

自然科學小叢書

法 拉 第 傳

J. A. Crowther 著

周 昌 壽 譯

王雲五 周昌壽主編

商務印書館印行

自然科學小叢書

法 拉 第 傳

J. A. Crowther 著

周 昌 壽 譯

王雲五 周昌壽主編

商務印書館印行

# 目錄

第一章	幼年時代（一七九一——一八一三）	一
第二章	科學訓練（一八一三——一八三一）	一〇
第三章	電學研究第一期（一八三一——一八四五）	二五
第四章	電學研究第二期（一八四五——一八五五）	四四
第五章	老年時代（一八五五——一八六七）	五三
參考書目		六〇

369905

# 法拉第傳

## 第一章 幼年時代（一七九一——一八一三）

十九世紀的第二個四分之一，要算是科學界呈空前盛況的時期。力學的基礎已由牛頓奠定，其結構的大部分，均已完成。幾何光學的殿堂，亦已建立，僅其同伴物理光學，尙未開始而已。言及電學的宮殿，在當時甚至連地面也還未曾加以測量，奠基更說不上。可是到了現在，其富麗堂皇達於極點，而經過的時間空間，却又極其簡短，令人對於參加建設者，只有驚嘆其爲「鬼斧神工」而已。頗有不少的石塊，安置得恰富而又切實，在他們上面鐫有名字，足以永垂不朽。其中有許多最大的石塊，都鐫着同一的人名，這個人名就是邁克爾·法拉第（Michael Faraday）。

最近有許多電學的應用，都是根據着他的發見，其來源要都出於他那豐富的腦力。現在使街頭室內照耀得和白晝一樣，使電車在馬路上往來如織，使電動機運動不息的電流，就是經他的手，纔出現於世的。在醫學上應用的電流，也以法拉第電流爲其主要。還有那遠隔重洋傳遞



消息的無線電，推原其始，雖非出自法拉第的實驗，也當歸之於其思想。就是那些在碗櫥內食桌上面光耀奪目的鍍金器皿，也不免有一些地方和他有密切的關係。

再就理論方面而論，他的功績亦不遜色。可惜我們無法回到他的那些發明還未曾出現的時代去，所以要評他的真價值，幾乎是絕對不可能。只有和他同時代的人，纔辦得到。不過至少也有一點，是比他那同時代的人略勝一籌，就是我們的見解，究竟要完全一些。假使我們對於法拉第所遭遇的黑暗和困難，以及他如何去打開，能夠得到較為確切的評價，那麼我們對於他腦筋中指導他的手指動作的偉大思想，更要能夠認識其價值了。並且不僅對於他已經做成功的，就是對於他還在計劃中的，以及未能完成的（即是用他當時的手段而不能夠成功的），我們也可以看得出，究竟他那銳利的眼光，深入到怎樣的一種地步。像他這樣的人，簡直不是什麼演繹和隨納的問題，也不是按部就班兀兀窮年的問題，乃是一種實際的預言家。

凡是對於科學有所開拓的大思想家，大都是這個樣子，只不過程度上略有不同而已。就是這一點分別出他們和其餘的不同，其餘的只是追隨着他們的步驟，將他們的足跡逐漸加以推廣，使其成爲一條大道而已。其中尤以法拉第一人爲最甚。和他同時代的人，認爲他能將真理開得出來。他的確要算是科學界的一位先知先覺。他從像吡叻山（Orissa）那樣的高處，下眺自然界中還沒有爲人征服的方面，拿出預言家的眼光，畫出應該遵循的途徑。他使後繼的人得到一種線索，可以領導他們在那荆棘叢生的智識道程中安定渡過，他那後起者之中，

就是最優越的，也都以尊他為師，用為榮幸。

這些說完之後，我們就可以明瞭知道他愈深的人，崇拜他愈甚的理由。與其說是由於他的成就，毋寧是由於他的為人。他的一個助手曾經批評他說：「他那偉大的地方，能够鑽入他的科學中，還沒到一半。因為科學還不能舉將他那心情之剛毅和精妙，表現出來呢。」有一冊專門記載法拉第的發見的書，有他的年友丁鐸爾（Tyndall）在書末追懷亡友，以為除當稱他為「上帝最正直忠實的戰士」而外，別無更適當的墓誌銘了。

本書的目的，在用極其簡單明瞭的文字，將這位科學家，先覺者，大聖人法拉第的生平和事業的一部分，介紹與讀者。

邁克爾·法拉第（Michael Faraday）誕生於一七九一年九月二十二日，地點在薩立（Surrey）的紐因敦（Newington）。法拉第的家系，本出於北方民族。他的祖父母住在一間灰色石造的農家裏。這種房子，周圍有鐵樹護着，現在在盆嶺山地（Fennine Downs）周圍的荒涼原野上，還有這種房子點綴着。他的父親是一個鐵匠，隨着同業到了南方，最初住在紐因敦，後來（當邁克爾五歲的時候，）移到倫敦，在雅谷院（Jacob's Yard）近傍的馬號地方，一家馬車行的樓上，租了幾間房間，就住了下來。

據保存下來的他的幾封信札推察起來，可以想見他的父親是一個很勤苦而又為心宗教的人，屬於一個很小而又沒有勢力的教派，即是桑提曼派（Sandemanian）。他的祖先戚屬於這

一派，後來邁克爾本身也成爲這一派中的活動份子。他的父親因爲身體不好，不能夠按日工作，弄得來家庭生計極爲困窮。並且當時的勞工生活，本來也就萬分艱難的了。以拿破侖爲中心的戰爭，使歐洲人民的困窮，有增無已。食料缺乏而又奇昂，四個孩子正在成長，所以有時裏使個個吃飽，實在不是容易的事。據邁克爾自己的記載，他的父母每星期僅給他一個麵包，要他省儉作一個星期的糧食。

關於他幼年的讀書生活，雖然應該知道一些，可是差不多無從查考。當一八〇四年卽是當他十三歲的時候，他住在布蘭埠街(Blandford Street)的一個書店雇去作跑街。那個時代的報紙，要算是一種奢侈品，只有極富裕的人家，才能購以，通常都是租來看的。法拉第的一部分職務，就是將這種報紙送到租着的人家去，到了租期完了的時候，又去收回來。他最初記載的實驗，就是在這個時期做的。當他將租戶的門敲了一下，靜候着開門的那一點短時間內，忽然發生一個疑問：「假使我的頭在欄杆的那一邊而我的身體却在欄杆的這一邊，那麼，我應該說是在欄杆的那一邊纔對呢？」本着他所秉賦的特別能力，以及對於實驗的特別傾向，於是他就實行去試驗一下。不料這時門突然打開，這個青年哲學家，未曾注意到，急忙將頭縮回，已經來不及了，被門結實碰了一下。而這個問題遂一直留到現在，依然沒有解決。

法拉第永遠沒有忘却他的早年的經驗，每逢一想到他做送報人的事情，必定感到一種無上的快意。同樣，他幼年對於父親的鐵匠工作上所發生的興趣，也一直保存到他晚年。他在一八

四一年的論文中，還這樣的說：「我很喜歡鐵匠舖，以及關於鐵匠的一切事件。我的父親就是一個鐵匠。」

他在商業階級最下層的時期，並不甚久。翌年（即一八〇五年），他的主人利保（Rehau）命他去學習裝釘書籍，同時還兼做賣書的職務。他那契約中有一句值得記住的，就是「因為他服務很忠實，所以免收學費。」

法拉第就在裝釘的書中，得到了他對於科學原理的最初的認識，想不到後來科學的原理，卻由他發揚光大。他從許多冊數的大英百科全書中得到了關於電學的最初的觀念，他從一冊名叫（Conversation）的小書中，得到了關於化學的最初的知識。在當時這種小書還是高等文人的一部分重要的文獻。就在這個時代，處着這種惡劣的環境，他已經表現出對於事實的熱情，和對於任何有名的權威，不肯輕於置信的特性。他後來的科學研究，都具有這樣的特性。這些作者的結論，只要是在他能夠實驗的範圍內，沒有一種，他不去親身研究。他的實驗方法並不多，但總是反覆不已的去做。在這個時候的零用錢，只要能夠節省下來，他都拿去購求他的科學的研究所要的材料，常常還要將食品室內的東西拿來補充。每每要將白晝的工作做妥當了以後，到了深夜，方能夠開始他的實驗。因為管家的忘記了裝滿鹽碟，往往害得他的實驗不得不延期。

法拉第一面裝釘一面賣書的這個職業，不但使他容易接近當時絕無僅有的科學文獻，並且



使他和教育界人士接近。他從其中的一位，得到一張聽講券，去聽一個化學講演。地點在皇家研究院（Royal Institute），講演的人是德斐（Sir Humphrey Davy）。這位熱誠的青年，居然能夠親眼看見當時最負盛名的化學大家，並且能夠耳聽見他的談話，其喜悅的情形，不難想像而知。他將所聽得的講演筆記出來，完了之後再用一冊四開本的雜記簿，將他謄清。其中凡是可以推廣的部分，他都加以補充，又附加了許多插圖，表出講演時伴同做過的許多實驗。在辛苦了一天之後，還要做這個工作，這決不是不足道及的。

這個時候（一八一二），他的學徒的期限，業已滿期。在另外一個人名叫得拉羅希（De la Roche）開的書舖裏面，去做正式的裝釘工人。這個新主人是一個喜怒無常的人，所以法拉第對於這個新位置，並不感覺快活。脾氣雖則奇怪，可是這位新主人，對於他的這位青年助手，却有一種真摯的情感。至少對於他的能力和價值，認識得很清楚。所以約定只要法拉第繼續幫他下去，他就使法拉第將來承繼他的這個書舖。

可是法拉第對於科學的熱情和對於職業的厭惡，愈來愈甚，所以決定下來，只要能夠辦得到，他一定放棄這個安定的商業，而去追求那既不可靠且決不能生產的知識。雖然沒有私人的關係和勢力，可是他仍然決定向德斐進行。他和德斐雖然相隔甚遠，但却對他心悅誠服。他費了許多心力謄寫出來的那篇講演記錄，可以代替一封介紹信。他將講演記錄寄給德斐，並附一封信，希望得到一個有學術性質的位置。只要能夠使他從卑賤自私的職業，轉變到他喜歡的

能夠使人成爲和藹優美而又智慧的科學的職業，不問待遇怎樣的卑賤，他都滿意。這位老前輩化學家，接到他這種充滿熱情的幻想的信時，露出來的那種苦笑情況，不難想像得到。法拉第還不知道一個人成聖成賢，乃在於其內部的品質，並不在於他偶然從事的職業。科學的追求雖極神聖，但也不免有卑鄙的目的，和用卑鄙手段去做的。

德斐對於這個異乎尋常的要求，好像很爲躊躇一下。據說他去和研究院的一個管理員商量如何作答，管理員說：「叫他來洗洗瓶子，假使他還有點用處，他一定做得不錯；要他拒絕不來，那就是沒有用的廢物了。」假使果然照這樣辦，法拉第一定會接受的，並且瓶子也必定會洗得很乾淨，這是無可容疑的。可是他的那樣熱誠，卻不能受這樣殘酷的試驗。德斐的態度很誠懇，和法拉第面談一次，明白的對他說（就是現在對於熱心的青年，也還是這樣的對付），科學好比是一個性情古怪的女子，你儘管對她掏出滿腔的熱血，可是她對你的報酬，卻極其渺小。又對他說，他現在已經熟習了的職業，可以使他得到安全的舒適和成功，同時還許他包釘院中全部的書籍。

可是法拉第既不畏難，又不爲利所誘，要想他改變方針，卻辦不到。他對於科學的嗜好，是超乎一切世俗見解以上的熱情。幾個月後，碰巧研究院的實驗室，有缺空出。德斐就將他補上，他立刻就接受了這個位置。這一次決定委任法拉第的會議錄，是值得我們將牠抄出來的：「德斐博士知會管理員，已經覓到一個人希望填補威廉·培恩（William Payne）所遺留

下來的。此人名叫邁克爾·法拉第，是一個二十二歲的青年。就德斐爾士的觀察所及，此人頗能勝任。他的習慣甚佳；性情富進取性，且甚和藹；舉動聰明。」（一八一三年三月。）

這位威廉·培恩並不是得到法拉第做他的後任，決不會為人知道的。法拉第補上了他的缺，每一星期的薪水是二十五先令。從此以後纔得投身入於科學界，後來竟成爲科學界中最偉大最光耀的明星。

