

萬 有 文 庫

第一集一千種

王 雲 五 主 編

法 拉 第 電 學 實 驗 研 究

(一)

法 拉 第 著

周 昌 壽 譯

商 務 印 書 館 發 行



法第拉電學實驗研究

(一)

著第拉法

譯壽昌周

著名界世譯漢

## 序論〔註一〕

約翰丁鐸爾著

一個登山的人，從阿爾卑斯的高峯，下眺羣山，當見其分爲若干明確的集團，每一集團之中，必有一高峯爲之表率，周圍則由略遜者環繞之。各集團的最高峯，大都有同樣的高度。法拉第的發見，亦復類是。其出類拔萃的結果，決非孤立無偶的，乃由範圍既廣變相又多的無數問題，匯集而成的一個論點。譬如他那電磁感應 (magneto-electric induction) 的最大發見，就有許多很重要的苦心之作環繞於其周圍。如關於感應電流的研究 (extra current)；關於反磁性體 (diamagnetic bodies) 的極性及其他性質的研究；關於磁力線 (lines of magnetic force) 的定性及分佈的研究；關於利用感應電流來測驗磁作用的研究；關於磁場的誘導現象的研究等，雖然名目繁多，但都屬於電磁感應的一部分的研究。

註一 本篇錄自一八六九年出版之發明家之法拉第 (Faraday the Discoverer) 末一節。

法拉第的第二類的研究和發見，則爲電流的化學現象。在這二類研究中所得到的出類拔萃的結果，就是一定不易的電化分解定律 (law of definite electro-chemical decomposition) 在這個中心的問題周圍，則有關於電化傳導 (electro chemical conduction) 及使用起電機 (machine) 使用電堆 (pile) 來作的電解 (electrolysis) 的研究等。還有他對於接觸說 (contact theory) 的分析，對於動電 (voltaic electricity) 的來源的追究，以及他最後發展而成的電堆的化學說 (chemical theory) 也都屬於這一類。

他的第三類的大發見，是光的磁化 (magnetisation of light) 好，比瑞士的白峯 (Weisshorn) 一樣，又崇高，又美麗，而且又是孤立於羣山之中。

他的第四類的研究中最出類拔萃的結果，爲反磁性 (diamagnetism) 的發見，在他的記事錄上，稱爲一切物質的磁狀況，在這一中心問題的周圍，環繞着的是他對於火焰及氣體的磁性研究；對於磁晶作用 (magne-crystalline action) 及對於大氣的磁 (atmospheric magnetism) 與磁針的年變化 (annual variation) 和日變化 (diurnal variation) 間的關係的研究，其全部

的意義，還沒有完全指明。

以上所說的，都是法拉第的最重要的發見，他的盛譽，大都由此等研究得來。但即使沒有這些發見，他還是足以在科學界負有崇高永久的名譽。因為除這些大發見而外，他還有對於氣體液化 (Liquefaction of gases) 的研究；對於摩擦電 (frictional electricity) 的研究；對於電鰻 (gymnotus) 的電的研究；對於水電機 (hydro electric machine) 的本領的來源的研究；最後所舉的兩種研究，在以前的記事錄中，還未曾有人涉及。又還有對於電磁轉動 (electro magnetic rotation) 的研究；對於復冰現象 (regelation) 的研究；以及一切純粹化學方面的研究，如他發見的苯 (benzol) 也包含在內。除此而外，他還發表了不少的短篇論文，其中大多數都能夠將他的天才表露出來。至於他當教師的能力及和藹的態度我還沒有說到。就他全人格而論，可以斷定法拉第實是世界上從未見過的最大的實驗學者。我還要加上一點意見，就是此後的研究上的進步，不但不會使這位偉大研究家的成績減色，反而只有增進他的光榮的趨勢。

以上所說的，皆以對於科學界同人感覺興趣者為限，但却顧慮到還有一般的讀者，希望要知

道一點法拉第是怎樣一種從事研究的人物，所以敘述時，也就略微通俗一點。同時感覺到，將這樣的人物描寫出來，以供全世界的景仰，應該是別人的義務。不過我在上面敘述的分析的後面，却要加上一些個人的追懷，將法拉第和科學界以外的世界，即是和一般的人情聯絡起來。

關於他結婚後生活，不能不說一下。就關於此點，也和以前所說的一樣，法拉第自己說得更為明白。下面所引的一節文字，雖然描寫的第三人，但却是出於他的手筆：『在一八二一年六月十二日，他結婚，這個事件，對於他塵世的幸福和精神上的慰安，比任何其他貢獻還要多些。這個結合，一直繼續了二十八年，其間除却性質更加深刻更加強烈而外，決沒有發生過變化。』

法拉第的近親，住在約克州（Yorkshire）的一個小地方，地名為克拉判木廳（Clapham Wood Hall）。在這裏住着法刺第羅伯（Robert Faraday）與其妻依利薩伯（Elizabeth），他們有十個子女，其中的一人，名為法拉第詹姆士（James Faraday）生於一七六一年，就是這位大學者的父親。家中傳說法拉第族，出於愛爾蘭。法拉第本人對我也表示過不止一次，說他相信他的血中有一部分是克勒特族的（Celtic），不過究竟有多少部分如此，又從何時混入其中，他却說不

出來。他能夠摹倣愛爾蘭人的語言，他那種特別快活的氣概，都可以作他的家世的一部分證明。不過此外他還有許多性質，無論如何，不能令我們相信他是出於愛爾蘭的。其中最顯著的要算他對於秩序的感覺，在他的全生涯中，如一道光明的照耀着。最紊亂最複雜的事件，到了他的手裏，都成爲諧和。他那種記賬的方式，引起了這個研究院的管理科的羨慕。就是他的學問，也是同一樣的定有次序。他在他的實驗研究 (Experimental Researches) 中，每一節都有一個號數，將各種不同的部分，不斷的隨時引來，互相參考，因此融合成爲一片。他關於實驗研究的私人筆記，幸而現在還保存着，上面也是同樣有號數的。那上面最後一條的號數爲一六〇四一。並且他對於工作時表現的一種堅強的毅力和條頓 (Teuton) 人一樣。他的性質是衝動的，不過在衝動的後面，還有一種力，不許其後退。若果在他感情熱烈的時候，下了一種決心，當其冷靜下來的時候，他就會使這個決心變而爲善。由此看來，在他心中燒燃着的火，是由固體燃料發生出來的，決不是由氣體燃料而來，因爲氣體燃料發火固易，但却不久就會熄滅。

因爲限於篇幅，未能盡所欲言，尙乞讀者原諒。關於法拉第的生涯，手邊又沒有材料，我所要說

的，差不多完全都由於我和他的私交而來的。

他在十六年的長期間中寄給我的信，現在都在我的手邊，每一封信中，都含着一些特有的詞句。雖然很強有力，但討論時不厭其詳，鼓勵時欣悅無所不至，而且具有十足的熱情。常常提到洪堡德 (Humboldt)，俾奧 (Biot)，杜馬 (Dumas)，瑟甫勒爾 (Chevreul)，馬格那斯 (Magnus) 以及 阿刺谷 (Arago) 等，對於那些還活着的人，一定是很愉快的。這些人的名字，是因為在前已獲到了盛譽，此外不知還要加上許多，纔能夠完成他在歐洲大陸方面的友人的名單。他對於人的愛和同情看得異常的重，差不多比他由科學而得的名譽，還要重視。約在十二年前，責任落到了我的身上，要在哲學雜誌 (Philosophical Magazine) 撰一篇批評他的實驗研究論文的文字。他讀過這篇文字之後，走來握住我的手，對我說：『丁鐸爾，我的工作得到的最甜蜜的報酬，就是由全世界流入我身上的同情和好意。』在他寄給我的信函中，我可以看見一些很小的親摯的電花，不是對於別人，而是對於我，異常珍貴的，在我覺得一切都不及他的這種親摯為可貴的了。當他想着我疲乏了的時候，就跑到實驗室中來探我，邀我一同上樓去休息。偶然我有時恰巧不在實驗室內，他就一定



