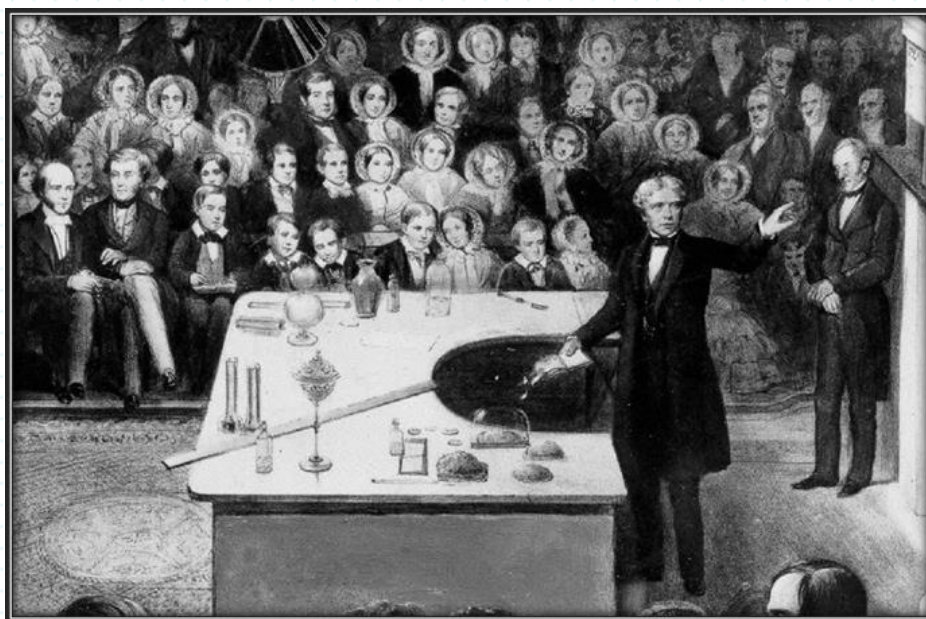


科技部科普活動計畫 站上巨人的肩膀

偉大科學家傳記讀本輔助講義

第一部：法拉第的故事



作者：胡維平

簡介：美國明尼蘇達大學化學系博士

國立中正大學化學暨生物化學系教授

國立中正大學通識教育中心主任

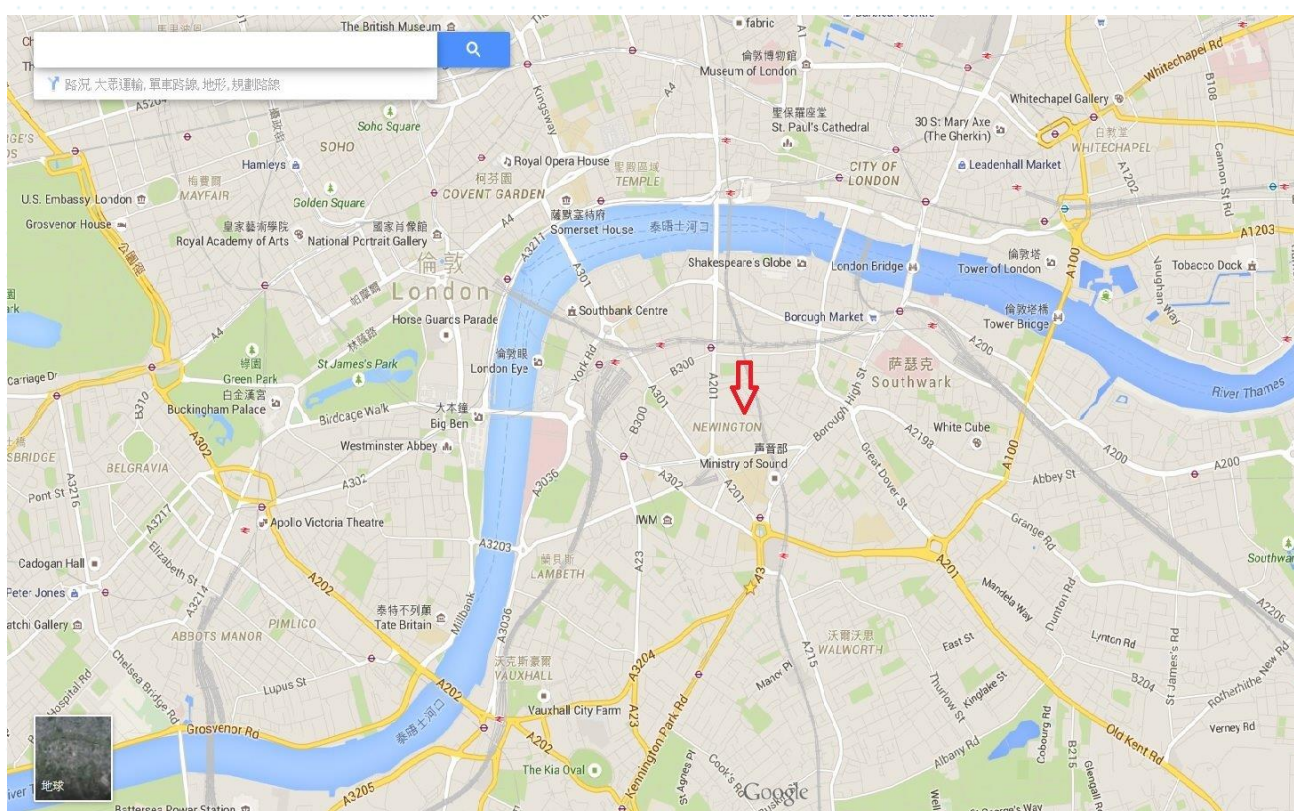
法拉第

一、童年

麥可.法拉第 (Michael Faraday) 的祖先在十六、十七世紀時大都居住在英國英格蘭西北邊，土地貧瘠的蘭克夏 (Lancashire) 和約克夏 (Yorkshire) 郡的北部，生活條件並不富裕。1786 年法拉第的父母結婚，當時法拉第的父親 (James Faraday) 在一個叫做 Outhgill 的小鎮擔任鐵匠 (blacksmith) 的工作。法拉第的父母在 Outhgill 生了二個小孩 (Elizabeth and Robert) 後，1791 年他們毅然決定遠離定居了數個世代的家鄉，舉家前往 350 公里外的倫敦發展。促成他們做成這個重大決定的真正原因並不是很清楚，或許主要是由於經濟上的因素，然而法拉第的父母萬萬想不到這個決定竟然將會大大的影響到人類接下來二百多年在科學，技術，教育上的發展與科技文明的演進。1791 年初法拉第的父親在倫敦市郊的紐寧頓 (Newington) 地區開了一間鐵匠鋪，店的隔壁就是他們很勉強求得溫飽的家，同年 9 月 22 日，麥可.法拉第就誕生在這個窮困而堅毅的鐵匠家庭。