德斐說法拉第對於研究室助手的職務頗能勝任，我們雖然表示同意，可是這個職務對於法拉第是否也能相稱，卻不能無疑。他在這個時期中寫的信還有一些保存下來，從他寫的信上，可以將他的爲人反映出來。不僅天賦的生氣和智力，遠超出常人以上，就是通常認爲是後天的特性，如矍鑠、修養、以及優美等類的品格，也都遠在一般人以上。不僅這些性格的生動和正確，與衆不同，還有他們所表現出來的思想，其磊落懇摯謙恭，更有甚焉。這個時期德斐正在研究氮的元素本性，引起了全科學界的深切注意。舊時認氮是一種氣的化合物。費成德斐的人，則堅持是一種元素。在此兩派之間，遂發生了異常激烈的爭論。法拉第的信札中，全都是寫的這件事。其中有一封信，是寄給一個還在懷疑的友人，解釋德斐的見解。由他這種解釋的方式，可以表現出他對於本題的領會能力和說明的透徹，條理的整齊。因爲有這些特性，所以使得法拉第後來不僅成爲一個異乎尋常的發見家，並且同時還是一位出類拔萃的講演家。

他那信中寫着：「我這樣熱心信奉這個學說，毫不足怪。我親眼看見德斐本人擁護牠。

我還見過他做出許多實驗來，確證和解釋，我聽見他應用這些實驗去說明這個理論，去助長這個理論。確信使我不得不服，由信服而欽佩。」

可是他的那位朋友，誤會了他的意思，將他所表示的見解，認為是一種侮辱，（這種情感就在科學辯論中往往也會發生的，）所以他給法拉第的回信，極爲憤慨。在法拉第的答覆信中，可以看得出這個人的性情。

「接讀本日來函，萬感交集，煩愁愧悔，尤爲不勝。我寫的信實在是受了他們的刺激，要想將當時我的情感披露給你。在我的信中前半段，你可以看得出你要我不說到氣的問題，我未能遵命，這確是十分抱歉的。只要有餘閑的時間，我常常的想起，並且拿出來一再的重讀，覺得很爲快活，可是一接到你的回信，真令我十分的慚愧。在那一封長信的開始處，我曾經聲明我再提及這個题目的理由，現在想起來，實在是我那時的得意和自滿的心情，有以致之；恐怕當時我自以爲對於這個题目，具有超人一等的智識，纔會如此。現在既經明白了是這種情感作用，所以我不能不向你披露出來，希望將他加以抑制，俾能減輕一些。」

這就是當接受皇家研究院助理研究員位置時的法拉第，這就是他開始貢獻於科學界的天才。

## 第二章 科學訓練（一八一三——一八三一）

就這樣，法拉第抱定了信仰，拿出他的勇氣，順從天命，開始了他內心所要求的人生歷程。他的能力對於他階層的科學上的職務，雖尚淺薄，可是當他還未曾充分準備去完成職務以前，還有不少學習的機會。就在這個準備期間的開始。德斐就再有一次行動，供給他一個很好的機會，對於他不能不算是最大的益處。

在這一年（一八一三）的年底，德斐決定出外旅行，到歐洲各地的大學和研究所去，遍訪他那些最負盛名的外國同志，想利用各研究所使用着的種種不同方法，來做他自己的研究。他需要一個助手在旅行中幫助他的實驗工作，以及替他準備他期望的科學記錄。他為雙方的利益計，他請法拉第來擔任這個職務，於是在一八一三年的十月裏，他們就啓程到法國去。這一次的旅行，期間極長，差不多有兩年之久。他們經歷的地方之中，有巴黎，熱那亞（Genoa），佛羅倫薩（Florence），羅馬（Rome），那不勒斯（Naples）及日內瓦（Geneva）等處。其中有一住數月，等德斐做完實驗，纔離去的。法拉第因此認識了許多當時自然哲學的泰斗，他們的名字，都是科學界耳熟能詳的。其中有安培（Ampere），給呂薩克（Gay Lussac），克力門（Clement），得索爾姆（Desormes），及得拉利夫（De la Rive）等。這些人當中，當然為

不了有幾位對於德斐帶來的這個青年助手，不甚介意。可是也有幾位看透了他的價值並不在於其主人之下，因此結爲知交，直至於其晚年的。對於這位青年學者，這件事成爲一種鼓勵和快活的來源。不問是出於友誼或是出於炫耀，總之，法拉第是得到了機會，直接去觀察這些人物博得盛譽所使用的方法。後來法拉第之成名，由於其獨特的實驗研究，其中似不無可以歸功於此次旅行的賜與。

在這一次旅行中，法拉第曾經記有一本日記，到現在還保存着。從這本日記可以看出他的興趣，他的觀察思想的能力是如何的廣泛了。上面記着許多的德斐的實驗，他的助手看去當然極爲得意的。關於地質方面的記事，也很常見，其中有兩篇登維蘇威(Vesuvius)山記，文長而又詳盡，不過法拉第對於科學的熱情雖極濃厚，到還不至於毀沒了他對於別方面的興趣和感情。自然界中森羅萬象，對於他都是一種不忍拒絕的要求。雷鳴，日落，瀑布，峯巒，無一不使他神魂飛越。對於人生百事，不單是一個很銳敏的觀察者，同時還是一個極同情的批評家。又記着法國的馬夫（關於他們的馬靴，寫得很正確而又詳細，法拉第的科學著作之所以得名，即由於此種作風，）意國的乞丐（一乞食是近世意大利的生存權，）以及羅馬的狂歡節，而對於狂歡節的記載，不僅是一個旁觀者，並且還有點哲學家或其他的態度。他的本性絲毫也沒有遺世獨立的痕跡。只要來源正當而又不礙於其職務，他對於錢財並不鄙視，對於尋常朋友間的談笑，他也不故意離開。當他晚年的時候，每逢醉心於他的辭令的名家羣衆散會出門以後，必定

有許多跳躍着的脚步声，從上面法拉第的住宅，潛行進入，研究院的這一間大講演廳，立時就充滿了歡笑的聲音，我們這位大科學家本身就是其中最快活的一人。這種富於同情和心明神清的景況，就在幼年時代，也和晚年時代一樣，成爲法拉第的最顯著的特徵。

③日記中關於旅行的描寫也很多，而且往往帶有幽默的風味。試舉其一節來看：由東地（Ford）啓程，最初兩段路，是乘馬。我雖然不是一個騎馬家，可是也不能夠單獨怪我，連人帶馬翻了兩跤，不過這樣的事情，在九英里中到也不常常遇見，略爲可怪而已。要是一個裁縫，他一定說這匹馬是一個宗教的信徒，牠所做的也就是一般意大利人在衰老的時候所常做的。我卻不以爲然，牠實在是一個畜牲，用牠的腳應該很整齊的走路。

但是當時震撼全歐的政治問題，卻未曾引起他的興趣。拿破侖（Napoleon）從厄爾巴（Elba）逃走，也只不過是知道了而已。「聽見說拿破侖恢復了自由，我因爲不是政治家，所以也犯不着去多操心」，不過這件事對於德斐的計劃，卻有很大的影響。德斐本來還想要到土耳其和小亞細亞去，因此不得不急急的取道德國和荷蘭，回轉英倫，於一八一五年四月，抵倫敦。

法拉第立即重理舊業，做皇家研究院的實驗室助手。從此以後年復一年的理首工作，忙個不了。德斐的活動到了極盛時代（他在這個時期中的研究，包含着有煤坑內的炸氣（firedamp）的研究在內，後來遂發明出有名的安全燈（safety lamp）。）每一個實驗室中所費的勞力，除非身與其事的人，無人能夠想像得到。法拉第既是他的助手，所以大都是落到法拉第的身上。

並且不久又兼做研究院中各個講師的助教，講演中要表演的許多實驗，都要他去準備。他雖付這一部分工作的能力，不久就成爲人所共知的。誰的運氣好，得到了法拉第做助教，那麼，他那次講演就好像在絲絨上一樣，進行得又平滑又容易。可是要得到這樣的好結果，助教所費的時間就不少，往往爲單獨一個講演，就要用去五六小時的工夫。

同時法拉第更努力向各方面發展其智識，有許多的教訓，是他以助手資格參加講演會時，始行得到的。大部分還是由於自由利用圖書館而來。尤以和德斐以及常常到研究所中來的那些科學大家，時時發纒，所得爲最多。不過他的最良的導師，還是要他去做的這些實驗的本身。一個實驗裏面，包含着有活躍着的人格在內，這種人格是決不能用言語文字表現出來的，並且見仁見智，隨人而異。法拉第對於這一方面，感覺特別的靈敏，對於這種微妙的影響，差不多有一種靈感。只要是可能的他總將牠捉住，凡能從記錄中得到的一切，他總認爲不能滿意，必得要求自己照樣去做一遍，對於由實驗得到的理論，除非是他親手做的，也決不肯置信。後來在一八二一年，他曾將當時關於電磁學的事項，記載下來，結果對於他所記述的那許多的實驗，都非一一親眼看過，竟連睡眠也將爲之不安。

逐漸他的工作，不完全受人的領導了。智力和自信日愈增長，他就分出一部分的時間來做他自己的創作，其中有些出於德斐的提示，有些則完全出於自動。他發表的第一篇論文，題爲「天然出產苛性石灰之分析」(An Analysis of Natural Occurring Caustic Lime)登在 1



八一六年的「科學季刊」(Quarterly Journal of Science)上面，那時據他自己說，「正當我的恐懼心勝過自信心，並且兩者都勝過我的智力的時代；也正是我絲毫並未想到要寫一篇科學創作的時代。」這一篇小論文，發表了以後，接着又做了幾篇關於化學的論文。一八一八年他已具有充分的自信，發表了一篇「發聲火焰」(On Sounding Flames)，指出聲浪並不弱於得拉利夫的理論中的錯誤。每逢一位青年實驗家，覺到他自己居然能將人所容許的學說推翻的時候，無論在任何時代，也都是是一件不尋常的事件。簡單兩說，法拉第現在已經走上了證實他自己的理想的正道了。「哲學家應當對於任何提示，都要虛心去接受，但須自己去判斷。不應當側重皮相；不偏愛假設；不分派別；在正義上不服從他人。不能偏袒人物，要注重事實。應該要以真理為其最原始的目的。如更於此上，加上勤勉，那他就只有在自然廟堂榮光中高視闊步的希望了。」

一八二〇年要算是電學史上足資紀念的一年。奧斯特(Oersted)最初發見奇妙的電流和更奇妙的磁力間的關係。如果傳說尚可憑信，他是在無意中，發見了一條載有電流的導線，緊張在一個磁針上面，磁針就會從本來的位置改變方向，不再指着磁北極了。這種從來認為毫無關係的兩個現象，竟有了關係，引起了科學界全體的注視，無論何人，對於這個新穎而又奇妙的效應都感到興奮。由安培的睿智，窺見所有一切的磁鐵間的作用，只要配置得宜，無一不可從電流得出，科學界因此更為震動。

法拉第也受了這個奇妙的問題的吸引，所以也準備用他那慣常的小心翼翼而又有條不紊的

方式，去盡力研究。於是如上所述，將關於本題的種種實驗，蒐集起來，並一一重做一遍。關於電磁學進展的著述，遂於翌年（一八二一年）夏間，發表於「哲學年報」(Annals of Philosophy)。敘述完了他人的工作之後，繼之以他自己的實驗研究。在電流和磁極間作用的力，和當時已發見的任何力，均不相類。既非引力，亦非斥力，究竟這是一種什麼力，在當時卻苦於無法判斷。在法拉弟卻捉住了事實，認為是實在的一種轉動力，並且使用很巧妙的實驗方法。果然能夠使一個磁鐵，透有一條電流不絕的轉動，使一條電流透着一個磁鐵轉動。我們只要想一個電動機也不過是在磁場內轉動着電流，就不難判斷他這個發見的重要性了。電動機和法拉弟創作的實驗所不同的地方，不過是機構上細處而已。

曾經參加過早年實驗的一個朋友，曾經記述法拉弟成功當時的歡喜情況，他說：「我忘記不了他的臉上所表現的熱情和他的眼中所發出的光輝。」事實上實驗對於法拉弟，無論在什麼時候，都好像兒童的快活一樣，不管這個實驗是出於他本人之手，或出於他人之手，甚至於到了晚年，只要見着一個新鮮的巧妙的實驗，他快樂得差不得要跳舞起來。可是關於電磁轉動得到的結果，使法拉弟還得到更進一步的興趣，就是他還能夠去喚他的夫人到實驗室裏去參觀他的成功。因為在這個時候，他已經結過婚，並且帶着他的和夫人到研究院裏，和他同住。他有一冊記事簿，上面記着他的許多的獎狀，勳章，和榮譽等，在那裏面後來他親筆記下這件事；其原文如下：

