

臺北市第 46 屆中小學科學展覽會

作品說明書封面

科 別：物 理

組 別：國小組

作品名稱：悶熄蠟燭燃燒實驗的重新設計

關 鍵 詞：悶熄蠟燭、燃燒、熱脹冷縮

編 號：

摘要

父親學生時代曾做過悶熄蠟燭的燃燒實驗：在水盆中點燃蠟燭後用玻璃杯罩住，可觀察到氧氣燃燒而水位上升的情形。當蒐集資料時，發現該實驗已被證明是錯誤的，我們重新設計此燃燒實驗，並和傳統實驗進行比較。

實驗發現，雖然傳統實驗很容易觀察到水位的變化，但實驗步驟中忽略了蓋上小燒杯的瞬間，蠟燭上方的空氣早已受熱膨脹；且經過重複實驗，發現減少氣體的體積也不盡相同，可證明原傳統實驗中，推論水位上升是因為氧氣燃燒掉的關係，確實不夠嚴謹。

重新設計後的燃燒實驗，可觀察到火點燃的瞬間氣體急速膨脹，將小燒杯內的水往下壓；火熄滅後水位逐漸上升，最後回到原來的位置。可證明氧氣燃燒後，並不是憑空消失，而是產生相同體積的二氧化碳。

壹、研究動機

四年級自然課中有介紹燃燒實驗，讓我們比較蠟燭和線香在密閉燒杯中燃燒時間。當時父親告訴我，他學生時代有做過另一種悶熄蠟燭的燃燒實驗，在水盆中放上蠟燭，再用玻璃杯罩住，可觀察到玻璃杯中氧氣燃燒用掉，而使得水位上升填補空缺的情形，相當簡單又容易懂，如果我想動手實驗，他可以幫我做點火的動作。

不料上網蒐集資料後發現，父親時代的實驗已被證明是錯誤的，水位上升並不是氧氣被燃燒掉的結果，而是蓋上玻璃杯的時候，玻璃杯中的空氣已是受熱膨脹的狀態，等到火熄滅並且冷卻後，膨脹的空氣回復原有體積，大氣壓力將外面的水擠入杯子中，以獲得平衡狀態。

當我把查詢結果告訴父親後，他說當時很直覺的就相信課本上的解釋，沒有進一步的仔細研究或懷疑，沒想到居然帶著錯誤的觀念這麼久，因此他鼓勵我重新設計悶熄蠟燭的燃燒實驗，並且親手操作，最好能觀察到空氣受熱膨脹及冷卻後對水位的影響，不要像他當時一樣，看了實驗後就相信別人解釋的原因。因此我就研究原本傳統實驗的操作步驟，重新設計悶熄蠟燭燃燒實驗，來與原本的互相比較。

本研究實驗之相關教材包括：(一)牛頓版自然與生活科技 3 下自然與生活科技第 3 單元「光的探索」、(二)牛頓版自然與生活科技 4 下自然與生活科技第 3 單元「空氣的秘密」、(三)康軒版自然與生活科技 5 上自然與生活科技第 1 單元「太陽的觀測」，以及 (四)康軒版自然與生活科技 5 上自然與生活科技第 3 單元「空氣與燃燒」。

貳、研究目的

- 一、重新設計悶熄蠟燭的燃燒實驗，並與原本傳統實驗方式相比較。
- 二、觀測氣體在倒扣於水中的小燒杯中的熱脹冷縮過程。

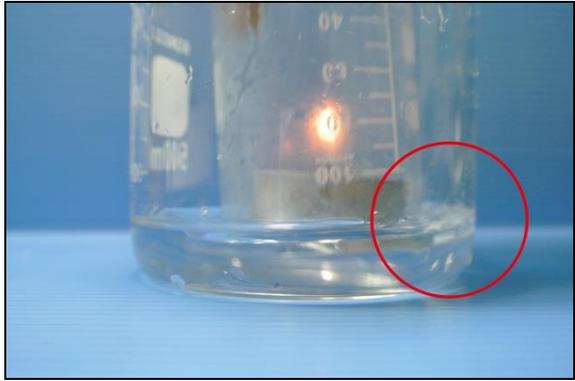
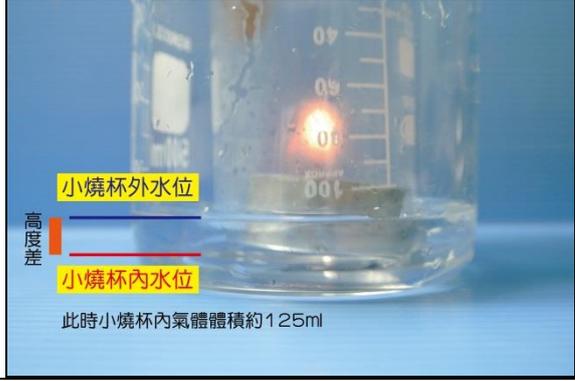
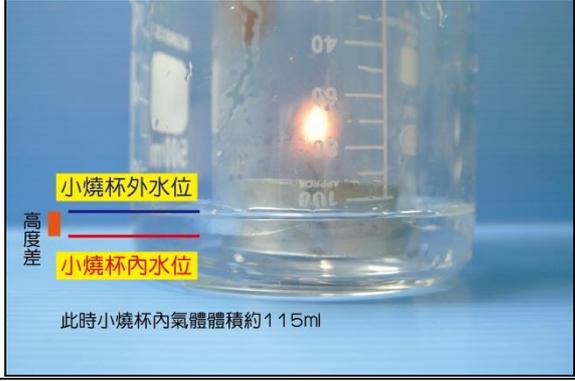
參、研究設備及器材

