

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

第五章 大氣中的氧和二氧化碳

我們可以從蠟燭燃燒產生的水製造出氫和氧。如你所知，氫氣來自蠟燭，而氧氣來自空氣。接下來你會問：「氧氣和空氣助燃蠟燭的力量有甚麼不同嗎？」如果你還記得，當把一瓶子的氧蓋上燃燒中的蠟燭時，蠟燭在氧氣下和空氣中的燃燒情形很不一樣。為甚麼會有這樣的分別呢？這是很重要的問題，我應該盡我所能地讓你了解；這問題和空氣的本質密切相關，而且是非常重要的。

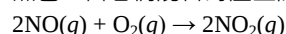
除了單純地燃燒物質之外，我們還做了許多測試：你看過蠟燭在氧氣或空氣中燃燒，比較過磷在氧氣和空氣中的燃燒，也看過鐵屑在氧氣裡面燃燒。但除此之外，我們還要做其它檢驗，來討論剛才說到的一、兩種物質，好讓你的知識和經驗拓展得更遠。這邊有一桶氧氣。我將向你證明「氧」的存在：如果我把一星火苗放入氧氣，根據上次的實驗經驗，你知道會發生甚麼事，從火苗的變化能知道這裡面裝的是不是氧氣。是的！我們從燃燒反應證明了氧的存在。有個測試氧氣的方法，很實用、也很有趣。這裡

有兩罐氣體，中間用一片薄板隔開兩者、避免混合；我把薄板抽走後，氣體就從一罐鑽進另一罐。發生了甚麼事呢？它們混合產生的燃燒，和蠟燭實驗不同。但是你仔細觀察，藉著氧氣和另一種物質的關係，可以證明氧氣的存在。這個方法讓我們得到了很漂亮的紅色氣體，告訴我們氧氣確實存在！²⁷

■ 空氣中除了氧氣，還有氮氣

同理，我們可以混合一般的空氣和這種測試氣體來檢驗氧氣的存在。這裡有一瓶空氣，旁邊這瓶則裝著測試氣體。我讓它們經過水進行混合，你會看到，測試氣體流入裝著空氣的瓶子；然後你也發現，我得到了跟剛才實驗一樣的結果。這種現象表示空氣中存在氧氣，和我們從蠟燭製造的水電解出來的物質一模一樣。更進一步，你問我：為甚麼蠟燭在空氣中的燃燒不如在氧氣中激烈呢？我們馬上就要進入這個問題。我手上有

²⁷ 測試氣體應為一氧化氮，一氧化氮與氧氣單獨存在時皆無色，當它們混合時產生紅色的二氧化氮氣體：



兩個玻璃瓶，裡面裝的氣體一樣多；其中一個瓶子裝的是氧氣，另一個瓶子裡裝的是空氣。我們要用這瓶測試氣體來檢驗氧和空氣，看看它們與測試氣體混合後，從無色變成紅色的情形有何不同？現在我讓測試氣體進入第一個瓶子，仔細觀察會發生甚麼事：氣體逐漸變紅了，你看看，表示這裡面含有氧氣。現在來測試另一個瓶子裡的氣體；氣體混合後不像前面紅得那麼明顯。如果我把這兩瓶氣體分別和水混合、搖一搖，紅色氣體會被水吸收；我也可以持續這個過程，只要裡面還有能讓顏色變紅的氧氣。如果我繼續這樣做，放入越來越多的測試氣體，到了某個程度，瓶子裡氣體的顏色就不再變紅了，雖然測試氣體會使得空氣和氧氣變紅。為甚麼會這樣呢？因為空氣中除了氧氣之外還有其它東西。我再放一點空氣進入玻璃瓶，如果瓶內的氣體轉紅，就證明測試氣體仍然存在；還有，被留下來的其它東西並不與測試氣體作用。

現在，你即將了解我要說的。當我燃燒瓶中的磷，磷和空氣中的氧所產生的煙凝結下來，留下一堆未燃燒的氣體；就像那紅色的氣體，也留下某些東西原封不動。事實上，留下來的氣體並不和磷作用，也不和測試氣體發生變化，這些氣體不是氧氣，但卻是空氣的一部分。

