

# 步步高升

高小組 第二名

縣市：高雄縣

校名：後紅國小

作者：沈映廷、劉菀真、郭力仰

指導教師：陳榮祥、丁敏雄



郭力仰：我的名字是郭力仰，民國78年7月12日生於高雄縣岡山鎮，目前就讀於岡山鎮後紅國小五年忠班，我喜歡玩電腦、打球與閱讀有關科學、大自然的書籍。很幸運能參加這次全國科展，除了瞭解「玻璃瓶裡的水上升是受到熱脹冷縮的影響」之外，也學到如何做實驗，如何與別人合作的寶貴經驗。

劉菀真：我的名字叫劉菀真，家中排老三，有兩個個性溫柔的姊姊，因此也養成了我依賴的習慣。我是典型B型的人，對朋友和善，對家中小弟卻沒耐性，常爲了他一句話，氣得暴跳如雷。家中經濟還可以，所以我學了一些才藝，我沒什麼音樂細胞，可是也很想學些音樂才藝。

沈映廷：我是沈映廷，就讀於後紅國小五年義班，擔任班長，平常喜歡逛書店，有時會跟同學去溜冰、游泳，擅長吹笛子，在學校參加樂隊，最愛畫畫。無聊的時候會想睡覺，看漫畫或看電視，民國77年生，今年13歲，屬龍、天蠍座，喜歡和死黨在一起聊天，英文名字是Bella。

關鍵詞：熱脹冷縮、氧氣、二氧化碳、膨脹係數、莫耳

## 一、研究動機

五年級上學期自然課上到「氧和二氧化碳」那一課「悶熄蠟燭」的實驗時（請看參考資料1），老師說「為什麼水會上升？」。我們回答：「因為有氧氣，被燒光了」。老師又問：「水上升多高呢？是不是 $1/5$ ？」。老師接著說水會「剛好」上升 $1/5$ ，表示空氣中有 $1/5$ 的氧氣被「用掉了」。可是我們的實驗有時只上升 $1/6$ 或 $1/7$ ，不過別組真的上升約 $1/5$ 。老師勉勵我們：「做實驗要小心一點，結果才不會差太多」，可是我們有認真做呀！

## 二、研究目的

我們的研究主要是針對五年級自然課本第二課「氧與二氧化碳」中「悶熄蠟燭」的實驗，當我們做實驗時發現水面上升不是剛好 $1/5$ ，與老師和課本說的都不一樣，老師又把「教學指引」（請看參考資料2）借我們看，證明他可沒有亂教，結果教學指引果然和老師講的一樣。我們越想越納悶：不是說空氣會有「熱脹冷縮」嗎？為什麼老師都說是因為「氧氣燒掉」的關係？我們研究的目的主要是想到「空氣熱脹冷縮」的影響，然後透過一些實驗來探究以下問題：

- (一)蠟燭的數目會不會影響水位的高度？
- (二)蠟燭火焰大小會不會影響水位的高度？
- (三)水面上升高度真的應該剛好每次都是 $1/5$ 嗎？
- (四)若不一定要 $1/5$ ，水面上升最高可以到多高呢？
- (五)水上升是因為「氧氣」燒光的原因嗎？
- (六)水上升有沒有受到空氣「熱脹冷縮」原因的影響？
- (七)水面上升的原理到底如何解釋呢？

## 三、研究器材設備

各種蠟燭、水箱、罩杯、碼表、溫度計、打火機，天秤、燒杯、量杯、雞蛋、照相機、酒精燈。

## 四、研究方法與結果

自然課本中「悶熄蠟燭」的實驗是這樣：水箱裝一些水，中間放1根蠟燭，點燃蠟燭，然後用一個罩杯把蠟燭蓋住，過了幾秒後，蠟燭慢慢熄滅，箱子中的水會上升跑進罩杯中，到了約佔 $1/5$ 的體積時會停止上升，最後罩杯中的水位明顯高過外面水箱中的水位。

