

## 【2021 全國科學探究競賽-這樣教我就懂】

### 高中（職）組 成果報告表單

題目名稱：蠟燭燃燒，水位上升
一、摘要
<p>本組以蠟燭燃燒，導致杯內水位上升為研究核心。造成水位上升的原因可能有兩項：蠟燭燃燒耗氧假說，及氣體熱脹冷縮假說。但究竟何者才是成因？亦或兩者都是成因，各貢獻水位上升高度。再者分別探討蠟燭數量、蠟燭長度對水位上升高度的影響。發現</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. 蠟燭燃燒造成水位上升的成因有：<ol style="list-style-type: none"><li>(1) 耗氧理論</li><li>(2) 氣體熱脹冷縮</li></ol></li><li>2. 蠟燭數量越多，則水位上升高度越大。</li><li>3. 蠟燭長度越長，則水位上升高度越小。</li></ol>
二、探究題目與動機
<p>蠟燭燃燒，水位上升實驗曾被引用來證實或說明空氣中的氧氣約占 20%，當然此種推論是不正確的。但因實驗條件較難控制，故從小學到高中，甚至英文物理辯論競賽，一直有人想去一探究竟。本組基於挑戰心理，選此主題：「蠟燭燃燒，水位上升」，以實驗數據研判可能成因，或能找出一些蛛絲馬跡。</p>
三、探究目的與假設
<p>探究目的</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. 研究燃燒蠟燭造成水位上升的原因</li><li>2. 探討蠟燭數量對水位上升高度的影響及原因</li><li>3. 探討蠟燭長度對水位上升高度的影響及原因</li></ol> <p>假說 1：耗氧假說</p> <p>蠟燭燃燒會消耗空氣中的氧氣，當蠟燭將瓶內氧氣消耗完後，蠟燭熄滅。因瓶內氧氣被消耗完，氣壓減小，瓶外大氣壓力大於瓶內氣壓，將水壓入瓶內，造成水位上升。</p> <p>預估氣體體積減少量：</p> <p>蠟燭為石蠟族（碳氫化合物）<math>C_nH_{2n+2}</math> 的混合物，<math>n \geq 18</math> 以上即為石蠟，通常以 <math>C_{25}H_{52}</math> 代表。</p>

蠟燭燃燒反應式： $C_{25}H_{52} + 38 O_2 \rightarrow 25 CO_2 + 26 H_2O + \text{熱量}$ 。二氧化碳雖略溶於水，但燃燒後溫度較高，溶解的量應不多，可忽略不考慮。

由此方程式可知：若完全燃燒消耗燒杯內約 21% 的氧氣，即  $750 \text{ 毫升} \times 21\% = 157.5 \text{ 毫升}$ ，但

生成  $750 \text{ 毫升} \times 21\% \times \frac{25}{38} = 103.5 \text{ 毫升 } CO_2$ ，因此燒杯內的氣體體積應減少 54 毫升。

燒杯截面積  $A = \pi r^2 = 3.14 \times 5.4^2 = 91.6 \text{ cm}^2$  耗氧假說：水位上升高度  $h = \frac{54}{91.6} \doteq 0.6 \text{ cm}$

#### ● 假說 2：氣體熱脹冷縮

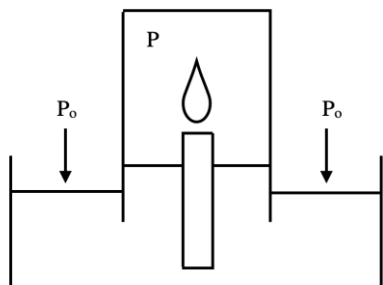
蠟燭燃燒產生的熱能使蠟燭周圍的空氣因升溫而膨脹，空氣密度變小。

$P_0 V = n R T \Rightarrow P_0 M = \rho R T$   $P_0$  為大氣壓力， $M$  為空氣平均分子量， $R$  為理想氣體常數

空氣密度  $\rho$  與溫度  $T$  成反比。

隨之蓋上燒杯，蠟燭在瓶中燃燒一段時間後熄滅，瓶內氣體冷卻收縮，氣壓變小，瓶外水受大氣壓力擠壓進瓶內，使瓶內水位上升。

$P + \rho g h = P_0$   $P$  為瓶內氣體壓力，水位上升高度  $h$  與內外壓力差  $\Delta P (= P_0 - P)$  成正比。



