

## 蠟燭的化學史

## The Chemical History of a Candle

作者：Michael Faraday (麥可·法拉第)

譯者：胡景瀚\*、林奕秀

國立彰化師範大學化學系

\*[chingkth@cc.ncue.edu.tw](mailto:chingkth@cc.ncue.edu.tw)

## 第三章 蠟燭燃燒產生水、水中的氫

## ■ 蠟燭燃燒產生水

我想你還記得，上次演講結束的時候我們談到蠟燭燃燒的「產物」；只要在燃燒蠟燭時適當地操作，我們就能從蠟燭的燃燒過程中得到各式各樣的產物。有的產物在蠟燭燃燒不完全時產生，例如碳或煙；有的產物來自火焰，但並不像煙，而是以其它型態隨著氣流上升後，變成看不見的東西，接著逸散成為大氣的一部分。還有別的產物值得一提。你記得的，從蠟燭上升氣流的研究中，我們發現氣流中的一部分接觸冷湯匙、乾淨盤子或其它冷的東西時會凝結；但是有的部分卻不會凝結。

我們先來研究、檢視會凝結的部分吧。嗯，很妙的是，我們發現這些凝結的產物就是水，沒有別的，就是水！上回我偶然間提到水，只是要說水也是蠟燭燃燒作用產生的；但今天我想把你的注意力拉向水，特別是從和我們的主題有關的角度，好好地檢查水這個物質，我們也將討論在地球表面的一般的水。



圖 11

先前我們做過一個實驗：從蠟燭的產物凝結出水，現在就讓你看看這些水。要一次在這麼多人面前呈現水，最好的方法是演示有關水的顯而易見的作用，然後藉這作用來

檢測我們在容器底部蒐集到的液體。我手上有個戴維爵士發現的化學物質，這個東西會和水發生很活躍的反應，我打算用它來測試水的存在。它叫做鉀，來自碳酸鉀——如果我拿一小塊丟進水槽，只要裡面有水，鉀就會劇烈燃燒、急速漂動，並產生激烈的火焰。現在，我要把碗底下燃燒的蠟燭移開（圖 11），碗裡面盛著冰和鹽，你看到碗底下懸著一滴水——蠟燭凝結的產物。鉀與這滴液體發生的反應和我們剛才做的小實驗一樣，把鉀丟入水槽。你看！它著火了，而且燃燒的方式一樣。我把碗底下的液體滴到這個玻璃板上，然後把鉀丟進液體，它馬上燒起來，證明這裡有水，也證明了水是蠟燭燃燒產生的。

同樣的方法，如果我把油燈放在玻璃罐下方，很快地，玻璃罐子會變得潮濕，有小水珠附在玻璃上——這些小水珠就是燃燒作用的產物；我會讓油燈繼續燃燒，然後看看我們能蒐集到多少水。這樣，如果我把某種冷卻裝置放在煤氣燈上方，也會得到水，這些水也是氣體燃燒的產物。在這個瓶子裡有些水，是相當精純、經過蒸餾的水，來自煤氣燈的燃燒作用——和你從河水、海水或泉水蒸餾出來的水沒有一丁點兒不同。水是種單一物質；它不會改變。我們可以細心控制，收集更多的水，或者把水移開，從中取得其它物質；但是水就是水，永遠是一樣的，無論處於固態、液態或氣態。這瓶（手上拿著一瓶液體）也是油燈燃燒製造出來的水。要是燃燒完全的話，一公升的油燃燒後會產生多於一公升的水。這罐也是水，取自蠟燭長時間的燃燒作用。我們將會知道，幾乎所有

的可燃物，它們的燃燒都產生水。你可以在家自己動手做這個實驗：火鉗的前端挺適合拿來試試，只要它可以在蠟燭上面維持一段涼的時間，那麼火鉗上面就會出現凝結的水珠；一隻湯匙、勺子或其它東西，都可以拿來試試看，只要材料是乾淨的、可以耐熱，你就能得到凝結的水。

從「可燃物的燃燒」進入「水的製造」這神奇的過程之前，首先我要讓你曉得，水可能在不同的條件下存在。雖然你已經熟悉它存在的所有形態，但我們還是要把注意力放到「水」上；這樣我們就可以理解，儘管水變化多端，<sup>10</sup>水絕對還是同樣的東西，無論它來自蠟燭、來自燃燒作用或來自河流海洋。