「在這些記事當中，我要插入一個日期，這是榮幸的一個來源，而且遠超出其他一切來源之上。就是我們在一八二一年六月二十日結過婚了。」

可惜受了其他的激務壓迫，使法拉第不能立刻跟着他最初的成功，繼續研究下去。他得能夠自主，對於他的化學方面的能力，又有新添的工作。這個時期研究院的經濟發生困難，迫而出於利用科學去改良製造，這是極其自然的一種誘惑，然而也是最致命的。對於這些工業研究，免不了要法拉第去擔負一部分，對於世界上真是一個極其重大的損失，簡直無法加以估計。或許會有一天，使當局者覺悟過來，知道研究應該和權勢獨立，從此種卑賤的學科不會得到多少好處，然而這種黑暗時代，一時還不會重放光明。在一八二一年，法拉第開始做許多的實驗想用別種元素和鐵做成合金，來改良外科器械中所使用的鋼；在一八二五年，又要去協助研究院創始的與此類似的一種工作，目的在改良光學器械所需要的玻璃製造，此項工作一直繼續到一八二九年。對於這些工程上的問題，儘管浪費了不少的時間和腦力，但並沒有一種收到些微商業上的效果。雖然後來從他發見的合金中的一種出現了剃刀，可以算是法拉第的價值的一種表現，還有當他作製造玻璃的實驗時，從一片重玻璃，立刻引出了他的最深奧而又最富於啓發性的種種發見。總之，法拉第的天才，在用科學方面，實在沒有充分發展。他的特長要到了知識的境界即是光明和黑暗接觸着的地帶，纔能充分表露。他長於發見而不是發明家。他自己曾記着：「自己既不是一個製造家，要完成一種製造，我卻沒有這種勇氣出來保證；」在一

八二九年，他正式具函皇家研究院要求自由，希望願從他內在的光明，對於其他的問題，發揮自己的理想。

不過在這幾年裏，也並不是完全沒有收穫，在其他的方面也有不少發見，要是比他略為遜色的人物，得到這些成績，也就足以自滿的了。在一八二三年，他指示出歷來認為不能凝結的氮氣，可以用適當的方法，使之化為液體。他用一個密封着的玻璃管，內盛氮與水的固體化合物，用火加熱，即見管中他一端有油狀的液體分離出來。據說恰巧當時有巴黎博士 (Dr. Paris) 在實驗室內，看見這種油狀物，還譏笑這位青年化學家，說他太不注意，怎麼會使用不潔淨的器具。次日他就接着法拉第的信，其文如下：「你昨天看見過的油狀物，結果乃是液態的氮。」因為在管內從固態化合物分離出來的氮氣，發生很大的壓力，足以使牠自身液化。法拉第由此線索，遂將其他種種永久氣體，都化為液態。因此指出舊日對於氣 (Gas) 和汽 (Vapour) 所劃定的界限，完全是出於人造，所謂永久氣體不過是沸點甚低的液體的汽罷了，這一發見，使關於液態及氣態間的關係的觀念，得到很正當的立足點，同時掃去一切障礙，俾真正的物質動力說得以出現。因為發生的氣壓極高，而使用的容器又太脆，所以這些實驗，不能免於危險，其中有一次，有十三塊以上的玻璃碎片，炸進了這位哲學家的眼內，還算幸事未曾使他的視力受到久遠的傷害。

還有一篇論文，題目到很客氣，叫做「一種新的碳氫化合物」(A New Compound of Carbon

and Hydrogen)，內容是發見苯 (benzol) 的意見，這是一種最重要的化學物質，就到現在也還爲人類所利用，不僅作成燃料，作成清洗劑，作成商用上種種溶媒，異常重要，並且還成爲苯胺染料工業 (aniline dye industry) 的基礎。

現在已進入法拉第的發見的極盛時代了。長久的學習期間已滿，在許多並非不重要的方面（此時已有六十餘篇備作論文），已證明了他的熟練，做一個科學家，或許照他自己的意思，做一個哲學家，已經有了很充分的準備，正要開始進入本題，這個題目是和他的名字永遠聯在一起不肯分開的。在未會敘述這個階級之前，讓我先認識他到這個時期以前的私人生活。

他在一八一二年和塞拉·伯納 (Sarah Barnard) 小姐結婚，她是法拉第常常去的舞廳禮拜堂的牧師的女兒。這個婚姻是很美滿的。法拉第對於他的夫人具有很深切很誠摯的愛慕，並且是與年俱增，和她在一起，永遠感到快樂與安適。法拉第夫人是滿腔柔情閃爍着她的丈夫，只要看到他的研究工作緊張過度，爲他的體力所難勝任的時候，就應用她的愛情權威，使他離開實驗室。他們沒有生育，卻有許多姪兒姪女，常常總有一個，到他們那裏去住，只要一有地位空出，立刻就有另一人來補上。法拉第的餘暇無多，大都用來指導他們或和他們取樂。因爲他很歡喜小朋友，所以他深知小朋友們的舉動和需要，並能引起他們的響應。就是那煩雜的加法，只要由他去解釋，也會變成有趣。小朋友坐在他的實驗室裏看他工作，常常都覺得好玩。他一面做着重要的工作，一面要時時停下來將一小塊銅塊到水裏面去，或者做些其他的化學把

戲，去逗小朋友。這些小小的實驗，在任何雜誌中都未曾記載過，或許在別的書上登載過也難說。法拉第夫人在他丈夫死後還活着。想到和她離別，縱令爲期很暫，也要算得法拉第對於死的幻想中唯一無二的暗黑陰影了。

一八二二年法拉第正式加入了桑德曼教派 (Sandemanian Church)，他的父母也屬於這一派。這一小派差不多無人知道的非國教團體，是長老會 (Presbyterian Church) 的一個支派，在數百年前就已成立的。雖然他們很簡朴很幼稚，可是有些事情，卻反而走到時代的前面。他們認爲教會要依仗國家的力量，未免有損基督的尊嚴；除非變成當初建立時所反對的而外，決不能成爲國教。他們相信基督降世，並非爲着俗世的繁榮來建立地上的王國，乃是爲着要賜與信仰他的人一種確切的希望，使他們知道除卻坟墓而外，還有永久的生命。他們相信上帝對於信仰者有人事上的權力；他們之所以得救，就由這種信仰，不但如此，就是使他們知道懺悔，去投到上帝的腳下，也都是上帝的恩惠，不是他們自己的能力弄得到的，也不是應當得的。

法拉第爲信仰而加入這個教派，不久就成爲派中的長老，遇有機會卽向他們說教，絕對不用誘惑的口氣（雖然誰也不及他會利用這樣的口氣），言辭總是很有敬意，很謙遜的。使他成爲當代第一流講演家的那種技術和態度，還有使他超越流俗的那些睿智和成就，全都一律拋卻，去崇拜上帝，因爲在上帝面前，無所謂智愚，無所謂文明野蠻，亦無所謂自由與不自由。法拉第的宗教觀念，實其爲人之心思想，使其生涯充滿了能力和和平，在其一切行動中，均

表現出來。有人問到，雖能立即說出，但卻不會勉強別人談論宗教，就在社交寒暄中，也從不提及，僅對於他人所欲知者，與以答覆而已。

他的科學談論中，並不見有這種深摯的宗教信仰混入，這是因為他覺得宗教的領域，更遠超出科學領域之上，單由人類的智力，是無法達到的。他說：「我相信未來的真理，決不能由人類的心力，可以知道的，心力再發達，也是徒然；必須求之於人類自身的教訓以外，只有從聖經中的信仰纔接受得到」。

同時他認為上帝的事物，雖有許多是俗人看不見的，但若從造成功的事物去推想，就會明瞭。他從上帝在自然界中所用的方法，得到暗示，知道上帝在精神界中的目的，並且很隨便的就利用來供他本身和他的友人的需要。他寄給一個失意中的友人的信上，寫着：「我近來有許多天的夜間，都在眺望山上的雲，其聚也非我所預料；其散也適當我認為尙應陰霾之時；其降而爲雨也，雖與我個人以不便，周圍固莫不蒙其惠；其開也頓呈美景，又當我預計應在黑暗中散步之時。總之，外貌無論如何確定，只要我一加推測，必會發見自己的錯誤。我所得到的唯一的結論，就是其目的之美滿，固不下於其方式之優美也。」

「人生也是這樣；我雖然對於不幸，裝做不甚關懷，其實我見得很多，在我們平常認為是煩惱，不過是個人的私見罷了，也有轉禍爲福的。要點是這樣：在一切的知識中，我都發見了我自己的觀察不足，判斷不正。我由實驗得到的結論，有一部分是對的，但尚有一部分錯誤也。」

是的確的。我若果能夠用別的實驗來糾正，那我就進了一步，舊的錯誤也減少了一些，但仍不免帶着人類的色彩，可由其永不會完全的一點，爲之證明。對於別人的動機，加以判斷，情形亦同。碰巧我可以看出不少的地方，但決不會全部都看得出。人生事件，又何獨不然。我對於遠地事物的見解，和對於近在身邊的事物的見解，從不相應。我希望要打開難局的辦法，決不是實際出現於我眼前的方法。在這些例中，在一切的知識和經驗中，仍究相同，對於我們永久是不完全的，結果總是美滿的。一切的事件都永遠在源源不絕施惠於我們的權力統治之下。既是如此，爲何我們遇着不得意的時候，不將沉鬱的精神和思想，暫行擱下，只要能够抵抗摧殘我們的風雨，就可懸想行將被牠們帶來的美滿結果，引以自慰呢？」

一八二三年法拉第當選爲皇家學院的會員。當時的院長德斐，因法拉第曾做過他個人的助手，所以對於他的當選，頗爲反對，殊屬憾事。好在選出來以後，德斐既然失敗，法拉第的心胸又很寬闊，不會懷恨，因此兩人間的友情，也不至於永久決裂。翌年法拉第在研究院內開始演講，一八二五年他在當初僅以徵末助手進身的那個實驗室中，充當起指導員來了。法拉第的精力，方法，以及對於這個位置的創造力，使研究院脫離財政困難，是不成問題的了。他因爲要傾注全力於其工作，所以辭退了當時正在創設的倫敦大學的教授職務。一年後研究院的主持人，因爲他正在從事研究，纔免去了他那講演助手的職務。一八二八年在研究院管理會中取得一席地位。



## 第三章 電學研究（第一期）——（一八三一——一八四五）

皇家學院對於「實用」科學的一番熱情，雖則用意甚佳，其實卻是錯誤，法拉第因為要去這付重擔，俾得自由從事時繫腦中的偉大理想，其情解之懇切堅確，已如前述，然而這個研究，極其浩大，要得到充分的自由，還得要將另外一部分的負擔放下。雖則現在大家都知道，化學並非他的專門工作，可是不要忘記他在這一方面的成就，決不細微而且極為重要，他在當時確是值得稱道的一位負有盛譽的化學家。他對於這一方面的貢獻，成為實業界最大的需要，許多製造廠家競相致送莫大的酬金，求他對於化學製造上的幫助。在一八三〇年內，由這一類的工作，即是法拉第自稱為「生意上的事務」，得到了一千鎊的酬金。據深悉當時各種情況的人慎重判斷，他在這一方面的收入，至少可望增加到每年五千鎊。可是對付這項工作所消耗的時間和精力，也同樣的多，而且多到預定計劃中的工作，都無法完成。於是他又不得不徬徨歧路，和他當年初入社會時的情形一樣。一方面是富，一方面是沒有嫁裝的科學，何去何求，一任他的選擇。如其為個人着想，就當發揮他那無可匹敵的特長，如容內心的要求，則又須完全放棄，應當要為眾人另闢一條蹊徑，俾得進入自然的祕寶寶庫。

我們知道這個選擇呈現於其胸中，而他的決定，則只有從他的帳簿上去查。他並無絲毫的

猶豫，就將營利的工作放置一旁。在一八三二年他所謂的「生意收入」竟從每年一千鎊以上，降到二百鎊以下，並且不久就完全斷絕。這些事實都是丁鐸爾（Tyndali）告訴我們的，據他說：「就他終身統計起來，以一個鐵匠的兒子，釘書店的學徒，要在一方有十五萬鎊的財產，一方是毫無嫁裝的科學之間，選定一種」。供他選擇的方面雖極富厚，然法拉第也並不窮乏。我們送與他的榮譽，雖已不少，然仍不及送與他人之多。他好友間的敬意，認為無上的光榮，而這種敬意，他就盡量的取到了手中。事實上科學本身在他看去，也就是報酬，知識比寶石還要貴重；所以他決定去付這個代價。