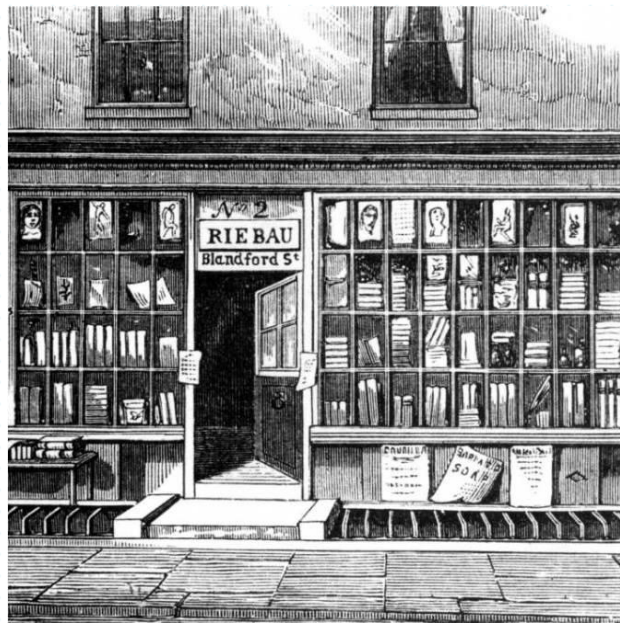
由於拿破侖戰爭以及農作物的欠收，1790 年間是英國非常艱困的年代，糧價飛漲，法拉第一家幾乎無以為繼。1796 年他們全家搬到倫敦北邊曼徹斯特廣場 (Manchester Square) 旁的一間馬車房樓上，法拉第的父親則就近在旁邊一家鐵匠店工作。1804 年法拉第 13 歲時被送到一家書局暨裝訂店去幫忙送報紙的工作，可能因為工作勤奮受到老闆 G. Riebau 的賞識，他不久後就成為 Riebau 書店的裝訂技術學徒，接下來的八年間法拉第都在 Riebau 書店裡學習，住在書店樓上，並開始接觸各種書籍，吸收科學知識。



(以下的二張黑白圖片節錄自: Michael Faraday, Physics and Faith by Collin A. Russel, Oxford University Press, 2000.)



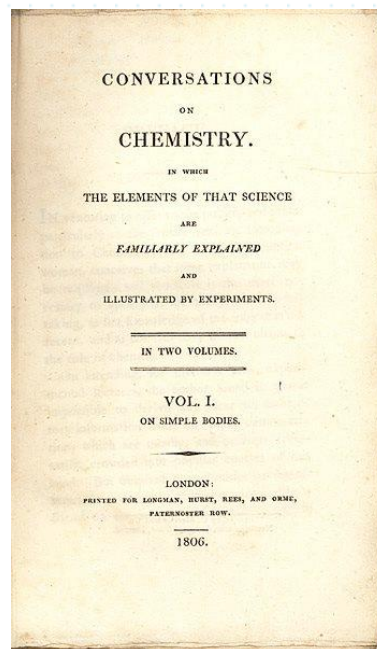
Michael spent his first years on Jacob's Well Mews, a back street off London's Manchester Square. The Faraday family lived over the coach-house,



二、青少年時期的自我學習

年輕的法拉第並沒有機會接受所謂的正規教育，他十三歲以前在平民學校裡只學到最基本的閱讀，寫作，以及算術。由於家庭經濟的因素，他被送到 Riebau 書店擔任裝訂書籍的學徒，以當時(甚至現在)的標準，這絕不是要成為科學家的一個好的開始。但以法拉第的天賦與志向，他決不會一輩子被埋沒在這種單調而重複的工作中。在 Riebau 書店裡，法拉第除了學習裝訂的工作外，他也找時間閱讀了各種不同的圖書，特別是包括他經手裝訂的書籍，其中影響他最深的包括 Isaac Watts 所著的 "The Improvement of the Mind"，書中提到要藉著大量的閱讀，聆聽演講，與相同興趣的朋友溝通討論，勤作筆記等方法來提昇自我。另外，他也仔細的閱讀了大英百科全書 (Encyclopaedia Britannica) 中談到電學的一冊，引發了他強烈的興趣。法拉第也認真研讀了多本化學的書籍，其中對他最具啟發性的是一本女化學家 Jane Marcet 所寫的 "Conversation in Chemistry"，這些對他未來的科學研究有著非常重要的影響。一個真正有能力有

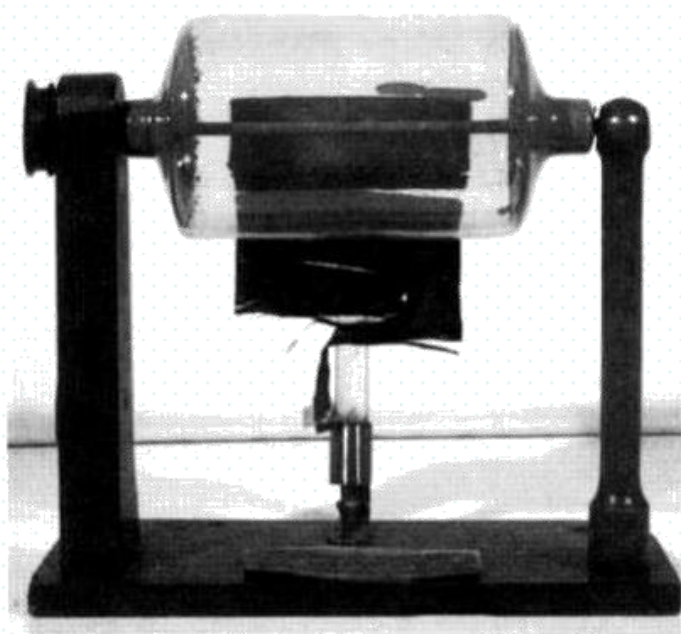
抱負的人不會永遠受到出身與環境的禁錮，只要能持續的努力向上，機運遲早將會眷顧那些準備好的人，這對法拉第而言也不例外。



西元 1808 年倫敦的一位銀匠 (silversmith) 兼科學家/慈善家 John Tatum 成立了一個供年輕人進修與討論的團體，稱為 City Philosophical Society，每週三定期在 Tatum 的家中聚會並主要由 Tatum 講授科學知識。這個團體需要象徵性的入會費一先令 (Schilling)，法拉第的哥哥 Robert 在沉重的家計負擔下很慷慨的支助他繳了這筆入會費，這大概是人類歷史上用一先令做過最好的投資。法拉第在 Philosophical Society 終於親自接受到真正的科學課程，這對他可說是如魚得水，他努力的學習並勤奮的做非常詳盡的筆記。隔年春天，他已經可以站在 Philosophical Society 的講台上對會員講授電學知識，並挑戰當時普遍被接受的電實際上是種單一流體 (single fluid) 的看法。在這段時間法拉第也請人教導他正式的寫作技巧，並且用他非常有限的零用錢買了一些簡陋的設備在 Riebau 的店裡做一些簡單的電學實驗。1812 年，法拉第即將結束他的學徒生

涯，他對未來充滿了不確定感，他當然不想一直做裝訂書籍的工作，但由於他的背景與學歷使得他雖然喜好科學研究，但卻苦於不得其門而入，已經利用時間充分提升自我的法拉第也只能祈禱幸運之神能再一次的眷顧。

(以下的圖片是法拉第早年製作的 frictional electric machine 節錄自：Michael Faraday, Physics and Faith by Collin A. Russel, Oxford University Press, 2000.)

