

中華民國第 51 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 物理科

第三名

080115

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

作者： 小六 陳嫻云 小六 張婉怡	指導老師： 黃啟晉
-------------------------	--------------

關鍵詞：熱脹冷縮、模擬蠟燭燃燒、影響力

問水哪得高如許？為有熱源伴水來

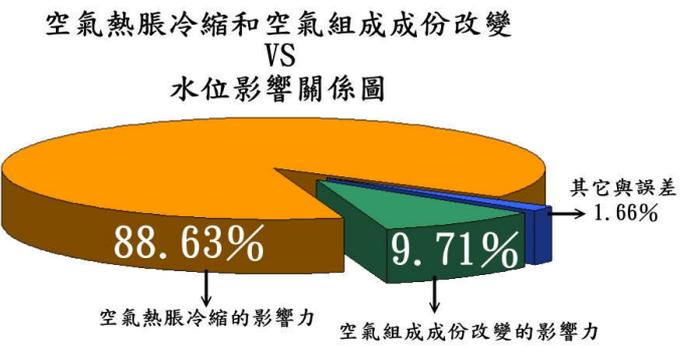
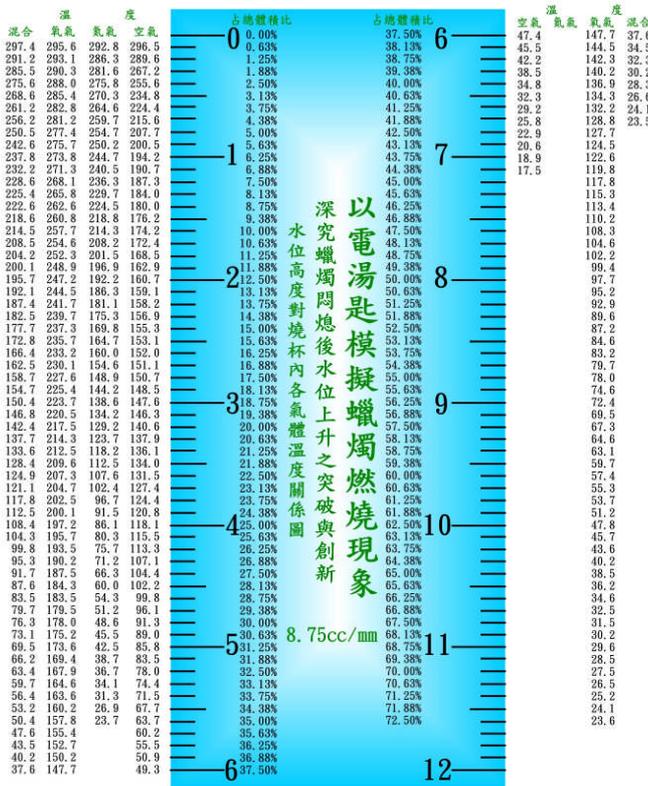
『深究蠟燭悶熄後水位上升之突破與創新』

摘要

一、我們的突破：

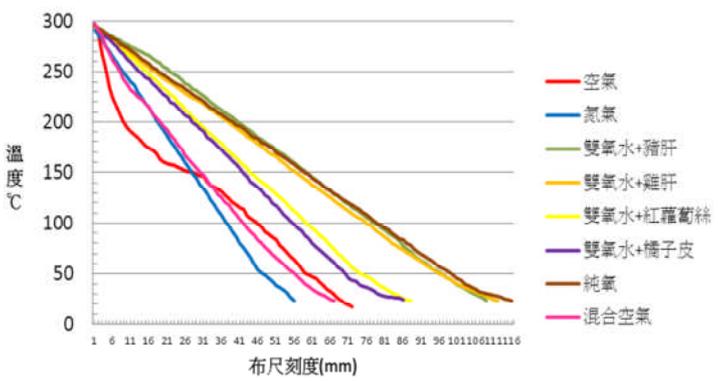
將過去僅以文字陳述「悶熄蠟燭後，空氣熱脹冷縮為水位上升的決定性因素」數據化，即是個別模擬蠟燭燃燒的兩種現象(空氣加熱與空氣組成成份改變)。實驗結果(如下圖)發現，前者對水位上升的影響力達 88.63%且氧氣熱漲冷縮的程度約氮氣的 2.07 倍，後者對水位上升的影響力達 9.71%，再依據實驗結果提出創新的水位-溫度直尺圖(自製空氣、氮氣與氧氣溫標)、立體圓形圖與各氣體溫度下降曲線來闡述對水位爬升影響的具體數據來。

二、我們的創新：



立體圓形圖(空氣加熱與空氣組成成份改變的影響力)

圖二十八(布尺刻度對燒杯內各氣體溫度關係圖)



水位-溫度直尺圖(自製空氣、氮氣與氧氣溫標)

壹：研究動機

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占空氣約五分之一。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，而且每次的高度也截然不同，不過卻也因為當時沒有時間繼續深究此現象就匆匆帶過，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。

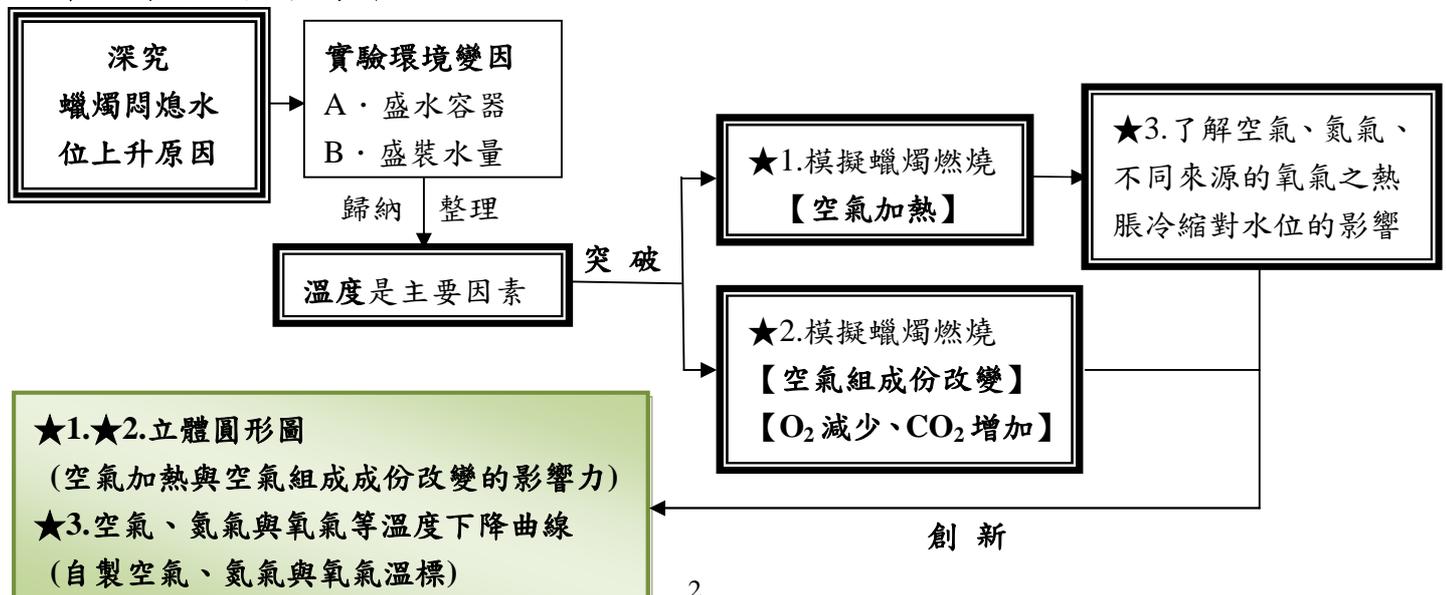
貳：研究目的

- 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、探討分析溫度因素及氣體種類因素影響水位上升的變化
- 五、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)	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	錐形瓶與軟管	薊頭漏斗	雙氧水
					
豬肝	雞肝	紅蘿蔔絲	橘子皮	醫療用氧氣瓶	工業用氮氣瓶

肆：研究流程架構圖



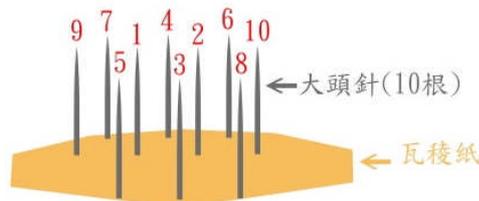
伍：文獻探討

1.林素霞等（2002）指出，火焰周圍空氣溫度上升是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（差異頗大），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

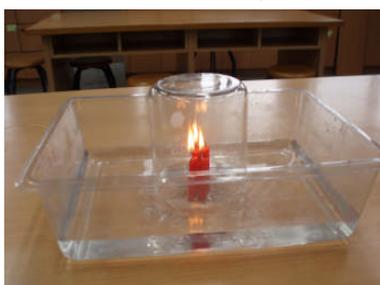
此平臺如研究設備與材料之實圖

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

【實驗一與實驗二】實驗方法與裝置：

- 1.使用大型盛水容器分別盛水 2000 cc 與 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)



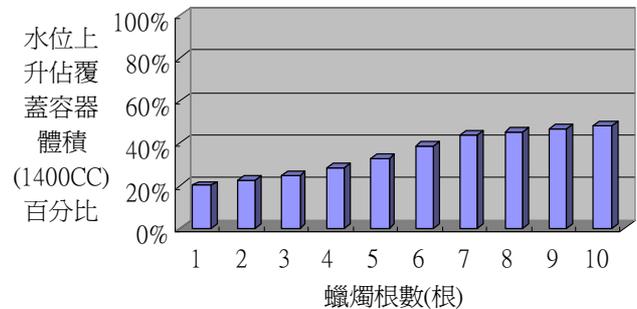
實驗一結果(大型容器盛水 2000 cc)：

	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)	20.0%	22.8%	25.0%	28.6%	32.8%	38.6%	43.6%	45.0%	46.4%	47.9%

圖一【實驗一】

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。



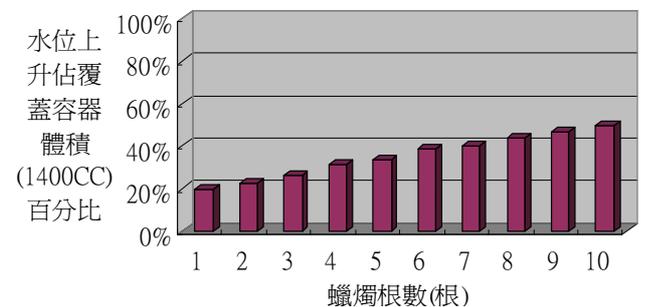
實驗二結果(大型容器盛水 1000 cc)：

	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%	40.0%	43.6%	46.4%	49.3%

圖二【實驗二】

發現：

- 1.由結果發現，蠟燭根數也確實和水位上升高度有所關係，根數越多水位上升越大。
- 2.水位爬升幅度緩慢增加，平均每增加一根蠟燭就爬升 3~5 百分點，並無較急遽增加之部分。



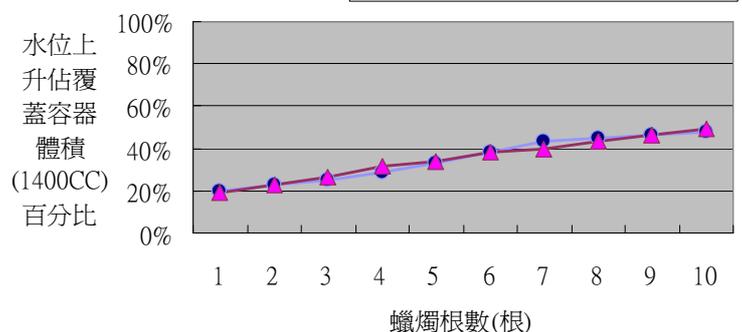
《比較與判斷》

*比較：

由實驗一和實驗二的實驗設置方式做比較，兩者差別僅在大型盛水容器所盛裝之水量不同，但實驗結果顯示水位上升曲線差異性不大，可由右側圖三得知。

*判斷：

在水量足夠吸取而能爬升的狀況下，盛水容器所盛裝之水量多寡無法大量影響水位高低，推估兩曲線之差異可視為誤差。



圖三

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

【實驗三與實驗四】實驗方法與裝置：

- 1.使用中型盛水容器盛水 2000 cc 與 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）



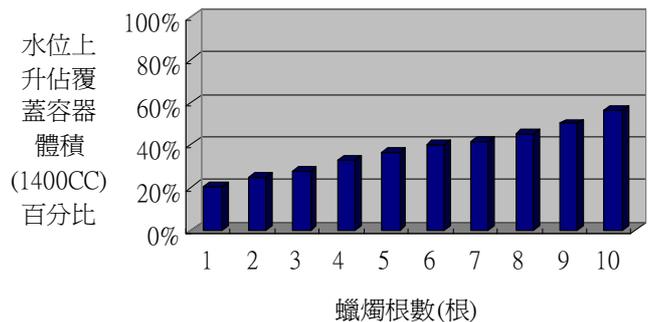
實驗三結果 (中型容器盛水 2000 cc) :

