



創刊號

2014年5月



臺灣化學教育

Chemistry Education in Taiwan

賀
創刊



本期專題
蠟燭的化學史



《臺灣化學教育》組織與人員

發行單位：中國化學會（台灣）化學教育委員會

發行人：劉仲明理事長

顧問：王瑜、王文竹、李賢哲、林煥祥、洪振方、段曉林、連啟瑞、陳竹亭、陶雨台、傅麗玉、彭旭明、黃萬居、葉名倉、劉陵崗、蕭次融（依姓名筆畫順序排列）

主編：邱美虹 / 國立臺灣師範大學科學教育研究所

執行編輯：楊水平 / 國立彰化師範大學化學系

專欄編輯：林如章 / 國立臺灣師範大學化學系

林靜雯 / 國立東華大學課程設計與潛能開發學系

周金城 / 國立台北教育大學自然科學教育系

祁明輝 / 台北市市立龍山國民中學

施建輝 / 國立新竹科學園區實驗、教育部高中化學學科中心

洪振方 / 國立高雄師範大學科學教育研究所

翁榮源 / 靜宜大學應用化學系

張一知 / 國立臺灣師範大學化學系

傅麗玉 / 國立清華大學師資培育中心

楊水平 / 國立彰化師範大學化學系

廖旭茂 / 國立大甲高級中學、教育部高中化學學科中心

鍾曉蘭 / 新北市立新北高級中學、教育部高中化學學科中心

鐘建坪 / 新北市立錦和高級中學

（依姓名筆畫順序排列）

網站建置：周金城 / 國立台北教育大學自然科學教育系

編輯助理：李雪碧 / 國立臺灣師範大學科學教育研究所

Logo（中英文字體）設計：邱美虹 / 國立臺灣師範大學科學教育研究所

封面封底和 Banner 設計：唐尉天 / 國立臺灣師範大學科學教育研究所

天燈攝影：王郁婷 / 國家衛生院

《臺灣化學教育》第一期 (2014年5月)

目 錄

■ 主編的話

- ◆ 主編的話 / 邱美虹 / pp. 1-2

■ 創刊詞及賀詞

- ◆ 創刊詞 / 邱美虹 / pp. 3-4
- ◆ 創刊賀詞 / 彭旭明 / p. 5
- ◆ 創刊賀詞 / 陳竹亭 / p. 6
- ◆ 創刊賀詞 / 黃萬居 / p. 7
- ◆ 創刊賀詞 / 連啟瑞 / p. 8
- ◆ 創刊賀詞 / 李賢哲 / p. 9

■ 本期專題

- ◆ 蠟燭的化學史—譯者序 / 胡景瀚、林奕秀 / p. 10
- ◆ 蠟燭的化學史—第一章：蠟燭的製造、燃燒及火焰 / 胡景瀚、林奕秀 / pp. 11-19
- ◆ 蠟燭的化學史—第二章：蠟燭火焰的組成，蠟燭燃燒需要空氣 / 胡景瀚、林奕秀 / pp. 20-27
- ◆ 蠟燭的化學史—第三章：蠟燭燃燒產生水、水中的氫 / 胡景瀚、林奕秀 / pp. 28-37
- ◆ 蠟燭的化學史—第四章：蠟燭中的氫變成水、水中的氧 / 胡景瀚、林奕秀 / pp. 38-45
- ◆ 蠟燭的化學史—第五章：大氣中的氧和二氧化碳 / 胡景瀚、林奕秀 / pp. 46-55
- ◆ 蠟燭的化學史—第六章：呼吸作用與蠟燭燃燒之類比 / 胡景瀚、林奕秀 / pp. 56-64

■ 化學實驗含影片【專欄編輯 / 廖旭茂】

- ◆ 自組裝分子膜製程開發及性質研究—防偽標章之製作 / 呂雲瑞、林明祥 / pp. 65-67

■ 家庭化學實驗【專欄編輯 / 楊水平】

- ◆ 馬鈴薯電池的電化學實驗 (上) / 王楨、楊水平 / pp. 68-73

- ◆ 馬鈴薯電池的電化學實驗(下) / 王楨、楊水平 / pp. 74-78
- **保養品 DIY**【專欄編輯 / 鍾曉蘭】
 - ◆ 個人化的保養品—DIY 樂趣多 / 鍾曉蘭 / pp. 79-82
- **高中化學教學疑難問題與解題**【專欄編輯 / 施建輝】
 - ◆ 製備碘化亞銅與其一系列反應 / 施建輝 / pp. 83-85
- **行動學習**【專欄編輯 / 翁榮源】
 - ◆ 行動學習模式在化學教育之應用研究 / 翁榮源 / pp. 86-91
- **多元教學法**【專欄編輯 / 鐘建坪】
 - ◆ 高中論證教學設計—以蠟燭燃燒水面上升為例 / 許綺婷 / pp. 92-96
- **多元文化的化學**【專欄編輯 / 傅麗玉】
 - ◆ 久久酒科學 / 陳政修、傅麗玉 / pp. 97-99
- **化學教育新知**【專欄編輯 / 鐘建坪】
 - ◆ 複雜系統觀點在擴散教學的應用 / 鐘建坪 / pp. 100-103
- **化學小故事**【專欄編輯 / 洪振方】
 - ◆ 波以耳與近代化學的誕生 / 洪振方 / pp. 104-106
- **國內外化學教育交流**【專欄編輯 / 林靜雯】
 - ◆ 國內外化學教育交流 / 林靜雯 / pp. 107-108

主編的話

邱美虹

國立臺灣師範大學科學教育研究所教授
國際純粹化學與應用化學聯盟 (IUPAC) 化學教育委員會主任委員
中國化學會(臺灣)教育委員會主任委員
mhchiu@ntnu.edu.tw

科學中理論與實驗間有唇齒相依的關係，彼此相輔相成。科學家透過實驗探究未知的世界進而建構理論，同時也透過理論解釋科學現象的結構與機制。其中化學更與實驗有著密不可分的關係，「化學」觀其名，即為變化的科學。而 Chemistry 這個英文字也常被解讀為“Chem” is “Try”，兩個語詞充分說明化學的本質在於變化與嘗試（實驗），也意味著可為人類帶來探究與驚喜的無限可能。化學家透過嚴謹的實驗設計探討化學過程，也透過周延的理論去解釋化學成分、結構與反應的關係。

2013 年瑞典皇家科學院將化學諾貝爾的桂冠獎頒給了以電腦模型演算法預測複雜化學過程的三位科學家：美國哈佛大學和法國史特拉斯堡大學的馬丁·卡普拉斯 (Martin Karplus) 教授、美國史丹佛 (Stanford University) 的麥可·李維特 (Michael Levitt) 教授，和美國南加州大學 (University of Southern California) 的艾瑞·瓦歇爾 (Arieh Warshel) 教授，這種計算模擬實驗改變了傳統實驗的觀點，也成為理解分子複雜世界的一個新典範。

由於化學常在世界中扮演重要的角色，如食、衣、住、行、育、樂，皆可見其蹤影。而其解釋往往必須依賴微觀世界的科學語言、符號、模型來解釋。這些複雜的科學系統對化學學習形成高度的認知負荷，雖然實驗趣味性高，卻因化學符號和計算使得學生對化學的學習產生畏懼感。根據兩項國際調查 (PISA: the Programme for International Student Assessment 和 TIMSS: Trends in International Mathematics and Science Study) 顯示，臺灣學生在科學表現上屬於高成就、低興趣，尤其是對化學的興趣竟呈現低於「經濟合作暨發展組織」(Organization for Economic Co-operation and Development, OECD) 參與國平均值的現象，這樣的結果不失為對教育工作者及政策決策者的一項警惕。

有鑑於化學教育的使命、所面臨的挑戰與可能創造的機會，吾人希望透過本期刊之發行與推廣可以提供廣大讀者對於化學教育的重視，同時也藉此搭起

大學與高（國）中化學教育的橋樑。本期刊在作者方面以大學教授和高（國）中教師為主。此次創刊號包括透過化學小故事了解化學史，如洪振方教授的《波以耳與近代化學的誕生》和胡景瀚教授和林奕秀小姐的《蠟燭的化學史》（特別感謝兩位譯者無償讓本刊刊登以饗讀者）。Lakatos 曾說：「沒有科學史的科學哲學是空洞的；沒有科學哲學的科學史是盲目的。」這兩篇著（譯）作應可引起讀者對科學意涵的深層思考。為使教學與新興科技接軌，翁榮源教授的《行動學習模式在化學教育之應用研究》為化學教學融入新科技的元素；而鐘建坪老師的《複雜系統觀點在擴散教學的應用》，目的在呼應巨、微觀交互作用的教學觀。在實驗與理論以及實驗與生活結合部分，施建輝老師的《製備碘化亞銅與其一系列反應》為化學實驗教學解惑、呂雲瑞和林明祥兩位老師的《自組裝分子膜製程開發及性質研究—防偽標章之製作》提供化學應用的實例、王楨同學和楊水平教授的家庭化學實驗《馬鈴薯電池的電化學實驗》和鍾曉蘭老師的《個人化的保養品—DIY 樂趣多》將化學與生活結合，而陳政修同學和傅麗玉教授的《久久酒科學》則是將化學的觸角推向多元文化的面向，這些文章拓展師生對化學理論的應用深層認識。而許綺婷老師的《高中論證教學設計—以蠟燭燃燒水面上升為例》正好與此次特刊《蠟燭的化學史》呼應，作為一個教學實例說明如何在教學中培養學生論證的能力。此外，林靜雯教授提供豐富的最新國內、外化學教育交流訊息，供讀者參考。

最後，感謝各專欄編輯協助邀稿、審稿、撰稿、與專題規劃，同時感謝台大化學系教授並為中研院前副院長的彭旭明院士、台大化學系及科學教育發展中心主任陳竹亭教授、國立台北教育大學前副校長連啟瑞教授和國立屏東教育大學李賢哲校長為本創刊號撰寫賀創刊賀詞、化學界與化學教育界前輩同意擔任本期刊顧問，以及中國化學會（台灣）協助網域和文章版權相關事宜的處理，使本創刊號得以順利發行。最後，我們選在五月四日德先生（民主）和賽先生（科學）的特殊日子發刊，希望透過此刊物肩負起承先啟後的使命，推動科學思維、科學方法、和科學態度的培養，未來經營此刊物還有賴大家集思廣益、共襄盛舉。

創刊詞——來自主編

邱美虹

國立臺灣師範大學科學教育研究所教授
國際純粹化學與應用化學聯盟 (IUPAC) 化學教育委員會主任委員
中國化學會(臺灣)教育委員會主任委員
mhchiu@ntnu.edu.tw

中國化學會 (臺灣) (Chemical Society Located in Taipei, CSLT) 《台灣化學教育》(*Chemistry Education in Taiwan, CET*) 電子期刊在數位熱心人士積極地籌劃並廣邀化學教育學者與教師共襄盛舉下，終於在期盼中出版了！

長久以來，學術成果無法及時反映在實際教學上、學者與教師之間存在認知上的距離。另一方面，教師不易分享教學心得而共建有效的學習。再一方面，學生學習與生活脫節而失去對化學學習的興趣與動機等等的問題層出不窮。這一本電子期刊的目的就是在為化學教育的學術研究與實務教學搭起一個橋樑，以為研究與教學心得創造發表空間、為教師提供一個交流的平台、為學生指引化學與生活相關之路以及啟發其學習動機、興趣、與創造力。我們希望透過此期刊的發行與平台的建立將研究與教學的成果分享給化學教育從業人員、對化學教育推廣愛好者和莘莘學子，並透過此刊物推動並發展我國各級學校的化學教育，培育具化學素養的公民。

有關化學教育期刊方面，在國際間已有許多化學會或學術組織發行不同形式與目的的期刊來提升化學教師專業之能與學生的化學素養，藉以促進化學教育的發展與品質的提升。如美國化學會 (American Chemical Society, ACS) 出版的學術專業期刊 *Journal of Chemical Education, JCE* (1924~)、適合中學教師和學生閱讀的 *ChemMatters* (1983~)；英國皇家化學會 (Royal Society of Chemistry, RSC) 出版的學術專業期刊 *Chemistry Education Research and Practice, CERP* (2000~)、適合各級教師的 *Education in Chemistry, EIC* (1964~)；同時也為中學生出版 *The Mole* (2012 年以前稱為 *InfoChem*)；澳洲皇家化學院 (Royal Australian Chemical Institute) 為教師出版的 *Australia Journal of Education in Chemistry, AusJEC* (2001~) (前身為 *Chemeda: The Australian Journal of Chemical Education, 1978-2000*)；加拿大滑鐵盧大學出版的 *Chem 13 News* (1968~)；墨西哥出版的 *The Journal Educacion Quimica* (1990~)；日本化學會出版的《化學と教育》(2013 年發行到 61 卷)；中國大陸分別為研究和教

學取向出版《化學教育》(1980~)、《化學教學》(1979~)和《中學化學教學參考》(1972~)等。中國化學會(臺灣)有鑑於世界潮流以及社群需求,再加上綠色化學的趨勢,於此時出版台灣化學教育的電子期刊,希望能符合理論落實以及推廣化學教育的目的。

本刊物定位為實務型的雜誌,文章以立即可用於教學為主,主要的讀者群為中小學教師。此雜誌每兩個月出版一期,每年的雙月出刊。目前,此雜誌規畫六大區塊:新知報導、教學、評量、教學科技、生活化學、實驗,合計有二十一個專欄(依需要出刊),各專欄名稱如下:國內外化學教育交流、化學教育新知、化學新知、科學閱讀、化學小故事、高中化學教學疑難問題與解題、化學教學 TED、化學教學資源、教學法、化學競賽、PISA 和 TIMSS 試題評析、教育會考、學測和指考、多元評量、行動學習、互動式多媒體、食品安全、多元文化的化學、家庭化學實驗、保養品 DIY、化學實驗含影片。這些主題旨在提供讀者科學性、知識性、創新性、時代性、歷史性、生活性的資訊。本刊物除設有專欄編輯外,另特別邀請楊水平教授擔任執行編輯和周金城教授擔任網路平台管理專家(該兩位學者是最早一起發起出版此刊物的夥伴)。除此之外,亦特邀國內資深化學專家及化學教育學者擔任本刊物之顧問,以提供卓見為此刊物永續經營之助力。

最後,此刊物要能永續經營必須要靠作者與讀者的共同努力、集思廣益、與用心滋潤,方能達到預期或超出預期的成效,為發展化學教育達永續服務的目的。

創刊賀詞

彭旭明

國立臺灣大學化學系講座教授
中央研究院院士（前副院長）
中國化學會（臺灣）前任理事長
smpeng@ntu.edu.tw

欣聞臺灣化學會的教育委員會於五月出版第一期《台灣化學教育》電子期刊，企盼搭起大學和高中之間化學教育的橋樑。這是一件大事，更是一件好事，需要大家敲鑼打鼓的支持。

傳統教學是老師講授、學生學習，教學的效果是老師與學生共同付出的乘積。現代的教育是多元化、多管道的教育與學習。化學教育電子期刊則是因應這種趨勢所做的努力，讓老師與學生有更多可以互動的平台。

在討論的議題方面，可以是多元的，先進材料的開發以及與生命科學的連結，都是很夯的內容。基本的化學熱力學與量子化學，則是重要的概念。化學熱力學是大學化學不可或缺的知識，但在高中化學是不涵蓋的。量子化學則是牽涉到微觀世界的運動法則，不如古典力學容易了解。這些都是互動的可能議題。

公民活動的成功與否，常取決於公民社會中成員是否積極參與。所以在此特別呼籲大學與高中的師生，積極參與這個電子期刊的誕生與成長，並預祝它順利茁壯生根。

創刊賀詞——台灣化學教育新里程

陳竹亭

國立臺灣大學化學系教授
國立台灣大學科學教育發展中心主任

jtchen@ntu.edu.tw

二十一世紀電子及資訊產業丕變。電子期刊創新了科學社群交流的文化，網路則改變了學術研究的生態。化學教育也因此必須求新求變。

化學學會多年來以《*Journal of Chinese Chemical Society*》(JCCS)和《化學》(Chemistry)分別服務國際以及國內化學學術社群，提供化學專業資訊。如今推出《台灣化學教育》(Chemical Education in Taiwan, CET)，正是展現了跨出化學專業社群，服務社會、服務教育的決心。

化學旨在探究一個眼不能見的微觀世界。這正是常人疏離化學，或認為學習化學有困難的主要原因。但是進入了這個世界，就會發現微觀世界的瑰麗多樣比浩瀚宇宙或大自然的生命世界，令人目炫神怡。《台灣化學教育》不僅能因應台灣亟需有信據的科學知識和資訊，更能主動跨界幫助社會認識化學。特此祝賀。

創刊賀詞

黃萬居

台北市立大學應用物理暨化學系兼任教授

台北市立教育大學前理學院院長

中華民國科學教育學會監事主席

台灣教師專業發展學會常務監事

wanchu@go.utaipei.edu.tw

首先我要稱讚邱美虹主編和編輯小組的工作效率，記得去（2013）年 12 月 13 日晚上在彰化，參加邱教授與幾位熱心的老師和教授一起籌備出版《臺灣化學教育》電子期刊，短短半年就能出刊，真是化學教育界的福音，從此大學教授和中小學教師之間，多了一個化學教育溝通的平台，促進化學教育的理論與實踐更緊密的結合在一起。

化學知識抽象度高，筆者曾調查大學文組的學生，他們何時開始不喜歡化學？九成左右都說始於國中，因為教師為了學校行政主管和家長要求升學成績，重視紙筆測驗，因此操作實驗的機會減少，學生對於化學知識，採取死背記憶的方式，即便考試成績過得去，可是無法欣賞化學知識之真、善、美。

至於國小的化學教育，主要問題在於師資之素質，因為國小自然科學不是專長科目，有些學校是由年資高教師優先擔任，或成為兼行政教師配鐘點用，這些教師所需要新知報導、教學、評量、教學科技、生活化學、以及實驗等，皆可在本電子期刊得到幫助。

中小學生已具有網路搜尋能力，若能廣為宣傳或由任課教師介紹給學生，讓學生自己閱讀，應該也是蠻好的策略；有些家長為了要與孩子共同學習化學知識，常苦於自己化學素養不足，本電子期刊確實能對他們有所助益，讓親子可以一起學習，對化學的認知，不再停留在化學方程式。

從事化學教育四十六年，能看到這份優質電子期刊發刊，衷心高興。

特別為文祝賀！

創刊賀詞

連啟瑞

國立台北教育大學自然科學教育學系兼任教授

國立台北教育大學前副校長

東亞科學教育學會前任理事長（2012-13）

cjlien@tea.ntue.edu.tw

臺灣之所以可貴，在於臺灣社會的活力、它的國際開創性格、人的善良與土地的持久芬芳。

如臺灣會有危機，那應就是我們放棄去培養優秀、進取、講理性、有關懷、能進取開創的未來人才的一種努力，或者是我們放棄對於維護純淨社會和豐美土地的智慧 and 堅持。

過去數十年來，臺灣的科學教育在政府、教育主管機關機構、科學家及科學教育者、所有教師的努力下，以為人才培育扎下良好的根基。十年餘來，臺灣的科學教育更與東亞地區的日本、韓國、香港、大陸等，以傑出的學生科學表現受到世界的矚目和艷羨。但，無可諱言，臺灣的科學教育也逐漸感受到更強烈的競爭壓力，許多社會科學素養提升與科學專業人才培育的困境，正在等待完善的解決。

化學，在社會中無處不在，攸關食品、健康、環境、工業的發展，也是和人類的生活、生存、生命息息相關的科學。近年來，重大社會科學議題不斷，民眾化學素養和從業人員之專業知能，都感到亟待提升，化學教育的再起，於今，顯得益發重要。

今日，《台灣化學教育》發刊，是臺灣化學教育一個新頁，也應是為臺灣永續發展的一項重要努力，受邀贅語，榮幸之外，藉此敬表對有識之士的衷心敬佩和對發刊的祝福，謹賀

聚群力 創新頁 以享群倫

創刊賀詞

李賢哲

國立屏東教育大學校長
國立屏東教育大學化學生物系教授

sjlee@mail.npue.edu.tw

化學是一門物質的科學，周遭的生活中充滿了許多不同的物質，也造就人類所處的環境與化學密不可分的關係，舉諸食、衣、住、行、育、樂，皆和化學能劃上等號。既然如此，莘莘學子和大眾，對於化學的學習或重視的層次又是為何？學生往往因為擔心學業的表現與對實驗藥品的認知，導致對化學學習怯步；而社會大眾，也往往在一連串的事件發生後，才又短暫對化學的議題進行討論或撻伐，顯示國民對化學素養仍有提昇的空間。其中，較有效的方法之一，透過教育的方式來進行。化學教育包含了教材內容、教具（實驗）設計與教師教育等，要成就引人入勝的教育情境，更應加強與生活間之連結。

國立臺灣師範大學科學教育研究所邱美虹教授與國內多位化學界之專家學者，有感於化學教育對於二十一世紀世界公民的重要性，共同發起了《台灣化學教育》期刊之建立與發行，期盼在首刊發行之際，藉此拋磚引玉，能激起全民知道化學，瞭解化學，更進一步能為所處的化學（物質）環境盡一份永續經營的力量。

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

譯者序

這本書源於 Michael Faraday (麥可·法拉第, 1791–1867) 在英國皇家學院的一系列演講, 該書於 1861 年首次出版。法拉第出身卑微, 靠著自學而成為科學的歷史上一位傳奇的人物。他在電磁學、化學各領域都有卓越的貢獻。

在這本書中, 法拉第藉著一系列的實驗, 闡述蠟燭燃燒時所牽涉到的現象。法拉第分析了燭火的溫度, 告訴我們燭火最亮之處其實是碳粒造成的。蠟燭及許多物質的燃燒都會產生二氧化碳和水, 二氧化碳的碳和水的氫來自蠟燭, 而氧來自大氣; 水包含二體積的氫氣和一體積的氧氣。法拉第也將蠟燭燃燒和呼吸作用做比較, 告訴我們二者都是藉氧化反應釋放能量, 並排出二氧化碳的化學反應。

今人閱讀這本書, 仍不免讚嘆法拉第設計的精采實驗。藉著逐步的推理、論說、與驗證, 法拉第成功地教育年輕人科學如何藉著發問、推想、設計實驗、並驗證結果來獲得知識。除了介紹蠟燭, 這本書的另一個重要貢獻是告訴我們: 「如何從事科學研究」、

「甚麼是科學」。

這本書很適合年輕學生閱讀, 若能重複書中描述的實驗, 讀者將會更為受益。在書中, 譯者盡量將所涉化學反應呈現出來, 以利於讀者學習。原書圖繪由彰化師範大學美術系李婷歡重繪, 謹此致謝。在譯者之前, 中央大學倪簡白教授已經出版了譯本《法拉第的蠟燭科學》(商務書局出版)。台灣大學張文亮教授的作品:《電學之父—法拉第的故事》(文經社出版)對於法拉第的生平有詳盡的介紹。



(圖片來源: [Michael Faraday](#), Wikipedia)

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

第一章 蠟燭的製造、燃燒及火焰

各位來到皇家學院，參與我們舉辦的一系列演講，我感到非常地榮幸，為此我將講述蠟燭的化學歷史。先前我已經處理過這個主題了，如果您不介意，我希望每年都來演講這個主題；因為這主題本身相當有趣，為許多科學領域帶來精妙豐富的結果。所有主宰宇宙的定律，都參與且觸及了我們即將觀察的現象。要進入自然哲學的研究，沒有比從蠟燭的物理現象入手更好的方法了。因此我有信心，我選擇蠟燭、而非其它較新穎的主題不會讓您失望；較新穎的題材，即使它並不差，不一定會比較好。

開始之前容我說明一下：雖然我們的主題很好，而且我們對這主題懷抱真誠、嚴謹與哲學式的思維態度，我將在演講中忽略那些較年長的人。我希望能以對年輕人聊天的口吻來演講。在之前的幾場演講中，我已經這樣做了，如果您不介意，我仍將使用相同的方式。雖然我在這裡傳達的知識屬於所有人，但這並不妨礙我在這個場合，用類似之前的方式來演講。

■ 蠟燭的製造方式

現在，男孩和女孩們，首先我要說明：蠟燭是用甚麼做的。有些製造蠟燭的材料是相當奇特的。這裡有些木材和樹枝，特別適合燃燒。你看到這塊奇怪的材料，來自愛爾蘭的沼澤，叫做「蠟燭木」；這是種堅實、強硬、相當好的木材，非常適合作為支撐的材料，而且它們很容易燒起來，在蠟燭木的原產地它被製作成燃燒用的木屑；蠟燭木也能用來做火炬，它燒起來就像蠟燭，能放出明亮的光芒。這塊木頭本身就是蠟燭本質的最完美的例子，或許這就是我能呈現給你的。這塊小小的木頭不只提供燃料，還能藉著燃燒演示化學作用、利用持續穩定供應的空氣顯現出光和熱；事實上，它就是一根天然的蠟燭。

我們必須先談商業製造的蠟燭。這邊有幾根蠟燭，通常稱為「浸製蠟燭」(dips)。製造方式為：把一團棉花纏成一個環，將環浸入融化的動物脂肪，拿出來陰乾後，再浸入

脂肪；如此反覆動作，直到棉花上累積了一團動物脂肪。我手上的這些蠟燭會讓你對蠟燭的特性有些瞭解……它們實在又小又奇特。這些怪東西是以前礦工在煤礦坑裡用的蠟燭。古早的時候，礦工必須自己準備蠟燭，他們覺得小蠟燭在礦坑中比大蠟燭不容易引發爆炸；基於這個原因，以及經濟上的考量，礦工們做出不同重量的蠟燭……每磅有 20、30、40 或 60 支。之後蠟燭先是被一種叫做「鋼鐵廠」的燈所取代，然後又被戴維安全燈¹ 取代，接著還有其它類的安全燈。我手上有一支蠟燭，貝斯理上校跟我說是從皇家喬治號沈船上拿下來的。這根蠟燭沉在海中多年，受到鹽水的作用。但你看這支蠟燭保存良好；即使它可能折損、斷裂得很嚴重，但點燃後還是可以正常燃燒，一旦蠟燭開始熔化，脂肪就重回它的自然狀態。

蘭貝斯 (譯註：Lambeth，英國地名) 的費爾德先生給了我很多漂亮的蠟燭圖片和材料；所以現在就來說說它們。首先，這是牛脂——牛的脂肪，它可以被製造成放在這兒的美麗物質，也就是硬脂蠟燭。這種方法是給呂薩克，²或是某個將方法告知給呂薩克的人所發明的。硬脂蠟燭不像一般油膩膩的牛油燭，它倒是蠻乾淨的；此外你還可以刮下、弄碎蠟燭滴下的東西，這些滴下的蠟也不會弄髒任何東西。給呂薩克製造蠟燭的過程如下：先將石灰加入脂肪後煮沸、將油脂做成

肥皂，然後用硫酸移除石灰，並分解肥皂，就會留下脂肪重組過後的硬脂肪酸，同時也產生甘油。³甘油，是一種糖或類似糖的物質——從動物脂肪經過化學變化而產生，然後油從其中被擠壓出來。

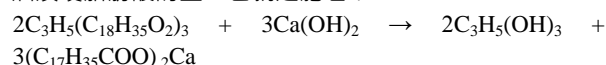
你看到這裡有一堆壓製的塊狀物，顯示在持續增加壓力的情況下，雜質被漂亮地從脂肪混合物中移出，最後你會得到融化的物質，將它鑄造成我所演示的蠟燭。我手中拿著的是硬脂蠟燭，是我曾經告訴你的，從動物油得到的硬脂肪酸所製造而成的。這邊有根鯨魚油蠟燭，則是用抹香鯨油純化做成的。我還有一些黃蜜蠟和精製蜜蠟，都可以用來做蠟燭。另外還有一種奇特的材料，叫做「石蠟」，以及一些石蠟蠟燭，是用愛爾蘭沼澤裡的石蠟做的。我們還有來自更為偏遠地帶的材料呢，我這邊還有從日本帶來的蠟，有位朋友慷慨地送給我，這種蠟是製造蠟燭的一種新材料。

這些蠟燭是如何做的呢？我已經跟你說過浸製蠟燭，接著我將呈現模具是怎樣做的。讓我們想像蠟燭是由可塑材料做的。「可塑！」，「此話怎講？蠟燭會融化，如果你能融化蠟燭，那當然是可塑的東西。」事實並非如此。在製造蠟燭的過程中，為了讓成品具有所需性質所做的努力，已經使得製造蠟

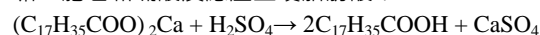
¹ 戴維安全燈 (Davy-lamp)，19 世紀英國科學家戴維爵士 (Sir Humphry Davy, 1778-1829) 發明；可在漫佈甲烷等可燃氣體的礦坑中使用，是專為礦坑照明安全而發明的照明器具。戴維爵士為 19 世紀英國科學家，因為電氣化學的實驗和戴維安全燈的發明而聞名，1803 年成為英國皇家學會的一員。

² 給呂薩克 (Joseph Louis Gay-Lussac, 1778-1850) 法國物理化學家，專長於氣體性質之研究。

³ 石灰溶於水成為鹼性的熟石灰，熟石灰與脂肪反應產生甘油及硬脂肪酸的鹽，也就是肥皂：



上式中的肥皂，因為鈣離子的關係不易溶於水，其實是皂垢。肥皂和硫酸反應產生硬脂肪酸：



硬脂肪酸製造的蠟燭比動物脂肪製造的蠟燭堅硬。給呂薩克於 1811 年申請了製造蠟燭的專利，它的製造方式可以移除反應過程中產生的甘油，這種蠟燭燃燒時少了惱人的氣味，也比較沒有黑煙。

燭這件事發生始料未及的結果。蠟燭並不總是可塑的。純蠟的蠟燭無法被塑形，而需要某種特殊的方法；雖然我能在一兩分鐘內說完，但我不打算在這邊花太多時間。蠟燭中的蠟是易燃、易融化的，因此不容易被塑形。然而，我們拿個能塑形的材料過來。這兒有一個框架，上面綁著幾個模型。首先把燭蕊穿過這些模型。辮子形狀的燭蕊由紗布支撐，這種燭蕊不需要重複剪蕊。這條線穿到底端，就栓在底部固定；用小栓子拉緊棉花並堵住孔隙，如此液體就不會流出來。在頂端橫過一根小棒子，這根棒子拉張棉花且將棉線固定在模型裡面。然後，動物脂肪融化後流入模子裡。一定時間後，待模型冷卻，從一角倒出多餘的動物脂肪，清理一下，再剪掉燭蕊的尾巴。現在模型裡面只剩下蠟燭，再來你只須把它倒過來，像我這樣做，蠟燭就會滾出來，因為蠟燭是做成圓錐形的，上面比下面小；因為它的形狀，只要輕輕搖晃，蠟燭就會掉出來了。硬脂肪酸和石蠟的蠟燭也是依同樣的方法製造的。

蠟燭的製造方法很奇特。就像你在這邊看到的，框架上掛著很多棉花，末端覆蓋金屬物，避免棉花在這些地方被蠟蓋住。將這些東西放在裝著融化的蠟的容器上方。你看，框架可以翻過來；而當它們翻過來時，我們就拿一桶蠟澆灌第一個框架，接著澆灌下一個，再下一個，依此繼續。當製造蠟燭的師傅倒完一輪後，如果較早被澆灌的框架中的蠟已經冷卻，他便從頭再澆覆框架第二層蠟，如此進行，直到每個框架上的蠟都累積了足夠的厚度。當框架依此方法被蠟覆蓋、填滿到足夠的厚實程度時，便將它們取

下並移到其它位置擺放。感謝費爾德先生慷慨提供，我這邊有幾個這類蠟燭的樣本，這些是半成品。覆蓋蠟的框架被取下之後，放在石板上捲起，用適當形狀的管子模塑出蠟燭的尖椎端，切平底部並整理乾淨。這道手續做得好，工人就可以用這個方法精確地做出4磅、6磅或其它重量的蠟燭。

然而我們不能在製造過程耽擱太多時間，我們必須進入正題研究蠟燭這個物質。我還沒跟你說到蠟燭豐美的視覺享受（因為在蠟燭世界裡真的有精品般的東西）。看哪，這些顏色多麼美麗，你看到偏紫的紅色、偏紅的紫色，以及最近發明的化學顏色都能在蠟燭裡見到。這裡有根精工雕刻，像是希臘石柱的蠟燭；我也帶來一些裴叟先生給我的蠟燭，這些蠟燭經過設計和裝飾，而當我點燃它時，你看到上方浮著一輪閃耀的太陽，下面像是一束捧花。然而，這些精緻漂亮的東西並不實用。希臘石柱型的蠟燭美則美矣，卻不好用；因為外型的緣故使得它們不好用。儘管如此，我還是讓你看看朋友送我的、不同種類的蠟燭，你就曉得現在的蠟燭可以做到甚麼程度，還可能做出哪些不同的成品；雖然，如我所說的，精緻的修飾會犧牲掉事物的本質。

■ 觀察蠟燭的燃燒

現在來談蠟燭的光。我們將點燃一、兩支蠟燭，並讓它們持續燃燒，展現它們應有的功能。你觀察到蠟燭和油燈相當不同。使用油燈的時候，你把油注滿底盤，放進些許製備的棉花，接著點燃棉花的上端。當火焰往下燒到與油接觸時，火會熄滅，但是上頭