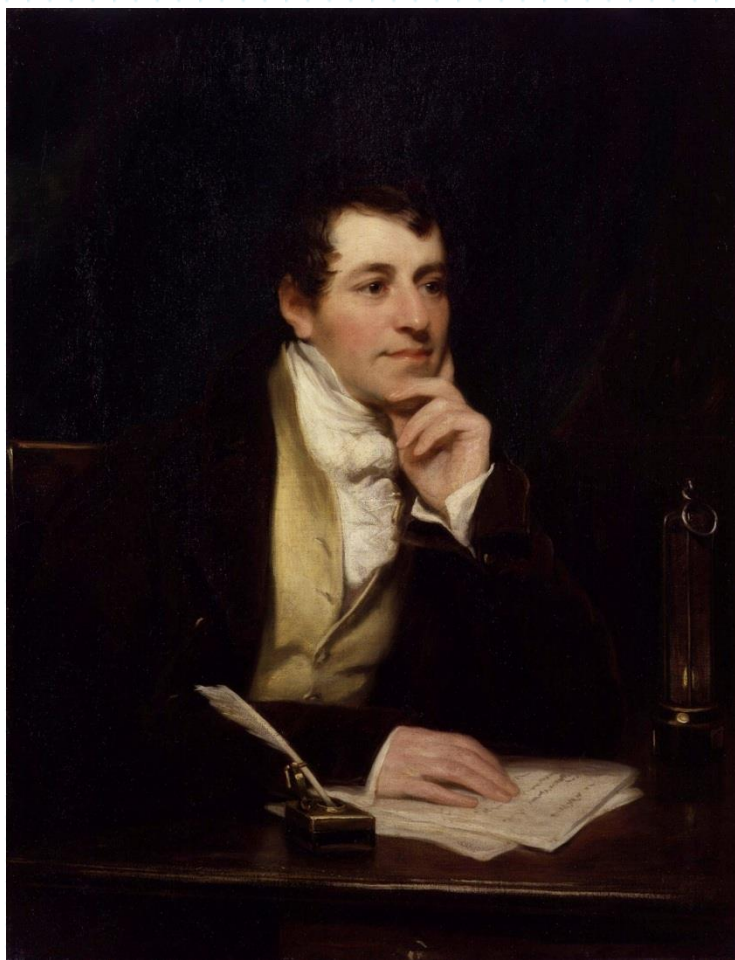


As a young man, Faraday built this frictional electrical machine, which was typical of many at the time. The action of a leather or other pad rubbing against a rotating glass cylinder generated enough static electricity to yield sparks and electric shocks.

法拉第的老闆 Riebau 先生常喜歡將法拉第漂漂亮亮裝訂成冊的科學筆記給熟識的顧客看，大約在 1812 年初，有一位顧客看了後非常佩服，並帶回家給他的父親看，他的父親 William Dance 是英國皇家學院 (Royal Institution) 的成員，他雖然不是科學家 (他是音樂家)，但也感覺到法拉第是個不可多得的人才。William Dance 給了法拉第皇家學院所舉辦的一系列四場化學演講的門票，演講的人正好是當時名望如日中天的年輕化學家號稱科學界第一美男子的 Humphry Davy，Davy 以不到三十歲的年紀就以電化學方法發現了鈉，鉀，鈣，鋇，硼等

化學元素，Davy 的尖端化學演講與示範充滿了無比的熱情與活力； 法拉第深深受到吸引，並如往常一樣做了巨細靡遺的筆記，也更堅定的確立了他要往科學研究上發展的志向。但法拉第該從何處著手呢？

下圖為 Sir Humphry Davy 的畫像。

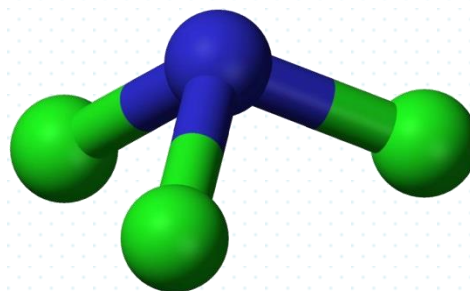
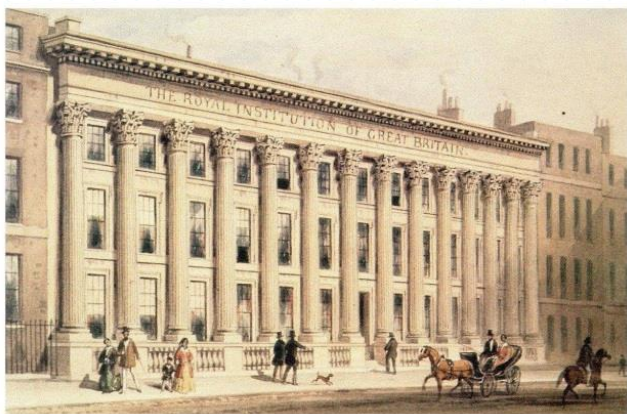


三、進入 Royal Institution

1812 年十月，法拉第的學徒生涯結束，為了餬口，他只好到另一家裝訂書籍的店工作。法拉第此時心裡還是一直想著要去從事科學研究，他到處寫信求助，但卻都沒有下文。就在這個時候 Davy 教授在 Royal Institution (RI) 的實驗室發生了一個嚴重的意外，當他在實驗室處理三氯化氮(NCl_3) 時， NCl_3 氣體

突然爆炸，幾乎炸瞎了他的眼睛，因此他需要一位臨時助手幫他處理實驗記錄，於是有人介紹法拉第去擔任這項工作，但可惜法拉第這項臨時工作只持續了很短的時間。在 RI 的工作結束後，法拉第將他在聽 Davy 的四次演講後所精心整理的 386 頁筆記裝訂成冊寄給 Davy 並請他協助尋找任何可能的卑微研究工作。然而，當時 RI 並沒有工作出缺，Davy 恐怕也愛莫能助，不過 Davy 還是很客氣的在聖誕節的時候回信給法拉第表示感激並特別讚揚他對科學的執著與用心；Davy 承諾等他在明年一月底外出回來後會盡量想辦法幫忙。然而這封信會不會只是 Davy 一種有禮貌的應付呢？

左下圖：The Royal Institution building on Albermarle Street, London, circa 1838. Painting by Thomas Hosmer Shepherd (1793-1864). 右下圖：三氯化氮的分子模型。