### 實驗一

#### 蠟燭的數目會不會影響水位的高度？

我們假設水面的上升會受到空氣「熱脹冷縮」的影響，我們猜想蠟燭數目越多，會把周圍

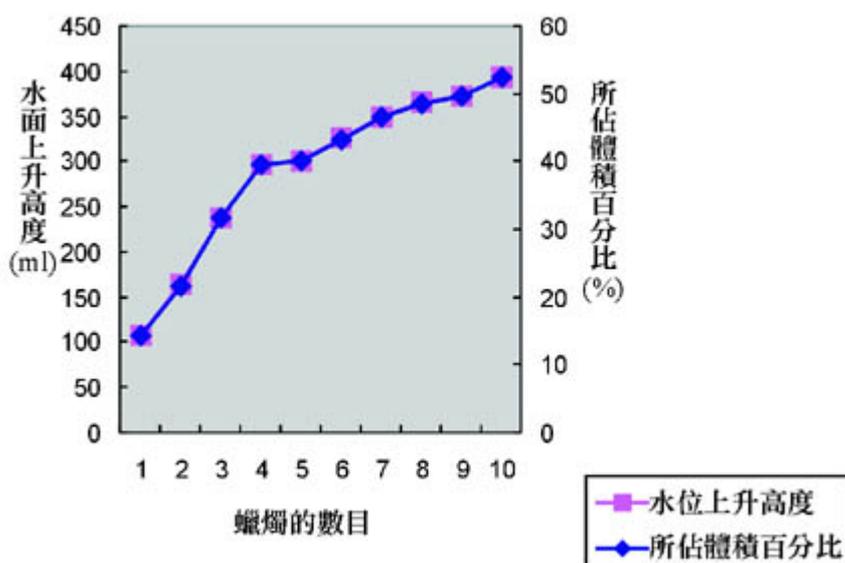
空氣加熱溫度越高，空氣膨脹很厲害，當冷卻後體積又急速收縮，壓力下降。實驗時塑膠罩杯體積是750ml，蠟燭是1根~10根，因為每次水面上升高度不是很穩定，所以每個蠟燭數目都重複做三次，再求平均值，以減少誤差。結果如下：

表1：蠟燭數目對水位的影響

| 水面上升高度 \ 蠟燭數目     | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 第 1 次             | 125  | 150  | 200  | 270  | 265  | 295  | 349  | 335  | 360  | 365  |
| 第 2 次             | 80   | 150  | 235  | 320  | 308  | 335  | 352  | 370  | 370  | 395  |
| 第 3 次             | 120  | 190  | 280  | 300  | 330  | 345  | 345  | 390  | 390  | 420  |
| 平 均               | 108  | 163  | 238  | 297  | 301  | 325  | 349  | 365  | 373  | 393  |
| 罩杯中體積被水佔據的百分比 (%) | 14.4 | 21.7 | 31.7 | 39.6 | 40.1 | 43.3 | 46.5 | 48.6 | 49.7 | 52.4 |

p.s.罩杯體積750ml，表中水位高度單位是ml

接著將上表中水位上升的平均值與蠟燭數目的關係劃成圖如下：



從圖1可以發現：蠟燭數目越多水面上升越高，當用10根蠟燭燃燒時水位上升達393ml，佔罩杯容量的52.4%，這是我們第一次警覺到水面上升不一定1/5才是「應該的」，有時甚至會超過一半，這個實驗的結果讓我們興奮極了。

## 實驗二

### 蠟燭火焰大小對水面上升高度的影響

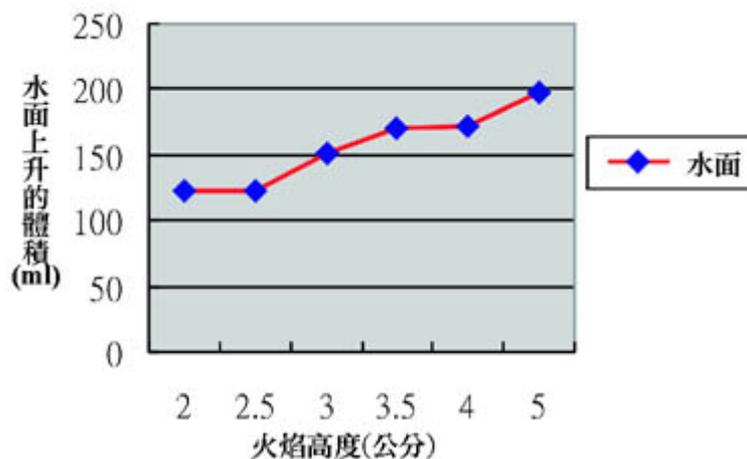
我們猜想，若是「熱脹冷縮」是水面上升的重要原因，那麼火焰大小就會影響空氣的溫度，因此水面上升的高度並不穩定，常常做好幾次都不一樣。這個實驗主要是測量一根蠟燭燃燒時產生火焰的大小，其大小以火焰高度來表示，然後測量它與水面上升高度的影響。