留下一個字條給我，大致是這樣寫的，「親愛的丁鐸爾，我曾經來看過你，因為我們要吃茶了，但卻還沒有吃完，你願意上來嗎？」我還常常擾過他的晚餐。當我在繼續講演的時期中，差不多無論何時，都是這樣的。他的性質中絲毫也沒有禁慾的觀念，他喜觀吃肉食生酒和野蜂蜜等。我和他的交情，繼續了十五年之久，在這長久期間中，他絕口未曾向我提及涉及宗教的話，除非是由我去問他。他的回答，一點也不躊躇，也不想勸人爲善，只不過告訴我我所要知道的事情而已。他相信人類的心，是受着一種力的支配，對於這種力，科學或論理學都不能窺其門徑。他的這種信仰，是非姑置不論，但能原諒他人的信仰，因此使得他的生涯，成爲堅強而優美的生涯。

從上面所說的那許多信函之中，我選出三封來，在這裏發表。其中第一封，是因爲裏面有許多文句，可以將法拉第對於休假的感想表露出來，又還因爲他有些字句，可以令朋友發生愉快的感想。

「一八五四年六月二十八日寄自皇家學院（Islie of Wight）上

文特那（Ventnor）

丁鐸爾吾友——你只要看這封信的頭一行，你就可以想見習慣入人的深，到於什麼地方了。我方纔接到你由那裏寄給我的信，我就以為我自己也在那裏了。總之，我將學問很注意的保藏在那裏，聽見你又開始了實驗的工作，很為欣慰。可是你的健康如何呢？我恐怕不見得好罷。我希望你先得要將身體弄強，以後纔說得上工作。至於說到收穫，我確實相信一定是很好的，雖然我自己因此犧牲了不少的健康，但却不願意你也如此。你還年輕，我却已老而不足惜了……但話又說轉來，我們的題目實在太好過頭了，研究這樣的問題，可以使弱者歡欣奮起，可以使強者快活着迷。

我還沒有得到馬格那斯的消息。一想到他就令我覺快。我們一定要一同去看他的黑硫。我前天還接着申拜因的信。他告訴我說利比喜 (Liebig) 都充滿了臭氧 (ozone)，就是氧氣的同質異相體 (allotrope)。

在此小別的期間中祝你幸福——親愛的丁鐸爾吾友

『法拉第』

對於自然的默考以及他自己對於自然的關係使法拉第發生一種精神方面的崇高，在這裏

流露出來。他對於宗教的感情和他的學問，是不能互相分離的，常常會由此溢出而入於彼。

不問解釋出來的人是他自己或是別人，在他都是同等的快活。有了一個好實驗，差不多就可以使他快樂得要跳舞起來。在一八五〇年冬間，他寄給我的信中，有這樣的一節：「我希望稍緩再來着手關於聯合粒子的磁性的問題。在我未曾開始以前，凡有和這個問題有關的事實和理論，增添出來，我都是很快活的。等到學問成了共和時，他就勝利了。我在別的事件上，雖不主張共和，但在學問上，却希望其如此。」所有他的信件，都表露出這種度量宏大的感想。在十年前他到布來屯（Brighton）去的時候，將我纔脫稿的一篇小論文，帶了去，後來他有信給我。他的這封信，可以算得是他對於我以及我的工作，時常表示同情的一個樣本。其信如下：

「一八五七年十二月九日寄自布來屯」

丁鐸爾吾友——我真忍不住要說出我讀你的論文是怎樣的快活。你那篇文章的每一部分，都給我一種快感。從頭到尾，逐字逐節都寫得很好。你可以在上面看見許多鉛筆作的記號，都是我

一面讀一面記下的。我特意讓這些記號留着，雖然其中有許多到了後面，都得到了解決，但却可以表出你的詞藻對於一個未曾涉獵過此題的人，是怎樣的發生印像，假如你願意使全部的觀念，並不是不精確，從開始就可以暗示與讀者的話，你或許會高興去各處略加更動一下。總之，使我的鉛筆受到此項影響的原因，我相信決不是你的解釋，乃是不自覺而跳到結論所致。

我在星期五，就可以回來，屆時再奉還你的論文——

『法拉第』

至於我要發表的第三封信，插在本文將近臨末處，較為適宜。

有一次當我和法拉第談論學問的時候，牽涉到學問和商業及訴訟的關係，他告訴過我，在他的生涯中，曾經有過一個時期，被迫而慎重加以考慮，並且還得要作最後的決定，究竟在致富與求學兩者之中，應該選擇那一種作為他的生活目的。兩者既不得兼，只好取其一而去其他。既經發見了磁電感應之後，他的名聲溢洋海外，商業界中的人，以為像他這樣能力的人，報酬太高，所以都未曾加以考慮去請他幫忙。就在他還未如是出名以前，他也很少去做他的『職業』這是他時常用

的話專指他純粹在商業上的工作而言，他的朋友菲歷普斯理查（Richard Phillips）曾經勸他接受一些分析的事務，因此在一八三〇年，他的收入增加一千磅以上。在一八三一年增加更多。他只希望在一八三二年，他的職業上的收入，可以增加到每年五千磅。當然在他的生涯中最後三十年間，每年所能實現的，決不止此。

當我復行研究關於本雜記中的實驗研究的時候，忽然想到了我和他的談話，於是我就去根究『致富或求學』的這個問題，在他的心理上有如是重大的壓迫，究竟是什麼時期？我決定這個時期一定是一八三一年，否則必是一八三二年，因為在同一時期，既要經營商業，又要如像他以後各年間那樣努力求學，是人力所辦不到的。爲要證實我的這個推論，我要求去查他的賬目，爲尊重責任起見，我只將調查的結果舉出如下：在一八三二年他的職業上的收入，不僅未曾增加到五千磅以上，反而從一千零九十磅四先令降而成爲一百五十五磅九先令。從此以後，還是向下降，其間略有漲落，降到一八三七年只有九十二磅，至一八三八年即成爲零。在一八三九年至一八四五年之間僅有一次除外，其餘都沒有超過二十二磅，並且大都遠在此數以下。上面所說的例外的一年，

乃是他和來伊爾爵士 (Sir Charles Lyell) 受政府聘定做一篇哈斯威爾 (Haswell) 炭坑炸裂的報告書，所以那個時候，他在職業上的收入增到了一百十二磅。從一八四五年起一直到他死時為止，法拉第每年的收入，正正確確的是一個零。將他的一生總計起來，這位鐵匠的兒子，訂書匠的學徒，一方面可以得到十五萬磅的財產，一方面是完全沒有報酬的學問，要在這兩者之間，去選擇一種。結果他却選定了第二種，遂窮困以終。然而這却是使英國的科學名譽高出於各國之上，垂四十年之光榮。

就是名譽上的外觀的表徵，他所得到的也比他人為少。全世界各處的學術名譽，都萃集於他的一身。我相信就是推舉他做現代物理研究家中的王，也決不會有一聲的反對。然而在這個國中最高的學術位置，他却從未任過。當洛特斯雷勳爵 (Lord Wrottesley) 辭去了皇家學院 (Royal Society) 的會長的時候，評議會會派格洛夫 (Grove) 和加息奧特 (Gassiot) 代表去勸法拉第 繼任會長。一切的友情都已用盡，話也說盡，仍舊不能使他服從評議會的意見，而且還是學界全體滿場一致的願望。他自己的本性的一種敏捷知識，使法拉第成爲一種習慣，遇着有了重要的問題，