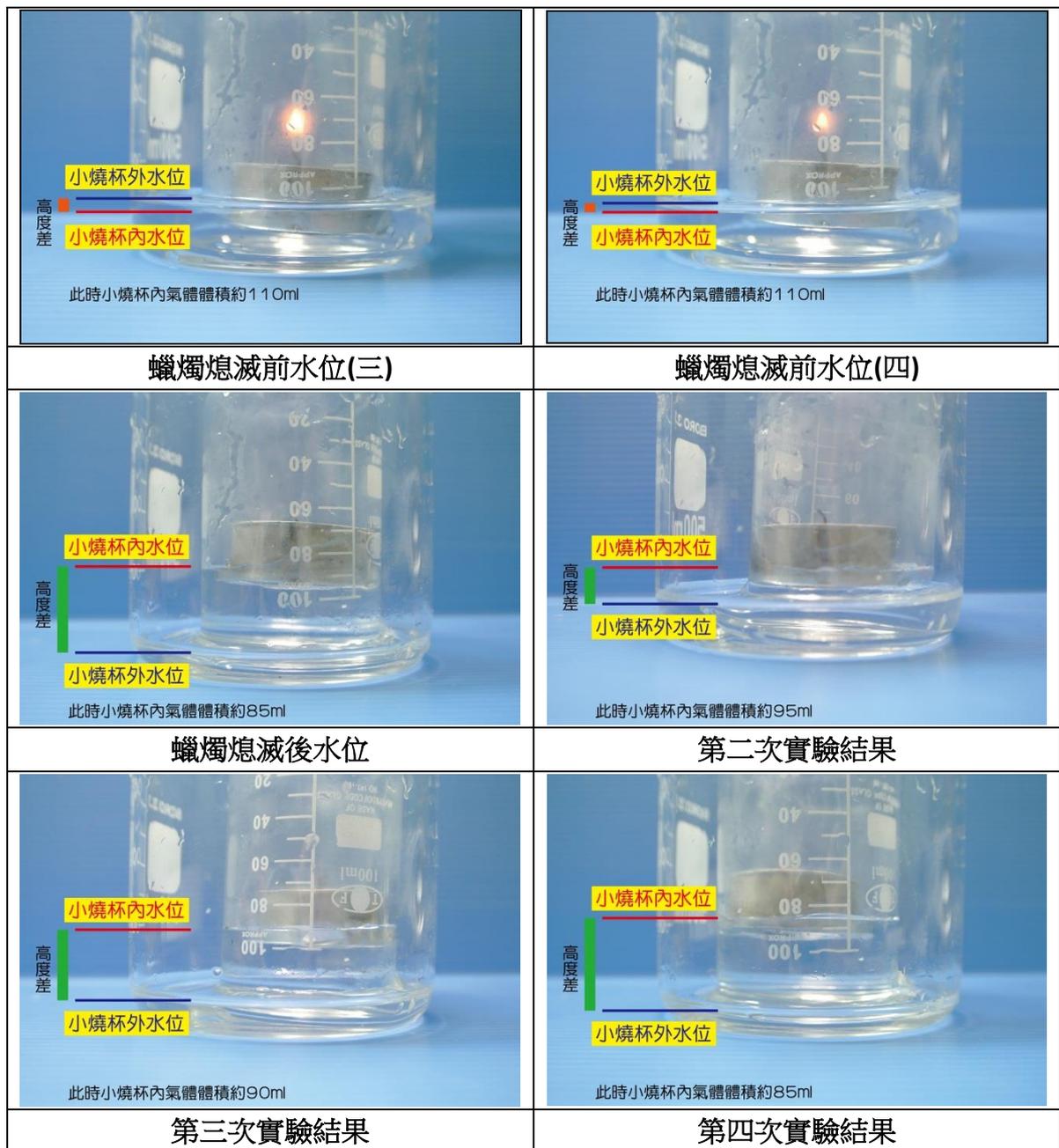
大燒杯、小燒杯、自來水、蠟燭、改造後的點火器、放大鏡、食用色素、火柴、墨鏡、數位相機。