會繼續燃燒。你一定會問說：為什麼油本身不燃燒，但卻會在棉花上端燃燒呢？我們現在就來檢視這個問題，不過蠟燭燃燒是一件更為神奇的事。現在有個沒有容器盛裝的固態物體；這個東西要如何爬上火焰燃燒的地方呢？這個固體要如何到達燃燒的位置，但又不會變成液體呢？或者說當它變成液體時，要如何維持在一起的狀態且不散呢？這就是蠟燭神奇的地方了。

現在有些風，風對我們說明這個示範實驗可能有幫助，但我們也可能被燭火戲弄了；為了讓我們的演示不受干擾，也為了簡化整個過程，我需要一個穩定的燭火；在研究過程中假如出現預期外的干擾，我們就無法好好地做研究。週六晚上在菜市場可以看到賣菜、馬鈴薯或賣魚的小販，他們用一個很好的東西來避免蠟燭被吹熄。我頗為欣賞這個器具，他們在蠟燭周圍蓋上燈罩，上面有道滑軌支撐並鉤住燈罩，使用者可以就需要將燈罩滑上滑下。依照同樣方法使用燈罩，我們便能擁有穩定的火源，你可以看著、仔細檢視這穩定的蠟燭燃燒，我希望你在家裡也能這樣試試看。

首先，一個美麗的杯狀凹槽形成了。當空氣接近蠟燭時，蠟燭產生的熱氣流把空氣往上推，這股空氣冷卻了蠟、脂肪或燃料的外圍，讓外部邊緣溫度比內部中央低；火焰盡可能地沿著燭蕊向下燃燒，同時融化內部，但是外部並不會融化。假如我在一個地方施予氣流，蠟燭凹槽的壁將在另一側下垂，融化的液體就會流出來；因為萬有引力——讓這個世界得以聚合的力量——使液體保持水平，如果凹槽不是水平的，液體便

會沿著溝槽流下。因此你曉得，這個凹槽的形成歸功於那美妙的、規則的上升氣流，它同時也使蠟燭外部保持冷涼。沒有這個杯狀凹槽，其它燃料無法作成蠟燭；愛爾蘭沼澤的木頭是個例外，因為木材本身就像海綿，可以吸收燃料。

如果點燃我先前演示的漂亮蠟燭，你就曉得為什麼結果很糟糕；這些漂亮蠟燭形狀不規則、表面不連續，因此沒辦法好好形成凹槽的邊緣，而凹槽是蠟燭最棒的地方。現在我希望你能了解，一道程序的完美結局，就是他的實用性，是這整個過程中最美好的。普通的蠟燭並不漂亮，但是卻運作良好，也是對我們最有用的。美麗的蠟燭燃燒起來並不順利，在蠟燭壁上會出現溝槽，因為氣流不規律，隨之形成的凹槽也不好。當蠟燭壁上淌下融化的蠟使某處變厚時，你會看到不穩定的上升氣流（我相信你會看到這些）。隨著蠟燭持續燃燒，在壁上形成突出的細柱，因為這根細柱高出旁邊的蠟或其它種燃料，空氣在這裡流動得更好，這邊的溫度會比較低，進而阻擋周邊的熱。一如其它事理，人類對於蠟燭的重大誤解將教導我們那些如果沒有實際經歷，便無從獲得的知識。我們聚在這裡，希望成為思想者，我希望你永遠記得，無論何時你看到一個結果，特別是新的結果時，你應該要問：「這是甚麼原因造成的？為什麼它會發生呢？」經過一段時間推敲之後，你就會找到原因。

我們還能從另一個點切入，回答關於蠟燭的問題，也就是研究蠟油從凹槽流出，由燭蕊往上到達燃燒位置的方式。用蜜蠟、硬脂肪酸或鯨油做成的蠟燭，燭蕊燃燒的火焰

不會往下跑到蠟或其它地方，將整支蠟燭融化，而會保持在恰當的位置。火焰被下方的液體阻攔，不會侵毀凹槽的周圍。我想不出更完美的例子了，在此燃燒過程中，蠟燭的各個部分相輔相成。像蠟燭這種可燃物會漸漸燃燒殆盡，但又不會被火焰從外部入侵，是很棒的景象，尤其在你知道旺盛的火直接燒到蠟上的時候，蠟會被火焰催毀，當火靠得太近時，蠟也會被火焰變形。

■ 燭蕊藉毛細作用，持續地將蠟燭融化並傳送到火焰

但火焰是如何取得蠟油以作為燃料的呢？這裡有個很棒的觀點——**毛細作用**。「毛細作用！」，或「毛髮間的吸引」，在我們還沒好好了解它真正的作用之前，不用太在意名稱；這是前人取的名字。因為毛細吸引的作用，作為燃料的蠟油被運輸、存放在燃燒進行的地方，這個過程不是任意的，而是被巧妙地安置在燃燒作用發生的中心。現在我要給你一、兩個毛細吸引的例子。這個動作或吸引力使兩個互不溶解的東西聚在一起。例如，洗手時你弄濕雙手、抹上肥皂，使皂液附著得更好，然後你發現手還是濕漉漉的。這就是待會兒我要說的那種吸引力。如果你的手沒弄髒（因為日常生活中，雙手通常是髒的），將指頭伸入溫水，水會些微地從手指頭向上爬升——很可能你以前還沒有注意過這件事情呢。

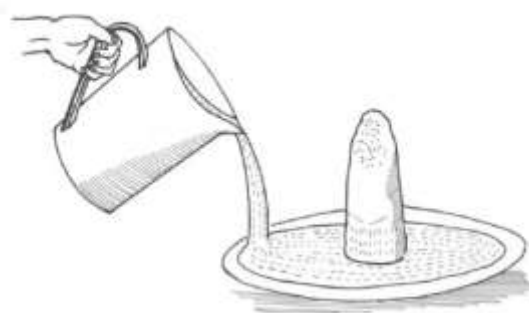


圖 1

我有一個多孔的物質——一支鹽柱（圖 1），然後我在盤子底部注入看起來像水但不是水的液體；這是飽和的鹽水，無法再溶解更多的鹽，所以你看到的作用並非溶解的緣故。我們將盤子想像成蠟燭，鹽柱當成燭蕊，鹽水則是融化的蠟。（我事先將鹽水染成藍色，好讓你看清楚作用過程。）現在我把液體倒進去，如果鹽柱不倒下的話，液體會升高、漸漸爬上鹽柱，越來越高；液體會爬到頂端，。如果這藍色的液體是可燃的，而且我們把一條燭蕊放到鹽柱頂端，當液體滲入燭蕊時就可以燃燒。觀察這種作用以及相關的細節是很有趣的。洗完手時，你拿毛巾擦乾雙手；因為這種濕潤的方式，水會沾上毛巾，蠟燭燃燒時，融化的蠟會爬上燭蕊。我認識一些不拘小節的男孩和女孩們（當然謹慎的人也會這樣做），把擦過手的毛巾丟在臉盆旁邊，沒有多久臉盆裡所有的水就被毛巾吸乾，滴得地上溼答答的，因為它剛好被丟在有水的臉盆，水因為毛細作用被吸引而滴到外面的地上。

我手上有個網紗做成的管子，裡面裝滿水，在這個過程中，就某方面來說，你可以

把這容器視為棉花，或從另一個角度觀之，將它視為棉布。事實上，有時候燭蕊是用網紗做的。你會發現這管子是個可滲透的東西；因此我從上端倒水進去，會從底下流出來。以下問題可能讓你思索好一會兒，如果我問你：這管子的情形怎樣？裡面是甚麼？為什麼它會在那裡面？這根管子注滿水，但同時你也看到水進進出出，好像管子是空的。為了證明給你看，我只好將它倒出來。原因是這樣子的：網子一直是濕的，篩孔很小，以至於液體從這端被強力吸引到另一頭，所以管子裡一直有水，即使管子是有開口的。利用相似的方法，融化的動物脂肪粒子爬上棉花並到達頂端；其它粒子因為相互吸引的作用跟隨在後，當它們到達火焰燃燒的地方時，也加入燃燒。

接下來也是同樣的原理。看看這根樹枝。我在路上看過一些男生把樹枝點火，假裝是雪茄，學大人的樣子抽菸。他們能這樣做，是因為樹枝單向的可滲透性，也是因為毛細管現象。如果我把這根樹枝放在盛有樟腦精的盤子（大體而言，樟腦精的性質和石蠟類似），一如前面藍色液體滲入鹽柱的道理，樟腦精會滲入這根樹枝。因為旁邊沒有毛孔，所以液體無法往那方向去，但是一定會流經整根樹枝。液體已經流到樹枝頂端了；現在我可以點燃它，就跟蠟燭一樣。因為樹枝的毛細現象，液體會往上爬升，就像在蠟燭裡面的棉花一樣。

為什麼蠟燭不會把燭蕊周圍都燒掉呢？唯一的解釋是：融化的動物脂肪把火滅掉了。你知道，如果把蠟燭倒過來，想讓作為燃料的蠟油流到燭蕊，蠟燭反而熄滅了。原

因在於火焰來不及加熱蠟油到足夠的溫度好燃燒起來，在前面成功燃燒的例子中，只有少數蠟油被帶到燭蕊，並且在燭蕊上還有熱。



圖 2

■ 重新點燃熄滅的蠟燭

關於蠟燭，還有一個現象可以讓你理解蠟燭運作的原理，也就是蠟油作為燃料燃燒後，產生煙霧的情形。為了讓你了解，我來演示一個很棒，但也很平常的實驗。如果你迅速地吹熄蠟燭，會看到餘煙裊裊升起。我知道你經常聞到蠟燭熄滅的煙味，不太好聞；如果你能靈巧地吹熄，便能清楚看到煙霧中有轉變過的固體物質。我接下來要吹熄這些蠟燭，不讓我連續的呼吸擾亂蠟燭周圍的空氣；而現在，如果我拿一根點火棒，距離燭蕊大約 5 公分遠，你會看到一串火苗沿著煙霧爬上蠟燭（圖 2）。我最好手腳俐落些，如果我的動作太慢，煙霧就有時間冷卻進而凝結為液體或固體，可燃物質的流動就會受到妨礙。

■ 氣流對火焰形狀的影響

接下來，我們要談到火焰的形狀或形態。也就是蠟燭中的物質爬上燭蕊後所產生的，只有燃燒或火焰那無可比擬的美和亮光。黃金、白銀耀眼迷人，紅寶石、鑽石、珠寶更是光彩奪目；但它們都不如火焰出色動人。哪顆鑽石能閃耀如火呢？夜裡鑽石的光輝尚須向火焰借光。火焰在暗夜裡閃耀，除非火焰照上鑽石，它才得以展豔。蠟燭只為自己、依靠自己發亮，或是為那準備蠟燭的人工作。現在我們來觀察玻璃燈罩裡火焰的形狀，它的形狀穩定且均勻。其形狀如圖3所示，火焰的外形隨著氣流擾動變化，也依據蠟燭大小而變。



圖 3

這是個光亮的橢圓形，上面比下面亮，燭蕊在中間；除了燭蕊比較暗之外，在底部還有更暗的部份，這部份的燃燒不像上面那麼完全。我這裡有張圖，幾年前由虎克⁴所繪

製的，那時他正在做這方面的研究。這張圖畫的是油燈的火焰，但也適用於蠟燭的火焰。蠟燭的凹槽就如同盛放的器皿或檯座；融化的鯨油則可視為燃油；而蠟燭和油燈都有燈蕊。在燈蕊上點起小小的火苗，然後發生了一件事：有些你看不到的物質從火焰升起，假如你沒有聽到前面的演講或不熟悉這主題，你就不知道有這些物質。

虎克描繪出火焰周圍非常關鍵、無時不在的氣流。我們的蠟燭有股氣流成形並拉長火焰；你所見的火焰被拉得很高，就像虎克在圖上畫的氣流延展的形貌。你可以把點燃的蠟燭拿到陽光下，讓它的陰影投射到一張紙上，或許就能看到我所說的樣子。這是多麼神奇呀，自身亮得足以使其它東西產生陰影的，也會在紙上被投出陰影（圖4），如此你就能確實看到周圍不屬於火焰本身的氣流，而這氣流上升並拉高火焰。現在我要把電池裝上電燈，好模擬太陽光。你現在看到我們的太陽和它的亮光；在光源和屏幕中間放置蠟燭，就得到了火焰的影子。你觀察到蠟燭和燭蕊的陰影；接下來是如圖所示（圖4）的一片微暗的區域，還有一塊較遠的區域。挺神奇的是，從影子觀察到火焰最暗的地方，實際上是最亮之處；這邊你看到熱空氣往上流，一如虎克畫的那樣，這股氣流拉長火焰、供應空氣並冷卻融蠟的凹槽圍牆。

⁴ 虎克 (Robert Hooke, 1635-1703)，英國科學家，為英國皇家學會一員，在物理學、生物學上卓有成就。

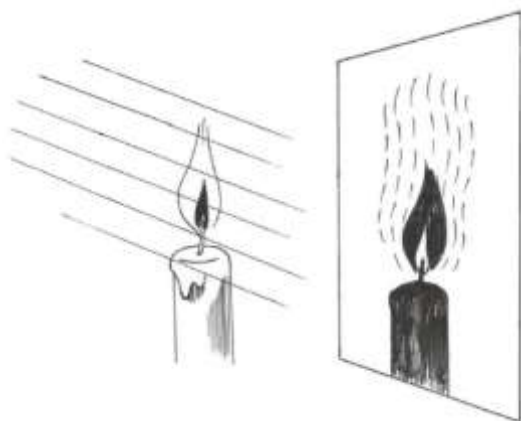


圖 4

我再更進一步演示，讓你們看看火焰如何因為氣流而上升和下降。我這裡有一具火焰——這不是燭火——但無疑地，它和燭火所受的影響是一樣的。我現在要做的是將上升的氣流改變為下降氣流。我可以藉由面前這個裝置輕易做到（圖 5）。

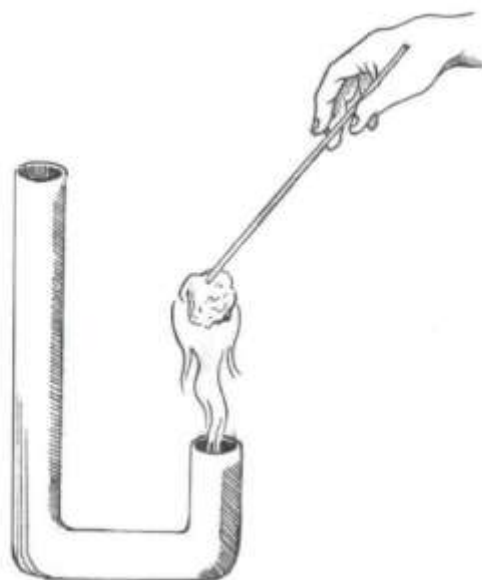


圖 5

如我剛才所說，這火不是燭火，而是酒

精燃燒的火，所以不會產生很多煙。我也用某種物質為酒精染色，如此你才好追蹤它的軌跡；假如沒有染色，你就看不清楚，也就難以追蹤其軌跡。點燃酒精，我們製造出火焰，接著你觀察到，把火焰舉在空中，它自然會上升。你相當瞭解為什麼在一般環境下火焰會往上升：是因為這股協助燃燒的空氣的流動造成的。但是現在我把火焰向下吹，你看，我讓火焰往下進入這個小煙囪，氣流的方向被改變了。在這堂演講結束前，我們應該讓你看一種燈，它的火焰往上升，但煙霧卻向下降，或是火焰下降但煙霧上升。我們可以改變火焰的方向。

我得提醒你幾件事。大部分你看到的火焰，其形狀受到周圍不同走向的氣流所影響；如果需要的話，我們可以控制火焰，這樣它們看起來像是固定的，而且我們可以對它照相——實際上我們有必要照下它們——這樣它們才能固定，好讓我們得到所有關於火焰的知識。不過，這不是唯一我想提醒你的。如果我升起一團大火，它的形狀便不會這麼一定、這麼齊整，但它的火焰卻迸發出相當的活力。我將援用另一種燃料，也可以如實地代表蠟燭中的蠟油。我有一大團棉花，用來作為燭蕊。將這團棉花浸入酒精液體並點燃之後，它和普通蠟燭有甚麼不同呢？啊，它們差異可大了，這東西燃燒時生氣勃勃且充滿活力，它的美、它的生命在在不相同於燭光。你看到那些美妙的火舌升起。這團火從下到上均勻地燃燒，除此之外，它還擁有引人注目的、迸發的火舌，這是蠟燭燃燒看不到的。

為什麼有如此不同呢？我得向你解釋，

完全理解之後，你就可以更順利地與我繼續接下來的課題。我猜在座已經有人嘗試過我要演示的「吞龍」⁵實驗了。要瞭解火焰的原理以及燃燒的歷史，我想不出比吞龍更好的方法了。首先，這裡有個盤子；在玩吞龍時，你應該先有個溫過的盤子；還有溫的葡萄乾和溫的白蘭地。當你將酒注入盤子，你就有了凹槽和燃料；葡萄乾的作用，不就像是燭蕊嗎？現在我把葡萄乾丟入盛著酒的淺盤，點火使之燃燒，你會看到我所說的漂亮火舌。空氣從盤子邊緣流入，形成這些火舌。為什麼呢？因為氣流的力量和火焰運動的不規則，空氣無法均勻地流入火焰。因為氣流流動不規則，本來應該是單一的火焰，被分成了各自獨立的火焰。事實上，我們可以將它看作好多根蠟燭。你看見盤子裡同時長出好幾道火舌，每道火焰形狀不一，我們不應該因為它們同時出現，便將其視為同一道火焰。絕對不會有一道火焰，它的形狀像是從盤中升起的那個樣子。這團火由許多獨立火焰組成，此起彼落相當迅速，肉眼無法區別，這張圖(圖6)演示火焰組成中的不同部分。很可惜，我們才玩過吞龍的遊戲，這堂課就要結束了；但在任何情況下我都不能耽擱您的時間。將來我該學習，多把時間用在探索事物的原理，避免在這些演示上佔用太多的時間。

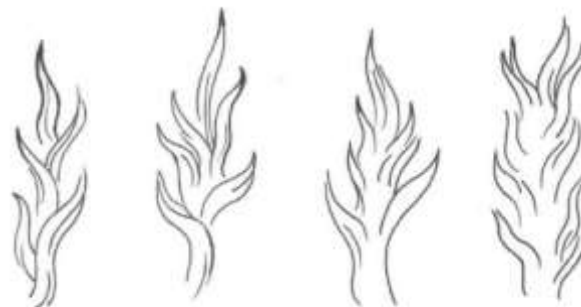


圖 6

⁵吞龍 (snapdragon) · 16-19 世紀盛行於英國地區的聖誕節遊戲。在盤中放置葡萄乾和白蘭地酒，點火燃燒白蘭地酒後，眾人以手搶葡萄乾，並放到嘴中吞下。因為白蘭地燃燒時製造出藍色火焰，通常會在昏暗燭光下或關燈後進行遊戲。

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

第二章 蠟燭火焰的組成，蠟燭燃燒需要空氣

■ 蠟燭融化成為蠟蒸氣

上回我們講到蠟燭的一般性質和組成，蠟燭內的液體，以及液體如何進入蠟燭的燃燒部位。你曉得，當蠟燭在規律、平穩的空氣中燃燒時，火焰的形狀就像圖上畫的，看起來相當一致，然而火焰的特質是相當引人入勝的。現在我要你注意接下來的事，藉著這些方法，我們可以弄清楚、知道在火焰的某個地方發生了甚麼事——為甚麼會發生？在這過程中它怎麼了；最後，整根蠟燭跑去哪裡了呢？如你所知，蠟燭點燃後如果一直燒得好好的，最後蠟燭會消失，燭臺上一點灰燼的痕跡也沒有——這真是很奇怪的事啊。為了仔細觀察蠟燭，我準備了一些裝置（圖7），看我操作你就知道這些器材怎麼用了。這裡有一根蠟燭；我將把玻璃管的末端插入火焰中央——也就是虎克繪製的圖畫中，顏色較暗的地方，只要在看蠟燭時小心點，燭焰沒有被吹動的話，你隨時都能看到那比較暗的區域。首先，我們就來檢查這比較暗的地方。

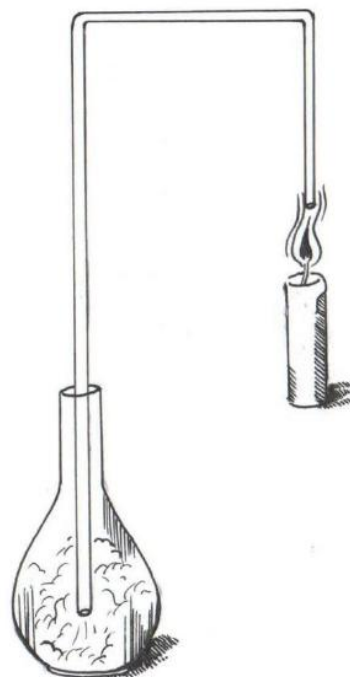


圖 7

現在我把這根玻璃彎管的其中一端插入火焰，你馬上看到有東西從火焰冒出來，經過管子、再從另一端鑽出來；如果我在煙霧冒出的那端放一個燒瓶，收集冒出來的東西並靜置一會兒，你會看到，冒出來的東西慢

慢拉長，然後沿著管子落入燒瓶；如果這東西被直接暴露在開放空間，情況將會很不一樣。煙不只從管子的一端鑽出來，還落到燒瓶底部，好像是種沉重的東西——事實上它的確是。我們發現：蠟燭的蠟形成了蠟「蒸氣」(vapor)——而非「氣體」(gas)。(你一定要知道「氣體」和「蒸氣」的分別：「氣體」是一直處在氣態的；而「蒸氣」在某些條件下會凝結。) 你吹熄蠟燭後聞到的臭味，就是凝結的蠟蒸氣。這和你從火焰外圍收集到的不一樣；為了讓你們更清楚了解，我將製造並點燃蠟蒸氣中的大部分。從一根小小的蠟燭，我們收集到的蠟很少；如果要以科學方法透徹地了解，我們需要大量的蠟，這樣我們才能用各種方法來進行研究。現在安德森先生負責供應熱源，我來呈現這「蒸氣」是甚麼。我將把裝在燒瓶裡的蠟弄熱，因為燭焰內部跟燭蕊周圍的物質都是熱的。(法拉第把一些蠟放進燒瓶，用油燈加熱)。現在，我敢說這已經夠熱了。你看到我放進去的蠟已經變成液體，而且有一點點煙出現。不久就會有蠟蒸氣湧上來。繼續加熱蠟，就能得到更多蠟蒸氣，而且我還可以把蠟蒸氣從燒瓶「倒」出來，倒到平底盤上點火引燃。這的確就是在蠟燭火焰中央取得的蒸氣。讓我們來檢驗看看，在燒瓶裡面的是來自蠟燭中央的蒸氣，它是可燃的。(法拉第朝著充滿煙霧的燒瓶丟入一條點燃的燭蕊)。觀察它的燃燒，這真的是來自蠟燭中間的蒸氣，是它自身的熱製造出來的。這也是你研究蠟燭在燃燒及變化的過程時，首先要考慮的事。現在我把另一根玻璃管小心插入火焰，確保蒸氣會流到管子的另一端；然後，我在另一端點火 (圖 8)，在距離蠟燭這麼遠的地方，也可

以取得蠟燭的火焰。看看它！這不是很棒的實驗嗎？說到供應氣體——喔，我們可以供應蠟燭氣體！你在這裡清楚看見兩種不同的動作——一是蒸氣的「製造」，一是蒸氣的「燃燒」——這兩個動作分別在蠟燭的不同部位同時進行著。

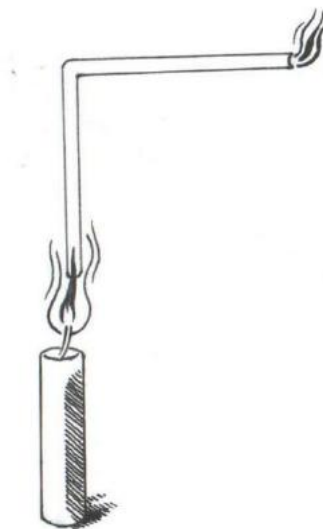


圖 8

■ 火焰上端蠟蒸氣的燃燒

從蠟燭完全燃燒過的部份我們無法取得蠟蒸氣。如果我將管子 (見圖 8) 提高一點，到火焰的上部，那兒蒸氣一被燒光，進入管子的氣體就不再可燃，因為這些氣體已經燃燒過了。那它們是如何進行燃燒的呢？是這樣子的：在火焰中央、燭蕊所在之處有可燃的蠟蒸氣，而火焰外圍有蠟燭燃燒必需的空氣；兩者之間發生劇烈的化學反應，空氣與燃料相互作用，而就在燭光產生的時候，裡面的蒸氣也被消耗殆盡。如果你檢查蠟燭的熱在哪裡，你會發現很有趣的分布狀況。如果我把一張紙靠近燭焰的上方，那麼火焰的熱在哪裡呢？熱不在內部，你看到了嗎？熱

在紙上燒黑的圈上，就在我告訴你的，化學作用發生的地方；雖然我這個實驗不是很嚴謹，但只要實驗沒有受到太多的干擾，紙上都會得到一個燒黑的圈。這個實驗很適合你在家裡做。拿一張紙片，穩定室內空氣，接著讓紙片迅速穿過火焰正中央——（做這個實驗時我不能說話）——然後你會發現，在紙上有兩處燃燒的痕跡，中間的地方只有些許燒焦或完全沒燒到；在你演練過一、兩次，動作很熟練時，你就能好好觀察，找出熱的所在，也就是空氣和燃料混合的地方。

■ 蠟燭燃燒需要空氣

在我們探討這個主題時，這是最重要的：空氣對燃燒作用是不可或缺的；此外，我還得讓你了解，燃燒必須的是新鮮空氣，否則我們的推論和實驗便不完美。這裡有個充滿空氣的罐子，我用罐子蓋住蠟燭，剛開始蠟燭燒得好好的，證明我所言不假。不過，這情況很快就會發生改變。你看，這火焰拉得好高，然後漸漸減弱，最後熄滅。為甚麼火焰熄滅了呢？因為燃燒作用不僅僅需要空氣，這罐子裡一直充滿空氣；火焰燃燒還需要純的、新鮮的空氣。雖然罐子裡滿是空氣，但有些空氣被改變了、有的沒有；罐子裡缺乏足夠的、蠟燭燃燒時必須的新鮮空氣。這些重點是在場的年輕科學家們必須留意的；而且，如果我們更仔細地觀察這種現象，會發現某些推理步驟是非常有趣的。

例如，這是我給你看過的油燈——很適合我們實驗的燈——古老的圓筒心燈。⁶我現

在把它改造得像蠟燭（塞住空氣進入火焰中央的通道）；這裡有棉花吸引油上升，產生錐形的火焰。它的燃燒較為微弱，因為有部分空氣受到限制、進不來。我不讓空氣進到裡面，保留外層火焰，因而使燃燒不很順利。我不讓更多外面的空氣進來，因為燈蕊頗大；如果像圓筒心燈的發明人亞干先生那樣聰明的話，我們從火焰的中心開一條路，讓空氣直通中心，你會看見，它燃燒得比之前漂亮多了。如果我停止供應空氣，請你觀察它如何冒煙；為什麼會這樣冒煙呢？

現在我們來觀察幾個有趣的現象：包括蠟燭的燃燒、蠟燭因為缺乏空氣而熄滅、還有蠟燭的不完全燃燒等等。這是相當有趣的，所以我希望你盡可能地瞭解這些現象。現在我將製造一團大的火焰，因為我們需要一個又大又炫的實例。這裡有個比較大的燭蕊（在一團棉花上燃燒松節油），這些東西和蠟燭一樣。如果燭蕊比較大，就需要供應較多空氣，否則燃燒作用就會不太完全。現在看好了，上升的黑色物質沒入空氣；它是一股規律的氣流。我已經用方法去掉燃燒不完全的地方，以免那些東西干擾你。注意那些飛過火焰的煤灰；因為得不到足夠的空氣，你能從此觀察到所謂的「不完全燃燒」。發生了甚麼事呢？因為有些蠟燭燃燒必須的東西不見了，接著很糟糕的結果就發生了；但我們知道，蠟燭在純粹、適合的空氣中是怎麼燃燒的。剛才我給你看過火焰在紙張留下的燒焦痕跡，我應該也給你看看，在紙張的另一面，蠟燭燃燒一樣產生了煤灰，或者說是木炭或碳。

⁶ 圓筒心燈（Argand lamp）：圓筒心燈於1780年由瑞士科學家亞干（Aimé Argand, 1750-1803）發明，大大改善了當時的油燈照明。

■ 碳粒讓燃燒更為明亮

在我進一演示之前，讓我先向你解釋，這點很關鍵，雖然我用了一根蠟燭演示燃燒的結果；我們必須自問：燃燒作用是否總是經過這種方式呢？或者，火焰還有其它的表現形式？我們很快會發現，的確還有其它形式的火焰，而且非常重要。我認為，呈現出不同形式的火焰的強烈對比，或許是向你們這些年輕人說明這件事的最好方法。這裡有些火藥，你知道火藥燃燒會產生火焰；我們可以中肯地稱之為火焰。它的成分是碳粒和其它物質，這些成分使得火藥燃燒時產生火焰。而這裡有些鐵粉，或者說鐵屑。現在我故意把這兩種東西放在一起燃燒。我會用小研鉢把它們混在一塊。(在我進行這實驗之前，我希望你們之中不會有人因為好玩，在重複這個實驗時受到傷害。如果你小心操作，我們可以善加利用這些材料，但如果一不留神的話，可能會造成嚴重的傷害。)我把火藥放在木頭容器底部，然後和鐵粉混合；混合它們的目的是，要利用火藥點燃鐵屑，讓混合物在空氣中燃燒，如此就可以呈現出「有火焰」與「沒有火焰」這兩種燃燒的差別。這些便是它們的混合物了；當我點燃火藥時，你一定要注意看著，你會發現這裡發生兩種燃燒作用。火藥將燃燒產生火焰，接著鐵屑被點著。鐵屑也會燃燒，但是不產生火焰。它們分別各自地燃燒。(演講者點燃混合物)。火藥的燃燒會產生火焰，不過鐵屑進行的燃燒作用並不一樣。燃燒方式的差異影響燃燒的用途，包括供於照明之用的火焰。當我們用油、氣體或蠟燭來照明時，不同類型的燃燒決定了它們的用途。

火焰有這麼多令人好奇的狀態，需要聰明、機敏的分辨能力來區別各種燃燒的種類。例如，這裡有種很容易燃燒的粉末，由許多不同的粒子組成。這東西叫做石松，裡面每顆粒子都能產生蒸氣和火焰；但要看它們燃燒的話，你得想像它們集合為一股火焰。現在我將升起一團大火，你就能看到它的效果。我們看到的一團火，明顯地是一個個體，但是燃燒時出現的嘈雜的聲音證明了這不是連續或規律的燃燒。這就像是無聲的閃電，還真是蠻像的。(法拉第將玻璃管裡的石松粉吹到火上，並且重覆了兩次。)可這並不是先前我談到的鐵屑燃燒，現在我們回到鐵屑。

假設我拿起一根蠟燭，以肉眼來檢查最亮的地方。那裡有從火焰中得到的黑色粒狀物，你之前已看過很多次了，而現在我打算用不同的方式來取得。我將把蠟燭壁上，因氣流形成的溝槽清乾淨；如果我現在把玻璃管伸進火焰，就像我們之前一個實驗所做的，不過管口比剛剛高一點，只碰到最明亮那部分的上端，你看到結果了。現在管子另一端冒出來的不是剛才的白煙，而是黑煙。喔，它冒出來了，像墨汁一樣的黑煙。這顯然與白煙很不一樣；當我們用火苗去點時會發現點不著，火反而被弄熄了。就像我剛剛所說的，這些粒狀物就是蠟燭的煙；這讓我想到一個蠟燭的古老用處：史衛福特牧師⁷曾經推薦給傭人的娛樂，就是用蠟燭在房間天

⁷ 史衛福特牧師 (Dean Swift, Jonathan Swift, 1667-1745) 愛爾蘭文學家，作品以諷刺挖苦的風格聞名。《格列佛遊記》(Gulliver's Travel) 為其知名作品。史衛福特亦曾從事神職工作，為愛爾蘭都柏林 St. Patrick 大教堂的主持牧師 (Dean)，故法拉第以「Dean Swift」稱之。

花板上寫字。不過，那些黑色物質是甚麼呢？啊，這和蠟燭裡面的碳是一樣的東西。為什麼它從蠟燭裡跑出來了呢？很明顯的是，碳存在蠟燭裡面，否則它就不會出現在這裡了。請你聽清楚了；你或許很難想像，那些在倫敦上空飛揚的煤灰和黑點，就是火焰燃燒的產物。這裡有片石棉心網，火焰過不去，你很快會看見，當我把石棉心網放低，碰到火焰原本很亮的地方，火焰馬上被壓下並且熄滅，然後冒出一團煙。

