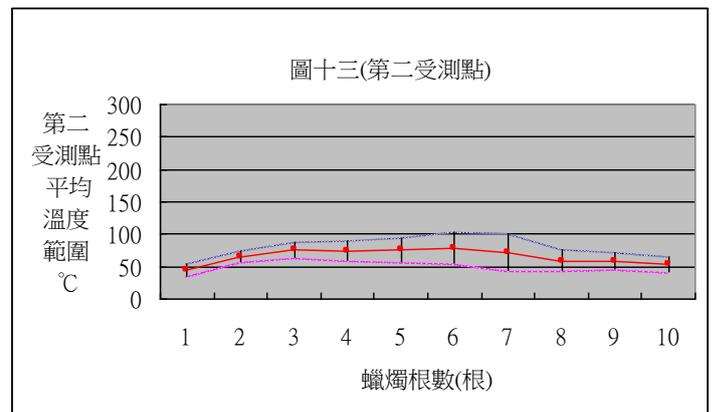
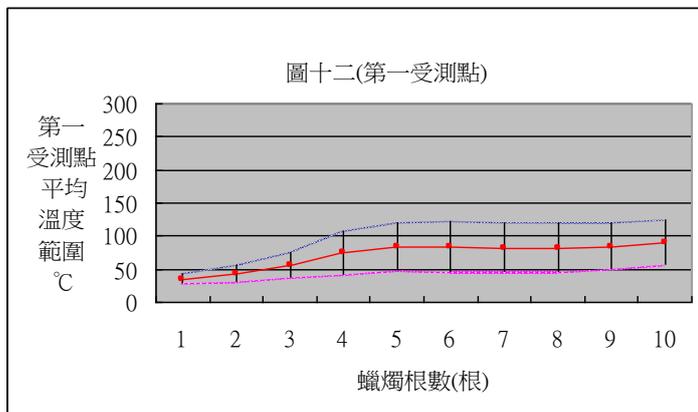
- * 第一受測點和第五受測點高度為 13 公分（從杯底至黏著點中央計算），分別設置在互相面對的位置。
- * 第二受測點和第四受測點高度為 16 公分（從杯底至杯頂計算），分別設置在互相面對的位置。
- * 第三受測點即為燭火正上方，高度亦為 16 公分（從杯底至杯頂計算）。
- * 設置完成後，使第一至第五受測點為同一平面上的五個點，以準確測得燒杯內溫度變化情形，而正確判斷與水位上升的關係。

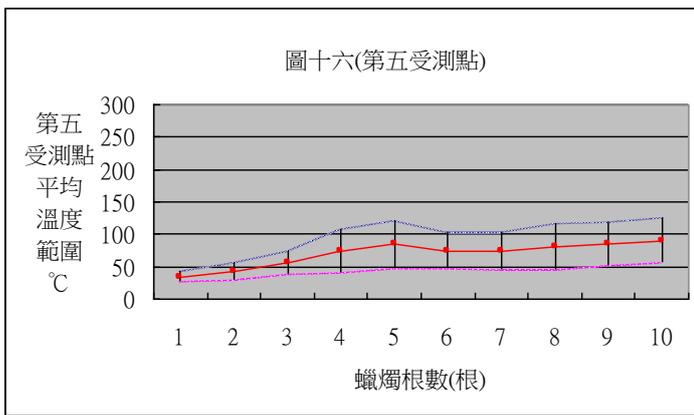
實驗結果：

	1 根 蠟燭	2 根 蠟燭	3 根 蠟燭	4 根 蠟燭	5 根 蠟燭	6 根 蠟燭	7 根 蠟燭	8 根 蠟燭	9 根 蠟燭	10 根 蠟燭
第一受測點 平均溫度範圍℃	42 S 27	56 S 29	75 S 37	107 S 41	121 S 47	122 S 46	119 S 44	117 S 44	120 S 49	125 S 56
平均上升水位體積 (cc)	250	330	350	410	500	570	600	620	670	700
平均上升水位體積 容器總體積(1400 cc)	17.9 %	23.6 %	25.0 %	29.3 %	35.7 %	40.7 %	42.8 %	44.3 %	47.9 %	50.0 %
第二受測點 平均溫度範圍℃	54 S 34	73 S 56	88 S 63	90 S 59	95 S 56	104 S 54	100 S 42	76 S 42	71 S 45	66 S 41
平均上升水位體積 (cc)	270	310	390	440	540	600	620	640	660	700
平均上升水位體積 容器總體積(1400 cc)	19.2 %	22.1 %	27.8 %	31.4 %	38.6 %	42.8 %	44.3 %	45.7 %	47.1 %	50.0 %
第三受測點 平均溫度範圍℃	200 S 115	223 S 154	255 S 236	285 S 252	292 S 260	280 S 257	239 S 235	216 S 203	203 S 174	196 S 172
平均上升水位體積 (cc)	240	280	350	420	490	560	600	620	650	710
平均上升水位體積 容器總體積(1400 cc)	17.1 %	20.0 %	25.0 %	30.0 %	35.0 %	40.0 %	42.8 %	44.3 %	46.4 %	50.7 %
第四受測點	51	69	79	92	99	108	102	80	72	65

平均溫度範圍 $^{\circ}\text{C}$	S 36	S 52	S 61	S 60	S 56	S 51	S 44	S 43	S 40	S 41
平均上升水位體積 (cc)	250	320	400	430	510	580	620	650	670	690
平均上升水位體積 容器總體積(1400 cc)	17.8 %	22.8 %	28.5 %	30.7 %	36.4 %	41.4 %	44.3 %	46.4 %	47.8 %	49.3 %
第五受測點 平均溫度範圍 $^{\circ}\text{C}$	42 S 27	56 S 29	75 S 37	107 S 41	121 S 47	102 S 46	104 S 44	117 S 44	119 S 51	125 S 56
平均上升水位體積 (cc)	270	320	370	450	520	590	630	670	680	720
平均上升水位體積 容器總體積(1400 cc)	19.3 %	22.9 %	26.4 %	32.1 %	37.1 %	42.1 %	45.0 %	47.8 %	48.6 %	51.4 %