1813 年初，Davy 請人通知法拉第去 RI 面談，原來是有一位實驗助理 William Payne 因為酒後動手攻擊製作實驗儀器的工匠而遭到解職，Davy 問法拉第是否願意接替這個職務，雖然酬勞不多，興奮不已的法拉第當然是毫不考慮的接受了，從 3 月份開始法拉第正式成為 RI 的研究人員，開始踏上他這一

道偉大的科學研究人生歷程。(酒後亂性的 William Payne 竟也成為後來科學界感激不已的對象。) 短短幾個禮拜內，法拉第從一個對化學實驗完全沒有經驗的新手轉變成為世界上第一流化學家的得力助手，幾乎直接參與了 Davy 在 RI 的所有實驗，他們也再一次小心的來研究危險的 NCl_3 的性質，結果 NCl_3 竟然也在法拉第的手上爆炸，還好這次他們都戴著面罩，僅受到輕微的傷害。這很明白的告訴我們，就算是歷史上最好的實驗科學家，做化學實驗時一定還是要有充分的防護裝置。

法拉第工作五、六週後，Davy 突然決定辭去 RI 的專任化學教授，與一大群友人前往他的故鄉 Cornwall 旅遊探險 (大部分時間可能在釣魚)，Davy 工作由 William Brande 教授接任，法拉第則繼續留在 RI 與 Brande 配合，積極的吸收知識與學習實驗和教學的技巧。



四、歐洲之旅

Davy 教授從家鄉回到倫敦後開始安排一個更瘋狂的計劃，他打算在戰亂中(拿破崙戰爭)環遊歐洲各地從事一趟科學之旅並兼渡蜜月，Davy 邀請法拉第一同前往擔任他科學研究的助理，法拉第竟也瘋狂的同意了。然而令他困擾的是 Davy 教授的僕人在最後一刻決定放棄這趟旅程，因此法拉第反而要兼任僕役的角色。Davy 教授其實應該並不難相處，問題主要出在 Davy 的新婚妻子 Jane Apreece 身上。奇怪的是當時在倫敦身為天之驕子且單身的 Davy 幾乎可以選擇任何一位單身的女性作為妻子，他卻偏偏選到這位難以相處嬌縱貴氣的寡婦。Davy 一行人(到底有幾人說法不一，但很可能大部分時間只有他們三位及 Jane 的女僕)在 1813 年 10 月 13 日前往普利茅斯 (Plymouth) 港*，準備渡過英吉利海峽前往第一站，也是英國當時的死對頭，由拿破崙皇帝所領導的法國。

*十八年後，一艘叫做小獵犬號的軍艦也在此等待著駛向一趟可能是人類近代科學史上最重要的一段旅程。



1808 年正當歐洲戰爭打得如火如荼時，席捲歐洲大陸的拿破崙派人輾轉送一封信給 Davy，希望以法國皇帝的身份頒贈一個獎章給 Davy 教授以表彰他在科學(電化學)上的貢獻，其目的是提昇及分享科學知識 (promote and share

scientific knowledge)。這封信由於英國海軍的封鎖過了一段時間才傳到 Davy 手上，1813 年底 Davy 終於下定決心前往法國領取這面拿破崙獎章。這件事現在看來不可思議，拿破崙竟然在歐洲一片混戰中（雖然他大部分都打贏）還有時間關心科學，而且還要頒贈獎章給一個想要將自己除之而後快的國家的人民。英國方面明知道 Davy 要去一個隨時想要入侵本土的敵國首都領獎，特別是不久喬治三世國王前才授予 Davy 騎士爵位，英國政府或人民也沒有把 Davy 當成賣國賊。

法拉第與 Davy 一行人到達法國西北部的布列塔尼 (Brittany) 後立刻被逮捕拘禁，但不久後就獲得法國官方的同意准許他們前往巴黎，經過一番冒險的旅程，他們在 10 月 27 日到達巴黎。根據歷史記載，他們在巴黎並沒有見到拿破崙本人，但從當時的皇后 Marie Louise 那領到了拿破崙獎章，也在 11 月 30 日在馬爾梅松城堡 (Château de Malmaison) 見到了前皇后 Josephine。Davy 1829 年去世後這個獎章神秘的失蹤了，據說這獎章後來是被情緒化的 Jane Davy 扔到 Davy 的故鄉 Cornwall 附近的海裡 (Mounts Bay) 去了。2008 年 3 月英國皇家學會曾派潛水人員下海尋找這個意義重大的拿破崙獎章，並很幽默的懸賞 1808 英鎊。請參閱：

http://news.bbc.co.uk/.../uk_news/england/cornwall/7299656.stm

<http://www.rsc.org/.../N.../PressReleases/2008/WartimeHonour.asp>

Davy 和法拉第在巴黎一直待到 12 月，期間參觀了附近很多地方並拜訪了很多科學家，包括給呂薩克 (Gay-Lussac)，安培 (Ampère)，杜隆 (Dulong) 等人，並且對一個新發現的奇特物質做了仔細的研究，這個物質為暗黑色固體，但加熱後會昇華成紫色氣體，Davy 稱它為 Iodine，並証明它是一種元素。後來在地中海濱 (Montpellier)，他們也仔細的研究海帶中是否含有碘成份。

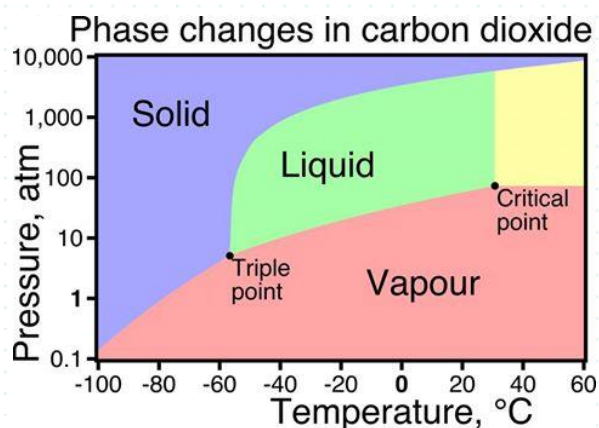
結束法國的行程後，他們越過阿爾卑斯山到達義大利，經由熱內亞 (Genoa)，佛羅倫斯 (Florence) 到達羅馬 (Rome)，途中他們研究了電鰻的放電性質，用巨型放大鏡把鑽石燒成二氧化碳，証明鑽石只不過是一種碳罷了，他們看了有名的伽利略望遠鏡，也往南旅行到那布勒斯 (Naples)，蒐集了維蘇威火山的排出的氣體做進一步分析，旅途中也前往 Pavia 拜訪了電學大師伏塔 (Volta)。他們接下來北返日內瓦渡了三個月的假，接著經由德國，奧地利又回到義大利。這次旅程讓法拉第獲益良多，他以前從來沒有離開過倫敦，沒見過高山，可能也沒看過海，更不用說歐洲內陸這些著名的地方，各種不同的景物，他也接觸到了歐洲其他一流的科學家，其中有些並不嫌法拉第出身低，與他結成了很好的朋友。當然，跟著 Davy 到處做研究也讓他學到了更廣博的化學知識。但同時，Jane Davy 對法拉第造成了很大的困擾，她總是把法拉第當下人看，從不尊重他的能力。回到義大利後法拉第真的受夠了，曾一度想要退出這趟旅程，原本 Davy 打算繼續前往土耳其，但由於瘟疫的爆發以及拿破崙逃出 Elba 島返回法國，歐洲震盪不安，於是 Davy 決定提早返回英國，他們一行經過比利時的布魯塞爾 (Brussel)，最後由奧斯坦得 (Ostend) 上船，經由多佛 (Dover) 港於 1815 年 4 月 23 日回到倫敦，結束了一年半的歐洲大陸之旅。以下路線圖