以下希望你注意：每當物質燃燒，例如被火藥點燃的鐵屑，不一定要處於蒸氣態（無論它變為液態或仍維持固態），它一樣可以大放光明。我刻意利用蠟燭舉出幾個例子，好向你說明這一點；這個結論其實適用於所有物質，無論它們是否正在燃燒——是否放出火焰，只要是固態，它們就會非常明亮。蠟燭火焰就是從這個固態粒子來的。

這裡有條白金線，它不會因為熱而反應。我在火焰中加熱這條金屬線，看它變得有多亮啊！我讓火焰稍微變弱，讓亮度減弱；雖然火焰只給金屬線一點點熱，但你看見了，從火焰來的熱讓白金線變得更加光輝燦爛。這道火焰內含有碳粒，但接下來我要取得一種沒有碳粒的火焰。這個容器裡有一種氣態燃料，這種燃料不含固體粒子；我使用這個材料是因為它燃燒的火焰中沒有固體。但如果我把手上這種固體物質放進這種燃料中，就會產生大量的熱，並且使固體發光發亮。我們用這根管子傳遞這種叫做「氫」的氣體，我們下次碰面時，你就會瞭解了。另外這裡還有一種物質：叫做「氧」，「氫」因為「氧」而燃燒；我們藉由氫和氧燃燒製

造出的熱比從蠟燭得到的更多，但是氫氧混合並不會產生很亮的光。

如果我讓固體物質加入氫氧混合的作用，我們就能製造出強光。如果我把這塊石灰固體——這東西不會燃燒，也不會因為熱而蒸發（也因為它不蒸發，所以總是保持固態，處於加熱的狀態），你很快就可以觀察到：放光的時候發生了甚麼事？我們讓氫和氧接觸，製造出非常強烈的熱；但是這樣的火光很小——這並不是因為缺乏熱，而是因為固態的粒子不夠。我把這塊石灰放入正在氧氣中燃燒的氫氣火焰中，看哪，火焰變得很好亮！石灰的耀眼光芒可以媲美電燈，幾乎等同日光。我這邊還有一塊木炭，它們可以燃燒，也會散發出同樣的光芒，好像蠟燭燃燒一樣。蠟燭火焰裡面的熱分解了蠟蒸氣，釋放出碳粒；被加熱的碳粒上升並放出光芒，最後逸失在空氣中。但是這些燒盡的碳粒離開蠟燭後，不再是碳的形式。它們變成看不見的物質，這個我們以後就會學到。

這個過程不是很美嗎？一塊又黑又髒的木炭變得如此光彩奪目！從此你得到一個結論，就是所有明亮的火焰都含有固體粒子；無論是像蠟燭那樣，在燃燒中製造固體粒子，或像火藥和鐵粉那樣，在燃燒之後產生固體粒子，都帶給了我們輝煌美麗的光芒。

我們再來演示一些實驗（圖 9）。這裡有一塊磷，它燃燒會產生明亮的火焰。很好，現在我們可以推論：磷在燃燒中或是燃燒後都會製造出固體粒子。這是點燃的磷，我用玻璃罩蓋住它，好把所有製造出來的東西關在裡面。這些煙是甚麼樣的東西呢？這些煙

裡面含有磷燃燒產生的粒子。其次，這裡有兩種物質：氯酸鉀和硫化銻。⁸我把這兩種東西混合，待會兒就能用各種方法來點燃它們。為了呈現這個化學反應，我將滴入少許硫酸，馬上它們就會燒起來（演講者用硫酸點燃混合物）。現在從外表來看，你能自己判斷它們燃燒時是否產生固體物質。我已經教導了你一連串的推理，讓你可以回答這個問題：除了飛散的固體粒子之外，這道明亮的火焰裡還有甚麼？

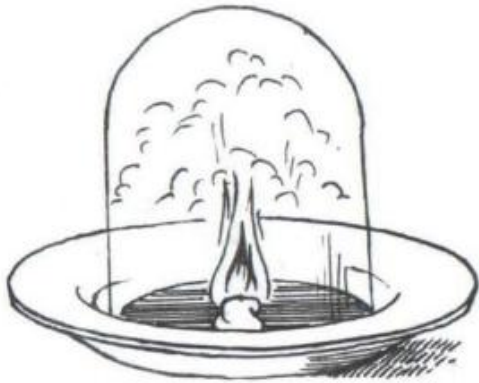


圖 9

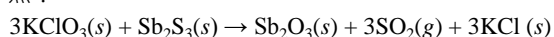
安德森先生在火爐裡面放了個很熱的坩鍋。我打算把一些鋅粉放進坩鍋裡，它們會燒起來、產生火焰，就像火藥的燃燒。我選擇做這個實驗，是因為你在家也能如法炮製。現在我想要你來看看：鋅經過燃燒作用會出現怎樣的結果？喔，它燒起來了——燒得好漂亮，像蠟燭的燃燒一樣。然而那些白煙是甚麼東西呢？那些羊毛般的雲朵又是啥玩意兒？如果你無法上前來看，我們會把它傳到你的面前，這東西就是所謂的「魔法羊

毛」，⁹而坩鍋中也留下了這絨毛般的東西。我會拿一點鋅，再做一些更仔細的實驗。不過你現在就能看到一樣的實驗了。這是一塊鋅；那是火爐（指向氫氣噴射器），然後我們開始燃燒這塊金屬。你看到了，它發光發熱，有燃燒現象，還有燃燒產生的白色物質。所以呢，如果我將氫燃燒的火焰視為蠟燭，用它來點燃鋅，讓你看看，像鋅這樣的物質在火焰中如何燃燒；你會發現，只有在燃燒時、當它一直是熱的時候，這種物質才發出如此強烈的光芒。再者，如果我把鋅產生的白色物質放進氫焰——看啊，它多麼光彩炫目！因為它是固體，被燒起來時才能如此光芒四射。

現在我要用和剛才一樣的火焰，從中釋放出碳粒。這裡有些樟腦精，燒起來會產生煙；但如果我用管子把煙裡面的碳粒送進氫的火焰中，你會看到碳粒燃燒起來並大放光明，因為我們在此進行了第二次加熱。你看，這就是二度燃燒的碳粒。你只要拿一張紙擺在後面，就能看到這些碳粒；它們於火焰中產生，被燃燒產生的熱點燃，而當它們這樣燃燒時，便放出亮光。如果碳粒沒有被分離出來，就不會產生這個亮光。燃燒煤氣的火焰會放出亮光，也是因為在燃燒作用中，碳粒被預先分離開來的緣故，這些碳粒和蠟燭裡面的碳粒是一樣的。

我可以輕易地改變這種燃燒方式。舉例來說吧，這是煤氣燃燒所產生的火焰。如果我注入很多的空氣到火焰中，使得碳粒在還

⁸ 硫化銻是火柴和煙火中的成分，和氯酸鉀反應會放出光和熱：



⁹ 魔法羊毛 (philosopher's wool) 為煉金術士儀式中的一部分，將鋅燃燒後得到毛茸茸的氧化鋅，氧化鋅看起來就像羊毛一般。

沒釋放之前就完全燃燒，此時的燃燒就不會有亮光。我可以這樣做：我把鐵網放在煤氣噴嘴上方，然後在鐵網上方點火。煤氣在鐵網上方燒起來了，我們看到了火焰，但這火焰沒有光芒。因為煤氣在燃燒前就已經混合了足夠的空氣；而如果我把鐵網拿高一點，你會看到煤氣噴嘴和鐵網之間沒有火焰。氣體裡原有很多的碳粒；但在燃燒之前，空氣就碰到碳粒並混在一起了，因而使得火焰呈現淡藍色。此外，如果我朝著明亮的煤氣火焰吹氣，使得碳粒在尚未到達放光的位置之前就被燒完，火焰也會變成藍色（法拉第對著煤氣燈送氣，演示他所說的現象）。為什麼在我向煤氣燈的火焰送氣之後，沒有產生亮光呢？唯一的理由便是因為碳粒在從煤氣中分離，被釋放到火焰之前，它就接觸到足夠的空氣而燒光了。燃燒時能否產生亮光的關鍵便在於，固體粒子有沒有在煤氣完全燃燒之前被分離出來。

■ 蠟燭燃燒的產物

你發現有些煤氣燃燒的產物很像蠟燭燃燒的產物，其中有一部分可能被認為是碳，或煤灰；那些碳之後進行燃燒，又產生了其它產物；這讓我們很想弄清楚，後來的這些產物是甚麼？我們已經證明有些東西跑走了；我希望你能了解，其中有多少產物是上升並且進入空氣中的？為了這個目的，我們將進行較大規模的燃燒作用。藉著蠟燭上升的熱氣和兩、三個實驗，將讓你看到上升的氣流；但為了給你這些上升物質「量」方面的概念，我將試著把一些燃燒作用的產物封存起來。為此，我在這裡用上你們男孩子玩的熱氣球（圖 10）；熱氣球只是用來衡量燃

燒結果的手段；我會用相當簡單、合用的方法來製造火焰。我們這麼說吧，底下的平盤就像是蠟燭的「凹槽」，裝在裡面的液體就是燃油，接著我把煙囪放上去；這樣做會比讓氣體隨處亂飄要來的有效。安德森先生現在會點燃液體，而就在煙囪頂端，我們會得到燃燒的產物。一般而言，這根管子上面的東西，和你從蠟燭燃燒得到的東西一模一樣；可是這次燃燒的火焰並不明亮，因為我們使用的物質的含碳量比較少。

我要把熱氣球放上去了——這可不是要表演，因為這不是今天的目的——而是要讓你看，那些從蠟燭升起的產物，當它們在這裡、從火爐裡上升時，它們的動作產生怎樣的影響。（熱氣球蓋住煙囪，裡面馬上充滿了氣體。）喔！你看它不由自主地上昇了！但我們不能讓它飄起來，因為它飛起來後可能碰到天花板上的煤氣燈，那就麻煩了。（法拉第請人關掉煤氣燈，然後放手讓熱氣球上昇。）這不是讓你親眼看到了嗎，大量的物質被釋放出來。（用一根大玻璃管圈住蠟燭）現在蠟燭的產物正通過這根管子，你就會看到玻璃變得不透明。我想再拿一根蠟燭，把它放在玻璃罐底下，在另一邊也點燃一根蠟燭，讓你看發生了甚麼事？你看看，玻璃罐的壁變成霧濛濛的，燭光也變得微弱而黯淡。你曉得，就是這物質，使燭光黯淡；也同樣是這東西，使玻璃變得霧濛濛。你回家後拿一根暴露在冷空氣中的湯匙，把它提在蠟燭上方——小心別把湯匙燻黑——你會發現湯匙變成霧霧的，就像玻璃罐那樣。如果你有銀盤或其它銀製品，會得到更好的實驗效果。現在，為了讓你持續思考，

到我們下次見面；我先透露，是「水」造成了霧濛濛的效果。下次見面時我會演示給你看，我們可以輕易地製造出液態的水。

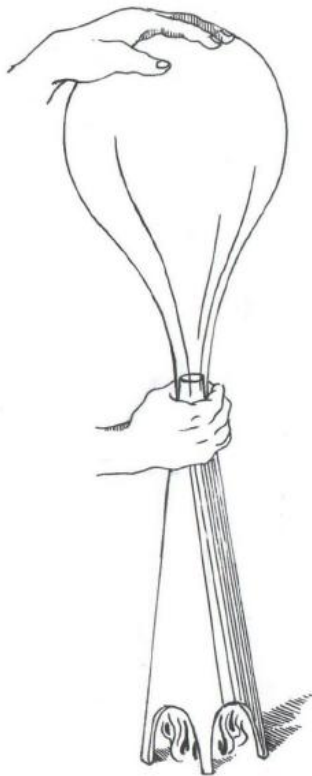


圖 10

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，¹⁰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¹¹（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。¹²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

¹⁰ 「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。

¹¹ 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」。

¹² 水（H₂O）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，¹³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。

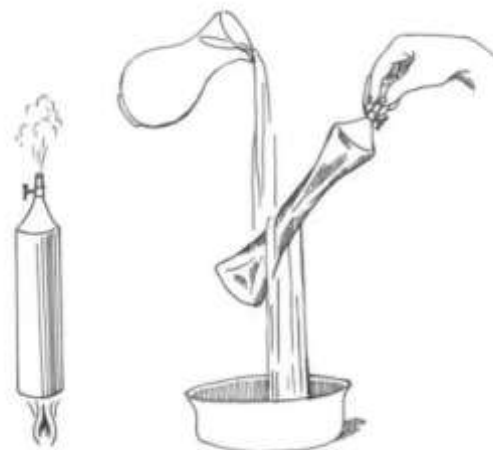


圖 12

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

¹³ 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。

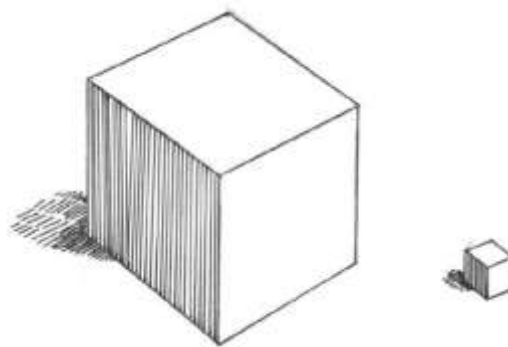


圖 13

■ 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。

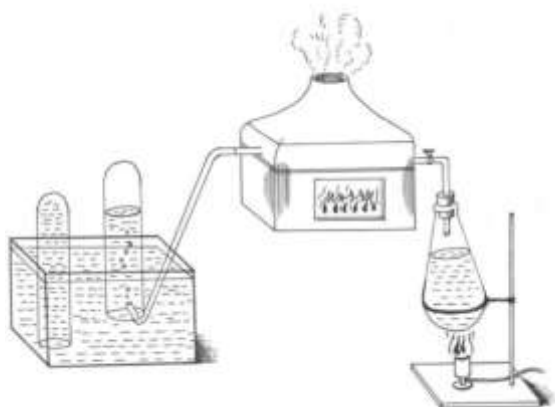


圖 14

■ 用水製造氫

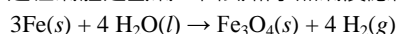
這兒有一個火爐 (圖 14)，有根導管像槍管般穿過它；我在管內填滿鐵屑，讓管子穿過火焰，這樣它就會被燒得火紅。我們可以從導管的右邊送入空氣，讓空氣與鐵接觸，也可以用燒瓶將水蒸氣送進去。在熱水器和火爐的连接處有個活栓，如果我們需要蒸氣進去，就把活栓打開。另一邊的水槽中有幾個裝水的玻璃瓶，我把水染成藍色，方便你觀察發生的變化。如你所知，所有我送入的蒸氣在經過管子、又經過冷水之後，它們會凝結；當蒸氣的溫度下降時，它將會凝結成水，所以無法保持氣態。在這裡，你就看到了 (指向剛剛破裂的錫罐)，錫罐自己劇烈收縮、變成一小團東西，造成罐子破裂。因此，如果我輸送的蒸氣經過的導管是冷的，蒸氣就會凝結、收縮，進而使得導管變形；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。¹⁴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，但也讓其它的東西通過，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

¹⁴ 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。

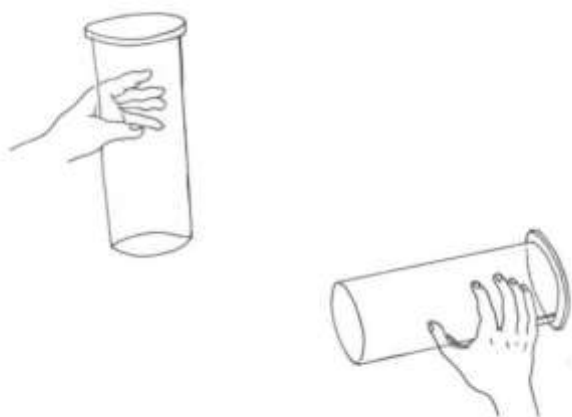


圖 15

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。

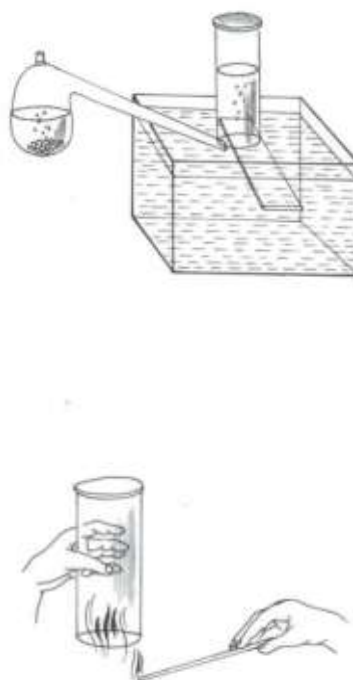


圖 16

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)¹⁵，從字面意思來說是「產生水」

¹⁵ 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。

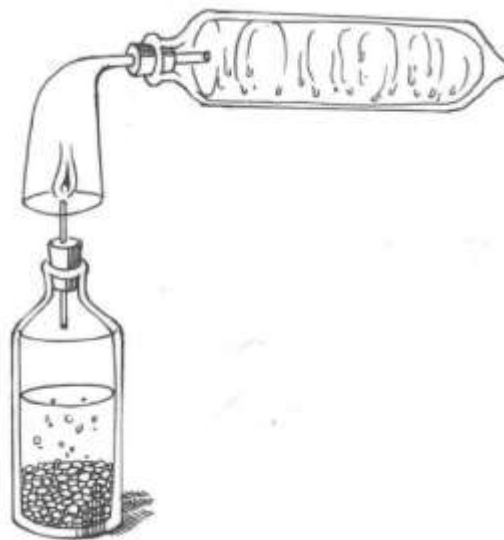


圖 17

■ 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¹⁶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¹⁷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，¹⁸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

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

¹⁷ 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。

¹⁸ 伏特電堆 (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。伏特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。

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

第四章 蠟燭中的氫變成水、水中的氧

我發現你們還沒對蠟燭厭煩，否則你們就不會對我們現在研究的東西還如此感到興趣。蠟燭燃燒時，我們發現蠟燭燃燒製造的水就跟周遭的水一樣。對水更進一步地檢驗時，我們發現了奇妙的「氫」——我們的罐子裡就裝著這輕盈的物質。接著還見識到「氫」燃燒的力量，以及氫氣燃燒所製造的水。我也簡單地介紹了一個裝置，這個裝置使用化學的力量、或說能量；裝置上的電線為我們傳遞這股化學力量。我還談到，我會運用這股能量來分解水，看看水裡面，除了氫還有甚麼。你還記得，在水通過鐵管後，雖然我們製造了很多的氣體，我們不可能得到一樣重的水蒸氣。

■ 通電析出溶液中的鉛或銅

現在我們要來看看水裡面另一個物質是甚麼？你將會了解這個裝置的特性和用途，就讓我們來做點實驗吧！首先，我把一些已知的物質放在一起，看看這個裝置如何影響它們。這裡有銅（觀察它可能經歷的變化），而這裡有硝酸；你將發現它是很強的化學試

劑——當我把硝酸淋上銅的時候，將出現很強的反應。¹⁹現在放出美麗的紅色蒸氣，但我們其實不需要這種氣體。²⁰安德森先生會在出煙口捂住蒸氣一會兒，這樣我們就可以在不被干擾的情況下來進行實驗。我把銅放進燒瓶，它溶解在液體中，使得酸和水變成藍色的液體。這液體裡面有銅以及其它東西，而且我打算讓你這種液體在伏特電池如何作用。同時，我會做另一個實驗，讓你曉得它擁有的能量。對我們而言，這是種像水的物質——也就是說它包含了我們還不知道的部分，就像水包含了我們不知道的物質。

現在我把醋酸鉛溶液倒到紙上並均勻塗開來，然後把電力加到它上面，觀察會發生甚麼事？說不定會出現幾件對我們有用的事情呢。我把這張被溶液浸濕的紙放到錫箔上；錫箔很好用，因為它能让實驗桌保持乾淨，也有利於導電。而且啊，你看看，這劑溶液完全不受影響，無論是底下的錫箔或任

¹⁹ 反應為：



²⁰ 這氣體為上述反應之 NO_2 。

何與之接觸的東西；因此，我們能放心地使用我們的裝置。首先呢，先來確認我們的裝置是否就定位了。電線就在這裡。讓我們檢查一下，看看它的狀態是不是和上次一樣。我們有辦法能夠很快地判別出來。當我把它們接在一塊兒時，沒有電流通過，因為電極尚未接通；現在安德森先生給我打了個信號（電線末端突然出現閃光），這表示電路通了。我請安德森先生暫時中斷電池的電路，然後我用鉑線連接電池的兩極；如果我能讓這一大段金屬線燒起來，我們就能安全地進行實驗。現在你將見識這股力量。（電路連接，鉑線變得又熱又紅。）電力美妙地流過金屬線，我刻意使用細的導線，好讓給你看到這強大的力量，我們將藉著這股電力來檢視水。

在我手上有兩片鉑，如果我把它們放在這張紙上（在錫箔上含醋酸鉛溶液的紙），不會起任何反應；當我把鉑再拿起來，一樣沒有反應。如果我把電池兩極的任何一端分別放在鉑片上，沒有發生任何事；它們各自分開沒有反應；如果我同時把兩極都接上鉑片，你看發生了什麼事！（在電池兩極底下分別出現了棕色的點）。²¹看看這動作造成的結果，觀察我如何從那白色的鉑片弄出棕色的東西。無疑地，如果我仔細計畫、安排，把接上錫箔的電極接觸紙——哈！在紙上有好棒的結果，我來看看能不能用這東西在紙上寫字——如果你想叫它「電」訊也可以。（演講者用電線的一端在紙上寫下「年輕人」。）²²你看，我們得到的結果多麼漂亮。

從這個溶液中，我們得到一些原本不知道的東西。現在，讓我們從安德森先生手上把燒瓶拿過來，看看我們能從中取得什麼。在進行實驗時，我們也從銅和硝酸製造出這些液體。雖然我做實驗顯得有點趕、有點混亂，但是我還是比較喜歡讓你現場看到這是怎麼完成，而不是我自己預先做好的。

現在看看發生了什麼事。這兩塊鉑片便是裝置兩端的電極（或者我也能立刻製造出來）；我要把電極接觸溶液，就像我們剛剛在紙上做的那樣。無論溶液是抹在紙上或裝在玻璃罐裡，都沒有關係，只要電極和溶液有接觸就行。如果我單單把鉑片放入溶液，它們被拿出來的樣子就跟剛進去一樣——白白淨淨（在沒有連接電池時，把鉑片放入溶液）；但當我們通上電力（鉑片和電池連接，再次浸入溶液），你看看這個（演示其中一片鉑），它馬上變成銅了！就跟以前一樣。它變得像一片銅，可是另一邊的鉑（演示另一片鉑）還是乾乾淨淨的。如果我交換這兩片鉑的位置，銅會離開右邊、跑到左邊；現在附著銅的鉑片會變乾淨，而原本乾淨的鉑片則被附上一層銅。因此你曉得，我們溶入液體的銅可以利用這個裝置再取出來。

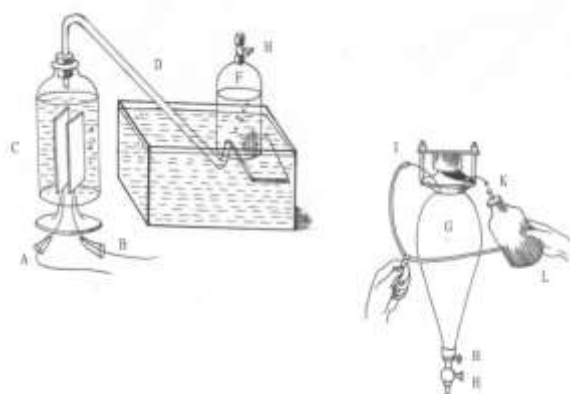


圖 18

²¹ 醋酸鉛溶液電解時在負極會有棕色的鉛沉澱。

²² 這一系列演講的對象是青少年，所以法拉第在紙上寫下「年輕人」(juvenile)。

■ 水電解後產生的氣體，以萊頓瓶通電後又變回水

先把溶液擱在旁邊，讓我們先來看看這個裝置（圖 18）對水產生的影響。這裡有兩片鉑，我打算用來做為電池的兩極。(C) 這個容器做成這種形狀，好讓我把裝置分解成各個部分，方便你觀察它的構造。我在(A)和(B)這兩個小杯子裡倒入汞，汞接觸連接鉑片的電線。往(C)容器倒入含有一點酸的溶液（放入含酸的溶液只是為了促進反應進行，反應過程中含酸溶液本身並不會發生變化），然後在(C)容器的頂端接一根玻璃彎管(D)——這根管子可能讓你想起上一堂課的實驗，那根穿過火爐的導管，像個鐵槍管；玻璃管彎(D)從下方進入罐子(F)。

現在我已經組裝好這個裝置，我們要用不同方式來讓水反應。上次我讓水通過燒得火紅的鐵管，現在我要讓電流通過容器裡面的溶液。水可能被煮滾，如果水真的滾了，我們就會得到水蒸氣；你也知道，水蒸氣遇冷會凝結——你已經曉得了這個道理，無論我是否把水煮滾。可是呢，水也可能不會被煮滾，而是出現其它的結果。你總要做實驗，而且要觀察才會知道。我在(A)和(B)這兩端分別接上電線，很快就會發現有沒有干擾產生？很好，水好像滾起來了，但它真的是「滾」了嗎？

讓我們來檢驗看看冒出來的氣體，這是不是水蒸氣？如果冒出來的東西是蒸氣，我想你很快就會看到(F)罐子內充滿了水蒸氣。但它真的是水蒸氣嗎？喔喔，這一定不是水蒸氣，你看見了，它沒有發生蒸氣該有

的變化。它維持在水面上，所以不可能是水蒸氣；但這一定是某種氣體。這是甚麼呢？是氫嗎，或其它東西呢？就讓我們來檢查看看吧。如果是氫氣，那它就會燃燒（法拉第引燃部分蒐集到的氣體，氣體燃燒起來且發出爆炸聲）。

這絕對是可燃的氣體，但燃燒的方式不像氫氣，氫氣燃燒沒有這樣的雜音；但它進行燃燒時，火光的顏色和氫氣很像；不過，它能在不接觸空氣的狀態下燃燒。這就是為什麼我選用了另一個裝置，好指出來讓你看到：實驗中這個氣體的特殊之處。我用一個密閉的容器代換原本的開放容器（我們的電池如此活躍，不只讓水銀滾了起來，也使一切運作良好——沒錯，而且是活跳跳地好極了）；我將呈現給你看，這種氣體能在沒有空氣的狀態下燃燒，雖然不知道它是甚麼東西；它所進行的燃燒作用不同於蠟燭，蠟燭要有空氣才能燃燒。做這個實驗的方法如下：玻璃瓶(G)的兩旁接著可以運送電力的鉑線(I)和(K)。把玻璃瓶(G)接上幫浦，我們就可以把容器裡抽真空。抽完空氣之後把這組東西接在(F)罐子上，並把接口旋緊，讓剛才伏特電池作用產生的氣體——伏特電池與水作用產生的氣體，也就是水變成的氣體——進入容器(G)。²³

我敢說，我們的氣體真的是從水變成的。我們不只改變了水的狀態，也確實把它變成了氣態的物質。我把剛才已經連接的(G)和(H)，再接上另一個(H)，同樣旋

²³ 如圖 18。也就是右方的((G)-(H)-(H))接在左方(F)-(H)上，由上而下依序為(G)-(H)-(H)-(H)-(F)。

緊接口、把管道接好；當我打開活栓時（H H H）·觀察（F）罐中的水面，我們看到氣體上升。現在我把活栓組關起來，因為氣體已經裝滿了容器，成功地把氣體送入（G）。我用萊頓瓶（L）²⁴送進閃電，到時原本乾淨透明的容器，就會變得黯沉。可是呢，你並不會聽到爆炸聲，因為容器（G）很堅固，不會讓爆炸聲傳出來。（瓶中閃過一道火光，點燃爆炸性混合物。）你看到那耀眼的光芒了嗎？如果我再次把容器（G）接上罐子（F），然後打開活栓組，氣體也會再次上升。（打開活栓組。）那些氣體（指先前進入容器（G）的氣體，也就是剛剛被電力引燃而爆炸的氣體）消失了，就像你在這裡看到的，它們騰下空間，新的氣體就湧了進來。水就是從那些氣體形成的；如果重覆剛才的操作（再次進行剛才的實驗），從水上升的動作，我們得知容器內再次成為真空的狀態。在爆炸之後，容器內成為真空，因為我們電解水產生的氣體在火光下發生爆炸，然後變回水；你看到，上面的容器（F）裡面有涓滴水流沿著瓶身匯聚在瓶底。

剛才我們只討論水，沒有理會空氣的部分。蠟燭在空氣的幫助下才產生水；但在剛才的實驗中，水不需要空氣就可以被製造出來。因此水應該含有蠟燭從空氣中取得的物質，這種物質能和氫混合、製造出水來。

■ 電解水的產物是二倍體積的氫氣和一倍體積的氧氣

你剛剛看到，電池的一端抓住了銅，從裝著藍色溶液的容器裡把銅取出來。這就是電線所造成的影響；我們真的能說，如果電池對於金屬溶液有這樣的力量，這不就表示：我們也可能分解出水的成分，然後把這些成分保存下來嗎？我要用這兩個電極，也就是電池的兩端來做實驗，看看這個裝置（圖19）裡的水會起怎樣的變化？在這個裝置裡，電線的兩端，A端和B端離得遠遠的。兩邊各有個小小的、鑽洞的層架，電池的兩極可以放在層架上。這樣的裝置分開兩邊通電後產生的氣體；好讓你看清楚，水在這裡不是變成了水蒸氣，而是純氣體。電線現在和裝水的容器恰到好處地完美連接，你看到泡泡冒上來；我們把這些泡泡蒐集起來，看看它們究竟是甚麼？我把玻璃圓筒（O）注滿水，蓋在電池的（A）端，另一邊（B）端也蓋上一個玻璃圓筒（H）。所以現在我們有一對裝置，兩邊都會產生氣體，兩個玻璃筒也都會被氣體充滿。開始囉！右邊（H）瓶內很快充滿了氣體，左邊的（O）瓶則比較慢；雖然有一些氣泡跑走了，但是反應仍然穩定地進行。而且啊，如果兩個瓶子一樣大，其中一瓶的氣體體積是另一瓶的兩倍。外觀上它們都一樣，都是無色的氣體，留在水面上方沒有發生凝結作用。我們可以做實驗來辨別這兩種氣體。我們得到不少的氣體，我們可以輕易地用實驗來檢查它們。我先來檢驗（H）罐內的東西，希望你準備好辨別出其實它就是氫。

²⁴ 萊頓瓶（Leyden Jar 或 Leiden Jar），紀念荷蘭萊頓大學（Leiden University）教授 Pieter van Musschenbroek（1692-1761）於1745年成功地利用盛水玻璃瓶儲存電。萊頓瓶是相當原始的電容器，用來進行電的實驗。

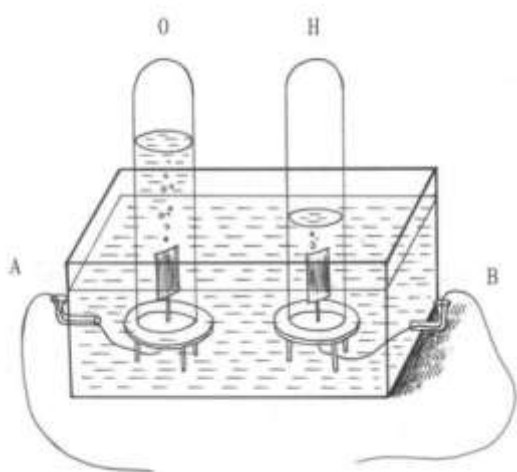


圖 19

回想一下氫的性質，它很輕，在倒過來的瓶子裡不會下沉而且逸散，在廣口瓶瓶口燒起來時有蒼白的火焰；現在來看看，這氣體是不是完全符合氫反應的狀況？如果這氣體是氫，當我把廣口瓶倒過來時，它還是會留在罐子裡。(點火，氫燃燒起來。) 在另一個瓶子裡面的，是甚麼東西呢？你曉得了，這兩種東西混合後會形成一種爆炸性物質。我們發現這氣體是水的成分之一，也是讓氫燃燒的物質，但它究竟是甚麼呢？容器裡的水由兩種東西組成，我們發現其中之一是氫；那麼，在電解實驗前，水的另外一個成分，也就是我們現在得到的氣體，到底是甚麼呢？這種氣體本身不會燃燒，但會讓木屑燒起來。(演講者點燃木屑的尾端，投入裝著氣體的罐子。) 你看，它如何激化木屑的燃燒，它讓木屑燒得比在空氣中還激烈。你看到它這個樣子，這氣體是水裡面的另外一種物質，我們也知道蠟燭燃燒產生水，那麼它一定是取自於空氣。它叫甚麼名字呢，A、B 或 C？我們叫它 O，也就是「氧」(oxygen)，