* 各受測點溫度範圍及該點平均溫度畫製如下表





發現：

1. 第一受測點和第五受測點在起初的溫度範圍較小，約從3根蠟燭或是4根蠟燭之後，其溫度範圍就可以廣達50°C以上，而且兩者溫度變化極為類似。
2. 第二受測點和第四受測點在起初及末端的溫度範圍較小，而中間階段(4根蠟燭至7根蠟燭)為溫度範圍最大的時刻，可以到50-60°C左右，兩者變化有相似之處。
3. 第三受測點則較為特殊，1根蠟燭和2根蠟燭的溫度變化反而較大(80-90°C之間)，從3根蠟燭之後其溫度變動漸趨縮小，尤其以7根蠟燭溫度最為相近(相差不到10°C)，剩下的也在20-30°C之間。

《比較與判斷》

*比較：

1. 第一受測點和第五受測點前半段(1根蠟燭至4根蠟燭)皆可屬於溫度在爬升階段，後半段(5根蠟燭至10根蠟燭)溫度則維持在某一區間緩慢爬升。
2. 第二受測點和第四受測點在中間階段(4根蠟燭至7根蠟燭)溫度最高，並順勢往兩旁掉落，與第一和第五受測點不同。
3. 第三受測點其溫度曲線也和第二受測點或第四受測點雷同，在中間階段(4根蠟燭至7根蠟燭)溫度最高，兩旁溫度順勢減低，也與第一和第五受測點不同。

*判斷：

1. 第一受測點和第五受測點其溫度變化情形如圖十二和圖十六所示，推估在蠟燭數量少時(1、2、3根)，因為燭火加熱杯內空氣時間不久，無法到達溫度曲線的較高區域。
2. 第一受測點和第五受測點隨著蠟燭根數提高，溫度變動範圍亦隨著提高，推估此乃因為燃燒中的燭火亦隨著所燒蠟燭的數量提高而增加杯內空氣的熱度，又受到燭火燃燒為不穩定的現象，平均溫度範圍也隨之拉長。
3. 第二受測點和第四受測點其溫度變化情形如圖十三和圖十五所示，考量到兩受測點的位置，所以在中間階段(4根蠟燭至7根蠟燭)時，因為燭火燃燒達到一定時間，使得受測點附近的空氣也受到燃燒而提升溫度，但在後面階段(8根蠟燭至10根蠟燭)，因為蠟燭根數太多，以致於二氧化碳產生太快，燭火一下子依依熄滅，所加熱的空氣還沒到達受測點的位置就已停止，所以此一階段溫度不會比第一受測點和第五受測點來得高，是故其平均溫度範圍亦隨之縮小。
4. 第三受測點其溫度變化情形如圖十四所示，因為其位置正處於蠟燭燃燒範圍的正中央，所以各階段位置溫度一定比其它受測點來得高。
5. 第三受測點從2根蠟燭之後其平均溫度範圍漸趨縮小，此乃因為隨著蠟燭根數提高，所提供的加熱程度會更穩定，以7根蠟燭為最小，而2根蠟燭之前，因燃燒不穩定，所以範圍會比較大。

《歸納》

在不同數量的蠟燭燃燒情況下，空氣受熱程度亦不同，且根據受測點位置不同，所加熱的程度也隨之變化；(對溫度曲線的解釋)

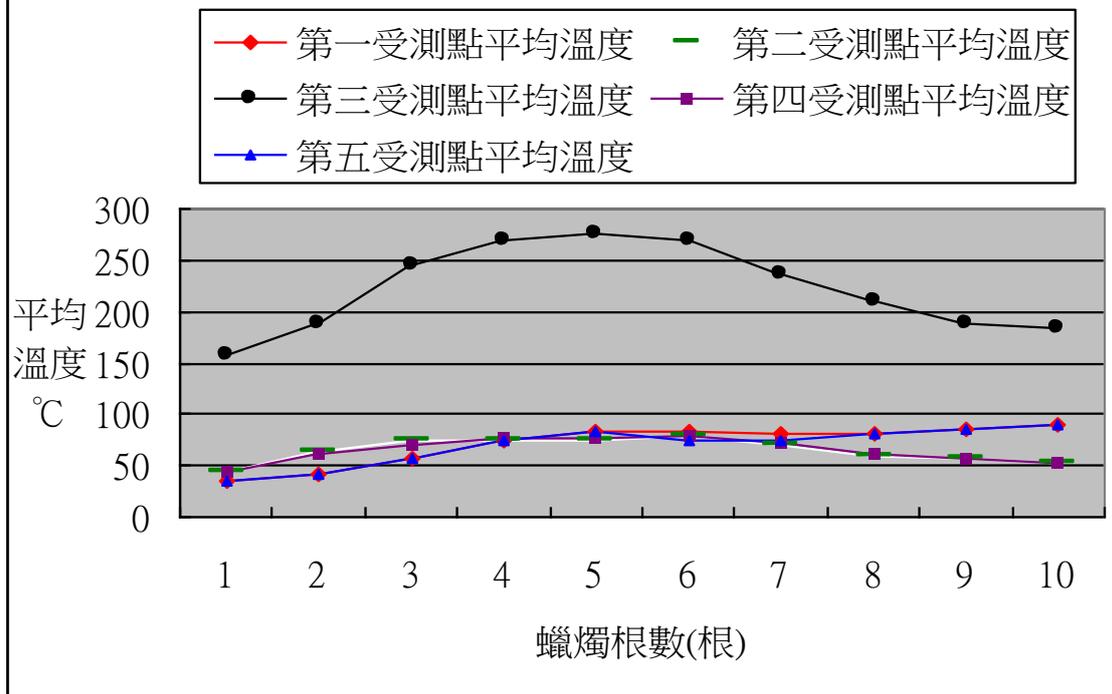
第三受測點	第一受測點和第五受測點	第二受測點和第四受測點
位置剛好在燭火燃燒範圍的正中央，即使高度較高，但是正面接受到蠟燭的燭火，所以受熱程度最大。	位置雖較偏遠，但因高度較低，能較接近蠟燭的燭火，所以受熱程度次之。	位置最為偏遠，且高度較高而遠離蠟燭的燭火，所以受熱程度最小。

另外也因為不同數量的蠟燭在同一空間燃燒之下，燭火持續的時間有所不同，配合不同的空間位置，其該點的平均溫度範圍亦有所不同；(對平均溫度範圍的解釋)