表2：火焰大小對水位的影響

| 次數    | 火焰高度 |     |     |     |     |     |
|-------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
|       | 2    | 2.5 | 3   | 3.5 | 4   | 5   |
| 第 1 次 | 100  | 125 | 165 | 170 | 165 | 195 |
| 第 2 次 | 125  | 110 | 150 | 170 | 180 | 200 |
| 第 3 次 | 140  | 130 | 140 | 170 | 170 | 200 |
| 平均    | 122  | 122 | 152 | 170 | 172 | 198 |

p.s.罩杯容量是750ml火焰高度單位是cm水面上升高度單位是ml

從圖二可知，水面上升的高度在120~200ml之間，這些數據和我們上課時的經驗一模一樣，就是每一組結果都不太一樣，而同一組做的結果前後也不太一樣，都不太穩定，現在可以發現這種不穩定（水面的高度）是受到火焰大小的影響。以1根蠟燭燃燒的情形而言，上升高度在120~200ml之間，所以老師說實驗結果「應該」是佔1/5（150ml），其實是一個特例。用1根蠟燭燃燒的水位常常是在1/5上下（150ml），容易使人聯想到氧氣也是1/5。



實驗結果發現蠟燭粗細確實對水位有影響，難怪上課時每組結果都不一樣，因為老師給的蠟燭粗細都不一樣，而我們的蠟燭比較小支，卻被老師說我們不夠小心，真是覺得「冤枉」！

### 實驗三

#### 水位上升最高可以到多少？

從前面三個實驗可以瞭解，水位上升不可以說剛好1/5才是「正確的」！

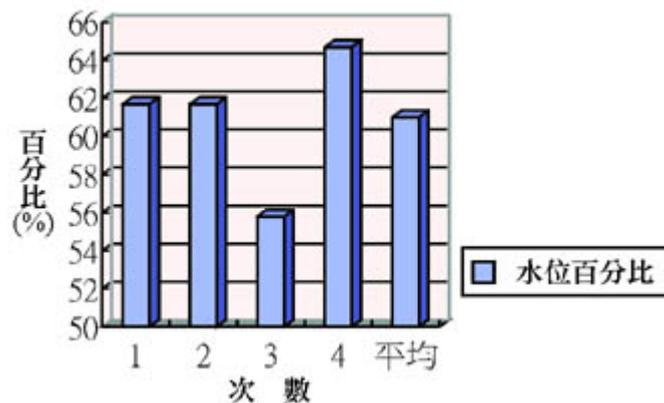
當用10根蠟燭燃燒時，水上升可以佔據罩杯容量的52.4%（表1），超過一半。若用1根蠟燭燃燒則結果大約在1/6~1/4，也就是1/5上下，符合以前的經驗。接著我們想：有沒有辦法使水位再上升？我們利用半張衛生紙沾了一些酒精，丟入玻璃罩杯當中，因為我們認為酒精燃燒比蠟燭劇烈。結果如下：

表4：酒精沾衛生紙燃燒對水位的影響

| 次數       | 1    | 2    | 3    | 4    | 平均   |
|----------|------|------|------|------|------|
| 上升高度(ml) | 1050 | 1050 | 950  | 1100 | 1037 |
| 百分比(%)   | 61.7 | 61.7 | 55.8 | 64.7 | 61   |

p.s玻璃罩杯總容量是1700ml

從下圖可以發現，利用沾酒精的衛生紙放入玻璃罩杯當中燃燒，再倒立蓋起來的方式，平均可以使水位佔據玻璃罩杯61%的容量，最高則可以到達64.7%，這是我們的實驗所達到最高的高度，64.7%的高度，是不可能用「氧氣說」（佔空氣1/5）加以解釋的！



#### 實驗四

##### 水面上升是因為氧氣燒光嗎？

這個實驗不悶熄蠟燭，而是倒立罩杯，從杯子底下加熱，蠟燭不會熄滅（空氣是流通的），但是罩杯中的空氣會被加熱，等加熱10秒以後，把蠟燭移開（蠟燭沒有熄滅），然後塑膠罩杯迅速蓋在水面上，觀察水面上升的情形，這樣做的目的，是爲了證明在這樣的情況，杯子中仍然有許多氧氣。實驗分別用1~5根蠟燭加熱，以造成空氣不同溫度。結果如下：