一八三一年八月二十九日，法拉第開始了他那偉大的「電學實驗研究」（*Experimental Researches in Electricity*）的工作的第一步，其後雖略有間斷，但竟繼續到二十三年之久，各段論文隨成隨即在皇家學院雜誌（*Transaction of the Royal Society*）上登載。刊出的時代前後相差雖極遙遠，對於本題的觀察方面，又極繁多，然而始終連貫成爲一氣，這當然是法拉第在開始時就預定下的計劃無疑。從頭到尾，每一節都編定有號碼，隨處又插入參考節數，更使其融合成爲一體。後來由法拉第彙成三冊重印問世。他大可引用詩人賀拉西（Horace）的句子「余建之碑，較銅尤能垂久」（*Exeri monumentum aere perennius*），來評他的這部傑作，可是法拉第的爲人，既極謙恭，不但不會作此豪語，就連這一類的思想，也從未有過。書中記載的發見如是衆多，如是重要；描寫的實驗如是動人；對於所抱的哲學目的，如是

適合；完成的方法如是巧妙；解釋的字句如是準確明晰；尤其是使他受到震感而又成爲工作基礎的哲學思想，如是深長，無論從那一點說，法拉第的這部「電學實驗研究」，都可稱爲科學史上有一無二的傑作。

法拉第成爲一個發見家所用的方法，也得略微介紹數語。現在每每聽人說到科學方法，而這三冊書中所記載的，卻可稱爲科學實習綱要的最上乘。法拉第不僅在技術上是能手，並且不會將他發見的經過，祕不示人。

關於科學方法的正確性質，現在還有不少的誤解。有人以爲是一種極嚴格的抽象推理系統，有人又以爲是些隨手拈來的實驗的一種偶然巧合。這都是對於科學方法的觀念，雖甚普遍，但卻錯誤，實際上當較此更爲複雜。有些現象在他覺得是有興趣或是極爲重要的，他就特別注意。他的第一步工作，是蒐集關於這一點的一切已知的知識。等到這些可以利用的證據到手以後，這纔進而構成他對於這些的想像。大科學家之所以能夠超絕庸俗，就是這種想像力有以致之。由這一步可以得到看去似可包括全部事實的學說或概論。不過第一要詳加檢驗，是否所搜集之事實，並無一種與之衝突。經過這一次嚴密檢查之後，仍能保存，那纔能够成爲新發見的指南針。因爲這樣的學說，雖然是從已知的事實得來，但其本性原是一個普遍命題，所以免不了推廣到已知的事實以外，由此而知還有尚未爲吾人得知的新事實新現象存在。這些新現象新事實，就是其次應當搜尋的。除非所構成的思想，有重大錯誤而外，至少也必定有若干新現

象可以發見出來，科學的領土，由是擴充。有時因為這樣的根究下去，竟發見若干新事實，和原本的假說不能並立。因此得知學說應有相當的修改，於是又引出新實驗和新的發見。反之，如新事實竟與學說完全不能並立，則非將學說拋棄不可，當以新得的證據作為根據，重新構成一種想像，以作應付。所以假說是引導發見家的指南針，而實驗則為檢查其進步的試金石。

這樣的方法，必須有獨立和謙遜的精神，始能辦到，即是要有毅力有勇氣去突破舊有的藩籬，而同時又要認清每一轉變中自身容易陷入的錯誤。想像要強有力方能深入未知界中，然又要順應靈活，方不至於受自身擴張之累，對於些微實驗事實的壓迫，均能感受，然後纔能保持其正當的進展。這種珍奇的心情，法拉第最為擅長。事實和假說的區別，或重言以申明之，即是永遠不少變易的實驗事實，和根據已知及正在搜索的事實而得，逐年均在變化中的解釋，對於此兩者的區別，無論何人，都不及法拉第來得詳細周到。他之堅持事實，有時令人疑惑他對於一切假說均不置信，但卻也沒有誰人能像他那樣隨隨便便，能像他有如是魄力去構成假想，也沒有誰對於假想具有那樣的堅持，那樣的精力，和那樣的成功。就說法拉第的每一個實驗，都受到這種假想的指導和靈感，也不為過。他生活在夢鄉中，他的工作就受到夢想的靈感。

關於法拉第的學說，後文再為詳述，其在科學上的貢獻實匪淺鮮。其中兩項，可作其全部實驗的雙重線索之用，所以不得不在此處提及。第一項是他那根深蒂固的信念，認為自然界是異常簡單的。他覺得構成宇宙的形形色色的力，相互關係固複雜，但其間潛伏著有一個調和，

或許甚至於是一個統一。所謂熱、光、磁、電以及化學引力等，事實上都是同一的力，只因表現方式不同，遂用這些不同的名稱來加以區別罷了。因此，這些力的中間，應當有極密切的關係存在，只要用適當的方法，不愁不會發見出來。這個信念，和他同時代的人，大都同有，不過程度深淺不同而已。

他的第二個科學信念，在相當的期間中，是他個人所獨有的。就是對於當時的盛行的超距作用（action at a distance），他表示反對，雖未宣諸筆墨，卻也同樣的根深蒂固。有許多作用的力，如重力、磁力、電力等，能在發生作用的物體，和相隔極遠的物體之間，發生作用。例如指南針會正對北極，而太陽會隔著難於想像的虛空，維持各行星一定不移的軌道。法拉第覺得這種超距作用，只不過是表面上如是而已。在北極和指南針之間，安知不有一種使此兩者互相接觸之物存在。在太陽與行星之間，看去雖覺虛無標渺，實際或許有一種不可分離的連鎖存在，只不過看不見而已。他有一個武斷，以為「任何物體，非在其所在的地方，決不能發生作用。」他的大多數的實驗工作，都傾向着要表示此項無一處不存在的接觸作用，縱不能表出其本性，至少也要表出其存在。

開卷第一集的實驗，就是由第一種信念靈感而得的。他慣常將隨時在他胸中浮起的念頭和疑問，記在記事冊內以供參考。在冊內前數章，他寫下一個標題是「化磁成電」，他已經老早就時常要實現這個野心，迄未成功。雖則迭遭失敗，然而他的信念，並不為屈，後來果然得到了

報酬。在一本新的實驗簿內，第二節就記着他的成功。在一個軟鐵環上，繞着一個線圈，由許多匝數的絕緣銅線繞成，線圈的兩端和一個電流計相連。要使這個鐵環變成磁鐵，另外再繞上第二個線圈，但和第一線圈，完全獨立，從一個電池將電流送入此第二線圈中，當第二線圈中一有電流通過，在此一瞬間內鐵環就成爲磁鐵，同時發見第一線圈中也有電流滾過，使電流計上的指針，發生好幾次的轉動。這就是「應電流」(induced current)，只不過存在的时间甚短而已。等到鐵環的磁化完成以後，立即停止。若果將電池來的電流切斷，使鐵環的磁性失掉，即見第一線圈中又有電流發生，和前一次相似，僅電流流過的方向，和前一次相反而已。由此可見鐵環中的磁性狀況一有改變，不問是創生是毀滅，都能使繞在其周圍的絕緣導線中，發生雖則極暫但卻甚強的電流。

這事發見以後，勇氣倍加，又做了一個類似的實驗，使用一條直的鐵棒，結果仍然一樣。可見在絕緣線圈和使鐵棒化爲磁鐵的電池中的電流之間，應有直接的作用存在。於是再將磁化線圈取去，單將磁棒放在永久磁鐵的兩極中間，使鐵棒化爲磁鐵，作同樣的實驗，結果也有應電流發生。由磁生電，遂完全證明。

法拉第又見到將線圈繞在鐵棒上，並沒有需要。只要有一個磁鐵和一個線圈接近，就足以使線圈中發生電流，並且磁鐵要是和線圈離開，也有反對方向的電流發生。事實上只要有一條銅線，在强有力的磁極中間移動，銅線中也會發生電流。據法拉第查見，這些電流，均僅限於

銅線在運動中方能存在。所以要想得到連續不斷的電流，必須要有連續不斷的運動。因此使用一個銅輪，在磁極間轉動不已，並用導線兩條，一連銅輪的軸綫，一連其邊緣部分，因為銅輪上每一小部分，都貫穿了磁場，接踵而過，所以各部分中都有電流發生，從導線的他端，就得以得到連續不斷的電流。這就是最先發明的發電機。

安培早已知道任何磁效應，都可以用適當的電路，仿造出來。所以不必一定要真正的磁鐵，只要使一電路作用他一電路，也可以發生感應電流。因此法拉第將他那一對絕緣的線圈，不再繞在鐵棒上，改來繞在一個木棒上。實驗結果還是成功。送電流進入兩線圈中的一個，在他一個線圈中，果然有暫時的應電流出現，只不過效應遠不及用鐵棒時顯著而已。法拉第稱這現象為「流電感應」(Volta-electric induction)：使用磁鐵時則稱為「磁電感應」(magneto-electric induction)。二十年後還是由法拉第指明這兩個現象事實上本是同一的現象。他後來的那篇論文裏面，記着許多饒有理論興趣的問題，都是由他這個大發現引出來的，或由之待到解決的。由這一個發見，使我們對於電和磁的關係，以及此兩者共同對於光的關係，待到了不少的光明。其詳細內容，容後再述，茲僅言其實際上的重要。

法拉第自稱他的這個實驗，是用磁造電，照他這樣說來，他的確是這樣。但不要忘记了使用的磁，並未曾消耗而去。法拉第的發電機中的銅輪，儘宜在磁極中間轉動，磁的強度，並不為之減弱。由此看來，當受着磁力的影響，電量沿着電路流動着的期間中，電流能够作工的能

力，並非出於磁鐵，而出於使銅輪轉動的機械力。這個銅輪的轉動在磁極間比較不在磁極間時難得多，這是可以覺察得到的。事實上，假磁極很強，轉動銅輪時的感覺，完全和在蜜糖等類黏稠物質中攪拌時的感覺相同。實際只不過是在毫不抵抗的空氣中轉動，真難使人相信。此項轉動銅輪所要的額外工作，表現成爲應電流所具有的能。所以在用磁發生電流時，法拉第的實驗，具有實用上的重要性，因爲他能夠將蒸汽機等類發出的機械能，逕直變爲電流的能。機械能如用蒸汽產生，爲價甚廉，用水刀尤廉。一方面由電池發出來的電流的能，必須消耗若干的金屬和酸類，方能得到，故其價值奇昂。假使不經法拉第之力，使其能由銅輪的轉動產生，則雖有無窮的優點，亦將因其價昂，至今仍止於實驗室內的一種玩具亦未可知。現今供給全世界的電力道光的大發電機，全都是從法拉第的這些實驗發展而成的。無一件不是將法拉第的實驗，拿來重做一遍，只不過規模偉大而已。即是千言萬語，也都不過是在磁場內使電路移動罷了。

還有其他一些有價值的機械，來源也出於此地。在鐵環上繞兩個線圈，就成爲現在所叫的「變壓器」(transformer)，「在直鐵棒上繞兩個線圈，就是簡單的感應圈」(induction coil)。有了感應圈的完成，始有無線電報，X射線，以及種種電療方法出現。

法拉第由磁造電是成功了，但卻發生一個奇想，所得的是否真正的電？是否摩擦起電機，伏特電池，熱電堆，以及現在發見的新來源，都由於同一動力而來？將這問題提出來研究，使電學得到了一線奇光，當時的科學家想到的固少，能够回答的更其沒有。德麥本人對於這個



問題，就不敢妄作定見，只好附和衆意，對於任何事件都不事深求，因此也就不至有多大的錯誤。法拉第則不然，他不能放下不問，他稱之爲「可疑的知識」(Doubtful Knowledge)，「在極開始工作之前，非將這個障礙掃盡不可。他這樣的寫着：『對於我的疑問，實有窮那追究的必要，即是由各種不同方法誘起的這，到底是完全同一或是各不相同，非弄清楚不可，不能留下絲毫的疑點。』由一套很好看而且選擇得宜的實驗，他指出任何法發生的電，都呈同一的效應。他們在外觀上的區別雖然顯著，但並不是電的本性上的差別，而是電的張力和分量上的不同。