	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%	25.0%	27.8%	32.8%	36.4%	40.0%	41.4%	45.0%	50.0%	56.4%

發現：

1. 由結果發現，蠟燭根數也確實和水位上升高度有所關係，即根數越多水位上升就越高。
2. 水位爬升幅度緩慢增加，並無特別急增者。
3. 平均每增加一根蠟燭就爬升 3~5 百分點，與實驗二結果雷同。

圖四【實驗三】



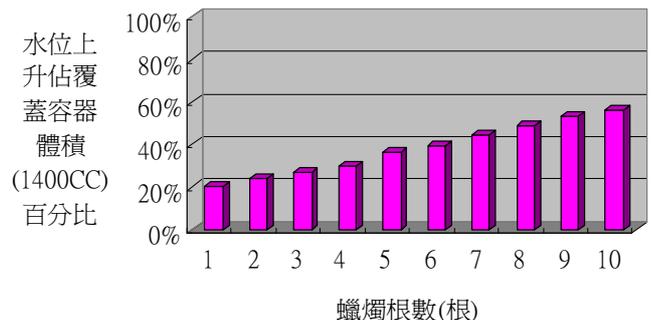
實驗四結果(中型容器盛水 1000 cc) :

	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%	30.0%	36.4%	39.3%	44.3%	48.6%	53.6%	56.4%

發現：

1. 由結果發現，蠟燭根數也確實和水位上升高度有所關係，即根數越多水位上升就越高。
2. 水位爬升幅度緩慢增加，尤其以五根時爬升最多。

圖五【實驗四】



《比較與判斷》

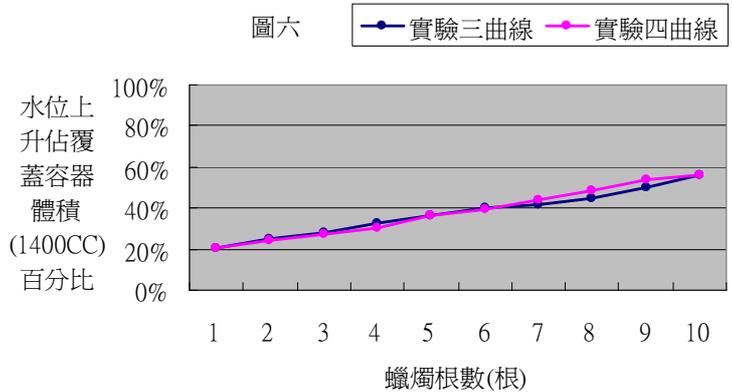
*比較：

由實驗三和實驗四的實驗設置方式做比

較，兩者差別僅在中型盛水容器所盛裝之水量不同，但實驗結果顯示水位上升曲線差異性不大，可由右側圖六得知。

***判斷：**

在水量足夠吸取而能爬升的狀況下，盛水容器所盛裝之水量多寡無法大量影響水位高低，推估兩曲線之差異可視為誤差。



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

【實驗五與實驗六】實驗方法與裝置：

- 1.使用圓筒型盛水容器盛水 2000 cc與 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)



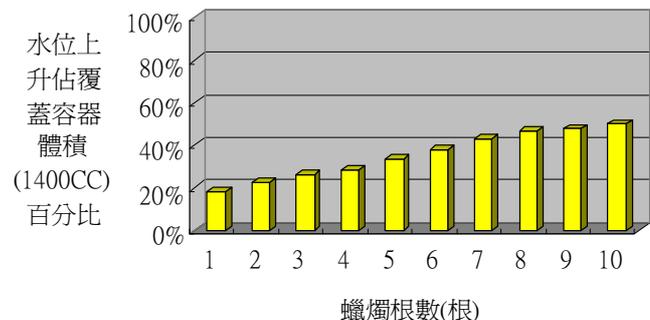
實驗五結果(圓筒型容器盛水 2000 cc)：

	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%	50.0%

圖七(實驗五)

發現：

- 1.由結果發現，蠟燭根數也確實和水位上升高度有所關係，根數越多水位上升越大。
- 2.水位爬升幅度在 5~7 根時最急遽，餘者多以 3 ~ 5% 上升。



實驗六結果(圓筒型容器盛水 1000 cc)：

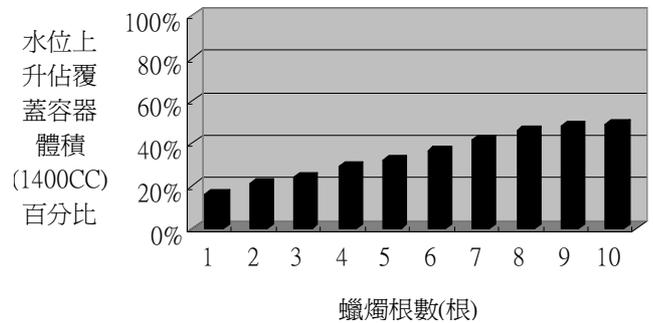
	1 根 蠟燭	2 根 蠟燭	3 根 蠟燭	4 根 蠟燭	5 根 蠟燭	6 根 蠟燭	7 根 蠟燭	8 根 蠟燭	9 根 蠟燭	10 根 蠟燭

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上升高度有所關係，根數越多水位上升越大。
- 2.水位爬升幅度緩慢增加，平均每增加一根蠟燭就爬升3~5百分點，並無較急遽增加之部分。

圖八(實驗六)



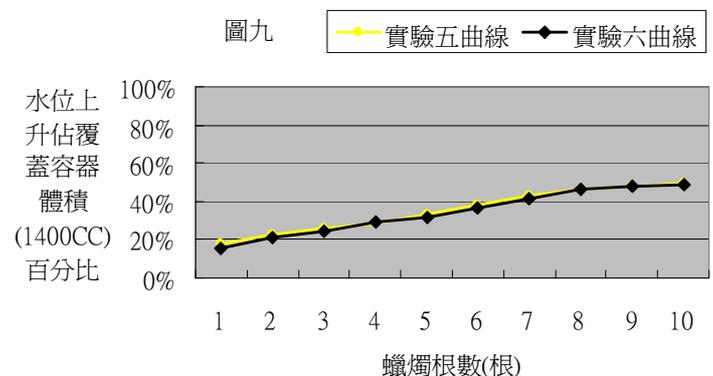
《比較與判斷》

*比較：

由實驗五和實驗六的實驗設置方式做比較，兩者差別僅在圓筒型盛水容器所盛裝之水量不同，但實驗結果顯示水位上升曲線差異性不大，可由右側圖九得知。

*判斷：

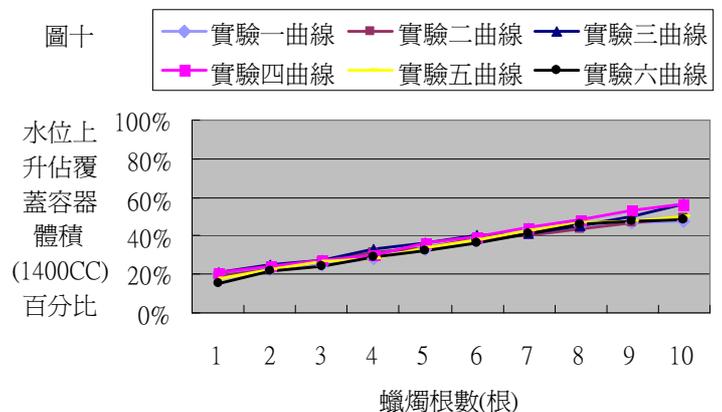
在水量足夠吸取而能爬升的狀況下，盛水容器所盛裝之水量多寡無法大量影響水位高低，推估兩曲線之差異可視為誤差。



《歸納》

由右側圖十(即綜合圖三和圖六和圖九)可整理出下列發現：

- 1.在其他條件皆穩當控制住的情況下，無論以盛水容器大小為操縱變因，或是以盛水容器內所盛裝水量多寡為操縱變因皆無法大量影響水位上升，六條曲線之差異可視為誤差所導致。
- 2.曲線爬升的幅度沒有突然的上升情形，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。



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 16 公分後（如右圖），移開罩杯
- 3.將 8801K 型熱電偶溫度計的探測偶置於 16 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 $^{\circ}\text{C}$	110 150	180 210	240 300	280 330	330 400	350 410	360 400	370 410	350 390	340 380

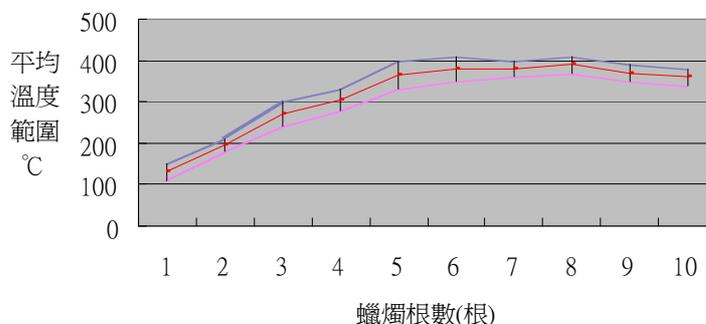
發現：

1.我們發現一個非常有趣的現象，原先預期燭火溫度是一直往上增加的，但沒想到在 9 根蠟燭 和 10 根蠟燭 的溫度並非這樣的結果，實驗結果顯示在 8 根蠟燭 時溫度範圍最高，1 根蠟燭 溫度範圍為最低。

2.由於燭火燃燒非常不穩定，火焰位置常會飄動，甚至其形狀大小都會改變，所以溫度測量只能選取一個最常出現的範圍，加以紀錄之。

3.在此測量過程中也發現，只要蠟燭根數越高，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。

圖十一



《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，推測是因為第 9 根與第 10 根蠟燭加入後，二氧化碳瞬間增加太快，致使蠟燭熄滅較快，亦即不夠時間來加熱燒杯內的空氣，加熱程度受此影響，而使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低多少

我們的想法：

*既然瞭解到空氣受蠟燭燃燒後溫度會上升，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。

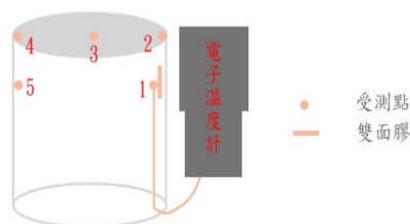
*再者，從文獻探討的資料中查到，林素霞等（2002）、陳榮祥等（2002）皆認為燒杯內空氣溫度的變化情形乃是此實驗的關鍵因素，決定水位上升的影響性原因，本組努力思考該如何突破這項關卡。

我們的策略：

*在實驗過程中，購買一支 8801K 型熱電偶溫度計（依說明書揭示，溫度監測範圍可從 -50°C 至 1300°C ），利用此裝置和巧妙構思準確探測燒杯內空氣溫度的變化情形。

【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），分別設置在相互面對的位置。
 *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），分別設置在相互面對的位置。
 *第三受測點即為燭火正上方，高度也是 16 公分（從杯底至杯頂計算）。

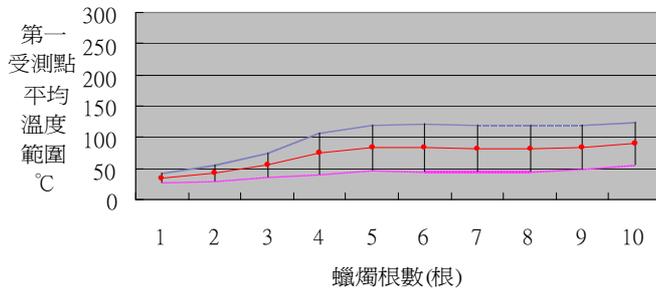
實驗結果：

	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 $^{\circ}\text{C}$	42 27	56 29	75 37	107 41	121 47	122 46	119 44	117 44	120 49	125 56
平均上升水位體積(cc)	250	330	350	410	500	570	600	620	670	700
$\frac{\text{平均上升水位體積}}{\text{容器總體積(1400 cc)}}$	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 $^{\circ}\text{C}$	54 34	73 56	88 63	90 59	95 56	104 54	100 42	76 42	71 45	66 41
平均上升水位體積(cc)	270	310	390	440	540	600	620	640	660	700
$\frac{\text{平均上升水位體積}}{\text{容器總體積(1400 cc)}}$	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 $^{\circ}\text{C}$	200 115	223 154	255 236	285 252	292 260	280 257	239 235	216 203	203 174	196 172
平均上升水位體積(cc)	240	280	350	420	490	560	600	620	650	710
$\frac{\text{平均上升水位體積}}{\text{容器總體積(1400 cc)}}$	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 平均溫度範圍 $^{\circ}\text{C}$	51 36	69 52	79 61	92 60	99 56	108 51	102 44	80 43	72 40	65 41
平均上升水位體積(cc)	250	320	400	430	510	580	620	650	670	690
$\frac{\text{平均上升水位體積}}{\text{容器總體積(1400 cc)}}$	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 27	56 29	75 37	107 41	121 47	102 46	104 44	117 44	119 51	125 56