首先，水在很冷的情況下會成為冰。現在，我們科學家<sup>11</sup>（希望我們都能被歸類為這種人）認為水就是水，無論它是固態、液態或氣態——在化學上我們都稱之為「水」。水是兩種元素的化合物，其中一種可以從蠟燭得到，另一種則要從別處取得。<sup>12</sup>水可能以「冰」的樣子出現，今天你就看到了好些次。冰變成水（上星期天發生在我家裡的慘劇）就是冰的融化。當溫度上升，冰就變回水；溫度更高的話，水就變成水蒸氣。我們面前的這杯水正處於密度最大的狀態；即使它改

<sup>10</sup> 「變化多端」原文為“Protean changes”。“Protean”源於希臘羅馬神話中的神祇 Proteus，為海神之一。傳說中 Proteus 能預測未來，只有捕捉到 Proteus 的人能從他口中得到讖語，但他也會幻化為各種樣子避免落網。從 Proteus 的特性衍生出的形容詞“Protean”，即指「多變化的」、「不定的」、「多形態的」，也帶有「彈性」、「適應力強」的意思。

<sup>11</sup> 原文為“philosopher”為研究哲學的人。「哲學」廣義地說，是研究知識、實體、存在的本質。法拉第用「哲學家」除了指狹義的哲學，即對本質的研究；依據廣義而言，科學——研究自然知識或經驗的理論基礎的本質——也是哲學。在本文中我們都翻譯為「科學家」。

<sup>12</sup> 水（ $H_2O$ ）的氫原子來自蠟燭，氧原子來自空氣中的氧。

變重量、狀態、形態或其它性質，它還是水；我們降溫、把水變成冰，或加熱變成水蒸氣，都會增加體積——聽起來很吸引人又很厲害吧，這同時又是非常、非常奇妙的現象。舉個例，我現在將水注入錫罐裡，你看我倒進多少水，並預測看看水會到多高：現在水大約距離底部約 5 公分。然後我把水轉化為水蒸氣，好讓你看看水在液態和氣態時的體積會如何地大不相同。

### ■ 水變成冰時體積會增加

讓我們來看看水變成冰的例子：鹽和碎冰的混合物可以降溫，<sup>13</sup>進而把水變成冰。這樣做做實驗可以讓你看到，水發生變化時體積膨脹的情形。這些罐子（手上捧著一個）用堅硬的鐵鑄成（圖 12），又厚又硬——它的厚度大概有 1 公分；我小心地將罐子裝滿水，好排出所有空氣，然後把蓋子旋緊。我們將會看到：當水在這些容器裡結凍時，因為罐子裝不下結凍的冰，膨脹的體積會把罐子撐破，最後變成這樣子碎的東西（指向一些碎片）——它們曾經是個鐵罐，就跟我手上的一模一樣。我要把這兩個裝滿水的鐵罐放進鹽和碎冰的混合物，好演示給你們看：當水變成冰時，體積的變化是相當驚人的。