來自 RI 的 flickr 相簿：<https://www.flickr.com/photos/67474303@N06/10473642983/>

五、回到 Royal Institution 繼續化學助理的工作

法拉第回到倫敦後，在 1815 年五月 Royal Institution 依先前的約定重新聘任他為研究助理，並兼任實驗室器材及礦物樣本的負責人，可以住在實驗室樓上，這當然是因為 Davy 從中的安排。法拉第從此一直到 1865 年退休前再也沒有離開過 RI。

法拉第的工作其實很繁雜，他一方面是 Davy 教授的實驗助理，一方面要幫 Brande 教授準備教學用的儀器設備以及編輯化學期刊的工作，同時也要幫 RI 其他的成員做器材及科學研究上的服務。RI 雖然給法拉第很重的工作量（至少以他的薪水而言），但也給了他一個絕佳的學習環境，這段期間，法拉第從他忙碌的工作中快速的成長，逐漸成為一位優秀的化學家。他參予的幾項著名研究工作包括了協助 Davy 設計較安全的煤礦坑照明燈（礦坑中的甲烷和蠟燭火焰接觸易產生爆炸），火山溫泉中礦物質的分析，鐵礦銅礦的礦石分析及冶煉方法，刀具鋼材合金的改良，純粹碳與氯的化合物 C_2Cl_4 ， C_2Cl_6 以及類似的碘化合物的製造等，他在協助 Davy 研究氯的水合物 (hydrate) 時意外發現在密閉的試管中加熱這種水合物竟然產生一種看似油性的物質，打開試管後這種物質很神秘的消失無蹤，原來他以密閉高壓的方法液化了氯氣，他以類似的方法也液化了 H_2S , HBr , CO_2 , NH_3 等氣體，這是氣體液化的最早期的研究之一，他後來也對物質超臨界現象的研究討論有重要的貢獻。但這項非常重要的氯氣液化研究成果的發表也埋下了日後法拉第與 Davy 失和的種子。

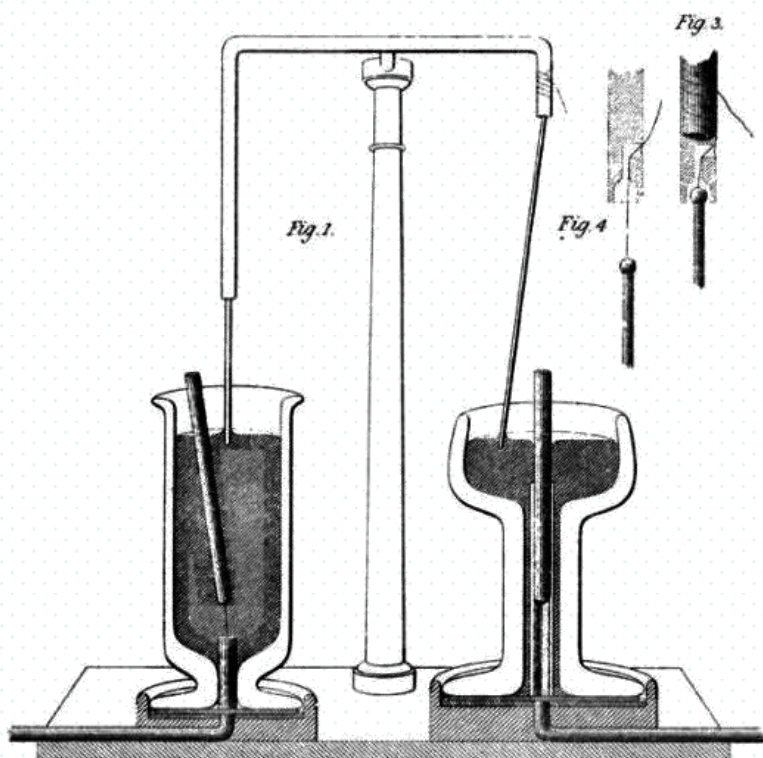


左圖為二氧化碳的相圖，可以看出相變化所需的條件

法拉第本來忙到對結婚沒興趣，但開始和 Sandemanian 教友 Sarah Barnard 交往後就改變了他的看法。他們在 1821 年結婚後就一直互相陪伴，這對法拉第而言是一個最重要的支撐力量。

六、早期磁學的研究與爭議

1820 年丹麥的 Ørsted 教授發現電流通過導線可以讓指南針偏轉，當時的科學家都感到非常驚訝，也都想了解電與磁的真正關係。當時在倫敦的科學家 Wollaston 預測當有磁鐵在旁邊時，通電的懸吊導線會自己旋轉 (rotation，沿著導線的軸自轉)，Davy 和 Wollaston 在 Royal Institution 做了實驗，但就是觀察不到這個現象。據說法拉第事後曾與他們討論，不久之後他有了自己不同的看法，法拉第認為磁鐵對通電的導線只有單向的推力，不會讓它產生自轉，但由於磁鐵可以對整根導線不斷產生垂直的作用力，所以理論上通電時整根導線可以環繞著磁鐵旋轉 (revolution)。法拉第很有技巧的設計了包含導線與磁鐵的裝置證明了他的理論，同時他也發現可以讓磁鐵圍繞著線圈旋轉，並不斷的改良簡化這些裝置，讓他可以很容易的示範給別人看，這些裝置就是後來電動馬達的雛型。法拉第在 1821 年十月發表了他的電磁旋轉的論文，Wollaston 看到後大為光火，他覺得法拉第偷取了他的研究成果與榮耀 (雖然法拉第證明的現象跟他當時的想法並不一樣，而且他自己也沒能做出來)，並且到處向人抱怨，這引起了當時科學界的一個軒然大波，而 Davy 這次竟然沒有站在法拉第這邊，反而在 1823 年法拉第發表氯氣液化的論文後火上加油，指控法拉第沒有依學術倫理將他列為作者並適當的提到他的貢獻。法拉第當然覺得自己受到委屈，但他從不公然抱怨 Davy，然而這些打擊可能也直接或間接使得他對電磁方面的研究中斷了近十年之久。