肆、研究過程或方法

一、重作及觀察原本傳統悶熄蠟燭的燃燒實驗，過程如圖一所示。

- (一) 將大燒杯裝入 50ml 的水。
- (二) 將蠟燭點火。
- (三) 將小燒杯蓋上蠟燭。
- (四) 觀察火焰熄滅前後水位的變化。

	
大燒杯裝入 50ml 的水	將蠟燭點火
	
將小燒杯蓋上蠟燭	觀察到空氣被擠出小燒杯
 <p>小燒杯外水位</p> <p>高度差</p> <p>小燒杯內水位</p> <p>此時小燒杯內氣體體積約 125ml</p>	 <p>小燒杯外水位</p> <p>高度差</p> <p>小燒杯內水位</p> <p>此時小燒杯內氣體體積約 115ml</p>
蠟燭熄滅前水位(一)	蠟燭熄滅前水位(二)



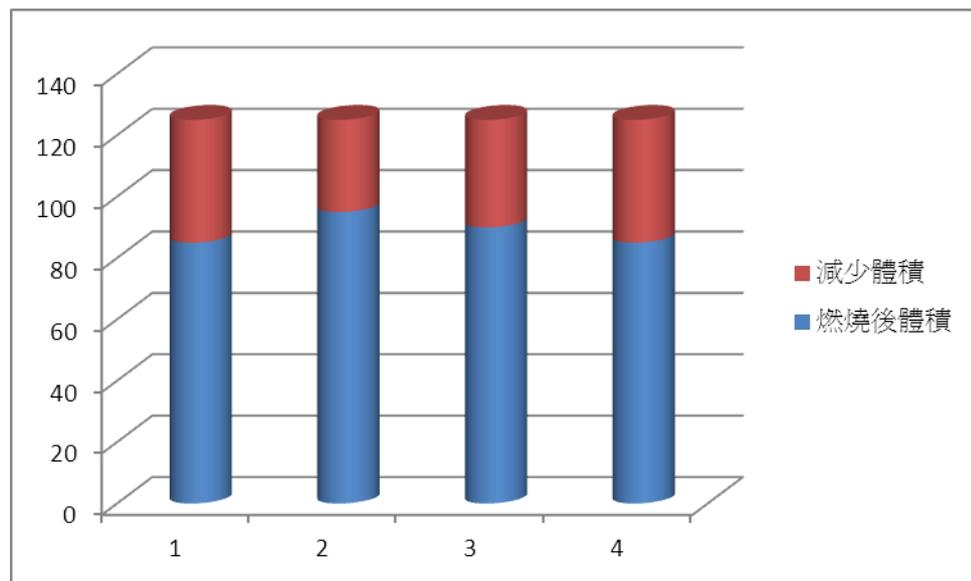
圖一 重作及觀察原本傳統悶熄蠟燭的燃燒實驗過程

結果：蓋上小燒杯時，恰好觀察到有空氣被擠出小燒杯。另隨著蠟燭逐漸熄滅，小燒杯內的水也略微上升；但到了熄滅的瞬間，水會迅速的上升一段，超過大燒杯外的水平面。

討論：重複做了幾次，發現小燒杯中水位並不完全一樣高，減少氣體的比例分別是 32%、24%、28%及 32%，應該是被擠出小燒杯的空氣不一樣多所造成，如表一和圖二。而且水位上升的空間，明顯和空氣中氧氣約占五分之一(20%)的比例不同，以前怎麼會有「氧氣燃燒掉」造成水位上升的結論？

表一 小燒杯內空氣體積燃燒前後對照表

小燒杯內空氣體積	第一次實驗	第二次實驗	第三次實驗	第四次實驗
初始空氣體積	125ml	125ml	125ml	125ml
燃燒後空氣體積	85ml	95ml	90ml	85ml
減少氣體比例	32%	24%	28%	32%