#### ● 假說 3：熱量散失

當瓶內氣體因蠟燭燃燒而升溫，造成瓶內外溫度差，熱量可經由傳導、對流、輻射等方式傳遞。

牛頓冷卻定律  $\frac{\Delta H}{\Delta t} = -k(T - T_s)$  熱量散失速率  $\frac{\Delta H}{\Delta t}$  與內外溫差  $\Delta T (= T - T_s)$  成正比

### 四、探究方法與驗證步驟

#### 一、實驗器材

蠟燭(長為 6 到 12 cm、直徑皆為 1.3cm)、燒杯 1000 mL(底徑 108 mm、高 148 mm)

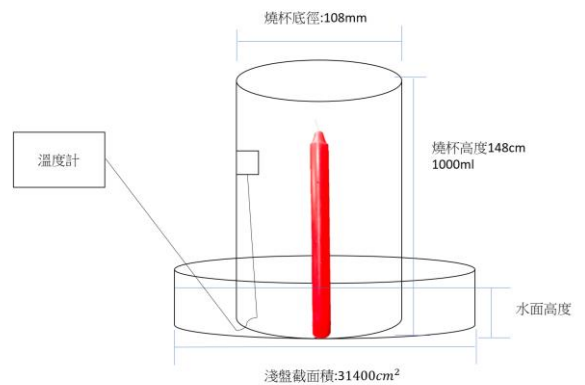
淺盤、溫度計、尺、水、黏土、打火機、膠帶

## 二、實驗步驟

實驗一：蠟燭數量  $n$  對水位上升高度  $h$  的影響

1. 分別將 1~5 支相同粗細(長度皆為 10 cm、直徑皆為 1.3cm)的蠟燭以紙黏土黏立在盤子上，點燃蠟燭 10 秒後，用燒杯蓋住蠟燭。

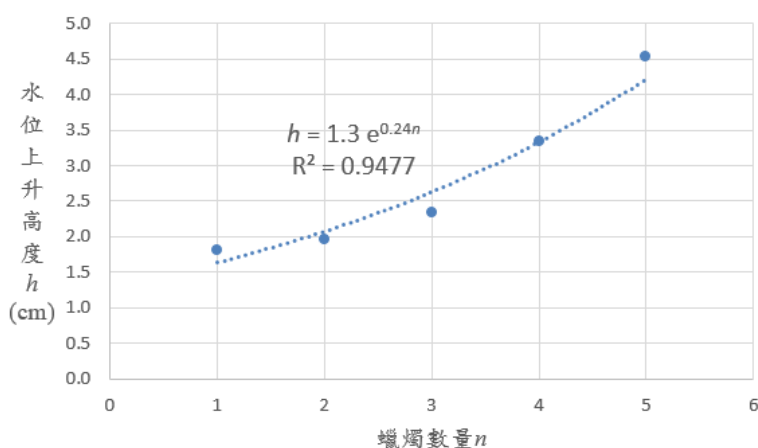
2. 待水位上升到停止後，以尺紀錄水位上升高度。



控制變因	操作變因	應變變因
燒杯大小、盤子尺寸、水量多寡、蠟燭粗細	蠟燭數量 $n$	水位上升高度 $h$

想法：燭火附近的空氣會被加熱，猜想若蠟燭數量越多，會把周圍空氣加熱溫度越高，空氣因膨脹而密度變小，蓋上燒杯後，在燒杯內的氣體量少，當冷卻後，溫度和壓力下降，體積急速收縮，造成水面上升。

蠟燭數量 $n$	1	2	3	4	5
水位上升高度 $h$ (cm)					
第 1 次	1.8	2.1	2.6	3.5	4.6
第 2 次	1.9	1.9	2.1	3.2	4.7
第 3 次	1.7	1.9	2.3	3.3	4.3
平均	1.8	2.0	2.3	3.3	4.5



●實驗結果：蠟燭數量  $n$  越多，水面上升高度  $h$  越大

推論成因：

1. 若水面上升全都歸因於耗氧假說，因燒杯內氣體量相差不多(蠟燭數量越多，則燒杯內氣體量較少，註)，則水面上升高度應相等。但實驗顯示，水位上升高度確實與蠟燭數量有關，故除了耗氧假說，應該還有其他成因。

註：如果考慮蠟燭本身體積，蠟燭數量越多，則燒杯內氣體量較少，能用來燃燒的氧氣也相對較少，按耗氧假說，水面上升高度應較小，與實驗結果不符。

## 2. 氣體熱漲冷縮

燒杯蓋上前，蠟燭已燃燒大約 10 秒，此段時間內，周圍空氣被燭火加熱，造成空氣密度降低。蓋上燒杯後，蠟燭繼續燃燒，蠟燭數量多者較快熄滅。在燒杯中燃燒的部分，根據耗氧假說，貢獻水位上升部分成因。蠟燭熄滅後，因內外溫差大，根據牛頓冷卻定律，此時熱量散失速率最大，溫度、壓力隨即下降，氣體收縮後，水位上升。