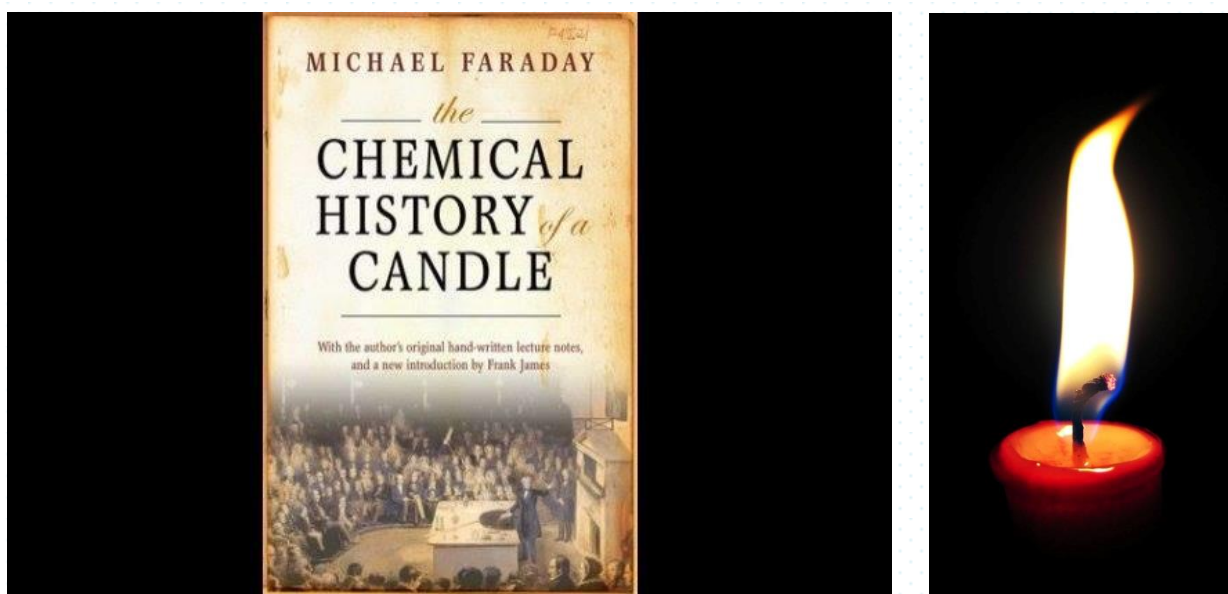


七、成為皇家學會會員

1824 年 29 位皇家學會 (Royal Society, 英國最頂尖的學術團體) 會員提名法拉第加入學會, 當時身為學會主席的 Davy 公開表示反對, 沒想到投票的結果卻是一面倒的支持法拉第, 這代表當時學會中大部分的科學家認同法拉第的科學成就, 也沒有違反科學倫理, 但這讓 Davy 臉上無光, 不過 Davy 一直擔任學會主席直到 1827 他的健康亮起紅燈為止。由於法拉第學術地位的提高, 1825 年他繼承 Davy 成為 RI 的實驗室主任 (director), 基本上可以自由地做他想做的研究。

1823 年 Brande 教授因故沒有辦法在 Royal Institution 上課, 法拉第臨時被請去代替, 可能由於反應良好, 從 1824 開始的四年間, 他正式和 Brande 合作在 RI 授課, 這開始了法拉第後來持續推行近 40 年的科學普及教育活動。1826 年法拉第開始舉辦例行的週五晚間科學講座, 在接下來 36 年內, 他在這個場合

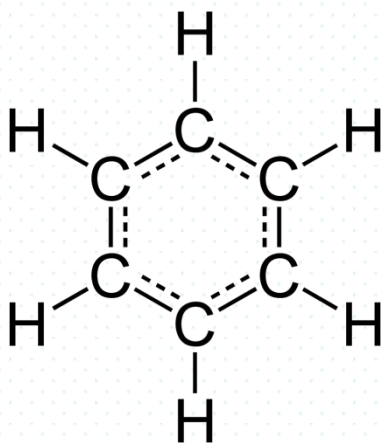
共給予了 100 場精彩的演講，這個活動一直到現在仍持續著。1825 年他更開始創辦了知名的聖誕節科學講座 (Christmas Lecture)，法拉第演講內容主要是針對青少年的聽眾，其中最有名的是 1848 年法拉第親自主講的 The Chemical History of a Candle。法拉第以此為英國的普及教育奠下良好的根基。Christmas Lecture 也一直持續到今天並成為 RI 最知名最盛大的活動，現在每年都還配合有 BBC 電視轉播。



1807 年倫敦成為世界上最早有街道照明 (Gas Lighting) 的城市之一，所用的燃料部分來自鯨魚油 (whale oil)。鯨魚油加熱分解後可以產生多種可燃的氣體，並可以壓縮液化便於運輸。然而，這些重要的氣體的化學成分當時並不清楚，1825 年法拉第著手對這些氣體進行化學分析。他以高超的實驗技術將這些液化的氣體逐漸加溫分餾然後結晶，其中一種新發現的物質就是現在我們稱為苯 (benzene, C_6H_6) 的化學分子，這種分子無論在後來的化學工業上或在生物化學中都是非常重要。很可惜法拉第當時可能太忙了，沒有對這種分子的化學做很深入的研究。此外，法拉第也對製作煤氣後剩下的煤灰做了分析，煤灰中含有非常複雜的化學成分，法拉第也由此開啟了近代有機化學的大門。

1825-1829 年法拉第花了很大的心力研究如何製造應用在精密光學儀器上的高品質玻璃，他發現加入硼矽酸鹽可以大幅改善玻璃的性質，並且克服了許多高溫下鍛燒的困難，這對後來高品質玻璃的製造有重要的影響。1829 年法拉第接受英國皇家軍事學院 (Royal Military Academy) 的邀請擔任化學教授，授課的酬勞讓他可以請到一位研究助理，法拉第終身也只需要一位研究助理，那就是對他忠心耿耿追隨他一直到 1866 年的 Sergeant Anderson。

1829 年 Davy 教授英年早逝，他豐富的科學發現與成就至今仍然常為人所稱道，據說他晚年曾表示，他一生當中最重要發現就是發掘了法拉第，而當初為法拉第帶來麻煩的 Wollaston 教授也在前一年過世，法拉第即將準備重新回到對後世影響最深遠的電磁學研究。



八、電磁感應的研究以及發電機

19 世紀初，許多令人困惑的電與磁的現象已經陸續被觀察到，當時雖然已經有了道爾吞的原子理論以及亞弗加厥學說，但離原子結構的發現還有約八十年。沒有原子結構的引導，這些電磁現象的研究有時候如瞎子摸象，非常不容