所以，這個方法將空氣分為兩種組成成分，我們發現空氣包含了兩種氣體，一是氧氣，協助蠟燭、磷和其它東西燃燒；另一種則是氮氣，不會讓上述東西燃燒。空氣中有一大部分是氮氣，當我們對它進行檢驗時，會發現它是種令人好奇的氣體；「氮」真的是

個相當、相當奇怪的東西，但你也可以說，它真的不怎麼有趣。

就某些方面而言，氮氣的確不好玩，因為它不會造成光彩奪目的燃燒效果。如果我同樣用小蠟燭來測試氮氣，就像前面氧氣和氫氣的實驗；小蠟燭在氮氣裡燃燒，不像在氫裡面那麼熱，也不像在氧裡面那麼亮。不管我如何嘗試，它並不著火、也不會讓小蠟燭燒起來，反而熄滅所有燃燒的東西。在一般環境下燃燒的東西，沒有一樣能在氮氣中燃燒。它沒有味道、沒有酸味、不溶於水，既非酸性、亦非鹼性，完全與我們的感官隔絕，好像不是個「東西」該有的樣子。你可能會說：「它甚麼都不是。在化學上也沒得注意的地方。那它在空氣裡做甚麼？」啊，我們要更細心地研究，才能漂亮地彰顯它的性質，對它有所認識。

■ 大氣中的氮氣使得燃燒不致過度激烈

想像一下，如果大氣中的氮全部被純氧取代的話，會發生甚麼事呢？你很清楚，在氧氣瓶中點燃一小塊鐵之後，它會持續燃燒，直到完全燒盡。冬天，家裡壁爐的鐵柵欄內總是燒著火，如果大氣中只有氧，鐵柵欄會怎樣呢？鐵柵欄會燒得比煤炭更猛烈，因為鐵柵欄本身就是比煤炭更易燃的物質。假如大氣中只有氧，在蒸汽火車頭的中央生火，就會像是在燃料上生火一樣。空氣中的氮可以減低物質的燃燒程度，讓燃燒作用變得溫和，這樣子是對人類有益的。除此之外，氮也帶走蠟燭燃燒產生的煙，使之分散在整個大氣中；它們被帶到一些地方，這些物質

維持植物的生長，對人類有相當大的益處，這是氮很重要的貢獻。雖然氮就化學反應而言，你會說：「它真的是個很不合作的東西。」氮平常是種不具活性的元素，除非施加極強的電力，氮不會直接和空氣中的元素或其它分子結合，基本上它真的是完全地惰性，換句話說，它很安全。

不過，在我講到最後的結論之前，我必須告訴你大氣的事。這張表列出了空氣的成分百分比：

	體積百分比	重量百分比
氧	20	23.3
氮	80	77.7

這是氧和氮在大氣中的量，是根據我們對空氣的成分實際分析而得的結果。據此結果，5 公升的大氣中有 4 公升的氮，其中氧只占了 1 公升。空氣中這麼大量的氮，減少了氧的含量，所以蠟燭可以穩定地燃燒，不過大氣中的氧濃度也恰好讓我們的肺可以健康、安全地呼吸。由此可知，氮是何等地重要。

現在，讓我來告訴你大氣中氣體的重量，1 公升的氮重 1.19 公克。氧就比較重了，1 公升的氧重 1.24 公克。1 公升的空氣重 1.22 公克。²⁸

²⁸ 這些重量比真實氣體的重量略輕，然我們仍沿用法拉第原來的數據。

■ 測量氣體的重量

我們如何測量氣體的重量呢？讓我來演示給你看，這很簡單。這裡有個天平和一個銅瓶。這個銅瓶盡可能地做得很薄很輕，它也被車床磨得很圓，完全密不透氣，上面還有個可以開關的活栓。現在活栓是開的，因此瓶子充滿了空氣。我這裡有個調整好的天平，讓銅瓶和天秤的另一端恰好平衡。我們可以用這個幫浦把空氣打進瓶子（圖 24），把幫浦打氣的次數當作體積單位（打進 20 個單位的空氣）。我們關閉瓶子，然後放上天平稱重。你看，天平搖晃起來，重量比先前重了。為甚麼呢？這是因為打進去的氣體使它變重了。瓶子裡並沒有裝進更多體積的空氣，而是同樣體積但更重的氣體。現在，你對這種氣體的重量大約有點兒概念了。