實驗結果顯示：不同蠟燭數量燃燒造成的水位上升高度  $h$  皆大於耗氧假說推算的水位上升 0.6 cm 的高度，故多出來的部分應是氣體熱漲冷縮所造成的。

實驗二：蠟燭長度  $L$  對水位上升高度  $h$  的影響

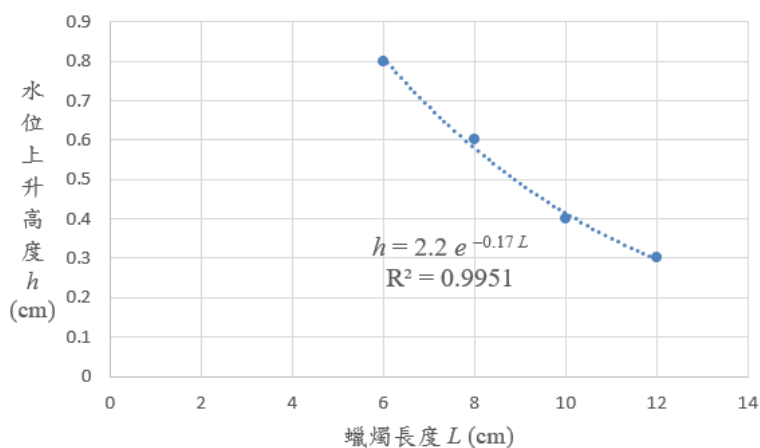
1. 分別將 6~12 公分相同粗細(直徑皆為 1.3cm)的蠟燭立在盤子上，點燃蠟燭後，用燒杯蓋住蠟燭。
2. 待水位上升到停止後，以尺紀錄水位上升高度。

### ● 實驗變因

控制變因	操作變因	應變變因
燭芯長度、原本水位高度、環境溫度	蠟燭長度	水位上升高度

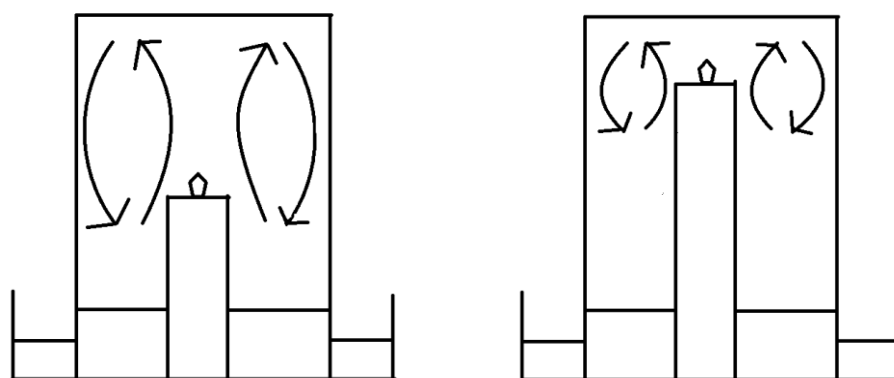
### ● 實驗數據：

蠟燭長度 $L$ (cm)	6.0	8.0	10.0	12.0
水位上升高度 $h$ (cm)	0.8	0.6	0.4	0.3



- 實驗結果：蠟燭越長，水位上升高度愈小。

在燭火上方的氣體被加熱而膨脹，因密度變而上升，兩側的氣體流向燭火附近遞補，形成對流。蠟燭越長，形成對流區較小，可能只有局部區域燃燒，使得水位上升高度較小。



## 五、結論與生活應用

1. 蠟燭燃燒造成水位上升的成因有：

- (1) 耗氧理論
- (2) 氣體熱脹冷縮

2. 蠟燭數量越多，則水位上升高度越大。

3. 蠟燭長度越長，則水位上升高度越小。

4. 密閉容器內的氣體熱脹冷縮現象已應用在中醫拔罐療法。

## 參考資料

1. 高中論證教學設計——以蠟燭燃燒水面上升為例，許綺婷。Chemistry Education in Taiwan 2014, 1(1), 92-96，台灣化學教育。
2. 1/5 的疑惑-悶熄蠟燭的實驗探討，王奕婷、曾思佳、熊思媛，花蓮女中。第 44 屆全國科展高中化學組