各種來源不同的電是全同一個證明，是用電來分解某種化合物時，結果恆相同。但注意到電合化學引力間的關係，化合物的原子，就由此項引力作用，繼互相結合的。早就有人知道在電化學上的結合，可用電的作用來使其分離。德斐也應用過這個法子，結果發見了金鈉鉀和鹼金屬，但關於此作用的定律或其結構，則毫無所知。一般認爲送電流入分解物質內的導線，與使電流從分解物質流出外面來的導線，作用和帶有陰電與帶有陽電的導體一樣，由其電引力的作用，就能從化合物分子中，將原子強行拉出。

法拉第認爲這個假說，沒有用處。他知道用適宜的方法，可用極其微弱的電流，將極其堅硬的化合物分開。要是照舊的假說，即成爲最微弱的電流也比強有力的化學引力強大了。這在法拉第，以爲是不可信的，所以他就開始，他的實驗。對於這個問題，仍舊用他那種無微不至

的方式得到了解決。這個實驗的記事，在他的「電學實驗研究」中，佔了不少的頁數，數量既多，種類又極複雜，假使其間沒有一條簡單明瞭而且條理整齊的推理線索，為之連貫，真將令人目眩神迷不知所指了。

他第一步指出化學作用是和電流在物質內通過的通路有密切的關係。譬如將由電池結出來的兩條導線，溶入一塊固體的硝酸銀中，既不能使電流通過，也沒有分解發生。可是硝酸銀要一溶解，就在溶解的那一瞬間，電流開始通過，同時分解物也開始生成，雖則兩導線作用的電力，明明白白的未曾加強少許。他又指示出只要有電流通過，不拘有無金屬的電極存在，卻同樣的發生化學作用，並且由定量的研究，知道分解出來的物質的分量，和導體的形狀大小以及其間的距離，完全沒有關係。這兩種因素都以為是對於此時作用於物質的力，有重大影響的。實驗的形式和種類，無論如何變化，同一種類的物質分解出來的重量，僅由單獨一個因子為之決定——這就是通過物質內的電的絕對量。即是分解出來的重量，和通過的電的絕對量成正比。這個新發見的定律，法拉第稱之為「一定電化作用定律」(law of definite electrochemical action)，現今則稱為法拉第電解第一定律 (Faraday's first law of electrolysis)。根據這個定律他製成最有名的電量計 (voltmeter)，這是用來精密量度電量的第一種儀器，也是其後若干年間唯一無二的儀器。

在繼續研究之前，法拉第認為有將舊學說的殘燼一掃之必要，法將各種現象的舊名稱，全

部廢棄，一一錫以新名。他知道顧名思義的害處極大，至少想對於這一部分的科學，製定名稱，俾其除由實驗所規定者而外，不再包有含混不明的意義。電流所沿以出入物質的導線，舊時稱為 Pole，他定名為 electrode (電極)，或 current path (電流通路)，分解後出現於其上的物質，定名為 ion (游子) 或 wanderer (游離物)。他竭力避去關於電流方向的任何假定，甚至於連電流本身，只要是辦得到，也都想避開。他的方法是將他那測微的電路，去和通常認為產生地磁的那個奇大的地球電流，發生關係，對於一個電極，他定名為「日出」(sunrise) 的一端，或陽極 (anode)，其他的一極則名為「日沒」(sunset) 的一端，或陰極 (cathode)。對於分解的本身，他定名為電解 (electrolysis)，對於傳導分解及在其中進行的那一類物質，定名為電解質 (electrolyte)。這些名詞，極便於使用，成為現今的科學中普通名詞的一部分。

法拉第進而研究同一的電量通過不同種類的電解質中時的效應，使用他的新製成的電量計，作電量的測定，不久就出現了電解第二定律 (second law of electrolysis)。假定有同一的電量，從微帶酸性的水中及氯化錫中通過，將此兩種電極上生成的物質收來加以量定，即知在水的一邊，陰極上生成的是氫和氧，在氯化錫的一邊，陰極上生成的是金屬錫。為簡便計，假定這樣生成的氫，重為 1 克。同時生成的氧必為 8 克，氯化錫中生成的錫，也必為 88 克。8 克的氧恰好是和 1 克的氫互相化合時的分量，用化學上的慣用語來說，就是這兩個數

量，適成化學當量(chemical equivalent)。同樣58克的錫，也是恰好和8克的氧或1克的氫互相化合時的分量，所以也就是錫的化學當量。這樣看來，同一電量所引起的化學作用的分量，在氯化錫內和在帶酸性的水內，完全相同。這個定律法拉第是這樣發表的：「電流的化學本領，是和通過的電的絕對量成正比例，」改用現代的文字，就是說由一定量的電分解出來的各種不同物質的重量，是和各物質的化學當量成正比例。

法拉第在未發表這個人原則之前，也曾做過很嚴密的檢驗。我們知道有許多電解的例，分解出來的物質和造成電極的物質或電解質，交互作用，決不似上述那樣的簡單。法拉第決不遺留絲毫的疑點。各種情形他都研究過。遇着有些奇怪的化合物，對於他的學說，愈覺打岔不入，他研究起去，愈饒興趣。結果證明任何情形，無一不可適用他的定律。於是得到滿意的結論，電和化學親合力之間，確有極密切的關係，密切到差不多是二而一的程度。

他的注意目標其次轉到電流的來源，即伏打電池(voltaic cell)。據伏打(Volta)發見，將銅板和鋅板浸入微帶酸性的水中，就有電流沿着連結兩板的導線流過，這就成功了通常所謂的伏打電池。他還知道這兩塊金屬板，要是單獨互相接觸着，彼此雖帶有相反的電，然而除非其間有酸類存在而外，並不會有酸流流過。伏打當時假定此項電勢差，就是電池發生電流的本領的泉源，在沒有明確的能量不滅(conservation of energy)的觀念時，(因為邁爾的論文和焦耳的實驗，都還在未來，)雖非普遍但也就有大多數的人採取這個見解。法拉第現

在却將他的新知識用來考究這個問題。他見到電池中缺少了就不能通電的微弱酸性的水，只不過是一種他所謂的電解質而已，所以應當服從他上面宣佈的那個普遍定律。不久他就得到實驗證據，證明他的觀念無誤。如使電量計和電池串聯，使同量的電從兩者中通過，那麼，在電池中發生的化學作用，應該和在電量計中發生的化學作用，完全相同。唯一的差異，不過是在電量計一方電極上放出來的是游子，而在電池的一方，却是游子為電極所溶解而已。前者是由電流發生化學分解，後者是由化合而生電流；兩種都受同一定律的統治。所以電池的本領來源，出於酸類對於鋅的化學親合力。引用法拉第的話來說：「化學作用就是電，電就是化學作用。」

其間法拉第的思索，正在從事於分解中的電解質。他見到電流的作用，與其說是破壞，毋寧說是指導，即是使正在進行分解的元素，得到應取的方向。一個食鹽分子中的鈉原子，因受有化學親和力的束縛，和氯原子相結合，可是這種束縛，並不是獨一無二的。一個鈉原子周圍，有無數的氯原子，個個對於鈉原子都具有同樣的束縛。所以本來就受有使他離去同伴的各種力作用，通常這些力的作用方向是漫無一定的，所以整個的說起來，不會發生分解現象。電流却能使這些力得到一定的方向，使這些力沿着電流流過的方向排列起來，或照法拉第所說，沿着電流的「本領軸線」(axis of power)排列起來。這樣一來，那些雜亂無章的作用力，受到了一個繼續不已的力，拉向一定的方向，鈉原子或「離子」就是受着這個力的影響，再向

着電極漂流而去。換言之，分解的生成物並不是受到電極的引力，從電解質中被曳而出，乃是因有電流的作用後，才被投到電極上去的，正合海中漂流的物體，被投到海岸上去的情形相同。法拉第的這個見解，事實上和現今的見解很為相符。

法拉第的注意，其次是由導體轉到絕緣體上。他已經指示出電體質的分解，不由於電極的作用，那麼，真正的電極作用究竟是什麼？一個帶電體隔着中間的空間，怎樣能作用到另一帶電體上？介在兩者間的媒質是何情況？假如中間的媒質對於作用有關，那又應該是一種什麼關係？據法拉第的記事簿中的指示，他對於這些問題，曾經深加思索。早都知道一個帶電體要和另外一個未曾帶電的導體接近，這個未帶電的電體，就會受前者的「感應」(induction)，變成帶電體。通常都默認為第二物體的帶電，是隔着兩物中間的空間而受到第一物體的直接作用所生的，兩者間的空间本身，却沒有絲毫的關係。並還根據這個假說建成了很大一部分的數學理論。可是法拉第對於這樣的超距作用，認為不可解說，已如前述。他覺得兩者間的介質是應當加以考慮的，反轉這兩個物體的本質，不過是表現這個作用的手段罷了。於是照着他慣用的方法，開始去做實驗。他捉住一個事實，以為要是果然由於超距作用而來，就應當從感電荷(inducing charge)起作直線狀的輻射，四向發出。只有中間的介質發生關係，才能使這個效應在曲線上發生，或是轉變棱角發生作用。他指示出密閉導體的內部，沒有電力作用，故知感應作用不能透過導體。一方面在兩者中間雖然插入一個導體的屏障，一邊的帶電體依然可以使另

一面的導體帶電。感應既不能透過導體的屏，可見這個感應作用，必是沿着屏的邊緣繞到屏後的。這樣一來，感應作用是在曲線上發生了，所以不應該是出於超距作用，而應歸功於介在兩物體間的介質的性質。

其立論的證據在於感應作用的分量，由兩導體間的物質種類而定，介質不同，感應的程度也隨着變化。他將一個帶電銅球，放到一個較大的鋼球殼的中央，在兩者間的空處，填滿種種不同的絕緣體來代替原有的空氣，研究球殼的內面上感應出來的電荷，有什麼樣的變化。這樣的器械他製成兩付，大小完全相同，將兩個內球連結一短時間，俾電量分配到兩方面。假使雙方的球殼和內球間，都同樣由空氣充滿，雙方分得的電量，應互相等。假使一方面的空氣，用硫黃來代替，結果這個固態絕緣體，或用法拉第的話來說，固態的「介質」(dielectric)的一方，所得到的電量，比原存的增多一半以上。即是硫比空氣易於透過感應，或者用法拉第的話來說，硫的「介質常數」(specific inductive capacity)大於空氣。

法拉第在其間又指示出，要想造成任何符號的一個磁極，必定同時會出現一個相等而符號相反的磁極，否則即不可能，同樣，要想使一物體帶陽電，必定同時在別處感應出分量相等的陰電，否則也不可能。按照法拉第做的實驗，若果在一個密閉着的導體內部去試，陰電就出現於容器的壁上，其電量不難測定。雖則沒有這樣的容器，可是法拉第曾在實驗室的牆壁地板上看見有電荷遍佈着；若果再從這些地方移去，他也許會在太陽上星球上去將他們尋着。法拉第

稱之爲電本領 (electrical power)，這個電本領的特性，使他得到關於電的本性的線索。

關於電效應的來源，以前的注意都集中於帶電體上，實則應在於帶電體間緊張着的介質內。他見到兩者間的介質成爲一種極化 (polarization) 或應變 (strain) 的狀況，充滿着彎曲的感應或電力的曲線，從一導體表面到他一導體表面，緊張得如同強韌的橡皮線一樣。如同張緊了的橡皮線一樣，有盡力縮短的傾向，並且側面上相互間有一種斥力作用。雖其真正的性質一直到若干年後，這物理論經馬克士威 (Maxwell) 翻譯成爲數學形式以後，方得明瞭，可是在當時，法拉第已經察見他的存在了。絕緣質或介質，是能承受此項電應變的物質，導體的粒子，卻受不了此項應變，其不能承受的理由，當時尙未得知，總之，一遇應變即行屈服：因此而成爲電流。因此，這些電力線，即是現在所說的法拉第管 (Faraday tube)，一達導體，立即消滅。

法拉第雖然反對電荷 (electric charge) 這個名詞，終因其入人太深，無法廢棄，其出現於導體，照上面說來，不過是這些力線的終止點而已，力線的一端爲正，他一端爲負。所以誘爲電荷的全體效應，均由於介質中的應變而來，只不過這些應變必須要在介質的限界處也就是他要消滅的地點上，方能表現出來。恰如一條緊張着的橡皮線，要在支持着的那一點，方能覺察出他的引力一樣。