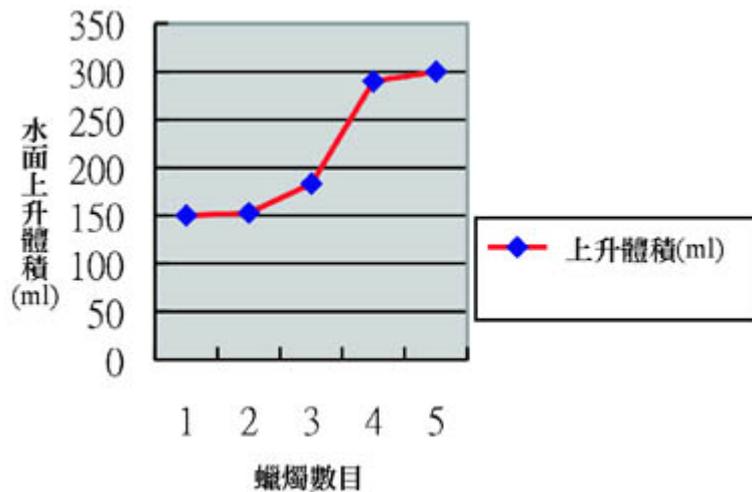
表5-1：不悶熄蠟燭的開口實驗

| 次數  | 水面上升高度 | 蠟燭數目 |     |     |     |     |
|-----|--------|------|-----|-----|-----|-----|
|     |        | 1    | 2   | 3   | 4   | 5   |
| 第1次 |        | 130  | 120 | 240 | 300 | 300 |
| 第2次 |        | 150  | 140 | 240 | 280 | 300 |
| 第3次 |        | 170  | 200 | 180 | 290 | 300 |
| 平均  |        | 150  | 153 | 183 | 290 | 300 |

p.s.塑膠罩杯總容量750ml水位高度單位是ml加熱時間10秒

我們想要知道塑膠罩杯之中含有多少「氧氣」實在不容易，但是利用這個實驗，因為蠟燭只是放置於罩杯底下加熱，至少可以證明蠟燭移開時罩杯中氧氣還有很多，而用5根蠟燭加熱，水面上升體積會達到300ml，佔據罩杯體40%，可知水面上升主要不是因為燃燒消耗氧

氣（因為氧氣減少有限），而是因為空氣被加熱導致的結果。



## 實驗五

### 燃燒時間與水位上升的速度

在做前面幾個實驗時，我們發現水面上升並不是均勻的等速，通常蠟燭快熄滅時會快速上升，這是很容易看到的，我們覺得這個現象應該有重要意義在裡面，所以我們特別將整個水面上升過程與蠟燭燃燒的情形隨時間變化紀錄下來，實驗分別作1根蠟燭，每根重複作三次。結果數據如下（蠟燭長12cm，寬1.2cm，罩杯全部體積是750ml）：