這名字很好，也很響亮。這就是水裡的氧，氧佔了水的一大部分。

■ 氧比氫重 8 倍，佔了水重量的 8/9

現在我們漸漸明瞭我們的實驗和研究；在檢驗過這些結果之後，我們很快就會知道蠟燭如何在空氣中燃燒。當我們這樣分析水的時候——也就是說，從中分離或電解出水的成分時，我們得到兩倍體積的氫，以及一倍體積的氧，氧能讓氫燃燒。從這張表格我們可以發現，相較於氫，氧是很重的氣體。氧就是氫之外，水的另一個成分。

| | 重量百分比 | 重量比 |
|---|-------|-----|
| 氧 | 88.9 | 8 |
| 氫 | 11.1 | 1 |

■ 用氯酸鉀和氧化錳製造氧氣

介紹過如何把氧從水中分解出來之後，我最好現在就告訴你——這麼大量的氧是如何得到的。你馬上想像得到——氧存在空氣中；沒有氧的話，蠟燭能燃燒產生水嗎？絕對不會有這種事發生！就化學來講，蠟燭燃燒產生水的過程，不可能沒有氧的參與。我們能從空氣取出氧嗎？我們能從空氣中得到它，但過程既複雜且困難；不過我這裡有個好方法。這種物質稱為「黑色氧化錳」，是種很黑也很好用的礦物(圖 20)；把它燒得火紅，就會產生氧氣。這個鐵罐裡裝著一些黑色氧化錳，罐子上接著一根鐵彎管。

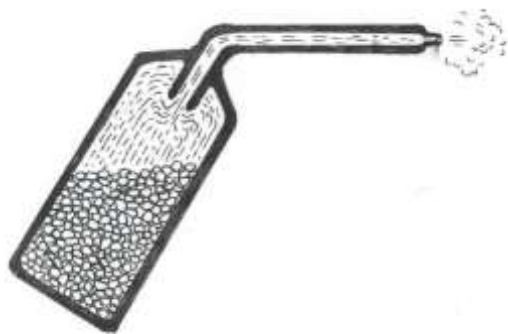


圖 20

這兒升好了一堆火，安德森先生會把鐵罐插入火中，這裝置是鐵做的，可以耐高溫。這是叫做「氯酸鉀」的鹽類，大量製造用於漂白、化學和醫藥，也用來做煙火或其它用途。把一些氯酸鉀和氧化錳混合（氧化銅或氧化鐵也都可以）後放入鐵瓶，不用等到它們燒成火紅，混合物就會釋放出充足的氧氣。²⁵我並不打算製造出太多的氧氣，只要夠用就可以了。如果加熱太慢的話，最先產生的氣體會和原本就在鐵瓶內的氣體混合，被稀釋掉了。你會發現，普通酒精燈的熱就足以製造出足夠的氧氣。你看看，從那麼少量的混合物中冒出了這麼多的氣體。我們會檢驗並觀察這種氣體的性質。用這個方法製造出來的物質，就像電池實驗產生的氣體，透明、不溶於水，看起來就像周遭的空氣。這個瓶子內裝著空氣，混合實驗製造出來的氧氣。我們把第一批混合物捨棄，這樣我們才能得到穩定的實驗結果。在電解水實驗時，我們從水中得到氧氣，氧很能促進木頭、蠟或其它東西的燃燒，我們或許可以期待這些氣體也有相同的性質。

■ 氧氣會助燃

我們來試試看吧！你看到蠟燭在空氣中燃燒，而蠟燭在我們製造出來的氣體中是這樣燃燒的（把蠟燭放低、放入充滿氣體的瓶子）（圖 21）。你看，它燒起來又亮又美！你還可以進一步觀察：這是一種「重」的氣體；氫氣會像氣球般往上飄，假如沒有包覆氣體的載具，也就是氣球的話，氫氣甚至會上升得更快。雖然我們從水得到的氫，在體積上是氧的兩倍；但在重量上，氫並不是氧的兩倍，因為其中之一比較重，而另一者比較輕。我們有測量氣體或空氣重量的方法；但我不想離題，就讓我直接告訴你它們的重量。1 公升的氫，重量約為 0.09 公克；而相同體積的氧，其重量卻有 1.24 公克，它們的重量差別非常大。所以，我們或許可以像用天平秤重一樣，論斤論兩的求得氣體的重量，你馬上就會看到了。



圖 21

氧會助燃，我們就可以用助燃的特性來比較氧和空氣比較。我拿一段蠟燭簡單地做

²⁵ 反應為氯酸鉀和二氧化錳加熱產生氧氣，二氧化錳為催化劑。

$$2\text{KClO}_3(s) \rightarrow 3\text{O}_2(g) + 2\text{KCl}(aq)$$

個簡單的實驗。這根蠟燭正在空氣中燃燒，它在氧氣中會是甚麼狀況呢？我把整瓶氧氣蓋在蠟燭上方，好讓你比較燭火在氧氣和空氣裡的反應。喔，看看這個！看起來就好像電池電極冒出來的火花。它的反應非常活潑，而且我們沒有製造出新的物質。當我們用這氣體取代空氣，一樣地會產生水，和蠟燭在空氣中燃燒的結果是一樣的。

現在我們得到了關於這種新物質的知識，我們更深入研究，讓我們對這個蠟燭產物有更完整的了解。這種物質支持燃燒作用的力量非常了不起。例如這個構造簡單的燈，是我們現在許多燈具的前身，像是燈塔、顯微照明等等。如果這個燈的目的是讓火燒得更亮，你可能會說：「如果蠟燭在氧氣中燃燒得更好，油燈不也會這樣嗎？」嗯，是這樣子沒錯。安德森先生從氧氣儲備庫接出一根管子，我把這管子放進不完全燃燒的火焰中（圖 22）。氧氣進來了，你看火燒得好旺啊！但如果我停止氧氣進入，燈會變成怎樣呢？（氧氣氣流被阻斷，油燈回復原先黯淡的模樣）。

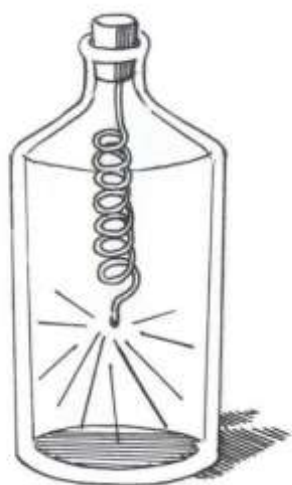


圖 22

多麼神奇啊，我們用氧氣加速了燃燒。它不只影響氫氣、碳或蠟燭的燃燒，也加強所有東西的燃燒作用。我們用鐵來作例子，鐵在空氣中只會稍微燃燒。這裡有瓶氧氣和一小段鐵線，即使這條鐵線和我的手腕一樣粗，它的燃燒狀況也是一樣的。首先，我把一小塊木頭放上鐵線，然後把木頭點火，讓它們一起落入瓶中。現在木頭著火了，就是在氧氣裡應有的燃燒程度，接著火焰會迅速地傳到鐵。鐵線現在燒得亮晃晃的，而且會持續一段時間。只要我們提供氧氣，就能讓氧繼續燃燒，直到鐵消耗殆盡（圖 23）。

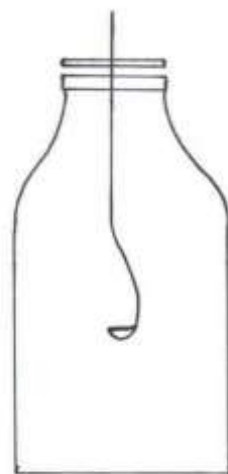


圖 23

現在把這放在一旁，來處理其它物質；因為時間有限，我們只能做有限的實驗。我們把一塊硫磺放入氧氣中，你會發現任何能在空氣中燃燒的，在氧氣裡會燒得更激烈；這讓你聯想到，空氣中協助物質燃燒的力量，應該是空氣中有氧的緣故。硫磺在氧氣裡靜靜地燃燒，但你可不要搞錯了，雖然它悶不吭聲地燒著，相對於在空氣中的燃燒，這個反應可是相當活躍的。

我現在給你看看另一種物質，磷的燃燒。磷是一種非常易燃的物質，如果它在空氣中就燒成這樣了，在氧裡面會怎樣呢？我不會讓磷完全燃燒，因為我如果那樣做，可能會使得裝置爆炸，甚至瓶子也可能破掉。你看看它在空氣中的燃燒狀態，再看看當我把它放入氧氣之後，它燃燒的光芒多麼燦爛（把點燃的磷放入氧氣瓶）！磷的固體粒子在氧氣中發生爆炸，使得燃燒作用變得相當明亮。

到目前為止，我們已經檢驗過氧氣，並測試氧的助燃能力。現在要多花一點時間在「氧」這裡，就像研究氫那樣。你曉得，對於從水分離出來的氫和氧，把它們混合並燃燒，會發生小小的爆炸。你也還記憶猶新，我在玻璃瓶內一同燃燒氧和氫的時候，雖然燒起來的火焰不太亮，但感覺起來卻相當熱。我要把氧和氫依照它們在水中的比例混合、燃燒；這個容器裡就裝著一體積單位的氧和兩體積單位的氫，這樣子混合的氣體就如同我們在電池實驗中得到的氣體。可是要一次把它們燒完，好像有點太多了；所以我用氫和氧的混合氣體來吹肥皂泡泡，然後燃燒這些泡泡，看看氧氣如何協助氫氣燃燒。首先來看看我們是否能吹個泡泡。喔，氣體跑出來了（氣體經過菸斗，灌入肥皂泡泡）。我有一個泡泡了。我用手接下這些泡泡，你可能會覺得我在這個實驗的舉動很奇怪，但這樣呈現可以讓你曉得：我們不能只依賴噪音和聲響，而要相信真正的事實。（法拉第以火引爆泡泡）。我不敢從菸斗尾端點燃泡泡，因為造成的爆炸會往上鑽入玻璃罐，把玻璃炸成碎片。你看的現象，以及耳朵聽到的聲

音便是氧氣快速度和氫結合的過程，以及這個過程釋放出來的力量。

循著我們學習的脈絡，在認識水的過程中我們知道，水和氧氣及空氣都是有關係的。為什麼鉀可以分解水呢？因為鉀和水中的氧結合。當我把鉀放入水中，甚麼東西被釋放出來了呢？鉀丟入水中，鉀本身和氧結合，使得水釋放出氫，接著氫燃燒起來。這一小塊鉀分解水的同時帶走氧，因此從水中把氫釋放出來。²⁶相對的，水在由蠟燭燃燒而來的過程中也從空氣獲得了氧。即使我把鉀放在冰塊上，氫和氧美妙的相互關係，也會因為鉀而燃燒起來。我們將鉀放在冰上，你看這激烈的反應。我演示這些，是為了擴展你對這些東西的認知，如此你或許能知道，環境可以怎樣大大地影響結果。

在示範了以上這些異常激烈的反應之後，下次我們見面時，我會讓你曉得，當我們在一般情況下進行燃燒時，不管是使用蠟燭，路邊的煤氣燈，或是壁爐等等，只要遵守大自然的規則，我們其實不太會遇到甚麼意外或具有危險性的事。

²⁶ 反應為： $2\text{Li}(s) + 2\text{H}_2\text{O}(l) \rightarrow 2\text{LiOH}(aq) + \text{H}_2(g)$

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。為甚麼會有這樣的不同呢？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。

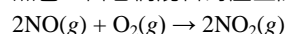
除了單純地燃燒物質之外，我們還做了許多測試：你看過蠟燭在氧氣或空氣中燃燒，比較過磷在氧氣和空氣中的燃燒，也看過鐵屑在氧氣裡面燃燒。但除此之外，我們還要做其它檢驗，來討論剛才說到的一、兩種物質，好讓你的知識和經驗拓展得更遠。這邊有一桶氧氣。我將向你證明「氧」的存在：如果我把一星火苗放入氧氣，根據上次的實驗經驗，你知道會發生甚麼事，從火苗的變化能知道這裡面裝的是不是氧氣。是的！我們從燃燒反應證明了氧的存在。有個測試氧氣的方法，很實用、也很有趣。這裡

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

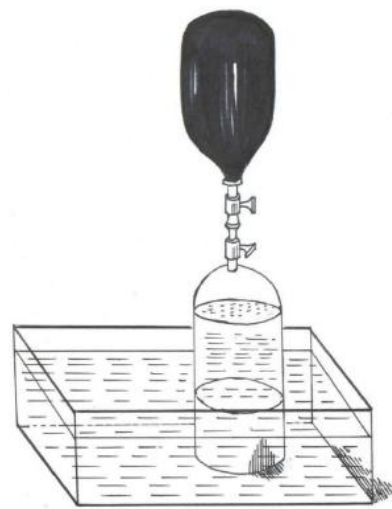


圖 25

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，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。

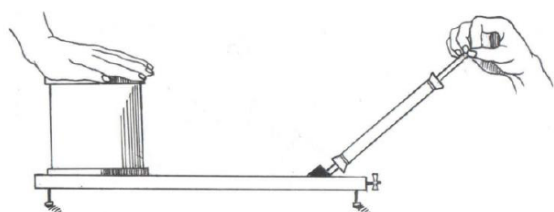


圖 26

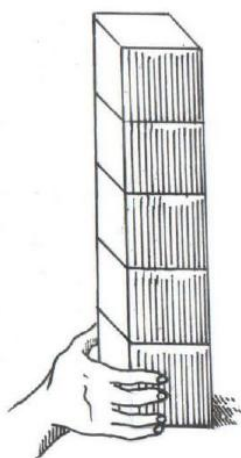


圖 27

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。

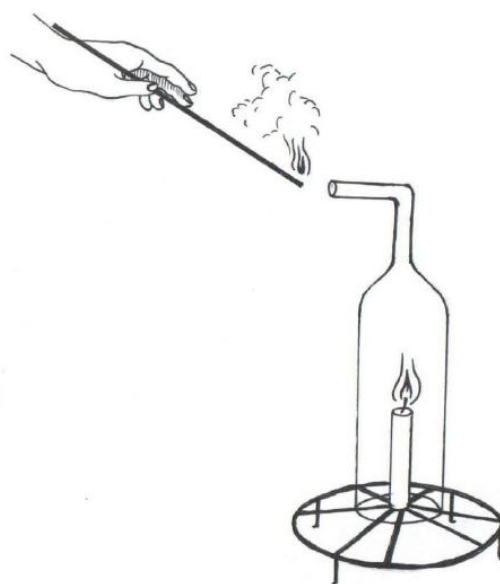


圖 28

■ 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

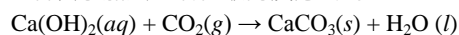
³³ 生石灰 (CaO) 加水的反應式為：
$$\text{CaO}(s) + \text{H}_2\text{O}(l) \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2(aq)$$

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入的了解，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

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 |

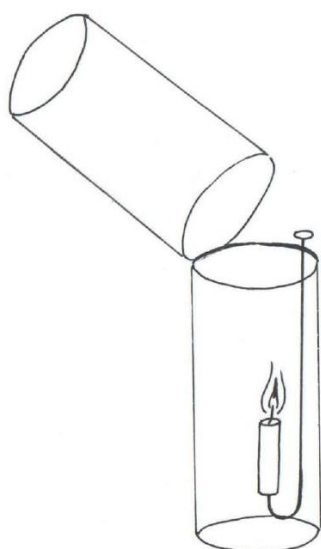
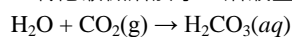


圖 29

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。

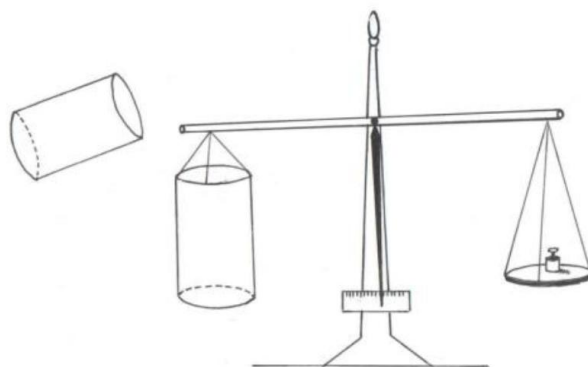


圖 30

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？

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

第六章 呼吸作用與蠟燭燃燒之類比

各位來到皇家有位聽眾送我兩支日本來的蠟燭，這些蠟燭是用之前上課提到的物質做成的。你看，這兩支日本蠟燭比法國蠟燭更精緻，從外觀看來是高檔的奢侈品。古怪的是，它們是空心蠟燭。亞干先生就是利用這種特殊的方法，創造出實用的油燈。這些來自東方的禮物，其材質隨著時間變化，表面漸漸失去光彩，黯然失色。但只要用一塊乾淨的布或絲質手帕，磨擦蠟燭表面，便能打亮上面裝飾的小皺摺和花紋，輕易地恢復它們原有的美麗色彩。這裡有兩根蠟燭，我擦亮其中一支，另一支留著不擦，你就能清楚看到兩者的差別；但只要同樣地磨擦，另一支也可以恢復漂亮的樣子。仔細觀察，日本的鑄模蠟燭比我們這邊的蠟燭更接近圓錐形。

上次演講我談到很多關於二氧化碳的事。我們從石灰水實驗中發現，當蠟燭或油燈上的蒸氣落入裝著石灰水的瓶子，澄清石灰水（我已經說明過調配的方式，你可以試著做做看）會變成白色混濁，那就是石灰質，

存在於貝殼、珊瑚，以及地球上的各種岩石和礦物之中。但是我還沒完全告訴你二氧化碳的化學性質呢！讓我們一塊兒來研究這個主題吧。

我們曾經檢查過蠟燭燃燒所釋放的水，並分析其中所含的元素；現在讓我們來看看蠟燭燃燒產生的二氧化碳，它的元素是從哪裡來的？其實只要幾個實驗，我們就可以讓這些元素現形。我想你還記得，當蠟燭燃燒不完全時，會產生黑煙；但如果燃燒順利，就不會有煙產生。蠟燭的亮度由點燃的煙霧所決定。有個實驗可以證明這點：只要煙在燭焰中被點燃，它就會放出美麗的光芒，也不會產生黑色微粒。現在我要來製造出強烈的火焰。我在海綿上沾一點松節油。你看見煙霧大量升起、飄散到空氣中。記好了，從蠟燭得到的二氧化碳，就是來自這種煙。

■ 二氧化碳中含有碳和氧

為了讓你看清楚，我會把燃燒松節油的海綿丟入充滿氧氣的燒瓶，現在，煙霧完全被消耗掉了。這是我們實驗的第一部分，接下來呢？松節油燃燒，進而產生碳粒飛散在空中，這些碳粒在氧氣中被完全燃燒掉；藉著這個簡單的實驗，我們得到的結果和蠟燭燃燒一樣。在氧或空氣中燃燒的碳，以「二氧化碳」的形態出現；而那些不完全燃燒的粒子，告訴我們二氧化碳中的第二種物質：「碳」。空氣充足時，「碳」會使火焰明亮；但當氧的份量不足以燃燒「碳」時，碳就被大量地拋出來。

接下來我要演示碳和氧結合為二氧化碳，你現在對這個過程比之前更為了解。這個廣口瓶裡裝著氧氣，坩鍋中加進了碳並且被加熱到火紅。我讓廣口瓶保持乾燥，為了讓燃燒看起來更加明亮。我要讓碳和氧作用。你會看到碳粒（磨成粉的普通木炭）與氧在空氣中燃燒（從坩鍋弄出燒紅的碳粒）。現在我讓碳在氧氣中燃燒，仔細觀察它們的特別之處。從遠處看來燃燒好像有火焰，但其實沒有。每一顆碳粒燒起來放出亮光，就像顆小火星；當碳粒以此方式進行燃燒作用，就製造出二氧化碳。我尤其希望這些實驗能指出待會兒要加強說明的部分，碳粒是這樣燃燒的，而非以火焰的形式燃燒。

與其燃燒碳粒，不如用大塊一點的東西，讓你看清楚外形和尺寸，而且更能明確地追蹤效果。這兒有一個裝滿氧氣的廣口瓶，還有綁著一小塊木頭的木炭，我燃燒木頭以點燃木炭、開始燃燒作用。你現在看見

木炭燃燒，但沒有火焰（如果真的有火焰，也是很小的，因為緊鄰著碳的表面形成了氧化碳）。你看到木炭繼續燃燒，碳或木炭（這兩個名詞意思一樣）與氧結合，慢慢製造出二氧化碳。我手上還有一片木炭、一塊樹皮，燃燒時會被吹爆成碎片。因為「熱」的影響，一大塊的碳被縮小為會飛散的碳粒子；每個小粒子和一大塊碳一樣，以這種獨特的方式燃燒，它就像碳那樣，燃燒時沒有火焰。你觀察到很多進行中的燃燒作用，但都不是火焰。這個實驗呈現的是：碳燃燒時會出現閃光和火星。

二氧化碳由組成元素一次形成，如果我們用石灰水檢驗，你會發現裡面的物質和我之前描述得一樣。把 6 等份重的碳（不論碳來自燭焰或木炭粉）和 16 等份的氧放在一起，就會得到 22 等份的二氧化碳；當 22 等份的二氧化碳和 28 等份的石灰結合，會生成一般的石灰碳酸鹽。如果你檢驗牡蠣殼並磅秤組成成分的重量，會發現：每 50 等份的重量中，含 6 等份的碳、16 等份的氧，以及 28 等份的石灰。然而，我並不想讓這些細瑣的數字造成你的困擾，這不過是物質的一般原理。我們還要再進一步地研究，觀察碳如何逐漸消失（指向在氧氣瓶裡靜靜燃燒的木炭）。你可以說：實際上木炭就消散在周圍的空氣中。如果那是純粹的碳，我們其實可以輕易製備，也不會留下殘餘。如果使用的是完全純淨的碳，的確不會產生灰燼。碳在緻密的固體狀態下進行燃燒，單單「熱」本身並無法改變固體的性質，碳則消散為氣體，而且在一般環境下這氣體不會凝固為固體、或凝結為液體；可是呢，更令人驚奇的是，

氧沒有因為結合了碳而改變體積，二氧化碳的體積和原來氧的體積相同。⁴³

在完全了解二氧化碳的性質之前，我還要再演示一個實驗。二氧化碳這種化合物由碳和氧組成，我們可以將它分解為組成元素。就像水的分離，我們也可以將二氧化碳分開成兩個部分。分開二氧化碳最簡單、便捷的方法就是，運用某種物質吸引氧，但是留下碳。你回想一下，我曾經把鉀丟入水中或放上冰塊，鉀就可以把氧從氫分離出來。現在我們也要對二氧化碳做類似的事。你曉得二氧化碳是種「重」的氣體：我不打算用石灰水來進行檢驗，因為它會干擾接下來的實驗；我想，氣體的重量和熄滅火焰的能力，就足驗證二氧化碳了。我把燃燒中的火焰接近二氧化碳，你看火焰是否會被熄滅。你看到亮光變得黯淡。雖然含磷物質燃燒起來相當劇烈，但事實上二氧化碳可以撲滅燃燒的磷。這塊磷被加熱到高溫，我把它丟入二氧化碳氣體，它原本的亮光就黯淡下來了，但回到空氣中它又再次起火燃燒。我手上的鉀在常溫下就會和二氧化碳有所作用，但因為鉀會很快地覆上一層保護膜；我們可以像是做磷的實驗那樣，把鉀加熱到它在空氣中的燃點，它就可以在二氧化碳裡燃燒，把氧氣帶走，然後會看到剩下來的東西。

我要在二氧化碳氣體中燃燒鉀，證明氣體中含有氧。（一加熱鉀就爆炸了）。有時候我們會拿到難搞的鉀，燃燒時會爆炸或發生類似的狀況。我再拿一片鉀，加熱後丟入裝

著二氧化碳的罐子，你發現它會在二氧化碳氣體裡燃燒，燃燒情形不如空氣中好，因為二氧化碳含的是已經化合了的氧氣；但它的確在燃燒，並帶走氧氣。如果我現在把鉀放入水，你會發現在碳酸鉀的旁邊產生了一些碳。我在這裡做的實驗非常粗糙，但我能保證，如果我要仔細地進行實驗，花上一天的時間、而非五分鐘，我能在湯匙上或鉀燃燒的地方，留下足夠的碳；這樣的結論就不會引發任何質疑。這就是從二氧化碳得到的碳，普通的黑色物質。由此可知，以上實驗提供了完整的證據，二氧化碳是由碳和氧所組成的。現在我能告訴你：碳只要在一般的環境下燃燒，都會產生二氧化碳。

如果我將一塊木頭放入裝著石灰水的瓶子。無論我如何搖晃這個瓶子，它都保持在澄清的狀態；可是，如果我在瓶子內燃燒這塊木頭呢？你當然曉得，燃燒會得到水。可是我有得到二氧化碳嗎？你看，碳酸鈣和二氧化碳中的碳，都來自於木頭、蠟燭或其它東西。事實上，你自己就常常在做一個很棒的實驗，證明碳存在木頭裡。當你燃燒木頭的時候，不要完全燃燒，將火吹熄，你就看到碳了。

但是有些碳無法用這種方式顯現出來，例如蠟燭，雖然它的確含有碳。這裡有一瓶煤氣，會產生大量的二氧化碳氣體；你現在沒看到碳，但我們能馬上讓它現形。我將點燃煤氣，只要筒子裡有煤氣，就會持續燃燒。你還是沒看到碳，但有看見火焰；因為火焰是明亮的，這會讓你猜到火焰裡有碳。但我還要進行另一個操作。另一個筒子裡也裝著同樣的煤氣，裡面還混有另一種物質，這種

⁴³ 這個觀察其實就是亞佛加厥學說：「同溫同壓下，相同體積的不同氣體，其分子的數目相同」，雖然亞佛加厥學說在本文出版之前半個世紀就已經發表（1811年），有可能法拉第並不知道亞佛加厥學說。

物質可以燃燒煤氣中的氫，但不會燃燒碳。我用一根小火燭點燃這罐混合氣體，你發現氫被消耗掉了，但碳沒有，它變成了濃密的黑煙。我希望藉著這些實驗，讓你學會如何辨別碳；並且曉得氣體或其它東西在空氣中完全燃燒的時候，會產生甚麼物質。

在我們結束碳的主題之前，我們還要針對碳的燃燒進行幾個很棒的實驗。在燃燒過程中，碳以固體形態進行燃燒，燃燒過後，碳就不再是固體了。很少有燃料是這樣作用的。事實上，只有這類含碳的燃料：碳、木炭、木柴，才會這樣作用。我不知道除了碳之外，還有哪些元素的物質燃燒時也有同樣的情形。如果所有的燃料都像鐵那樣，燃燒後成為固體，我們的世界會怎麼樣呢？我們將不會看到壁爐中的燃燒現象。這裡還有一種燃料也很適合燃燒，至少和碳一樣好。它有多會燒呢？光是處在空氣中，它就自己燒起來了。(折斷一管自燃性的酒石酸鉛)。這個物質是鉛，⁴⁴你看，它燃燒地多麼美啊。火焰分得很開，就像壁爐裡的一堆碳：空氣可以接觸到它的表面、進入裡邊，所以它可以燃燒起來。⁴⁵但為什麼當它聚成一團時，不會這樣燃燒呢？(把管子清空，將內容物倒在鐵盤上堆成一堆。)原因很簡單，因為空氣進不去。

雖然它能產生高熱，但無法釋放出壁爐和鍋爐所需的大量熱能；因為燃燒後的產物沒有逸散開來，在底部的可燃物無法和空氣

接觸。這和碳的燃燒差得遠了。碳和酒石酸鉛燃燒後在壁爐內都會產生猛烈的火，但是碳燃燒產生的物質會消失，留下乾淨的部分。我曾經讓你看過，碳燃燒時會在氧氣中逐漸消散，沒有留下灰燼；但在這裡(指向那堆自燃物質)，因為燃料和氧結合，實際上我們得到比燃料更重的灰燼。從這裡你發現了碳和酒石酸鉛、鐵的差異，如果我們選擇用鐵來發光發熱，把鐵用在我們的燃料實驗上，會得到很奇妙的結果。碳燃燒的時候，如果它的產物以固體型態飄散，我們會看見空氣中佈滿不透明的物質，就像磷的燃燒一樣；而實際上當碳燃燒時，所有的東西都消失在空中。在發生燃燒作用之前，碳處於固定、無法改變的狀態；但經過燃燒後，成為氣體的碳反而很難變成固體或液體。

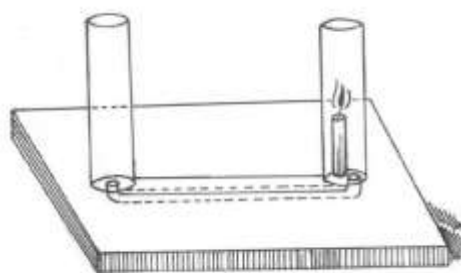
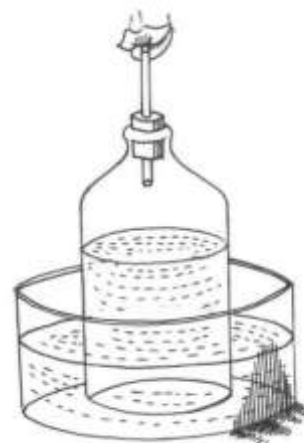
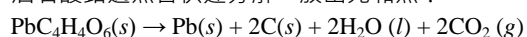


圖 31



⁴⁴ 法拉第稱實驗中所談的物質為鉛，其實這物質是酒石酸鉛($\text{PbC}_4\text{H}_4\text{O}_6$)。我們以「酒石酸鉛」代替書中的「鉛」。酒石酸鉛遇熱會快速分解，放出光和熱：



⁴⁵ 其實，酒石酸鉛加熱後為自發反應，不需要空氣。

圖 32

■ 呼吸作用是一種燃燒，呼出的氣體是二氧化碳

現在我們將進入一個很有趣的主題，也就是蠟燭的燃燒和我們人類生命中的燃燒現象的關聯性。每個人身體裡都進行著某種類似蠟燭的燃燒，我會解釋清楚這一點。存在於人的生命和蠟燭之間的，不僅僅是一種詩意的聯想。為了釐清兩種燃燒的關係，我設計了一個小小的裝置，我們現在就可以組裝起來（圖 31）。這塊木板上有個可以蓋起來的小凹槽，裡面是玻璃細管；在凹槽的兩端，我接上玻璃圓管，連接的玻璃管與圓筒形成通道，空氣能順暢通行整個裝置。我把一根蠟燭放進其中一個圓筒，這根蠟燭會繼續順利燃燒。你仔細觀察，供應燃燒的空氣從玻璃圓管進入，下到凹槽內的管子，最後上升到放置蠟燭的圓筒。如果我關閉空氣進入的孔道，這個裝置就無法正常運作，進而造成燃燒作用停止、蠟燭熄滅。現在你想想，為甚麼會這樣呢？

之前我們做過一個實驗，我把蠟燭燃燒產生的氣體送到另一根蠟燭。如果我把蠟燭燃燒產生的氣體，用某種複雜器材送進供應端的圓筒，原本另一邊燃燒的蠟燭也會熄滅。如果說，我呼出的氣會讓蠟燭熄滅，你是怎麼想的呢？我的意思不是要把它吹熄，而是因為我呼出的氣體本身不助燃。現在我往裝置左方（圖 31）吹入氣體，但不吹動燭焰；除了我嘴巴出來的氣體之外，沒有其它氣體進入裝置。你看到結果了，我沒有把蠟燭吹熄，我只是讓呼出來的氣體進入裝置，

結果蠟燭因為缺乏氧氣而熄滅了，除此之外，沒有其它原因。我的肺已經帶走了空氣中的氧，因此呼出來的氣沒有足夠的氧供應蠟燭燃燒。起初蠟燭燒得好好的，但在我送入的壞空氣到達那邊時，蠟燭隨即熄滅。留心觀察空氣到達彼端之前的那段時間，那是很奇妙的感覺。

現在，我要讓你再看另一個很重要的實驗。這個玻璃罐子裡有新鮮的空氣，你可以讓蠟燭或煤氣燈在其中燃燒。我把罐子移近一點，方便我用吸管向瓶內吹氣。接著把罐子浸到水裡（圖 32），就像這樣，我可以吸走空氣（如果軟木塞夠緊的話）、將空氣吸進肺裡，然後再吐回罐子裡；我們來檢查檢查，看看結果如何。從水的升降可以明顯地看到，我先吸了空氣，然後吐回去；現在把小火燭丟入呼吸過的空氣，從暗下來的火光可以得知蠟燭熄滅了。即使我只呼入一口氣，一樣會完全破壞空氣原有的燃燒效用，所以我的第二次呼吸等於是多餘的。現在你曉得了，許多窮人階級的房子設計不當，住在裡面的人重複呼吸同樣的空氣，通風不良、缺乏新鮮空氣。空氣被呼吸一次就壞掉了，可見新鮮空氣多麼重要。



圖 33

我們更進一步地研究，來看看石灰水會發生甚麼事。這個球形瓶（圖 33）裝著石灰水，針對空氣的通路裝置特殊玻璃管，這樣我們就能知道結果是否為呼出的空氣所造成的。我可以（藉著 A 管）吸空氣，讓外面的新鮮空氣進來、經過石灰水，或是從 B 管把氣吹到石灰水底部，顯示出它對石灰水的影響。你發現，無論我吸多久，讓外面的空氣進來與石灰水接觸，也不會發生任何改變。新鮮空氣並沒有使石灰水變混濁；但如果我對石灰水連續吹氣，它就變成了混濁的乳白色液體，這便是呼出氣體的作用。從呼出氣體和石灰水的接觸的結果，你知道空氣是被二氧化碳所弄壞的。