要他決定的時候，他就要求一個短時期來考慮。現在他也照着習慣作同樣的要求。

第二天的早晨，我走上他的房間中去，一進門我就說出我此來心中很爲不安。他就問我爲的什麼緣故，我的問答的，『恐怕你的決定是違反昨日來的代表的志望。』他說：『你當不至於來勸我去接受這個責任罷。』我的回答是：『可是我覺得你實在有接受的義務。』他於是說出這裏面包含着苦處。又說出他自己的本性，作事決不如此容易；又說假使他果真做了會長，一定會引起許多的糾紛。我說果真遇着這樣事情發生的時候，一定會有皇家學會的青年和力量去幫助他。這些好像還不足以使他放心。正在這個時候，法拉第夫人恰好走了進來，於是他就去問他夫人的意見。他的夫人的意見，不贊成他接受。我對於她的決定表示極端反對。最後他說：『丁鐸爾，我還是保留着我成爲一個平常的法拉第邁克爾到底。現在我告訴你罷，假如我接受了皇家學會願意給我的這種名譽，就在一年內，我也不能保全我的純潔的知識了。』就此我也不再勸駕了，其後繼洛特斯雷而任會長的，是令人景仰的布洛狄勳爵 (Sir Benjamin Brodie)。

當諾森伯蘭公爵 (Duke of Northumberland) 逝世以後，管理部很希望法拉第能夠做這

個研究院的院長，他來到這個院裏，已經有了半世紀之久，都是受的星期薪俸。可是他並不想做院長。到願意休息了，朋友對他的懇摯謙遜的情感，在他看去，比一切官吏生涯的名譽，貴重得多。

一八三五年庇爾勳爵 (Sir Robert Peel) 想送法拉第一份年金，但是這位大政治家，在他尚未能實現他的希望以前，就退了職。當初籌設此項年金的大臣們，其目的我相信是表彰榮譽，就是潔身自愛的人，接受此項年金，也決不會為其盛譽之累。可是當這個意見最初用非公式的通知，送到法拉第處的時候，他就回了一封信表示其拒絕接受的決心。說是他很能夠自食其力。這封信現在還是很好的保存着的，並沒有發出去，因為他的這種反抗，被他的友人們制止住了。當墨爾本勳爵 (Lord Melbourne) 到辦公室來的時候，他希望一見法拉第，或許是因為完全不了解他的為人——因為不幸得很，英國的大臣每每都是不了解英國的大人物的——所以說了一些話，使他的客人深為不悅。這件事全部都傳到了我這裏，可惜詳細的情節，都已忘記了。好像似這位勳爵未曾小心，說出了「欺瞞」(humbug) 的字樣，還有其他一些與此類似的話語。法拉第就下了決心，離開這位大臣，當天晚上在墨爾本勳爵的寓所，留下了他的名片和一個詞短而堅決的字條，說



出他顯然的誤解了勳爵在他個人的身上獎勵學術的用意，所以不願意過問所提的年金。這位善意的貴人，開始時還以為是一件絕好的談笑資料，後來纔覺得成了嚴重的問題。此刻有一位貴夫和法拉第及這位大臣，却是朋友，很想來替他們調解。但却見着法拉第的立志堅決，不肯稍微搖動。費了許多的力，依然毫無結果，最後她只得問法拉第，究竟要墨爾本勳爵如何，方能使他滿意。他的回答是『我所要求這位勳爵要做的，是我既沒有權力也沒有理由去希望他能夠做到，即是用的書面向我道歉，對於他在我面前使用過的那些字樣。』要求的道歉書面，居然到來，又坦白，又圓滿，我認為這位內閣總理和這位學者，都是同樣的值得我們的欽佩。

想到法拉第在知力方面所受到的重大負擔，然而就到了晚年，他還是和少年一樣的快活，真令人驚異。他常常的感到疲勞過度，可是他有偉大的恢復力，只要他感覺到健康失效，就離開倫敦，使其恢復力發生作用。他在晚年時心中所充滿的思想，我曾經指示過。他卵翼着磁的介質（magnetic media）和磁力線；他最後的研究的最大的目標是在決定磁力傳播是否需要時間的問題。究竟他主張如何去研究這個問題，我們是不會知道的了。可是他却遺留下一些很好看的器械

裝置。上面有許多精緻的輪子和齒輪，有聯合着的鏡子，應該是用來作此項研究的。就是這一個問題的觀念，也足以表出他的力量和他的希望，由此將他引到什麼樣的結果，真是不能推測得知的了。可是這個工作對於他那疲勞過度的腦筋，實在太重了。經過了好久，他始肯拋棄這個工作，當其勉力撐持着的期間中，他常常感覺神經衰弱。就是在這個時期中，當他還沒有決心休息之前，算是他生涯的最後兩年，他寫了下面的一封信寄給我，這就是現在在我手邊的貴重信件中的一種。在這封信中，他將他當時的心境表露出來，比任何其他的人描寫出來的，還要明白得多。我有時因為我在阿爾卑斯的行爲，當着他的面前受到指摘，他時常都是這樣的答應說：『讓他去罷，他自己會當心他自己的。』在這封信中，對於這一點的不放心，第一次纔表露出來。

『一八六四年八月一日寄自罕普吞巷 (Humphon Court)』

丁鐸爾吾友——我不知道這封信能否還趕得上交到你的手裏，可是我得冒險試一下，雖然我覺得和你生活這樣活潑的人通信，很不相宜。可是收到了你的信後，使我知道我雖然忘記了人，

人家却並未嘗忘記我，雖然我在一行末了的時候，已記不清楚開始時說過些什麼話，不過這一點不完全的記號，也可以將我所要想說的意思，傳達給你了。我們從穆爾女士 (Miss Moore) 處知道了你的病，所以我現在聽着你完全好了，深為欣慰。你不可以太過於冒險了，不要從危險上去尋快樂，不要再去追去這些危險。有時候想到了你想到你現在做的什麼事，都使我害怕，其後思想又停止了，又變動了，但總不能令我放心。我知道這些大都由於我自己衰老的性質所致，我不知道我何以要寫出來。只不過是當我寫信與你的時候，我禁制不住要這樣的去想，這種思想總是妨礙着別的事。

.....

你看我會寫成這樣漫無秩序的奇怪信寄給你，可是我已經覺得很疲乏了，老早就想離開書棹，回到我的床上去呢。

我的親愛的妻和珍 (Jane) 都問候，你我聽見他們在隔壁說話：.....我忘了——但不是你，我的至友丁鐸爾，

「法拉第」

這種疲勞的精神，當他拋棄了他的工作以後，也就平靜下來，我後來又接到他寄給我的很快活的一封信，是在一八六五年的秋間寫的。就在這一年的年底，他患了一場病，從此以後，他就沒有完全痊癒。他還是繼續着出席於星期五的晚會，不過他的衰老，日益進步，是我們都很明白的。最後完全的休養，對於他已成爲必要了，於是我們裏面，就不見有他了。他逝世時並沒有什麼苦痛，不會使愛護他的人爲之不安。他是很緩慢而且很平和的向着最後沉去，等到真正的最後到來，他的死如同睡眠一樣。在他滿載着榮譽的老年之中，遂離我等而去，應該奮鬥的，他努力奮鬥過了，義務的工作——我雖然不能夠說是光榮的工作——他已做過了。在他前面那封信中所說的『珍』是法拉第的外甥女，名爲巴那德小姐（Miss Jane Barnard），差不多是用着宗教犧牲的熱情，來看護他，陪伴他，一直到他死爲止。

我第一次遇着法拉第是當我從馬爾堡（Marburg）回來的那一年，即是一八五〇年。我到皇家研究院去，投進我的名片，還有一篇我和克諾布勞士（Knoblauch）新近完成的一篇論