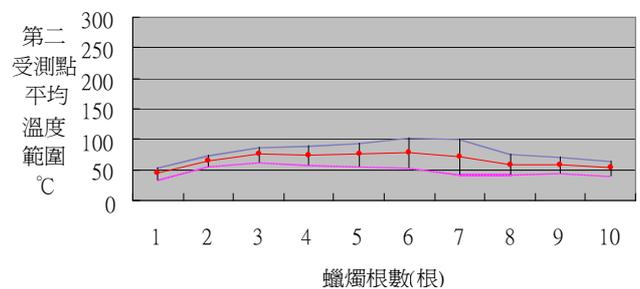
平均上升水位體積(cc)	270	320	370	450	520	590	630	670	680	720
平均上升水位體積 容器總體積(1400 cc)	19.3%	22.9%	26.4%	32.1%	37.1%	42.1%	45.0%	47.8%	48.6%	51.4%

*各受測點溫度範圍及該點平均溫度畫製如下表

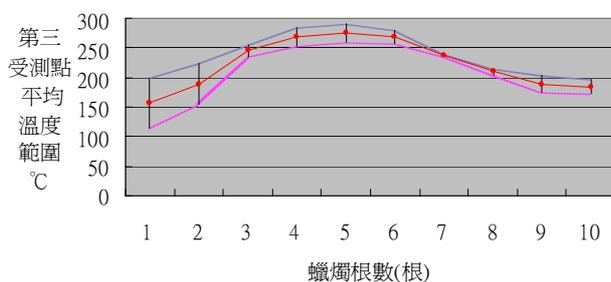
圖十二(第一受測點)



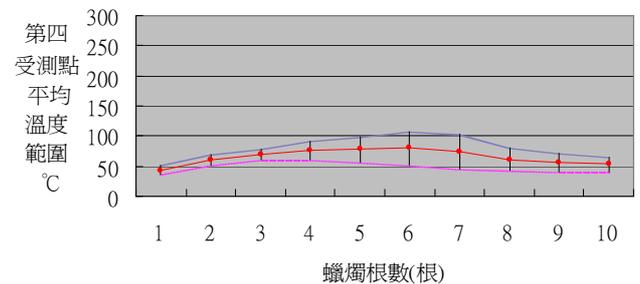
圖十三(第二受測點)



圖十四(第三受測點)



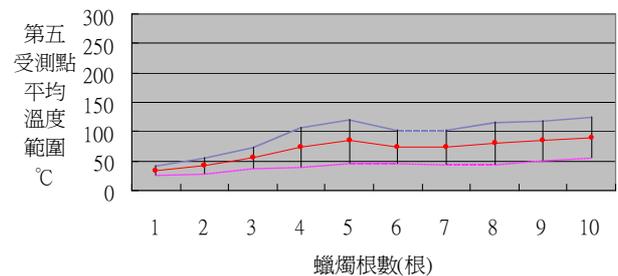
圖十五(第四受測點)



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。

圖十六(第五受測點)



《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，燭火一下子逐一熄滅，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。

※現在獨立將五個受測點的平均溫度範圍計算出

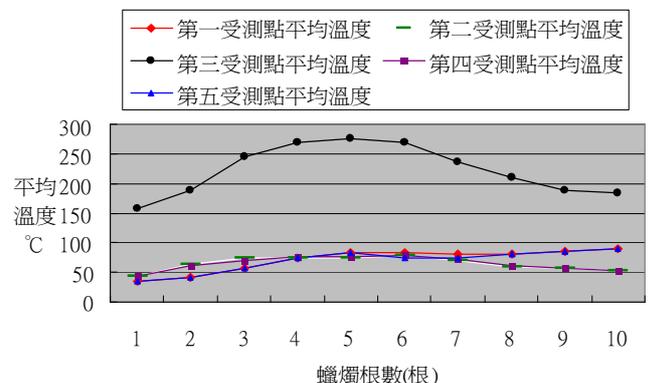
其平均溫度畫製成下圖十七

《歸納發現》：

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，所以易使溫度產生快升快降的現象。

圖十七(五個受測點的平均溫度)



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據，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？

創新點

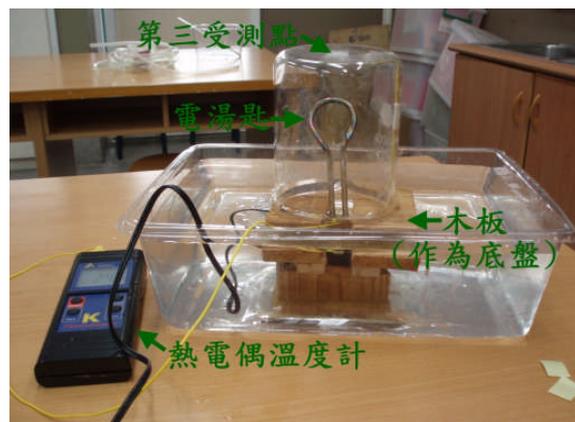
我們的策略：

*我們想了幾種方式來取代，諸如以烤箱加熱、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，足夠達到我們的要求。

※本小組最後想到以電湯匙來替換蠟燭的燃燒，既可以將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。

【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，如右圖所示
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	水位上升體積 容器總體積(1400 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%

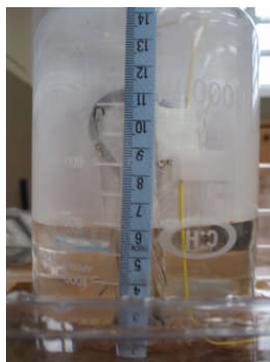
就在想做第六次實驗的同時，因為插頭來來回回數次，電湯匙突然壞掉了，我們因而無法繼續操作，便決定再去購買一枝新的電湯匙。於此同時，有組員想到，可不可以找到一種方法，像尺一樣可以有刻度，以便加以顯示燒杯內空氣溫度和水位上升體積的關係。因此我們再次發揮團隊集思廣益的結果，終於找出這樣的裝置，設計成下列實驗。

【實驗十】實驗方法與裝置：



再次突破與創新點

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
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

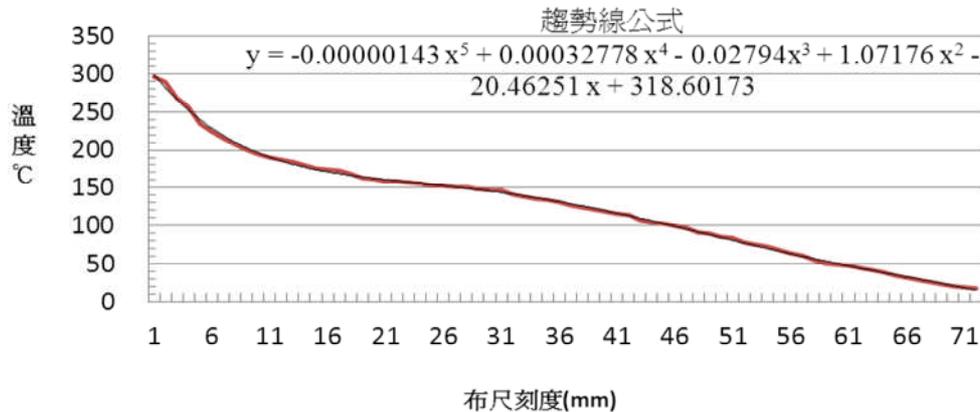
$$1400 \text{ cc (燒杯內實際體積)} \div 16 \text{ cm (燒杯總長度)} = 87.5 \text{ (cc/cm)} = 8.75 \text{ (cc/mm)}$$

布尺刻度	溫度	上升水位 體積	占燒杯內 實際體積	布尺刻度	溫度	上升水位 體積	占燒杯內 實際體積
0.1 cm	296.5°C	8.75 cc	0.63%	3.7 cm	127.4°C	323.75 cc	23.13%
0.2 cm	289.6°C	17.50 cc	1.25%	3.8 cm	124.4°C	332.50 cc	23.75%
0.3 cm	267.2°C	26.25 cc	1.88%	3.9 cm	120.8°C	341.25 cc	24.38%
0.4 cm	255.6°C	35.00 cc	2.50%	4.0 cm	118.1°C	350.00 cc	25.00%
0.5 cm	234.8°C	43.75 cc	3.13%	4.1 cm	115.5°C	358.75 cc	25.63%
0.6 cm	224.4°C	52.50 cc	3.80%	4.2 cm	113.3°C	367.50 cc	26.25%
0.7 cm	215.6°C	61.25 cc	4.38%	4.3 cm	107.1°C	376.25 cc	26.88%
0.8 cm	207.7°C	70.00 cc	5.00%	4.4 cm	104.4°C	385.00 cc	27.50%
0.9 cm	200.5°C	78.75 cc	5.63%	4.5 cm	102.2°C	393.75 cc	28.13%
1.0 cm	194.2°C	87.50 cc	6.25%	4.6 cm	99.8°C	402.50 cc	28.75%
1.1 cm	190.7°C	96.25 cc	6.88%	4.7 cm	96.1°C	411.25 cc	29.38%
1.2 cm	187.3°C	105.00 cc	7.50%	4.8 cm	91.3°C	420.00 cc	30.00%
1.3 cm	184.0°C	113.75 cc	8.13%	4.9 cm	89.0°C	428.75 cc	30.63%
1.4 cm	180.0°C	122.50 cc	8.75%	5.0 cm	85.8°C	437.50 cc	31.25%
1.5 cm	176.2°C	131.25 cc	9.38%	5.1 cm	83.5°C	446.25 cc	31.88%
1.6 cm	174.2°C	140.00 cc	10.00%	5.2 cm	78.0°C	455.00 cc	32.50%
1.7 cm	172.4°C	148.75 cc	10.63%	5.3 cm	74.4°C	463.75 cc	33.13%
1.8 cm	168.5°C	157.50 cc	11.30%	5.4 cm	71.5°C	472.50 cc	33.75%
1.9 cm	162.9°C	166.25 cc	11.88%	5.5 cm	67.7°C	481.25 cc	34.38%
2.0 cm	160.7°C	175.00 cc	12.50%	5.6 cm	63.7°C	490.00 cc	35.00%
2.1 cm	159.1°C	183.75 cc	13.13%	5.7 cm	60.2°C	498.75 cc	35.63%
2.2 cm	158.2°C	192.50 cc	13.75%	5.8 cm	55.5°C	507.50 cc	36.25%
2.3 cm	156.9°C	201.25 cc	14.38%	5.9 cm	50.9°C	516.25 cc	36.88%
2.4 cm	155.3°C	210.00 cc	15.00%	6.0 cm	49.3°C	525.00 cc	37.50%
2.5 cm	153.1°C	218.75 cc	15.63%	6.1 cm	47.4°C	533.75 cc	38.13%
2.6 cm	152.0°C	227.50 cc	16.3%	6.2 cm	45.5°C	542.50 cc	38.75%
2.7 cm	151.1°C	236.25 cc	16.88%	6.3 cm	42.2°C	551.25 cc	39.38%
2.8 cm	150.7°C	245.00 cc	17.50%	6.4 cm	38.5°C	560.00 cc	40.00%
2.9 cm	148.5°C	253.75 cc	18.13%	6.5 cm	34.8°C	568.75 cc	40.63%
3.0 cm	147.6°C	262.50 cc	18.75%	6.6 cm	32.3°C	577.50 cc	41.25%
3.1 cm	146.3°C	271.25 cc	19.38%	6.7 cm	29.2°C	586.25 cc	41.88%
3.2 cm	140.6°C	280.00 cc	20.00%	6.8 cm	25.8°C	595.00 cc	42.50%
3.3 cm	137.9°C	288.75 cc	20.63%	6.9 cm	22.9°C	603.75 cc	43.13%
3.4 cm	136.1°C	297.50 cc	21.25%	7.0 cm	20.6°C	612.50 cc	43.75%

3.5 cm	134.0°C	306.25 cc	21.88%	7.1 cm	18.9°C	621.25 cc	44.38%
3.6 cm	131.5°C	315.00 cc	22.50%	7.2 cm	17.5°C	630.00 cc	45.00%

*將布尺刻度對燒杯內空氣溫度做成下列關係圖(紅色曲線)

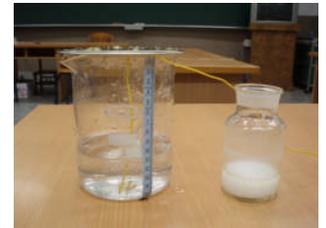
圖十八(布尺刻度對燒杯內空氣溫度關係圖)