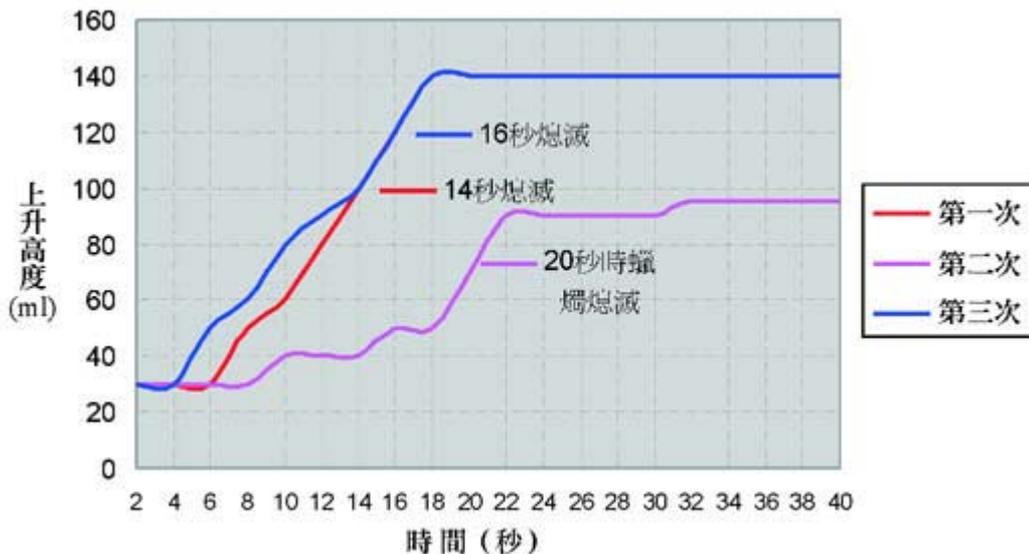
表6-1：蠟燭燃燒與水位上升速度

| 時<br>間 | 蠟<br>燭<br>數<br>目 | 1 根蠟燭 |     |     | 2 根蠟燭 |     |     | 3 根蠟燭 |     |     |
|--------|------------------|-------|-----|-----|-------|-----|-----|-------|-----|-----|
|        |                  | 第一次   | 第二次 | 第三次 | 第一次   | 第二次 | 第三次 | 第一次   | 第二次 | 第三次 |
| 2 秒    |                  | 30    | 30  | 30  | 30    | 20  | 50  | 100   | 50  | 50  |
| 4      |                  | 30    | 30  | 30  | 50    | 30  | 80  | 150   | 100 | 100 |
| 6      |                  | 30    | 30  | 50  | 70    | 50  | 120 | 160   | 150 | 150 |
| 8      |                  | 50    | 30  | 50  | 100   | 70  | 40  | 180   | 180 | 180 |
| 10     |                  | 60    | 40  | 60  | 120   | 170 | 160 | 200   | 200 | 200 |
| 12     |                  | 80    | 40  | 80  | 140   | 190 | 180 | 220   | 240 | 245 |
| 14     |                  | 100   | 40  | 90  | 140   | 200 | 180 | 220   | 245 | 250 |
| 16     |                  | 120   | 50  | 100 | 150   | 210 | 180 | 220   | 245 | 250 |
| 18     |                  | 140   | 50  | 120 | 150   | 210 | 180 | 220   | 245 | 250 |
| 20     |                  | 140   | 70  | 140 | 150   | 210 | 180 | 230   | 250 | 250 |
| 22     |                  | 140   | 90  | 140 | 150   | 210 | 180 | 230   | 250 | 250 |
| 24     |                  | 140   | 90  | 140 | 150   | 210 | 180 | 230   | 250 | 250 |
| 26     |                  | 140   | 90  | 140 | 150   | 210 | 180 | 230   | 250 | 250 |
| 28     |                  | 140   | 90  | 140 | 150   | 210 | 180 | 230   | 250 | 250 |
| 30     |                  | 140   | 90  | 140 | 150   | 210 | 180 | 235   | 250 | 250 |
| 32     |                  | 140   | 95  | 140 | 150   | 210 | 180 | 235   | 250 | 250 |
| 34     |                  | 140   | 95  | 140 | 150   | 210 | 180 | 235   | 250 | 250 |
| 36     |                  | 140   | 95  | 140 | 150   | 210 | 180 | 235   | 250 | 250 |
| 38     |                  | 140   | 95  | 140 | 150   | 210 | 180 | 235   | 250 | 250 |
| 40     |                  | 140   | 95  | 140 | 150   | 210 | 180 | 235   | 250 | 250 |

p.s.表中數據是水位上升高度，單位是ml總容量750ml

將以上結果畫圖如下，每一幅圖均標示出蠟燭熄滅的時間，可以看出蠟燭熄滅前後，是水面上升最快的時間。

從圖6-1可發現，1根蠟燭燃燒的情況，蓋上罩杯開始的時候有4秒水位是不動的，若原因是因為氧氣消耗掉，是不該有這幾秒鐘的停滯時間（因為蠟燭正在燃燒），合理的解釋是前面4~6秒蠟燭穩定燃燒，溫度大致保持一定，蠟燭熄滅前6秒及熄滅後2秒溫度下降很快，所以水面上升很快，可以看到「氧氣消耗」說法是有矛盾的。因為燃燒最旺盛時水面反而不上升。但是用「空氣熱漲冷縮」原理卻可以得到很合理的說明，因為蠟燭熄滅前後幾秒溫度下降最快。



