

投稿類別：物理類

篇名：

蠟燭的異想世界

作者：

林昀諮。國立彰化女中。高二 14 班

施喬嫻。國立彰化女中。高二 14 班

黃芷琦。國立彰化女中。高二 14 班

指導老師：

李政憲老師

壹●前言

自古以來，蠟燭在生活中扮演很重要的角色，常見於婚喪喜慶等傳統風俗習慣，古典詩詞中「春蠶到死絲方盡，蠟炬成灰淚始乾」等描述，更增加了我們對蠟燭的好奇心。在微弱的燈光中，吹熄的煙霧美得令人屏息，薄薄的煙霧如絲綢般劃過空中，進而分散為無數縷青絲裊裊上升。為了探尋蠟燭的本質、燃燒的原理、是什麼因素造成彩虹般的煙霧…等，我們查閱了許多資料，並且做了彩虹煙霧的實驗，希望可以在不同倍率的顯微鏡下，看到一般肉眼看不到的微觀世界，一舉揭開蠟燭的神秘面紗。

首先，我們探討「蠟的來源」、「蠟燭的製造」、「蠟燭的燃燒」。接著，我們做了「彩虹的蠟燭煙霧之實驗」，在不同倍率的顯微鏡下，觀察蠟燭煙霧的變化。最後，針對實驗做了探討，並且查閱相關資料，期望了解「彩虹的蠟燭煙霧之形成原因」。

貳●正文

一、蠟燭

(一) 蠟的來源

蠟燭，即用蠟或油脂製成的燭，中有燭芯，點火之後可以持續燃燒，多用於照明、喜慶或祭祀典禮。最初，蠟的主要來源為動物性油脂與植物性油脂；直到 19 世紀初，法國化學家米歇爾·歐仁·舍夫勒爾 (Michel Eugene Chevreul) 發現，把油脂水解後得到的硬脂酸，比油脂更適合做蠟燭使用；然而現今，蠟燭通常已改用石油副產品石蠟（固態烷烴混合物，分子式為 C_nH_{2n+2} ）所製成，石蠟在製造過程中通常已添加硬脂酸，以提高石蠟的熔點，也使得蠟燭燃燒更強，但較慢燃燒殆盡。

動物性油脂的來源有牛脂、蜂蠟、鯨蠟（來自抹香鯨）、蟲蠟。牛脂的主要成分是三酸甘油酯，三酸甘油酯是由一個甘油分子和三個脂肪酸分子組成的酯類有機化合物。蜂蠟，是蜜蜂工蜂分泌的蠟，主要成分是棕櫚酸

(palmitate)、棕櫚油酸 (palmitoleate)、羥基棕櫚酸 (hydroxypalmitate) 及長鏈脂肪醇類。鯨蠟，來自抹香鯨，是由含 16 個碳的棕櫚醇 (palmityl alcohol) 與含 16 個碳的棕櫚酸 (palmitate) 形成的酯。蟲蠟，有重要經濟價值的主要有兩種，分別是中國蟲蠟和印度蟲蠟；中國蟲蠟，是一種產自四川的白蠟蟲，會在白蠟樹上分泌一種白蠟，質地潔白而細膩，被稱為「川蠟」，是中國特產之一，在國際市場上則又被稱為「中國白蠟」；印度蟲蠟，是寄生於印度

蟲膠樹上的昆蟲所分泌的一種膠狀物質，印度蟲蠟為蟲膠的副產品。

植物性油脂主要產自熱帶的棕櫚樹、漆樹、小燭樹、甘蔗等，多存在於葉、果實、莖的表面，化學成分為高級脂肪酸及高級一元醇的脂類化合物。植物性油脂比動物性油脂的來源更加穩定，其中巴西棕櫚蠟的產量較大，巴西棕櫚蠟主要是從巴西棕櫚的葉及葉柄得到，顏色為淡黃至淡褐色。