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（如右圖十九），由此證明用電湯匙模擬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，我們利用這種方式也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（並讓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，前者是氣泡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也會漸漸增加，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 1-10 根蠟燭燃燒後，水位上升的數據。	8 根蠟燭的水位：630 cc	670 cc	8.00 根蠟燭	94.02%
實驗二		8 根蠟燭的水位：610 cc 9 根蠟燭的水位：660 cc	690 cc	8.40 根蠟燭	91.30%
實驗三		8 根蠟燭的水位：630 cc	790 cc	8.00 根蠟燭	79.74%
實驗四		7 根蠟燭的水位：620 cc 8 根蠟燭的水位：680 cc	790 cc	7.17 根蠟燭	79.74%
實驗五		7 根蠟燭的水位：600 cc 8 根蠟燭的水位：650 cc	700 cc	7.60 根蠟燭	90.00%
實驗六		7 根蠟燭的水位：580 cc 8 根蠟燭的水位：650 cc	680 cc	7.71 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	8.20 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	7.50 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	8.33 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	7.33 根蠟燭	91.30%
		5 7 根蠟燭的水位：630 cc	720 cc	7.00 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 7.75 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 7.75 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。

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.本實驗裝置如右圖，且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	0.00 cc	20.1°C	0.00%
第一天	5.0 mm	36.55 cc	21.2°C	2.61%
第二天	7.3 mm	56.10 cc	19.4°C	4.01%
第三天	10.4 mm	82.45 cc	18.7°C	5.89%
第四天	12.5 mm	100.30 cc	20.3°C	7.16%
第五天	14.5 mm	117.30 cc	19.5°C	8.38%
第六天	15.8 mm	128.35 cc	18.6°C	9.17%
第七天	16.6 mm	135.15 cc	18.9°C	9.65%
第八天	16.8 mm	136.85 cc	18.9°C	9.78%
第九天	16.7 mm	136.00 cc	18.9°C	9.70%

發現：

- 1.在實驗過程中，會有小水珠凝結在燒杯壁上，溫度無劇烈變化。
- 2.從第七天後，水位幾乎沒有繼續攀升，水位最高到達 16.8 mm。
- 3.檢視九天後生鏽的鋼棉，發現仍有部分的鋼棉未見生鏽。

《比較與判斷》

我們眾所皆知的一項知識，氧氣占空氣比率約為(20.95%)，可是在上述實驗中，無法以此證明之。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。

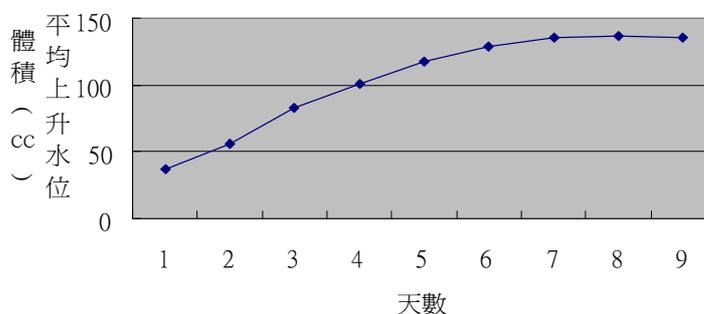
《綜合歸納》

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

圖二十 鋼棉生鏽水位上升圖



況下，應能使數據更加精準。

研究方法（五）：以電湯匙加熱方式了解氮氣、氧氣熱脹冷縮的影響程度

我們的想法：

*從實驗十的結果，我們知道空氣體積於受熱膨脹後再冷卻縮小對水位上升的影響力，並了解到實驗所觀察到水裡的氣泡是代表空氣已溶於水中的證據。而實驗十一的研究架構是以空氣組成成分改變作為實驗架構，此時，我們突發奇想，若杯內空氣完全是氮氣或氧氣的話，同樣實驗十的操作方式，水位上升是如何？也就是我們想了解，到底是氮氣熱脹冷縮的體積變化較大，還是氧氣熱脹冷縮後的體積變化較大？

【實驗十二】實驗方法與裝置：

*杯內空氣分別為氮氣和氧氣，氮氣由氣體公司購得，純度達 99.99% 以上，氧氣取得來源有五種，分別是(1)雙氧水+豬肝(2)雙氧水+雞肝(3)雙氧水+紅蘿蔔絲(4)雙氧水+橘子皮(5)醫療用氧氣瓶(純度達 99.99% 以上)，並依五年級課本操作，使用排水集氣法收集各氣體後，進行本實驗。

- 1.實驗裝置如實驗十所示，使用大型盛水容器盛水 3000 cc，水溫 23-24℃
- 2.將電湯匙接上電源，燒杯內氣體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

實驗結果 1：(燒杯內為氮氣，探測第三受測點最高溫度為 292.8 °C，室溫為 23.7 °C)

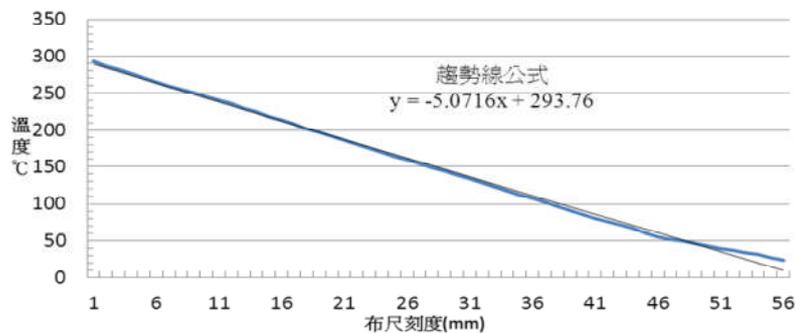
* 經過換算結果，每增加 0.1 cm，體積就增加 8.75 cc

布尺刻度	溫度	上升水位 體積	占燒杯內 實際體積	布尺刻度	溫度	上升水位 體積	占燒杯內 實際體積
0.1 cm	292.8°C	8.75 cc	0.63%	2.9 cm	144.2°C	253.75 cc	18.13%
0.2 cm	286.3°C	17.50 cc	1.25%	3.0 cm	138.6°C	262.50 cc	18.75%
0.3 cm	281.6°C	26.25 cc	1.88%	3.1 cm	134.2°C	271.25 cc	19.38%
0.4 cm	275.8°C	35.00 cc	2.50%	3.2 cm	129.2°C	280.00 cc	20.00%
0.5 cm	270.3°C	43.75 cc	3.13%	3.3 cm	123.7°C	288.75 cc	20.63%
0.6 cm	264.6°C	52.50 cc	3.80%	3.4 cm	118.2°C	297.50 cc	21.25%
0.7 cm	259.7°C	61.25 cc	4.38%	3.5 cm	112.5°C	306.25 cc	21.88%
0.8 cm	254.7°C	70.00 cc	5.00%	3.6 cm	107.6°C	315.00 cc	22.50%
0.9 cm	250.2°C	78.75 cc	5.63%	3.7 cm	102.4°C	323.75 cc	23.13%
1.0 cm	244.7°C	87.50 cc	6.25%	3.8 cm	96.7°C	332.50 cc	23.75%
1.1 cm	240.5°C	96.25 cc	6.88%	3.9 cm	91.5°C	341.25 cc	24.38%
1.2 cm	236.3°C	105.00 cc	7.50%	4.0 cm	86.1°C	350.00 cc	25.00%
1.3 cm	229.7°C	113.75 cc	8.13%	4.1 cm	80.3°C	358.75 cc	25.63%
1.4 cm	224.5°C	122.50 cc	8.75%	4.2 cm	75.7°C	367.50 cc	26.25%
1.5 cm	218.8°C	131.25 cc	9.38%	4.3 cm	71.2°C	376.25 cc	26.88%
1.6 cm	214.3°C	140.00 cc	10.00%	4.4 cm	66.3°C	385.00 cc	27.50%
1.7 cm	208.2°C	148.75 cc	10.63%	4.5 cm	60.0°C	393.75 cc	28.13%
1.8 cm	201.5°C	157.50 cc	11.30%	4.6 cm	54.3°C	402.50 cc	28.75%

1.9 cm	196.9°C	166.25 cc	11.88%	4.7 cm	51.2°C	411.25 cc	29.38%
2.0 cm	192.2°C	175.00 cc	12.50%	4.8 cm	48.6°C	420.00 cc	30.00%
2.1 cm	186.3°C	183.75 cc	13.13%	4.9 cm	45.5°C	428.75 cc	30.63%
2.2 cm	181.1°C	192.50 cc	13.75%	5.0 cm	42.5°C	437.50 cc	31.25%
2.3 cm	175.3°C	201.25 cc	14.38%	5.1 cm	38.7°C	446.25 cc	31.88%
2.4 cm	169.8°C	210.00 cc	15.00%	5.2 cm	36.7°C	455.00 cc	32.50%
2.5 cm	164.7°C	218.75 cc	15.63%	5.3 cm	34.1°C	463.75 cc	33.13%
2.6 cm	160.0°C	227.50 cc	16.30%	5.4 cm	31.3°C	472.50 cc	33.75%
2.7 cm	154.6°C	236.25 cc	16.88%	5.5 cm	26.9°C	481.25 cc	34.38%
2.8 cm	148.9°C	245.00 cc	17.50%	5.6 cm	23.7°C	490.00 cc	35.00%

* 將布尺刻度對燒杯內氮氣溫度做成下列關係圖(藍色曲線)

圖二十一(布尺刻度對燒杯內氮氣溫度關係圖)



實驗結果 2:(燒杯內為氧氣[豬肝], 探測第三受測點最高溫度為 295.4 °C, 室溫為 23.6 °C)

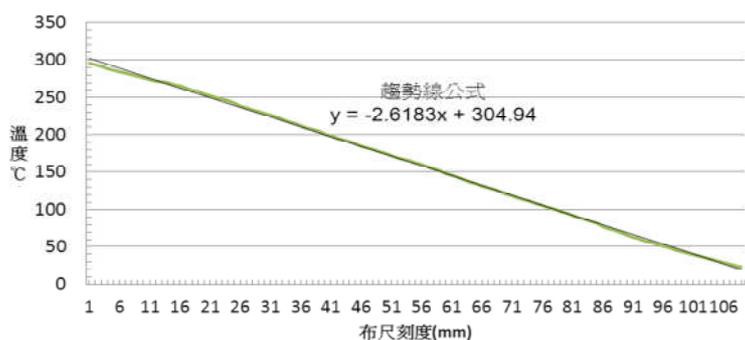
* 經過換算結果, 每增加 0.1 cm, 體積就增加 8.75 cc

布尺刻度	溫度	上升水位 體積	占燒杯內 實際體積	布尺刻度	溫度	上升水位 體積	占燒杯內 實際體積
0.1 cm	295.4°C	8.75 cc	0.63%	5.6 cm	159.7°C	490.00 cc	35.00%
0.2 cm	293.2°C	17.50 cc	1.25%	5.7 cm	157.3°C	498.75 cc	35.63%
0.3 cm	291.4°C	26.25 cc	1.88%	5.8 cm	153.6°C	507.50 cc	36.25%
0.4 cm	288.6°C	35.00 cc	2.50%	5.9 cm	151.7°C	516.25 cc	36.88%
0.5 cm	286.5°C	43.75 cc	3.13%	6.0 cm	147.7°C	525.00 cc	37.50%
0.6 cm	284.4°C	52.50 cc	3.80%	6.1 cm	145.8°C	533.75 cc	38.13%
0.7 cm	282.0°C	61.25 cc	4.38%	6.2 cm	143.0°C	542.50 cc	38.75%
0.8 cm	280.6°C	70.00 cc	5.00%	6.3 cm	140.1°C	551.25 cc	39.38%
0.9 cm	278.6°C	78.75 cc	5.63%	6.4 cm	136.5°C	560.00 cc	40.00%
1.0 cm	276.4°C	87.50 cc	6.25%	6.5 cm	134.7°C	568.75 cc	40.63%
1.1 cm	274.5°C	96.25 cc	6.88%	6.6 cm	131.6°C	577.50 cc	41.25%
1.2 cm	272.5°C	105.00 cc	7.50%	6.7 cm	129.3°C	586.25 cc	41.88%
1.3 cm	271.4°C	113.75 cc	8.13%	6.8 cm	127.1°C	595.00 cc	42.50%
1.4 cm	269.7°C	122.50 cc	8.75%	6.9 cm	124.3°C	603.75 cc	43.13%
1.5 cm	267.5°C	131.25 cc	9.38%	7.0 cm	120.5°C	612.50 cc	43.75%
1.6 cm	265.7°C	140.00 cc	10.00%	7.1 cm	118.7°C	621.25 cc	44.38%