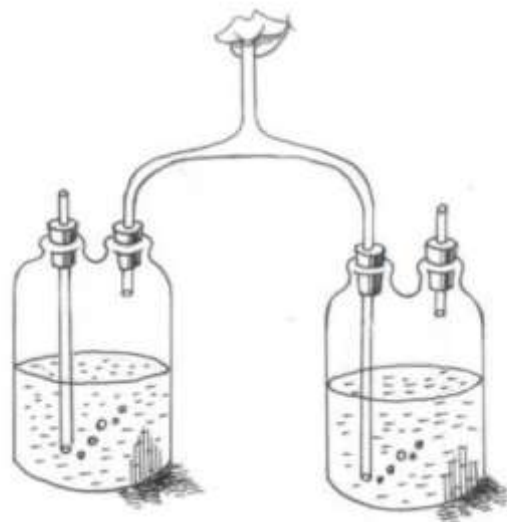


圖 34

桌上有兩個瓶子，一瓶裝著石灰水，另一瓶裝著普通的水。玻璃管穿進去並連接兩個瓶子（圖 34）。這個裝置雖然簡單，卻很好用。⁴⁶我從這個吸管吸氣，往另一個吸管吐氣，玻璃管的裝置會避免空氣倒流。我的嘴巴和肺吸入外面進來的清新空氣，而呼出的氣體則通過石灰水；這樣我可以持續呼吸，做出準確的實驗，得到良好的效果。你發現清新空氣不會對石灰水起作用，但當石灰水只接受我吐出的氣，你就看出兩者的差異了。

■ 吸入肺中的氧和食物產生類似燃燒的作用，並釋放出二氧化碳和熱量

我們再進一步想，這個運行不息的，我們賴以為生的，造物主安排的，獨立於人類意志的「呼吸作用」究竟是甚麼呢？如果停止呼吸，我們就活不下去。當我們睡覺的時

⁴⁶ 圖 34 的裝置，當實驗者吸氣時空氣會從左邊的瓶子進入，吐氣時二氧化碳從右邊的瓶子流出。當左邊的瓶子為石灰水，右邊的瓶子為純水時，石灰水為澄清。反之，將裝置左右對調時石灰水變成混濁。

候，呼吸器官和相關的部分仍然在運作，我們不能不呼吸，肺必須與空氣接觸。我簡短地說明一下這個過程。我們吃東西時，食物通過體內奇妙的血管和器官，被帶到不同地方，尤其是消化系統。食物經過變化後由一組血管流經肺部，同時，呼吸的空氣則被另一組血管帶進及帶出肺部。此時空氣和食物接觸，只隔著一層薄膜。空氣即在這個過程中對血液作用，產生類似蠟燭燃燒的效果。蠟燭和空氣中的某些部分結合，形成二氧化碳、釋放「熱」；而在肺部的變化也相當奇妙的，空氣進來和碳結合（此處所指的碳並非處於自由狀態，而是在可以和空氣起作用的情況），產生二氧化碳、送到大氣中並釋放出熱量：因此我們可以將食物視為燃料。我用一小塊糖來說明。糖跟蠟燭含有一樣的元素，雖然元素組成比例不同，但都是碳、氫、氧的化合物。元素間的比例如下表所示：

| | 糖的元素重量比 |
|---|---------|
| 碳 | 72 |
| 氫 | 11 |
| 氧 | 88 |

這是件很神奇的事，氫和氧的質量比正是它們在水中的比例，所以糖等於是 72 等份的碳和 99 等份的水組成。⁴⁷糖裡面的碳和氧結合，呼吸作用帶進氧氣，讓人作用得像蠟燭一樣，這些作用除了產生熱能之外，還有更美妙的結果；藉著一個相當美麗卻十分

簡單的過程，維持我們生命系統的運作。

我要用糖來做實驗，讓你看看更為驚人的結果；為了加速實驗反應，我們使用糖漿，其中含有 3/4 的糖和一些水。把硫酸滴上糖漿，硫酸會把水帶走，留下一團黑色的碳。（講者把兩者混在一起）。你仔細觀察碳是怎樣出現的，很快就會出現一團固體的黑炭、來自糖的碳。你知道糖是吃的食物，但你絕對想不到，糖竟然能弄出這一團固態的碳！如果我再動些手腳，讓糖裡面的碳發生氧化，我們會得到更驚人的結果。我要使用一種氧化劑，它能比空氣更快使物體氧化；用氧化劑氧化糖，這種燃燒形式上與呼吸作用不同，但一樣是氧化反應。在我們的身體裡，糖的碳和肺提供的氧接觸而發生氧化。如果我讓這個作用立刻完成，你就會看到這種燃燒。差別是，肺部從空氣吸進氧，在這裡氧化劑則讓燃燒的過程迅速完成。

等我告訴你碳的產量時，你會大感詫異。一枝蠟燭可以燒上 4~7 個小時。每天有這麼多的碳變成二氧化碳上升到空氣中呢！呼吸的時候，我們呼出那麼多碳！因為燃燒或呼吸作用，碳發生了多麼奇妙的變化啊！24 小時之內，藉著呼吸作用，人可以將 198 公克的碳轉變成二氧化碳，乳牛可以轉化 1,980 公克，馬可以轉化 2,235 公克的碳。也就是說，馬的呼吸器官在一天之內燃燒 2,235 公克的木炭或碳，以供應生命所需的熱能。所有溫血動物（恆溫動物）都用這個方法得到熱能，也就是燃燒非自由態的碳。這個事實讓我們體會到，碳的轉換對大氣造成驚人的影響。24 小時內，光是倫敦人的呼吸就能產生 2,270 公噸的二氧化碳，這些碳跑去哪

⁴⁷ 此處的質量比是雙糖的比例，應為蔗糖。

裡了呢？它們飄進空氣啦。如果碳像是我給你看的酒石酸鉛或是鐵那樣，燃燒時製造出固體物質，那麼會發生甚麼事呢？燃燒作用就不會持續了。木炭燃燒會成為氣體，接著飄散逸入空氣；空氣是很好的載體，可以把二氧化碳帶到其它地方。二氧化碳接下來又會變成甚麼呢？

■ 呼出體外的二氧化碳可為植物所用

我們呼出的氣體有害人體（人無法吸入同樣的氣體兩次），但神奇的是，呼吸作用的產物居然能讓地表上的植物和蔬菜成長。⁴⁸水裡的魚和其它動物雖然沒有直接和大氣接觸，但牠們也以相同的原理進行著呼吸作用。就像這些魚（指向一缸金魚），牠們呼吸從空氣溶入水中的氧氣，產生二氧化碳。而這些物質都在地球上移動，使得動物和植物的國度共存共榮。所有地表上的植物都吸收碳，就像我帶來說明的這株植物；我們呼出的二氧化碳飄入空氣，植物的葉子再從空氣帶走碳，進而生長、茁壯、茂盛。給植物我們需要的新鮮空氣，它們無法存活；給植物我們不要的碳，它們便欣欣向榮。就像我們看到的，這塊木頭中的碳和樹及植物的生長一樣，都是來自於空氣中的碳；植物帶走有害人類但有利於自己的東西，對一方造成疾病的，對另一方卻是健康的。人無法獨存於天地，這是民吾同胞，物吾與也的道理，所有自然界的存在均繫於萬物相生的法則。

在我們更進一步研究前，還有個小小的主題要說明，這個主題和我們講過的作用是

相關的，它和我們切身的物質：不同狀態的氧、氫、碳，奇妙地聚集、互相關聯。讓你瞧瞧剛剛燒起來的酒石酸鉛，燃料甚至在離開瓶子前就和空氣起了作用。現在有股化學吸引力，有了這股力量，我們想要的作用才能順利進行；我們呼吸的時候，這股力量也在作用著。蠟燭燃燒的時候，許多地方產生互相吸引的力量。酒石酸鉛的燃燒也是化學吸引力的很棒例子。如果燃燒的產物從表面飄散，酒石酸鉛會著火、持續燃燒，直到燒完為止；但你還記得，酒石酸鉛和碳的燃燒有所不同，酒石酸鉛只要和空氣接觸，就會馬上發生反應，但是碳卻能保存數個月或數年。埃爾柯雷諾⁴⁹出土的手稿便是用含碳墨水寫的，經過了 1,800 多年；雖然手稿在某些狀況下接觸到空氣，但並沒有完全被空氣改變。

現在來說說，是甚麼使得酒石酸鉛和碳在這方面有所不同？真是不可思議，作為燃料的物質（木頭）居然在「等待」反應；碳不像酒石酸鉛或許多我還沒堆上桌子的東西一樣，馬上就燃燒，而在等待反應的時機。蠟燭，例如美麗的日本蠟燭，不像酒石酸鉛或鐵（磨碎的鐵可以和酒石酸鉛產生一樣的效果）馬上就會起作用，反而可以等上個許多年甚至好幾世代，都不發生任何變化。我

⁴⁹ 埃爾柯雷諾 (Herculaneum) 位於義大利，羅馬時代古城，於西元 79 年與龐貝城 (Pompeii) 同遭維蘇威火山 (Mount Vesuvius) 爆發之難，全城掩埋。著名的「神秘別墅」(Villa of the Mysteries) 即在城市近郊，留存建築完整，壁畫凝結西元 1 世紀羅馬的繪畫風格，顏色至今鮮豔明麗，畫面顯示出儀式性的神秘、難解真義，故得名「神秘別墅」。古城自火山爆發後掩埋至 18 世紀，才於埃爾柯雷諾和龐貝城進行發掘，出土許多遺址與物件，對歐洲藝術的希臘羅馬風格有推波助瀾之力。法拉第於 1860 年講授這一系列的化學課程，距離古城的大量發掘不過半世紀；時人對於如此豐富的史料仍在驚喜與摸索中，講者切時地引用這個例子，是相當令聽者印象深刻的。

⁴⁸ 此處指的是光合作用： $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6(\text{H}_2\text{O})_6 + 6\text{O}_2$

這裡有些煤氣。我從瓶子噴出氣體，但並沒有燒起來，煤氣接觸空氣，但要溫度夠高才會燃燒。如果溫度夠熱，它就會燒起來。如果我把它吹熄，煤氣燈裡吹出的煤氣要等到重新被點燃後才會燃燒。

令人驚奇的是物質等待燃燒的程度不一，有些物質只要溫度提高一點點就燃燒，有些則需要相當的高溫。火藥和火藥棉在不同的條件下燃燒。火藥由碳和其它物質組成，屬於易燃物；火藥棉是另一種可燃物。⁵⁰它們都會「等待」，但兩者燃燒所需的溫度不同、條件不同。用一條加熱的鐵線接觸火藥和火藥棉，就能知道哪個會先反應（把燒熱的鐵碰觸火藥棉）。火藥棉有反應，但鐵線最熱的部分仍不足以點燃火藥。多麼奇妙啊，不同的物質呈現出如此大的差異！有些物質要等到相關物受熱活化才反應，有些，像是呼吸作用，則立即反應。空氣一進入肺就和碳結合，即使在人體只能短暫忍受的低溫下，這個作用也是立刻進行，並呼出二氧化碳；如此，所有事物都穩當地進行著。你看，呼吸和燃燒作用的類比是多麼地驚奇而美妙。說真的，在這六堂演講的尾聲，我有個期許：希望你在你的一生之中，要像蠟燭一樣，照亮周圍的人；你的作為則要見證蠟燭之美，對同胞盡責，行事正直有益於人。

⁵⁰ 火藥棉是浸泡過硝酸的棉花。

自組裝分子膜製程開發及性質研究 ——防偽標章之製作

呂雲瑞^{*ac}、林明祥^{bc}

^a 台北市立西松高級中學

^b 新北市立林口高級中學

^c 教育部高中化學學科中心

*chem_tim@yahoo.com.tw

■ 影片觀賞

本實驗影片由教育部高中化學學科中心和台灣多媒體創意教學協會提供。

■ 簡介

微觸印刷原先為用於半導體產業製作，聚二甲基矽氧烷



影片網址：<https://www.youtube.com/watch?v=7PLoETfndrg>, YouTube.

(polydimethylsiloxane, PDMS) 俗稱矽油，是經有機金屬的交叉鏈結反應 (crosslinking reaction) 固化而成的聚合物，固態的聚二甲基矽氧烷為一種矽膠，無毒、疏水性、非易燃性、且透明的惰性彈性物質。利用 PDMS 的性質，透過疏醇溶液的附著，讓有機碳鏈物質吸附在 PDMS 的凸面，使得特殊圖案在金屬表面上形成能夠長時間密合的自組裝分子膜，再依據其疏水性，於使用時以口中水氣辨識圖騰。有關 PDMS 的結構與交叉鏈結反應如圖 1 所示：

自組裝分子膜 (self-assembly monolayer, SAM) 的成膜原理是通過固、液界面間的化學吸附，在基板上形成化學鍵連接的、取向排列的、緊密的二維有序單分子層，活性分子的頭基與基板之間得化學反應使活性分子佔據基體表面上每個可鍵結的位置，並通過分子間作用力使吸附分子緊密排列。如果活性分子的尾基也具有某種反應活性，則又可繼續與別的物质反應，形成多層膜。經由加工所製造出來的印章可重複多次使用，而且表面多具有化學惰性，因此接觸轉印完後，會很容易的離開表面，就算有灰塵附於其上

也很容易洗去，運用此特性，我們可以十分 理，如圖 2 所示：

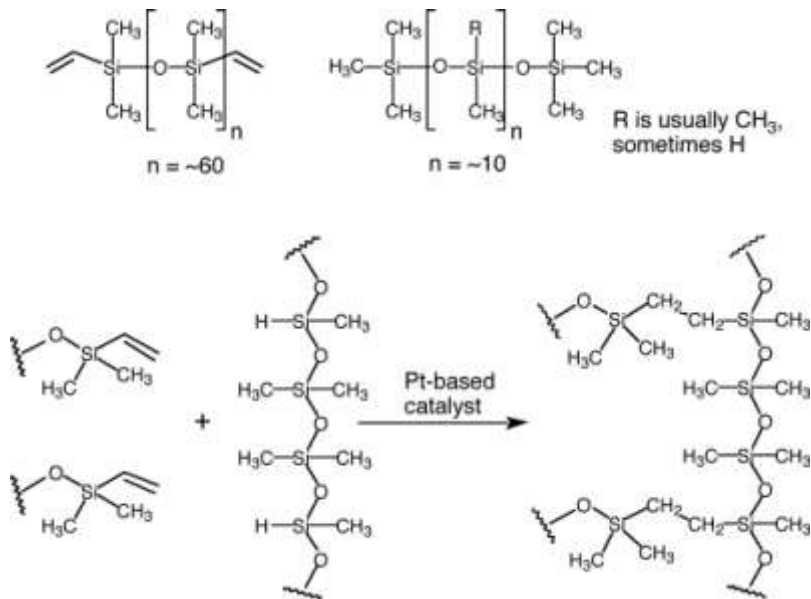


圖 1：兩種不同的 PDMS (聚二甲基矽氧烷) 的結構式 (上) 和本實驗之交叉鏈結反應 (下)

簡便的大量精密複製我們所需的薄膜。當墨水與基板發生反應後便形成自組裝單分子層 (self-assembled monolayers, SAMs)。單分子層對化學腐蝕液有阻隔作用，用蝕刻劑進行腐蝕，就在基板上得到與原蝕刻圖案完全一樣的精細圖案。有關自組裝分子膜的成膜原

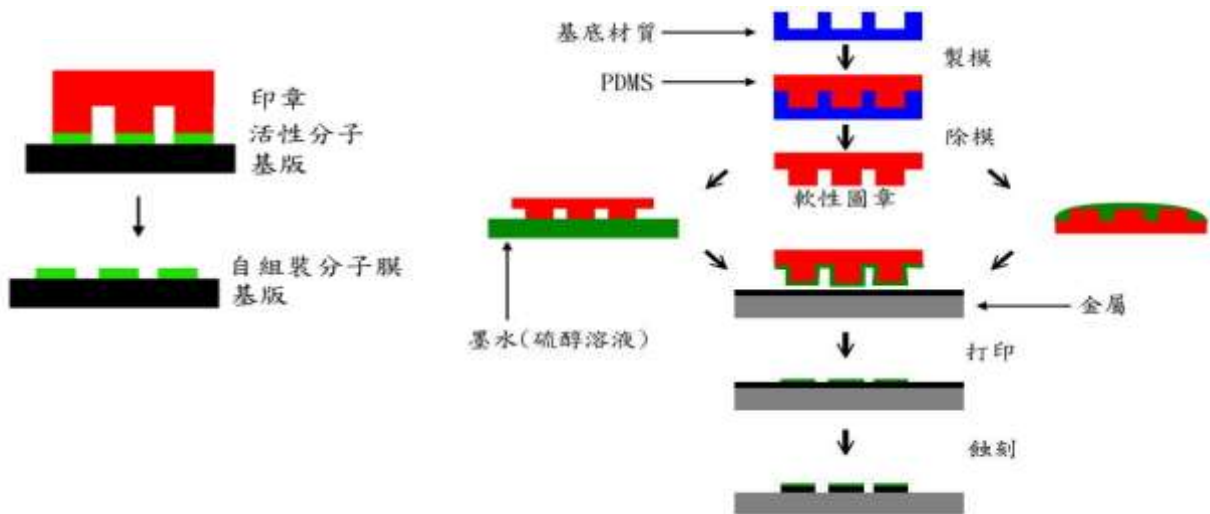


圖 2：自組裝分子膜的成膜示意圖

藥品與器材

本實驗所需相關材料，如圖 3 所示。

1. 烤箱
2. 電子秤
3. 金屬器皿
4. PDMS 主劑 (Sylgard polymer) (註 1)
5. PDMS 固化劑 (註 1)
6. 1,6-己烷基雙硫醇 (1,6-Hexanedithiol, HDT)
7. 乙醇
8. 金屬片 (基板)
9. 硬幣 (轉印物件)

實驗步驟

一、轉印圖章 PDMS 製作

1. 以 10:1 比例調和兩種不同的 PDMS 主劑及固化劑。

2. 倒入金屬容器並攪拌避免氣泡產生。
3. 放入硬幣、象棋作為模型。
4. 放入烤箱固化。
5. 脫模並裁切邊緣。

二、轉印圖案於基板

1. 塗抹 1,6-己烷基雙硫醇 (HDT) 於印章上。
2. 以乙醇清洗多餘 HDT。
3. 將圖案蓋印在基板表面。



圖 3：需要的藥品與器材

2. Microcontact Printing, The Center for Nanoscale Chemical-Electrical-Mechanical Manufacturing Systems, https://nano-cemms.illinois.edu/materials/microcontact_printing_full.

■ 安全注意及廢棄物處理

- 本實驗所使用的 1,6-己烷基雙硫醇藥品有刺激臭，宜在通風良好，或抽氣櫃中進行。

■ 附註

1. 藥品購買參考網址：
<http://www.ellsworth.com/dow-corning-sylgard-184-silicone-encapsulant-0-5kg-kit-clear/>

■ 參考資料

1. Mrksich, M.; Dike, LE.; Tien, J.; Ingber, DE.; and Whitesides, GM. Using Microcontact Printing to Pattern the Attachment of Mammalian Cells to Self-Assembled Monolayers of Alkanethiolates on Transparent Films of Gold and Silver. *Exp. Cell Res.* **1997** Sep 15;235(2):305-13.

馬鈴薯電池的電化學實驗 (上)

王楨、楊水平*

國立彰化師範大學化學系

*yangsp@cc.ncue.edu.tw

乾電池是一種以金屬、碳棒和糊狀電解液來產生直流電的化學電池，常見的鹼性電池的成分為二氧化錳、鋅粉、炭粉及氫氧化鉀水溶液。在鹼性電池中，鋅粉和氫氧化鉀當作電池的陽極（負極），二氧化錳和炭粉作為電池的陰極（正極）。

本家庭實驗係利用常見的家用產品來製作馬鈴薯電池，探討馬鈴薯電池與鹼性電池的放電原理相同嗎？馬鈴薯電池輸出的電壓和電流及其內電阻與鹼性電池相同嗎？本實驗使用三用電表來測量單一及多個馬鈴薯電池在串聯和並聯時的輸出電壓和電流及電功率，並連接各種負載（如小型鬧鐘和紅光 LED），測試需要串聯和並聯幾個馬鈴薯電池才能使小型指針式鬧鐘轉動或 LED 發光，如圖 1 所示。學生可以在家中與父母一起探討馬鈴薯電池；也可以在學校老師的指導下，在教室中完成此家庭化學實驗。

- 【購自電子材料行】
3. 三用電表 1 台 【購自電子材料行】
 4. 一元硬幣（新製造的且最明亮的銅幣）8 個
 5. 華司（Washer，直徑與一元硬幣約相同）8 個 【購自五金行或百貨行】
 6. 水果刀 1 支 【取自廚房】
 7. 小型指針式鬧鐘 1 台 【取自臥房、購自五金行或百貨行】
 8. 紅光 LED 燈 1 個 【購自電子材料行】
 9. 電阻（100 Ω 和 200 Ω ）2 個 【購自電子材料行】

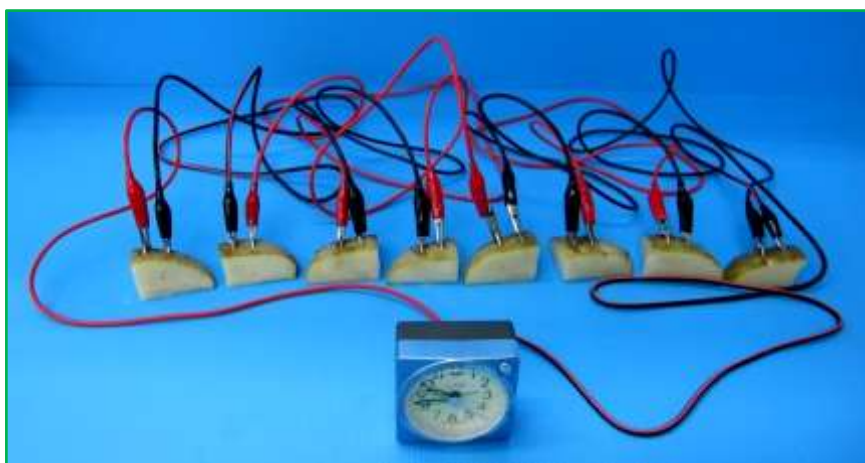


圖 1：串連馬鈴薯電池與鬧鐘連接

■ 家用產品

1. 馬鈴薯 1 顆 【購自超市或大賣場】
2. 紅色及黑色鱷魚夾電線 9 組（共 18 條）

■ 實驗步驟

- 一、測量單一馬鈴薯電池的電壓與電流
 1. 取一顆馬鈴薯，用水果刀切成八等分。

- 取每一小塊馬鈴薯放置於桌上，馬鈴薯的表面朝上且切面朝下。
- 在此小塊馬鈴薯表面上的中間偏左邊，先用水果刀插入形成一凹痕，長度約兩公分，再插入一個新製造且明亮的一元硬幣，插入約 2/3 的面積。

- 接著在距離硬幣一公分處，使用水果刀插入形成一凹痕，長度約兩公分，再插入一個華

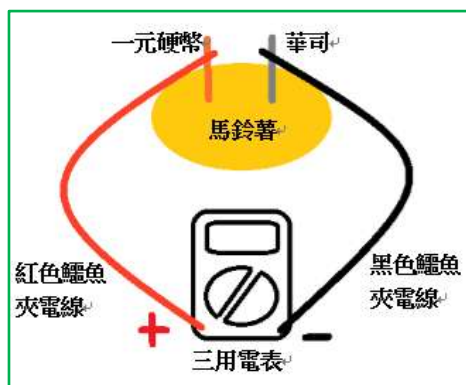


圖 2：測量單一馬鈴薯電池的電壓與電流的示意圖（左）及實際圖（右）

司，插入約 2/3 的面積。注意：硬幣與華斯不可接觸，且兩者保持平行。

- 旋轉三用電表的調整鈕在「DCV(直流電壓) 20」的位置，紅色測試棒插在“V/Ω”插座，黑色測試棒插入“COM”插座。用一條紅色鱷魚夾電線的兩端，一端夾住電表紅色測試棒(+)，另一端夾住一元硬幣(+)。用一條黑色鱷魚夾電線的兩端，一端夾住電表黑色測試棒(-)，另一端夾住華司(-)。測量此單一馬鈴薯電池的電壓（讀取穩定值）。

如圖 2a 和 2b 所示。

- 旋轉三用電表的調整鈕在「DCA(直流電流) 20 m」的位置，紅色測試棒

插入“mA”插座，黑色測試棒插入“COM”。如上述連接的方式，測量此馬鈴薯電池的電流（讀取趨近穩定值）。如圖 2a 和 2b 所示。

- 計算此單一馬鈴薯電池產生的電功率(電壓與電流的乘積)。



二、測量串聯多個馬鈴薯電池的電壓與電流

- 取上述“單一馬鈴薯電池”的步驟 1 的八小塊馬鈴薯。
- 放置每一小塊的馬鈴薯於桌上，馬鈴薯的表面朝上且切面朝下。
- 每一小塊的馬鈴薯插入硬幣和華司的方式，與上述“單一馬鈴薯電池”的步驟 3-4 相同。
- 排列此八小塊馬鈴薯成為一橫列，使每一小塊馬鈴薯上的硬幣靠左邊，華司靠右

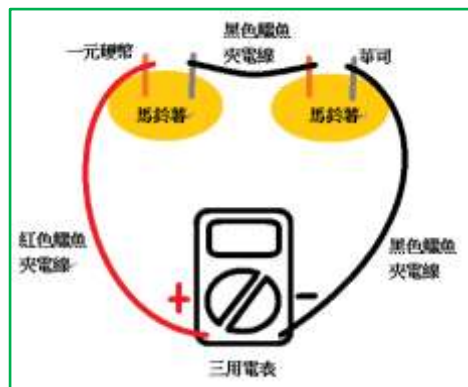


圖 3：測量串聯兩個馬鈴薯電池的電壓與電流的示意圖(左)及實際圖(右)

邊。

5. 使用第一條鱷魚夾電線，一端夾住第一個馬鈴薯電池的華司(-)，另一端夾住第二個馬鈴薯電池的硬幣(+)，形成兩個串聯的馬鈴薯電池。
6. 使用一對鱷魚夾電線，用紅色鱷魚夾電線的兩端，夾住第一個馬鈴薯電池的硬幣端(+)和電表的紅色測試棒(+)。用黑色鱷魚夾電線的兩端，夾住第二個馬鈴薯電池的華司(-)和電表的黑色測試棒(-)。如圖3所示。
7. 測量串聯兩個馬鈴薯電池的電壓和電流(讀取穩定值或趨近穩定值)。



圖4：測量串聯八個馬鈴薯電池的電流與電壓

8. 拆除連接在三用電表的黑色鱷魚夾電線，夾住第三馬鈴薯電池的硬幣端(+)。用一條黑色鱷魚夾電線的兩端，夾住第三個馬鈴薯電池的華司(-)和電表的黑色測試棒(-)。
9. 測量串聯三個馬鈴薯電池的電壓和電流(讀取穩定值或讀取穩定值)。
10. 繼續利用第三、四、五、六和

七條鱷魚夾電線，分別串連第四、五、六、七和八個馬鈴薯電池。如圖4所示。

11. 分別測量串聯四、五、六、七和八個馬鈴薯電池的電壓和電流(讀取穩定值或趨近穩定值)。
12. 計算串聯四、五、六、七和八個馬鈴薯電池產生的電功率。

三、測試串聯馬鈴薯電池驅動負載

1. 使用上述尚未拆解的串聯八個馬鈴薯電池，測試馬鈴薯電池能否驅動負載(小型鬧鐘和紅光LED燈?)
2. 首先，拆除連接在串聯馬鈴薯電池的三用電表，保留在第一個電池上的紅色鱷魚夾電線，及第八個電池上的黑色鱷魚夾電線。
3. 用第一個電池上的紅色鱷魚夾電線，夾住小型鬧鐘的正極端(+)。再用第八個電池上的黑色鱷魚夾電線，夾住此鬧鐘的負極端(-)。測試串聯八個馬鈴薯電池能否使小型鬧鐘運作?如圖5所示。
4. 拆除第八個馬鈴薯電池，剩下七個串聯馬鈴薯電池。第一個電池上的紅色鱷魚夾電線(+)不拆除，仍然夾住小型鬧

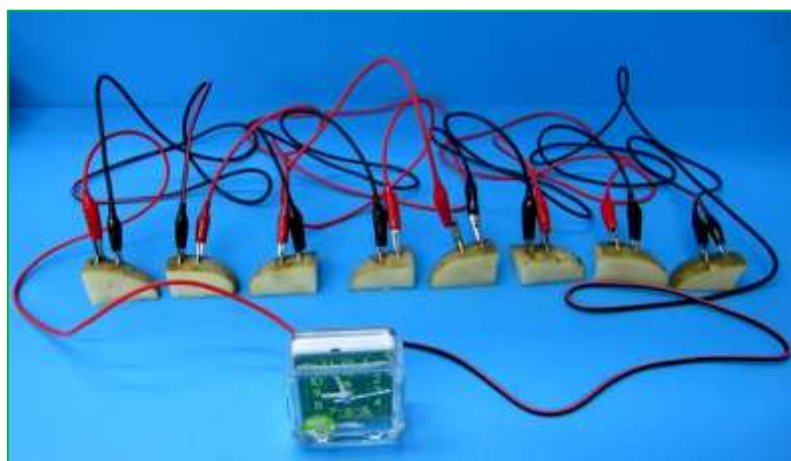


圖5：測試串聯多個馬鈴薯電池驅動鬧鐘

鐘的正極端(+)。用連接在第七個電池的華司(-)上之鱷魚夾電線的一端，夾住此鬧鐘的負極端(-)。測試串聯七個馬鈴薯電池能否使小型鬧鐘運作？

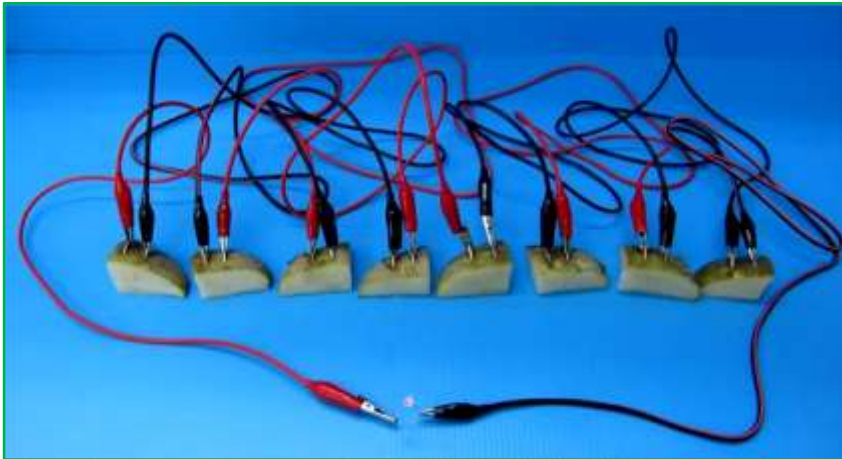


圖 6：測試串聯多個馬鈴薯電池能否使 LED 燈發光

5. 以同樣的方式，分別拆除第七、六、五、四、三、二和一個馬鈴薯電池，分別用連接在第六、五、四、三、二和一電池的華司(-)上之鱷魚夾電線一端，夾住此鬧鐘的負極端(-)。測試串聯多少個馬鈴薯電池才能否使鬧鐘運作？

6. 接著，以紅光 LED 取代小型鬧鐘，用紅色鱷魚夾電線(+)夾住 LED 的長腳(+)，用黑色鱷魚夾電線(-)夾住 LED 的短腳(-)，測試串聯多少個馬鈴薯電池才能否使 LED 發光？如圖 6 所示。

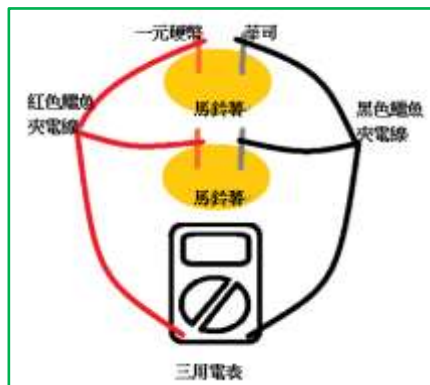


圖 7：測量串聯兩個馬鈴薯電池的電壓與電流的示意圖(左)及實際圖(右)

1. 拆除上述步驟的全部鱷魚夾電線。
2. 排列八小塊馬鈴薯成為一直列，每一小塊馬鈴薯上的硬幣靠左邊，華司靠右邊。
3. 使用第一條和第二條紅色鱷魚夾電線，分別夾住第一個和第二個馬鈴薯上的硬幣(+)，這兩條紅色鱷魚夾電線的另一端夾在一起(+)。同樣地，使用第一條和第二條黑色鱷魚夾電線，分別夾住第一個和第二個馬鈴薯上的華司(-)，這兩條黑色鱷魚夾電線的另一端夾在一起(-)。

4. 接著，兩條紅色鱷魚夾電線的夾住處(+) 連接到三用電表上的紅色測試棒(+)。兩條黑色鱷魚夾電線的夾在處(-)連接到此電表上的黑色測試棒(-)。測量並聯兩個馬鈴薯電池的電壓和電流(讀取穩定值或趨近穩定值)。如圖 7 所示。