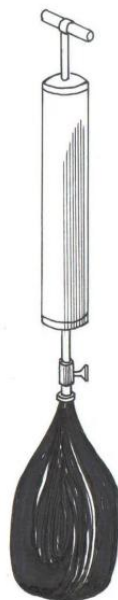


圖 24

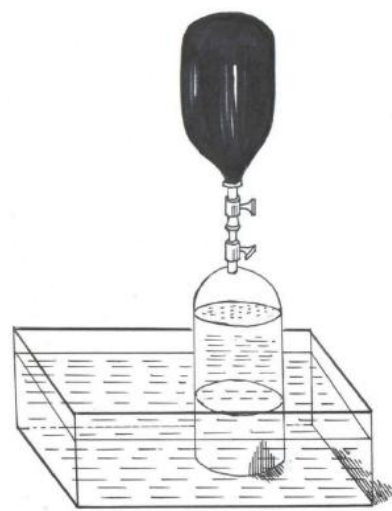


圖 25

這是個裝滿水的玻璃罐，我們把銅瓶打開，接上水罐，讓氣體回復原本的狀態（圖 25）。我將銅瓶和水罐栓牢，然後轉開龍頭，你就會看到我壓進銅瓶的 20 個單位的空

氣。為了確認我們動作是否正確，可以再次把銅瓶放上天平，如果它和原本的重量平衡了，就能確定實驗過程是正確的。你看，它平衡了！所以我們知道打進去的氣體其體積和重量。由此，我們可以確定一公升的空氣重 1.22 公克。這個小小的實驗，無疑地會在你心中留下明確的證據。很有趣的是，當大量體積的空氣累積起來時，空氣重量的改變。這樣的空氣放在上面那個、我刻意準備的盒子裡，會有多重呢？這個盒子裡的空氣，足足有半公斤重！我也算了一下這間房子空氣的總重量，你一定很難想像，房間內空氣的總重量，超過了一噸！空氣的重量隨著體積的增加而迅速上升。空氣（包括所含的氧氣和氮氣）的存在至為重要；它往來運送氣體，將氣體帶往各處，把有害的氣體帶到它有用的地方，不讓它對人類造成傷害。

■ 氣體的壓力

稍微說明了空氣的重量之後，讓我告訴你其它必然的結果，知道這些之後，你才能更深入的瞭解氣體。你以前是不是見過這個實驗呢？拿一個和剛才差不多、用來打壓氣體的幫浦，我把它裝置成這樣，好讓手可以放上去。現在，我的手在空氣中自由活動，好像旁邊沒有任何東西；我的手快速移動，不覺得周圍有任何阻礙（圖 26）。如果我把手放在幫浦承接筒²⁹上面，接著把幫浦承接筒抽真空，你看看發生了甚麼事。為什麼我的手被吸住了？為什麼我可以拖著幫浦跑？為什麼會這樣呢？這些都是空氣的重量造成

的，手上面的空氣有重量，重重壓住我的手。

對於這些問題，我還要再做另一個實驗，以提供更多樣的解釋。我把一個囊袋套在幫浦承接筒上，幫浦囊袋底下抽出空氣，囊袋變形：現在，袋子頂部還相當平坦，我在幫浦上做個小動作，你瞧仔細了，看接下來會怎樣，看看袋子怎樣往內縮。你看到囊袋一直往內縮、縮、縮，它被拉進去、被空氣壓入，直到……破掉（最後，袋子破掉了，發出爆破聲）。它是因為空氣壓迫而破掉的，這很容易理解：空氣中的粒子一個疊上一個起來，就像這五個立方體（圖 27）。

上面這四個方塊都站在最底下那個立方體的上面，如果我拿走底部的立方體，其它四個就會倒下來；上面的氣體仰賴底下氣體的支撐，³⁰當空氣從底下被抽走，就會發生剛才的狀況，我的手被幫浦吸住，囊袋向內收縮。接下來你看，我在幫浦承接筒上覆蓋一小片橡膠，³¹然後抽出筒內的空氣。如果你仔細觀察那片橡膠，當作上面和下面空氣的隔膜，當我抽動幫浦，你就能看見壓力的表現。看好接下來發生的事：我的手居然可以放進筒子，這個結果得歸功於空氣強大的作用力。這個實驗漂亮地展現出我們生活的神奇世界！