圖二 小燒杯內空氣體積燃燒前後比較圖

二、重新設計悶熄蠟燭的燃燒實驗。

(一) [第一次實驗] => 在倒扣於水中的小燒杯中點燃蠟燭，觀測燃燒前後空氣的熱脹冷縮，過程如圖三。

1. 將大燒杯裝入 50ml 的水，並滴入食用色素，使水有顏色，方便觀察。
2. 將小燒杯蓋上蠟燭。
3. 以改造後的點火器將蠟燭點火。
4. 觀察火焰熄滅前後水位的變化。

結果：因改造後的點火器仍有電線及瓦斯管連結，蠟燭不容易放平，也許在放置時蠟燭芯沾到水，所以火一直點不起來，後來在小燒杯裡加了太多瓦斯，好不容易終於點起來的時候，卻引起了小小的瓦斯的氣爆。

討論：我們的目的是在小燒杯空間中點燃蠟燭，而且應該避免瓦斯灌入影響實驗，所以決定放棄使用點火器，改用放大鏡聚集太陽光來點燃蠟燭。

	
<p>改造後的點火器</p>	<p>將點火區對準蠟燭芯後固定</p>
	
<p>改造後的點火器仍有電線及瓦斯管連結，蠟燭不容易放平</p>	<p>引起了小小的瓦斯的氣爆</p>

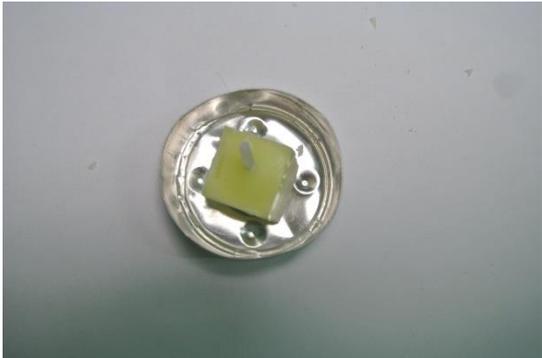
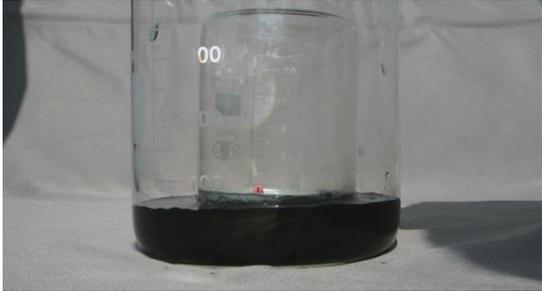
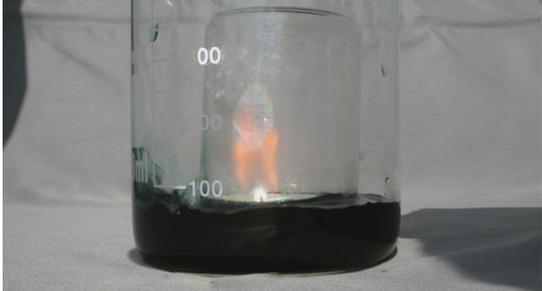
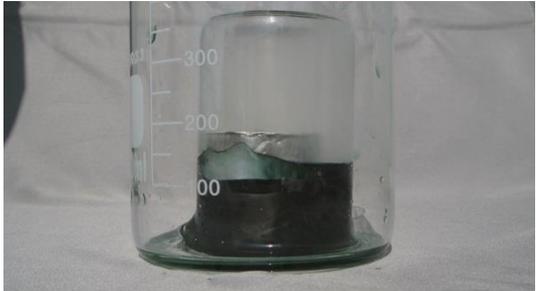
圖三 重新設計悶熄蠟燭第一次實驗過程

(二) [第二次實驗] => 以“放大鏡”聚集太陽光線來點燃小燒杯中的蠟燭，過程如圖四。

1. 將大燒杯裝入 50ml 的水，並滴入食用色素，使水有顏色，方便觀察。
2. 將小燒杯蓋上蠟燭。
3. 以放大鏡聚集太陽光線來點燃小燒杯中的蠟燭。
4. 觀察火焰熄滅前後水位的變化。

結果：一開始時，放大鏡聚集太陽光線只會把蠟燭芯旁的蠟融化，等了很久都點不起來。後來我把蠟燭芯旁加入一個“火柴頭”，聚光一陣子以後就順利點燃，但點燃火柴的一瞬間，氣泡就從小燒杯旁冒出，而且火熄滅後，整整 50ml 的水，全部被吸到小燒杯裡，與原本傳統悶熄蠟燭的燃燒實驗結果很相似。