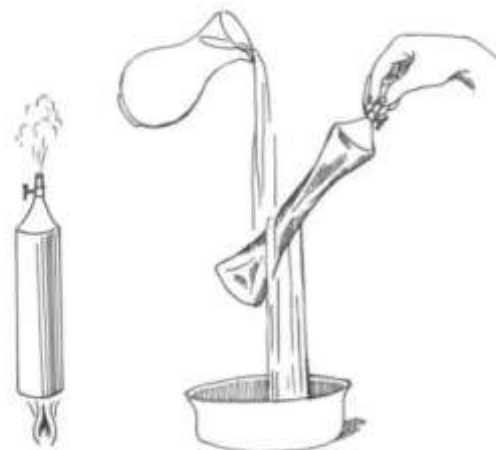


圖 12

在罐子裡的水還沒結成冰的時候，我們來看看另一頭的實驗：當我們把水加熱時發生了甚麼變化？它逐漸失去液體的形態。你可以從另外幾種狀況中發現到這個變化。燒瓶裡的水正在沸騰，我在瓶口蓋上錶玻璃。你發現了嗎？這瓶子不太穩定、嘎嘎地響，像是吵個不停的活塞；因為滾水產生的蒸氣鼓得活塞跑上跑下，有些蒸氣還趁機衝了出去，所以才這樣撞來撞去、嘎啦嘎啦響。這原理並不難懂，原因在於燒瓶充滿了蒸氣，不然蒸氣也就不會衝出來了。你還看到，燒瓶裡的蒸氣比原本的水還多，因此蒸氣一次又一次的充滿整個燒瓶，然後散逸到空氣中；但同時你沒有感覺水消失了很多，這表示當水變成蒸氣時，水蒸氣膨脹造成體積大量地增加。

剛才我已經把裝水的鐵罐放入冰和鹽的混合物，現在你們可以：看看發生了甚麼事。就像你看到的，罐子裡的水和罐子外面的冰是分開的，它們之間沒有物質交換。不過它們之間卻有熱的傳導；如果我們成功的

<sup>13</sup> 鹽溶於水會吸熱，鹽水不易結冰，因此可以用來降溫。

話……今天，實驗進行得有點匆忙。一旦罐子和裡面裝的東西變成冰的時候，我想你會聽到罐子迸出「啪」的一聲；而當我們來檢查這些罐子時，會發現裡面的液體已經聚成一塊塊的冰。因為水變成冰時，體積會膨脹，原本裝滿水的鐵罐顯得小了，裝不下這些冰。如你所知，冰會漂在水面上；在河流結冰的季節，如果小男孩從冰洞掉進水裡，他可以攀住一片冰，好浮回水上。為什麼冰會漂在水上呢？想一想這個問題，然後分析看看。這是因為水結冰後體積變大，相較之下冰比較輕，而水則是較重的。

### ■ 水蒸氣的體積遠遠大於水的體積

我們現在回到加熱水的動作。看看從錫罐冒出來的蒸氣。你仔細看，我們一定製造了很多水蒸氣，才會冒出這麼多來。水加熱後轉變為蒸氣，反過來，我們也能冷卻蒸氣，把氣體變回液態的水。假如蒸氣上方有個玻璃杯或其它冷的東西，過不了多久玻璃表面就會濕濕的：蒸氣持續凝結，直到玻璃杯變成溫的，蒸氣凝結為水附著在杯壁上，現在……水沿著杯壁流下來了。我手邊還有個實驗，用來呈現水從氣態凝結為液態的過程，就像蒸氣（也是蠟燭的產物）凝結成水附著在盤子底部。為了讓你完整如實地看見這些變化發生，我要用這個充滿蒸氣的錫瓶子，然後把頂端的開口蓋上。當冰水淋上錫瓶時（圖 12），裡面的水、或者說水蒸氣，會變回液態。我們來試試，看看會發生甚麼事？（法拉第把冰水淋上錫瓶，瓶子馬上塌陷下去。）你看發生了甚麼事！如果我關住栓塞，然後繼續加熱，蒸氣會爆破瓶子；相反地，當蒸氣變回水的時候，瓶子塌陷下去，

因為蒸氣凝結造成容器內成為真空狀態。我做這些實驗的目的是指出：在這些變化中，水沒有被任何東西變成其它東西，水一直都是水。在水蒸氣冷卻的過程中，罐子向內塌陷；而在持續加熱下，容器則往外膨脹。

當水處於氣體狀態時，你覺得它的體積有多大呢？這個立方體的水蒸氣（指向一個長寬高約 10 公分的立方體）（圖 13），來自於旁邊這個 1 公分立方體的水，它們倆的形狀一模一樣。一點點水就可以膨脹為這麼多的蒸氣；相反地當我們降溫時，這麼多的蒸氣會收縮成一丁點兒水（此時有個結凍的鐵罐破裂）。啊！我們的罐子破了，你看這邊，有道小裂痕（另一個罐子也破了，把冰鹽混合物弄得四處飛散）。這裡也是，這個罐子也破了；雖然鐵罐的厚度有 1 公分，但是結凍的冰還是把它弄破了。水的變化總在發生，不一定要借助人為的方式才會發生變化；這裡我們用人為的方式降溫，因為我們只需要在小瓶子周圍製造冷氣，而不需要嚴寒的隆冬。如果你到加拿大或北方，你會發現，屋外的溫度就可以得到和我們用冰鹽混合物一樣的效果。