²⁹ 幫浦承接筒（air-pump receiver）為圖 26 所示之小車上、手掌所置之物的圓桶。幫浦與圓筒連接，可將圓筒抽真空；因為圓筒承受幫浦的影響，所以譯為「幫浦承接筒」。

³⁰ 這個描述並不恰當，空氣壓力主要來自氣體分子的各方向運動，而非重力。

³¹ 即天然橡膠（India-rubber），用途廣泛，延展性佳、彈性好且防水。

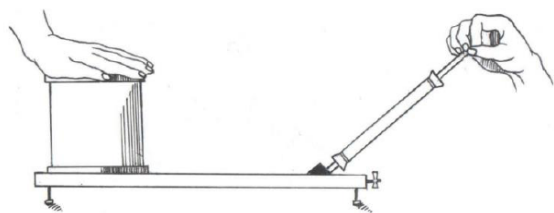


圖 26

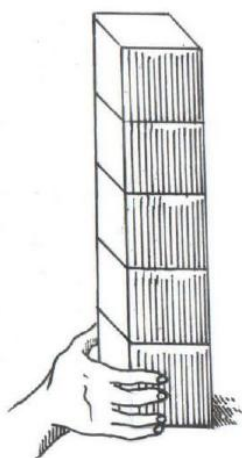


圖 27

在今天演講結束時，你可以來拉拉看這個東西。這個球形裝置由兩個銅製的中空半球體組成，利用半圓上的管和活栓可以把圓球的內部抽成真空。當圓球裡面有空氣時，我們可以很容易地把它們分開；但當內部被抽成真空後，就算是你們年輕力壯的小夥子，一人拉一邊，也無法把它分開。當內部的空氣被抽光後，球體表面每一平方公分承受了大約 1.05 公斤左右的重量。你馬上就能來試試身手，看你能不能勝過空氣的壓力。³²

³² 這段所言的裝置即「馬德堡半球」(Magdeburg hemisphere)。馬德堡半球為 Otto von Guericke (1602-1686) 所設計，其為日耳曼科學家，擔任神聖羅馬帝國馬德堡(Magdeburg)市長。Von Guericke 用馬德堡半

這裡還有一個有趣的東西：科學家改良過的小朋友玩的吸盤。年輕人當然應該玩玩具，從中進行科學思考，這就是所謂的「玩科學」。我把橡膠吸盤輕拍在桌上，它馬上就黏住了。為甚麼吸盤會牢牢地黏在桌面呢？我還是可以滑動它，但如果想要拉起來，會發現好像也會拉動桌子。我可以把它貼在桌面上移動，但是我得把它滑到桌邊，才能夠把它拉起來。吸盤是被空氣的壓力壓在桌上的。我手上有兩個吸盤，如果你把它們面對面壓在一起，會發現兩個吸盤吸得多緊。事實上，東西的特性決定我們如何使用它們，把它們貼在窗戶或牆壁上，大概能黏上一個晚上，我們還可以在上面掛東西。接下來是個很好的，可以用來說明空氣壓力的實驗，你們在家裡也能做。桌上有一杯水，如果我要求你不用手捂住杯口，只運用空氣的壓力，你能把水杯上下顛倒過來，而不讓水溢出來嗎？拿個玻璃酒杯過來，裡面的水有沒有裝滿都沒關係，在杯口放上一張平整的撲克牌，把酒杯倒過來；你看，撲克牌和水發生了甚麼事！因為水在杯緣有毛細吸引作用，空氣被水阻隔在外，進不去杯子裡面。

如果我告訴你，那個盒子裡裝著一磅的空氣，而這房間裡有一噸以上的空氣時，你就知道空氣實在不容小覷；這樣的說明能給你一個正確的，或許可以稱為「空氣的實體物質性」的概念。我打算演示另一個實驗來證明空氣的反作用力。這個實驗很簡單，我們可以用鵝毛管或類似的細管子來做；我切