討論：點火的瞬間，熱空氣的膨脹比預期更多。因此我們的小燒杯內需要更多的水，必須要多到點火後，即使熱空氣膨脹仍然不能從小燒杯旁冒出，才算是與原設想在小燒杯中觀察空氣熱脹冷縮相符。另外，整個過程速度很快，原本用相機連拍還是來不及，要改用錄影方式，實驗後可再仔細觀察。

	
<p>一開始時，放大鏡聚集太陽光線只會把蠟燭芯旁的蠟融化</p>	<p>在蠟燭芯旁加入一個火柴頭，聚光一陣子以後就可順利點燃</p>
	
<p>點火前，大燒杯內有 50ml 的水</p>	<p>利用放大鏡聚集陽光，並聚焦在火柴頭上</p>
	
<p>點燃的瞬間，可觀察到有氣泡從小燒杯旁冒出</p>	<p>火熄滅後，50ml 的水全部被吸到小燒杯裡</p>

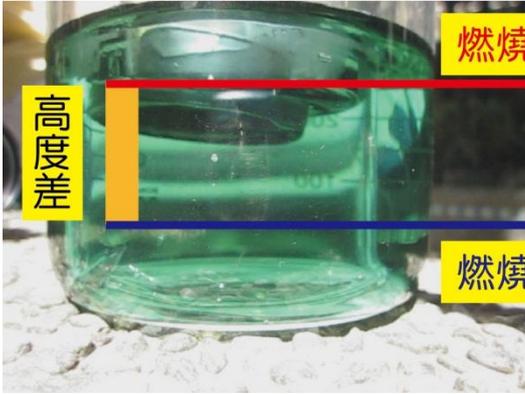
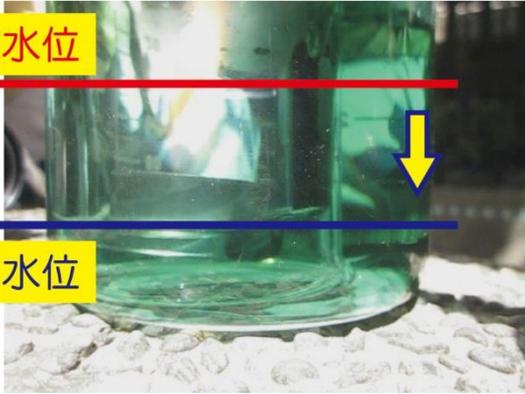
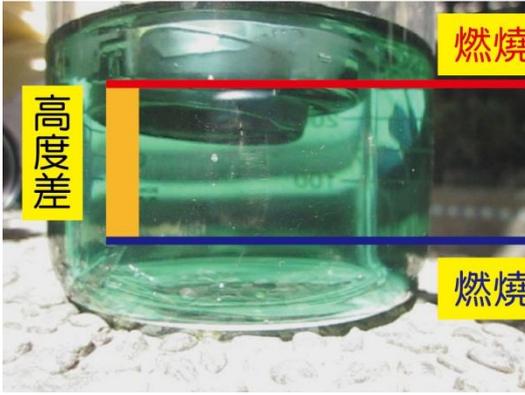
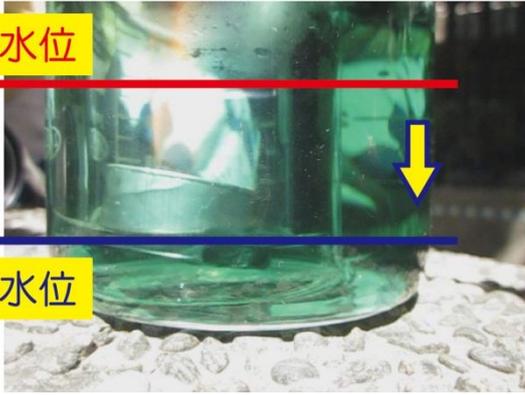
圖四 重新設計悶熄蠟燭第二次實驗過程

(三) [第三次實驗] => 增加大燒杯中的水，再重複操作[第二次實驗]，過程如圖五。

1. 將大燒杯裝入 200ml 的水，並滴入食用色素，使水有顏色，方便觀察。
2. 將小燒杯蓋上蠟燭。蓋上時要傾斜小燒杯，讓部分空氣先排出，減少小燒杯中的空氣量，增加小燒杯中的水量，以避免膨脹熱空氣從小燒杯旁冒出。
3. 以放大鏡聚集太陽光線來點燃小燒杯中的蠟燭。
4. 觀察火焰熄滅前後水位的變化，實驗進行時，並用攝影機全程錄影，以方便實驗後重複觀察實驗情形。