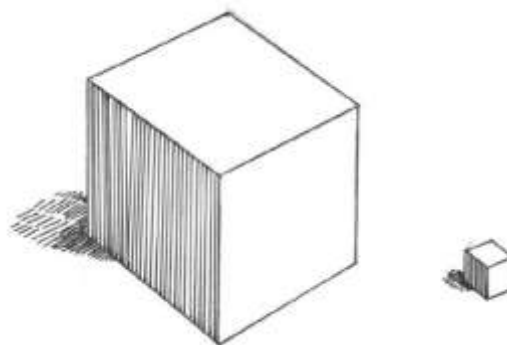


圖 13

## ■ 水的兩種成分，一種來自蠟燭，一種來自大氣

讓我們靜下來弄清楚這些現象，以後遇到水的各式變化時，我們就不會再感到迷惑。水在哪裡都是一樣的，無論它來自海洋或蠟燭的火焰。那麼，我們從蠟燭得到的水是從哪兒來的呢？水的一部分顯然來自蠟燭；但是水本來就在蠟燭裡面了嗎？不是，水不在蠟燭裡，也不在蠟燭周圍燃燒所需的空氣中。它既不在蠟燭、也不在空氣中，而是來自兩種元素的結合，其中一種來自蠟燭，另一種來自空氣；現在我們要來追蹤這個問題，這樣子當蠟燭在你的桌上燃燒時，我們才能完全了解蠟燭的化學歷史。這個問題要如何研究呢？我自己知道很多方法，但是我希望你能從我告訴你的訊息當中，自己吸收理解進而得到答案。

在這個方向上，我想你看出了一些端倪。我們剛剛看過戴維爵士發現的物質——鉀，遇到水的反應；現在我要在平盤上做另一個實驗，好喚起你的記憶。我們要很小心地處理這個東西；就像你看到的，只要有一點點水濺到這東西，接觸到水的地方就會起火；如果正好它又暴露在空氣中，那整塊金屬都會燒起來！這是一塊漂亮的、閃耀著光芒的金屬——它在空氣中可以迅速地發生反應，你知道，它也會在水中迅速出現變化。我把一小塊鉀放到水面上，你看見它把水當作空氣，美麗地燃燒起來，好像漂浮的水燈。如果我們把鐵屑放入水中，它們也會發生某種變化。雖然鐵屑的變化不像鉀那麼激烈，它們的變化也有幾分雷同；雖然鐵會生鏽，

也會和水有所反應，鐵屑與水的反應方式大致上和鉀一樣，但鐵屑反應的激烈程度和這漂亮的金屬大為不同。我希望你把這些事實和證據都放在心上。這裡還有一種金屬（鋅），我們要檢查它燃燒產生的固體物質，一併觀察它的燃燒；我想，如果我把一小條鋅放在蠟燭上，你會看到某種反應，其反應激烈程度介於鉀和鐵和水的反應之間——你發現這裡正在進行燃燒作用。而在它燃燒殆盡後，將留下白色的灰燼或殘渣；這裡，我們也發現這種金屬與水有某種程度的反應。

我們逐漸學到如何控制不同物質的變化，好讓它們說出我們想知道的事情。首先，我要使用鐵。在所有化學反應中，無論這反應的結果為何，我們經常發現化學反應的速度會因為熱而變快；如果我們要仔細地檢查物質之間的反應，便會使用加熱的手段。我相信你注意到，鐵屑在空氣中會完全地燃燒。但現在我要做的是另一個實驗，關於鐵和水的反應，這個實驗會讓你對於我打算告訴你的事情留下深刻的印象。如果我把一道火焰弄成中空，為什麼要這樣做呢？因為我要把空氣灌到中央，接著丟入一些鐵屑；你看，這些鐵屑燒得多旺。就在我們點燃這些粒子的時候，所引發的化學反應就是燃燒作用。接著，我們來嘗試探索，當鐵遇上水的時候會發生甚麼事？這個過程將會逐步地、規律地道出一個美妙的故事，我相信你會非常喜歡這個故事。