球實驗他所發想的空氣幫浦，呈現「氣壓」的概念。1654 年馬德堡半球在雷根斯堡 (Regensburg)、於神聖羅馬帝國皇帝斐迪南三世 (Ferdinand III, 1608-1657) 面前，第一次演示：他將兩半球合起來抽真空後，讓 15 匹馬各往相反方向拉兩半球，但無法拉開。

下一小片蘋果或馬鈴薯，把這一小塊馬鈴薯塊塞在管子上；塞緊後，再將另一塊塞在管子的另外一端，好完全把空氣封在管子裡。現在無論我使多大的力氣，也無法讓後面這塊水果靠近前面那顆，這是不可能的。我可以把管內的空氣擠壓到某種程度，但只要持續地擠壓空氣，在後面的馬鈴薯塊碰到前面那塊之前，被限制在管內的空氣就會把前端的水果塊擠出去，好像火藥發射子彈那樣。事實上，火藥在某種程度上也是靠這個作用而發射的。

前幾天，我看到一個很棒的實驗，適合用來解釋我們討論的事。實驗開始前我應該閉嘴個 4~5 分鐘，因為這實驗要靠我的肺才會成功。只要適當地操作空氣，藉著我呼吸的力量，我希望能把雞蛋從這個杯子弄進另一個杯子；喔，我並不保證實驗成功，因為我已經講了太多的話，可能會影響實驗。(法拉第成功地把蛋從原來的蛋杯吹到另一個)。我往蛋和蛋杯之間的縫隙吹氣，在蛋的底下製造出一道疾風，因此可以提起重的東西；對空氣來說，一顆完整飽滿的蛋可算是重的了。如果你想要做這個實驗，最好先把蛋煮熟，然後你就能穩當地把蛋從原來的杯子吹到另一個。

我花了很多時間在探討空氣的重量，但現在我還要提出另一個課題。回顧一下空氣槍的實驗，在前端的馬鈴薯移動之前，我可以把後面那顆馬鈴薯塊移動個 1~2 公分；這歸功於空氣伸縮性的幫忙，就像我能用幫浦把空氣打入銅瓶一樣。因為空氣有這種奇妙的性質，也就是「伸縮性」，我才能把空氣打入銅瓶、讓塞住的馬鈴薯塊在另一塊尚未移

動前，先移動個 1 公分。現在我來演示空氣的伸縮性。這裡有個囊袋，表面的薄膜能把空氣關在袋子裡；它也能收縮、延展，好讓我們了解空氣的伸縮性。我從囊袋外的瓶子抽出空氣；當外在壓力減小，囊袋會不斷擴張、越脹越大，直到塞滿整個外罩的鐘型瓶。膨脹的過程，就如同我們直接往囊袋裡加壓時所看到的一樣。這實驗告訴我們有關空氣的特性：伸縮性 (elasticity)、可壓縮性 (compressibility)、延展性 (expansibility)，這些性質關鍵地影響了空氣的用途，也關係到大自然造物的實用性。

現在我們轉向另一個重點。我想你還記得，我們檢查過蠟燭的燃燒，發現蠟燭燃燒產生很多東西：有灰燼、水，還有一些沒檢驗到的東西。我們蒐集到水，但讓某些物質逸失到空氣中。現在，就讓我們來檢驗這些逸散的產物。