這些研究以及相伴而生的各種嘗試之重要，直不可以估計。因其與當時的思想相去甚遠，



所以幾乎難於爲人接受，甚至於當時的科學家都不能理解得到。將他們翻譯成爲數學形式（這一步驟在法拉第的天才雖然可以忽略，然在透視能力略遜者殊屬重要），實爲困難，就到現在也還沒有全部辦到。然而在我們的思想中，不僅對於電學方面，就對於物質以及宇宙本身，已經起了革命，只要我們自己的思想，愈和法拉第的思想接近，愈可證明其收穫之豐富。

上面所說的工作，耗去了法拉第十年的歲月。他做的那些實驗整理後固然那樣的簡單，可是他所費去的勞力，真不可以言語形容。不過偉大儘管偉大，到並不是法拉第在這個時期中的工作的全部。前面雖曾說過，他拋棄了他的「生意上的事務，」俾得專心研究，可是他還有一部分更沒有價值的事務，不願拋棄。這就是他在研究院中的職務。他對於研究院不僅具有情感，而且還覺得受惠不淺，他不會忘記研究院曾經使他得到做科學工作的最初的機會，所以只要於研究院有益，他隨時都願盡其全力去爲之服務。研究院有若干年都全靠法拉第的講演有名，方能維持下去，這是無可容疑的。沒有人能够像法拉第那樣將科學問題弄得那麼樣的單明瞭。他給小朋友們的聖誕講演，多少總是關於科學上種種通俗的科目，由此可知一到大的手裏，這些就會變成怎樣的動聽，怎樣的簡單，而且在哲學上是怎樣的全備的了。有一套這樣的講演，後來由克魯克斯替他編輯出版，成爲「蠟燭的化學歷史」(The Chemical History of a Candle)。這些乾燥無味的材料，在書中會引起很濃厚的興趣。假使再得法拉第親自在旁，並有那許多的實驗（這些實驗差不多都是每分鐘內平均有一次，）他知道如何將他們理

串起來，以便思索，不知還要如何動人呢。就在那些專家泰斗的面前，他也同樣的大受歡迎，這些專家每逢星期五晚間都要集會，（現在仍然如此，）討論一些科學實驗和科學思想的進步。學力不足的也能够追隨着大眾知道真正的價值，學力有餘的，也可以因此將他們的知識思想，推廣到原有限度以外。他的特出的丰度は表面上看去既簡單又容易，只有和他認識多年的老友，纔知道他對於這個問題，是怎樣的熱心去研究過，並且不知耗去了多少的時間和思索，方能使他的技術成熟。在他做的任何事件裏面都可以看到，他所有的並不是一成不變的天才，而是無窮盡的耐勞耐勞的能力。就在研究院的帳簿中也看得出，當時管理院務者都認爲他所管的限是一件怪事，登記得仔細整齊，和他出版的書中一樣。

像這樣精神身體過度的緊張，實在太大，造物者常要勒索代價，法拉第自不能免。健康漸失，頭部作痛，時時還覺暈眩，尤其不堪的，就是喪失了記憶力，往往感覺到已無力從他所蓄積的智識寶庫中提取所需要的部分出來使用。於是不得不離開他的實驗室，去到別的幽靜地點，休養着等候他所需要的快活新鮮的精神重行恢復。到一八四一年開始時，情形更形嚴重，他的顧問醫生命令他完全將科學工作放下。因此他在研究院中的工作間斷了十二個月之久。他的研究工作停止更久，一直到一八四五年底，方完全復原。一八四一年的夏天，他在瑞士度過，同伴爲他的夫人及妻舅已那德(Mrs. George Parard)，是一個美學家。這一次的旅行，也和其他的旅行一樣，對於他的精神身體，都有好處。凡所觸目，均是令人爽快，所見所聞，

又都新奇如少年時一樣。他唯一的病根，就是過勞，所以唯一的治療，也就是將緊張過度的工作放下，即能完全休息。

這一次的旅行，取道科倫(Cologne)，他在此地有一段購買科倫香水(Eau de Cologne)的記事，他是極其愛用這種香水的。「費了不少的氣力，纔尋着這個店鋪，還是冒牌的，他的文字仍舊是那樣的幽默。他們從此地換搭輪船潮來因河(Rhine)而上。沒有一件事逃過他的銳眼。他的心思，他的文字，都受到畫境，鮮花，蝴蝶等的靈感，甚至於田中青蛙，也是以引起他的好感。當他到了奧柏霍芬(Oberhofen)，在公墓中散步的時候，他見到「坟前豎立的小小的墓碑，也都是很令人愉快的。」他還記着：「窮人力不足以建立彫刻銅碑，甚至於並油漆匾亦辦不到時，就用鋼筆將墓中人之生卒年齡，寫於紙上，貼上木板，用一木桿豎在墓前，頂上加一小蓋，將所寫之紙護住。這是多麼簡單的一種記念，然而大自然卻更於其上，添加着她的哀悼，即是在紙片上的下面，有一個毛蟲貼伏着，經過好像似死了的蛹的狀態後，最後變成其應有的最終狀態，從此一點飛去，就將死屍一樣的遺體，殘於此處。這種復活的过程，是多麼的古老，多麼的動人啊！」法拉第的思想，隨時都是飛越的。從他在實驗室內做的小小的實驗，會使他的思想飛越到外面的大宇宙中去。同樣，從他眼中所見着的事物，會使他的精神昇到不可得見的永遠的事物上去。當他站在布利恩茲(Brienz)的瀑布前，觀賞泡沫上現出的彩虹時，他的思想又復表現出這種飛越的神情。「天氣快晴，出現的虹從種種方面看

去都異常奪目。其中尤以出現在一條優美而又急烈的瀑布脚下，為最快意。雖然水沫露珠，左衝右突，由其處穿過，迸射岩壁，但是彩虹並未移動一步。活像信仰甚堅的人，雖在百感交集的時候，也能立定脚跟，安然不動。總是抱着滿懷希望守住那塊巖石。至於那些左衝右突的泡沫，看去好像要將一切攔阻俱去的一般，其實使虹面行出現以及使他更加美麗的也就是這些泡沫。

他們九月末回到了英國。這一次的休息和生活變動，使法拉第的健康，得到不少的進步。不過他的記憶力是否完全恢復，尚是一個疑問。

在電學研究第一期中法拉第的生涯，主要是他的實驗記錄。不過在實驗室外，也還有一兩件事值得我們提到，並且可以幫助我們完成這一篇傳記。一八三二年皇家研究院的管理員（雖仍在經費拮据之中），決定對於法拉第的薪水，不再打折扣。他的薪水實在也是無法再減少的最小限度，每年一百鎊並供給住宿，煤燭。翌年福勒（Mr. Fuller）在院中開設一個化學講座，就用他自己的名字來命名。研究院為急於表示法拉第的工作無論是為他們，或是為科學，都應尊重起見，就選舉出法拉第來擔任第一任的福勒講座教授，並且是終身職。還有一個特權。就是他雖就了這個職，但不必做講演，由此一點，亦足以表示當時對於他的實驗研究，是怎樣的認為有價值的了。

我們常常提及法拉第的心胸和思想，異常的謙遜。他這種和藹的習慣，異常顯著，凡是和

他接觸過的人，都看得出這是他最爲超羣的一種德性。他屏護遜之中，卻並沒有卑賤；和藹之中也沒有懦弱。這些性情在法拉第（當表現時，恆如是）決不是懦柔的象徵，乃是偉大的象徵，無論是誰，只要是值得他佩服的，他真衷心的傾佩；但若對於他的思想自由或人格完整上，加以攻擊，他也同樣的堅決表示反抗，不過絲毫也沒含着苦痛或怨恨罷了。下面所說的一件事，是一八三五年發生的，披露出法拉第在這一方面的人格，是值得注意的。

此爾博士（Sir Robert Peel）意欲酬報或鼓勵科學文學，特創設一種年金，贈與科學界及文學界中傑出的人物。因爲向來的年金，都是贈給有武功或政界中人，表示國家對於他們的建樹有所酬報的意思。這次創設的年金，中有一種就是預備贈給法拉第的。可是法拉第對於此事，並不發生興趣。當他一面贊成政府的這種善意，同時又未涉想到這些年金的人們時，他那生來的獨立性情，又表現出來。他以爲當他還能自食其力的時候，這種並非由工作直接產生的報酬，是不應當接受的。後來朋友們緊急勸阻，他纔沒有固辭。可是事情還沒有完全定準之前，庇爾已卸任，繼在者爲美爾柏恩貴爵（Lord Melbourne），爲此曾邀請法拉第與之面談。美爾柏恩貴爵，除卻政黨政見範圍以外，好像對於一切人物世事，都不深知，凡是政治大員往往都有這樣的特性。他以爲這是一種本不應得的恩惠，而不是份所應有的榮譽，在面談的時候，他說他認爲贈送年金給科學家和文學家，簡直是一種欺騙，還加上一種形容詞，據法拉第的記載爲「神學的」，「法拉第認爲這不僅對於他本人是一種侮辱，對於他所代表的名譽聲

彙，尤其不堪。他因此立刻停止談話，再隔幾點鐘後，這位國務總理就接到他的一個字條，說「雖形同贊許，但其性質既如台端所願，恕難接受。」

美爾柏恩貴爵對於他這種獨立的爆發，最初雖說有趣，等到鬧得人人都知道以後，纔使他驚異起來，這個僅僅是一個科學家的法拉第，在他的判斷中，其地位居然不如他所想像那樣的低賤。據說就是英王對於他這件不幸的疏忽舉動，也曾取笑過他。不知究竟是出於上述各點，抑或出於其本來善意，美爾柏恩急欲打開這個僵局。法拉第一方面雖未表示憤激，但卻堅持到底。他認為要是美爾柏恩所用過的那些字句，未曾撤回未會道歉之前，他就接下來，對於科學以及對於他個人，價格都會降低。他的堅持得到所要求的結果。道歉果然辦到，對於國務總理和這位哲學大家，都很坦白，都很榮譽，年金也就這樣接受下來。

一八三六年法拉第被 Trinity Brethren 派聘充科學顧問，當時海濱的燈塔就是受這個教派管理的。此刻的法拉第正在埋首於其研究中，要是一種職務上的地位，他決不會接受。但若是一種慈善事業，那他就不能拒絕了。他覺得那些指導船員安全渡登彼岸的燈塔，在他的內心中要求着。他對於這個職務，擔任了三十年之久，事業推廣，他的責任也隨着變動。從新的光學儀器，新的照明方法研究起，一直到檢驗燈用油類並報告燈芯性質為止。到他臨終之前，他親自看見使用他自己的電磁電流，去點燃敦治內斯（Dunghness）燈塔內的燈，得到無上的滿足。

## 第四章 電學研究（第二期）——（一八五四——一八五五）

法拉第的電學研究第二期，在於一八四五年至一八五五年之間。對於這個工作所需要的實驗技術，較前更為精進，推理之明確，見解之完善，較前亦無遜色，但若就其整個結果而論，重要並不如前。法拉第前此所建樹的標準，就是他本人，也不能夠無限制的維持下去。花費了不少的時間，所得也不過是次一等的結果，殊覺可惜。實在說起來，我們現在要敘述的這十年間他的工作，與其說是他的實驗，毋寧說是他的文章，到還是在科學史上值得記念的。

然而這一套的實驗研究，開始就發見了磁和光間的直接關係，所以也很有光彩。我們知道法拉第深信有一種力的相關（Correlation of forces）存在。就由這個信念，使他發見了電和磁，以及電和化學親和力間的關係。他似乎很早就抱有一種信念，認為電磁的一種效應，並且還有五次以上的機會，使用一柱偏極化光，要想從實驗上證明他的這個信念。在通常的光，其振動發生於和光線垂直的平面上，並且在此平面內任何方面都同樣的發生。但如此種光經從偏極稜晶（Polarizing Prism）中透過，那就只有一特殊方向上的振動，方能通過，此刻的光就稱為偏極化光（Polarized Light）。如再用一第二稜晶，放在和第一稜晶互相垂直的地位上，就可以將全部的光遮斷，除非是用別的適宜方法，來將振動的方向改變過。只要使光線從

具有單方性的物質中通過，就會發生這種變化。所以使用偏極化光來研究透明物質的構造，還算是最有力的方法。用此法可以將晶體以及澱粉粒的構造表現出來，又可以將玻璃受力作用時內部發生之應變 (stress) 表現出來。法拉第要想檢查出電燈光三者之間有無關係存在，也就是用的這個方法。他曾經透過電解質來實驗，沒有成功，又想檢出他信爲在帶電介質中應有的電應變，也未成功。帶電介質中的電應變，確實發生，不過法拉第當時所能使用的方法，卻不相宜，一直過了三十二年之後，法拉第所預言的效應，始由刻爾 (Kohl) 發見出來。