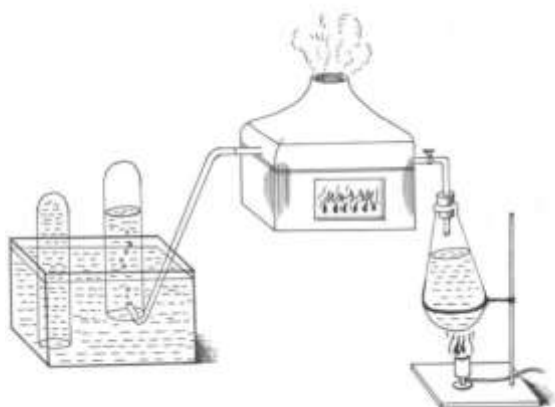


圖 14

## ■ 用水製造氫

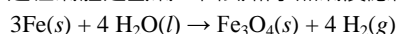
這兒有一個火爐 (圖 14)，有根導管像槍管般穿過它；我在管內填滿鐵屑，讓管子穿過火焰，這樣它就會被燒得火紅。我們可以從導管的右邊送入空氣，讓空氣與鐵接觸，也可以用燒瓶將水蒸氣送進去。在熱水器和火爐的连接處有個活栓，如果我們需要蒸氣進去，就把活栓打開。另一邊的水槽中有幾個裝水的玻璃瓶，我把水染成藍色，方便你觀察發生的變化。如你所知，所有我送入的蒸氣在經過管子、又經過冷水之後，它們會凝結；當蒸氣的溫度下降時，它將會凝結成水，所以無法保持氣態。在這裡，你就看到了 (指向剛剛破裂的錫罐)，錫罐自己劇烈收縮、變成一小團東西，造成罐子破裂。因此，如果我輸送的蒸氣經過的導管是冷的，蒸氣就會凝結、收縮，進而使得導管變形；這就是為什麼我要在這裡用火爐加熱導管，因為這樣才能讓實驗順利進行。我會一點一點地讓蒸氣通過導管，當你看到有東西從管子另一端冒出來時，試著自己判斷：它們還是蒸氣嗎？蒸氣可以凝結為水，當你降

低蒸氣的溫度時，它便轉換回液態的水；我讓蒸氣通過熱的導管後，讓氣體流經過水後才進入玻璃罐，但即便蒸氣的溫度下降，流出的氣體並沒有變回水。

我將進行另一個實驗來測試這邊的氣體。(我把罐子倒過來免得裡面的物質飛散掉。)如果我試著在罐子口引火，它會被點燃，並發出微弱的聲音。這表示裡面裝的不是蒸氣；蒸氣並不會燃燒，反而會讓火熄滅，但你看這個罐子裡的氣體會燃燒。這種氣體可以來自蠟燭燃燒產生的水，或任何來源的水。<sup>14</sup>當我們從鐵和水蒸氣的作用得到這種物質時，作用過後的鐵就很像鐵屑燒過之後的狀態。鐵變得比之前重。如果鐵一直在管子裡加熱，而且是在隔絕空氣或水的情況下被再次冷卻，那麼鐵的重量就不會改變；但如果蒸氣通過鐵，那麼它的重量就會比先前重。鐵從蒸氣中拿了某些東西，但也讓其他的東西通過，也就是我們在玻璃瓶裡所看到的氣體。

現在我們又有一個裝滿氣體的玻璃瓶，我要讓你看個很有趣的事情。這是一種可以燃燒的氣體，我可以點燃罐子裡的氣體來證明它是可燃的，但是我打算更進一步。這個氣體也是種很輕的物質。蒸氣會凝結；這種氣體會上升到大氣之中，但卻不會凝結。假設我將一個點燃的燈蕊丟入一個只有空氣的玻璃罐，不會發生甚麼特別的事。現在我要使用裝滿這種氣體的玻璃罐，好像裡面真的是某種很輕的氣體一樣。我將一個普通玻璃罐子倒過來，將裝滿這種氣體的玻璃罐翻過

