

2022年【全國科學探究競賽-這樣教我就懂】

國中組 成果報告表單

題目名稱：蠟燭漸而盡，水位忽又升

一、摘要：

將蠟燭立在一個裝水的盤子上，點燃蠟燭後，用燒杯蓋住，蠟燭熄滅時，水面上升了。水面上升的原因從以前到現在眾說紛紜。是瓶中氣體的熱漲冷縮?蠟燭的長短對此又會有何影響?改變水溫對實驗結果是否會產生影響?實驗證明：蠟燭燃燒時間越短、水溫越低時、燒杯上方溫度越低，水位上升越高。單獨放置時，長蠟燭燃燒時間比短蠟燭長，但長、短蠟燭一起燃燒時，長蠟燭卻先熄滅。短蠟燭單獨放置時，水位上升較高。因此推論出水位上升可能和燃燒產生的熱空氣遇到較冰冷的水，氣體收縮，釋出空間令水位上升有關。

二、探究題目與動機

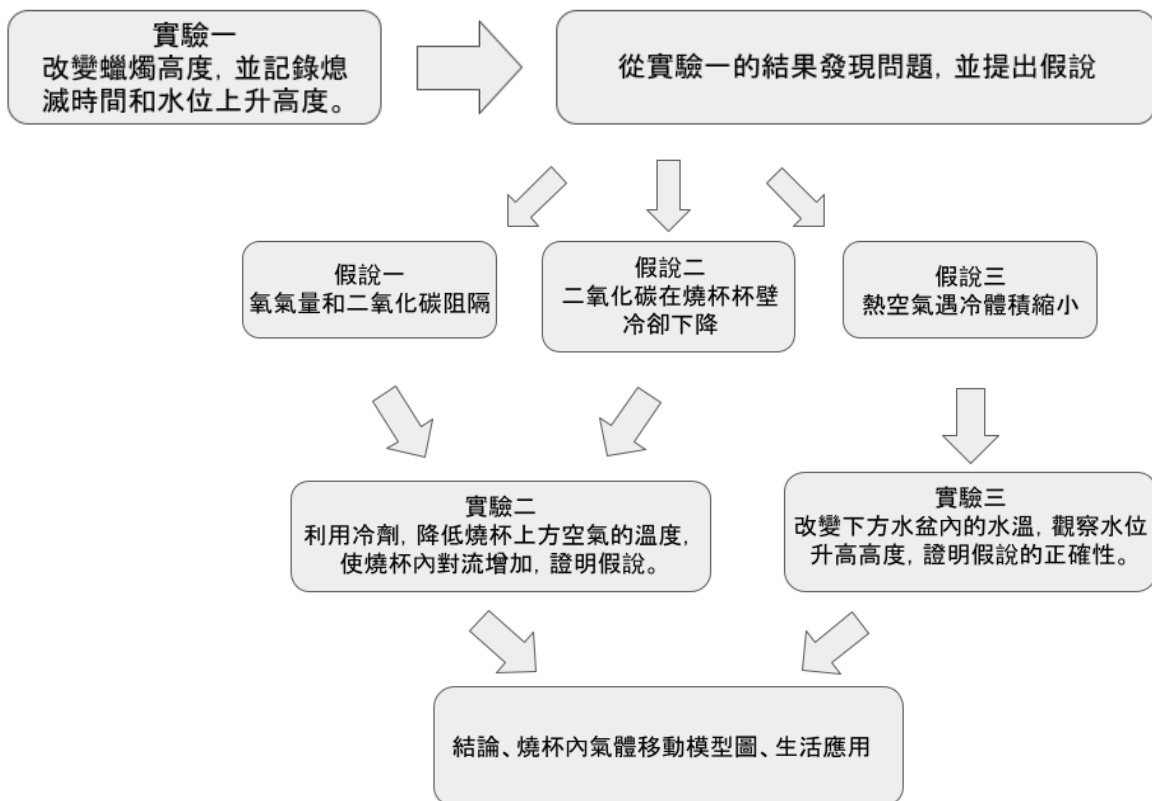
國小時曾做過蠟燭燃燒水位上升的實驗，但當時的結果卻存在頗多存疑。於是我們上網查找了許多資料，卻發現大多為實驗誤差等否定答案。我們想到了或許和熱漲冷縮有關，便做了實驗，卻發現似乎和蠟燭長短、燃燒時間更有關係。更發現蠟燭長短的燃燒時間似乎和火災逃生時應蹲低的道理相似，所以做了實驗、數據加以驗證。影響蠟燭燃燒結果的因素已有許多研究，所以此次實驗，我們會著重在燒杯內氣體的改變方式(體積、位置.....)。