爲了慎重起見，我們特地再一次詳細研究這停滯的前幾秒，我們特別選1根更小的蠟燭，讓熄滅速度慢一點，再重做一次1根蠟燭的實驗，觀察水位上升的速度。結果如下：

表6-2：1根蠟燭燃燒與水位上升的速度

|       |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-------|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 第 1 次 | 時間 | 2  | 4  | 6  | 8  | 10 | 12 | 14  | 16  | 18  | 20  | 22  | 24  | 26  | 28  | 30  |
|       | 高度 | 30 | 40 | 50 | 50 | 70 | 80 | 100 | 120 | 120 | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 |
| 第 2 次 | 時間 | 2  | 4  | 6  | 8  | 10 | 12 | 14  | 16  | 18  | 20  | 22  | 24  | 26  | 28  | 30  |
|       | 高度 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30  | 30  | 30  | 50  | 70  | 90  | 95  | 95  | 95  |
| 第 3 次 | 時間 | 2  | 4  | 6  | 8  | 10 | 12 | 14  | 16  | 18  | 20  | 22  | 24  | 26  | 28  | 30  |
|       | 高度 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 40  | 40  | 50  | 80  | 80  | 90  | 90  | 95  | 95  |
| 第 4 次 | 時間 | 2  | 4  | 6  | 8  | 10 | 12 | 14  | 16  | 18  | 20  | 22  | 24  | 26  | 28  | 30  |
|       | 高度 | 30 | 30 | 30 | 50 | 70 | 90 | 120 | 120 | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 |
| 第 5 次 | 時間 | 2  | 4  | 6  | 8  | 10 | 12 | 14  | 16  | 18  | 20  | 22  | 24  | 26  | 28  | 30  |
|       | 高度 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 50  | 80  | 90  | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

蠟燭直徑：1cm罩杯容量：750ml水位上升單位：ml

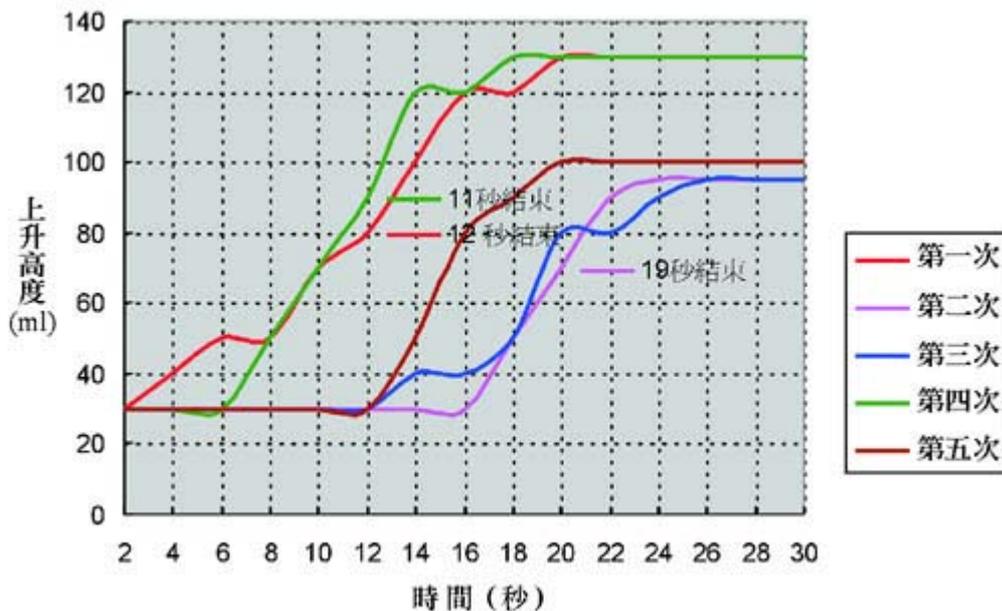
第一次火焰高1.5cm火焰熄滅時間12秒

第二次火焰高2.0cm火焰熄滅時間19秒

第三次火焰高2.5cm火焰熄滅時間19秒

第四次火焰高3.0cm火焰熄滅時間11秒

第五次火焰高2.5cm火焰熄滅時間17秒



從圖6-4可以清楚的發現，雖然剛剛蓋上罩杯時火焰燃燒最旺盛，可是重複了5次，卻發現平均有9.6秒的時間，水位卻一點都沒有上升，反而是蠟燭熄滅的前後幾秒水位才急速上升。停滯的9.6秒，是「氧氣消耗說」的最大問題所在。

## 實驗六

### 燭火上方空氣的溫度

從前面的實驗，可瞭解蠟燭上方空氣的熱脹冷縮才是水位上升的主要原因，但是到現在我們還不清楚空氣被加熱到什麼溫度，所以接著來測量蠟燭上方空氣的溫度。因為我們的溫度計只能量到100，所以太靠近燭火的溫度無法測量，只能量100以內的溫度（離燭火3cm以外）。結果如下：（溫度計上限100，火焰高度4cm）