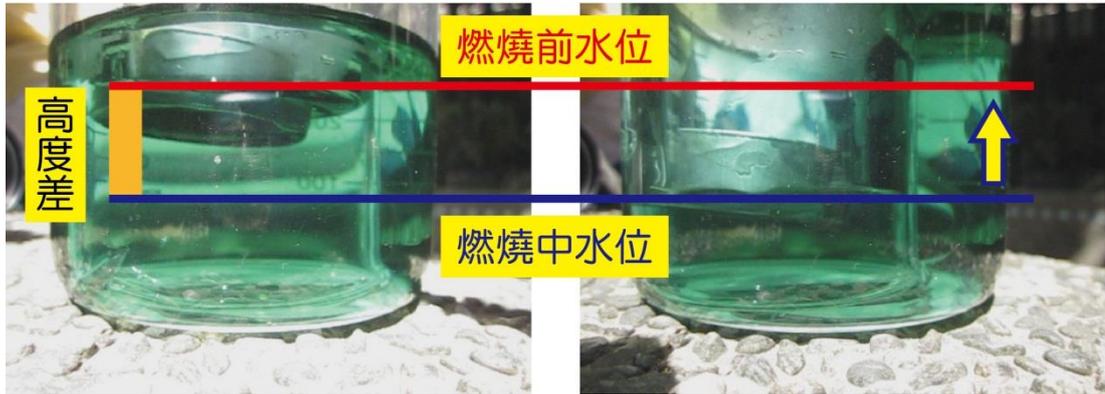
結果：火柴點燃時，空氣受熱膨脹，水從小燒杯裡排出，此時除可觀察到小燒杯內水位下降，也可觀察到大燒杯的水位上升。等火一熄滅冷卻後，大小燒杯的水又逐漸回到原來的位置。

討論：透過錄影的慢速撥放，確實可觀察到點火的前後，小燒杯內水位先迅速下降再回升，也就是小燒杯內空氣受熱膨脹又再冷卻。小燒杯內空氣的體積由原本 60ml，受熱迅速膨脹至 110ml，再逐漸冷卻變為 85ml、70ml、65ml，最後，最後回到與原本相同的 60ml，達到原先設計實驗希望觀察到的現象。擷取錄影畫面後將燃燒前、燃燒中及燃燒後的水位照片，以對照方式整理如圖五、表二及圖六，可更容易觀察出實驗的過程。

燃燒前照片(觀察點一)	燃燒中照片(觀察點二)
	
點燃的瞬間，小燒杯內水位迅速下降，而大燒杯水位上升	
燃燒前照片(觀察點一)	燃燒中照片(觀察點三)
	
小燒杯內水位下降至最低點，調整大小燒杯內的水量後，並沒有空氣漏出	

燃燒前照片(觀察點一)

燃燒中照片(觀察點四)



火熄滅後，小燒杯內水位下降逐漸回升(一)

燃燒前照片(觀察點一)

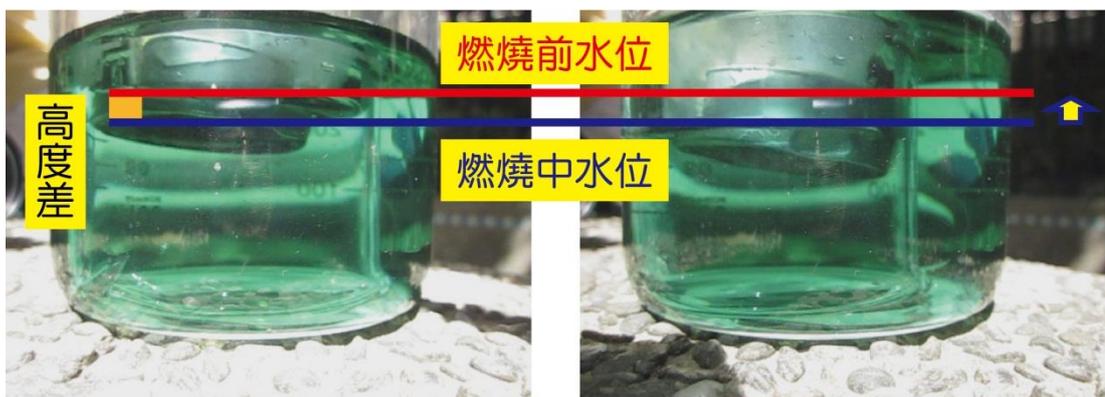
燃燒中照片(觀察點五)