三、探究目的與假設

- 一、探討不同蠟燭高度個別和共同置於燒杯中結果的差異
- 二、研究燒杯頂部溫度對蠟燭燃燒時間的影響
- 三、研究不同水溫對置於燒杯中的蠟燭燃燒結果的影響
- 四、歸納出蠟燭燃燒時燒杯內氣體的變動方式

四、探究方法與驗證步驟

一、研究步驟



二、研究過程

實驗一、蠟燭的高度蠟燭燃燒結果的影響

器材:燒杯1000mL、塑膠盆(33cm*22.5cm*3cm)、尺(最小單位毫米)、蠟燭(5和10公分)、水(常溫約24℃)、計時器

【表一】兩個5公分高的蠟燭置於燒杯內燃燒結果紀錄表

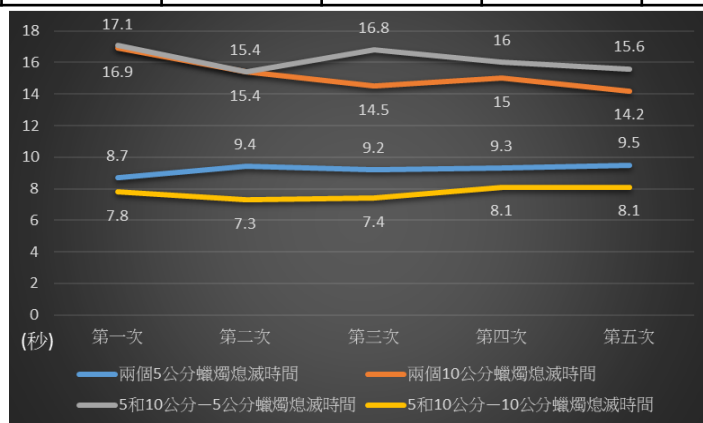
	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
燃燒時間(秒)	8.7	9.4	9.2	9.3	9.5	9.2
原先水面高(公分)	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30
實驗後水面高(公分)	4.87	5.54	4.85	5.16	4.89	5.06
水面上升百分比(%)	274.6	326.2	273.1	269.9	276.2	284.0

【表二】兩個10公分高的蠟燭置於燒杯內燃燒結果紀錄表

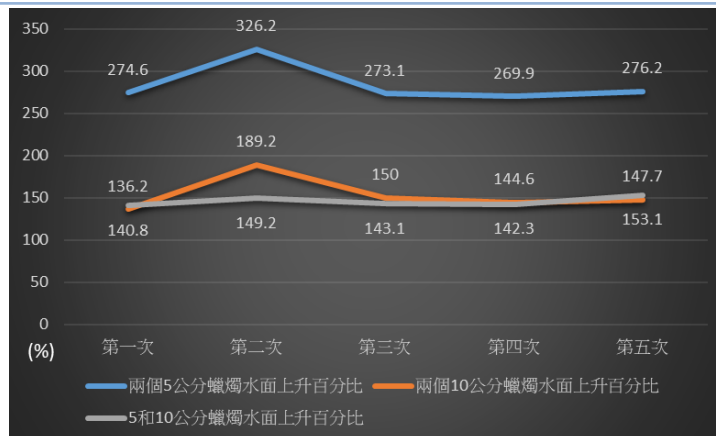
	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
燃燒時間(秒)	16.9	15.4	14.5	15.0	14.2	15.2
原先水面高(公分)	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30
實驗後水面高(公分)	3.07	3.76	3.25	3.18	3.22	3.30
水面上升百分比(%)	136.2	189.2	150.0	144.6	147.7	153.5

【表三】5公分和10公分蠟燭各一個置於燒杯內燃燒結果紀錄表

	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
5公分燃燒時間(秒)	17.1	15.4	16.8	16.0	15.6	16.2
10公分燃燒時間(秒)	7.8	7.3	7.4	8.1	8.1	7.7
原先水面高度(公分)	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30
實驗後水面高(公分)	3.13	3.24	3.16	3.15	3.29	3.19
水面上升百分比(%)	140.8	149.2	143.1	142.3	153.1	145.7