表7：蠟燭上方空氣的溫度

| 蠟燭數目 \ 距火焰位置 | 3cm    | 4cm    | 5cm    | 6cm    | 7cm    | 8cm    |
|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1            | 77°C   | 63°C   | 62°C   | 80°C   | 60°C   | 39°C   |
| 3            | 超過 100 | 超過 100 | 98°C   | 64°C   | 54°C   | 32°C   |
| 5            | 超過 100 |
| 10           | 超過 100 |

結果發現在1根蠟燭上方3~7cm處的溫度並不穩定，大約介於60~80，而5根蠟燭與10根蠟燭都在每個高度超過100，無法用我們的溫度計確實測量。所以不同數目的蠟燭，確實會對其上方空氣的溫度產生很大影響。

## 五、討論與結論

### (一)水上升是因為「氧氣」燒光的原因嗎？

我們做了很多有意思的實驗，但也很繁雜，不厭其煩的做類似的實驗，目的就是要釐清水的上升到底是不是因為「氧氣消耗掉」的關係，我們找了很多書，發現關於水位上升的現象大都是用「氧氣消耗說」來解釋的，現在將書本的解釋節錄如下：

1.國民小學自然科學教學指引第九冊（五上），國立編譯館主編，民86改編本三版。（參考資料2）

(1)P50指出：「本單元並不探討氧氣在空氣中所佔比例（1/5），只談到燃燒用掉氧氣，其佔有的空間會被水填補，空氣中仍含有大部分不能幫助燃燒的氣體，這些氣體主要是氮氣（約佔4/5），此外尚有其他氣體，如氫、二氧化碳、水蒸氣等，但他們在空氣中含量很少」

(2)P.51指出：「蠟燭燃燒時，用掉了瓶中的氧氣。水位上升補充了用掉的氧氣所佔的空間。」

(3)P.42指出：「能指出蠟燭悶熄後，水在玻璃中上升，是補充蠟燭燃燒所消耗氧氣佔據的空間。」；「能根據水位只上升一部份，而沒有完全上升的現象，說出空氣中含有氧氣及大部分不能幫助燃燒的氣體」

2.國民小學自然課本第九冊（五上），國立編譯館主編，民88改編本七版P.21暗示：（參考資料1）

「蠟燭燃燒需要哪種氣體？要怎麼知道空氣中含有氧氣？」

「玻璃瓶中的水位，為什麼會上升？玻璃瓶中，水沒有上升的部分，是不是表示空氣中還有其他不能幫助燃燒的氣體？」

從實驗五可知，只要將罩杯中空氣加熱，不需要悶熄蠟燭，也可以使水位上升，當用5根蠟燭加熱罩杯中空氣後，水位上升可以到達40%的容量，所以水上升跟氧氣的消耗關係不大。「氧氣消耗掉」的說法有好幾個矛盾的地方，例如：

- 1.氧氣只佔空氣1/5，為何水上升最高可達到罩杯容量的64.7%？
- 2.同樣最後是熄滅，為何蠟燭數目越多，水位上升越高，甚至超過一半？
- 3.為何剛蓋上罩杯，氧氣已經開始減少，水卻沒有馬上上升？
- 4.當蠟燭只是在罩杯下加熱，不把它悶熄，罩杯中沒有蠟燭燃燒，為何蓋上後水還是可以上升？

### (二)水面上升的原理到底如何解釋呢？

最後，經過我們的討論和老師的指導，對於自然課本中「悶熄蠟燭」的實驗，我們提出自己以下的解釋：

利用理想氣體定律： $PV=NRT$  P：空氣的壓力 V：空氣的體積

$n$ ：空氣分子的數目（莫耳數）  $R$ ：氣體常數

- 1.蠟燭燃燒時，溫度很高，空氣被加熱膨脹。
- 2.蓋上罩杯時，空氣被隔絕，空氣分子數（ $n$ ）成爲固定（ $R$ 本來就是常數）， $PV=nRT$ 。（ $PV$ 的乘積與溫度成正比）
- 3.蠟燭熄滅的過程中，溫度下降， $PV$ 減少。若 $P$ 減少，罩杯外空氣有大氣壓力（ $1\text{kgw}/\text{cm}^2$ ），罩杯外壓力大於罩杯內壓力，產生壓力差，壓力馬上將水往上推升，直到壓力達到平衡，此時空氣受壓縮而體積減少。所以 $PV$ 減少的最後結果是 $V$ 減少，而最後壓力到平衡。
- 4.當蠟燭慢慢熄滅後，溫度下降慢慢停止。依據理想氣體定律： $PV=nRT$