第三受測點	第一受測點和第五受測點	第二受測點和第四受測點
因為受測位置在燭火正上方，能夠瞬間接受到空氣加熱的效果最大。若是蠟燭根數少，則平均溫度範圍大，因為加熱程度小且降溫程度也較快；若是蠟燭根數多，則平均溫度範圍小，乃因為加熱程度大且降溫程度較慢，綜合上述原因，結果如上表圖十四。	考量到受測位置的關係(偏遠但高度低)，所以接受到空氣加熱的效果是次之。若是蠟燭根數少，則平均溫度範圍小，因為加熱程度小且降溫程度也較快；若是蠟燭根數多，則平均溫度範圍大，乃因為加熱程度大且降溫程度快，主因是位置較遠離熱源，所以容易有降溫的現象，綜合上述原因，結果如上表圖十二和圖十六。	考量到受測位置的關係(偏遠且高度高)，所以接受到空氣加熱的效果是最小。若是在蠟燭根數少的情況，則平均溫度範圍小，因為加熱程度小且降溫程度也較快；若是蠟燭根數多，則平均溫度範圍會從大範圍至小範圍。此乃因為加熱程度不同但降溫程度皆較快的影響，(燃燒根數越多越快熄滅，所以加熱程度不明顯，燃燒根數適量則相反)，綜合上述原因，結果如上表圖十三和圖十五。

※現在獨立將五個受測點的平均溫度範圍計算出其平均溫度畫製成下表

圖十七(五個受測點的平均溫度)



《歸納發現》：

1. 平均溫度曲線可分為三部分：

(1) 第三受測點曲線獨立突出，此乃因為受測點位置處在燭火正上方之故，所以整體溫度最高，但末端又會往下滑落，因為蠟燭燃燒時間變短，所以無法到達更高點。

(2) 第一受測點和第五受測點幾乎重疊，曲線慢慢爬升，末端降幅不明顯，可歸因於受測點位置離熱源較近，受到降溫影響較小。

(3) 第二受測點和第四受測點亦幾乎重疊，起初曲線溫度較高，但在中間階段就到達最高點，末端隨即下滑。此因受測點位置離熱源最遠，所以容易使溫度產生快升快降的現象。

研究方法 (三)：置換蠟燭的加熱方式以準確獲知熱脹冷縮的影響程度

我們的想法：

* 在經過實驗八操作燃燒蠟燭的過程中，量測到燒杯內空氣溫度的具體數字，我們仔細想想，若假設以熱脹冷縮當作是燒杯內水位上升的主因，則可否找到一種實驗方式，讓杯內空氣溫度產生變化，卻沒有燃燒現象產生（即是空氣組成不受變化），從這種方式找出熱脹冷縮的影響程度？

我們的策略：

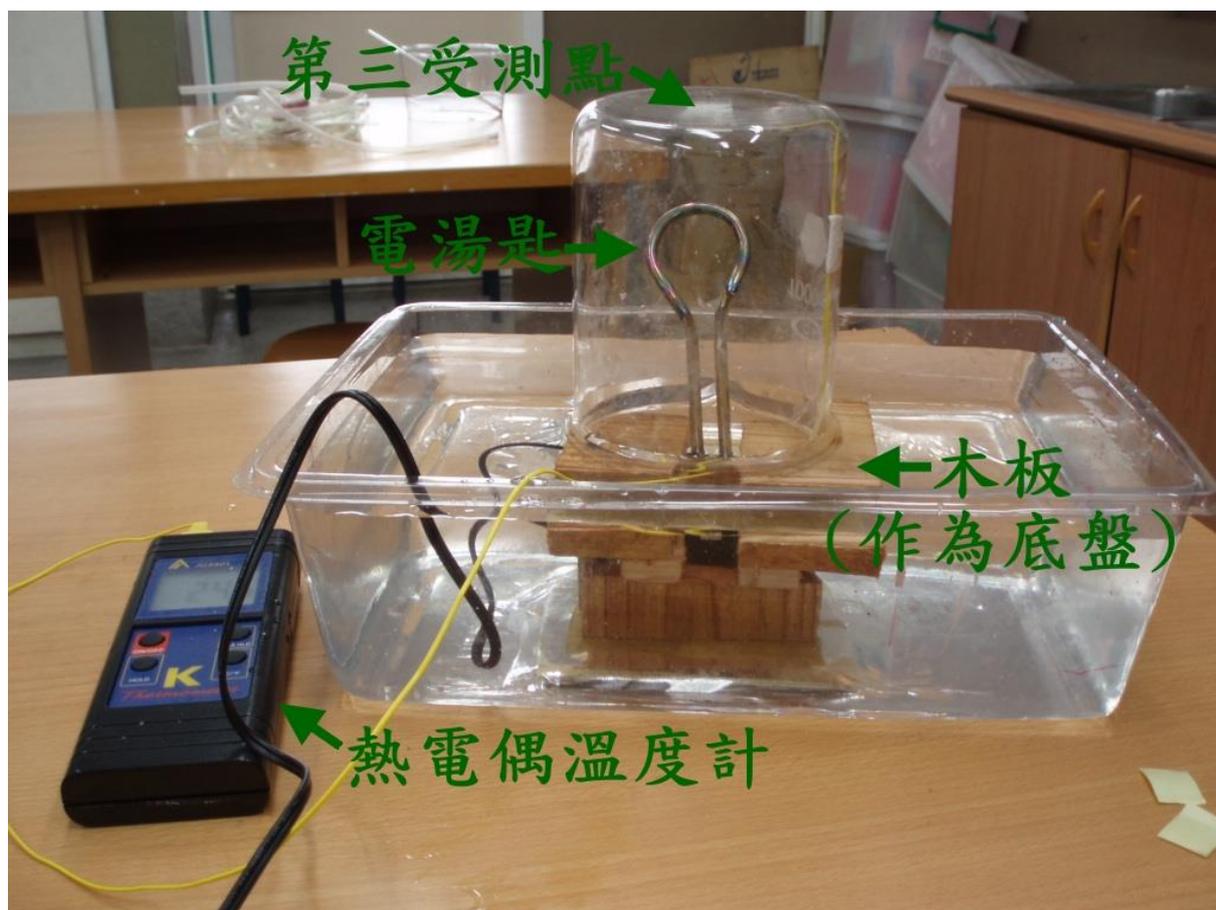
* 我們想了幾種方式來取替者，例如烤箱加熱、覆蓋熱抹布……等。不是溫度不到一定熱度，就是操作有困難。在發揮團隊集思廣益之下，終於找到一種代替方式，足夠達到我們的所需。