<sup>14</sup> 這種氣體是氫氣，由鐵和水蒸氣反應而得：



來放在下方(圖 15)，讓兩個罐子口對口；其中一個罐子，裡面原本裝著水蒸氣產生的氣體，現在它裝的是甚麼？可是……你看！這是種可燃的氣體(拿起另一個罐子)，我已經把它從下面的罐子倒進上面的罐子了。它仍然保持著原本的特性、狀態和獨立性——這是一個和蠟燭燃燒一樣，很值得我們思考的現象。

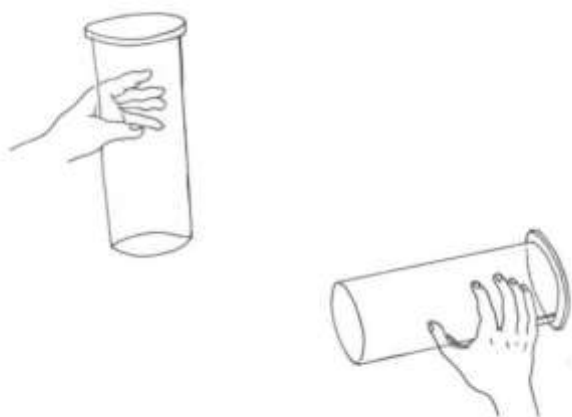


圖 15

這是鐵和水蒸氣反應產生的物質；我們也可以用其它方法，和水反應取得這個物質。如果我們取一塊鉀，和水作用後便可以製造出這種氣體；但是如果我們用鋅來做實驗，我們會發現鋅並不能像其它金屬那樣，持續不斷地與水反應。仔細觀察後你會發現，這是因為水和鋅反應時，鋅的外表會形成一層保護膜。如果容器裡只有鋅和水，它們自己並不會有太大的反應。如果我用一點點酸溶掉並去除這層光滑的保護膜；鋅與水的反應就跟常溫下鐵與水的反應一樣。酸只是和氧化鋅結合，本身並沒有改變。我現在

把酸倒入玻璃杯，反應就好像水在沸騰一樣。有氣體大量從鋅冒出來(圖 16)，但不是水蒸氣。現在罐子裡裝滿了這種氣體，而當我把罐子倒過來，你發現留在容器裡的是種可燃物質，和剛剛用鐵管製造出來的氣體完全一樣。

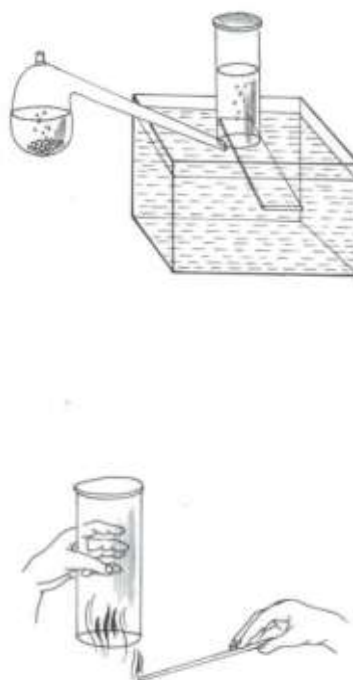


圖 16

現在讓我們來分別研究這兩者之間的關聯。這是「氫」——化學上我們稱之為元素的東西，這麼稱它是因為無法再從中分離出任何東西。蠟燭不是元素，因為我們還能從中分離出碳；我們也可以從蠟燭燃燒產生的水中分離出氫。這種氣體被稱為「氫」(hydrogen)<sup>15</sup>，從字面意思來說是「產生水」

<sup>15</sup> hydrogen 這個名稱為 18 世紀的法國化學家拉瓦節 (Antoine Lavoisier, 1743-1794) 所命名。Hydro-源於希臘文的 ὕδωρ，意思是「水」；-gen 源於希臘文的 γεννάω，意思是「我產生」。故法拉第說 hydrogen 是「產生水」

的元素。安德森先生現在蒐集了兩、三罐的氫，我們就用來進行幾個實驗，我會用最合適的方式來操做實驗，呈現在你眼前。我不怕你看到或學我這樣做，因為我希望你自己也能動手做實驗，只要你小心進行，而且取得旁人的同意。當我們研究化學時，不可避免地會處理到較具傷害性的物質，例如我們用到的酸性物質和可燃物，還有進行加熱的時候，如果操作不當，就可能對人造成傷害。