文的抄本也一起送進去。他走下來和我談了半小時之久。我感覺着他那智力的不可思議以及由他面部表現出來的誠懇的真情。當他健康的時候，你決不會想到他的年齡問題。在他那眼中的光彩和笑容中，你決不會去想到他的灰色頭髮。那個時候，他正要發表一篇關於磁晶體作用的論文，可是他還來得及引用一點我送給他的那篇小雜記。我回到德國去，在德國又工作了將近一年，到得一八五一年六月，最後又從柏林回到英國。於是在我赴伊布斯威池（Ipswich）出席不列顛協會的路上，我遇到了這位已經在智識界成了名的人，老早對於我就如同弟兄一樣，按着自然界的親和力的定律說起來，一定是繼續成爲兄弟一樣的關係。在這個時期中，我們兩人都沒有一定的位置，很需要適當的工作。遇着多倫多（Toronto）大學空出自然歷史和物理學的講座，正在徵求担任的人，於是我們就一同去志望，他担任一種，我担任其他的一種。可是或許由於預言家的直覺，也說不定，大學當局對於我們兩人都不容納。假使我沒有記錯的話，我們總有那一處是同樣的不幸。

法拉第寄給我的很早的信中，有一封說到多倫多的事件，他認爲我忽略了這件事未免不智。

可是多倫多自有他的思想，在一八五三年，因受準茲博士（Dr. Berce Jones）的邀請，參加法拉第本身紀念會時，皇家研究院中有一個物理學的講座，來請我去擔任。我在這個時候，很想要到別處去，但是有一種強的引力，將我牽引到他的旁邊去。主要的還是他和其他友人間的關係，我看得比什麼都為珍貴，因此使我覺到我在這裏的地位，比其他任何地方召致我的，都高尚得多。並不是因為他的名譽，當然他的名譽是很大的，乃是一種很強有力的私交，將我拘束在這裏，我現在很以此地工作引為榮幸呢。你們或許不十分相信，我由法拉第的繼任者而得到的名譽，我到看得沒有多大的價值，遠不及我是他的一個朋友，得來的名譽更高。他的友誼是能（energy），是靈感，而他的「外套」却是一個重担，差不多重得來令人難堪。

在他的暮年，有時得到法拉第夫人的許可或邀請，我走上去，進他的房中去看他。在他強健的時候，從他面容中放出來的那樣非常有力的光彩，已經消沉下去，成爲一種又平靜又溫和的光亮，我對於他的最後的記憶，全靠這種光亮來照耀着。我有一天在他的旁邊跪在地毯上，將手放在他的膝上，他很感動着的拍着我的手，臉上露着微笑，口中喃喃發出低而和藹的聲音出來，我記着最

後的字眼，好像是法拉第曾經對我說過的一樣。

我很渴望我能夠像席勒爾（Schiller）之於哥德（Goethe）一樣。他有時是那樣的強壯和快活——他的肉體是那樣的活動，他的知力是那樣的清晰——令我想到他也和哥德一樣，看見這些後來的青年，是如其低。運命的支配却又另有不同，現在他對於我們不過是記憶而已，當然不會有比他更美麗的記憶。他在知力上和情感上，同是同一樣的豐裕。保羅（Paul）所描寫的那種最良的特質，由他可以得其例證。因為他就是『沒有一點可以受人指摘之處，注意周到，端莊穩重，舉止高雅，動輒可以教人，不貪無義之財』的人物。他一點世俗的野心也沒有。他宣布他對於國家的義務，每年去朝參一次，除此一次而外，他決不去和朝廷接近。他的精神上的生活以及知識上的生活，已經很圓滿，所以他對於世人爭奪不休的事物，完全不在意中。愛默生（Emerson）有一句豪語說『給我的康健和一天，我將使帝王的尊嚴成爲令人發噁。』法拉第可以說同樣的話，而且程度還更高。在他的眼中看去，宮庭的華麗，和布來屯高原上面的雷雨比較起來，算得什麼？皇家的一切器具，和落日比較起來，又算得什麼？我其所以說出雷雨和落日，因爲這些現象在他的心裏，都可以

挑起一種狂喜，而對於這種人的心胸，那些世俗的榮華快樂，當然是沒有價值的了。是天性不是教育，使得法拉第成爲剛毅而有修養的人物。他自己有一個很中意的實驗，可以作他自身的代表。他很喜歡指示出，水中混合着的其他的雜質，無論怎樣的密切，然而當水結晶的時候，就可以將這些雜質排除外面。無論是從酸中得來，或從鹼中得來，或從鹽水中得來，結晶總是純粹的，由同樣的一些自然界中的過程，在這個人物的造成中，將優美和高尚混合成爲一起，將一切卑俗的性質，全都驅逐出外。他的性情柔和，並不是世俗中學得來的，因爲他已從世俗的教化中早已抽身出來；可是在英國的國土中就沒有比他更真的君子了。他的偉大處得編入他的學問中的還不到一半，因爲科學還不能將他心情的豪爽精細表露出來。

現在我應該將我這些軟弱無力的話語，作一結束，將我這粗劣花圈，貢獻於這位上帝的正直忠實的戰士的墓上。

法拉第的著作有下列數種：

Some Observations on the Means of Obtaining Knowledge, 1817.



- History of the Progress of Electro-magnetism, 1821.
- Chemical Manipulation, 1827
- Edition on the Alleged Decline of Science in England, 1831.
- On the Practical Prevention Dry Rot in Timber 1833.
- Experimental Researches in Electricity, 3 vols. 1839-55.
- Observations on Mental Education, 1855.
- Experimental Researches in Chemistry and Physics (Reprinted from Philosophical Transactions, The Journal of the Royal Institution, etc.) 1859.
- The Various Forces of Matter (Six lectures edited by Sir Wm. Crookes), 1860.
- The Chemical History of a Candle (six lectures edited by Sir Wm. Crookes), 1861.
- Some Thoughts on the Conservation of Force, 1865.
- The Liquefaction of Gases (papers given, 1823-45) 1896.

法拉第的傳記有下列數種：

Prof. J. Tyndall, *Faraday as a Discoverer*, 1868.

J. B. A. Dumas, *Eloge Historique de M. Faraday*, 1868.

Dr. Bence Jones, *The Life and Letters of Faraday*, 2 vols, 1870.

Dr. J. H. Gladstone, 1872.

W. Jerrold, *Michael Faraday: Man of Science*, 1893.

Silvanus P. Thompson, *Michael Faraday: His Life and Work*, 1898.

*The Lectures of Faraday and Schoenbein, 1836-62* edited by G. W. A. Kahlbaum  
and F. V. Darbishire, 1899.

附註

本冊係自電學實驗研究原書三冊(一八三九——五五年)中選取第三至第八及第十六第十七諸類編成，插圖爲讀者便利起見，亦復列入，至於章節數目，當然是編者從新改列的。

# 法拉第電學實驗研究總目

## 第一冊

### 序論

### 第一章

第一節 各種來源不同的電本性是相同的

第二節 由量度而得的普通電和電流電的關係

## 第二冊

## 第一章

第三節 電傳導的一個新定律

第四節 一般的傳導本領

## 第二章

第五節 電化分解

## 第三冊

## 第四章

第六節 金屬及其他固體對於氣體物質結合的誘引力

## 第五章

第七節 電化分解(續第五節)

第八節 和物質粒子或原子結合着的絕對電量

## 第四册

### 第六章

第九節 電池中的電

### 第七章

第十節 電池中的本領的來源

## 第五册

### 第八章

第十一節 電池中的本領的來源(續第十節)

關於鐵的特殊電流狀態(申拜因)

關於鐵的特殊電流狀態(法拉第)

# 法拉第電學實驗研究

## 第一章 [註一]

(各種來源不同的電本性是相同的——由測量而得的普通電和電流的關係)

### 第一節 各種來源不同的電本性是相同的

一、由我從前在皇家學會 (Royal Society) 發表過的電學研究的進步，使我對於各種來源不同的電，彼此是否相同的問題，非再作進一步的研究，不能將一切疑慮掃盡。主張說普通的電 (Common electricity)、動物的電 (Animal electricity) 和電流的電 (Voltaic electricity)，彼此不同的各種意見中，誠然已經有了不少的意見，被卡芬狄士 (Cavendish) [註二]、武拉斯吞