※本小組最後想到以電湯匙來替換蠟燭的燃燒，既可以将杯內空氣溫度飆升到近 300°C，也不會有像燃燒後產生二氧化碳的現象發生，此法可謂一舉兩得。

創新點

【實驗九】實驗方法與裝置：

1. 利用幾塊木板將電湯匙固定住以避免晃動且保持直立，木板可作為燒杯覆蓋的底盤（以此裝置模擬燭火加熱空氣的情況）
2. 使用大型盛水容器盛水 3000 cc，水溫為 17°C
3. 再加上實驗八的裝置，於第三受測點的地方黏上 8801K 型熱電偶溫度計的探測偶，如下圖所示
4. 將電湯匙接上電源，燒杯內空氣會被加熱至一定階段後，拔掉插頭，靜置使燒杯內溫度冷卻至室溫 17.6 °C
5. 紀錄熱電偶溫度計的數據，並測量水位上升的體積，以紅筆標示後，利用總體積扣除標示的高度得到水位上升體積



實驗結果：

	第三受測點 最高溫度	靜置至室溫 17.6°C 所需時間	水位上升體積	$\frac{\text{水位上升體積}}{\text{容器總體積}(1400 \text{ cc})}$
第一次	122.7°C	21 分	240 cc	17.1%
第二次	130.6°C	24 分	290 cc	20.7%
第三次	135.9°C	26 分	320 cc	22.8%
第四次	141.5°C	28 分	350 cc	25.0%
第五次	156.9°C	30 分	400 cc	28.6%

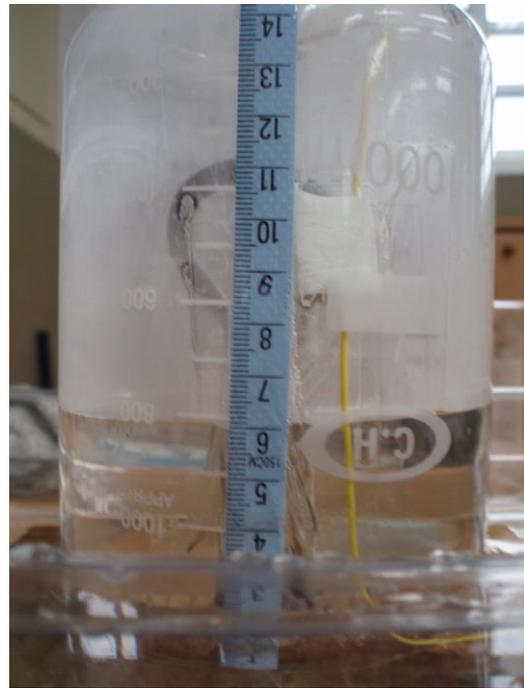
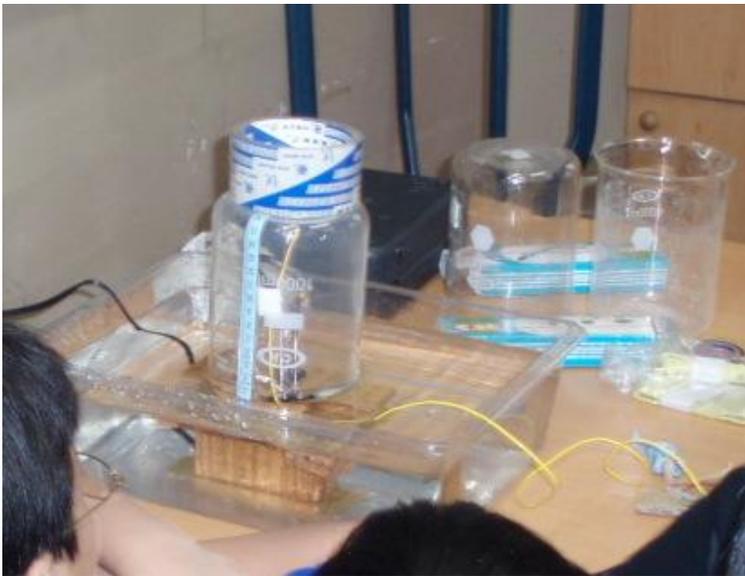
就在想做第六次實驗的同時，因為插頭來來回回數次，電湯匙突然壞掉了，我們因而無法繼續操作，便決定再去購買一枝新的電湯匙。於此同時，其中有一組員想到，可不可以找到一種方法，像尺一樣可以有刻度，以便加以顯示燒杯內空氣溫度和水位上升體積的關係。因此我們再次發揮團隊集思廣益的結果，終於

找出這樣的裝置，設計成下列實驗。

【實驗十】**實驗方法與裝置**：



1. 利用幾塊木板將電湯匙固定住以避免晃動且保持直立，木板可作為燒杯覆蓋的底盤（以此裝置模擬燭火加熱空氣的情況）
2. 使用大型盛水容器盛水 3000 cc，水溫為 17°C
3. 再加上實驗八的裝置，於第三受測點的地方黏上 8801K 型熱電偶溫度計的探測偶
4. 在燒杯外的刻度旁黏上布尺，以便比較出燒杯內空氣溫度和水位上升體積的關係，如下圖所示
5. 最後將電湯匙接上電源，緩緩加熱燒杯內空氣至【實驗八】的最高溫度 292°C 後，拔掉插頭，靜置使燒杯內溫度冷卻至室溫 17.6°C
6. 我們採取以下的記錄方式：每當水位上升 1 mm 時，馬上紀錄當下的溫度，一直到溫度為室溫 17.6°C 為止



實驗結果：(探測第三受測點最高溫度為 296°C)