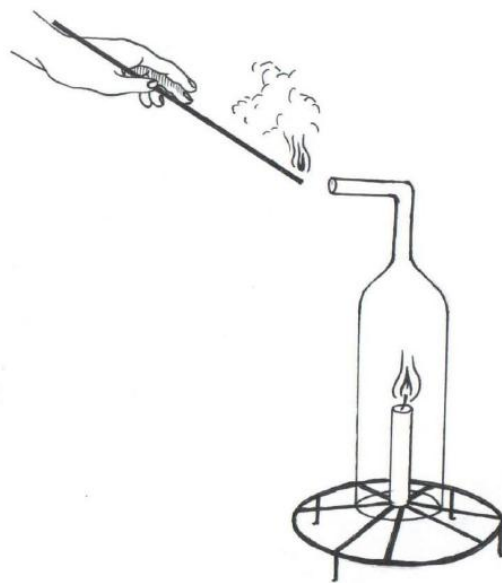


圖 28

■ 蠟燭燃燒的另一個產物是二氧化碳

接著將藉著這個實驗來幫助我們了解。這枝蠟燭雖然被蓋上煙囪(圖 28)，但可以持續燃燒，因為上面和下面都有開口讓空氣流通。首先會出現水蒸氣，這你早就知道了。蠟燭燃燒會製造水，是因為空氣和蠟燭中的氫在作用。但除此之外，還有東西從頂端的開口跑出來：它不是水氣，也不會凝結；而且，它的性質很特別。你發現，從上面煙囪冒出來的氣流幾乎要熄滅我手上的火苗；如果我把火苗放在出煙口的位置，火苗就會被熄滅。你或許會說：「本來就是這樣。」我想你會這樣認為，是因為氮氣不助燃，蠟燭在氮氣中無法燃燒，所以在這邊也會使火苗熄滅。但冒出來的氣體中，只有氮氣嗎？我現在必須先說出我們將採用的方法，讓你能檢視及確認氣體中的東西。我把空瓶蓋在煙囪上面蒐集氣體，讓底下蠟燭燃燒產生的氣體進入上面的瓶子；一會兒我們就會發現，瓶子裡面的氣體並不只會讓火苗熄滅，它還有別的特性。

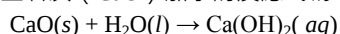
我把水，普通的水就可以，倒在少量的生石灰上，³³攪拌一下；接著把溶液倒進有放濾紙的漏斗，使之落入底下的瓶子，這樣就得到了澄清的石灰水。另一支瓶子裡有很多澄清石灰水，但我還是要用剛製造出來的石灰水，好讓你曉得它的用途。我把這些美麗的澄清石灰水倒進蒐集氣體的瓶子，裡面裝的是蠟燭燃燒產生的氣體，你將看見變化發生。喔，你有看到嗎？水變得相當混濁，像

牛奶一樣。³⁴你仔細觀察，石灰水和空氣混合不會發生同樣的事。這個瓶子裡也裝滿了空氣；可是石灰水和氧氣、氮氣或空氣的其它成分混合，都部會發生任何變化，石灰水還是相當地澄清透明。就算搖一搖溶液、試著混合，一般狀態下的空氣和石灰水還是不發生任何變化。但只要讓石灰水和蠟燭燃燒的產物接觸，短時間內澄清石灰水就會變混濁。

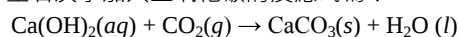
白堊³⁵除了含有我們剛剛調石灰水所用的石灰，還混合了一些來自蠟燭的東西，另一種蠟燭燃燒的產物，這就是我們在尋找的，今天要告訴你們的東西。藉著反應作用，我們「看見」了這種物質；石灰水並不和氧氣、氮氣或水本身發生反應，而是和蠟燭燃燒、某種未知的產物反應。然後，我們也發現，石灰水和蠟燭燃燒氣體產生的白色粉末，看起來就像塗牆壁的塗料或白堊；³⁶經過進一步地檢查，證明它確實和灰泥或白堊是一樣的物質。因此，我們循此脈絡，觀察實驗的各種狀況，回溯白堊的產生，會對蠟燭燃燒的性質有更深的了解，你會發現，這種從蠟燭產生的物質，和鐵罐散逸出來的東西相同。如果我把白堊和水放進鐵罐，並把鐵罐燒得火紅；從鐵罐裡冒出來的東西，跟蠟燭燃燒的產物一模一樣。

我們有更好的方法來大量取得這種物質，好用來研究它的一般性質。它本身就有

³³ 生石灰 (CaO) 加水的反應式為：



³⁴ 生石灰水加入二氧化碳的反應式為：



³⁵ 白堊 (chalk) 是種軟質、多孔的沉積岩，為石灰岩的一種；石灰岩的主要成份就是碳酸鈣。應用在建材上，白堊為生石灰、熟石灰的原料，可調製塗飾牆壁的泥漿。此外，從前的粉筆多用白堊製成，故 chalk 也用來稱「粉筆」。