（二）蠟燭的製造

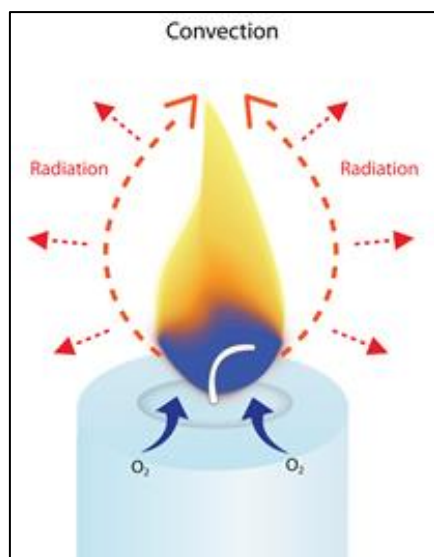
蠟燭由棉線和蠟塊兩個部份組成。首先，把一團棉花纏成一個環，再將這些棉線掛起來，末端覆蓋金屬物，使得這一部分不會被蠟蓋住。框架上掛著很多棉花，而且框架是可以旋轉的，在轉動的過程中，拿一桶蠟，將熔化的蠟一層層澆上。從第一個框架開始澆灌，接著澆灌下一個，如此持續下去。當澆灌完第一輪後，等待框架中的蠟冷卻，從頭再澆灌第二輪，如此反覆動作，直到線上累積了厚厚的蠟為止。最後，再把它們取下並移到其它位置擺放，用石板磨圓。以上是商業製造蠟燭的方法，稱為「浸製蠟燭」(dips)，接下來是模具的做法。首先，準備一個框架，上面綁著幾個模型，把燭蕊穿過這些模型，穿到底端並在底部固定。燭蕊常用天然纖維材料製成，如棉線、竹條，由多股棉線製作的燭蕊，會自動散開暴露在火焰的外焰中，而被燃燒殆盡，因此這種燭蕊不需要人工重複剪蕊。接著，用小栓子拉緊棉花並堵住孔隙，以防止液體流出來。之後，將要使用的蠟或油脂融化後流入模子裡，例如：動物性油脂、植物性油脂、硬脂酸、石蠟。待模型冷卻後，從一角倒出多餘的蠟或油脂，並剪掉燭蕊的尾巴。因為蠟燭是圓錐形的，上面比下面小，把模型裡面剩下的蠟燭倒過來，輕輕搖晃一下，蠟燭就會掉出來了。

（三）蠟燭的燃燒

1、蠟燭如何燃燒

燭蕊是蠟燭燃燒的必備條件，除了用來點火，最重要的就是毛細作用。燭蕊主要是利用毛細現象，把受熱液化的蠟往上拉而到達燭蕊頂端，蒸發為蠟蒸氣。蠟燭燃燒時產生的熱氣將空氣向上推，這時暖空氣向上運動，冷空氣和氧氣在火焰的底部來取代它，當較冷的空氣被加熱時，也跟著上升，如此循環著形成熱對流運動。在燭頂附近靠邊緣的蠟，由於接觸較冷的空氣，使熔化的蠟油冷卻下來，因蠟油沿著蠟燭表面流下，冷卻成固體，而形成「淚狀珠粒」。雖然火焰盡可能地沿著燭蕊向下燃燒，融化了內部，但是外部並不會融化，因此會在燭頂形成杯狀凹槽，稱為「蠟油池」。杯狀凹槽是因持續上升的熱對流作用而形成的，如果沒有杯狀凹槽，蠟燭就

無法持續燃燒。



圖一、蠟燭燃燒時的熱對流

2、火焰的分層

火焰分為三層：焰心、內焰、外焰。焰心位於燈芯上方、火焰最內層，是相對較冷、較暗的區域，溫度約攝氏 600~1000 度，因為供氧不足，燃燒不完全，所以呈現暗藍色。內焰是最明亮的部分，溫度約攝氏 1200 度，因為此部分有許多易燃的氣體，而火焰外圍有燃燒所需的空氣，兩者在內焰混合，因此就發生劇烈的化學反應。外焰位於最外層，溫度約攝氏 1400 度，為無色火焰，因為供氧充足，燃燒完全，溫度最高。



圖二、蠟燭火焰的分層

3、微重力狀態下的火焰

蠟燭燃燒時，熱空氣沿燭頂上升，冷空氣自周圍進來，這些「向上」和「向下」都是地球引力的作用。然而，如果蠟燭位於外太空，地心引力

的作用微弱，沒有「向上」和「向下」的引力作用，就沒有熱對流產生，此時燭火燃燒不完全，火焰就會呈現藍色偏紫。



圖三、正常重力下的火焰



圖四、微重力狀態下的火焰

4、燃燒蠟燭與酒精燈

蠟燭的燃燒和酒精燈的燃燒不同，因為酒精燈的火焰溫度比蠟燭的火焰溫度高，所以當我們分別用蠟燭和酒精燈燒開水時，使用酒精燈的那一杯水會較快沸騰。觀察酒精燈的火焰顏色，也可以發現酒精燈的火焰顏色比蠟燭的火焰顏色還要青，因此溫度比較高。因為酒精燈的火焰溫度較高，而且又不會產生黑煙，所以比較適合做實驗用。至於蠟燭，自古以來就用來照明，或使用於喜慶或祭祀典禮。