* 經過換算結果，每增加 0.1 cm，體積就增加 8.75 cc，可由下列算式得知

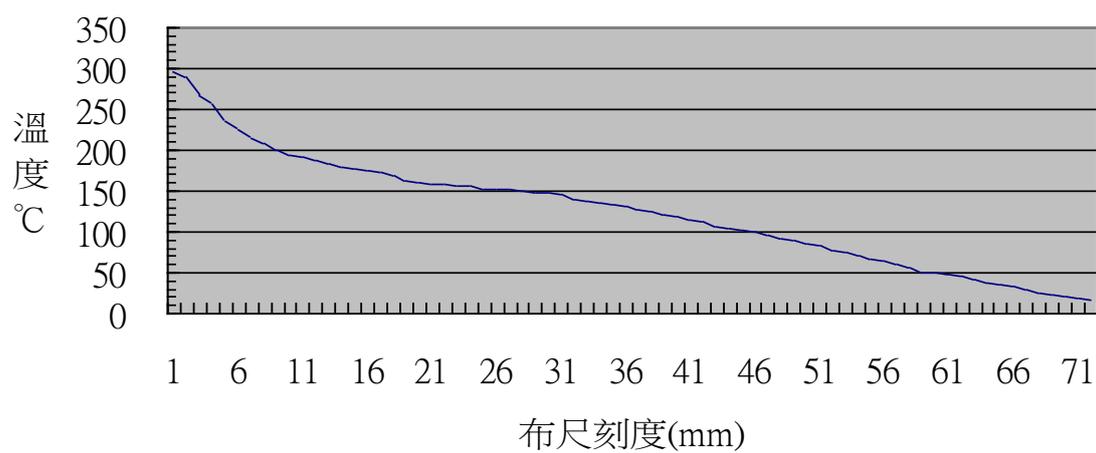
$$1400 \text{ cc (燒杯內實際體積)} \div 16 \text{ cm (燒杯總長度)} = 87.5 \text{ (cc/cm)} = 8.75 \text{ (cc/mm)}$$

布尺刻度 (cm)	溫度 (°C)	上升水位體積 (cc)	占燒杯內實際體積	布尺刻度 (cm)	溫度 (°C)	上升水位體積 (cc)	占燒杯內實際體積
0.1 cm	296.5°C	8.75 cc	0.625%	3.7 cm	127.4°C	323.75 cc	23.125%
0.2 cm	289.6°C	17.5 cc	1.25%	3.8 cm	124.4°C	332.5 cc	23.75%
0.3 cm	267.2°C	26.25 cc	1.875%	3.9 cm	120.8°C	341.25 cc	24.375%
0.4 cm	255.6°C	35 cc	2.5%	4.0 cm	118.1°C	350 cc	25%
0.5 cm	234.8°C	43.75 cc	3.125%	4.1 cm	115.5°C	358.75 cc	25.625%
0.6 cm	224.4°C	52.5 cc	3.75%	4.2 cm	113.3°C	367.5 cc	26.25%
0.7 cm	215.6°C	61.25 cc	4.375%	4.3 cm	107.1°C	376.25 cc	26.875%

0.8 cm	207.7°C	70 cc	5%	4.4 cm	104.4°C	385 cc	27.5%
0.9 cm	200.5°C	78.75 cc	5.625%	4.5 cm	102.2°C	393.75 cc	28.125%
1.0 cm	194.2°C	87.5 cc	6.25%	4.6 cm	99.8°C	402.5 cc	28.75%
1.1 cm	190.7°C	96.25 cc	6.875%	4.7 cm	96.1°C	411.25 cc	29.375%
1.2 cm	187.3°C	105 cc	7.5%	4.8 cm	91.3°C	420 cc	30%
1.3 cm	184.0°C	113.75 cc	8.125%	4.9 cm	89.0°C	428.75 cc	30.625%
1.4 cm	180.0°C	122.5 cc	8.75%	5.0 cm	85.8°C	437.5 cc	31.25%
1.5 cm	176.2°C	131.25 cc	9.375%	5.1 cm	83.5°C	446.25 cc	31.875%
1.6 cm	174.2°C	140 cc	10%	5.2 cm	78.0°C	455 cc	32.5%
1.7 cm	172.4°C	148.75 cc	10.625%	5.3 cm	74.4°C	463.75 cc	33.125%
1.8 cm	168.5°C	157.5 cc	11.25%	5.4 cm	71.5°C	472.5 cc	33.75%
1.9 cm	162.9°C	166.25 cc	11.875%	5.5 cm	67.7°C	481.25 cc	34.375%
2.0 cm	160.7°C	175 cc	12.5%	5.6 cm	63.7°C	490 cc	35%
2.1 cm	159.1°C	183.75 cc	13.125%	5.7 cm	60.2°C	498.75 cc	35.625%
2.2 cm	158.2°C	192.5 cc	13.75%	5.8 cm	55.5°C	507.5 cc	36.25%
2.3 cm	156.9°C	201.25 cc	14.375%	5.9 cm	50.9°C	516.25 cc	36.875%
2.4 cm	155.3°C	210 cc	15%	6.0 cm	49.3°C	525 cc	37.5%
2.5 cm	153.1°C	218.75 cc	15.625%	6.1 cm	47.4°C	533.75 cc	38.125%
2.6 cm	152.0°C	227.5 cc	16.25%	6.2 cm	45.5°C	542.5 cc	38.75%
2.7 cm	151.1°C	236.25 cc	16.875%	6.3 cm	42.2°C	551.25 cc	39.375%
2.8 cm	150.7°C	245 cc	17.5%	6.4 cm	38.5°C	560 cc	40%
2.9 cm	148.5°C	253.75 cc	18.125%	6.5 cm	34.8°C	568.75 cc	40.625%
3.0 cm	147.6°C	262.5 cc	18.75%	6.6 cm	32.3°C	577.5 cc	41.25%
3.1 cm	146.3°C	271.25 cc	19.375%	6.7 cm	29.2°C	586.25 cc	41.875%
3.2 cm	140.6°C	280 cc	20%	6.8 cm	25.8°C	595 cc	42.5%
3.3 cm	137.9°C	288.75 cc	20.625%	6.9 cm	22.9°C	603.75 cc	43.125%
3.4 cm	136.1°C	297.5 cc	21.25%	7.0 cm	20.6°C	612.5 cc	43.75%
3.5 cm	134.0°C	306.25 cc	21.875%	7.1 cm	18.9°C	621.25 cc	44.375%
3.6 cm	131.5°C	315 cc	22.5%	7.2 cm	17.5°C	630 cc	45%