法拉第的信念，並不因爲迭次失敗而動搖，他又改來用電荷實驗，卽是用電力來代替磁力。如是若干星期之後，仍舊沒有結果。但是最後無意中使用一塊玻璃，還是從前在實驗室中爲早期的實驗造成的，立刻就得到了成功。當這塊玻璃放到他的電磁鐵的兩極間時，使偏極化光沿着磁力作用的方向，從玻璃中透過，卽見光線確實受到磁場的影響，其振動方向偏轉一定的角度，磁力愈大，偏轉的角度也跟着增加。法拉第寫着：「如此一來，磁力和光有相互關係是證明了。」

這一次的成功鼓勵着他又作進一步的實驗。他不相信只有他的那塊重玻璃，纔有對於光的作用。他又造成更強的電磁鐵，凡前此未曾得到結果的那些固體及液體，現在也都一一表現出意料中的效應來了。

他的這些結果還沒有發表之前，他又有了了一個很有趣味的發見。如前所述，他不相信他那



重玻璃的性質，不會在其他的物質上出現，同樣，他也不相信磁場內必須一定方向而成靜止的物質，只限於少數的磁性金屬。他從前曾經用過銅和木塊來做過實驗，看能不能受到磁鐵的影響，但卻未曾成功。所以他立刻就用他現在的強有力的電磁鐵再來檢查。第一個實驗用兩是重玻璃棒，果然立刻成功。這個玻璃棒受了磁鐵的作用，果然取一定的方向而靜止。不過鐵棒靜止時的方向，是軸線方向，即是從一磁極到另一磁極的方向，而玻璃棒所取的方向則與之互成垂直。他又將手邊所有的各種物質，一一拿來實驗，發見一切物質多少都要受到一點磁力的作用，其中大多數都像重玻璃一樣，方向和磁力線一致，他稱之為順磁體（paramagnetic）。其餘的少數，都像鐵一樣，方向和磁力線一致，他稱之為順磁體（paramagnetic）。他自己這樣記着：「真奇怪，一塊木頭，一片牛肉，一個蘋果，也都會服從或反抗磁鐵。假使一個人能夠充分仔細的吊起來，放到磁場中去，他一定會停止在赤道方向，因為他的全身都是由具有這種性質的物質造成的。」

他將研究更推廣到氣體，發見氧有很強的磁性。他覺得大氣中有這種磁性體存在，一定會影響到地磁場，遂相信他對於尚未為人說明過的地磁每日變化，得到了正當的解釋。這個學說在當時雖然博得很熱烈的歡迎，可是到後來纔知道並不適當。

不幸遇着一些惡劣的品體，是一切物質中反磁性最強的，在磁場內的行動反常，致令法拉第對於其所謂磁晶作用（magnecrystalline action）做了一長串的實驗。希望在構成晶體的力

和磁性之間，求出一種關係。其效應固覺可怪而且複雜，但卻不甚重要。他在這上面耗費去那們多的時間，真覺令人可惜。不過從這些實驗中也還得到一個很重要的觀念，這就是導磁係數 (permeability)，或如法拉第所說，「磁介質傳導力線的本領」。介質的這種性質，和電學中的介質常數，極相類似，對於實際工程上的問題，尤為重要，最初發見其存在的，就是法拉第，而且就是這些毫無所得的研究產生出來的結果。

現在我們快要說到在二十年前就開始的偉大實驗研究的終結了。他在其間受着一個偉大的觀念指導着，這就是力線 (lines of force) 的觀念。在他人看去，兩個物體隔着相當遠的距離，發生互相吸引的作用，不過是奇妙的流體作用的結果，而在他的眼中，則看出此兩物件之間，密佈着彎彎曲曲的力線將遠離着的物件，互相連結攏來。這個觀念對於他的工作上，有很大的幫助，使他信念日愈堅固，不僅是一個有價值的假說，並且和真理極能一致。在他的發表論文中也就漸漸的將這個觀念流露出來，一層是因爲他愈說下去愈感覺到想不出其他的名詞，一層是因爲更沒有其他的名詞，能够將他的發見表白出來。可是他好像抱有一定的見解，故意要盡力避開這些名詞，不願意將他們引用入他的實驗論文中，這並不是他不願意將他的思想公諸同好，實在是出於一種自然的謙遜，以爲這種見解在尚未得到實驗上的證據以前，不過是他自己個人的信念，不應該做出強迫他人承認的樣子。一個科學家應該要有他的學說，而且還應該要勇往直前的去造成學說，這一層他到認爲是第一要件。不過學說必須要保持着他那流體的

狀態，必須要在他們的主人認爲尚有幾成，甚至於全部，與真相去甚遠的時候，方能使人使用。所以假說爲僕，則有無上的價值；若爲主即不堪設想矣。所以無論是科學家或其他的思想家，都沒有絲毫的極力或義務去強迫他人服從他自己的信仰。

法拉第知道一生的努力將次結束，所以決意要將領導他得到這許多成就的思想，詳爲述出。就像從前的探險家一樣，當他們和所發見的境地告別的時候，必定要將他們所親歷的路線圖繪出，留贈後人，希望將來的人得到一個正確忠實的指導，俾能由此深入未知的世界中。

如將鐵粉撒布在磁鐵的近旁，鐵粉就造成種種的曲線，力線的觀念，就是從此而得的。各鐵粉受到磁鐵的作用，排列成爲鏈狀，從一磁極到他一磁極，連續不斷，其上各點即表示磁力作用的方向。磁場 (magnetic field) 這個名詞，是法拉第取的，要研究磁場的結構，這個實驗方法最爲便當。鐵粉造成的曲線，他稱之爲力線，是由作圖法表示此種作用最便利的方法。這都是法拉第在他的論文中發表的。他覺得力線並不是一種便當的協定。因爲力線不僅可以代表磁場，而且從許多意義說起來，簡直就是磁場，至於磁鐵不過是將這些力線細在一處的帶子罷了。所以事實上力線還含有量的意義，每一條力線可以代表一定量的力。他進一步用實驗來證明此說。他再使用從前對於應電流的實驗，使運動的導體，用種種不同的方式，與磁場作種種不同的距離，去截取這種目不能見的力線。他指示出導線所貫穿而過的力線，不問是密集在磁極近旁，或是稀疎如在遠處，只要所穿過的力線數相同，則在導線中感應出來的動電的數，總

是完全相等的。他說：「力線存在於兩個或兩個以上之作用中心之間，其形狀固大異，在空間中所通過的部分，亦或不同，但就同一部分之力線而論，其任何一段所含有之力，與任何其他一段所含有者，完全相等，與其形狀之毫無關。」

照舊用着他那過人一等的精力，將他的實驗都做成極易令人置信的形式，並且由各個實驗所得到的結果，都是相同的。在電流中動作的電量，無論何時都與導體截過的力線數成正比。因此，從一個面積中穿過的力線數，就用引起運動的電量來測定。換句話說，力線本來不過是一個虛想，這樣一來，卻變成一種可以量度的物理量了。在這個電磁感應定律的發見和表示法上，可以見到法拉第所獨具的實驗技術和那種罕有其匹的物理見解，是怎樣的聯貫成爲一氣的。就一方面說起來，這個工作完成了他那實驗研究開始着手的大發見，在實用上也要算是他的最大的成就。從另一方面說起來，這個工作對於力線觀念奠定了很堅牢的基礎，對於純正科學在以前在現在都有算不清的價值。在最低的限度，也可以使我們對於電場和磁場得着一個想像上的形象，立刻使之變成又簡單又明瞭而又極能勝任。同時還得着一個如何處理他們的方法，其能力與其可能性就到如今也還沒有發揮盡致。在最高的限度，如同法拉第的卓見一樣，使我們在這些力線裏面，可以開始去尋覓組成我們這個物質界的經線和緯線。

法拉第既是一個科學大家，我們替他寫傳，要不將他的理論的觀念作一個簡短的介绍，實苦難於結束。因爲他的理論觀念，在現在的工作上，要算是最足令人心醉的一部分。從他的性

格可以察知，他不會有嚴正的教義遺留下來。只有在他的實驗內，往往有這種學說的基礎，從他在講演中和在信札中無意流露出來的暗示，纔能將他的思想蒐集出來。好在這些暗示，都很鮮明，又能首尾貫徹，所以由此去追溯蘊藏在他胸中並領導他的能力的那個大計畫的概況，到也並不十分困難。當法拉第做這個研究的時代，通常都認為物理的宇宙，是由六七十種不同種類的原子造成功的，化學上不同種類的元素，就由這些原子結合而成，各個原子都認為是質點，不過形狀，大小，以及質量各不相同而已，再於其上，添加了一些奇妙的流體，如電如磁以及類似的一些東西，希望拿來解釋電學上及磁學上的各種現象。燃素 (caloric) 雖已拋棄，光卻仍舊以為是一種波動，但因要說明光在真空中也能傳播起見，就認為空間全體都瀰漫着一種奇妙的彈性流體，而稱之為發光以太 (luminiferous ether)。法拉第卻僅用一個極其廣大但卻極其簡單的觀念，就是，力線的觀念，來代替這無數的散想物質。

他所假設的這各種力線之間，所有的關係，究竟他是怎樣出來的，我們不得而知，或者他自己也沒有一定的見解，也說不定。不過他既然常常流露出種種確信，以為這些力線尋根究底，終歸是同一的，由此推論，可見他必定認為其間的關係，總是異常密切的。他一方面主張磁力線成為連續不斷的閉合曲綫的事實，一方面又常常將閉合磁力線和在通路 (closed circuit) 內流過之電流，拿來加以類推，可見他的觀念是將磁力線看成一種流線 (stream lines) 性質，而電力線的一種運動而出現的。這一層是由他的見解得到的暗示，並非他的確有這樣的思

想。我們知道重力，就對於法拉第的魔法，不肯透露出真正的消息，他雖然對重力曾經發出無數的質問，重力皆置之不理。從他做的實驗的本性上，以及從他直接的敘述上，都可以見到他極有力的主張重力的來源，也出於電，無論如何，總可以轉變成為電。

他既將重力線佈滿於空間之中，當然就覺得無須再用發光以太了，光是一種波動，但是一條張緊了的繩子，也可以傳達波動，和彈性的固體情形完全相同。如將長繩的一端，向着橫處搖曳一下，即有一連串的波形，沿繩前進。其傳播的速度，由質量及張力而定。同樣，在一條力線上，也可以傳播波動。據他說，設想有一條力線將兩個質點連結起來。如有一質點橫向運動，即有一種橫向的搖動傳與力線，更沿力線前進，其前進的速度，亦由張力及質量而定。據法拉第的見解，這種電力線的振動，就造成了光、熱、及他種輻射能 (radiant energy) 的現象，他就這樣很簡單的將他的光之電磁說 (electromagnetic theory of light)，撰成一篇短文，題為「關於輻射線振動之思考」(Some Thought on Ray Vibrations)，於一八四六年登載於「哲學雜誌」(Philosophical Magazine)上。這篇論文就在法拉第的科學著述之中，也要算是登峯造極的傑作，可以證明他的科學透視能力，實在是深不可測的了。其重要不僅在當時不及察知，就到他死後若干年，也還沒有入覺到，這也無可為諱的。這個觀念實在太過於簡單而又太過於深奧了。丁鐸爾認為是一種科學家未曾嘗試過的最奇妙的學說，遂存而不論。就是公認為註解法拉第的大家馬克士威，在發展光之電磁說(馬克士威因此成名，然其本

人則歸功於法拉第)的時候，也未能採取，反而以法拉第的另一概念，即以介質之位移三流 (Displacement current)，爲其根據。一直到得最近，得到不少的新發見，使我們關於光線的知識大爲擴充，纔覺得法拉第的洞鑿，真正深遠，於是纔照着法拉第原本所說的那種簡單形式，恢復了法拉第的學說。