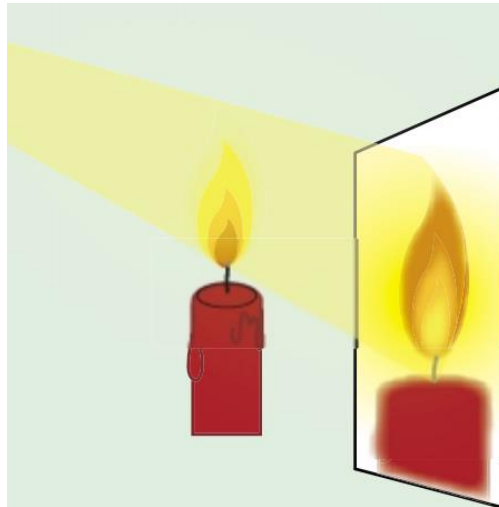
5、火焰中的碳粒與光芒

蠟燭的內焰呈現明顯的亮黃色光芒，是因為火焰高溫區存有大量的碳顆粒。蠟燭是高碳的碳氫化合物，當蠟油分子靠近火焰面進行多步驟化學反應時，產生大量的碳原子，部分碳原子在燃燒時成為二氧化碳或一氧化碳。然而，尚有許多未反應的碳原子，這些碳原子相互碰撞而結合成為碳微粒。常溫下的碳微粒是黑色的，但是高溫狀態下的碳微粒則是亮黃色，因此富含碳微粒的黃色火焰，才會表現出強烈的光芒和輻射。

6、火焰的投影

令人驚訝的是，當火焰投影在紙屏上時，從影子觀察到火焰最暗的地方，實際上卻是火焰最亮的地方。這是因為，內焰有許多易燃的氣體，而火焰外圍有燃燒所需的空氣，兩者在內焰混合，發生了劇烈的化學反應，產生很多化學物質，它們會吸收光線，因此從影子觀察到火焰最暗的地方，實際上卻是火焰最亮的地方。還有一點值得注意的是，蠟燭燃燒時，熱空氣沿燭頂上升，冷空氣自周圍進來，不斷上升的熱氣流使蠟燭持續燃燒，

火焰投影在紙屏上時，旁邊有一些陰影，拉著火苗不斷上升，此即為上升的熱氣流。



圖五、火焰投影在紙屏上

二、彩虹的蠟燭煙霧——實驗

(一) 實驗器材：



- 1、火柴
- 2、蠟燭
- 3、電子顯微鏡
- 4、電腦

5、手電筒

6、白熾燈

7、玻璃片

(二) 實驗步驟

1、設置顯微鏡頭，調整至該倍率之畫面清晰處

2、固定光源

3、按下「開始錄影」

4、使用火柴點燃蠟燭

5、待蠟燭燃燒旺盛後，蓋下玻璃片使之熄滅


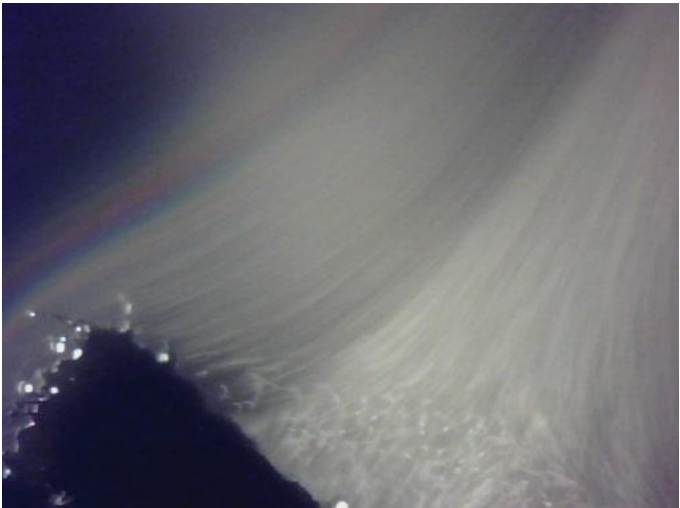
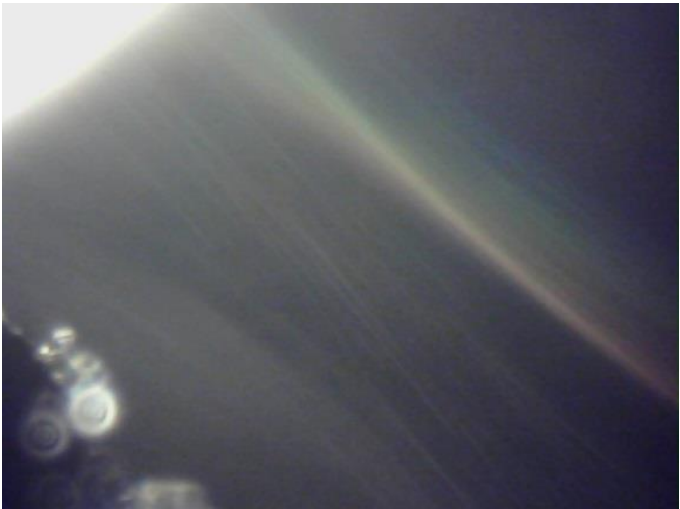
6、觀察影片並分析其熄滅情形及煙霧色彩