(Wollaston) [註三]，科拉頓 (Colladon) [註四] 和其他的人陸續推翻；我並且也很相信大多數的學者，都必定將這些來源不同的電，認為是相同的。可是從一方面說來，武拉斯吞的實驗，被人指摘出來，說是不大精確，也是實在的事實 [註五]。並且他的實驗中，還有一種，用普通的電來作化學分解的證明，也覺欠妥（四五，六三。）可是許多的實驗家，却將這個實驗選出來，作為化學作用的試驗（七二，八二。）不但這樣，現在依然還有不少的學界中人，正在那裏搜尋各種電不相同的去處；最低限度，他們對於這些電是相同的證明，總是懷疑的。引一個例證來說，德斐 (Sir Humphry Davy) 在他的電鰩 (Torpedo) 的論文 [註六] 裏面，就以為動物的電或許是另外一種特殊的電；他關於這種動物的電，普通的電，電流的電和磁，曾這樣說過：『這些形式不同的電，對於外面的表現或其性質，也不相同，從此加以追求，各種電的異點，或許能夠成立，也未可知云云。』只須翻閱最近的一冊哲學會報 (Philosophical Transactions,) 即足以察知這個問題，還沒有完全解決 [註七]。

二、所以儘管大多數的見解，認為電是同一的，可惜證明還不十分明瞭，不能夠使凡有資格

考慮這個問題的人，都表示同意。現在的情形在我看來，還是和德斐解決時的情形一樣，即是不問電流的電是否在一一切的情形中略去，或仍出現，總而言之，當他作用到水以後，一定可以看得見酸和鹼的發生。他因為有了這個疑點，妨礙他的見解，使其不能發展，破壞他的理論，使其不能嚴謹，所以不得不下這個決定。我也是本着同一的理由，對於普通的電和電流的電，是異是同，不得不將他弄明白。我自己是深信各電同一，很希望我現在提出來的各項實驗，以及由這些實驗流露出來的證據，能夠值得皇家學會的注意。

三、由電表現而成的各種現象，為比較計，可以列為兩類；一類是和電壓 (electricity of tension) 有關係的，他一類則屬於運動中的電 (electricity in motion)。這種的分別，僅為便利起見，並沒有學術上的根據。在靜止狀況時，電壓的效應，是達於遠處的引力或斥力。運動中的電或電流的效應，可以看成下列的五種：第一為熱的發生；第二為磁；第三為化學分解；第四為生理現象；第五為電花。我的目的是在取來源不同的電，尤其是普通的電和電流的電，觀察他們發生上述各項效應的本領，而加以比較。



註一 此章係法拉第電學實驗研究全集中的第三類，載在原書第一卷第七六頁。

註二 見 *Philosophical Transactions* 一七七六年第一九六頁。

註三 見前誌一八〇一年第四三四頁。

註四 見 *Annales de Chimie* 一八二六年第六二頁。

註五 見 *Philosophical Transactions* 一八三二年第二八二頁的註。

註六 見前誌一八二九年第一七頁「普通的電只能發生在非導體上面，導體或不完全的導體可以將這種電立刻傳走。電流的電則發生在完全導體和不完全導體的結合體上面，只能由完全導體或最良的不完全導體傳去。磁若也是電的一種形式，那就僅屬於完全導體；而其變相則屬於一種特殊的階級。」（但據立契（*Dr Ritchie*）所說則否，詳見 *Philosophical Transactions* 一八三二年第二九四頁）「動物的電只能在在於造成動物各種器官的未完全導體上面。」

註七 見 *Philosophical Transactions* 一八三二年第二五九頁。德斐由電鐘的實驗，得知其所生的效應，和普通的電以及電流的電發生的效應相同，故說電鐘對於磁和化學的能力，並不見其有什麼特別不同的地方。

(見二七四頁)但是在二七五頁，他又說他們倘有不同的點存在，接着將不同處舉出來以後，他又加上了幾句話，說：「這些不同的地方，要如何方能說明，能不能採用卡汶狄士在電綸理論中的說明去說明他？或者做照太陽光線的例，認為不拘由普通起電機或由弗打電池或由電鋪發出來的電力，都非一種單獨的電力，而為一種複合的電力，因其組合的成分，有種種不同，所以發生來的性質也就有種種的不同。用這種的方法去說明又如何？」

又正同一卷內第二七九頁的立契的論文，有下面所引的幾句話：「普通的電在金屬表面上要起擴散作用；電流的電存在於金屬的內部。自由電在表面上的傳佈，雖極薄如金箔，充實如金屬塊，只要是表面相同，效力也是一樣；而電流的電，則需要有相當厚的金屬，方能傳導。」(見二八〇頁)又於二九一頁說：「當電堆發明以後，前此想像中的普通電和電流電間的類似處，重經驗查，滿以為由此可以得到更可注目的類似處，誰知結果竟成爲完全的失敗。」

## 一、電流的電

四、電壓——試用內容一百對極板的電池一個，用通常的驗電器去檢查這些極板，即知道或帶陽電或帶陰板。凡和同名極板相連的驗電器的金箔，彼此相斥，和異名極板相連的驗電器的金箔，彼此相引。就是兩金箔間隔着一英寸以上的空氣，也可以觀察得到這種引斥的作用。

五、普通的電在空氣內如經由尖端 (Points) 最易放電；在極稀薄的空氣裏面，也很容易傳過；在受了熱的空氣，例如火焰中，也很容易傳導，這些事實，均由於電壓過高使然。因此我想到電池的電放電時，應該也有同樣的效應，至於實行檢查時，則或者使用電流計 (Galvanometer) 或者使用後面詳述的裝置 (四八·五二)，使其發生化學作用，即以此作用來作電的通過的證據。

六、我使用的電池，共有一百四十對的極板，每塊都是四英寸見方的，雙層的銅板。全體絕緣後，能使金箔驗電器張開一英寸的三分之一。使用很精緻的尖端，排列得很適當時，無論在空氣中或在排氣機的容器內，無論就磁性或化學作用檢查，均不能發見有電流的痕跡顯露出來。再使一個來丁瓶 (Leyden battery) (二七) 帶電，也足以使金箔驗電器張開到同一的程度，仍用尖端來試驗，即足以見尖端的力量，同樣的不足以使其放電而生磁性或化學的作用。由此一點看來，

電池的電流和普通的電流，並沒有不同的地方。普通的電，並不是不能發生這兩種的效應（四三，四六），乃是因為強度太低的緣故。要發生這種效應，並且要使我們眼看到，需要的電量極大（一〇七，一一一），決不能往短時間內可以傳到。所以由尖端的效應以及此後所述的各種證據，均足以證明普通的電和由電池而生的電，並沒有不同的地方，實在是完全相同的。

七、因為熱空氣的傳電，比較尖端傳導普通的電，更為容易，我遂想到電池發生的電，或許也能這樣的放電。為此目的而設的實驗裝置，如第一圖所示。A B 為一條絕緣的玻璃棒，其上捲有兩條固定的銅線 C 和 D。各條銅線端上銲有一小段的鉛線，將此兩條鉛線端，裝在互相接近的地方如 e，但並不接觸。銅線 C 的另一端連結到發生電流的電池的陽極上，將銅線 D 連結到電解器（四八，五二）上，再由電解器而連接到電池的陰極，完成一完全的電路。這個實驗裏面，只用了兩個電池組或就極板的數目說，共用了二十對的極板。

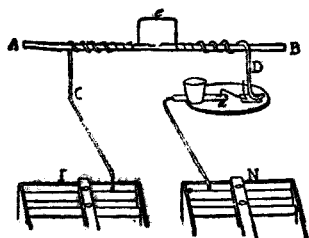


圖 一 第

八、照着上述的佈置方法，a 處並沒有化學分解發生，但在 e 點的鉑絲，若用酒精燈來燒紅，化學分解立即發生；a 處不久即有碘出現，由此可見電已由熱空氣中通過。再使用吹管 (Blow-pipe) 將 e 處的溫度升高，放電更見自由，化學分解立即發生。將熱源由 e 處取去，電流隨即停止。再使 e 處的鉑線端，彼此互相接近，互成平行，但仍不相接觸，則所得的效應較前更形容易。或改用大形的電池 (六)，效應亦較易得。