*將布尺刻度對燒杯內空氣溫度做成下列關係圖

圖十八(布尺刻度對燒杯內空氣溫度關係圖)



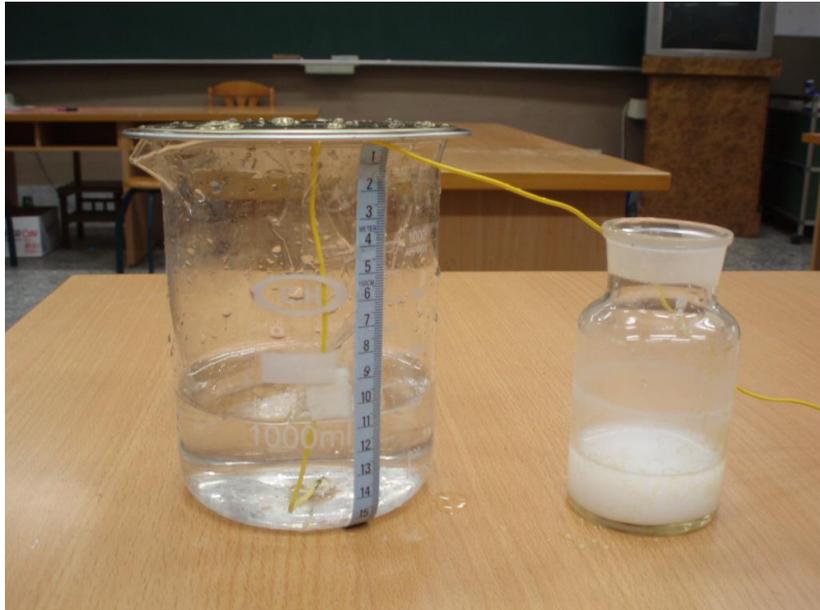
*再用直尺的形式將上述所得數據結果加以繪製如下：

圖十九



*我們可以从此圖中，快速找到某一水位高度的燒杯內空氣溫度、水量及所佔總體積的比

最後，我們將燒杯內的空氣與澄清石灰水一同混合，發現未成混濁狀態（如下圖），可以由此證明用電湯匙方式代替蠟燭燃燒不會產生二氧化碳出來。



發現：

【實驗過程中】

燒杯覆蓋於木板做的底盤上後，燒杯內的水位高度已佔有 0.8 cm 高，當電湯匙緩緩加熱時，燒杯內原有水位高度居然慢慢下降，更見到很多泡泡從底盤內跑出至盛水容器外，溫度接近 290°C 時，燒杯內已無水位高度。

【實驗過程後】

當溫度到達 296.5°C 後，拔掉插頭終止對燒杯內空氣的加熱，逐一紀錄我們所需要的數據，在此記錄過程當中，我們還看到燒杯內的水有氣泡，且紛紛不斷地從杯內上升至杯內的水面上，最後不見。

《比較與判斷》

*比較：

與前面所做實驗相比，我們利用這種方式亦能製造出水位上升的現象，而且水量上升的幅度也有驚人之舉，足可證明，光是熱脹冷縮的影響（即氧氣和二氧化碳無相對增減），對於水面上升是有相當大的影響力。

*判斷：

在上述發現中提到，不管在電湯匙加熱過程中或是靜置冷卻時，都可以看到氣泡的發生，前者是從燒杯內產生且往外擠壓移動，後者則是在燒杯內見到氣泡由下往上竄升。我們輔以下列的解釋，當溫度漸漸提高時，原本在燒杯內空氣分子運動速率亦會漸漸增加，即是高速地朝向四面八方互相碰撞而向外膨脹（此現象造成水面下降）。換言之，在單位時間內，燒杯內撞擊水面的空氣分子數提高，此可造成燒杯內空氣大量跑入水裡（即是看見氣泡的產生，又因為受到膨脹的關係，氣泡會不斷跑出至盛水容器外），但當靜置冷卻後，為達到氣液平衡，原本在水裡的空氣又會回到空氣中（因此又看見氣泡的產生），但卻無法全部回去，因為先前在水中的空氣受到水流動的影響，會從燒杯外的水面跑出來，所以在冷卻後，無法得到相同的空氣體積，這就是水位上升的主要原因。

《歸納》

經由模擬蠟燭燃燒的加熱現象，可以使水位飆升至 630 cc（占燒杯內實際總體積 45%），我們查閱一下自己先前所作的實驗，發現幾乎所有的實驗結果，水位都超過 630 cc，因此想找出水位在 630 cc 附近的數據，將之擷取後，找出 630 cc 的水位相當於多少根蠟燭燃燒的結果或是平均占有最高水量的百分比為多少，整理成為下面的結果：

實驗號次	實驗目的	630 cc附近的數據	該實驗的最高水量	換算後的數據		
				相當於多少根蠟燭(內插法計算)	630 cc佔最高水量的百分比	
實驗一	找出	8根蠟燭的水位：630 cc	670 cc	8根蠟燭	94.02%	
實驗二	1-10根蠟燭	8根蠟燭的水位：610 cc 9根蠟燭的水位：660 cc	690 cc	8.5根蠟燭	91.30%	
實驗三	燭燃	8根蠟燭的水位：630 cc	790 cc	8根蠟燭	79.74%	
實驗四	燒後，	7根蠟燭的水位：620 cc 8根蠟燭的水位：680 cc	790 cc	7.167根蠟燭	79.74%	
實驗五	水位上升	7根蠟燭的水位：600 cc 8根蠟燭的水位：650 cc	700 cc	7.6根蠟燭	90.00%	
實驗六	的數據。	7根蠟燭的水位：580 cc 8根蠟燭的水位：650 cc	680 cc	7.714根蠟燭	92.65%	
實驗八	找出燒杯內部五個受測點溫度。	1	8根蠟燭的水位：620 cc 9根蠟燭的水位：670 cc	700 cc	8.2根蠟燭	90.00%
		2	7根蠟燭的水位：620 cc 8根蠟燭的水位：640 cc	700 cc	7.5根蠟燭	90.00%
		3	8根蠟燭的水位：620 cc 9根蠟燭的水位：650 cc	710 cc	8.333根蠟燭	88.73%
		4	7根蠟燭的水位：620 cc 8根蠟燭的水位：650 cc	690 cc	7.333根蠟燭	91.30%
		5	7根蠟燭的水位：630 cc	720 cc	7根蠟燭	87.50%