7、重複實驗步驟，依序做不同倍率的實驗

8、為求實驗結果之準確性，每一倍率之實驗重複三次

(三) 實驗結果：



250 倍	 <p data-bbox="539 674 1315 712">較高倍率時畫面光線較暗，但可觀察到一束束彩虹煙霧</p>
350 倍	 <p data-bbox="608 1249 1244 1288">350 倍時，可清楚觀察到微觀下的煙是絲狀的</p>
450 倍	 <p data-bbox="671 1825 1181 1863">450 倍時，可清楚觀察到色彩的分層</p>

三、彩虹的蠟燭煙霧——實驗探討

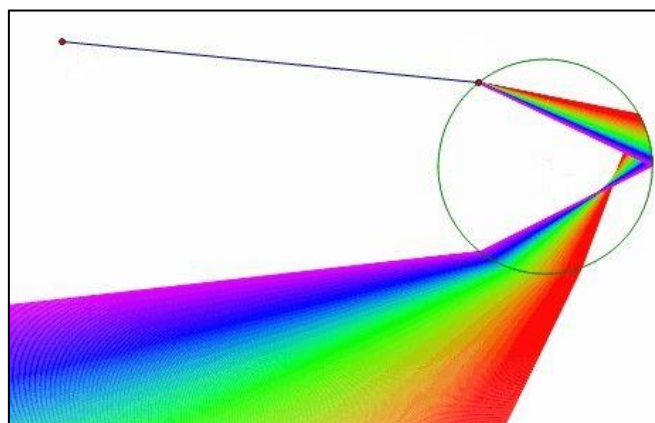
(一) 煙霧的組成

使蠟燭熄滅的方法有很多，在本次實驗中，我們用一玻璃片蓋熄蠟燭。蠟燭熄滅後會產生煙霧，並且產生一股臭味。煙霧主要是由凝結的蠟蒸氣和碳粒組成，至於蠟燭熄滅後聞到的臭味，就是凝結的蠟蒸氣造成的。

當我們用一小燒杯蓋熄蠟燭時，由於空氣的供應不足，使得燃燒不完全，於是馬上就有一束黑煙自蠟燭冒出。黑煙是由碳顆粒組成的，而這些碳顆粒早已存在於蠟燭的內焰，蠟燭的內焰呈現明顯的亮黃色光芒，是因為火焰高溫區存有大量的碳顆粒，這些碳顆粒在進行多步驟化學反應時，部分燃燒成為二氧化碳或一氧化碳，而這些飛揚的碳顆粒是因為沒有足夠的新鮮空氣而產生的。由此可知，碳顆粒的確存在於煙霧中。

(二) 彩虹的形成

當太陽光照射到半空中的水滴，光線經兩次折射一次反射，在天空上形成拱形的七彩光譜，此即為「彩虹」。陽光射入水滴時會同時以不同角度入射，在水滴內亦以不同的角度反射。其中，以 40 至 42 度的反射最為強烈，造成我們所見到的彩虹。造成這種反射時，陽光進入水滴，先折射一次，然後在水滴的背面反射，最後離開水滴時再折射一次。不同波長的光，折射率也不一樣，紅光的折射率比藍光小，而藍光的偏向角度比紅光大，所以觀察者看見的光譜是倒過來的，紅光在最上方，藍光在下方。