九、其次將電解器撤去，換用一個電流計，仍插入中途，用火燒 e 處的鉑線端，即見電流計上的指針向一方移動，將火取去後，當其復向原位返回時期中，(三二八) 尙可看見有微弱的偏轉。由此也可以證明電流從熱空氣中通過；可是這個器械終不及使用化學分解器時靈敏。

一〇、我們平常使用的強有力的電池，當他的兩炭極一度接觸後，再漸漸的分開時，兩極棒間的空氣中，有放電現象發生，這就是我們上面所述的效應中的一個例，只不過向來未曾爲人想到罷了。這個例中的電，是由熱空氣中通過的，和普通的電受熱空氣的傳導，完全一樣。德妻對於在皇家研究院使用的電池，曾經記載過，說這樣的放電，至少可以隔着四英寸的空間進行(註二)。在

抽氣機的鐘罩裏，可以隔半英寸遠放電。若將這兩種效應聯合起來，即是排氣機的鐘罩內的密閉着的空氣，受熱後，可以使電傳過六七吋的距離。

一一、由電池的兩極板，可以使來丁瓶帶瞬時的電，也是電壓和電池所有的電量的一個證據。德斐曾經這樣說過〔註二〕：「當電池中的兩個導體的端，和來丁瓶連結時，一連至內層的錫箔，一連至外層的錫箔，即見來丁瓶立即帶電；將連結的導線撤去，使內外層用適宜的方法連接起來，或是震動或是電花均可見到，並且接觸的時間無論如何的短促，都可以使帶電達到最大的量。

一二、運動中 i 熱的發生——電流經由導線中或流體中通過時，有熱發生，是人所共知的事實。

一三、ii 磁性——電流能使磁針的變方向，能遵照一定的規律造成磁石，是科學家最熟知的一個事實；電流所生的各種效應中，也再沒有比磁性更爲顯着的了。

一四、iii 化學分解——電流的化學作用以及其所遵從的定律，也是完全爲人所知的。

一五、iv 生理的效應——強烈的電流可以使動物全體的組織發生震動，微弱的電流可以

使舌尖或眼皮感覺，這是電流所獨有的特徵。

一六、 $\nabla$ 電花——由電流的放電而生的燦爛奪目的光，爲人力所能發出的各種光中的最美的光，也是人所共知的。

一七、以上所舉的各種效應，或者某種特別加強，或者某種特別減弱，可以有無窮的變化，這是衆人共同承認的。但對於電流的本性是全同的事實，決沒有懷疑的餘地。卡汶狄士關於電量和強度的理論，可以將這些變化說明清楚，這種說明，因爲無人懷疑，所以現今用不着再加以證明。

一八、由後面將要詳述的有電流通過的導線和帶有普通的電的導體的比較結果，及對於連結電池的極板的導線或任何導體，而生的一種見解，使我覺得對於所謂電流，實有先行詳細說明的必要，因爲導線上質點的排列，或導線內電的排列，均可以看成有種種特殊的狀況，這些狀況全是靜止的而非前進的，這樣的狀況和電流，非分別清楚不可。設有兩個電池，如第二圖中的P N和P' N'，排列成爲對稱的形式，各各絕緣後，用一條導線將N和P'連結起來，在連結的導線上，懸一個磁針，導線對於磁針，絲毫也沒有作用；但若另外再用一條導線將電池的另一端P和N'連結起

來，上面的磁針的方向，立即發生變化，並且當這條電路沒有切斷以前，磁針的偏轉永久不變。假如電池的作用，不過是使導線發生一種特殊的排列，或者使導線中的質點，或者使其中的電，改變了排列狀況，因此造成了電或磁的狀態，那麼，在P和N'未連結以前，和既連結以後，導線N'P'中的排列，應該是相同的。既然是相同的，就應該同樣的能使磁針改變方向，縱令說在P和N'未連結前，作用稍微弱些，或許只有P和N'連結後的作用的一半，也未可知。但如磁的影響由於電流而來，則當電路未完成以前，因為沒有電流通過，當然也就不會有磁的效應發生了。

一九、我所謂的電流，是說一種前進的流動，不管他是電的流體，是兩種流體向反對的方向流過，是單純的振動，或者更說普通一點，是一種前進力，都可以。我所謂排列，是說質點的向部的安排，或者流體的也可，力的也可，總之，是定立的而非前進的。倘有許多的理由，均是有利於我的這種見解，但現在既沒有必要，所以也就從略。

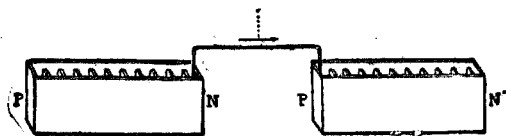


圖 二 第



註一 見 Elements of Chemical Philosophy.

註二 見前書第一五四頁。

## 二、普通的電

二〇、我所謂的普通的電，是說能夠由普通的機械得來的，或是由大氣中得來的，或是由壓力發生的，或是由結晶體的劈開而得的，或是由其他的方法反覆行使若干遍而得的，其特徵是具有很大的強度，不僅對於近距離，就對於相當遠的距離，也有引力和斥力表現出來。

二一、電壓——普通的電在近距離處表現出來的引力和斥力，有時異常的強大，由其他方法發生的電所生的同類的現象，均不及此。不過這些引力和斥力的性質，仍舊和前面在電流的電壓項下所說的（四）完全相同。其程度上的差別，並不比單獨的普通電間的差別大。所以對於這兩者的性質全同，大可不必再加詳細的證明。這樣的證明數量甚多，大都認為適當，並且都擺在外面，一覽即知：所以只聲明兩者的同一，不再更進一步，而對於異同尚有問題的部分，始擴大範圍詳

加說明。

二二、普通的電在熱空氣中放電，是人所共知的一個事實。與此並行的電流電，亦曾述及（八）。

二三、運動中 i 熱的發生。普通的電在導線或其他的物質中通過時的發熱能力，是人所熟知的。電流的電和普通的電在此一點看來，完全是一致的。赫黎斯（Harris）曾經根據這個原理造成並說明〔註一〕一件很可觀很合理的器械，由此不難將一小部分的普通電在導線中放電時發生的熱表出，在本文的後面（八〇）還有機會涉及他的實驗上的證明。

二四、ii 磁性——電流的電有非常強大的磁力。若是普通的電和他一樣，也應該有同樣大的小的磁力。對於製造磁針或磁棒的一點而言，確和電流的電一致。就是造成成功的磁石的方向，兩者也是一致的。但對於使磁針改變方向的一點，普通的電却表示無此能力，所以有時普通的電對於磁的本領竟被完全否認，又有時為避免困難起見〔註二〕，在想像上也假定兩者之間有差別存在。

二五、科拉頓以為從前對於這個項目所作的一切實驗，或許因為使用的普通電量太少，所

以纔會發生這種差異；於一八二六年在科學院 (Académie des Sciences) 曾宣讀一篇論文【註三】，報告他使用電池，尖端和精緻的電流計，作這個實驗，居然得到了磁針的偏向，於是電的同  
 一性在這一點上也成立了。他的論文裏面，曾提及阿刺谷 (Arago) 安培 (Ampère) 和薩發里 (Savary) 等均曾目覩此項實驗。可是後來並沒有人出來表示同意，而被提及的這些人，也未會發表他們的認可。一方面又有許多的人不能得到同樣的結果，於是對於科拉頓的結論，往往加以懷疑，甚至於完全否認。我以為最重要的事，是在確定這些實驗的精確度，並且要完全脫離受實驗的物體。我所得到的結果，完全證明了科拉頓的意見，可惜沒有機會將這些實驗詳述出來。但是要證明我所得到的電的磁性和化學作用的最後及普遍的結論，是否精確，就全靠要有這項實驗，  
 (九六，一〇二，一〇三，一一三等。)