【圖一】實驗一蠟燭熄滅時間折線圖



【圖二】實驗一蠟燭燃燒後水面上升百分比折線圖

討論:

問題一、兩個10公分的蠟燭置於燒杯中熄滅的時間大於兩個5公分的蠟燭置於燒杯熄滅的時間，但當我們把燒杯內的蠟燭改了一個5公分，一個10公分，結果卻是10公分的先熄滅。

問題二、燃燒越久表示消耗的氧氣越多，兩個10公分的蠟燭燃燒的時間大於兩個5公分蠟燭，但是水位上升卻較少。

問題三、兩個10公分蠟燭和一個5公分一個10公分的蠟燭，水面升高幾乎相同。

問題四、兩個5公分蠟燭燃燒的時間大約等於5和10公分蠟燭共同燃燒時，10公分蠟燭的燃燒時間；兩個10公分蠟燭燃燒的時間大約等於5和10公分蠟燭共同燃燒時，5公分蠟燭燃燒的時間。

針對以上的問題，我們提出各式的假說，並透過實驗驗證其正確性，當然影響的因素還有很多，我們只是藉由實驗來找出燒杯內氣體的大致改變。

〈假說一〉氧氣量和二氧化碳阻隔

此實驗中，蠟燭熄滅的主因並非燒杯內氧氣全數耗盡，而是氧氣被二氧化碳阻隔，以至於氧氣無法和蠟燭反應。氧氣密度大於空氣，在燒杯中，分布在下方的位置，當蠟燭燃燒時，受熱氣體上升，下方溫度較低的空氣(氧氣)往上補，所以較高的蠟燭燃燒較久。當蠟燭是一高一矮時，高矮蠟燭皆會產生高溫二氧化碳，並且經實際測量得知矮的蠟燭相對高的蠟燭所產生的二氧化碳溫度低(上升過程降溫)，所以二氧化碳會在頂層分層，但二氧化碳溫度終究高於未被加熱的氧氣，因此未被加熱的氧氣被往下擠，供應給矮的蠟燭燃燒，換個看法，矮的蠟燭能用來燃燒的氧氣就會大致等於(略少)高的蠟燭原先可以利用的氧氣量；高的蠟燭則因為被二氧化碳包覆，最終熄滅。

〈假說二〉二氧化碳在燒杯旁邊溫度較低處遇冷下降

透過實際測量，燃燒過程中，燒杯正上方的溫度是明顯高於燒杯杯壁的。氣體在上升的過程中碰到物體時會向四面八方分散，當碰到杯壁被冷卻後，二氧化碳下降，所以較矮的蠟燭會先熄滅，較高的則燃燒較久。情況是一高一矮的蠟燭時，和假說一的內容相同，因為高的蠟燭和矮的蠟燭產生的二氧化碳溫度不一形成分層，下方的二氧化碳限制上方較高溫的二氧化碳遇冷下降，矮蠟燭持續產生的二氧化碳則因往上撞到的是氣體，往杯壁分散的情況不明顯，因遇冷下降的二氧化碳極少，不列入考慮範圍。

〈假說三〉熱空氣遇水降溫體積縮小

蠟燭燃燒時，燒杯內氣體受熱膨脹，火源熄滅後，熱空氣開始向各處移動，遇到較冷的物體(水)時，體積急速收縮，造成內外壓力差，水流入燒杯中。高的蠟燭加熱的空氣在較高處，因接觸到水而急速收縮的熱空氣較少，水位上升不明顯；矮的蠟燭加熱的空氣較低，遇水急速收縮的熱空氣較多，水位上升明顯。

實驗二、燒杯上方溫度對蠟燭燃燒結果的影響

器材:燒杯2000mL、塑膠盆(33cm*22.5cm*3cm)、蠟燭、紅外線溫度計(TES-1326S)、尺(最小單位毫米)

方法:

實驗組(水+冷劑約16°C)	將水倒出，蓋上正在燃燒的蠟燭，計算燃燒時間和升高水位。 (註:因安全問題，避免燒杯內外膨脹程度不一造成破裂，此實驗只觀測高度較矮的蠟燭。)
對照組(常溫水約24°C)	