5. 測量並聯三個馬鈴薯電池的電壓和電流(讀取穩定值或趨近穩定值)。
6. 繼續，利用第四、五、六、七和八條鱷魚夾電線，分別並聯第四、五、六、七和八個馬鈴薯電池。第一個電池位在最下方，

四、測量並聯多個馬鈴薯電池的電壓與電流

第八個電池在最上方。如圖 8 所示。



圖 8：測量並聯多個馬鈴薯電池的電流與電壓

7. 分別測量並聯三、四、五、六、七到八個馬鈴薯電池的電壓和電流(讀取穩定值或趨近穩定值)。
8. 計算並聯二、三、四、五、六、七到八個馬鈴薯電池產生的電功率。

五、測試並聯馬鈴薯電池驅動負載

1. 使用上述尚未拆解的並聯八個馬鈴薯電池，測試馬鈴薯電池能否驅動負載(小型鬧鐘和紅光 LED 燈)？
2. 先拆除三用電表，用一條紅色鱷魚夾電線的一端夾住小型鬧鐘的正極端(+)，另一端連接到第一個馬鈴薯電池硬幣上紅色



圖 9：測試串聯多個馬鈴薯電池能否使 LED 發光

鱷魚夾電線的夾住處(+)。然後，用一條黑色鱷魚夾電線連接此鬧鐘的負極端(-)，另一端接到第八個馬鈴薯電池華司上\黑色鱷魚夾電線的夾住處(-)。測試串聯八個馬鈴薯電池能否使小型鬧鐘運作？

3. 拆除第八個馬鈴薯電池，剩下並聯七個馬鈴薯電池，分別用紅色和黑色鱷魚夾電線的夾住處與鬧鐘的正極端和負極

端。測試並聯七個馬鈴薯電池能否使小型鬧鐘運轉？

4. 以同樣的方式，分別測試並聯多少個馬鈴薯電池能否使小型鬧鐘運作？
5. 用紅光 LED 取代小型鬧鐘，測試並聯多少馬鈴薯電池才能否使 LED 發光嗎？如圖 9 所示。

六、調查馬鈴薯電池內電阻

1. 首先，使用三用電表測量一個馬鈴薯電池的電壓，並紀錄為 V_0 。
2. 利用兩條紅色鱷魚夾電線，分別夾住一個馬鈴薯電池上的硬幣(+)和一個已知電阻的一端。再利用兩條黑色鱷魚夾電線，分別夾住一個馬鈴薯電池上的華司(-)和此電阻的另一端。紀錄已知電阻為 R_1 。
3. 上述的兩條紅色鱷魚夾電線的另一端連接(+)夾在一起，並連接三用電表的紅色測試棒(+)。上述的兩條黑色鱷魚夾電線的另一端(-)夾在一起，並連接三用電表的黑色測試棒(-)。如圖 10 所示。
4. 測量外加的已知電阻兩側的電壓，並紀錄為 V_1 。

5. 假設馬鈴薯內電阻為 R_0 ，已知電阻為 R_1 ，
則藉由 $I = \frac{V_1}{R_1}$ ，算出電流 I 後，再代入
 $R_0 = \frac{V_0 - V_1}{I}$ 。

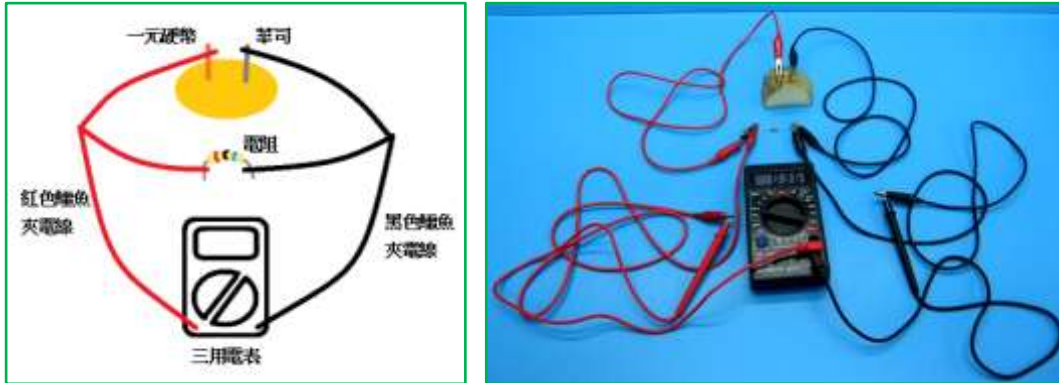


圖 10：調查馬鈴薯電池的內電阻的示意圖（左）及實際圖（右）

→ 續【馬鈴薯電池的電化學實驗（下）】

馬鈴薯電池的電化學實驗 (下)

王楨、楊水平*

國立彰化師範大學化學系

*yangsp@cc.ncue.edu.tw

↑ 承【馬鈴薯電池的電化學實驗 (上)】

能是，硬幣的表面在反應後吸附氫氣，阻擾氫根離子到達硬幣表面，以致電流漸漸下降。

■ 實驗結果和討論

輸出電壓、電流及電功率

A. 串聯馬鈴薯電池

由圖 11 可知，馬鈴薯電池串聯數與輸出

| | | | | | | | | |
|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 馬鈴薯串聯數 (個) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 電壓 (V), V | 0.92 | 1.73 | 2.63 | 3.57 | 4.44 | 5.26 | 6.13 | 6.98 |
| 電流 (I), mA | 0.32 | 0.32 | 0.34 | 0.35 | 0.35 | 0.34 | 0.35 | 0.34 |
| 電功率 ($I \times V$), mW | 0.29 | 0.55 | 0.89 | 1.25 | 1.55 | 1.79 | 2.15 | 2.37 |
| 小型鬧鐘可否運轉? | 否 | 否 | 否 | 否 | 可 | 可 | 可 | 可 |
| 紅光 LED 可否發光? | 否 | 否 | 微亮 | 微亮 | 稍亮 | 稍亮 | 亮 | 亮 |

電壓大小呈現幾乎正比的關係。

由圖 12 可知，馬鈴薯電池串聯數

與輸出電流強度無關，串聯多個電池的電流強度與單一電池大致相同。

在利用三用電表測量馬鈴薯電池的電壓時，電壓值會不斷上升，過一段時間會漸緩。相反地，測量電流時，電流值會不斷下降，過一段時間會漸緩。本實驗所紀錄的輸出電壓和電流都是讀取最後的穩定值或趨近穩定值。馬鈴薯電池電壓上升的原因可能是，插入華司後鋅與馬鈴薯的電解質接觸逐漸增加，導致電壓漸漸上升。電流下降的原因可

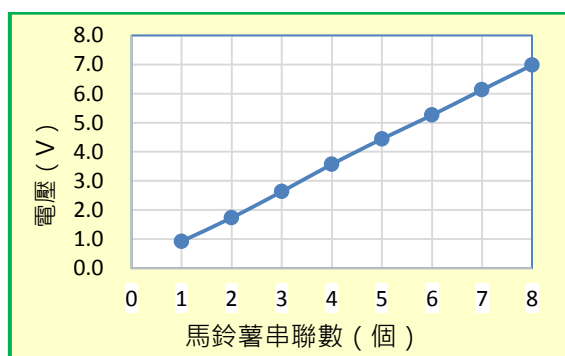


圖 11：馬鈴薯串聯數與電壓的關係

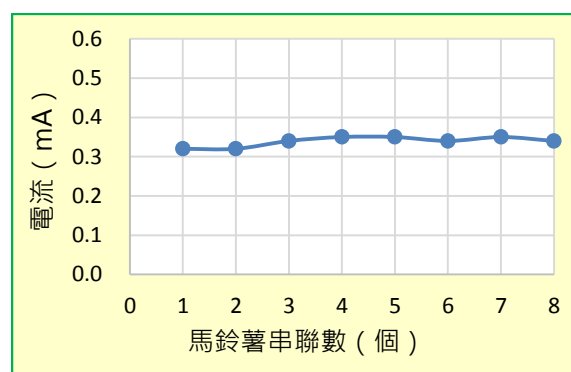


圖 12：馬鈴薯串聯數與電流的關係

由圖 13 可知，馬鈴薯電池串聯數與電功率大致成正比的關係。由於馬鈴薯電池串連數與輸出電壓大小大致成正比，且與輸出電流強度無關，因此馬鈴薯串聯個數與輸出電功大致成正比。此結果與公式 $P = I \times V$ 大約

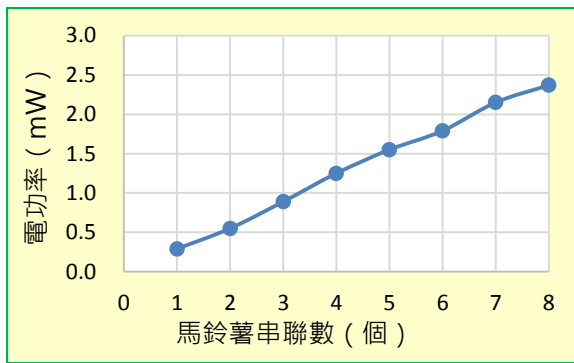


圖 13：馬鈴薯串聯數與電功率的關係

一致。

驅動負載

串聯五個以上 (含) 馬鈴薯電池可使小型鬧鐘的指針運轉，這是因為這些串聯電池輸出的電功率大於此鬧鐘的電功率，而且這些串聯電池輸出的電壓高於此鬧鐘的馬達運轉所需要的啟動電壓。

串聯三個馬鈴薯電池可使紅光 LED 發光的亮點直徑約 1-2 mm，串聯個數越多量點越大，串聯八個時亮點的直徑約 4-5 mm。由於紅光 LED 發光的正向偏壓為 1.63-2.03 V，串聯三個以上 (含) 馬鈴薯電池的電壓為 2.63 V 以上，超過紅光 LED 發光的正向偏壓，因此紅光 LED 會發光。

B. 並聯馬鈴薯電池

| 馬鈴薯並聯數 (個) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 電壓 (V), V | 0.92 | 0.90 | 0.88 | 0.88 | 0.87 | 0.86 | 0.84 | 0.84 |
| 電流 (I), mA | 0.32 | 0.49 | 0.75 | 0.98 | 1.23 | 1.51 | 1.77 | 2.02 |
| 電功率 (I × V), mW | 0.29 | 0.44 | 0.66 | 0.86 | 1.07 | 1.30 | 1.49 | 1.70 |
| 小型鬧鐘可運轉? | 否 | 否 | 否 | 否 | 否 | 否 | 否 | 否 |
| 紅光 LED 可發光? | 否 | 否 | 否 | 否 | 否 | 否 | 否 | 否 |

在利用三用電表測量並聯馬鈴薯電池的

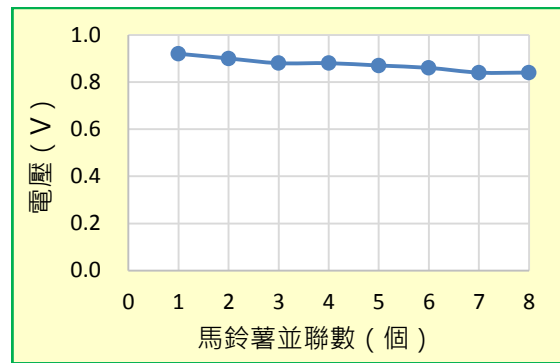


圖 14：馬鈴薯並聯數與電壓的關係

輸出電壓和電流時，與串聯馬鈴薯電池大致相同，電壓會逐漸上升且電流會逐漸下降。

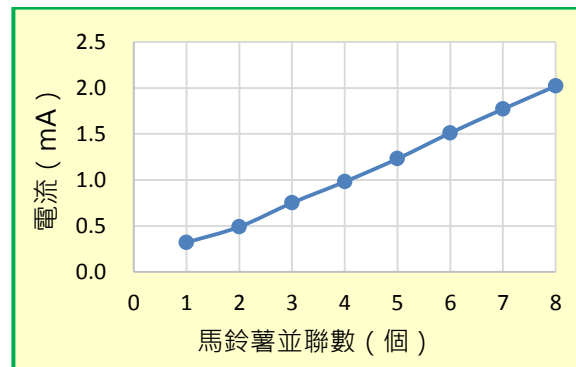


圖 15：馬鈴薯並聯數與電流的關係

輸出電壓、電流及電功率

由圖 14 可知，馬鈴薯電池並聯數與輸出電壓大小大致無關，但是並聯電池數目越多，輸出電壓大小有稍微下降的現象。

由圖 15 可知，馬鈴薯電池串聯數與輸出電流強度大致呈現正比關係。

由圖 16 可知，馬鈴薯電池並聯數與電功

率大致成正比的關係。由公式 $P = I \times V$ ，得知電功率 (P) 與電流 (I) 和電壓 (V) 的乘

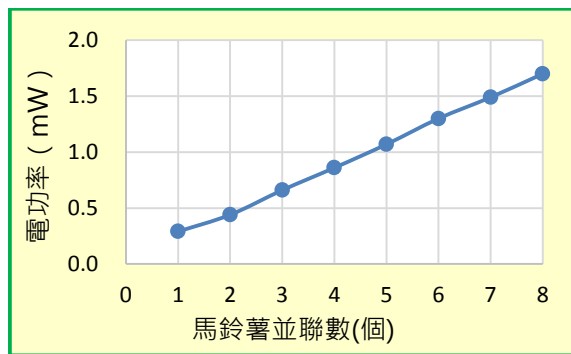


圖 16：馬鈴薯並聯數與電功率的關係

積成正比。由於馬鈴薯電池串連數與輸出電壓大小無關，且與輸出電流強度大致成正比，因此馬鈴薯串聯個數與輸出電功率大致成正比。

驅動負載

並聯八個馬鈴薯電池無法使小型鬧鐘的指針運轉。雖然並聯八個電池輸出的電功率大於此鬧鐘的電功率，但是這些電池輸出的電壓低於此鬧鐘的馬達運轉所需要的啟動電壓。

並聯八個馬鈴薯電池也無法使紅光 LED 發光。由於紅光 LED 發光的正向偏壓為 1.63-2.03 V，並聯多個馬鈴薯電池的電壓為 0.84-0.92 V，未超過紅光 LED 發光的正向偏壓（起始電壓），因此紅光 LED 不會發光。

C. 馬鈴薯內電阻

| | |
|-------------------------------|-------------------------|
| 馬鈴薯電池電壓 V_0 | 0.80 V |
| 外加電阻 R_1 | 200 Ω |
| 外加電阻兩側電壓 V_1 | 0.37 V |
| 電流 $I = R_1 / V_1$ | 1.85×10^{-3} A |
| 電池內電阻 $R_0 = (V_0 - V_1) / I$ | 232 Ω |

馬鈴薯電池的內電阻很高，原因可能是馬鈴薯主要成分為澱粉，澱粉分子為非導體。馬鈴薯電池的內電阻計算如下所示：

$$R_0 = [(V_0 - V_1) / V_1] \times R_1$$

$$R_0 = [(0.80 \text{ V} - 0.37 \text{ V}) / 0.37 \text{ V}] \times 200 \Omega$$

$$R_0 = 230 \Omega$$

安全注意與廢棄物處理

- 使用水果刀切馬鈴薯時，必須非常小心不要割傷手。
- 用過的馬鈴薯不可食用，可當作堆肥。
- 用過的華司與硬幣洗淨後，可再使用。

教師教學與家長指導提示

- 日常生活中，有很多水果和蔬菜含有電解質，像是蘋果、檸檬、橘子、榨過的果汁等等。老師及家長可以多準備不同的食品，讓學生或孩童有更多探索的機會。
- 本實驗馬鈴薯煮過或是搗碎，讓學生探究改變變因是否影響輸出的電壓與電流，並比較各實驗結果。同樣地，學生可以測試這些馬鈴薯電池的內電阻是否改變。

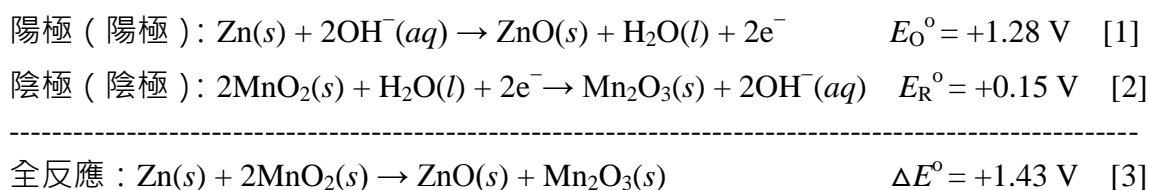
原理與概念

兩極半反應

常見的鹼性電池是由二氧化錳 (MnO_2)、鋅粉 (Zn)、炭粉及氫氧化鉀 (KOH) 水溶液所構成。在鹼性電池中，鋅粉和氫氧化鉀當作電池的陽極（負極），二氧化錳和炭粉作為電池的陰極（正極）。當鹼性

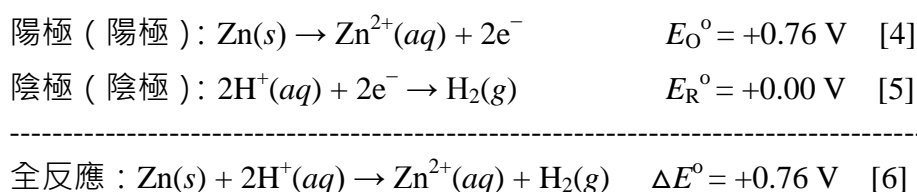
電池放電時，其兩極半反應如式[1]和[2]及全反應如式[3]所示。

一般鹼性電池的標準電壓為 1.5 V，而一個全新尚未用過的鹼性電池，其電壓值大約為 1.50 ~ 1.65 V，當有負載條件下的平均電壓為 1.1 ~ 1.3 V。鹼性電池的電流一般是 700 毫安培。



以化學角度觀之，馬鈴薯的成分有檸檬酸、碳酸鉀和磷酸，磷酸的含量只比蘋果少。而最重要的是，在蒸煮馬鈴薯時不可去皮，因為碳酸鉀應該在馬鈴薯烹調過程中被保留，否則，其會失去 7% 的碳酸鉀和 5% 的磷酸。

馬鈴薯電池的發電原理與乾電池大致相同，當馬鈴薯插入含銅的硬幣和表面鍍鋅的華司時，活性大的金屬鋅會失去電子而發生氧化反應 (陽極，負極)，電子通過負載到達硬幣 (僅供導電之用) 的表面，在硬幣表面有馬鈴薯含酸的電解質，氫離子接收電子而發生還原反應 (陰極，正極)，形成迴路而發電。當馬鈴薯電池放電時，其兩極半反應式如式[4]和[5]及全反應如式[6]所示。



馬鈴薯電池放電的實際電壓約 0.8-0.9

V，比理論值 0.76 V 還高，真正原因有待探討。

驅動負載

電功率 (Electric power) 是指每單位時間發電機或電池所產生的電能，電能能夠轉換成機械能 (馬達)、動能 (指針式時鐘)、

光 (燈泡)、聲音 (耳機)、

熱 (烤箱)、或化學變化 (電鍍)，電功率的單位為瓦特 (W)。電器設備 (負載) 能否被驅動或可否運作可由電池所輸出的電功率是否超過電器設備的功率來判定。而且有些負載，例如：指針式鬧鐘的馬達需要達到特定的啟動電壓才能運作。

發光二極體 (Light-Emitting Diode, LED) 只能夠往一個方向通電，稱為正向偏壓，當電流流過時，電子與電洞在其內重合而發出單色光，稱為電致發光 (electroluminescence) 效應。發光的光線波長、顏色與其所採用的半導體物料種類及故意摻雜的元素有關，電致發光物料有摻雜銅和銀的硫化鋅、藍色鑽石 (含硼)、砷化鎵等。放射波長 760-610 nm 的紅光 LED 發光之正

向偏壓為 1.63-2.03 V。通過 LED 的電流強度越大，發光的亮度越亮。

內電阻

電池內電阻是指使用電池時，電池內部

存在一種對電流阻礙的作用。在理想狀態中，電池是沒有內電阻，但在實際使用時，一定有存在內電阻，內電阻會消耗一部分的電能，這也是使電池發熱的原因。

電池內電阻的測量原理，如圖 17 所示，內電阻為 R_0 ，外加電阻為 R_1 ，當開關未關上（未加外電阻）時，三用電表測得電壓為 V_0 。當開關閉合（有加外電阻）時，三用電表測得電壓為 V_1 ，電池內電阻可以由式[7]求得：

$$R_0 = (V_0 - V_1) / I \quad [7]$$

若外電阻 R_1 為已知，則只需要測量 V_0 和 V_1 ，即可用 R_1 來運算而求得電池內電阻 R_0 。式[7]可改為式[8]：

$$R_0 = [(V_0 - V_1) / I] \times (V_1 / V_1)$$

$$R_0 = [(V_0 - V_1) / V_1] \times (V_1 / I) \quad [8]$$

由於外電阻 $R_1 = V_1 / I$ ，因此式[8]可改為式[9]：

$$R_0 = [(V_0 - V_1) / V_1] \times R_1 \quad [9]$$

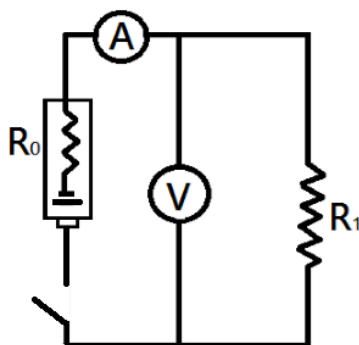


圖 17：測量電池內電阻的示意圖

事實上，不僅電池存在內電阻，像是三用電表、鱷魚夾電線等也有電阻存在。電池的內電阻取決於電池的大小、化學性質、使用時間、溫度和負載電流等，但通常只有幾歐姆左右。電池的內電阻通常隨電池使用時

間增長而增大，當電池使用較久時，內電阻會增大，進而導致對外輸出的電壓會下降。

■ 參考資料和讀物

1. Battery, Wikipedia, [http://en.wikipedia.org/wiki/Battery_\(electricity\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Battery_(electricity)).
2. Internal resistance, Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Internal_resistance.
3. Light-emitting diode, Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting_diode.
4. Electric power, Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Electric_power.
5. How to Measure the Internal Resistance of a Cell, eHow, http://www.ehow.com/how_10039516_measure-internal-resistance-cell.html.
6. How to Calculate Battery Internal Resistance, eHow, http://www.ehow.com/how_7492842_calculate-battery-internal-resistance.html.
7. 電壓源內阻測量儀，http://www.zeroplus.com.tw/E-paper/200902/image/200902ZEROPLUS06_voltage.pdf.
8. Alkaline Batteries, Electrical Engineering, <http://www.electrical4u.com/alkaline-batteries/>.
9. Ingredients: Potato, <http://www.oldtimeremedies.co.uk/2009/01/ingredients-potato.html>.

個人化的保養品——DIY 樂趣多

鍾曉蘭

新北市新北高級中學
教育部高中化學學科中心

chshirley2007@yahoo.com.tw

■ 簡介

在日常生活中我們常會使用許多的保養品，對保養品的認知與選擇，多數人仍然停留在“人云亦云”、或者“廣告這麼說”，那保養品成分是甚麼？到底我們花了大把銀子買來的保養品中是否藏著有害物質？保養品中的有效成分又是哪些呢？為什麼有些人願意買昂貴的手工肥皂卻不願使用市面上五花八門的沐浴乳呢？手工肥皂的優點與魅力在哪裡呢？市面上人人說讚的保養品真的適合每個人嗎？在這個專欄中我們將一一探討，為讀者解開保養品的神秘面紗。



圖 1：化學親善大使在科教館 DIY 活動（照片由蔡孟哲拍攝及提供，計畫補助單位為科技部）

在這個專欄裡，我們將陸續簡介保養品中常見的化學相關成分與用途，再介紹各種

保養品的實作步驟，希望讀者從專欄中瞭解並學會如何自行製作可使用抗菌洗手乳、防蚊液、乳液、卸妝油、天然面膜、凍膜、護手霜、護唇膏、洗髮精、手工香皂等日常生活即可使用的保養品與清潔用品，並說明其相關化學概念，希望讀者能對保養品與清潔用品有更多的認識，並享受自製個人化保養品的樂趣。圖 1 和圖 2 是已舉辦的保養品 DIY 部分活動。



2012.12.校慶之保養品DIY活動

圖 2：新北高中校慶之保養品 DIY 活動

■ 認識界面活性劑

油和水無法充分溶合在一起，因此需要使用「界面活性劑」作為油與水調和的中間物質。藉著界面活性劑分子的親油基 (hydrophobic group)，能與油結合的部分，和親水基 (hydrophilic group)，能與水分子

結合的部分，讓油能均勻地分布在水中。

以肥皂的結構為例，硬脂肪酸鈉 ($C_{17}H_{35}COO^-Na^+$) 的結構一端 $C_{17}H_{35}COO^-$ 是分子長鏈部分為親油基，可伸入油污並互

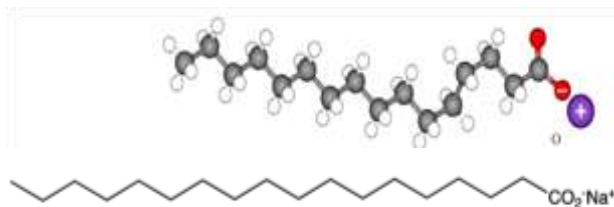


圖 3：肥皂的結構之一——硬脂肪酸鈉

(圖片來源：[Detergent](#), Wikipedia.)

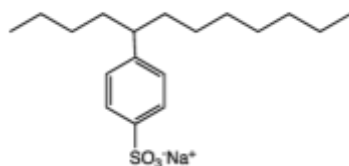


圖 4：合成清潔劑結構之一——長鏈十二烷基苯磺酸鈉

(圖片來源：[Detergent](#), Wikipedia.)

溶；另一端球狀帶電為親水基，可溶於水中。

常見的肥皂和清潔劑的結構如圖 3 和 4 所示。

在一般化工行可購賣並用於保養品 DIY 的界面活性劑，依功效而言，可以分成乳化劑、起泡劑、清潔劑、殺菌劑、柔軟劑和抗靜電劑等。依溶解性來區分，可分成水溶性界面活性劑和油溶性界面活性劑。依分子構造來區分，可分成陰離子型、陽離子型、兩性離子型及非離子型四種。各種界面活性劑的性質與用途，請參見表 1。

■ 自製簡易抗菌洗手精

科學原理

夏日炎炎，病菌容易因為高溫而孳長，老師或家長們可帶領孩子自製簡易的抗菌洗手精，一來使用可減少手部病菌的孳生，避免病從口入；二來也可以孩子們從自製簡易的洗手精中學會其中的科學原理與製作步驟，真可謂育樂合一啊！

表 1：各種界面活性劑的性質與用途

| 種類 | 用途 |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 陰離子型 | 臉部肌膚、頭髮、身體沐浴清潔之用。常見有十二烷基硫酸 (SLS) 鈉、烷基聚葡萄糖 (APGs)、胺基酸系列界面活性劑。 |
| 陽離子型 | 具有抗靜電及柔軟功能，常添加在潤髮乳及護髮產品中。此外衣物柔軟精也有添加此界面劑來使衣物變柔軟。 |
| 兩性離子型 | 兩性離子型界面活性劑兼具陰、陽離子界面活性劑兩種特性，作為清潔劑泡沫較為細緻，去油力適中、刺激度低，又兼具保濕與殺菌功能，常與陰離子界面活性劑一起添加。因具有溫和特性，常運用於嬰兒的清潔用品之中。常見有椰子油起泡劑。 |
| 非離子型 | 具有乳化、消泡、增稠和安定等作用，可讓保養品中的成份充分並均勻分佈在產品中，並被肌膚所吸收。 |

油和水無法充分溶合在一起，因此需要使用「起泡劑」(一種介面活性劑)作為洗手乳成分，讓皮膚上的油脂與水調和的中間人。藉著乳化劑分子的親油基(能與皮膚油脂結合的部分)和親水基(能與水分子結合的部分)

讓皮膚上的油脂能隨著搓洗溶入水中。一般我們稱為某某油起泡劑，是指從某種油品提煉出的起泡劑。常用於洗手精的起泡劑有：椰子油起泡劑、弱酸性起泡劑、胺基酸起泡劑、葡萄糖起泡劑、純橄欖起泡劑、兩性界面活性劑等。

一般洗手乳會添加少量的食鹽，原因是食鹽溶在水裡解離出的鈉離子能讓起泡劑作用時的泡泡柔細。在抗菌洗手精中常添加天然茶樹精油，是利用茶樹精油的天然抑菌功效。茶樹能有效對抗 26 種皮癬菌、32 種白色念珠菌、及 22 種小芽孢菌，且不會對人體組織產生損害。



圖 5：學生自製各種顏色的抗菌洗手精

添加玻尿酸原液（保濕功用）是洗後手較濕潤而不會過於乾澀（可不添加）。抗菌劑則使用化妝品級抗菌劑 DMDMH（dimethylol dimethyl hydantoin, DMDM hydantoin, 二甲基二甲醇內醯尿）能在水溶液中慢慢釋放甲醛，進而發揮功能、易添加、功能佳建議添加於清潔用品...等沖洗式成品，建議用量 0.6% 以下，即 50 mL 的洗手精最多加入 0.3 mL 的抗菌劑。若不使用抗菌劑則保存期限縮短為兩週。食用色素的添加是

依個人對產品設計的美觀與色彩的喜好而定，若強調純天然，可不添加色素與抗菌劑，產品會更加天然純淨。

器材與藥品

1. 塑膠瓶（50 mL）1 個
2. 咖啡匙攪拌棒 1 支
3. 白色湯匙 1 支
4. 塑膠杯 1 個
5. 食用色素 1 瓶
6. 弱酸性起泡劑 1 罐
7. 椰子油起泡劑 1 罐
8. 茶樹精油 1 罐
9. 化妝品級抗菌劑（DMDMH）1 罐
10. 精鹽 1 罐

製作步驟

1. 在透明塑膠杯中加入 40 mL 的水（約容器的八分滿）。
2. 在塑膠杯中加入以下的材料：
弱酸性起泡劑（約 2-3 mL）
椰子油起泡劑（約 2-3 mL）
茶樹精油 2 滴、
玻尿酸原液 2 滴
精鹽半匙（咖啡匙）



圖 6：學生小組發表自製的美麗保養品

抗菌劑半匙 (咖啡匙)

3. 慢慢地攪拌均勻混合，慢慢地你會發現水變得比較黏稠。

注意事項：這個過程不要攪拌得太快，否則會產生太多泡泡！

4. 加入 1-2 滴食用色素，和 1 滴香味精油 (天然精油如柑橘、薰衣草)
5. 將洗手精裝入塑膠瓶中。若有剩餘的洗手乳，請加點清水順便把你的手洗乾淨喔！
6. 在洗手精上標明使用期限 (從製作完成算起的三個月)。

■ 參考資料

1. 界面活性劑 · 潔膚油 DIY · http://data.cchs.chc.edu.tw/~guykiko/Web/cleansing_oil/activity/activity.htm。
2. 化學教育親善大使 - 動手動腦做化學 Ambassadors for Chemistry Education · <https://www.facebook.com/AmbassadorsforChemistryEducation>。

製備碘化亞銅與其一系列反應

施建輝

國立新竹科學園區實驗高級中學
教育部高中化學學科中心
schemistry0120@gmail.com

臺北市立第一女子高級中學周芳妃老師的「花裙子實驗」與本人兩年多前開發的「化學百寶箱」中的示範實驗，都涉及硫酸銅溶液與碘化鉀的反應。反應過程，顏色明顯變成紅棕色而且溶液變混濁；接著加入硫代硫酸鈉溶液後，紅棕色逐漸褪去，混濁顏色原預期呈白色（即碘化亞銅，CuI），但卻看到灰黑或灰白色，若不小心滴入過量硫代硫酸鈉溶液，溶液竟然變成無色澄清！過程中到底發生哪些反應？本人曾接獲多位老師的詢問，也已逐一回答，但想必仍有更多老師尚不知其所以然。這次藉著《臺灣化學教育》期刊的發行，於「高中化學教學疑難問題」專欄，將個人所知詳加敘述，供老師們參考。內容若有誤謬之處，也歡迎來信指正，使此一有趣的實驗能呈現真實面貌。

以下就是製備碘化亞銅的實驗步驟，並進行一系列的相關實驗。

■ 問 1：如何製備碘化亞銅？

1. 準備一杯 0.1 M 的 50 mL 硫酸銅溶液，如圖 1.1。
2. 以刮勺取少量碘化鉀晶體加入硫酸銅溶液中，攪拌，反應結果如圖 1.2 所示，記錄與說明如下：

記錄：溶液由淺藍色變成紅棕色混濁。

說明：溶液呈紅棕色，推測生成 I_3^- 。將硫酸銅溶液（註）倒入試劑瓶中，加入碘化鉀之後，再加入少許正己烷，搖盪，觀察有何現象發生。反應結果如圖 1.3 所示，左瓶為原有之硫酸銅溶液，中瓶為加入碘化鉀之後，溶液變色並呈混濁現象，右瓶為加入正己烷之後，搖盪、靜置，上層呈紫色，表示生成碘分子（ I_2 ）。這些反應如式[1]和[2]所示：

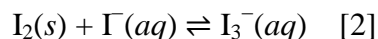
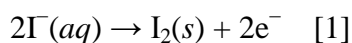


圖 1.1



圖 1.2

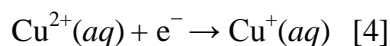
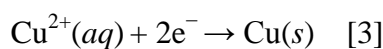