二六、我使用的平板起電機，直徑為五十英寸，其上有兩組橡皮，其主要的導體由兩個銅製圓筒經第三導體連結而成。全體的長共十二英尺，和空氣接觸着的面積共一四二二平方英寸。在最好的狀況時，板每轉一次可發十個乃至十二個電花，每個電花長均為一英寸。從這個導體要發

生長十英寸乃至十四英寸的電花或閃光，也可以辦到。轉板的速度，不急不徐時，每一轉須時五分之四秒。

二七、我使用的電池，由十五個相等的瓶而成，瓶外的錫箔由底貼起高至八英寸，瓶周爲二十三英寸。故每個瓶上所含有玻璃的面積爲一百八十四平方英寸，玻璃的內外兩面，均同樣的貼箔。瓶底則未貼箔，底用厚玻璃造成，底面積約五十平方英寸。

二八、我使用的放電列 (Discharging train) 是用極粗的導線，連結到煤氣管上，再連結到倫敦市的煤氣管上，又連結到倫敦市的自來水管上。其作用極有效力，稍微有一點瞬間的電，無論電壓弱到什麼地步，都可以傳導而去，就是一個單獨的電池組。也可以由此傳去。這是對於許多的實驗，都很重要的。

二九、我使用的電流計，是前面曾經說過的電流計中的一種〔註四〕，不過罩在外面的玻璃套，用來支住指針的，下半部裏外通貼有錫箔。上半部仍舊空着，以便由外面檢查指針的移動。這上半部却用金屬網罩着，網上有許多的尖銳的尖端。當金屬網和內外層的錫箔連結到放電列（二

八) 上時,再將和起電機連結着的絕緣尖端或球,拿到電流計上任何部分去檢查,雖相隔的距離在一英寸以內,亦不見內部的指針,受到普通電的引力或斥力的影響。

三〇、和這些注意有關聯的,還有一件事應當聲明一下,就是電流計的指針,因受通過電流計中的震動,很容易使他的磁力混亂,或者減弱,甚至於顛倒過來。若是震動通過的時候,指針對於電流計的圈,取傾斜的方向,即是取不正的方向時,確實表出有這樣的效應發生。

三一、因為要保持電量不變,而又要減少他的強度,所以我入手第一步先去檢查不良導體的阻電力,希望能夠由此使普通電得到比想像更多的電流電的特性和能力。

三二、將電流計外面的錫箔和金屬套連結到放電列(二八)上;再如第三圖,將電流計導線的一端B連結到電池的外層錫箔,然後將此兩者也連接到放電列上,再用一條四英尺長的濕線將電流計導線的他一端A,連結一個放電叉。最後轉動起電機約四十轉,使電池帶陽電,則用放電叉和濕線,即可使其經由電流計中放電;同時指針立即移動。



圖 三 第

三三、當指針完成其振動期間中，即由最初的方向回到原位置時，起電機的轉動並未停止，電池因此復行帶電；當振動中的指針，復取最初的方向時，放電又在電流計中進行。照此動作反覆數遍以後，指針的振動，已增加到中點左右各四十度。

三四、這個效應很容易可以得到。就使用一條短而且粗的線，或使用四條短而且粗的線來代替一條長而且細的線，也不會使指針移動的方向和移動的程度發生變化。若使用更靈巧的電流計，則只須電池一度的放電，即可得到很可觀的指針的移動。

三五、將上面所說的電流計的連結法交換過來，使放電的方向，係由B到A，即見指針同樣的發生偏轉，但其方向則與前此相反。

三六、指針所起的偏轉，和電流的電通過電流計中時所生的偏轉，方向相同。即是帶陽電的一邊和電流器（四）中的陽極相一致，其帶陰電的一邊，和電流器中的陰極相一致。

三七、其次將電池拋去不用，連結的方法如次，將放電叉和主要的導體接觸，使電流從主要的導體中流過，中途經由濕線和電流計圈，最後流到放電列上，始行散開。或者將放電叉取去，或者

將起電機停止，或者另用一條導線將主要的導體和放電列連結起來，都可以使電流隨時停止，隨時從新發生。指針須配置得宜，俾其振動適中時，由左端移向右端所要的時間，等於錶內發出二十次的響聲的時間，當然由右端回到左端所歷的時間，也是相等的。

三八、照這樣裝置好了以後，指針雖可保持定態，由起電機而來的電流，送入電流計內共二十五響，然後停止二十五響，又再送入電流二十五響，又再停止二十五響，如是繼續下去。指針的振動，不久即可目覩，更照此反覆若干遍以後，振動即增加到四十度以上。

三九、將電流計中的電流方向反轉，指針偏轉的方向，也同時改向反對的一方。總之，指針的運動，和使用電池或電池組（三六）時所引起的偏轉方向相同。

四〇、其次將濕線棄去不用，改用一條銅線，這樣一來，起電機的電立即進入和放電列直接連結着的導線中，電流計圈也就是用來放電的導線中的一種。所得的結果完全和上述相同（三八）。

四一、再在放電叉上裝上四個尖端，使其和主要的導體接觸，用來代替前面所說的全體的

裝置，當電通過時這些尖端和導體約隔十二英寸的距離，當電不通過時，則被推開。其餘照前述的次序實驗（三八）即見指針立即移動，且頗猛烈，和前此所得的結果完全一致。尖端有放電的作用，確與科拉頓所作的各種實驗相符。

四二、最後我又使電先從抽氣機的鐘罩內通過，使其和極光（Aurora borealis）相類似，然後再經由電流計而到地球；就是這樣，也還足以使指針發生偏轉，原因當然和前此相同。

四三、由這些實驗的結果，可見普通電的電流，不問是經由水傳來的，或是經由金屬傳來的，或是經由稀薄空氣傳來的，或是經由普通空氣中的尖端傳來的，均有使磁針偏轉的作用；其所不可缺少的要件，是要有相當的時間，方能完成他的作用。由此可知任從何點看去，都和電流的電，同樣的有磁性作用，所以就這一個特徵而加以比較，兩者之間，實在沒有不同的地方。

四四、使用水，鹽水，酸類等不完全的導體，來檢查這種效應，比較使用其他的放電方法，例如尖端或球體等，更為便利。因為不完全的導體可將強有力的電池中的電，轉變成為微弱的電花放電，或成為繼續不斷的電流，絕不至於使指針的磁性受其妨害（三〇）。



四五、iii 化學分解——電流的電發生的化學作用，是他的一個特徵，但還不及電化作用的定律，更為獨特，在電解器的兩極上發生的物質，純由此項定律決定，武拉斯吞曾指示過〔註五〕普通的電在這一點頗與電流的電相類似，於是說：「這兩種電本質上是相同的。」可惜在他的證明中，包含着一個實驗，頗與電流的電相類，雖然僅只類似，但在他自己却又顯然加以區別。他所作的實驗，為數既多，性質又均為決定的，就只有這一個實驗，常常被一部分的人，引來作為電化分解的證明，視同電堆 (pile) 一樣，同時又有一部分的人，因此遂對於他的論文全部，均不置信。

四六、我現在要將我所得的結果，簡單的敘述出來，同時對於武拉斯吞的主張，即是說電流的電和普通的電對於化學作用的一點是同一的，加上我的證明。不僅使他的實驗更加方便，並且由此還可以得到許多的新結果，都是和電化分解有關係的（一一二，一一三。）

四七、第一先入手的是武拉斯吞的第四個實驗〔註六〕，將銀線的一端，浸在一滴硫酸銅的溶液裏，使起電機上發出來的電，進入液內，在液內受到電的這一端，能夠有金屬的銅鍍在其上。將起電機轉動一百次後，就有這項效應發生，轉動兩百次後，很容易看出這種效應。不過這樣的分解