如果你想製造氫，可以把一小塊鋅放入硫酸或鹽酸。以前這東西被叫做「煉金術士的魔法蠟燭」(philosopher's candle)(圖 17)；它是個小玻璃瓶，瓶口塞著軟木塞，有根管子穿過軟木塞的中央。現在我把一些鋅填進瓶子裡。這個小巧的裝置很適合我們的演示，我想讓你知道，你可以自己在家裡製造氫，並且隨你高興地做些實驗。我小心地填充鋅，罐子實際上並沒有裝滿。我這樣做是因為——就像你看到的，反應釋放出來的氣體很容易燒起來——這氣體和空氣混合後具有爆炸性；如果水面上方的空氣還沒完全抽離，你就在管口點火，可是會讓人受傷的！我現在要把硫酸倒進去。我放的鋅很少，而用比較多的硫酸和水，因為這樣可以延緩作用，讓反應持續進行一段時間。我謹慎地調整這些成分的比例，如此便能不快、不慢——穩定地供應氣體。現在我把一個玻璃杯蓋在管子下方；因為氫氣很輕，我想它會留在玻璃杯裡面一會兒。

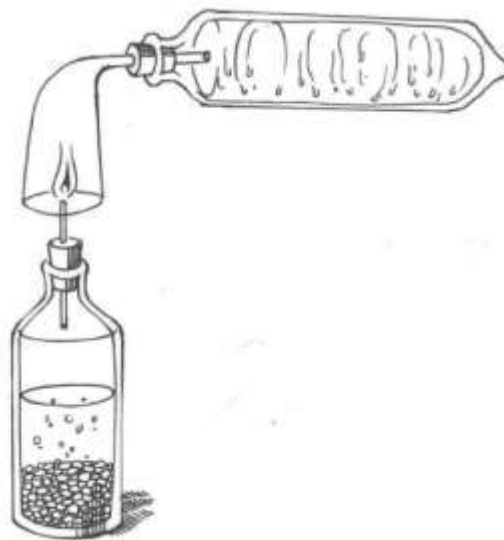


圖 17

### ■ 氫氣是極輕的氣體，其燃燒的唯一產物是水

我們來檢驗看看是否有氫氣在這個玻璃瓶裡面——我敢說，我們已經蒐集到一些氫氣了（點火）。就在這兒，你看！我在管口點火。這是燃燒中的氫氣，也就是煉金術士的魔法蠟燭。氫燃燒的火焰又小又弱，但感覺起來相當地燙，很少有普通的火焰可以釋出這麼多的熱。它穩定地持續燃燒；我打算讓火焰在某種裝置下繼續燃燒，這樣我們就能好好檢查它的結果，利用這個實驗帶來有用的知識。既然蠟燭燃燒產生水，而氫氣來自蠟燭製造的水，那麼當這種氣體在空氣中燒著，進行著和蠟燭一樣的燃燒作用時，讓我們來看看，這整件事教了我們甚麼。我會把燃燒中的「魔法蠟燭」放在這個器材下方（圖 17），好讓瓶子裡所產生的所有氣體，都順利地進入玻璃圓筒中凝結。不久你就會看見，潮濕的水氣附著在玻璃圓筒的內壁，水

的元素。

珠沿著玻壁流下；如果我們把這些從氫焰得到的水，拿來進行先前對水做過的實驗，在同樣的程序下，我們會得到相同的反應，如同前面的例子。

氫是很美的物質。它是如此的輕盈，比空氣還輕，可以將東西往上帶；而且我會利用實驗證明給你看。如果你夠聰明，你們之中或許有人能再現我的實驗。這是我們的氫氣產生器，而這些是肥皂水。我把橡膠<sup>16</sup>管的一端接上氫氣產生器，另一端接著菸斗；再把菸斗插進肥皂水裡，這樣就能用氫氣吹肥皂泡泡。你要仔細觀察喔！當我用嘴巴呼出的暖空氣吹肥皂泡泡時，泡泡會往下沉；但當我用氫氣吹泡泡時，結果就不一樣了。（法拉第用氫氣吹出泡泡，泡泡往上飛，一直飛到教室的屋頂。）