³⁶ 在油漆流行前，歐洲的房子可能塗上白堊調製的泥漿這種塗料含有石灰，乾燥後牆面呈現白色。

許多值得觀察的現象。這種物質，在許多你想不到的地方藏量豐富。石灰岩含有大量從蠟燭而來的氣體，我們稱之為二氧化碳。³⁷在白堊、貝殼和珊瑚裡，就能找到這奇特的氣體，而且為數不少。這種氣體固著在石頭裡面，因此布萊克博士稱之為「固定的氣體」，³⁸他在大理石、白堊之類的固體發現這東西，因為它失去了空氣的性質，以固體狀態存在，他便稱之為「固體氣」。我們從大理石可以輕易地得到這種氣體。

如果我把一根小火燭放入裝著鹽酸的瓶子，從蠟燭我們便能得知空氣的存在情形。你瞧瞧，瓶子裡充滿純淨的空氣。接著我們把幾塊美麗、優質的大理石放進瓶子，瓶內液體明顯地沸騰起來。³⁹可是呢，冒出來的並不是水蒸氣，而是某種氣體。現在，如果我用小火燭來測試這種氣體，得到的結果和前面的實驗一樣。就像之前我把小火燭放在蠟燭上方的煙囪口，直接面對蠟燭燃燒飄出來的氣體，結果一致。兩者是一模一樣的作用，造成結果的物質也和蠟燭燃燒的產物一樣。運用這個方法，我們就能得到份量頗豐的二氧化碳；這個瓶子已經快要裝滿了。

我們還發現，這種氣體不只存在大理石裡面。容器裡有些洗過的白堊，因為被水洗過、而去除了較粗的顆粒，適合用來當白色塗料，這個罐子裡就裝著水和這種白色塗料。我這兒還有一些強硫酸，但是在進行石

灰岩和硫酸反應的實驗時，會產生不可溶解的物質；加入鹽酸會產生可溶解物質，而不會使溶液的濃度增加太多。你現在知道為什麼我要用這個裝置來重複這個實驗。雖然我的演示使用的量很大，你在家裡可以用少一點的量來重複這些實驗。這一大瓶二氧化碳，和我們在空氣中燃燒蠟燭得到的空氣具有一樣的性質；雖然和先前製造二氧化碳的兩種方式相差甚遠，但當我們接近研究的尾聲時，會發現結果原來是一樣的，正可謂「殊途同歸」。

現在我要對這種氣體進行下一個實驗。這裡有個裝滿二氧化碳的容器，我們採用對許多其它氣體也用過的方式，燃燒，來測試。你看到它既不可燃，也不助燃；也不會大量地溶於水，因為我們能輕易地從水面上蒐集到這種氣體。二氧化碳和石灰水接觸會變成白色，二者之間起了化學作用；而當液體變白時，表示它變成了石灰或石灰石中的碳酸鹽的成分。

■ 二氧化碳微溶於水，且比大氣中的氣體重

接著我要證明給你看，這種氣體還是能夠稍微溶解到水裡；因此就這方面而言，它不同於氫和氧。我手上有個器材，可以製造出這樣的溶液。器材底部裝的是大理石和酸，上方裝著冷水。其上特別設計的活閥，讓氣體能從這邊流向另一邊。現在就讓它開始運作吧：氣體從滾水中升起，好像它已經滾一整晚了；你會發現，我們使這種物質溶在水裡了。如果我用玻璃杯從裡面舀些水出來，這些水嚐起來有點酸，因為裡面被注入

³⁷ 法拉第將二氧化碳稱為「碳酸(carbonic acid)」，本文中我們改為「二氧化碳」。

³⁸ 布萊克 (Joseph Black, 1728-1799)，蘇格蘭的物理化學家；他發現石灰岩與酸性物質反應會釋出氣體，並將這種氣體稱為「固體氣」(fixed air)。