我們現在引用他自己的文字，來作結束。他說：「我們的哲學，雖尚幼稚，但卻能使我們見到一切質點之中，都各有一個力的中心，由此發出的力，無遠勿屆，全世界及一切的天體，都由之連結爲一，永久不稍改變。就在這個質點的周圍，有自然界中森羅萬象的能力集中起來。如熱，如冷，如狂風，如暴雨，如火災，如閃電，如岩石，山岳之矗立，如海洋之狂濤巨浪，挾其潮汐每日掃蕩全球，如急流之跳躍；還有燦爛的雲，柔和的露，攜來膏腴的雨，一切自然力的調和工作，直到遵從天賦的運命爲止，此種份子始而執行其賜福人生的職務。所以我們的哲學既能顯示出這些事物，就可以引導我們去想像創造這些事物的主人。因爲有一個說法，其可靠的程度遠出於這些工作所能表現者之上，告訴我們說：『創造主的這些不可得見的事物，既能由造成者推察得到，則由創造物看去，應極其明瞭，就連創造主的萬世不變的權力和上帝的本身，亦復如是。』」

## 第五章 老年時代（一八五五——一八六七）

電學研究的工作，到一八五五年，始行結束，其最末一節的號碼為五四三〇。從頭到尾，這篇都充滿了新穎，熱誠和鮮明的色彩。從法拉第的私人信札中，方知道後一段的研究，真正是盡了全力，始得完成，因為身體日衰，精神日壞，遂致如此。事實上自從一八四一年那一次暫時的休息以後，就沒有完全恢復過。年齡愈長，其記憶力亦愈弱。儘管他的實驗簿上費了不少氣力弄得秩序有條不紊，可是他有時連他自己的工作詳情，也漸漸的記不清楚，有一次，至少在連續做過六星期實驗室工作之後，忽然發覺他所做的，不過是將一兩月前他本身已經做過的事，重演一遍而已。他的健忘到了這樣的程度，如他自己所說，在他是僅有現在，無所謂過去了。在這種情形下，科學發見所需要的不斷的努力，漸漸成爲不可能了。他雖然明知現在費去了數月的光景，若在早年時代，只須半月即是蕪事，但仍繼續做去，毫不爲之沮喪。

維繫他的纏繞的線索，雖然一條一條相繼而斷，可是他那罕見的透視能力，依然保持到底。由他實驗簿內記載着的最後一個實驗，我們仍能看出這種極度的透視能力。這個實驗他是用來研究磁場對於光源的影響。各種元素的標識放射光譜（characteristic emission spectrum）是比較晚近的發見，他就從此着手，將含有鹽類的焰，放在那大電磁鐵的兩極之間。令放出來



的光從他的偏極稜晶中通過，希望檢查出磁場對於光的折射性 (refractivity) (喚句話說，就是對於波長) 的影響。這些儀器和後來一八九七年最曼 (Zeeman) 用來發見最曼效應 (Zeeman effect) 所使用的儀器，性質完全相同。不過這個效應，遠非法拉第時代的光學儀器能力所能及，所以他的失敗，乃是他使用的工具不佳，而非實驗者本人的智力不逮。假使當日他的這個實驗成功，也是應該列入他的最大發見之中的，對於他的光之學說，將成爲一個堅確的根據。他居然能夠想到這種可能性，可見他對於放射線振動之力線的思路，是怎樣的深刻，是怎樣的正確了。

法拉第的工作是完成了，他的最後一次的講演是在一八六二年舉行的。他的最後一個實驗，也是這一年做的。他的任務，一件一件的放下了。當時像他這樣名聞遐邇的科學泰斗，被皇家學院推舉出來充當院長，是不可避免的。尤其是皇家研究院的理事部，認爲在五十餘年前就進尔做實驗助手，現在已到天年將滿的時候，推舉他出來做研究所的所長，是再應該不過的了。他自己知道這些職務均非他的能力及所，於是本着他「不輕然諾的素性」一律都婉辭了。

他的晚年，大都消於於罕普登別墅 (Hampton Court) 中，這所房子是英后於一八五八年賜給他的。他在這裏常常喜歡坐在窗下，閑眺天空中的浮雲，地面上的樹木，草地上散在的遊客。還有閃電的偉觀，和落日的神奇，仍足以喚起這位垂老之人的熱情。有一位在他晚年觀察過他的人，這樣的描寫他說：「我須將落日的景色，與他迎擊在一起，尤其是暮色蒼茫的時

候，令我不能不想起他。當他在空地上立着或散步的時候，喜歡有我們在他的身旁，很喜歡講述他的思想，並且或許還是用的格雷（Gray）的「悲歌」（Elegy）中的字句，唯獨只有這首詩，當他將其餘一切的事件都完全忘盡之後，仍能記得清清楚楚。漸漸的天全黑了，他的游伴退入室內，而他仍舊孤獨的留在外面，和他自己的思潮相酬答。」

當我們看見那光芒萬丈的日光，賜福於人雖如其厚，到得日暮途窮，仍不免漸漸黯淡而去，未免感到一種悲哀，但在法拉第的胸中，則完全沒有這種感想。他從未有過對於老大的悲傷，一直到他的最後為止，都保持着他那種舊時的樂觀和不自私的態度。在他向皇家研究院辭職函中，沒有絲毫的不平之氣露出。「我的一生頗為快活，一切都是我所希望的。在這一生之中我曾努力過，對於皇家研究院，並經由皇家研究院而到科學上，做出一種適當的答報，可是年齡纔長增高（現在已到了七十歲了），最初到來的固屬發展期，繼之者則為成熟期，最後到來的已是徐緩的衰老期了。其進行情況對於垂老之人，尚覺幸福；因為身體雖日加衰頹，尚不感覺絲毫痛苦；記憶力以及其他若干種的心力，雖日逐漸減少，但我的元氣旺盛與夫快活精神，則並未隨之而減。」

他在又一函中，這樣的寫着：「我的世俗上的官能，一天一天的離我而去。好在真正的善，並不存在其內。所以世俗官能雖去，還可以將我們在慈父的懷中，如同嬰孩一樣，去接受他的那種不可名狀的恩惠。」過去是無法追憶的了，現在正期待着解脫，只有未來是充滿了光

明的。「從死之一念中，發生出別一世界的生的觀念」，在法拉第的信札內，時常都充滿着他所謂的「光榮的期望。」從下述的一件事情，就可以看得出他這種期望是如何的堅決。他有一位助手，名叫安達生（Anderson），是雇來做最初的玻璃製造實驗的，在一八六六年上半年，就死了。有一班朋友要想爲之建立一碑，以誌多年共事之情，因此去徵詢法拉第的意見。法拉第表示反對，對於任何坟墓上的榮哀，都不願參加。他並且遺言就是他自己的喪葬，也應盡力的單簡，可是他又向他們聲明：「我一定將你們這一番好意，轉致安達生。」他的這封信是用口述，叫他的姪女筆記下來的，對於他這最後說的一句話，他的姪女不肯代寫，本是應有之事。可是這位老哲學家的意志，也決不會就此打消的。他站立在來世的門前，他的眼光已透過了門前所懸的那一層薄幕。好似他已經看見了他的朋友就在墓的那邊正在等候着他一樣，於是用他那顫抖不止的手指，將筆奪來，自行寫出這最後的一句：「我一定將他們這一番好意，轉致安達生。」

在一八六七年八月二十五日的一天，他坐在書房內的椅上，毫無痛苦，安安穩穩的就逝世了。據他的一位朋友的記載，塵世上少了一位哲學家，天堂中卻添了一位聖人。遵照着他誠懇的希望，在海格公墓（Highgate Cemetery）內舉行喪葬時，僅有他的親族到場，並且在他的墓前也只建立了一塊簡樸的石標，表示出邁克爾·法拉第最後休息的地點而已。

法拉第在科學上的貢獻，爲量既多，而又重要，我們上面所說的，僅其中最要緊的幾點罷。

了。在「皇家學院目錄」(Royal Society Catalogue)中，共有一百五十八篇創作，都屬於法拉第一人所有，所以就是被本文略去未曾提及的那些研究，也足以博得非尋常的科學盛譽，其中包含有關於復冰現象，溶液之凝固，及氣體內之放電等等的研究，他的一切學問，不僅和他同時代的人比較，就和他的繼起人比較，都是特別帶有近代色彩的。丁鐸爾著有一册「發見家法拉第」(Faraday as a Discoverer)其中蒐集有法拉第的科學著述，還是比較早期的成績。法拉第的觀念，逐漸深入物理科學中，一發表必立即受到普遍的接受，一如現在的情形。從一方面說起來，法拉第是後無來者，也未創成何種學派。他是單人獨馬，離開習慣道路，在遠處探險。但從廣義言之，現代的英國物理學，就說是法拉第學派，也非過語，因為現在採用的是法拉第的方法，在前指導的是他的見解，使人受到靈感的，也是他的信仰。劍橋大學(Cambridge University)，出了三位偉人，即馬克斯威，斯托克斯(Stokes)及湯姆遜(J. J. Thomson)，都在運用他們的智力，來註解和發展法拉第的見解。劍橋大學的物理學派，能夠在科學界中保持榮譽地位，至少有一部分的功效，要歸之於當年經劍橋哲學會(Cambridge Philosophical Society)之手，接受過他最初提出的論文的那位大家的卓識。

我們現已沒有地位，來敘述他取的各種榮譽，尤其是晚年由國內外各學術團體及各親王贈與他的，不知有幾許。恐怕單舉其名，也要佔去若干頁之多。有一個最好的總結算，是一個外國同志寄給他的一個信封，上面這樣寫着「倫敦，一切科學研究院會員，邁克爾·法拉第教授

收。」法拉第對於他的工作博得的榮譽，固然看得很重，但對於同志對於他的友誼和同情，尤其看得重。他覺得這些對於他的勞力要算是最甜蜜的酬報。他那科學家的偉大，也只不過是使全世的人對他滿懷敬意和情感的第二等原因而已。完全是他那種真摯、和藹、謙遜、尤其是那種懇懇誠懇和滿懷同情，纔博得全體的愛戴。丁鐸爾在早期某一次和法拉第會晤之後，曾記有一段文字說：「他的工作引起人羨慕，要是和他接觸，更能使人溫暖陶醉。」科學家是全人欽佩的，而其為人，則令人緬懷不已。我們現在將他同時代的一位偉大的法國人仲馬（Berthollet）說過的兩段話引來，作本文的總結束。

「我不知道是否會有一個科學家，能够像法拉第那樣，遺留下許多令人愜意的成就；作為贈與後輩的遺產，而不自覺滿意，但我敢確定的說，凡是知道他的人，都在希望成爲一個道德上的完人，而在他的則絲毫也未努力，就已達到。在他的身上可以看到一種天然的良知，使他成功一個滿懷散布真理熱情的教師，成功一個在實驗室內生氣勃勃從不疲倦的工作人員，成功一個家庭中最受愛戴的人物，成功一位在同一教派中最能啓發解迷的說教家。他的心胸異常質朴；愛慕真理異常熱烈；對於各項成就，滿懷同情；別人有所發見，力表欽羨；自己有所得，則謙遜退避；既不依賴他人，又復一往直前；凡此種種的美德，融合爲一，遂使這位高尚偉大的物理學家的人格，添上一種罕有其匹的魔力。

「他對於宗教信仰的忠實，是他一生的主要特徵。固然對於權衡善惡較量遭遇的疑難情

由之而得，此其所以能遭逆境仍鼓勇以赴之，處順境而不失之驕泰也。」  
念，不會使法拉第靈感出那些偉的發明，可是他那一往直前，自尊自創，以及判斷精神，全都

## 參考書目

法拉第之標準傳記，當推Dr. Bence Johns所著之*Life and Letters of Faraday*。共二冊，於一八七〇年出版，本文中所学之法拉第信札及論文，概從此書採錄。餘如丁鐸信著*Faraday as a Discoverer* (1868)，關於法拉第之實驗，及其個人行動，記載頗詳。此外尚有Dr. J. H. Gladstone (1872)、W. Jenold (1893)等書，尤以Prof. Silvarms P. Thompson (1898)之法拉第傳及其事業一書，蒐集材料至為新穎，均有價值。

所謂書籍，經法拉第刊行者，僅有一冊，即*Chemical Manipulation* (1817)。他的「電學實驗研究」(Experimental Researches in Electricity)，是經他親手從*Transactions of the Royal Society*中集成為三冊，於1839, 1845及1855年出版的。又從各種雜誌中蒐集若干篇論文，題為*Experimental Researches in Chemistry and Physics*，於1850年出版。此外還有兩套講演，一名*The Various Forces of Matter* (1861)，一名*The Chemical History of a Candle* (1861)，是經Sir Wm. Crookes之手為之出版，但並未經過法拉第的校閱。

此外尚有一書，是電學實驗研究的一個比較小的集子，經*Everyman's Series*為之刊出，譯者按即漢譯世界名著中之「法拉第電學實驗研究」。