圖 1.3

即碘離子 (I^-) 氧化形成碘分子 (I_2)， I_2 再與 I^- 反應生成 I_3^- (紅棕色)。

註：此處硫酸銅溶液濃度為 0.01 M，使顏色變化容易觀察。

氧化還原反應必定同時發生，在式[1]中所述為氧化反應，表示必有另一反應物進行還原反應，此處應該是由銅離子 (Cu^{2+}) 扮演還原反應的角色，其可能反應有二，如式[3]和[4]所示：



燒杯中並未見到金屬銅的生成，故推測應該是進行反應[4]，也就是由這個反應製備出亞銅離子 (Cu^+)。



圖 2.1

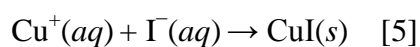


圖 2.2



圖 2.3

反應[1]中的 I^- 與反應[4]生成的 Cu^+ 結合形成 CuI 沈澱，但因存在紅棕色的 I_3^- ，故無法看出 CuI 沈澱的顏色，化學反應如式[5]所示：



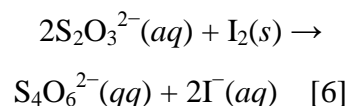
■ 問 2：氯化亞銅沈澱是什麼顏色？

1. 準備一瓶 1 M 的硫代硫酸鈉溶液，如圖 2.1 所示。
2. 以滴管吸取硫代硫酸鈉溶液，逐滴滴入問 1 之燒杯中，一邊滴一邊攪拌，記錄與說明如下。

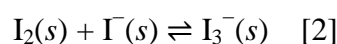
記錄：紅棕色逐漸褪去，如圖 2.2 所示。

說明：硫代硫酸鈉與碘分子 (I_2) 進行以下之

氧化還原反應，如式[6]所示：



因為碘分子 (I_2) 耗去，反應[2]向左進行，所以紅棕色逐漸褪去。

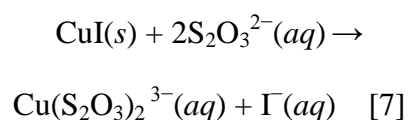


若是沈澱呈灰白色或灰黑色，表示其中仍有碘晶體 (黑色) 存在，持續加入硫代硫酸鈉溶液，直到沈澱物呈白色，如圖 2.3 所示。

■ 問 3：若快速滴入硫代硫酸鈉溶液，則白色沈澱會消失。為什麼？

說明：在「溶解度積」的教學單元中，都會提及以下一段話：氯化銀沈澱能溶於濃氨水，而溴化銀與碘化銀沈澱不溶；溴化銀沈澱能溶於硫代硫酸鈉溶液，而碘化銀沈澱不溶；碘化銀沈澱能溶於氰化鈉溶液。

白色沈澱消失，如圖 2.3 所示，顯然生成可溶於水的物質，應該就是形成錯離子，其反應如式[7]所示：



碘化銀沈澱不溶於硫代硫酸鈉溶液，為何亞銅離子 (Cu^+) 能溶？銅與銀皆為 11 族（或 1B 族）元素，銅位於第四週期，銀位於第五週期，故銀離子與碘離子鍵結比銅離子與碘離子鍵結有較大的共價性，需更強的配基才能使碘化銀溶解，而碘化銅共價性較小，以硫代硫酸鈉作為配基即可溶解碘化銅。

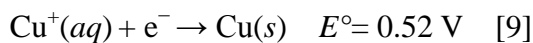
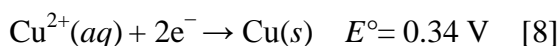
■ 教學上的應用

1. 於溶解度規則表之教學，可進行碘化亞銅沈澱的示範實驗。
2. 第一列過渡元素的電子組態，常強調 Cr 與 Cu 為符合 d 軌域半填滿或全填滿較穩定，所以 Cr 的價軌域電子組態為 $3d^5 4s^1$ 而非 $3d^4 4s^2$ ，Cu 的價軌域電子組態為 $3d^{10} 4s^1$ 而非 $3d^9 4s^2$ ，老師要求學生記下來。藉此示範實驗，可印證 Cu 的電子組態為何是 $3d^{10} 4s^1$ 。

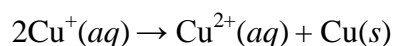
說明：過渡元素的鹽類常有不同顏色，是因其 d 軌域尚未填滿，電子於 d 軌域躍遷時，會吸收或放出可見光。由於碘化亞銅為白色沈澱，顯示亞銅離子 (Cu^+) 的 3d 軌域為全填滿狀態，亦即其價軌域電子組態為 $3d^{10}$ ，由此回推，原先 Cu 的電子組態為 $3d^{10} 4s^1$ ，因此其沉澱物與鋅離子 (Zn^{2+}) 相似，不吸收與放出可見光而呈白色。

3. 高中化學實驗室為何很少看到甚或看不到亞銅離子的相關鹽類？

說明：銅離子與亞銅離子的標準還原電位如式[8]和[9]所示：



由式[8]和[9]兩式得式[10]：



$$\Delta E^\circ = 0.18 \text{ V} \quad [10]$$

$\Delta E^\circ > 0$ ，表示這是自發性反應，也就是在水溶液中，亞銅離子會進行自身氧化還原反應，故實驗室難以保存含亞銅離子的相關鹽類。在此特別說明，在氣態時，亞銅離子的安定性是大於銅離子。

行動學習模式在化學教育之應用研究

翁榮源

靜宜大學應用化學系

zyown@pu.edu.tw

■ 前言

科技的快速發展與進步，多媒體智慧型手機已經是大學校園裡年輕學子必備的時髦玩意兒。如何將化學教育活動從教室轉移至行動裝置上，一直是化學教育工作者的夢想，讓學生在各種不同的時間與空間環境中，隨時的進行化學知識學習，而老師可以設計最適合的教學情境與學習內容供給學生，進行有意義的學習活動與互動，讓整個學習成效提升，就是我們希望達到的目標。著重個人化的學習控制與歷程，以學習者為中心，讓學習者可以在任何需要的時候學習，達到處處可以學習的境界，已經開始萌芽。行動學習迎接新時代的化學教育，已經開始發揮核心作用。

我們將傳統教室中的教材移植到 M-learning 模式中，讓學習者可以隨時隨地的進行學習，不需要被環境的因素限制住，進而達到較好的學習成效。大學學生們不再滿足於課堂面對面的傳統教學模式，希望能夠盡量的利用一些空檔零碎時間進行學習，例如通勤時間、等待的空檔時間、校園中間逛等小片段時間皆可運用，而這就是行動學習行為模式進入的時機。學習情境可在任何時間、任何地點發生，經由行動裝置將使學習的範疇更加多元化。我們將生活化學單元

中的奈米化學知識，透過輕鬆、活潑的方式再配合多媒體的文字、影像、聲光、動畫、等特性，透過多媒體簡訊傳送給學習者，使學習者提昇學習興趣與動機，並提升學習成效。

■ 理論探討

行動學習行為跨越區域限制，它充分發揮了可攜技術所提供的學習便利性，提供給學習者機動性、方便性，並可提供各種不同的學習素材，有著傳送教學上立即性的回饋，這將是教學者可以善加利用的特性。行動學習是結合 E-learning 與行動電腦所產生之學習，並且能使學習者經由行動設備，隨時隨地體會並享受教育之經驗，使教學能夠從傳統教室延伸至戶外之真實世界。美國大學校長 Abbott 就曾說「行動科技可以讓我們越過教室的牆，延伸我們的學習。」學習不再是侷限於特定時間或場域的活動，亦或僅止於某個時間或場域中的知識應用。

■ 研究設計與方法

研究流程

本研究流程如圖 1 所示。

研究工具

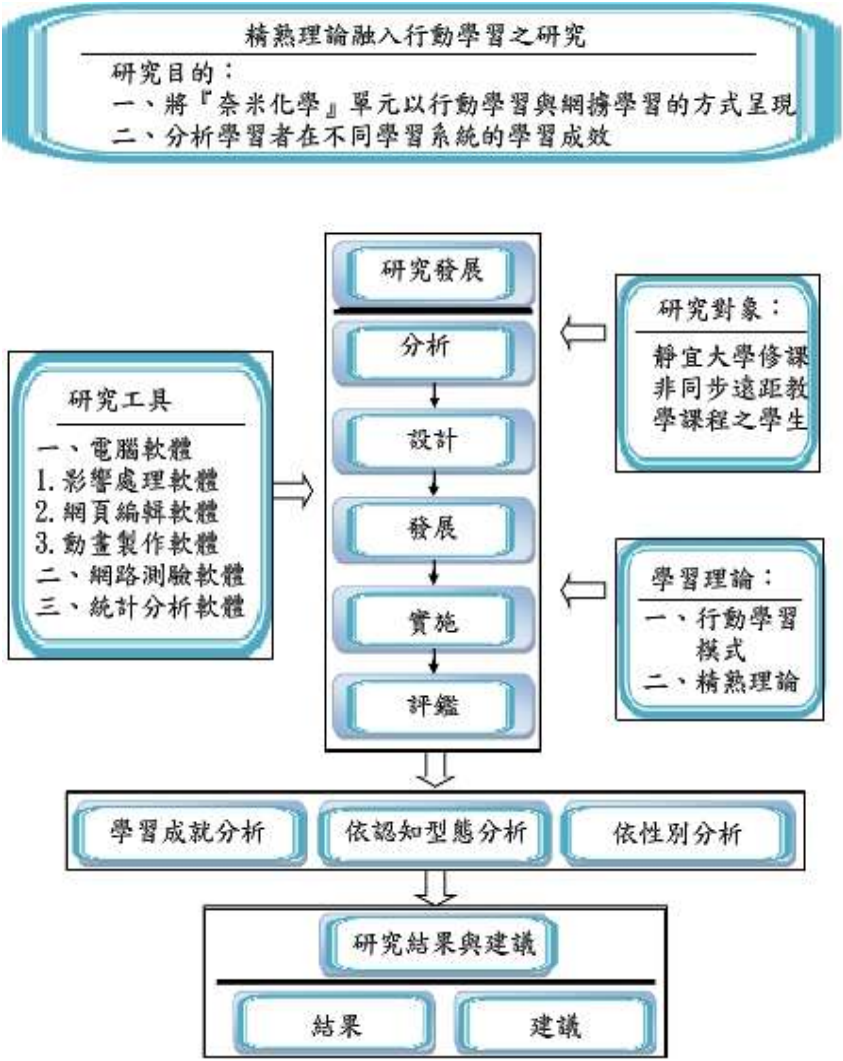


圖 1：研究流程

(一) 奈米化學課程內容

本研究奈米化學單元前測測驗主要以「微小尺寸的世界」、「奈米的特性&效應」、「奈米&生活」、「奈米科技的應用」、「奈米的未來」五大概念的內容為主。本研究實驗組以行動學習模式進行學習，控制組則以傳統教室學習模式學習。兩組內容相同，唯內容呈現方式不同，並且為了避免統計誤差，單元學習時間皆控制為兩個小時。

(二) 課程前測後測

本研究的學習成就測驗以教學內容相關

觀念為主，命題取材自自美國「ACS Division of Chemical Education Examination」。其 ACS 測驗試題的信度係數為 9.0。線上測驗使用中文翻譯版本，並於編製時經由四位化學教育專家共同檢驗，以求其效度。後測測驗於學習後實施，藉此比較實驗組與控制組學生的學習成效。

(三) 一般傳統奈米化學學習模式

主要內容以生活化學中較新穎的「奈米化學」知識為教材內容，並依據奈米化學相關文獻、參考自然科學相關書籍與網路資料，在傳統學習內容的設計上是以文字&圖片&動畫呈現學習內容外，在介面的設計也盡量以柔和的背景與鮮明的色彩來吸引學習者的興趣，如圖 2 (三張圖) 所示。



圖 2：傳統奈米化學學習



圖 2：一般傳統奈米化學學習模式

(四)行動學習奈米化學模式

在行動學習模式設計方面，則利用 Flash Lite 以 mms 設計為多媒體簡訊模式，呈現簡潔；另外動畫與設計的版面、圖片有絕對的相關對應，增進學習與閱覽的效果。在行動學習模式製作上，在介面的設計原則依據手機問卷與現行手機功能規範，最佳之螢幕解析度以 640*480 較為適合，學習小主題之檔案大小控制於 300kb 以下，以利傳輸與學習者接收；頁面呈現方式以活潑簡單的方式，以螢幕的觸控式按鍵來加以控制學習內容的播放時間，在行動學習模式以小主題為學習目標，以免教學資料過多，學習文字資料盡量減少，學習內容以不超過三頁之原則作為主要設計考量，減少學習者操作的麻煩。行動學習奈米化學模式，如圖 3 (七張圖) 所

示。



圖 3：行動學習奈米化學模式

我們將精熟學習模式的理念融入基本教學模式，結合學習、評量與回饋、充實或補救的教學歷程，於每一個小單元的學習完畢後，全部學習者接受小測驗的評量，如學習者在該測驗上的答對率達到教學者事先預訂的精熟標準者，即被視為精熟學習者，教學者便可針對這些學習者進行充實活動的措施，以維繫其精熟的程度；若評量結果未達精熟標準者，即被視為學習不夠精熟，便會給予個別化的補救教學，以矯正其學習錯誤的地方，矯正之後，必須再接受一次小測驗

的評量，如果學習者已達精熟標準，則進入第二概念的教學和學習；如果學習者未達精熟標準，則會直接給予正確答案之後，再進入第二概念的教學和學習。學習只是「快慢」不同而已，即是要給予「學習快」的學習者進一步擴展的機會，同時，也要提供「學習慢」的學習者有補救的機會。

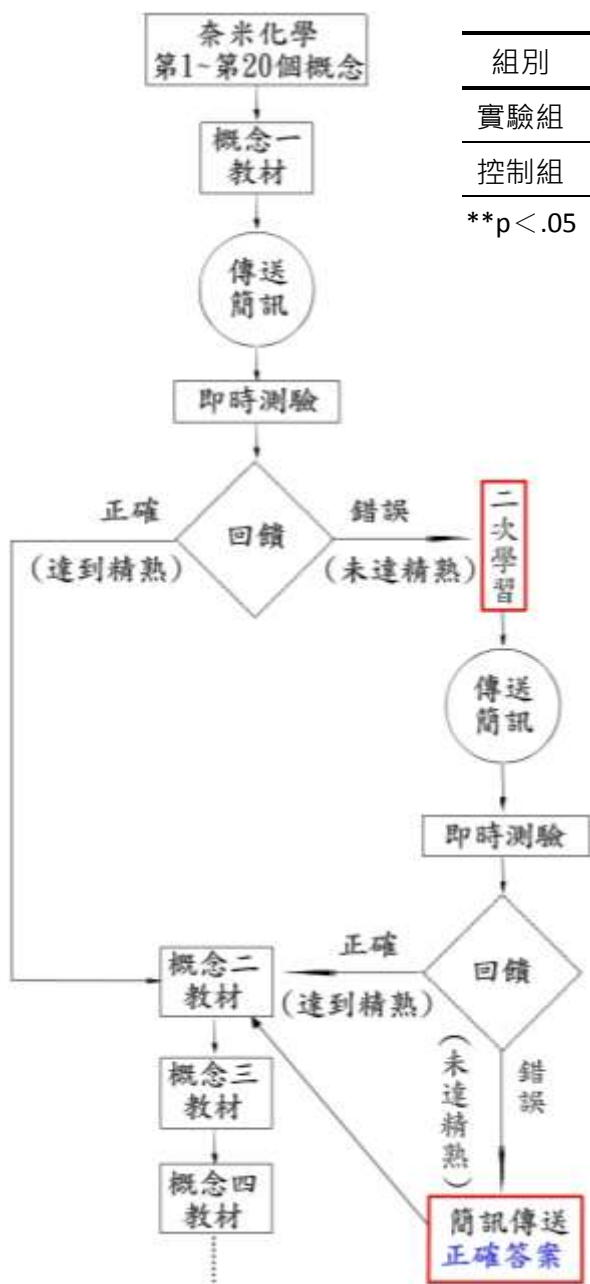


圖 4：教學流程

如圖 4 所示。

■ 結果與討論

一、學習成效分析

(一)奈米化學單元實驗組與控制組之學習成效分析 (表 1)

表 1：奈米化學單元實驗組與控制組之學習成效分析

| 組別 | 人數 | 後測分數 | 標準差 | df | t | p |
|-----|----|-------|-------|-----|-------|--------|
| 實驗組 | 63 | 88.57 | 10.75 | 124 | 2.332 | .003** |
| 控制組 | 63 | 82.85 | 16.20 | | | |

**p < .05 達顯著差異

實驗組與控制組兩組學習者在學習成效分析方面，以兩組的後測成績作獨立樣本的 t 檢定，由下表的分析結果顯示， p 值為 .003 小於 .05，達統計之顯著差異。顯示行動學習模式學習成效較好。

行動學習模式使用精熟學習理論，並於學習過程中結合教學、診斷評量、與補救教學，使學習者的知識建構更加完整，並讓學習者面對同樣的教材時，可依自己的學習速度，完成課程內容的學習。此外行動學習簡訊上的一大特性為擁有極高的即時性與便利性，能在「anytime, anywhere」使用零碎片段的時間充實自我，再則配合教材內容的設計，更能使學習者充分理解、吸收知識，突顯成效。學習過程中教師給予正向的肯定，等於是肯定學習者的能力，學習者會想進一步的學習，學習動機會自然提高。學習者的動機和自我激勵效能，能從教師的績效回饋中提升。

(二)探討個人相關變因對行動學習之學習成

效的影響

1. 依認知型態比較實驗控制組的學習成效分析 (表 2)

表 2：依認知型態比較實驗控制組的學習成效分析

| 認知 形態 | 組別 | 後測平 均分數 | SD | df | t | p |
|----------|---------------|------------|-------|----|------|--------|
| 場地 獨立 | 實驗組 (n=31) | 92.26 | 9.20 | 60 | 2.18 | .001** |
| | 控制組 (n=31) | 84.52 | 17.48 | | | |
| 場地 依賴 | 實驗組 (n=32) | 85.31 | 10.77 | 62 | 1.13 | .055 |
| | 控制組 (n=32) | 81.56 | 15.47 | | | |

** $p < .05$ 達顯著差異

學習者之場地獨立性越高，其學習成就會愈高。場地獨立的人較能夠從複雜的環境脈絡中找出隱藏的意思。場地獨立的學習者，較能主動的自我學習，且彈性的學習路線較有幫助其學習。本研究之行動學習模式之教學法比較個人化，較不強調對於社會階級及結構比較敏感的傳統課堂教學法，讓學習者依自己的速度，完成所要學習的課程內容，支援學習者進行彈性的學習與思考，特別有利於場地獨立的學習者進行學習，所以行動學習模式之教學法的成績會較好，研究中證實此教學法對學習者會有所助益。

2. 依性別比較實驗控制組的學習成效分析 (表 3)

就性別而言，本研究發現男生在行動學習模式之學習成效優於傳統教室學習模式。男性學習者中絕大多數擁有觸控多媒體手機，心理上認為使用行動裝置進行學習時能

滿足其虛榮感，一般男生都想要提升其在所有同學間的形象地位，在使用多媒體簡訊學習時，加重其好學不倦之形象，此外，男生與女生在使用智慧型手機的使用習慣不同，女性習慣將手機視為社交工具，不將手機作為主要的資訊來源，但男性則會將注意力都放在手機上，如玩遊戲亦或融入自身需要的應用軟體等，將手機視為主要的資訊來源，

因此男性會花較多的時間專注於智慧型手機上，因此更加提升其學習動機。對於行動學習只要學習者認為是有用的、有興趣的事務，不論其接受度或推廣效率都會增加。因而男性的學習動機容易於習慣中提升，導致其學習成效較好。

表 3：依性別比較實驗控制組的學習成效分析

| 性別 | 組別 | 人數 | 後測平均分數 | 標準差 | df | t | p |
|----|-----|----|--------|-------|----|------|--------|
| 男 | 實驗組 | 27 | 88.15 | 11.45 | 46 | 2.18 | .035** |
| | 控制組 | 28 | 79.29 | 18.04 | | | |
| 女 | 實驗組 | 36 | 87.78 | 10.17 | 69 | .705 | .052 |
| | 控制組 | 35 | 85.71 | 14.20 | | | |

** $p < .05$ 達顯著差異

■ 結論

一、學習成效分析

整體而言，行動學習模式確實能有效提升學習成效，特別適合於主動學習性較高、對新的教學法特別感興趣的學習者，以手機作為教學引發其注意，達到誘發學習者主動學習之目的，進而提升學習成效。而且其中簡訊的即時回饋功能，更能增添學習的即時性，即時的補教教學能適時的增強學習者對知識的建構。尤其能將化學知識與日常生活習慣產生聯結，行動學習是非常適合採用的學習模式。行動學習為未來教室或終身學習勾勒出一幅美麗的願景，就整體分析可知，「行動學習模式」可以輔助現行的化學教學行為，促進學習者學習化學的知識成長，是值得推廣的方式。

二、相關變因對行動學習學習者之學習成效影響

場地獨立以及男性的學習者的學習成效在行動學習明顯優於傳統教室學習，且達顯著差異。研究發現場地獨立的學習者與男生都顯示較適合行動學習模式，可能是這些學習者的生活型態更容易被行動學習模式激發出來學習動機，進而提升學習成效。

高中論證教學設計 ——以蠟燭燃燒水面上升為例

許綺婷

國立臺灣師範大學科學教育研究所

國立屏東高級工業職業學校

hsu9716@gmail.com

■ 學習論證的重要性

科學論證有兩種意義，其一為「知識的辯護」，其二為「說服」(Jimenez-Aleixandre & Erduran, 2008)。在科學探究的過程中往往需要用到論證，包括針對問題產生假說，設計實驗以獲取證據的假說演繹論證過程，以及如何說服科學社群接受自己的研究成果的論證過程。因此，高中生若沒有學習論證，則無法學到探究科學知識的完整過程。有鑑於此，本文目的在於提供一個高中論證教學設計，以作為論證教學的參考。

■ 論證教學設計

許綺婷 (投稿中) 提出一個高中科學論證教學模式，由察覺一個困惑的觀察而提出問題，然後進入假說演繹論證過程 (針對問題產生假說，設計實驗以獲取證據來支持假說)，接著進入社群討論之論證過程 (透過說服、溝通以討論出最適當的假說)，最後得出結論。此模式共分四個階段，包括提出問題、假說演繹論證過程、社群討論之論證過程與結論。本文乃依據此模式並修改 Lawson (2002) 而開發出以化學科「蠟燭燃燒水面上升」為例的論證教學設計。為使學生熟悉

論證結構，以利後續的論證教學，在教學前增加預備情境，先教導論證結構並清楚說明論證的如果/則/所以 (If/then/Therefore) 型態。以下將從預備情境開始，依序從提出問題、假說演繹論證過程、社群討論之論證過程最後得到結論等方面說明本文之論證教學設計內容。

一、預備情境

(一)先以虎克定律為例，清楚說明提出假說，設計實驗，做出預測，比較觀察值和預測是否符合，是否支持此假說，並清楚說明論證的 If/then/Therefore 型態。

如果 (If) ... 彈簧長度是造成彈簧伸長量不同的原因【提出假說】

而且...當控制其它變因時，使兩個彈簧的長度不同【設計實驗】

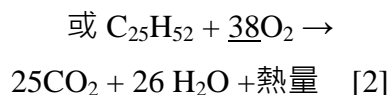
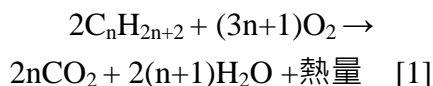
則 (then) ... 彈簧伸長量應該會不同【預測】

但是...最後的結果彈簧伸長量是相同的【比較觀察值和預測是否符合】

所以 (Therefore) ... 彈簧長度的假說可能是錯誤的【是否支持此假說】

(二)蠟燭為石蠟族 C_nH_{2n+2} 的混合物，通常以

$C_{25}H_{52}$ 代表。蠟燭與氧燃燒，生成二氧化碳及水，可讓學生練習平衡方程式。其燃燒反應如式[1]和[2]所示：



二、提出問題：蠟燭燃燒水面為何上升

教師先示範蠟燭燃燒的實驗，在裝了水的水盆當中有一根燃燒中的蠟燭，將廣口瓶反轉蓋在水盆當中的蠟燭後發現，蠟燭在瓶裡還會燃燒一會兒時間，這時水慢慢上升，但是當燭火熄滅後，水面則快速上升，上升的高度比剛才還高。讓學生透過這樣的觀察而引發他們提出一個問題：水面為何上升？

三、假說演繹論證過程

根據實驗現象可以引導學生對於「水面為何上升」的問題，提出多種假說，包括(1)耗氧假說 (H1)，(2)空氣熱漲冷縮的假說 (H2)，(3)水膨脹的假說 (H3)。接著學生針對假說設計實驗，而後經由演繹推理做出預測，將實驗所得的觀察值和預測加以比較，以得到是否支持假說的結論，並請學生將論證過程以 If/then/Therefore 推理來呈現。

(一)耗氧假說 (H1)：燭火消耗瓶中的氧氣而生成二氧化碳及水蒸氣，水蒸氣於燭火熄滅冷卻後會凝結成小水滴附著在器壁上。生成的二氧化碳是所用掉氧氣體積的 25/38，加上二氧化碳微溶於水，因此瓶中的氣體體積應略為減少，水面因而上升。

If---若耗氧，燭火消耗瓶中的氧氣而生成二氧化碳及水蒸氣

And---若使用大廣口瓶

Then---消耗氧氣較多，水面應上升較多

And---看到水面上升量較多，

Therefore---耗氧假說被支持。

(二)空氣熱漲冷縮的假說 (H2)：蠟燭的熱使空氣膨脹，當燭火熄滅後溫度下降，空氣體積縮小，水面因而上升。

If---蠟燭的熱使空氣膨脹，

And---當 4 根蠟燭燃燒時，

Then---由於溫度上升愈多，空氣應膨脹愈多，當燭火熄滅後溫度下降，空氣體積應縮小更多，水面應該上升更多。

And---看到水面上升量較多，

Therefore---空氣熱漲冷縮的假說被支持。

(三)水膨脹的假說 (H3)：蠟燭的熱使水膨脹，水面因而上升。

If---若蠟燭的熱使水膨脹，

And---拿另一個燒杯裝水，當加熱燒杯，使水膨脹，

Then---水面應該會上升，

But---看到水面沒有上升，

Therefore---使水膨脹假說不被支持。

(註：水雖會膨脹，但不足以測量到水面上升)

四、社群討論之論證過程

(一)班級社群的討論

在討論中，H1、H2、H3 的支持者先各自提出假說演繹論證的結果 (H3 假說暫時不成立，而 H1、H2 暫時成立)，接著支持 H1、

H2、H3 的人仍可以各自提出更好的解釋來說服別人相信自己的假說，或是去反駁別人的假說，並針對別人對自己的質疑提出辯護。此時教師是基於引導的角色，不要過度介入或干涉學生的想法，讓學生自由討論。

1. 耗氧假說 (H1):

演繹論證的結果，耗氧假說 H1 雖暫時成立。但別人對此假說可能提出以下的反駁：

If---若耗氧，燭火消耗瓶中的氧氣而生成二氧化碳及水蒸氣

And---當 4 根蠟燭燃燒時，由於瓶中的氧氣量是固定的，4 根蠟燭消耗的氧氣和 1 根蠟燭消耗的氧氣量相同，而 4 根蠟燭和 1 根蠟燭生成二氧化碳及水蒸氣量也相同

Then---水面上升量應該相同，

But---看到水面上升量較多，

Therefore---耗氧假說不被支持。

針對別人的反駁，耗氧假說支持者可以針對別人對自己的質疑提出辯護 1 如下：上述結果是因空氣熱脹冷縮的干擾，若將這個干擾因素去掉，耗氧假說應仍正確。

If---若耗氧，燭火消耗瓶中的氧氣而生成二氧化碳及水蒸氣，但有空氣熱脹冷縮的干擾，

And---若我將這個干擾因素去掉，耗氧假說應仍正確。為避免在加熱當時空氣已經膨脹後再反轉廣口瓶，故直接先反轉廣口瓶，再以放大鏡聚光加熱至 4 根蠟燭燃燒。而且原先水面可以弄高一些，以避免空氣在膨脹時逸出。

Then---氧氣用完，水面上升量應該相同，

And---看到水面上升量相同，

Therefore---耗氧假說被支持。

2. 空氣熱漲冷縮的假說 (H2)

對方的反駁：如辯護 1 所示，僅單純的考慮耗氧假說時，它是正確的，所以水面上升應是耗氧假說造成的。

針對別人的反駁，空氣熱漲冷縮假說 (H2) 的支持者可以針對別人對自己的質疑提出辯護 2 如下：好，那我們也僅單純的考慮空氣熱漲冷縮假說時，此假說應仍正確。

If---空氣熱脹冷縮是水面上升的原因，但不巧有蠟燭燃燒化學反應的干擾

And---若我將這個干擾因素去掉，空氣熱脹冷縮假說應仍正確。為避免蠟燭燃燒化學反應的干擾，先用燈泡通電發熱，再反轉廣口瓶，

Then---水面應上升

And---看到水面上升，

Therefore---空氣熱脹冷縮假說被支持。

3. 水膨脹的假說 (H3)

演繹論證的結果，水膨脹的假說 H3 暫時不成立。可以考慮以下幾種情況：(1)H3 的確不成立；(2)需修改 H3；(3)因為實驗誤差或設計不良才讓 H3 暫時不成立，再做一次實驗驗證。

五、社群討論決定最後結論

在這社群討論溝通的過程中，必須權衡證據的輕重，考慮到是否有其他的另有假說可以導致相同的證據？是否別人的假說比自己的更適合，是否應該修改自己的假說？建議教師基於引導的角色，不要過度介入或干涉學生的想法，讓學生自由討論出他們所認

可的假說。最後，教師再來總結說明目前較為科學社群所接受的假說（或較為合適的假說）為何，讓學生比較一下是否有所不同，讓學生能了解到是否在班級討論中大家欠缺考量某些的因素。教師可以用來總結說明目前較為合適的假說的過程簡述如下：

1. 水膨脹的假說，基於演繹論證的結果不成立，難以服眾，故放棄此假說。
2. 耗氧假說、空氣熱漲冷縮的假說，基於演繹論證的結果成立，雙方假說均有一定的解釋力，且發現若將干擾因素去掉，雙方假說仍正確，故雙方假說都是可能原因。因此達成結論如下：水面上升的原因，可分以下兩個部份來看：

(1)蠟燭在瓶裡還會燃燒一會兒時間，這時水慢慢上升，是因為消耗氧氣。燭火消耗瓶中的氧氣，但會生成二氧化碳及水蒸氣。生成的二氧化碳是所用掉氧氣體積的 25/38（註 1），加上二氧化碳微溶於水，因此瓶中的氣體體積應略為減少，水面因而上升。但由於燃燒後溫度較高，二氧化碳溶解的量應不多，故而水面上升量應不多。因此消耗氧氣並非水面上升的主要原因，而是次要原因。若要明顯看到耗氧效應，可設計如下的實驗：

If—若耗氧，燭火消耗瓶中的氧氣而生成二氧化碳及水蒸氣

And—加入適量的氫氧化鈉溶液，大部分的二氧化碳會直接與氫氧化鈉生成碳酸鈉；少部分的二氧化碳則先溶於水生成碳酸，碳酸再與氫氧化鈉生成碳酸鈉，

Then—當氧氣用完時，水面應上升更多，

And—看到水面上升量更多，

Therefore—耗氧假說被支持。

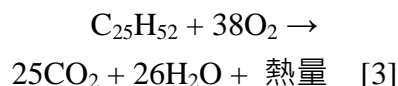
(2)當燭火熄滅後，水面快速上升則是因為空氣熱脹冷縮的關係。在廣口瓶罩住蠟燭時，蠟燭的熱已經使空氣膨脹，當燭火熄滅後溫度下降，空氣體積縮小，水面因而上升，這是水面上升的最主要原因。但此處仍須多考量一個因素：蠟燭燃燒為放熱反應，也能造成空氣熱脹冷縮的效果造成水面上升。

■ 結語

本文之教學設計強調結合假說演繹與社群討論之論證過程，在教學設計中可以看出，假說演繹的論證與社群討論的論證是同等重要的。學生經由提出假說、設計實驗以獲取證據來支持假說，而透過接下來的社群討論，不管是在維護自己的假說、接納別人或修改自己的假說時，都能藉由溝通論證得到更適合的結論，讓學生經歷類似科學家的論證過程。近來高中科學課程的課綱開始有論證的意涵出現，顯示論證已經受到重視，然而對於如何進行論證教學卻未清楚說明。因此希望藉由此教學設計的提出，能提供教師作為論證教學的參考。

■ 附註

註 1：蠟燭與氧燃燒，生成二氧化碳及水。其燃燒反應如式[3]所示：



■ 參考資料

許綺婷（投稿中）。探究為主的高中科學論證模式架構。

- Jiménez-Aleixandre, M. P., & Erduran, S. (2008). Argumentation in science education: An overview. In S. Erduran & M.P. Jimenez-Aleixandre (Eds.), *Argumentation in science education: Perspectives from classroom-based research* (pp. 3-27). Dordrecht, the Netherlands: Springer.
- Lawson, A. E. (2002). Sound and faulty arguments generated by pre-service biology teachers when testing hypotheses involving un-observable entities. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(3), 237-252.