圖六、彩虹的形成

(三) 彩虹的蠟燭煙霧

蠟燭熄滅後產生的煙霧，主要是由凝結的蠟蒸氣和碳粒組成。熄滅後產生的煙霧，有如一層薄霧，靠近這層煙霧觀察，看起來就像是瀑布底端蒸發

的水珠。因為凝結的蠟蒸氣就如同水滴，所以能夠像水滴一樣，在光線進入後，產生折射、反射、再折射，進而在煙霧上產生奇妙的彩虹。彩虹由空中透明的微觀蠟燭液滴產生，其效果相當於太陽照射雨滴形成的彩虹景象。因為實驗是在暗室中進行，所以在蠟燭熄滅瞬間，需要給予光源才能拍攝照片，光源的性質愈接近太陽光愈好，例如：日光燈、白熾燈、手電筒的白光、相機的閃光燈。

參●結論

蠟燭的組成簡單，其燃燒的過程中卻有許多值得探討的科學原理。根據我們所整理的資料及實驗，我們發現蠟燭的燃燒主要是依靠燈芯的毛細作用，把受熱液化的蠟往上拉而到達燭芯頂端，蒸發為蠟蒸氣，循環著熱對流運動，產生凹槽，因為有「蠟油池」，才能使蠟燭持續燃燒。

火焰分為焰心、內焰、外焰，內焰之所以呈現明顯的亮黃色光芒，是因為火焰高溫區存有大量的碳顆粒。當蠟油分子靠近火焰時，會產生大量的碳原子。常溫下的碳微粒是黑色的，但是高溫狀態下的碳微粒則是亮黃色的，因此富含碳微粒的黃色火焰，才會散發出強烈的光芒和輻射。我們還學到當火焰投影在紙屏上時，從影子觀察到火焰最暗的地方，實際上卻是火焰最亮的地方。

在實驗過程當中，最令我們驚奇的是，吹熄蠟燭後居然會產生彩虹的煙霧！熄滅後產生的蠟蒸氣凝結後如同水滴，所以能夠像水滴一樣，在光線進入後，產生折射、反射、再折射，進而在煙霧上產生彩虹。我們在實驗中使用過不同光源，發現白熾燈所產生的彩虹顏色最為明顯，因為實驗在暗室中進行，所以光源強度越大效果越佳。

在準備小論文的過程中，我們更加了解蠟燭的組成、燃燒的產物、如何製作蠟燭，及不同狀態下所產生的火焰。然而，在實驗過程中我們遇到許多棘手的難題，例如：使用哪一種光源、顯微鏡頭如何操作、用何種方式熄滅蠟燭較佳，一開始我們完全無法看到彩色的煙霧，經過不停的調整之後，終於拍出一張比一張更清楚的照片！此外，我們也從中獲益良多，而其中最大收穫就是精準的使用顯微鏡頭，還有因為蠟燭所燃起的求知慾，及永不放棄的毅力與決心。

肆●引註資料

一、書籍

- (一) 倪簡白（譯）（2012）。**法拉第的蠟燭科學**。新北市：台灣商務。
- (二) 胡景瀚、林奕秀（譯）（2013）。**蠟燭的化學史**。台中市：白象文化。

(三) 曾濟羣(主編)(1993)。幼獅少年百科全書。台北市：幼獅文化事業公司。

二、期刊論文

(一) 倪簡白(2003)。從法拉第的演講看蠟燭科學。科學發展，370，70-75。

(二) 林大惠(2002)。燃燒火焰知多少。科學發展，355，4-11。

三、網站

(一) 暴走楊的科學網。2015/2/15，

<https://sites.google.com/site/baozouyangdekexuewang/>

(二) 維基百科。2015/2/17，<http://zh.wikipedia.org>

(三) National Candle Association。2015/2/18，<http://candles.org/>

(四) Scientific American。2015/2/20，<http://blogs.scientificamerican.com/>

四、圖片

圖一 National Candle Association。2015/2/18，<http://candles.org/>

圖二 暴走楊的科學網。2015/2/15，

<https://sites.google.com/site/baozouyangdekexuewang/>

圖三 National Candle Association。2015/2/18，<http://candles.org/>

圖四 National Candle Association。2015/2/18，<http://candles.org/>

圖五 倪簡白(2003)。從法拉第的演講看蠟燭科學。科學發展，370，70-75。2015/2/19

圖六 新浪天氣。2015/2/20，<http://weather.sina.com.tw/>