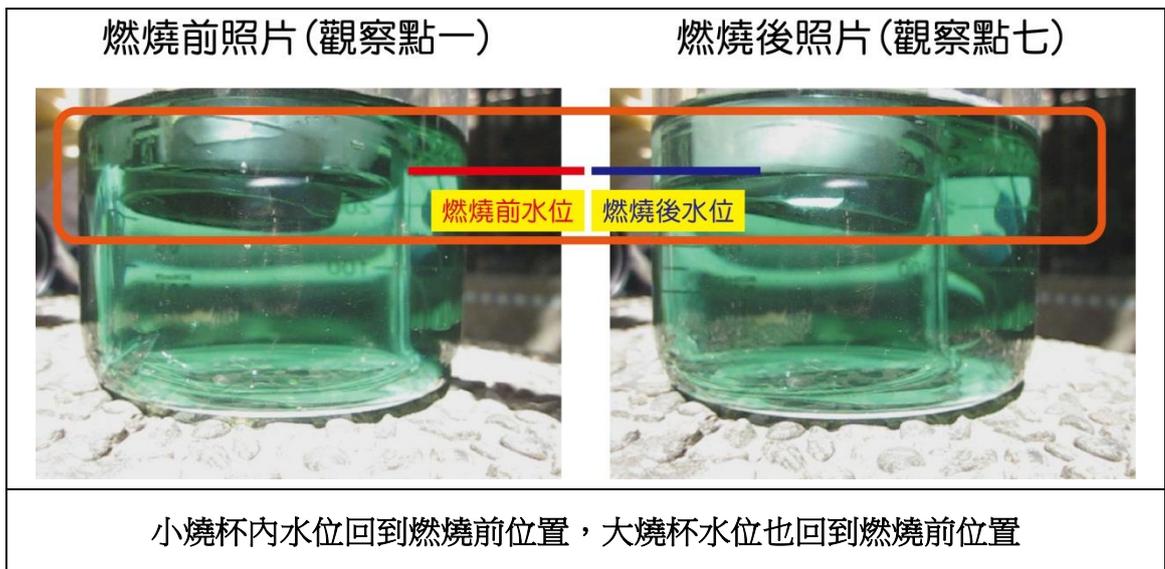
火熄滅後，小燒杯內水位下降逐漸回升(二)

燃燒前照片(觀察點一)

燃燒中照片(觀察點六)