【表四】燒杯上方溫度16°C(較低溫)蠟燭燃燒結果統整表

	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
原先水面高度(公分)	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
實驗後水面高(公分)	3.15	3.13	3.31	3.16	3.21	3.19
水面上升百分比(%)	57.5	56.5	65.5	58.0	60.5	59.6
蠟燭燃燒時間(秒)	22.2	26.2	25.1	27.8	22.5	24.8

【表五】燒杯上方溫度24°C(較高溫)蠟燭燃燒結果統整表

	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
原先水面高度(公分)	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
實驗後水面高(公分)	2.35	2.71	2.33	2.34	2.51	2.448
水面上升百分比(%)	17.5	35.5	16.5	17.0	25.2	22.3
蠟燭燃燒時間(秒)	40.1	35.6	36.3	38.7	31.8	36.5

討論:

此實驗設計的目的在於降低因蠟燭燃燒受熱上升的氣體溫度。對照組的實驗，會形成和假說一和二所提到的情形，大部分的二氧化碳會聚集在上方；換句話說，實驗組的設計就是為了增加內部空氣的對流。從實驗結果來看，燒杯上方溫度較低的實驗組，蠟燭燃燒的時間明顯小於對照組的，雖然沒有較高的蠟燭燃燒時間的數據，但從此結果推斷，假說一和二提到和二氧化碳的猜測應該是正確的，現在實驗組上方的高溫二氧化碳全部冷卻下降，最終矮的蠟燭熄滅。

實驗組水位上升較多則是因為熱空氣上升及遇冷體積縮小，原本只有水這個降溫的物體，現在上方又多了冷的空氣，使得燒杯內因蠟燭產生的熱空氣能更大量的被降溫，造成燒杯更大的內外壓力差，水位上升越多。

實驗三、盆內水溫對蠟燭燃燒結果的影響

器材:水(20/50/80°C)、紅外線溫度計(TES-1326S)、塑膠盆(33cm*22.5cm*3cm)、1000mL燒杯、蠟燭(7公分)

方法:取不同的水溫至於塑膠盆內，記錄燒杯蓋下蠟燭熄滅後水位的上升情形。

【表六】盆內水溫20°C蠟燭燃燒實驗結果

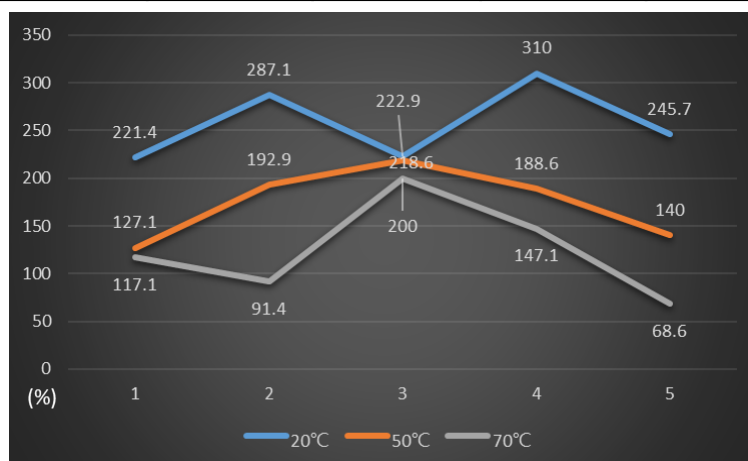
	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
原先水面高度(公分)	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
實驗後水面高(公分)	2.25	2.71	2.26	2.87	2.42	2.50
水面上升百分比(%)	221.4	287.1	222.9	310.0	245.7	257.4

【表七】盆內水溫50°C蠟燭燃燒實驗結果

	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
原先水面高度(公分)	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
實驗後水面高(公分)	1.59	2.05	2.23	2.02	1.68	1.91
水面上升百分比(%)	127.1	192.9	218.6	188.6	140.0	173.4

【表八】盆內水溫70°C蠟燭燃燒實驗結果

	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
原先水面高度(公分)	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
實驗後水面高(公分)	1.52	1.34	2.10	1.73	1.18	1.57
水面上升百分比(%)	117.1	91.4	200.0	147.1	68.6	98.4