再將上述換算後的數據加以平均(四捨五入至小數點第二位數)，可得到相當約 7.76 根蠟燭或是 88.63 %。換言之，實驗十以電湯匙模擬蠟燭燃燒的加熱情形，其結果 630 cc 相當於 7.76 根蠟燭燃燒的威力，或是在蠟燭燃燒過程中，大約有 88.63% 的水量是由熱脹冷縮所造成的。是故，熱漲冷縮對於水位的提高有很大的幫助。

知道這樣的數據後，更激發我們想找出剩下的影響原因。我們將蠟燭燃燒結果拆成兩個部份，第一部分為空氣加熱；第二部分為空氣組成成分改變(亦即氧氣變少，二氧化碳變多)。實驗十是單純針對第一部分空氣溫度的改變，找出其影響力，現在我們再反過來想，如果僅針對空氣組成成分改變，而沒有空氣溫度的改變之下，能找出怎樣的數據來呢？

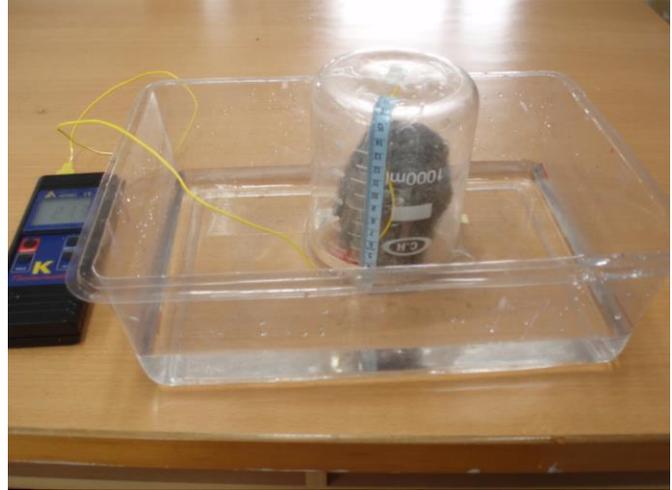
研究方法(四)：僅模擬空氣組成變化的實驗找出對水位上升的影響力

我們想到以鋼棉生鏽來做為本實驗的內容，因為鋼棉生鏽需要氧氣的加入，然而在生鏽過程當中，溫度不太會有變化(甚至是沒有)，因此最適合作為測量僅操縱空氣組成變化的實驗以找出對水位上升的影響力。

【實驗十一】實驗方法與裝置：

1. 使用大型盛水容器盛水 1000 cc，水溫為 17°C

2. 取 8 克的鋼棉，並將鋼棉表面積盡量拉長拉大，兩旁用迴紋針勾住，再浸泡於食用醋酸後拿出，此法可增加氧化速率
3. 將鋼棉插入黏土裡以固定之，覆蓋上 1000 cc 的燒杯（實際體積為 1400 cc），燒杯外也黏上布尺，並同樣在第三受測點位置裝上探測偶，以監測溫度是否有改變
4. 本實驗裝置如下圖
5. 每日定時檢測水位數據並紀錄下結果



實驗結果：

	水位高度	平均上升水位體積	第三受測點溫度	平均上升水位體積 容器總體積(1400 cc)
起初狀態	0.7 mm	0 cc	20.1°C	0%
第一天	5.0 mm	36.55 cc	21.2°C	2.610%
第二天	7.3 mm	56.1 cc	19.4°C	4.007%
第三天	10.4 mm	82.45 cc	18.7°C	5.889%
第四天	12.5 mm	100.3 cc	20.3°C	7.164%
第五天	14.5 mm	117.3 cc	19.5°C	8.379%
第六天	15.8 mm	128.35 cc	18.6°C	9.168%
第七天	16.6 mm	135.15 cc	18.9°C	9.654%
第八天	16.8 mm	136.85 cc	18.9°C	9.775%
第九天	16.7 mm	136 cc	18.9°C	9.7%

發現：

1. 在實驗過程中，會有小水珠凝結在
2. 從第七天後，水位幾乎沒有繼續攀高到達 16.8 mm。
3. 檢視九天後生鏽的鋼棉，發現仍有未見生鏽。

《比較與判斷》

我們眾所皆知的一項知識，氧氣占空(20.95%)，可是在上述實驗中，無法之。

因為九天過後的鋼棉仍有部分未有生鏽，代表此過量的鋼棉無法繼續再和氧氣進行反應，而且九天以來溫度沒有很大的變化，此數據足夠做為我們的實驗目的-僅模擬空氣組成變化的實驗找出對水位上升的影響力。

《綜合歸納》

我們選取後面三項數據加以平均得到 9.71%。換言之，僅僅是模擬空氣組成變化的實驗，水位上升僅到達 9.71%，並與前者【實驗十】所算出的結果加以合併，可得到這樣的結果：

$$88.63\% + 9.71\% = 98.34\%$$

實在是令人太興奮了，我們將蠟燭燃燒結果拆成兩個部份，第一部分為空氣加熱；第二部分為空氣組成成份改變(亦即氧氣變少，二氧化碳變多)。前者對水位的影響力為 88.63%，後者對水位的影響力為 9.71%，相加的結果已經逼近百分之百，如果能把誤差再逼近無的情況下，應能使數據更加精準。