1.7 cm	263.1°C	148.75 cc	10.63%	7.2 cm	115.6°C	630.00 cc	45.00%
1.8 cm	260.3°C	157.50 cc	11.30%	7.3 cm	113.5°C	638.75 cc	45.63%
1.9 cm	258.6°C	166.25 cc	11.88%	7.4 cm	111.2°C	647.50 cc	46.25%
2.0 cm	255.0°C	175.00 cc	12.50%	7.5 cm	108.3°C	656.25 cc	46.88%
2.1 cm	253.2°C	183.75 cc	13.13%	7.6 cm	105.7°C	665.00 cc	47.50%
2.2 cm	249.7°C	192.50 cc	13.75%	7.7 cm	103.1°C	673.75 cc	48.13%
2.3 cm	247.6°C	201.25 cc	14.38%	7.8 cm	100.6°C	682.50 cc	48.75%
2.4 cm	245.6°C	210.00 cc	15.00%	7.9 cm	98.4°C	691.25 cc	49.38%
2.5 cm	242.1°C	218.75 cc	15.63%	8.0 cm	95.4°C	700.00 cc	50.00%
2.6 cm	238.8°C	227.50 cc	16.30%	8.1 cm	93.1°C	708.75 cc	50.63%
2.7 cm	236.7°C	236.25 cc	16.88%	8.2 cm	89.6°C	717.50 cc	51.25%
2.8 cm	233.5°C	245.00 cc	17.50%	8.3 cm	87.6°C	726.25 cc	51.88%
2.9 cm	231.2°C	253.75 cc	18.13%	8.4 cm	85.1°C	735.00 cc	52.50%
3.0 cm	228.6°C	262.50 cc	18.75%	8.5 cm	82.4°C	743.75 cc	53.13%
3.1 cm	225.8°C	271.25 cc	19.38%	8.6 cm	77.2°C	752.50 cc	53.75%
3.2 cm	223.2°C	280.00 cc	20.00%	8.7 cm	74.7°C	761.25 cc	54.38%
3.3 cm	220.2°C	288.75 cc	20.63%	8.8 cm	72.1°C	770.00 cc	55.00%
3.4 cm	217.4°C	297.50 cc	21.25%	8.9 cm	68.9°C	778.75 cc	55.63%
3.5 cm	214.6°C	306.25 cc	21.88%	9.0 cm	66.0°C	787.50 cc	56.25%
3.6 cm	212.2°C	315.00 cc	22.50%	9.1 cm	63.5°C	796.25 cc	56.88%
3.7 cm	209.3°C	323.75 cc	23.13%	9.2 cm	61.6°C	805.00 cc	57.50%
3.8 cm	206.9°C	332.50 cc	23.75%	9.3 cm	58.4°C	813.75 cc	58.13%
3.9 cm	204.4°C	341.25 cc	24.38%	9.4 cm	55.6°C	822.50 cc	58.75%
4.0 cm	201.0°C	350.00 cc	25.00%	9.5 cm	53.2°C	831.25 cc	59.38%
4.1 cm	198.9°C	358.75 cc	25.63%	9.6 cm	51.5°C	840.00 cc	60.00%
4.2 cm	195.6°C	367.50 cc	26.25%	9.7 cm	48.9°C	848.75 cc	60.63%
4.3 cm	193.4°C	376.25 cc	26.88%	9.8 cm	46.3°C	857.50 cc	61.25%
4.4 cm	191.2°C	385.00 cc	27.50%	9.9 cm	44.2°C	866.25 cc	61.88%
4.5 cm	188.3°C	393.75 cc	28.13%	10.0 cm	42.0°C	875.00 cc	62.50%
4.6 cm	184.8°C	402.50 cc	28.75%	10.1 cm	39.7°C	883.75 cc	63.13%
4.7 cm	182.5°C	411.25 cc	29.38%	10.2 cm	37.6°C	892.50 cc	63.75%
4.8 cm	180.1°C	420.00 cc	30.00%	10.3 cm	35.6°C	901.25 cc	64.38%
4.9 cm	177.3°C	428.75 cc	30.63%	10.4 cm	33.3°C	910.00 cc	65.00%
5.0 cm	175.5°C	437.50 cc	31.25%	10.5 cm	31.4°C	918.75 cc	65.63%
5.1 cm	172.4°C	446.25 cc	31.88%	10.6 cm	29.6°C	927.50 cc	66.25%
5.2 cm	169.7°C	455.00 cc	32.50%	10.7 cm	27.6°C	936.25 cc	66.88%
5.3 cm	167.3°C	463.75 cc	33.13%	10.8 cm	25.6°C	945.00 cc	67.50%
5.4 cm	165.3°C	472.50 cc	33.75%	10.9 cm	23.6°C	953.75 cc	68.13%
5.5 cm	162.5°C	481.25 cc	34.38%				

*將布尺刻度對燒杯內氧氣[豬肝]溫度做成下列關係圖(綠色曲線)

圖二十二(布尺刻度對燒杯內氧氣溫度關係圖)豬肝



實驗結果 3:(燒杯內為氧氣[雞肝],探測第三受測點最高溫度為 294.5 °C,室溫為 23.3 °C)

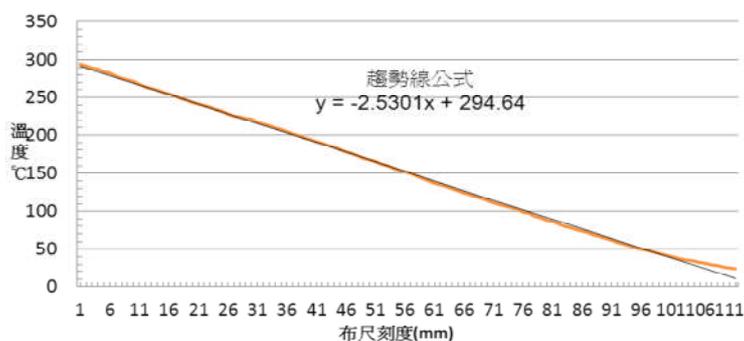
* 經過換算結果,每增加 0.1 cm,體積就增加 8.75 cc

布尺刻度	溫度	上升水位 體積	占燒杯內 實際體積	布尺刻度	溫度	上升水位 體積	占燒杯內 實際體積
0.1 cm	294.5°C	8.75 cc	0.63%	5.7 cm	149.2°C	498.75 cc	35.63%
0.2 cm	292.2°C	17.50 cc	1.25%	5.8 cm	146.2°C	507.50 cc	36.25%
0.3 cm	289.3°C	26.25 cc	1.88%	5.9 cm	143.3°C	516.25 cc	36.88%
0.4 cm	287.6°C	35.00 cc	2.50%	6.0 cm	140.8°C	525.00 cc	37.50%
0.5 cm	284.1°C	43.75 cc	3.13%	6.1 cm	137.6°C	533.75 cc	38.13%
0.6 cm	282.3°C	52.50 cc	3.80%	6.2 cm	135.5°C	542.50 cc	38.75%
0.7 cm	278.9°C	61.25 cc	4.38%	6.3 cm	133.4°C	551.25 cc	39.38%
0.8 cm	275.7°C	70.00 cc	5.00%	6.4 cm	130.1°C	560.00 cc	40.00%
0.9 cm	273.5°C	78.75 cc	5.63%	6.5 cm	127.7°C	568.75 cc	40.63%
1.0 cm	271.2°C	87.50 cc	6.25%	6.6 cm	124.7°C	577.50 cc	41.25%
1.1 cm	267.3°C	96.25 cc	6.88%	6.7 cm	122.2°C	586.25 cc	41.88%
1.2 cm	264.0°C	105.00 cc	7.50%	6.8 cm	119.4°C	595.00 cc	42.50%
1.3 cm	262.0°C	113.75 cc	8.13%	6.9 cm	117.2°C	603.75 cc	43.13%
1.4 cm	259.5°C	122.50 cc	8.75%	7.0 cm	114.2°C	612.50 cc	43.75%
1.5 cm	257.3°C	131.25 cc	9.38%	7.1 cm	111.6°C	621.25 cc	44.38%
1.6 cm	254.6°C	140.00 cc	10.00%	7.2 cm	109.0°C	630.00 cc	45.00%
1.7 cm	252.1°C	148.75 cc	10.63%	7.3 cm	106.8°C	638.75 cc	45.63%
1.8 cm	248.7°C	157.50 cc	11.30%	7.4 cm	104.5°C	647.50 cc	46.25%
1.9 cm	246.7°C	166.25 cc	11.88%	7.5 cm	102.6°C	656.25 cc	46.88%
2.0 cm	243.6°C	175.00 cc	12.50%	7.6 cm	99.2°C	665.00 cc	47.50%
2.1 cm	241.4°C	183.75 cc	13.13%	7.7 cm	97.3°C	673.75 cc	48.13%
2.2 cm	239.6°C	192.50 cc	13.75%	7.8 cm	94.0°C	682.50 cc	48.75%
2.3 cm	237.0°C	201.25 cc	14.38%	7.9 cm	91.7°C	691.25 cc	49.38%
2.4 cm	234.3°C	210.00 cc	15.00%	8.0 cm	88.6°C	700.00 cc	50.00%
2.5 cm	231.6°C	218.75 cc	15.63%	8.1 cm	86.3°C	708.75 cc	50.63%
2.6 cm	228.7°C	227.50 cc	16.30%	8.2 cm	83.1°C	717.50 cc	51.25%

2.7 cm	226.1°C	236.25 cc	16.88%	8.3 cm	79.6°C	726.25 cc	51.88%
2.8 cm	224.5°C	245.00 cc	17.50%	8.4 cm	77.8°C	735.00 cc	52.50%
2.9 cm	222.9°C	253.75 cc	18.13%	8.5 cm	75.8°C	743.75 cc	53.13%
3.0 cm	221.0°C	262.50 cc	18.75%	8.6 cm	73.5°C	752.50 cc	53.75%
3.1 cm	217.8°C	271.25 cc	19.38%	8.7 cm	71.5°C	761.25 cc	54.38%
3.2 cm	215.6°C	280.00 cc	20.00%	8.8 cm	69.0°C	770.00 cc	55.00%
3.3 cm	213.1°C	288.75 cc	20.63%	8.9 cm	66.9°C	778.75 cc	55.63%
3.4 cm	210.2°C	297.50 cc	21.25%	9.0 cm	64.6°C	787.50 cc	56.25%
3.5 cm	207.7°C	306.25 cc	21.88%	9.1 cm	62.2°C	796.25 cc	56.88%
3.6 cm	204.7°C	315.00 cc	22.50%	9.2 cm	59.4°C	805.00 cc	57.50%
3.7 cm	202.1°C	323.75 cc	23.13%	9.3 cm	57.3°C	813.75 cc	58.13%
3.8 cm	199.8°C	332.50 cc	23.75%	9.4 cm	55.0°C	822.50 cc	58.75%
3.9 cm	196.7°C	341.25 cc	24.38%	9.5 cm	52.3°C	831.25 cc	59.38%
4.0 cm	194.0°C	350.00 cc	25.00%	9.6 cm	50.3°C	840.00 cc	60.00%
4.1 cm	191.2°C	358.75 cc	25.63%	9.7 cm	48.8°C	848.75 cc	60.63%
4.2 cm	188.9°C	367.50 cc	26.25%	9.8 cm	46.6°C	857.50 cc	61.25%
4.3 cm	185.7°C	376.25 cc	26.88%	9.9 cm	44.6°C	866.25 cc	61.88%
4.4 cm	183.5°C	385.00 cc	27.50%	10.0 cm	42.2°C	875.00 cc	62.50%
4.5 cm	181.2°C	393.75 cc	28.13%	10.1 cm	40.2°C	883.75 cc	63.13%
4.6 cm	178.1°C	402.50 cc	28.75%	10.2 cm	38.8°C	892.50 cc	63.75%
4.7 cm	175.6°C	411.25 cc	29.38%	10.3 cm	36.7°C	901.25 cc	64.38%
4.8 cm	173.0°C	420.00 cc	30.00%	10.4 cm	35.0°C	910.00 cc	65.00%
4.9 cm	169.0°C	428.75 cc	30.63%	10.5 cm	33.9°C	918.75 cc	65.63%
5.0 cm	167.7°C	437.50 cc	31.25%	10.6 cm	32.0°C	927.50 cc	66.25%
5.1 cm	165.6°C	446.25 cc	31.88%	10.7 cm	30.7°C	936.25 cc	66.88%
5.2 cm	162.3°C	455.00 cc	32.50%	10.8 cm	29.3°C	945.00 cc	67.50%
5.3 cm	159.7°C	463.75 cc	33.13%	10.9 cm	27.9°C	953.75 cc	68.13%
5.4 cm	157.0°C	472.50 cc	33.75%	11.0 cm	25.6°C	962.50 cc	68.75%
5.5 cm	153.4°C	481.25 cc	34.38%	11.1 cm	24.5°C	971.25 cc	69.38%
5.6 cm	151.6°C	490.00 cc	35.00%	11.2 cm	23.3°C	980.00 cc	70.00%