³⁹ 反應為：



了二氧化碳；⁴⁰如果我現在倒石灰水進去，便能檢驗出裡面二氧化碳氣體存在。這些水，會使澄清石灰水變白、變混濁，因此證明了二氧化碳的存在。

這是種相當重的氣體，比空氣還重。我將它的相對重量放在表的下方，和先前我們研究過的氣體放在一起比較。每公升的氣體之重量為：

	每公升的氣體之重量
氫氣	0.09 公克
氧氣	1.24 公克
氮氣	1.19 公克
大氣	1.22 公克
二氧化碳	1.86 公克

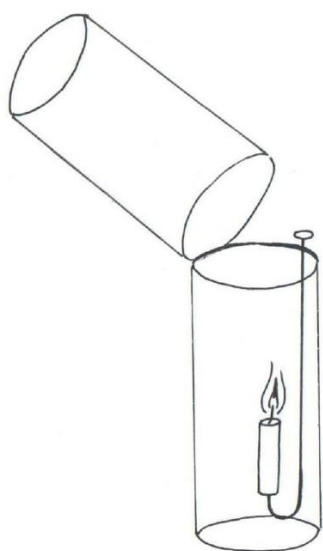
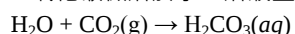


圖 29

⁴⁰ 二氧化碳微溶於水，溶液呈酸性：



一公升的二氧化碳重 1.86 公克，⁴¹你可以從實驗中看出這氣體的重量確不輕。一個玻璃杯中除了空氣沒有別的，另一個玻璃杯則裝著二氧化碳（圖 29）；我想把二氧化碳倒入玻璃杯中，但不知道有沒有成功倒進去。從外觀無法得知，但這樣（放入小火燭）我就能知道了。你看看，它就在這裡頭；如果我用石灰水測試，也會得到肯定的結果。我把這個小桶子放入「二氧化碳井」⁴²中，事實上我們周圍真的常常有二氧化碳井，如果井中的確有二氧化碳，那我的小桶就會撈到，讓我們用小火燭來測試吧。在這裡，你看！裡面充滿了二氧化碳。

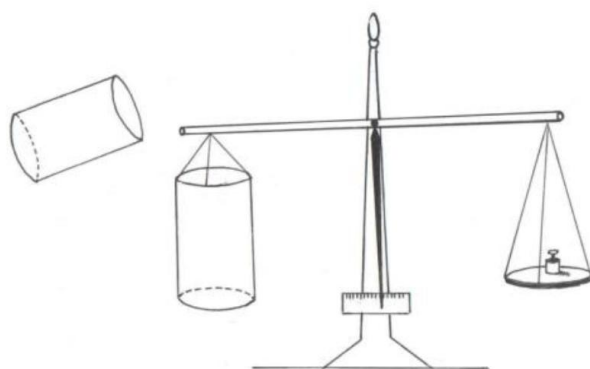


圖 30

我們來做另一個實驗，好讓你感受二氧化碳的重量。天秤（圖 30）的一端掛著一個玻璃罐，並且處於平衡的狀態；但當我把二氧化碳倒入裝空氣的罐子，它馬上因為倒入的二氧化碳而傾斜。現在，如果把點燃的蠟燭伸入罐子來檢驗，蠟燭無法燃燒，表示真

⁴¹ 和對大氣成分的重量分析相似，法拉第報導的二氧化碳的重量比真實的重量略輕。

⁴² 這邊實驗所使用器材如圖示，為兩個玻璃杯。二氧化碳被倒入底下的長筒玻璃杯，看起來像個充滿二氧化碳的「井」，故法拉第稱之為「二氧化碳井」。

的有二氧化碳進入罐子。如果我吹一個肥皂泡泡，泡泡落入二氧化碳的罐子時，它會飄浮在半空中。先把一個小氣球灌飽空氣。我不太確定二氧化碳在哪裡，我們只能試試深度，看看泡泡會落在哪個高度。你看見了，小氣球飄在二氧化碳上；如果我釋放更多二氧化碳，小氣球會被抬得更高。你看！二氧化碳幾乎要充滿罐子了，現在我來吹個肥皂泡泡，看看它是不是會跟剛剛一樣飄著。(法拉第吹了個肥皂泡泡，使它落入裝滿二氧化碳的罐子，泡泡飄在半空中。) 它像小氣球一樣飄起來，因為二氧化碳比空氣重。到現在為止，講了你們這麼多二氧化碳的事：說到它和蠟燭的關係、它的物理性質及重量；下次我們見面時，我會讓你曉得，二氧化碳是由甚麼組成的？以及，它的元素是從哪裡來的？