柒：討論

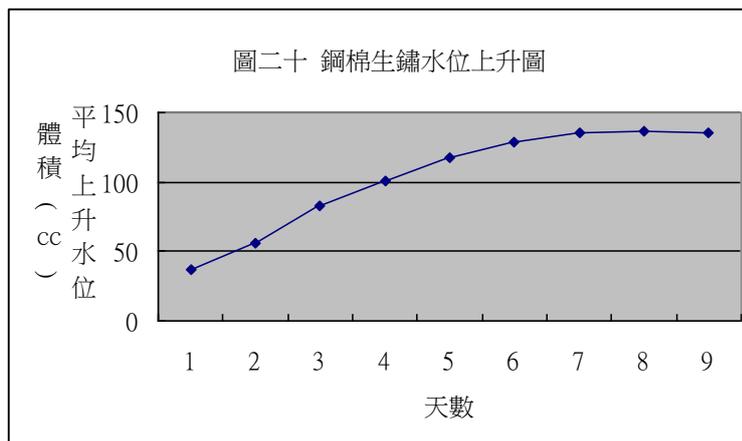
一、為了找出悶熄蠟燭後水位上升原因，我們先以實驗環境變因作為實驗主軸，包含 A·盛水容器；B·盛裝水量，無論是完全以盛水容器為變因來比較實驗曲線，或是以盛裝水量作為變因來比較實驗曲線，皆可從圖十看出，水位上升多寡與此兩種變因影響不大。

二、蠟燭燃燒時，燭火上方溫度很高，可以到達 410°C，可是卻不是發生在 10 根蠟燭上，此乃因為蠟燭是平均插在特製的平臺上，所以在蠟燭根數越多的情況下燃燒，空氣受熱程度較均勻，溫度跳動範圍才會越來越小，但因為 9 根和 10 根蠟燭擺放較為分散，所以測得的平均溫度範圍反而不是最高，實驗測得 8 根蠟燭溫度最高。

三、以電湯匙模擬蠟燭燃燒的加熱現象，突破過去的文字描述限制，將空氣受熱後，熱脹冷縮效果加以數據化。此結果相當於 7.76 根蠟燭燃燒的威力，或是在蠟燭燃燒過程中，大約有 88.63% 的水量是由熱脹冷縮所造成的。是故，熱脹冷縮對於水位的提高有很大的幫助。並創新以【水位-溫度直尺圖】預測或是得知水位的多寡、溫度的高低。

四、以鋼棉生鏽模擬蠟燭燃燒的空氣組成改變的變化，得知此種方式對水位亦有一定的影響力，水位上升到達 9.71%。

五、將兩種模擬蠟燭燃燒的實驗結果合併之，可以得到 $88.63\% + 9.71\% = 98.34\%$ 。換言之，水量上升的比例當中，有 98.34% 可以從空氣受熱或是空氣組成成份改變(亦即氧氣變少，二氧化碳變多)來探討，前者占 88.63%，後者占 9.71%。並創新以【立體圓形圖】得知兩者影響水位上升原因的比例關係。



燒杯壁上。升，水位最

部分的鋼棉

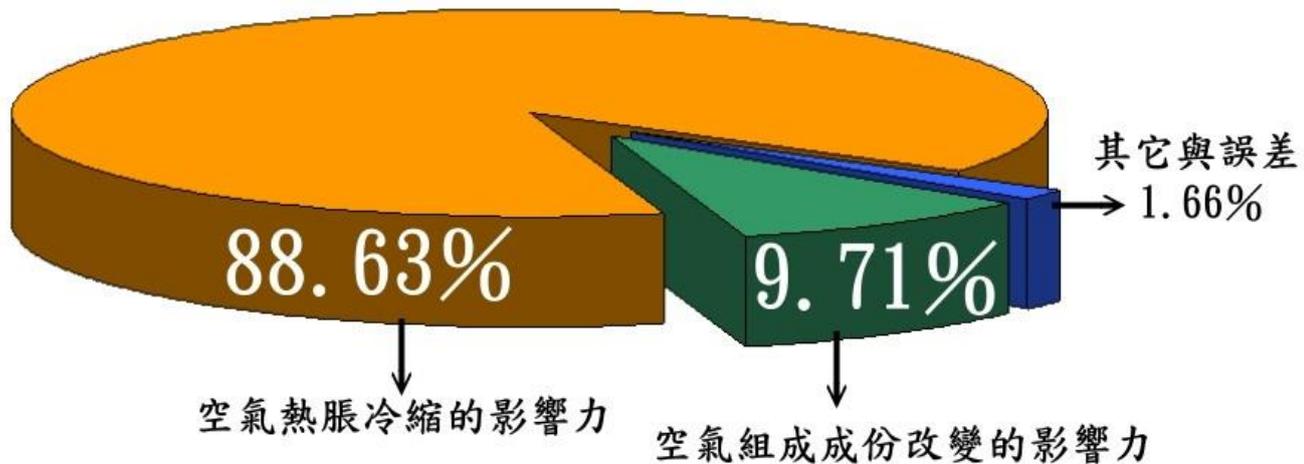
氣比率約為以此證明

捌：結論

開始時，我們只是先找出悶熄蠟燭實驗的環境變因（如盛水容器大小、盛水體積），在不同數量蠟燭燃燒下（1-10根），比對其結果，實現顯示上述兩項環境變因影響不大，而歸納出溫度為其重要因素。

之後以溫度因素做為實驗發展的流程，並細想蠟燭燃燒現象「（分為空氣加熱和空氣組成成份改變）」，做了很多實驗找出兩者對於水位爬升的影響程度，我們以下圖顯示：

空氣熱脹冷縮和空氣組成成份改變 VS 水位影響關係圖



這次的實驗突破過去的作品，以前僅僅提到悶熄蠟燭後，水位上升的關鍵性原因乃是空氣熱脹冷縮的效果，卻沒有提到這種重要的影響程度為多少？我們可以從上圖中了解有多關鍵了！除此之外，就連空氣組成成份改變的影響程度亦計算出來。

玖：建議

【實驗八】測量燒杯內蠟燭燃燒後溫度降為多少時，我們只設置五個受測點，在量測不穩定的蠟燭燃燒現象，應該可以再多找其它受測點，以準確地反映燒杯內空氣的溫度。

拾：參考資料及其他

1. 林素霞等（2002）《~親愛的，誰讓你長高了~》。中華民國第四十二屆中小學科展國小組化學科。
2. 陳榮祥等（2002）《~慢慢高升~》。中華民國第四十二屆中小學科展國小組物理科。
3. 謝基生（民81）：空氣的性質與實驗，鍾文出版社。
4. 翰林文教事業（民95）：自然與生活科技五下教師手冊，翰林出版事業股份有限公司。