因爲 $P=$ 常數（1大氣壓）  $PV=nRT \rightarrow V_1/V_2 = T_1/T_2 \rightarrow V_2 = V_1 \times T_2/T_1$

$T_1$ ：蓋上罩杯前空氣的溫度  $T_2$ ：蠟燭熄滅水停止上升後空氣的溫度

$V_1$ ：罩杯內空氣的體積  $V_2$ ：水上升後所剩空氣的體積

因爲 $T_2 < T_1$ ，所以 $V_2 < V_1$

因爲溫度下降，所以罩杯中空氣體積縮小。

5.溫度越高，空氣膨脹越厲害，罩杯蓋起來後，體積下降越多，水位上升越高，所以影響水位高低的關鍵是空氣的溫度，實驗雖做了很多個，其實只是加熱方式的不同而已。

6.理論分析：

(1)當1根蠟燭被加熱時，取上方空氣溫度爲 $75^\circ\text{C} = 348\text{K}$ （實驗六）

$$V_2/V_1 = T_2/T_1 \quad V_2 = V_1 \times T_2/T_1 = 750 \times 293/348 = 631 \text{ (ml)}$$

減少體積： $750 - 631 = 119$  (ml)，因爲空氣溫度取75 可能誤差太大，若 $T_1$ 取80，則 $V_2$ 爲127也很接近實驗值。

(2)蠟燭燃燒的化學分析：

我們的實驗已經證明：空氣熱脹冷縮的效應是遠大於氧氣消耗掉所產生的影響，但是詳細定量的測量，因爲我們無法確實測量 $O_2$ 和 $CO_2$ 的含量和溶解於水中的比例，所以對於氧氣消耗掉所產生的影響，仍無法清楚分析，僅僅做一個理論的估算：

蠟燭 $C_nH_{2n+2} + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$  所以 $1\text{ml} O_2$ 產生 $1\text{ml} CO_2$ ，體積相同

1大氣壓，20 時  $O_2$ 溶解度：0.031ml/ml水（王，p268；陳，p147）

$CO_2$ 溶解度：0.88ml/ml水

100ml的水，可以溶解3.1ml的 $O_2$ ，但是可以溶解88ml的 $CO_2$ 。其溶解度相差28倍，但是蠟燭剛熄滅時未加以搖晃， $CO_2$ 不見得馬上全部溶解。原來罩杯中有750ml的空氣，氧氣佔21%（陳,P126）

氧氣含量： $750\text{ml} \times 21 / 100 = 157.5\text{ml}$

燃燒後產生157.5ml的 $\text{CO}_2$

假設全部氧氣都不溶解於水，而且氧氣全部燒光，全部變成二氧化碳，然後全部溶解於水（這是不可能的），罩杯中空氣的體積頂多也只減少157.5ml（21%）的二氧化碳，同時，從圖6-3可看出，水位上升約12秒就完成，這麼短的時間 $\text{CO}_2$ 不會馬上全部溶解，假設有1/2的 $\text{CO}_2$ 溶解，那麼水頂多上升1/10，所以我們認為因為氧氣消耗掉所導致的水位上升，應該不會超過罩杯體積的1/10。無論如何，對於水位能上升64.7%（表4），氧氣消耗說根本無法解釋。所以還是必須用「空氣的熱脹冷縮」來解釋比較合理。

## 六、參考資料

- 1.國民小學自然課本第九冊（五上），國立編譯館主編，民88改編本七版
- 2.國民小學自然科學教學指引第九冊（五上），國立編譯館主編，民86改編本三版。
- 3.進入科學世界的圖畫書—空氣，上誼文化實業，1993
- 4.國小超群自修（五上），南一書局
- 5.奇妙的大氣壓力，華一書局，民81，馮鵬年撰文。
- 6.普通物理學（上冊），Halliday and Resnick，曹培熙譯，曉園出版社。
- 7.化學（上、下冊），陳國成、陳紹光著，大中國圖書公司，民85。
- 8.普通化學，王澄霞、魏明通著，三民書局，民72。

## 評語

本件作品是在例放於水中的容器中悶燒蠟燭，觀測熄火後的水位上升現象。實驗中以蠟燭數，火焰大小，不同粗細蠟燭等不同條件來探討耗氧量，氣體之熱脹冷縮與水位上升量的關係。並從熄火後的水位上升速率推斷水位之上升非單由燃燒時的耗氧所致。氣體的熱脹冷縮也佔重要份量。研究方法正確，推論合理。作者的思考週全，實驗也詳實，具有好科學態度。

[回到目錄頁../Index.htm](#)