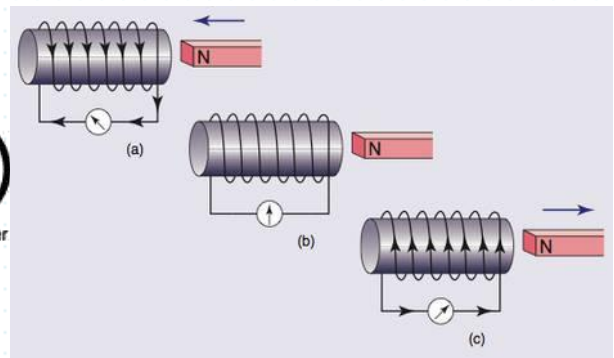
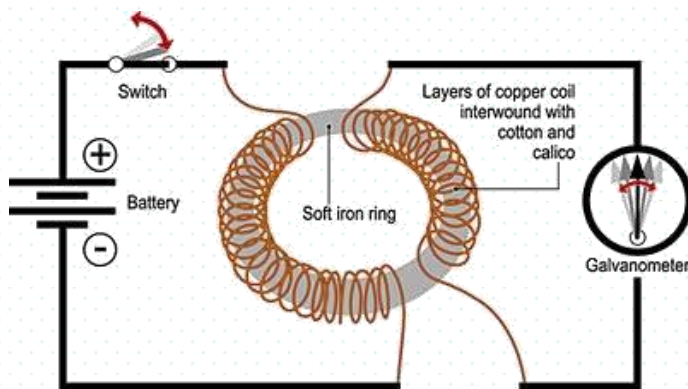
易了解。法拉第認為電與磁應該是自然界二種對稱的現象，因此一個持續困擾他的問題是如果電可以產生磁(如電磁鐵或通電線圈)，那磁應該也可以產生電，但許多相關實驗都沒有成功的安到這個現象。

1831 年九月法拉第做了一個經典的實驗，他將一個環狀的鐵圈以二條電線分別纏繞在二側，其中一條的頭尾分別接上電池的二端，另一條纏繞鐵環後頭尾相接，但其中拉出一段直線並在下方擺一根磁針 (磁針要與線圈及鐵環有一段距離，使得它不直接受到線圈產生的磁場影響)，當連上電池的線路接通時或被打斷時那一瞬間，另一條線路下的磁針會突然產生偏移 (接通與打斷時偏移方向相反)，但馬上就恢復原狀。這代表另一條線路產生了瞬間的電流，因此由第一條線圈產生的磁場引發了第二線圈的電流，法拉第的夢想幾乎成真了，但美中不足的是這個過程還是用到電池，而且產生的感應電流只持續了一瞬間。接下來，法拉第設計了一個新的實驗，他用二根永久磁鐵棒與一根鐵棒拼成一個三角形，並在鐵棒上纏繞線圈，並如上次實驗一樣拉出一段導線在下方放置磁針，當其中任一磁鐵被移動時，磁針就會產生偏移，磁鐵不動時，磁針就恢復原狀，這代表只藉著磁場的變化就可以產生電流，完全不需要另外的電池或電路。法拉第終於證明了光靠磁的確就可以產生電。法拉第是一個很小心的科學家，在發表這個劃時代的研究成果前，他又做了很多實驗來確認他的結論，其中包括將線圈環繞在空心的紙筒上，並同以往一樣拉出一段導線在下方放置磁針，當他插入或拔出一條磁棒時，磁針也會產生不同方向的偏移，由這些實驗法拉第了解到磁場並不能直接產生電流，但只要有磁場的改變就可以產生瞬間的感應電流。法拉第想著如果有辦法能藉著磁場產生連續的電流那就更棒了，但該如何著手呢？

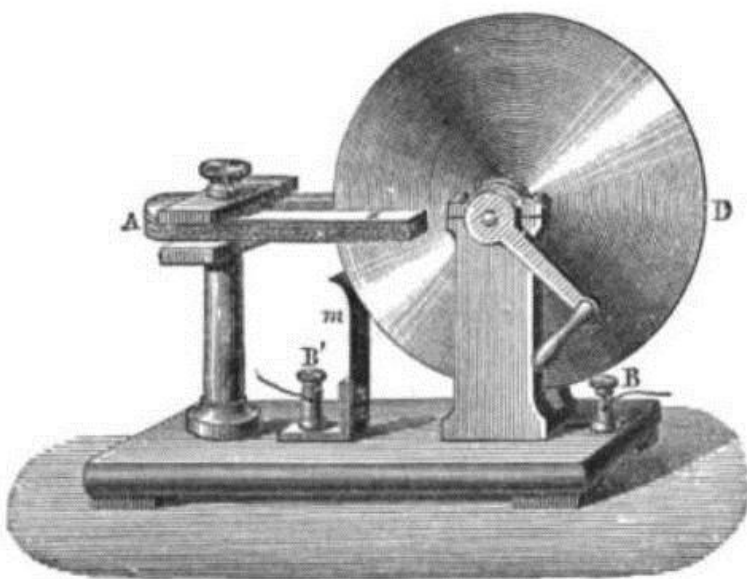
下圖分別摘錄自：

<http://www.engineering-timelines.com/.../elec.../transformer.asp>

<https://copyleftscience.wikispaces.com/9.3.2+Induction>



1824 年法國物理學家 Arago 發現在一個旋轉的銅盤上 (copper disc) 磁針會被偏轉；相反的如果被擾動的磁針放在銅盤上很快就變得靜止不動，由於銅本身生不帶磁性，這個現象困擾著很多人。為了用磁產生連續的電流，1831 年十月份法拉第重作這個實驗並加入了一些重要的變化。法拉第讓銅盤平面在一個磁鐵的二極間旋轉，他將導線一端固定在銅盤的旋轉軸上，另一端與轉動的銅盤邊緣持續接觸，法拉第非常高興的發現他能夠依此簡單的磁性裝置得到連續的電流，這也是世界上第一台直流發電機 (dynamo)，這或許是法拉第一生當中最重要發現之一。



九、電化學以及物質磁性的研究

十九世紀初期，電其實是一種很神秘很抽象的東西，很多種類的現象好像都可以產生所謂的"電"，比如說摩擦產生的靜電，天空中的閃電，伏塔電池產生的電，電鰻產生的電，磁發電機產生的電，法拉第仔細的研究這些電的性質，發現其實他們都是相同的現象，能產生相同的效果。在此過程中，法拉第回到化學上的電解研究，他想要知道電流量與電解產生的化學物質的量是否有定量的關係。1832-1833 年間法拉第從一連串實驗的結果得到了著名的法拉第電解定律：(1) 電解所產生的物質量 (比如說電解水時產生的氫氣體積) 與通過的電量成正比 (2) 相同的電量可以電解產生的物質量決定於物質的電當量，各種不同的物質有著不同大小的電當量。雖然當時電當量的實際意義並不是很清楚，現在我們知道它代表著一莫爾電子所能電解出來物質的量(或電解中產生一莫爾電子陽極所需消耗物質的量)，為紀念法拉第，我們現在稱一莫爾電子的電量為 1 faraday。