這樣你就看見了，氫氣是多麼地輕；它不只帶著泡泡往上飄，連附著在泡泡底端的肥皂水滴，也一塊兒被帶走了。我有更好的方式能表現這種氣體有多輕盈，就算是更大的泡泡，也會被氫氣往上帶；事實上，以前氣球裡填充的就是氫氣。安德森先生會幫忙把橡膠管固定在氫氣產生器，這樣我們就能把這股氫氣灌到火綿膠<sup>17</sup>做的氣球裡面。我並不需要過度仔細地將氣球內的空氣趕出來，因為灌進去的氫氣就足以讓氣球上升了。（有兩個氣球膨脹起來、往上飄，其中一個綁著線。）這裡還有個比較大的、皮比較薄的氣

球，我們也會把它灌氫氣然後升空；你會發現，這些氣球將一直飄在空中，直到氫氣漏光為止。

那麼，氫氣的相對重量是多少呢？1 公升的氫重量為 0.09 公克，1 公升的水蒸氣重量為 0.8 公克。而水呢，1 公升的水重量為 1000 公克。從這個比較你知道，1 公升的水和 1 公升的氫氣，它們的重量差別非常大。

氫氣在燃燒中或燃燒後，都不會產生固體。氫氣燃燒時就只會產生水；如果我們把一個冷的玻璃杯蓋在氫焰上方，玻璃表面將變得潮濕，而且你馬上就會得到水。除了水（和蠟燭燃燒製造的水一樣）之外，氫氣燃燒沒有產生任何其它東西。你得把這個概念記起來，因為這很重要：自然界中唯有氫，其燃燒的唯一產物是水。

現在我們要盡力找出水的一般性質和組成；為了這個目的，我可能把你們留在課堂久一點，這樣下次見面時我們就對這個主題有較充足的準備。先前你看到了，我們有能力控制鋅，藉著酸使鋅和水產生反應；運用類似的控制，我們可以讓能量在我們需要的地方釋放出來。我背後有個伏打電堆，<sup>18</sup>在這堂講課結束前，我會演示它的特性和力量；這樣你或許猜得到，下次見面時我們要講甚麼？我手上抓著電線兩端，電線傳遞伏特電池的力量，我將用電池的力量讓水產生反應。

先前我們見識過鉀、鋅或鐵屑燃燒的力

<sup>16</sup> 即天然橡膠 (India-rubber)，用途廣泛，延展性佳、彈性好且防水。

<sup>17</sup> 火綿膠 (collodion) 為火綿 (pyroxylin) 溶解於醚或酒精，成為膠狀、易燃的火綿膠 (collodion) 溶液。火綿膠溶液蒸發、乾燥後會形成一層透明薄膜；乾燥後的火綿膠可以用來包覆傷口，或作為相片的感光膜。文中即指使用乾燥後的火綿膠做成的氣球，選取較容易明瞭意思的「膠膜」用於譯文中。

<sup>18</sup> 伏打電堆 (voltaic pile) 為現代電池的前身，由義大利科學家 Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta (1745–1827) 發明，電壓單位「伏特」(volt) 即是以其姓 (Volta) 為名。伏打電堆由一片片鋅或銅的圓盤、以及泡過酸的皮革片組成，擺置為一堆 (pile)，故稱 voltaic pile。

量，但其中沒有一個展現出這樣的能量。(演講者把電線兩端接上，隨即出現一道耀眼的光芒。)實際上產生這道光的能量，相當於40個鋅盤的作用。藉著這些電線，我可以隨心所欲地在手中傳遞這股能量；可如果使用不當，我會立刻被毀滅，因為這是極強的力量。在你數到五的時候(接觸電線兩端，演示電發出的光)，它發出的能量就如同雷電的力量！這股力量就是這麼強。這樣或許能讓你了解這能量多麼強大：我能用這兩條傳送電池能量的電線，讓眼前這根鐵絲燒起來。這是種化學能量，在下次我們見面時，我會讓它和水反應，看看我們可以得到甚麼結果。