*將布尺刻度對燒杯內氧氣[雞肝]溫度做成下列關係圖(橘色曲線)

圖二十三(布尺刻度對燒杯內氧氣溫度關係圖)雞肝



實驗結果4:(燒杯內為氧氣[蘿蔔絲],探測第三受測點最高溫度為 297.2 °C,室溫為 23.6 °C)

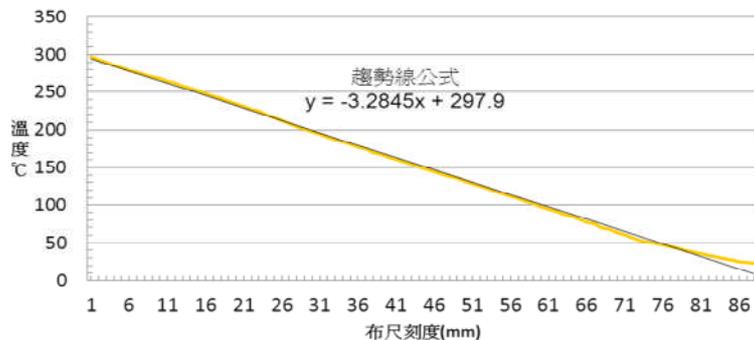
* 經過換算結果,每增加 0.1 cm,體積就增加 8.75 cc

布尺刻度	溫度	上升水位 體積	占燒杯內 實際體積	布尺刻度	溫度	上升水位 體積	占燒杯內 實際體積
0.1 cm	297.2°C	8.75 cc	0.63%	4.5 cm	147.6°C	393.75 cc	28.13%
0.2 cm	293.4°C	17.50 cc	1.25%	4.6 cm	144.0°C	402.50 cc	28.75%
0.3 cm	289.6°C	26.25 cc	1.88%	4.7 cm	141.2°C	411.25 cc	29.38%
0.4 cm	286.2°C	35.00 cc	2.50%	4.8 cm	138.4°C	420.00 cc	30.00%
0.5 cm	282.4°C	43.75 cc	3.13%	4.9 cm	135.6°C	428.75 cc	30.63%
0.6 cm	279.0°C	52.50 cc	3.80%	5.0 cm	132.1°C	437.50 cc	31.25%
0.7 cm	276.3°C	61.25 cc	4.38%	5.1 cm	128.9°C	446.25 cc	31.88%
0.8 cm	273.1°C	70.00 cc	5.00%	5.2 cm	125.7°C	455.00 cc	32.50%
0.9 cm	270.5°C	78.75 cc	5.63%	5.3 cm	122.2°C	463.75 cc	33.13%
1.0 cm	267.8°C	87.50 cc	6.25%	5.4 cm	118.5°C	472.50 cc	33.75%
1.1 cm	264.2°C	96.25 cc	6.88%	5.5 cm	115.7°C	481.25 cc	34.38%
1.2 cm	262.1°C	105.00 cc	7.50%	5.6 cm	112.1°C	490.00 cc	35.00%
1.3 cm	258.0°C	113.75 cc	8.13%	5.7 cm	108.9°C	498.75 cc	35.63%
1.4 cm	254.4°C	122.50 cc	8.75%	5.8 cm	104.6°C	507.50 cc	36.25%
1.5 cm	251.7°C	131.25 cc	9.38%	5.9 cm	101.5°C	516.25 cc	36.88%
1.6 cm	247.4°C	140.00 cc	10.00%	6.0 cm	97.8°C	525.00 cc	37.50%
1.7 cm	244.7°C	148.75 cc	10.63%	6.1 cm	94.7°C	533.75 cc	38.13%
1.8 cm	241.1°C	157.50 cc	11.30%	6.2 cm	91.1°C	542.50 cc	38.75%
1.9 cm	237.8°C	166.25 cc	11.88%	6.3 cm	87.9°C	551.25 cc	39.38%
2.0 cm	234.4°C	175.00 cc	12.50%	6.4 cm	85.2°C	560.00 cc	40.00%
2.1 cm	231.2°C	183.75 cc	13.13%	6.5 cm	81.3°C	568.75 cc	40.63%
2.2 cm	227.3°C	192.50 cc	13.75%	6.6 cm	77.2°C	577.50 cc	41.25%
2.3 cm	224.7°C	201.25 cc	14.38%	6.7 cm	74.8°C	586.25 cc	41.88%
2.4 cm	219.8°C	210.00 cc	15.00%	6.8 cm	70.0°C	595.00 cc	42.50%
2.5 cm	216.8°C	218.75 cc	15.63%	6.9 cm	67.9°C	603.75 cc	43.13%
2.6 cm	212.1°C	227.50 cc	16.30%	7.0 cm	63.6°C	612.50 cc	43.75%
2.7 cm	208.8°C	236.25 cc	16.88%	7.1 cm	60.2°C	621.25 cc	44.38%
2.8 cm	204.6°C	245.00 cc	17.50%	7.2 cm	56.4°C	630.00 cc	45.00%
2.9 cm	201.6°C	253.75 cc	18.13%	7.3 cm	53.7°C	638.75 cc	45.63%
3.0 cm	197.8°C	262.50 cc	18.75%	7.4 cm	51.2°C	647.50 cc	46.25%
3.1 cm	194.5°C	271.25 cc	19.38%	7.5 cm	49.4°C	656.25 cc	46.88%
3.2 cm	190.5°C	280.00 cc	20.00%	7.6 cm	47.2°C	665.00 cc	47.50%
3.3 cm	187.9°C	288.75 cc	20.63%	7.7 cm	45.1°C	673.75 cc	48.13%
3.4 cm	184.6°C	297.50 cc	21.25%	7.8 cm	42.6°C	682.50 cc	48.75%
3.5 cm	181.5°C	306.25 cc	21.88%	7.9 cm	40.1°C	691.25 cc	49.38%

3.6 cm	177.8°C	315.00 cc	22.50%	8.0 cm	37.8°C	700.00 cc	50.00%
3.7 cm	174.8°C	323.75 cc	23.13%	8.1 cm	35.4°C	708.75 cc	50.63%
3.8 cm	170.2°C	332.50 cc	23.75%	8.2 cm	33.2°C	717.50 cc	51.25%
3.9 cm	167.8°C	341.25 cc	24.38%	8.3 cm	31.4°C	726.25 cc	51.88%
4.0 cm	164.3°C	350.00 cc	25.00%	8.4 cm	29.6°C	735.00 cc	52.50%
4.1 cm	160.3°C	358.75 cc	25.63%	8.5 cm	27.8°C	743.75 cc	53.13%
4.2 cm	157.4°C	367.50 cc	26.25%	8.6 cm	25.4°C	752.50 cc	53.75%
4.3 cm	154.3°C	376.25 cc	26.88%	8.7 cm	24.5°C	761.25 cc	54.38%
4.4 cm	150.2°C	385.00 cc	27.50%	8.8 cm	23.6°C	770.00 cc	55.00%

* 將布尺刻度對燒杯內氧氣[紅蘿蔔絲]溫度做成下列關係圖(黃色曲線)

圖二十四(布尺刻度對燒杯內氧氣溫度關係圖)紅蘿蔔絲



實驗結果 5: (燒杯內為氧氣[橘子], 探測第三受測點最高溫度為 295.6 °C, 室溫為 24.3 °C)

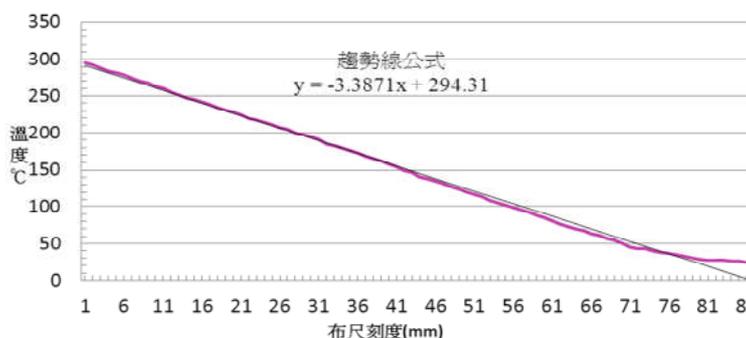
* 經過換算結果, 每增加 0.1 cm, 體積就增加 8.75 cc

布尺刻度	溫度	上升水位 體積	占燒杯內 實際體積	布尺刻度	溫度	上升水位 體積	占燒杯內 實際體積
0.1 cm	295.6°C	8.75 cc	0.63%	4.4 cm	141.0°C	385.00 cc	27.50%
0.2 cm	292.3°C	17.50 cc	1.25%	4.5 cm	138.7°C	393.75 cc	28.13%
0.3 cm	288.5°C	26.25 cc	1.88%	4.6 cm	135.6°C	402.50 cc	28.75%
0.4 cm	284.1°C	35.00 cc	2.50%	4.7 cm	132.1°C	411.25 cc	29.38%
0.5 cm	282.1°C	43.75 cc	3.13%	4.8 cm	127.5°C	420.00 cc	30.00%
0.6 cm	278.4°C	52.50 cc	3.80%	4.9 cm	124.7°C	428.75 cc	30.63%
0.7 cm	274.5°C	61.25 cc	4.38%	5.0 cm	120.2°C	437.50 cc	31.25%
0.8 cm	270.0°C	70.00 cc	5.00%	5.1 cm	116.8°C	446.25 cc	31.88%
0.9 cm	267.3°C	78.75 cc	5.63%	5.2 cm	113.5°C	455.00 cc	32.50%
1.0 cm	262.5°C	87.50 cc	6.25%	5.3 cm	108.7°C	463.75 cc	33.13%
1.1 cm	259.8°C	96.25 cc	6.88%	5.4 cm	105.6°C	472.50 cc	33.75%
1.2 cm	255.3°C	105.00 cc	7.50%	5.5 cm	102.1°C	481.25 cc	34.38%
1.3 cm	251.7°C	113.75 cc	8.13%	5.6 cm	98.5°C	490.00 cc	35.00%
1.4 cm	247.8°C	122.50 cc	8.75%	5.7 cm	95.3°C	498.75 cc	35.63%
1.5 cm	245.0°C	131.25 cc	9.38%	5.8 cm	92.4°C	507.50 cc	36.25%
1.6 cm	242.4°C	140.00 cc	10.00%	5.9 cm	88.3°C	516.25 cc	36.88%
1.7 cm	238.5°C	148.75 cc	10.63%	6.0 cm	84.6°C	525.00 cc	37.50%

1.8 cm	234.7°C	157.50 cc	11.30%	6.1 cm	80.2°C	533.75 cc	38.13%
1.9 cm	231.0°C	166.25 cc	11.88%	6.2 cm	76.8°C	542.50 cc	38.75%
2.0 cm	227.6°C	175.00 cc	12.50%	6.3 cm	73.6°C	551.25 cc	39.38%
2.1 cm	224.7°C	183.75 cc	13.13%	6.4 cm	70.3°C	560.00 cc	40.00%
2.2 cm	219.7°C	192.50 cc	13.75%	6.5 cm	67.3°C	568.75 cc	40.63%
2.3 cm	217.8°C	201.25 cc	14.38%	6.6 cm	63.6°C	577.50 cc	41.25%
2.4 cm	214.3°C	210.00 cc	15.00%	6.7 cm	61.5°C	586.25 cc	41.88%
2.5 cm	210.5°C	218.75 cc	15.63%	6.8 cm	57.3°C	595.00 cc	42.50%
2.6 cm	206.7°C	227.50 cc	16.30%	6.9 cm	54.6°C	603.75 cc	43.13%
2.7 cm	204.7°C	236.25 cc	16.88%	7.0 cm	50.7°C	612.50 cc	43.75%
2.8 cm	199.6°C	245.00 cc	17.50%	7.1 cm	45.3°C	621.25 cc	44.38%
2.9 cm	196.9°C	253.75 cc	18.13%	7.2 cm	43.6°C	630.00 cc	45.00%
3.0 cm	193.6°C	262.50 cc	18.75%	7.3 cm	42.7°C	638.75 cc	45.63%
3.1 cm	190.2°C	271.25 cc	19.38%	7.4 cm	39.7°C	647.50 cc	46.25%
3.2 cm	184.6°C	280.00 cc	20.00%	7.5 cm	37.6°C	656.25 cc	46.88%
3.3 cm	182.4°C	288.75 cc	20.63%	7.6 cm	36.3°C	665.00 cc	47.50%
3.4 cm	178.7°C	297.50 cc	21.25%	7.7 cm	34.5°C	673.75 cc	48.13%
3.5 cm	175.7°C	306.25 cc	21.88%	7.8 cm	32.7°C	682.50 cc	48.75%
3.6 cm	172.2°C	315.00 cc	22.50%	7.9 cm	30.3°C	691.25 cc	49.38%
3.7 cm	168.4°C	323.75 cc	23.13%	8.0 cm	28.6°C	700.00 cc	50.00%
3.8 cm	165.3°C	332.50 cc	23.75%	8.1 cm	27.5°C	708.75 cc	50.63%
3.9 cm	161.7°C	341.25 cc	24.38%	8.2 cm	27.2°C	717.50 cc	51.25%
4.0 cm	157.6°C	350.00 cc	25.00%	8.3 cm	26.7°C	726.25 cc	51.88%
4.1 cm	154.4°C	358.75 cc	25.63%	8.4 cm	26.1°C	735.00 cc	52.50%
4.2 cm	148.7°C	367.50 cc	26.25%	8.5 cm	25.7°C	743.75 cc	53.13%
4.3 cm	146.5°C	376.25 cc	26.88%	8.6 cm	24.3°C	752.50 cc	53.75%