法拉第在 1830 年間幾乎沒有閒過，除了 RI 本身的業務以及政府民間所委託的各式各樣的事務外，他盡量利用剩下的時間忙著做各種電磁及化學的實驗，1838 年時，法拉第可能真的累了，身體出現各種病徵，包括關節炎，疲倦，暈眩，甚至失去近期的記憶，研究工作被迫暫停，接下來幾年法拉第除了去上課或聽演講外，大部份時間在進行調養 (很可能被醫生或妻子所逼迫)，1845 年起法拉第的身體狀況好轉開始繼續被中斷的研究工作，其中最重要的成就包括發現平面極化的光線可以被磁場所偏轉 (在此研究中他之前努力研究製作的硼矽酸玻璃終於派上用場)，這種現象後來被稱為法拉第效應，這系列的研究證明了光線與磁場有密切的關聯，法拉第幾乎已經解開了一個百年來持續困擾了科學家的謎團，那就是光線的本質到底是什麼？不過最後這臨門一腳卻還要等差不多 20 年後的一位年輕人。法拉第當時另外一項重要的研究是反磁性

(diamagnetism) 現象的發現，在強大的磁場下不具磁性的物質不但不被磁場吸引，反而會移動或變形來迴避磁場的作用，他對許多的化學物質的反磁性做了測量，1850 年左右他又對許多氣體分子進行磁性的測量，雖然大部分的氣體是反磁性，他發現氧氣竟然具有很高的順磁性。

雖然法拉第熱愛科學研究，但他絕不是一個關在象牙塔的科學家。他以專家的身分參與了許多改善社會，改進工業的活動，之前提到的科學教育普及化以及礦坑安全，玻璃與合金的製造等都是很好的例子。此外，他從年輕一直到晚年都花了很多的時間與精力協助改善英國海岸的燈塔照明，另外他對於倫敦市嚴重的水及空氣汙染的問題也投入不少心力，其他各式各樣隨時出現要求他服務的例子不勝枚舉，只要是能增進人類福祉的事他大都竭盡所能的給予協助，他這種積極淑世的態度應該會讓今日很多的學者感到慚愧。



左圖：順磁性的氧氣

十、奠定電磁學的基礎

法拉第沒有機會受到正規的科學教育，幾乎全靠自學才能有後來的成就。然而這對他不全然是壞事，他的思路比較不受傳統束縛，不把任何事當作想當然爾，只相信實驗觀察到的結果，也讓他從小養成敏銳的觀察與詳實記錄的習慣。他對電學及磁力的理論解釋與當時世界的主流有很大的差距，他以力線，力場，振動等比較抽象的概念去理解電磁的現象，但他一開始並不太願意公開發表他

的想法，因為並沒有強烈的實驗證據支持他的理論，怕遭到主流學派的嘲諷，他甚至曾將他的看法密封在 RI 的保險櫃中，等他去世後再開啟。不過後來他還是慢慢的將他的想法表達出來，後來也由此啟發了 James Clerk Maxwell。法拉第晚年與年輕的 Maxwell 相識，因為工作地點接近常有來往，法拉第曾邀請他在週五的演講活動 (Friday Lecture) 中擔任講員。Maxwell 在 1865 年發表了電磁場的動力學理論，以稹密的數學方法集以往電磁研究之大成，法拉第一生的研究成果與使用力場的觀念對 Maxwell 有非常重要的影響。

法拉第是有史以來被寫過最多傳記的科學家，我以前很難想像為什麼，104 年導讀活動前開始整理演講的資料，原本只打算寫二、三篇短文當作補充閱讀，然而一旦開始寫就停不下來；法拉第的一生有這麼多值得欣賞，值得品味，讓人讚嘆，發人深省的地方，我認為不是因為什麼世俗的因素讓人不斷的寫法拉第傳，而是一旦開始了解法拉第後，就會深深的受到吸引，筆（或打鍵盤的手指）也就再也不想停下來。

偉大的科學家另一個常被忽略的特質是會鑽研一些正確但遠超出當時有可能完成或驗證的研究方向，除了前述的電磁場的概念外，法拉第在 1849 年嘗試尋找電與重力的關係，或許他認為當時已知的二種基本力有其相似之處，彼此之間可能也有相關性，只是這個研究至少開始得早了一百年，從愛因斯坦的晚年一直到現在，包含重力的統一場論仍然是物理學中最困難的問題。1862 年，法拉第嘗試探討磁場是否會改變金屬原子光譜的譜線位置，但並沒有觀察到明顯的改變。35 年後，一位荷蘭物理學家以更精密的設備證實了這種現象的確存在，現在我們稱之為 Zeeman Effect。

18-19 世紀英國皇家學會 (Royal Society) 是全世界最頂尖，學術地位最高的研究機構，1857 年皇家學會邀請法拉第擔任主席 (president) 但法拉第堅持不肯接受，藉口之一是健康狀況不佳，但其實大家都知道這是因為他對於世俗的名

利並不看重（他從來沒有為他的發明申請過專利），也或許 33 年前皇家學會的選舉所留下的陰影仍未消散。他在 1860 年 2 月曾經一週內二次前往 100 公里外的多佛 (Dover) 燈塔，遭逢大雪封路，他以 69 歲的高齡必需踏過雪地，越過障礙，爬過圍牆才好不容易到達燈塔，可見當時他的身體健康並不算差。英國皇室曾與他接觸表示希望授予他騎士爵位，他也一樣拒絕了，有趣的是他反而比較願意接受外國的頭銜，包括法國與德國非常高的榮譽地位，這或許是因為擁有國外的頭銜不需要經常煩惱各種繁文縟節及參加一堆浪費時間的活動。

法拉第雖然沒有特別去討好英國王室，Prince Albert (也是維多利亞女王的王夫) 卻很欣賞他，有時也會來 Royal Institution 聽他的演講，Albert 在英國推行的教育改革可能或多或少有受到法拉第的影響。1958 年 Albert 特別要求女王幫年事已高的法拉第準備一間靠近 Hampton Court 的房子，法拉第一開始有些猶豫，但在皇室誠心的安排下也終於勉強同意，這讓大家都鬆了一口氣。

歲月不饒人，1861 年法拉第在他 36 年前一手創辦的 Christmas Lecture 中給了最後一場演講，1862 年也告別了他所鍾愛的 Friday Lecture，1865 年法拉第終於從服務了 40 年的 Royal Institution 退休回到 Hampton Court 的家中。1867 年 8 月 25 日，法拉第在他書房的座椅上安然辭世，享年 76 歲，四天後安靜的下葬於倫敦北邊的 Highgate 西側墓園，留給世人無窮的感念。他生前婉拒被葬在英國皇家墓園西敏寺，但後來在西敏寺內離牛頓的墓不遠處鋪上了一塊紀念法拉第的地磚。

右下圖引用自：<http://www.westminster-abbey.org/our-history/michael-faraday>



Copyright © 2016 胡維平 All rights reserved.

國立中正大學化學暨生物化學系

2018/9/13 修訂