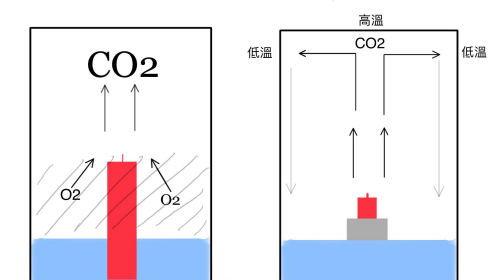
【圖三】不同水溫對水面上升百分比關係影響折線圖

討論:

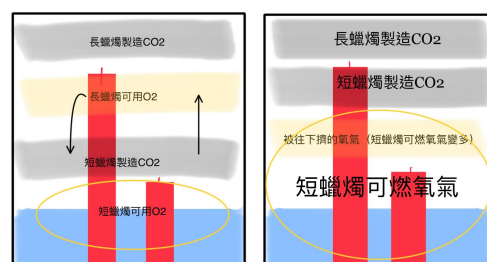
透過圖三的折線圖，雖然有一些誤差，但還是能大約看出水溫20°C>50°C>70°C水位上升百分比。此實驗的目的在觀察水溫升高對水面上升的影響，以假說三為出發點的話，則水溫越低，熱空氣收縮越明顯，水位上升越多，和實驗最終的結果相同，所以假說三的內容是正確的。

五、結論與生活應用

(一)、結論 [燒杯內氣體移動模型圖](#)(可點連結觀看)



【圖四】二氧化碳移動示意圖



【圖五】氧氣和二氧化碳移動示意圖

(二)、生活應用

火災發生時，應立即關上房間的門，其目的：

1.防止火勢蔓延出來 2.避免更多的氧氣參與燃燒的反應，使火勢變大

起火的地方會形成氣壓較低的部分，會讓新鮮的空氣也過去參與反應。當火源在房間外時，關門並用濕抹布擋住門的縫隙，減少新鮮的空氣往火源過去，造成氧氣量減少而產生缺氧的情況，當然房間內的窗戶要打開。

火場逃生要盡量採低姿勢，其目的：

1.高溫氣體會往上升 2.較低處有較多氧氣

高溫氣體確實會往上，下方未被加熱的空氣氧氣佔多數，但要注意的點是，假如火源高度並不是很高的話，那基本上下方可供你呼吸的氧氣也會很快被反應成高溫二氧化碳，所以要逃生的話也要觀察火源的位置才行。

滅火的方法

從實驗結果可以知道蠟燭熄滅的主因是蠟燭被二氧化碳包圍，阻隔氧氣參與反應，所以我們是不是可以把這帶入到實際的滅火行動中呢？

乾粉滅火器的原理是噴射出加壓的乾粉，以隔絕火源以及氧氣；而我們在實驗時將燒杯降溫，使得二氧化碳向下降，導致火源熄滅，就像是乾粉滅火器在滅火時的原理一樣，都是利用隔絕氧氣的方式使火源熄滅。

救火的灑水時機？

消防員救火的時候，假如還有人在內，就不能馬上射水，避免裡面的人被高溫的空氣或是火籠罩。

1.灑水的目的是降溫，當上方的熱空氣降溫了，火災的地方壓力變小，此時外部的空氣會大量湧入，導致火焰亂竄，而且即便降溫了，內部的空氣溫度終究很高，可能會造成燒傷或燙傷。
2.射水進入火場時，內部的高溫讓水在一瞬間蒸發成水蒸氣，吸入的話，會造成呼吸道的嗆傷。

參考資料

- 1.幾件蠟燭熄滅前發生的事情 發布日期:2013.12.11 參考日期:2022.4.9 取自:<https://reurl.cc/g09177>
- 2.高中論證教學設計——以蠟燭燃燒水面上升為例 作者:許綺婷 發布日期:2014.5 參考日期:2022.4.9 取自:<https://reurl.cc/pW7Agr>
- 3.問水哪得高如許？為有熱源伴水來 作者:陳熾云;張婉怡 發布日期:2011 參考日期:2022.4.9 取自:<https://reurl.cc/MbrV0X>
- 4.這應該就是蠟燭燃燒造成燒杯中水上升的原因吧！ 發布日期:2009.6.9 參考日期:2022.4.9 取自:<https://reurl.cc/VjKIRO>
- 5.翻轉迷思——關於蠟燭燃燒 作者:盧政良 發布日期:2019.1.18 參考日期:2022.4.9 取自:<https://reurl.cc/02LR19>