* 將布尺刻度對燒杯內氧氣[橘子皮]溫度做成下列關係圖(紫色曲線)

圖二十五(布尺刻度對燒杯內氧氣溫度關係圖)橘子皮



實驗結果 6: (燒杯內為純氧，探測第三受測點最高溫度為 295.6 °C，室溫為 23.6 °C)

* 經過換算結果，每增加 0.1 cm，體積就增加 8.75 cc

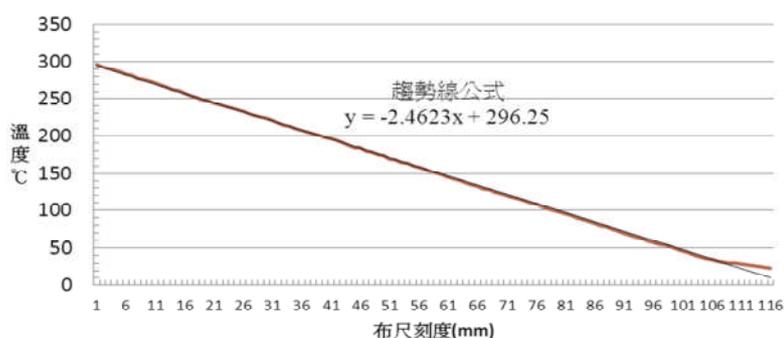
布尺刻度	溫度\	上升水位 體積	占燒杯內 實際體積	布尺刻度	溫度	上升水位 體積	占燒杯內 實際體積
------	-----	------------	--------------	------	----	------------	--------------

0.1 cm	295.6°C	8.75 cc	0.63%	5.9 cm	150.2°C	516.25 cc	36.88%
0.2 cm	293.1°C	17.50 cc	1.25%	6.0 cm	147.7°C	525.00 cc	37.50%
0.3 cm	290.3°C	26.25 cc	1.88%	6.1 cm	144.5°C	533.75 cc	38.13%
0.4 cm	288.0°C	35.00 cc	2.50%	6.2 cm	142.3°C	542.50 cc	38.75%
0.5 cm	285.4°C	43.75 cc	3.13%	6.3 cm	140.2°C	551.25 cc	39.38%
0.6 cm	282.8°C	52.50 cc	3.80%	6.4 cm	136.9°C	560.00 cc	40.00%
0.7 cm	281.2°C	61.25 cc	4.38%	6.5 cm	134.3°C	568.75 cc	40.63%
0.8 cm	277.4°C	70.00 cc	5.00%	6.6 cm	132.2°C	577.50 cc	41.25%
0.9 cm	275.7°C	78.75 cc	5.63%	6.7 cm	128.8°C	586.25 cc	41.88%
1.0 cm	273.8°C	87.50 cc	6.25%	6.8 cm	127.7°C	595.00 cc	42.50%
1.1 cm	271.3°C	96.25 cc	6.88%	6.9 cm	124.5°C	603.75 cc	43.13%
1.2 cm	268.1°C	105.00 cc	7.50%	7.0 cm	122.6°C	612.50 cc	43.75%
1.3 cm	265.8°C	113.75 cc	8.13%	7.1 cm	119.8°C	621.25 cc	44.38%
1.4 cm	262.6°C	122.50 cc	8.75%	7.2 cm	117.8°C	630.00 cc	45.00%
1.5 cm	260.8°C	131.25 cc	9.38%	7.3 cm	115.3°C	638.75 cc	45.63%
1.6 cm	257.7°C	140.00 cc	10.00%	7.4 cm	113.4°C	647.50 cc	46.25%
1.7 cm	254.6°C	148.75 cc	10.63%	7.5 cm	110.2°C	656.25 cc	46.88%
1.8 cm	252.3°C	157.50 cc	11.30%	7.6 cm	108.3°C	665.00 cc	47.50%
1.9 cm	248.9°C	166.25 cc	11.88%	7.7 cm	104.6°C	673.75 cc	48.13%
2.0 cm	247.2°C	175.00 cc	12.50%	7.8 cm	102.2°C	682.50 cc	48.75%
2.1 cm	244.5°C	183.75 cc	13.13%	7.9 cm	99.4°C	691.25 cc	49.38%
2.2 cm	241.7°C	192.50 cc	13.75%	8.0 cm	97.7°C	700.00 cc	50.00%
2.3 cm	239.7°C	201.25 cc	14.38%	8.1 cm	95.2°C	708.75 cc	50.63%
2.4 cm	237.3°C	210.00 cc	15.00%	8.2 cm	92.9°C	717.50 cc	51.25%
2.5 cm	235.7°C	218.75 cc	15.63%	8.3 cm	89.6°C	726.25 cc	51.88%
2.6 cm	233.2°C	227.50 cc	16.30%	8.4 cm	87.2°C	735.00 cc	52.50%
2.7 cm	230.1°C	236.25 cc	16.88%	8.5 cm	84.6°C	743.75 cc	53.13%
2.8 cm	227.6°C	245.00 cc	17.50%	8.6 cm	83.2°C	752.50 cc	53.75%
2.9 cm	225.4°C	253.75 cc	18.13%	8.7 cm	79.7°C	761.25 cc	54.38%
3.0 cm	223.7°C	262.50 cc	18.75%	8.8 cm	78.0°C	770.00 cc	55.00%
3.1 cm	220.5°C	271.25 cc	19.38%	8.9 cm	74.6°C	778.75 cc	55.63%
3.2 cm	217.5°C	280.00 cc	20.00%	9.0 cm	72.4°C	787.50 cc	56.25%
3.3 cm	214.3°C	288.75 cc	20.63%	9.1 cm	69.5°C	796.25 cc	56.88%
3.4 cm	212.5°C	297.50 cc	21.25%	9.2 cm	67.3°C	805.00 cc	57.50%
3.5 cm	209.6°C	306.25 cc	21.88%	9.3 cm	64.6°C	813.75 cc	58.13%
3.6 cm	207.3°C	315.00 cc	22.50%	9.4 cm	63.1°C	822.50 cc	58.75%
3.7 cm	204.7°C	323.75 cc	23.13%	9.5 cm	59.7°C	831.25 cc	59.38%
3.8 cm	202.5°C	332.50 cc	23.75%	9.6 cm	57.4°C	840.00 cc	60.00%
3.9 cm	200.1°C	341.25 cc	24.38%	9.7 cm	55.3°C	848.75 cc	60.63%

4.0 cm	197.2°C	350.00 cc	25.00%	9.8 cm	53.7°C	857.50 cc	61.25%
4.1 cm	195.7°C	358.75 cc	25.63%	9.9 cm	51.2°C	866.25 cc	61.88%
4.2 cm	193.5°C	367.50 cc	26.25%	10.0 cm	47.8°C	875.00 cc	62.50%
4.3 cm	190.2°C	376.25 cc	26.88%	10.1 cm	45.7°C	883.75 cc	63.13%
4.4 cm	187.5°C	385.00 cc	27.50%	10.2 cm	43.6°C	892.50 cc	63.75%
4.5 cm	184.3°C	393.75 cc	28.13%	10.3 cm	40.2°C	901.25 cc	64.38%
4.6 cm	183.5°C	402.50 cc	28.75%	10.4 cm	38.5°C	910.00 cc	65.00%
4.7 cm	179.5°C	411.25 cc	29.38%	10.5 cm	36.2°C	918.75 cc	65.63%
4.8 cm	178.0°C	420.00 cc	30.00%	10.6 cm	34.6°C	927.50 cc	66.25%
4.9 cm	175.2°C	428.75 cc	30.63%	10.7 cm	32.5°C	936.25 cc	66.88%
5.0 cm	173.6°C	437.50 cc	31.25%	10.8 cm	31.5°C	945.00 cc	67.50%
5.1 cm	169.4°C	446.25 cc	31.88%	10.9 cm	30.2°C	953.75 cc	68.13%
5.2 cm	167.9°C	455.00 cc	32.50%	11.0 cm	29.6°C	971.25 cc	69.38%
5.3 cm	164.6°C	463.75 cc	33.13%	11.1 cm	28.5°C	980.00 cc	70.00%
5.4 cm	163.6°C	472.50 cc	33.75%	11.2 cm	27.5°C	988.75 cc	70.63%
5.5 cm	160.2°C	481.25 cc	34.38%	11.3 cm	26.5°C	997.50 cc	71.25%
5.6 cm	157.8°C	490.00 cc	35.00%	11.4 cm	25.2°C	1006.25 cc	71.88%
5.7 cm	155.4°C	498.75 cc	35.63%	11.5 cm	24.1°C	1015.00 cc	72.50%
5.8 cm	152.7°C	507.50 cc	36.25%	11.6 cm	23.6°C	1023.75 cc	73.13%

* 將布尺刻度對燒杯內純氧溫度做成下列關係圖(咖啡色曲線)

圖二十六(布尺刻度對燒杯內純氧溫度關係圖)



★既然手邊有醫療用氧氣與工業氮氣，在好奇心驅使下，我們以空氣中氮氣和氧氣的比例來混合以模擬空氣的熱漲冷縮狀況。

實驗結果 7：(燒杯內為混合氣體，探測第三受測點最高溫度為 297.4 °C，室溫為 23.5 °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

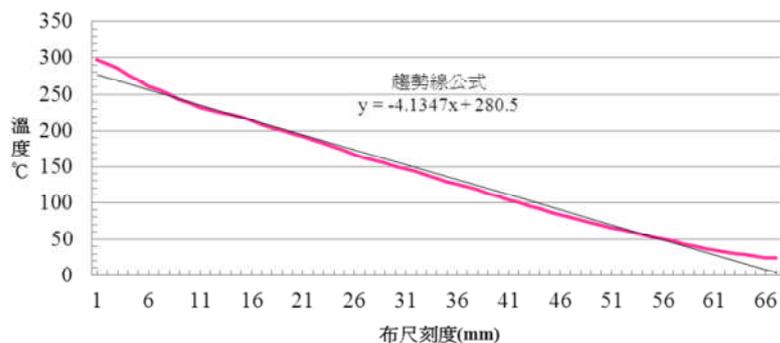
$$1400 \text{ cc (燒杯內實際體積)} \div 16 \text{ cm (燒杯總長度)} = 87.5 \text{ (cc/cm)} = 8.75 \text{ (cc/mm)}$$

布尺刻度	溫度	上升水位 體積	占燒杯內 實際體積	布尺刻度	溫度	上升水位 體積	占燒杯內 實際體積
0.1 cm	297.4°C	8.75 cc	0.63%	3.5 cm	128.4°C	306.25 cc	21.88%
0.2 cm	291.2°C	17.50 cc	1.25%	3.6 cm	124.9°C	315.00 cc	22.50%
0.3 cm	285.5°C	26.25 cc	1.88%	3.7 cm	121.1°C	323.75 cc	23.13%
0.4 cm	275.6°C	35.00 cc	2.50%	3.8 cm	117.8°C	332.50 cc	23.75%