久久酒科學

陳政修^a、傅麗玉^{*b}

^a 國立清華大學化學系

^{*b} 國立清華大學師資培育中心

lyfu@mx.nthu.edu.tw

■ 原住民酒文化

在清朝文學家《宋琬題戴蒼畫陳階之小像和王阮亭韻》所著一文中提及：「醇酒美人堪送老，唯學信陵君」。由此可知在漢人眼裡醇酒與美人並駕齊驅。

酒在原住民文化中扮演著極為重要的角色，用來敬獻給祖靈或有靈性的萬物，也會在喜慶時餽贈給親友們當作禮物。現今台灣的原住民族，除了達悟族，各族多以小米為主食，皆有其小米文化傳統與小米酒文化。魯凱族和排灣族就地取材，使用紅藜做酒



圖 1：喜宴上的小米酒
(傅麗玉攝影)

麴；排灣族的小米祭是為慶祝小米豐收，也是排灣族計算年月的開始，傳統排灣族以所經過小米祭次數計算年齡。過去原住民族的小米酒是非常珍貴的，因為小米酒的釀造非常不容易，整個過程必須非常謹慎小心，因

此過去原住民族人不隨便喝酒，只有在規範的情況，例如慶典、祭典、婚禮（圖 1）、祈福、狩獵歸來、換工、道歉賠罪或是有尊貴賓客的時候，才會釀酒、喝酒。根據泰雅族的 gaga（社會倫理規範），喝酒前，先以手指沾酒，向土地點灑三下，請求祖靈庇佑。

近代大量製造的酒進入部落後，很容易拿到酒，導致有些族人不小心染上酒癮，最後健康受損，又造成來更多的問題。過去有些社會大眾有「原住民族人愛喝酒」的錯誤印象。這幾年大家在瞭解原住民族小米文化與喝小米酒的文化意義之後，已經修正許多錯誤印象。

■ 小米酒的釀造

因不同原住民族群有著不同的釀酒方式，在此我們舉泰雅族為例。泰雅族人們用小米來釀造，在這個過程當中會加入一個相當重要的材料——酒麴，如圖 2 所示。而在加入麴後，經過一段時間的等待，小米竟變成了香醇的酒，其中究竟產生什麼化學反應？

醣類俗稱碳水化合物，由於醣類於自然界中種類繁多，可以從它們的分子構造可以區分成單醣、雙醣和多醣。單醣無法分解成更小的碳水化合物，所以稱單醣是醣類中最

小的分子，則雙醣則是由兩個單醣經過脫水反應而成，多醣，顧名思義就是由多個單醣（通常是指超過十個單醣分子）經過多次的脫水反應而形成。單醣常見的有生物系統中



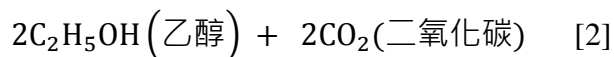
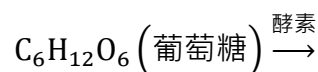
圖 2：成熟的小米和酒麴
(傅麗玉攝影)

常被利用的葡萄糖、半乳糖及果糖；雙醣則是有麥芽糖、乳糖和蔗糖；多醣是聚合物的一種，因結構的複雜多變而使其種類益加繁多，常見的多醣如我們日常生活中不可或缺的澱粉、可以幫助腸胃消化的纖維素以及儲存身體多餘葡萄糖的肝醣。下面的反應式是利用麥芽糖作舉例，麥芽糖是一種雙醣，由兩個葡萄糖脫水化合而成，其反應如式[1]所示。

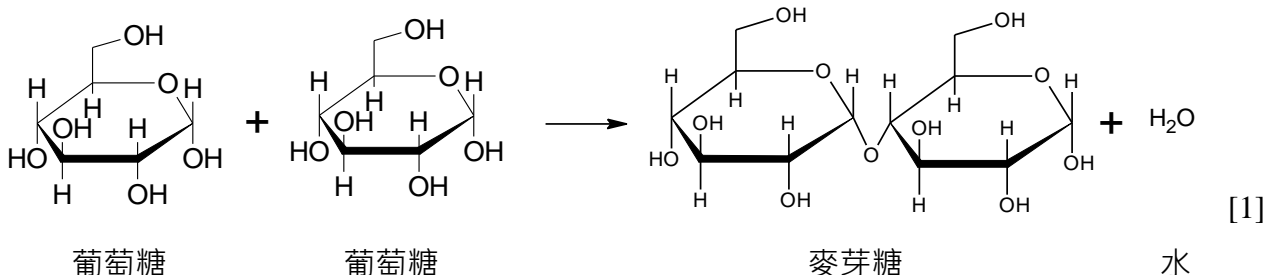
麴，對於多數人來說是陌生的。麴只是小米、糯米等糧食作物的外皮經過研磨後的粉末狀物，但通常會做成球狀，方便攜帶拿

取。在釀造過程中，麴的催化功能是相當重要的隱藏角色，單憑肉眼我們看不見它，需要藉著顯微鏡才能觀察到這號人物——微生物。微生物包括了細菌以及真菌等，它們會附著在這些粉末狀固體上，在經過發酵後會大量有效的繁殖。而裡面的過程便是麴黴菌會分泌 α -澱粉酶、 β -澱粉酶、 α -葡萄糖苷酶以及葡萄糖澱粉酶（ γ -澱粉酶）進行水解醣類的作用。

原住民們來釀造酒的過程，我們稱之為「酒精發酵」，其過程的化學反應如式[2]所示：



煮熟的小米以及糯米為醣類經過酶的作用，可以從澱粉（多醣）水解成葡萄糖（單醣）。從麴裡面衍生出的酶，不只可以催化澱粉分解，也可以高效率使蛋白質、脂肪等低分子物質進行分解。分解成小分子的單醣之後，便會行發酵作用，將葡萄糖經由呼吸作用中的糖解作用（Embden-Meyerhof Parnas），在無氧的狀態之下反應成酒的主要成份乙醇。



■ 結語

我們現今生活中的哪些事物與原住民祖先釀酒的智慧相互輝映呢？最常見是烘焙。上述的發酵反應裡會產生出二氧化碳，使麵包變的鬆軟好吃。酵母微生物在麵糰發酵，使得麵糰中裡的醣類進行酒精發酵，產生出乙醇和二氧化碳；二氧化碳在麵糰中形成空隙，氣泡慢慢受熱增加體積使麵糰膨脹起來，而麵包之所以沒有酒味是因為乙醇烘焙受熱揮發。

無論是哪一個族群，祖先的經驗累積皆有其科學根據的，許多看似平凡無奇的事物背後都藏著許多的科學知識值得探索發掘。



傅麗玉（左）和原住民阿秋媽媽在小米田裡合影
（照片由國立清華大學師資培育中心傅麗玉提供）

複雜系統觀點在擴散教學的應用

鐘建坪

新北市立錦和高級中學

hexaphyrins@yahoo.com.tw

■ 前言

化學學科知識具備巨觀 (macro-)、符號 (symbolic) 與中觀 (meso-) 三個向度 (邱美虹和鐘建坪, 2014; Johnstone, 1982, 2006; Mahaffy, 2006; Treagust, Chittleborough, & Mamiala, 2003)。其中巨觀指可觀察到的化學現象與相關實驗操作, 符號指化學式、化學反應式以及實驗過程繪製的圖、表等, 而中觀則指利用原子、分子與離子等符號解釋巨觀現象。對於不易觀察到的化學世界, 科學家利用看不見的粒子解釋巨觀現象的發生原因, 例如氣球的壓力來自於內部氣體粒子隨機碰撞造成的結果。此種利用中觀粒子的運作機制說明巨觀現象的改變, 即屬於複雜系統 (complex system) 的概念層級。自然科學的領域多屬於複雜系統, 因此學習科學不應該只有片段或是局部的事實記憶, 而是應該提升層級從更宏觀的系統視野學習科學才能提升跨領域的整合 (Wilensky & Reisman, 2006)。有鑒於此, 本文嘗試先介紹複雜系統的意義, 接著說明專家與生手對於複雜系統的差異觀點, 最後提供化學擴散教學的相關範例作為化學教師教學上的參考。

■ 複雜系統定義與介紹

複雜系統並非單純說明系統的複雜性質

而是強調個體元件之間的關聯性所產生的突現結果 (emergence), 而系統中不同層級具備不同的行為, 無法由個別單一的個體行為解釋整體系統的運作 (Chi, Roscoe, Slotta, Roy & Chase, 2012; Hmelo-Silver & Azevedo, 2006; Wilensky & Resnick, 1999)。不僅自然科學中的混沌 (chaos)、平衡 (equilibrium)、演化 (evolution) 與非線性系統 (nonlinear system), 甚至日常生活惱人的塞車問題都屬於複雜系統的範圍 (Bar-Yam, 1997)。例如: 蝴蝶效應 (butterfly effect) 即是說明牽一髮而動全身的非線性複雜系統, 當蝴蝶震動翅膀時牽涉相關因素產生變化, 初始變化不易察覺, 但是一旦突破臨界時即會產生巨大的結果。或者一隻喜鵲是獨立個體, 而許多喜鵲組成一個群落, 而不同群落之間的交互作用形成生態系, 而生態系中不同物種個體之間的交互作用即為構成物種演化的動力來源。

■ 專家生手對複雜系統感知差異

複雜系統通常是反直觀的, 學生普遍缺乏此種概念的理解 (Hmelo-Silver & Azevedo, 2006; Goldstone & Wilensky, 2008; Jacobson & Wilensky, 2006), 而透過專家與生手對於複雜系統觀點的研究能夠提供後續教師提供教學策略模式的參考。相較於專家, 生手對

於複雜系統的想法主要受到知覺的影響而強調單一個體的個別行為忽略複雜系統是個體間交互作用突現的結果 (Chi, 2005; Chi et al., 2012; Hmelo-Silver & Pfeffer, 2004)。例如：學生認為平衡時化學反應即為停止的狀態而非動態過程 (Stieff & Wilensky, 2003)。相關文獻結果說明如下：

一、生手容易專注在個別行為忽略系統是眾多個體突現的結果

學者 Chi 等人 (Chi, 2005; Chi et al., 2012) 認為學生容易以直接因果 (direct-causal) 作為系統行為的解釋依據，將不具備意圖性的個別粒子誤認為具有意圖性的行為而彼此間的交互作用才使得系統造成變化，而非全體粒子彼此之間交互作用突現的結果。

二、生手容易受到知覺的限制忽略整合整體面向

學者 Hmelo-Silver 和 Pfeffer 利用結構 (structure)、行為 (behavior) 與功能 (function) 描述複雜系統以探討專家與生手對水資源系統使用表徵的情形 (Hmelo-Silver & Pfeffer, 2004)。其中結構指水資源系統中的各種物件與其之間的關聯，例如：水庫、雨量與森林等；行為指水資源系統中的因果機制如何產生，例如：水庫淤積的原因是上游的森林遭到砍伐，而功能指水系統中各種物件能夠展現的特性，例如：水庫的功能能夠儲存水。結果發現生手多以結構而少以行為與功能作出機制性的解釋，然而專家能夠整合系統內物件的結構、功能與行為作出解釋 (Hmelo-Silver & Pfeffer, 2004)。

■ 透過複雜系統促進學生對擴散概念的理解

擴散是指在特定條件下不同粒子隨機運動進行的動態過程。粒子進行擴散時全部粒子擴散的情形無法藉由特定的單一粒子行為加以說明，而是需要理解粒子擴散的行為機制是全體粒子相互作用之後突現的結果。學生通常只專注在特定的成份或是次系統中缺乏連結不同物件之間的關聯，以至於無法順利發展出複雜系統觀點。因此教師應該提供機會讓學生藉由鷹架的輔助得以發現複雜系統的突現觀點。在此提供質性描述的複雜系統觀點作為化學擴散概念的教學介紹。

一、以個體為基礎的角色扮演

首先將班級學生區分為兩組，站在教室兩邊分別指定為染料與水分子，其中教室即為盛裝粒子的系統。接著教師說明中觀粒子具備的行為，例如：無方向性、無固定位置的隨機碰撞以及溫度增加粒子運動速率增加等性質。當教師說明完畢後讓學生練習操作體會隨機碰撞與溫度改變時的速率變化，當學生能夠化身為個別的粒子之後，接著再由教師宣布染料開始滴入水中，此時化身為粒子的學生即開始在固定的速率下進行隨機碰撞，一段時間之後請學生蹲下觀察代表不同組別學生分布的情形。接著教師再宣布提高系統的溫度，此時化身為粒子的學生需要比之前更快的速率進行隨機碰撞，接著再請學生觀察四周時體會與先前溫度較低的差異情形。教學過程中教師亦可以透過錄影撥放的方式讓學生體會個別粒子的行為無法說明化學擴散的進行而是透過整體粒子突現所形成

的結果。

二、利用電腦模擬中觀粒子分布情形

目前許多課程內容透過電腦模擬方式協助學生進行粒子擴散行為的探討 (Chi et al., 2012; Levy & Wilensky, 2009; Stieff, & Wilensky, 2003)。例如：連結式化學課程 (Connected Chemistry Curriculum) 以複雜系統中的突現觀點提供分子運動的動畫模擬，讓學生藉由視覺化觀察體認個別粒子交互作用所形成的巨觀現象 (Levy & Wilensky, 2009)。或者同時設計模擬巨觀的擴散現象與中觀粒子的運動情形相互比較，讓學生知悉巨觀現象擴散的中觀粒子的解釋機制 (Chi et al., 2012)。與角色扮演相同的是電腦模擬同樣是要讓學生體會個別粒子無法解釋全體的行為，然而不同的是，透過電腦模擬的方式可以讓學生更方便地建構出單一粒子與全體圖像的差異。

三、利用改良式文本進行分子運動情形的解構

Chi 等人 (Chi et al., 2012) 設計改良式的擴散文本作為學生學習的教材，內容將擴散過程按時間順序解構處理。如圖 1 時間 A 所示，一開始兩端液體尚未開始混合，中間部分皆無染料與水分子。開始混合如時間 B，染料與水分子在中間部分佔據比例逐漸增加，一段時間後如時間 C 所示，染料與水分子分布比例比時間 B 更高。過程中不僅可以讓學生透過文本進行閱讀，更可以運用誘發性的問題促進學生自我解釋以達到對於擴散概念的理解。

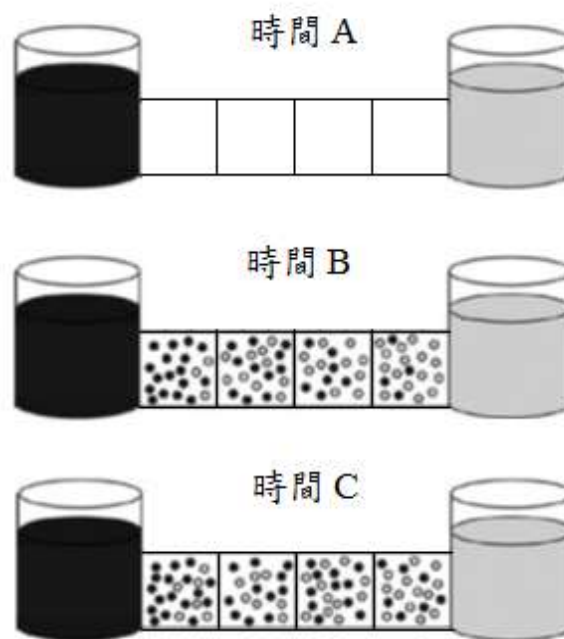


圖 1：圖示染料分子擴散情形 (修改自 Chi et al., 2012)

■ 結語與意涵

本篇文章嘗試說明複雜系統並以擴散概念作出範例說明。粒子擴散的機制屬於複雜系統的突現行為，其中個別粒子的運作無法解釋擴散結果而是所有參與粒子共同交互作用產生的視覺或味覺效果。雖然眼睛視覺可以觀察到染料分子逐漸從高濃度往低濃度擴散，然而事實上是中觀的染料分子與水分子彼此交互作用突現出巨觀現象的結果。

對於擴散等化學概念，學生往往受到知覺的限制以個別物件或是觀察到的巨觀現象作為系統行為解釋的成因，為達到化學概念的深層理解需要提供學生中觀粒子運動的情形，讓學生能夠以中觀粒子解釋突現後的各種化學現象。而納入複雜系統的上位想法的化學教學則對於往後相關類似現象可以進行跨學科的遷移，例如物種演化為物種間交互作用與化學粒子交互作用突現形成的結果原

理機制相似皆無法藉由單一個體解釋全體行為的機制。假若學生能夠知悉複雜系統的特徵與性質，則學生在未來學習相關概念時較不容易形成鬆散的知識片段而是建構出融貫的心智表徵。

■ 參考資料

- 邱美虹、鐘建坪 (2014)。模型觀點在化學教科書的角色與對化學教學之啟示。《**化學教學**》，36(1)，93–97。
- Bar-Yam, Y. (1997). *Dynamics of complex systems*. Reading, Mass.: Addison-Wesley.
- Chi, M. T. H. (2005). Common sense conceptions of emergent processes: Why some misconceptions are robust. *Journal of the Learning Sciences*, 14(2), 161–199.
- Chi, M. T. H., Roscoe, R. D., Slotta, J. D., Roy, M., & Chase, C. C. (2012). Misconceived causal explanations for emergent processes. *Cognitive Science*, 36(1), 1–61.
- Goldstone, R. L., & Wilensky, U. (2008). Promoting transfer by grounding complex systems principles. *Journal of the Learning Sciences*, 17(4), 465–516.
- Hmelo-Silver, C., & Azevedo, R. (2006). Understanding complex systems: Some core challenges. *Journal of the Learning Sciences*, 15(1), 53–61.
- Hmelo-Silver, C. E., & Pfeffer, M. G. (2004). Comparing expert and novice understanding of a complex system from the perspective of structures, behaviors, and functions. *Cognitive Science*, 28(1), 127–138.
- Jacobson, M. J., & Wilensky, U. (2006). Complex systems in education: Scientific and educational importance and implications for the learning sciences. *Journal of the Learning Sciences*, 15(1), 11–34.
- Johnstone, A. H. (1982). Macro and microchemistry. *School Science Review*, 64(277), 377–379.
- Johnstone, A. H., (2006). Chemical education research in Glasgow in perspective. *Chemistry Education Research and Practice*, 7(2), 49–63.
- Mahaffy, G. P. (2006). Moving chemistry education into 3D: A tetrahedral metaphor for understanding chemistry. *Journal of Chemical Education*, 83(1), 49–55.
- Stieff, M., & Wilensky, U. (2003). Connected Chemistry: Incorporating interactive simulations into the chemistry classroom. *Journal of Science Education and Technology*, 12(3), 285–302.
- Treagust, D. F., Chittleborough, G., & Mamiala, T. L. (2003). The role of the submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1353–1368.
- Wilensky, U., & Reisman, K. (2006). Thinking like a wolf, a sheep or a firefly: Learning biology through constructing and testing computational theories—an embodied modeling approach. *Cognition and Instruction*, 24(2), 171–209.
- Wilensky, U., & Resnick, M. (1999). Thinking in levels: A dynamic systems approach to making sense of the world. *Journal of Science Education and Technology*, 8(1), 3–19.

波以耳與近代化學的誕生

洪振方

國立高雄師範大學科學教育暨環境教育研究所

t1873@knuc.nknu.edu.tw

■ 煉金術

近代化學是由古代的煉金術演變而來。古時候，人們在製作陶器、冶煉金屬等生產活動中，逐漸認識了如何使物質的顏色、光澤、硬度等物理性質發生改變，同時也認識了很多物質間的變化。古埃及人的冶金技術很發達，有些工匠在製作金飾品時，會偷斤減兩，偷偷在貴重的黃金中加入便宜的黃銅，古希臘人在與古埃及人生意往來中發現了這一點，這給他們一個啟發，是否可以用某種方法將便宜的銅、鐵等金屬轉變為貴重的黃金呢？



圖 1：煉金術士的實驗室

(圖片來源：[Alchimie](#), Wikipedia)

由於人們對黃金的追求欲望，促進了煉金術的形成和發展。當時所發展出來用於煉金的方法，是將銅、錫、鉛、鐵等普通金屬混合熔煉，得到黑色合金，再加入水銀使它

表面變白，再用硫磺水把合金泡過使它變黃，然後將它洗淨而成。這樣煉出的金屬，當然不是黃金，只是表面顏色相似而已。圖 1 為煉金術士的實驗室。

雖然煉金術士的實驗目的是荒唐的，理論是錯誤的，但是，在長期的活動中，也蒐集到了許多寶貴的事實，對於物質的性質，特別是幾種金屬的性質都有了較深刻的瞭解。由於這些煉金活動的需要，煉金術士除了掌握一些化學操作的方法，例如鍛燒、熔化、溶解、蒸餾、過濾、結晶等，亦製造了燒杯、加熱的坩鍋、過濾器、蒸餾瓶及熔爐等器具，對於化學的發展有一定的意義。由於煉金的過程涉及物質的轉變，煉金術士對物質也有自己的觀點，他們認為物質是由硫、汞、鹽三種元素所組成，但是它們與現代化學之硫、汞、鹽並不相同。

■ 波以耳的《懷疑的化學家》

直到十七世紀之前，煉金術一直都有廣大的市場，甚至像牛頓 (Isaac Newton, 1643~1727) 這樣的偉大科學家也曾沉迷於其中。隨著十七世紀文藝復興運動的興起，煉金術也開始向真正的化學過渡，此時出現了一些早期的化學家，他們不再追求點石成金，而是致力於探究其中的科學道理。在這

些人中，與牛頓同時期的英國貴族波以耳（Robert Boyle, 1627~1691）是最重要的一位，如圖 2 所示。



圖 2：波以耳 (1627–1691)
(圖片來源：[Robert Boyle](#), Wikipedia)

波以耳主張告別帶有神秘色彩的煉金術，以理性思考的態度來研究化學。他在 1661 年出版了《懷疑的化學家》（*The Skeptical Chemist*）一書，如圖 3 所示，這是化學與煉金術分道揚鑣的標誌。在其名著中，第一次明確了化學的研究對象、化學的研究方法，以及他的物質觀。化學不再只是製造貴重金屬的技藝，而是對物質現象進行探究並提出理論解釋的一門科學。

■ 波以耳提出元素概念

波以耳是一位技術精湛的實驗化學家，他對物質組成的觀點與亞里斯多德的四元素論（水、火、土、氣）和煉金術士的三元素

論（硫、汞、鹽）很不相同，他用實驗檢驗了四元素論和三元素論，發現他們所說的「元素」未必就是真正的元素。例如黃金等許多物質都不含這些「元素」，黃金不屬於水、火、土、氣中的任何一種，也不能從黃金中分解出「硫、汞、鹽」，而煉金術士稱之為「鹽」的「元素」，卻可以被分解得到酸和鹼。因此，波以耳質疑四元素論和三元素論都不是構成萬物的基本元素；其次，波以耳懷疑構成萬物的元素不只是四種或三種，而是許多種。波以耳把他對四元素論和三元素論的批判，和對元素概念的新認識，系統地進行了分析和說明，寫進了他的名著《懷疑的化學家》一書中。他站在微粒論的立場上，根據實驗事實，對物質組成的舊理論進行了批判。

波以耳第一次提出了科學的元素概念，他認為只有那些不能用化學方法再分解的簡單物質才是元素，此與我們現在所說的元素概念十分接近。例如，黃金可以和其他金屬熔合為合金；可以溶於王水而看不見，但是，仍可設法恢復原形，重新得到黃金。這就說明，黃金雖然經過了種種化學處理而發生了變化，然而，始終未被分解而破壞。因此，黃金是一種用化學方法不能再分解的簡單物質，即為元素。

為了解釋元素構成萬物，他運用了希臘德莫克利特（Democritus, 約西元前 460~西元前 370 或 356）和牛頓的原子論觀點，認為自然界的物質均由微粒所構成，化學元素也是一種微粒。元素的不同只是由於構成其微粒的大小、形狀和運動的不同所致。並且，由於基本微粒的結合，可以產生物質的粒子，而不同的物質是由於基本微粒的數目、

位置和運動的不同所造成。這種帶有層次性的微粒觀，顯然已經具備了近代原子論和分子論的雛形。這樣，波以耳就把元素思想和原子思想聯繫起來，以微粒的觀點解釋了元素的構成及其多樣性，又以元素的思想說明了原子的存在。波以耳認為化學現象不是簡

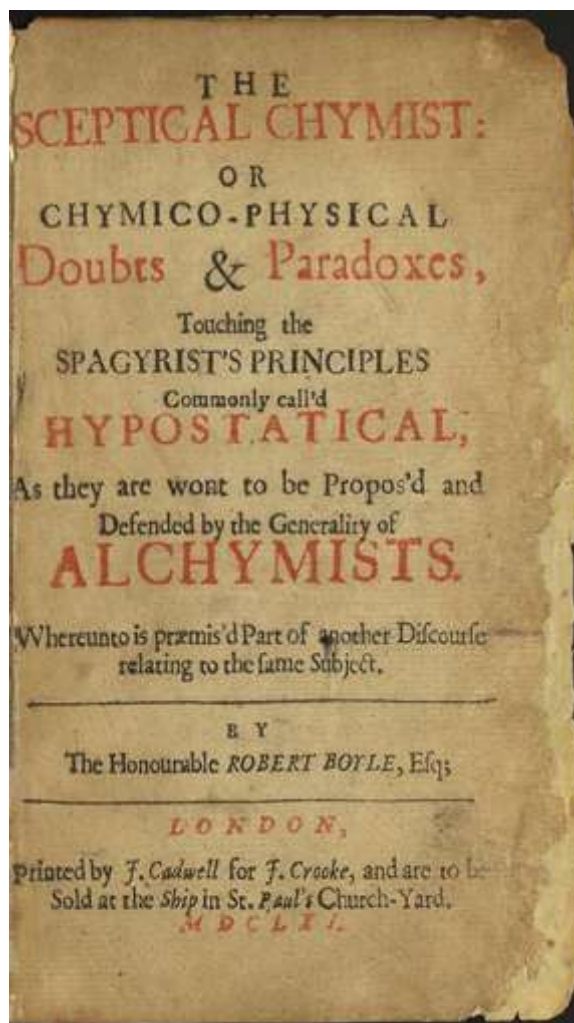


圖 3：《懷疑的化學家》封面

(圖片來源：[The Sceptical Chymist](https://en.wikipedia.org/wiki/The_Sceptical_Chymist), Wikipedia)

單的物質位移運動，而是物質中原子的大小、形狀、運動狀態、以及排列順序和方式都有所不同，才造成了千變萬化的化學現象。這是一種接近於近代化學結構理論的思想。

■ 波以耳重視實驗

波以耳認為，作為科學的分支，化學主要是從事自然現象的理論解釋，而不是實際應用。波以耳強調化學研究的目的是在於認識物質的本性，化學研究必須進行實驗，蒐集事實。冶金家的研究也可以給出一些科學解釋，但實驗的目的均屬於實用性的。化學不應從屬於冶金術，化學不僅在冶金方面有其應用價值，還應有其理論的指導意義。這樣，波以耳就把化學從煉金術中分離出來，使化學成為一門獨立學科，使化學在理論的深度和廣度方面都得到了快速發展，同時反過來也促進了冶金的發展。

波以耳極為重視實驗，他認為，化學家只有透過實驗才能取得成就，在未悉心觀察和實驗以前是不能建立學說的。波以耳本人也正是這樣做的，他是一位技術嫻熟的實驗化學家，這是他取得成功的一個重要因素。波以耳雖然重視實驗，但也不忽略理論。他認為實驗、觀察固然重要，但還需要用啟迪人們思想的理論去指導觀察和理解事實。沒有充分實驗根據的思想是空想，而沒有充分思想的實驗是盲目的實驗。波以耳把嚴密的科學實驗方法引進化學，並建立了科學的化學觀和元素觀，為近代化學奠定了良好的基礎。所以，後人把波以耳譽為近代化學的始祖。

國內外化學教育交流

林靜雯

國立東華大學課程設計與潛能開發學系

jingwenlin@mail.ndhu.edu.tw

■ 內容摘要

一、Chemical Education Journal (CEJ) 搶先線上閱覽！

二、化學教育重要研討會期程

■ 詳細介紹

一、[Chemical Education Journal](#) (CEJ) 搶先線上閱覽！

✦ CEJ 由日本 Division of the Society of Computer Chemistry 發行，具英文版及日文版，本期為第 15 卷 2 期，刊載於台灣屏東教育大學所主辦之第 5 屆 International Conference of Network for Inter-Asian Chemistry Educators (NICE) 會議論文特刊，2 月 21 日出刊，目前共含 11 篇文章。

✦ 此期刊為免費的電子刊物，詳情請點閱[這裡](#)。

✦ 此期刊邀請大家踴躍投稿第 16 卷(2014)。請點閱「投稿須知」([Notice for Contributors](#)) 一節。

二、化學教育重要研討會期程

◆ 2014 年

✦ European Conference on Research in Chemistry Education, ECRICE2014 (歐洲化學教育研究研討會)

地點：芬蘭于韋斯屈萊(Jyväskylä)

日期：2014 年 7 月 7-10 日

網址：www.jyu.fi/ecrice2014

口頭發表摘要投稿截止日：2014 年 4 月 13 日

海報發表摘要投稿截止日：2014 年 5 月 31 日

報名截止日：2014 年 5 月 31 日

早鳥優惠截止日：2014 年 4 月 30 日

第 12 屆化學教育研究之歐洲研討會之目的，是為了讓化學教育研究人員和教師交流小學直至研究生課程，並促進化學終身學習和熱情所辦理之論壇。本次研討會主題為「以研究為基礎之化學教育的新趨勢」。

✦ The 23rd IUPAC International Conference on Chemistry Education, 23rd ICCE (第 23 屆 IUPAC 國際化學教育研討會)

地點：加拿大多倫多

日期：2014 年 7 月 13-18 日

網址：<http://www.icce2014.org/>

摘要投稿截止日：2014 年 2 月 21 日

網路報名截止日：2014 年 7 月 12 日

早鳥優惠截止日：2014 年 5 月 15 日

本次會議的主題是「溝通」。此會議目標是研究如何建立全球在化學教學和學習社區之連結，並考量利用溝通技術的開發與實踐，以建立創新的學習合夥關係。研討會將著重於化學專家、教育工作者、學生和非專業團

體之間的溝通。

◆ 2015 年

- ✦ The 6th Network for Inter-Asian Chemistry Educators, 6th NICE (第 6 屆亞洲化學教育言會) 之國際研討會

地點：日本東京

日期：2015 年 7 月 28-30 日 (暫定日期)

詳細訊息將於稍後公佈於網站。

- ✦ The 45th IUPAC World Chemistry Congress (第 45 屆 IUPAC 世界化學大會) - 「智能化學，讓生活更美好」

地點：韓國釜山

日期：2015 年 8 月 9-14 日

網址：<http://www.iupac2015.org>

詳細訊息將於稍後公佈於網站。

此次會議主題為「智能化學，讓生活更美好」。IUPAC-2015 的議程將著重以化學作為一個跨學科的科學為核心，進而推動藉由創新的科技成果提升生活和福利品質，並討論目前共同關注的議題。尋求洞見以解決目前面對的問題，如：能源、糧食、水和環境。

- ✦ The 16th Asian Chemical Congress, 16th ACC (第 16 屆亞洲化學會議)

地點：孟加拉

日期：2015 年 8 月。

網址：<http://www.chemhome-bcs.org/16acc/>

詳細訊息將於稍後公佈於網站。

- ✦ Pacifichem 2015 (環太平洋國際化學會議)

地點：美國夏威夷檀香山

日期：2015 年 12 月 15-20 日

相關網址：<http://www.pacificchem.org/>

摘要投稿截止日：2015 年 4 月 1 日

早鳥報名優惠截止日：2015 年 11 月 11 日

Pacifichem2015 年的主題是化學網絡：建立跨太平洋之連結，強調化學是為跨學科的科學之合作性本質，並強調於此會議中組織泛太平洋研究小組的機會。

《臺灣化學教育》電子期刊

編著者：中國化學會（台灣）化學教育委員會

主編：邱美虹 / 國立臺灣師範大學科學教育研究所

發行人：劉仲明理事長

出版者：中國化學會（台灣）化學教育委員會

地址：台北市南港研究路二段 128 號

電話：02-27898573

傳真：02-26530438

電子郵件：ccswww@gate.sinica.edu.tw

出版年月：創刊號 2014 年 5 月（雙月刊）

ISSN：2312-5780

期刊網址：<http://chemed.chemistry.org.tw/>

Facebook：<https://www.facebook.com/chemed.chemistry.org.tw>

執行編輯：楊水平 / 國立彰化師範大學化學系

網站建置：周金城 / 國立台北教育大學自然科學教育系

編輯助理：李雪碧 / 國立臺灣師範大學科學教育研究所

Logo（中英文字體）設計：邱美虹 / 國立臺灣師範大學科學教育研究所

封面封底和 Banner 設計：唐尉天 / 國立臺灣師範大學科學教育研究所

天燈攝影：王郁婷 / 國家衛生院

聯絡單位：國立臺灣師範大學科學教育研究所

地址：臺北市文山區汀州路四段 88 號

電話：02-77346817

電子郵件：chemedtaiwan@gmail.com