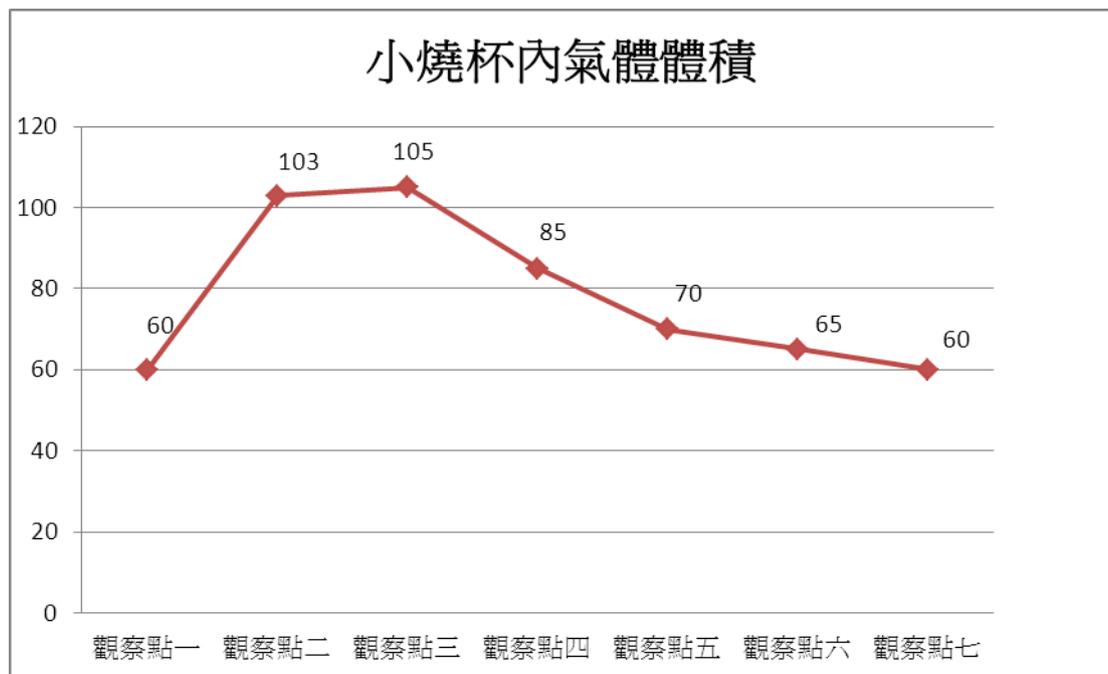
小燒杯內水位下降逐漸回升，大燒杯水位也逐漸下降



圖五 重新設計悶熄蠟燭第三次實驗過程

表二 小燒杯內空氣體積變化表

觀察點	觀察點一 (初始)	觀察點二	觀察點三	觀察點四	觀察點五	觀察點六	觀察點七 (結束)
小燒杯內氣體體積	60ml	103ml	110ml	85ml	70ml	65ml	60ml



圖六 小燒杯內氣體體積變化圖

伍、研究結果

- 一、父親時代悶熄蠟燭的燃燒實驗，雖然蠟燭燃燒後很容易觀察到水位的變化，但整個實驗忘記了蓋上小燒杯的瞬間，蠟燭上方的空氣早已經受熱膨脹，蓋上小燒杯後，也有氣泡從小燒杯底排出，所以最後小燒杯內的水位上升，和氧氣燃燒掉是沒有關係。
- 二、重新設計悶熄蠟燭的燃燒實驗，雖然在實際操作上遇到很多困難，但慢慢改善實驗方式來克服後，終於在一個設想的環境中，觀察到氣體因蠟燭的燃燒前後，所產生的熱脹冷縮狀況。
- 三、火點燃的瞬間，氣體急速膨脹，將小燒杯內的水往下壓；氧氣用完後火熄滅，水位開始逐漸上升，最後回到原來的的位置，可證明氧氣燃燒後，並不是憑空消失，而是產生相同體積的二氧化碳。

陸、討論

- 一、以往的悶熄蠟燭的燃燒實驗，對於水位上升是因為「氧氣燃燒掉」的推論是錯誤的，將來做其他實驗時，也應該一步一步小心求證，才不會做出錯誤的結論。而這個實驗的結果，與傳統的拔罐，或是放天燈，較為類似。
- 二、重新設計的實驗，空氣受熱膨脹後，體積變化很快且很大，迅速把小燒杯中的水擠出，應該是因為用了火柴頭的緣故，如果只有蠟燭，反應應該不會如此劇烈。過年時放的鞭炮，也是利用燃燒急速產生的氣體，撐破紙捲來造成爆炸。
- 三、重新設計的實驗中，氧氣反應後其體積並不是憑空消失，而是產生相同體積之二氧化碳，雖然知道是二氧化碳，但如何證明？我有查到可利用「澄清石灰水」來檢驗，可做為將來進一步實驗的參考。另外，這個實驗中氧氣與燃燒後產生的二氧化碳的體積是相同的，是不是有其他的反應會產生不同比例的體積？

柒、結論

- 一、以往的悶熄蠟燭的燃燒實驗，對於水位上升是因為「氧氣燃燒掉」的推論是錯誤的，應該改為觀察空氣冷熱體積的變化。
- 二、重新設計之實驗，在限定的小燒杯環境中，可觀察到空氣燃燒前、燃燒中及燃燒後體積的變化，證明氧氣燃燒掉後，並不是消失。此外，和以往的實驗互相比較，也可做為學習參考。
- 三、溫度變化對氣體體積之影響，熱脹冷縮相當明顯。

捌、參考資料及其他

一、參考資料

- (一) 這應該就是蠟燭燃燒造成燒杯中水上升的原因吧！(2009年1月9日)。點子研究社自然教育團隊網站。2012年11月9日，取自
<http://ideact.pixnet.net/blog/post/23735504>
- (二) 教科書錯了嗎？課本燃燒實驗的重新探究(2008)。中華民國第48屆中小學科學展覽會作品說明書。弘志科學教育網。2012年11月10日，取自
<http://163.17.241.1/yehc/site/documents/48%E7%87%83%E7%87%92%E5%AF%A6%E9%A9%97.pdf>
- (三) 悶熄蠟燭實驗之探討。2012年11月10日，取自
<http://web.psees.tyc.edu.tw/dyna/data/user/shiau/files/200802191406233.pdf>

二、其他

本次的實驗分組，因為升上五年級剛好分班，新同學不熟悉，舊同學又已經組滿，因此造成獨自一人的情形。幸好有老師和家人的指導與協助，我才能順利完成實驗與研究報告，也因此更熟悉利用網路蒐集資料。不過將來我還是喜歡和同學一起研究，共同腦力激盪並探索更多未知的科學世界。