0.5 cm	268.6°C	43.75 cc	3.13%	3.9 cm	112.5°C	341.25 cc	24.38%
0.6 cm	261.2°C	52.50 cc	3.80%	4.0 cm	108.4°C	350.00 cc	25.00%
0.7 cm	256.2°C	61.25 cc	4.38%	4.1 cm	104.3°C	358.75 cc	25.63%
0.8 cm	250.5°C	70.00 cc	5.00%	4.2 cm	99.8°C	367.50 cc	26.25%
0.9 cm	242.6°C	78.75 cc	5.63%	4.3 cm	95.3°C	376.25 cc	26.88%
1.0 cm	237.8°C	87.50 cc	6.25%	4.4 cm	91.7°C	385.00 cc	27.50%
1.1 cm	232.2°C	96.25 cc	6.88%	4.5 cm	87.6°C	393.75 cc	28.13%
1.2 cm	228.6°C	105.00 cc	7.50%	4.6 cm	83.5°C	402.50 cc	28.75%
1.3 cm	225.4°C	113.75 cc	8.13%	4.7 cm	79.7°C	411.25 cc	29.38%
1.4 cm	222.6°C	122.50 cc	8.75%	4.8 cm	76.3°C	420.00 cc	30.00%
1.5 cm	218.6°C	131.25 cc	9.38%	4.9 cm	73.1°C	428.75 cc	30.63%
1.6 cm	214.5°C	140.00 cc	10.00%	5.0 cm	69.5°C	437.50 cc	31.25%
1.7 cm	208.5°C	148.75 cc	10.63%	5.1 cm	66.2°C	446.25 cc	31.88%
1.8 cm	204.2°C	157.50 cc	11.30%	5.2 cm	63.4°C	455.00 cc	32.50%
1.9 cm	200.1°C	166.25 cc	11.88%	5.3 cm	59.7°C	463.75 cc	33.13%
2.0 cm	195.7°C	175.00 cc	12.50%	5.4 cm	56.4°C	472.50 cc	33.75%
2.1 cm	192.1°C	183.75 cc	13.13%	5.5 cm	53.2°C	481.25 cc	34.38%
2.2 cm	187.4°C	192.50 cc	13.75%	5.6 cm	50.4°C	490.00 cc	35.00%
2.3 cm	182.5°C	201.25 cc	14.38%	5.7 cm	47.6°C	498.75 cc	35.63%
2.4 cm	177.7°C	210.00 cc	15.00%	5.8 cm	43.5°C	507.50 cc	36.25%
2.5 cm	172.8°C	218.75 cc	15.63%	5.9 cm	40.2°C	516.25 cc	36.88%
2.6 cm	166.4°C	227.50 cc	16.30%	6.0 cm	37.6°C	525.00 cc	37.50%
2.7 cm	162.5°C	236.25 cc	16.88%	6.1 cm	34.5°C	533.75 cc	38.13%
2.8 cm	158.7°C	245.00 cc	17.50%	6.2 cm	32.3°C	542.50 cc	38.75%
2.9 cm	154.7°C	253.75 cc	18.13%	6.3 cm	30.2°C	551.25 cc	39.38%
3.0 cm	150.4°C	262.50 cc	18.75%	6.4 cm	28.3°C	560.00 cc	40.00%
3.1 cm	146.8°C	271.25 cc	19.38%	6.5 cm	26.6°C	568.75 cc	40.63%
3.2 cm	142.4°C	280.00 cc	20.00%	6.6 cm	24.1°C	577.50 cc	41.25%
3.3 cm	137.7°C	288.75 cc	20.63%	6.7 cm	23.5°C	586.25 cc	41.88%
3.4 cm	133.6°C	297.50 cc	21.25%	6.8 cm			

*將布尺刻度對燒杯內純氧溫度做成下列關係圖(粉紅色曲線)

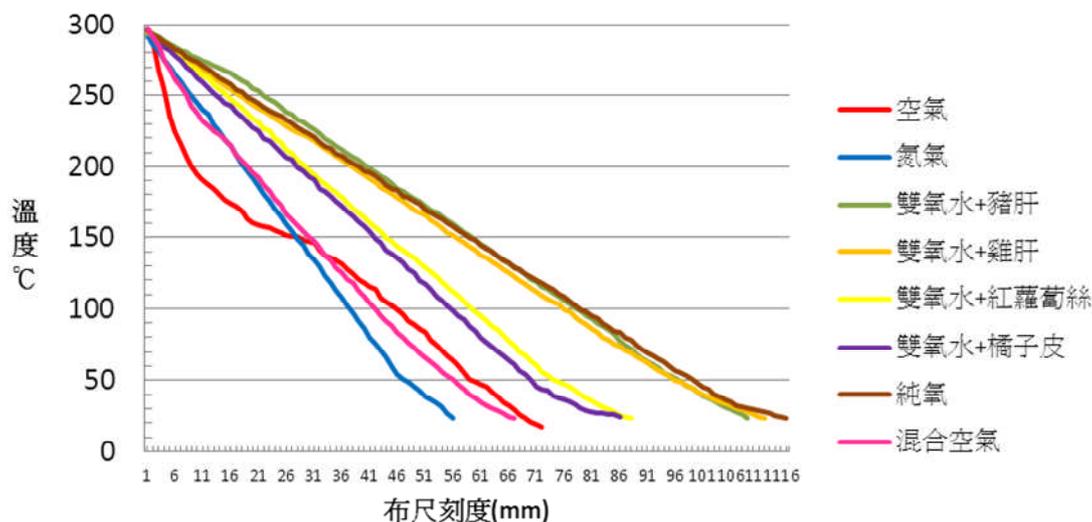
圖二十七(布尺刻度對燒杯內空氣溫度關係圖)混和



《綜合歸納》

在上述的實驗中，我們使用電湯匙來模擬燒杯內各種氣體熱漲冷縮對水位的影響程度。包含真實空氣、工業用氮氣、雙氧水加豬肝製氧氣、雙氧水加雞肝製氧氣、雙氧水加紅蘿蔔絲製氧氣、雙氧水加橘子皮製氧氣、醫療用氧氣、氮氧比 4:1 所混合的空氣，共 8 種實驗氣體。並將其布尺刻度與水位關係綜合製成下圖：

圖二十八(布尺刻度對燒杯內各氣體溫度關係圖)



由上圖可明顯看出

► 真實空氣的紅色曲線有明顯轉折之處(約在 31 mm 或 150 °C 附近)，推論可能是因為空氣為混合物，溫度與水位曲線便反應出其最大特徵(約 4/5 為氮氣，溫度下降快、曲線較陡；約 1/5 為氧氣，溫度下降慢、曲線較緩)。

► 空氣中占最大部分的氮氣為藍色曲線，曲線尚稱平直，但約在 46 mm 附近或 50 °C 附近曲線下降稍緩，與其他曲線相較可看出其曲線下降速度最快，換言之，氮氣的快速降溫速度使其水位高度無法劇烈上升，致使在本實驗裡是所有氣體中水位上升刻度最小的。

► 夾在純氮氣(藍色)與真實空氣(紅色)間的曲線是粉紅色曲線，其由工業氮氣與醫療氧氣以 4:1 比例所混製而成的混合空氣，用以模擬出真實空氣的狀況。可發現曲線似有轉折之處(約在 11mm 或 240°C 附近)，與真實空氣(紅色)曲線相比互有異同。

● 相同：1. 兩曲線有轉折，且轉折前溫度下降快、轉折後溫度下降慢。

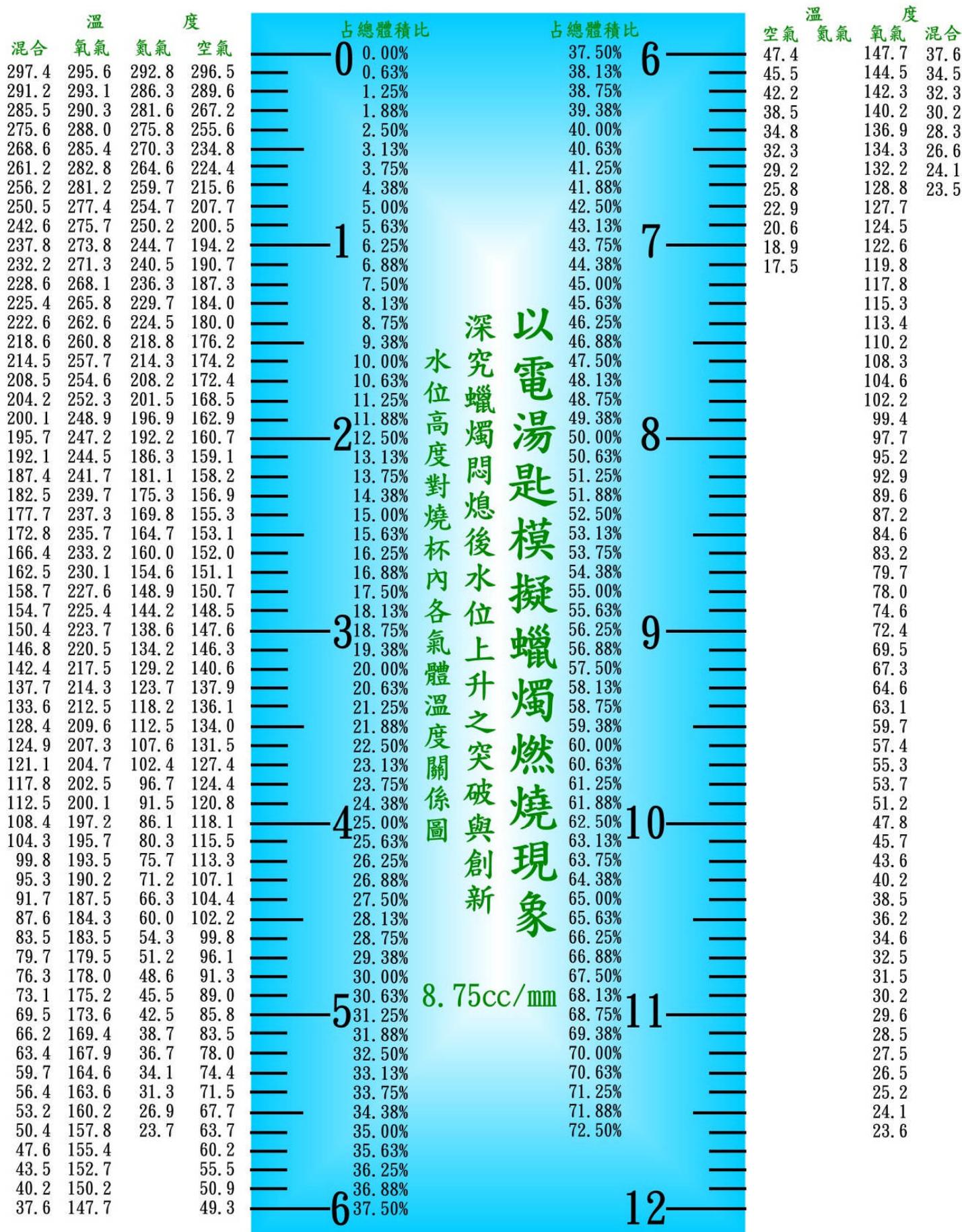
● 相異：1. 兩曲線曲折程度不一，真實空氣(紅色)曲線約在其交會處前，較混合空氣(粉紅色)曲線下降速度快、在其交會處後，較混合空氣(粉紅色)曲線下降速度慢。

► 剩下五條曲線皆為氧氣的曲線，差別在於產生的來源不同。以醫療用氧氣(咖啡色)視為標準來檢驗之，雙氧水加雞肝(橘色曲線)與雙氧水加豬肝(綠色曲線)所產生的氧氣最相似於醫療用氧氣(因其曲線最為貼近)，換言之，此二種製氧方法(雙氧水加雞肝、雙氧水加豬肝)純度最相近於純氧，可供國小教材製備氧氣實驗的參考。另兩條曲線為雙氧水加紅蘿蔔絲(黃色曲線)和雙氧水加橘子皮(紫色曲線)，與前者相比，純度較為不純。

► 8 條曲線在靠近室溫附近的 50°C 左右，曲線皆有較平緩之勢。

► 氮氣溫度下降速度快(曲線較陡)，氧氣溫度下降速度慢(曲線較緩)，以咖啡色曲線(純氧)最高水位刻度 116mm 相較於藍色曲線(氮氣)最高水位刻度 56mm 來說，純氧熱脹冷縮約為氮氣熱脹冷縮的 2.07 倍。也就是說相較於氮氣而言，氧氣在熱脹冷縮後較能使水位刻度上升。

►自製空氣、氮氣與氧氣溫標(也就是水位-溫度直尺圖)，如下圖二十九



柒：討論與結論

- 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操縱變因影響不大。
- 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，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 根蠟燭瞬間造成二氧化碳濃度過高，使得蠟燭熄滅較快，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 7.75 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。
- 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%。
- 六、真實空氣的溫度下降曲線有轉折處，是因為空氣屬於混合物，會分別展現出空氣成分的最大特徵，包含占五分之四的氮氣（溫度下降快速）、占五分之一的氧氣（溫度下降緩慢）。
- 七、實驗結果發現，氧氣熱脹冷縮後的差異約為氮氣熱脹冷縮後的 2.07 倍。也就是說，氧氣較能提供空間給水量上升。
- 八、另外從氧氣的溫度下降曲線可發現，雙氧水加雞肝與雙氧水加豬肝所製成的氧氣，其純度最相近於純氧，此點可做為國小教材製備氧氣實驗的參考。

捌：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。

玖：參考資料及其他

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。

【評語】 080115

1. 研究設計嚴謹，實驗變因的考慮周詳。
2. 能對現象作更深入的探討且有巧思，十分難得。
3. 部分結論的說服力可再加強。