作用，當然還是微弱得很。析出來的銅量，極其微少。在液內其他的一極上出現的銀，並絲毫的痕跡，也見不到。

四八、用普通電來作化學分解的實驗，如改照下述的方法，更覺容易而且更爲有效。在一張白紙上放一塊玻璃板，使板和紙稍微離開，俾影不致相重，在玻璃板上，貼錫箔兩張，如第四圖中的  $a$ 、 $b$ ，用絕緣導線  $c$  或導線和線（三七）將錫箔中的一個和起電機連結起來，同樣用  $g$  連結到放電列（八一）或帶陰電的導體。再用兩條很細的鉑線，屈折成第五圖所示的形狀，有一部分由  $d$  至  $f$  差不多成爲直立的，全體則以  $p$ 、 $c$  和  $f$  三點爲支點，放在板上。將這樣的兩條鉑線照第四圖所示的狀況放下，其兩個尖端  $p$  和  $n$ ，即成爲分解的兩極。使用此法，接觸的面積可以任意的減小，而且又極容易辦到，其連結處或斷或續，都只要一瞬間即成，用來檢查發生作用的物質，要算最便利的了。

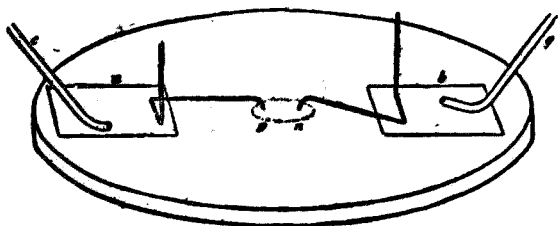


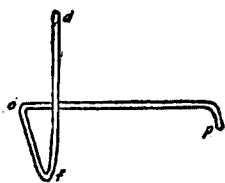
圖 四 第

四九、用硫酸銅溶液在玻璃板上畫成一條粗大的線，將鉑線端  $p$  和  $n$  浸入其內。用導線和濕線將錫箔  $a$  連結到起電機的陽極導體，俾免有電花通過，這樣只須轉動起電機二十次， $n$  的一端，就分析出不少的銅，看去和一條銅製成的導線一樣，但在  $p$  處，則無顯而易見的變化發生。

五〇、將等量的鹽酸和水混合後，投入硫酸籃少許，使成爲深青色，將此液體一大滴放在玻璃板上，如第四圖，再將  $n$  和  $n$  同時插入滴中，使其相對而立。裝好後，只要轉動起電機一遍，即可看見  $p$  處有氯氣出現，發生漂白作用。如繼續轉動起電機至二十遍後， $n$  處雖然仍舊沒有什麼影響，可是  $p$  的一邊，因爲發生的氯氣很多，所以只要一加攪拌，全滴均成無色的液體。

五一、再用碘化鉀的溶液和澱粉的混和物，來代替上述的鹽酸和水，轉動起電機後，即見  $p$  處有碘出現，而  $n$  處則無變化。

五二、再將上述的器械，加以改良，可用一小片濾紙，浸在欲檢查的溶液內，然後將濾紙取出，



第五圖

放在玻璃板上，兩鉑線端 p 和 n 的下面。由分解作用發生的新物質，即保存在濾紙上面，由其白色可以將任何顏色的變化看出，又可以使紙面與兩極的接觸點，縮到最高的程度。將紙用碘化鉀和澱粉的混合溶液浸濕，或者單獨用碘化物溶液浸濕，只要加以相當的注意（五八），即成爲檢查電化作用最好的工具。將這樣的紙片照前法放在玻璃板上，然後轉動起電機，只要半轉，就可以看出 p 處有碘分析出來。使用這樣改良的器具，由碘化鉀紙的化學作用，去檢查電的流動，有時比較使用電流計（九）還靈。如電流經由不良導體流過時，或在一定時間內發生或通過的電量甚小時，均以使用此法爲佳。

五三、將石蕊試紙 (Litmus paper) 在食鹽水內或硫酸鈉溶液內浸濕後，照前法實驗，即見 p 點立刻成爲紅色。同樣在鹽酸內浸濕後實驗，立見 p 點變成白色。但在 n 處，均沒有相類效應發生。

五四、將薑黃紙 (Turmeric paper) 在硫酸鈉溶液內浸濕後實驗，起電機轉動兩三遍後，方見 n 處變紅，繼續轉動二三十遍後，n 處即有大量的鹼發生。再將薑黃紙在原處轉一百八十度，

使變紅了的一點，即原在  $n$  下的一點，移到  $p$  的下面，而原在  $p$  下的一點，移到  $n$  的下面。再轉起電機，不久即見出現的驗又復消失，仍成爲原本的黃色，而現在  $n$  下的點，則變成棕色。

五五、若是將石蕊試紙和薑黃紙合併使用，兩者均在硫酸鈉溶液內浸濕，然後放在玻璃板上，使  $p$  在石蕊試紙的上面， $n$  在薑黃紙的上面，只要轉動起電機兩三轉，即足以察見石蕊試紙上有酸發生，薑黃紙上有驗發生，和電池中流出來的電流的效應相同。

五六、以上所述的這些實驗，不問由起電機而來的電，傳到錫箔  $a$  上面去，途中經由水或單獨的導線；由導體的接觸；或由此處的電花；只要電花不十分過大，不致發生由  $p$  到  $n$  的電花，或由  $p$  向  $n$  的電流，都是同樣的容易辦到。我很相信，在真正用起電機發生的電化分解的現象裏面，不管他是由導體發出來的電花，或是電流中的任何部分，經此傳過的電，均不會比單純正規電流所輸送來的電，有何特長。

五七、最後實驗發展成爲下述的形式，將普通電和電流電間完全類似的，表示出來。使用石蕊試紙和薑黃紙條各三片，互相併合起來，放在玻璃板上，如第六圖所示，紙片均先在硫酸鈉

的溶液內浸濕，紙上則放鉑線。導線  $m$  連給到起電機的主導體上，導線  $t$  連結到放電列上，導線  $r$  和  $s$  則由濕紙片連結，完成其全電路。至於  $r$  和  $s$  的形狀，則如圖中所示，在  $r$  一方面以  $n r p$  三點為支點， $s$  一方面則以  $n s p$  三點為支點。其中  $r$  和  $s$  兩點在於玻璃板上，其他四點均在紙上。又三個  $p$  的端，均在石蕊紙上，三個  $n$  的端均在薑黃紙上。只要將起電機轉動起來，於極短的時間內，就可以看出各個  $p$  處，即電進入溶液處，有酸發生，各個  $n$  處，即電由溶液出處，有鹼發生。

五八、凡用通常的起電機和潤濕的紙片來作電化分解的實驗時，有一點很容易引起錯誤，非得要加以注意不可，並且還要設法避去。即是濕的石蕊紙和薑黃紙上，假如有一電花通過，只要試紙是靈敏的，並且沒有過多的鹼在內，石蕊紙一定會因此變紅；假如有數個電花繼續通過，紙色必定變得很紅。假如電所通過的地方是在紙面上離導線稍遠，還沒有得到充分的濕氣來供電的傳導，那麼，這樣

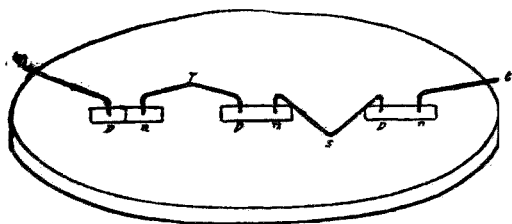


圖 六 第

變成紅色的部分就展開成爲分枝的形狀。若果在  $n$  的尖端，有同樣的分枝出現，而且是在薑黃紙上，這些地方，必定會妨礙到因鹼而生的紅斑。同樣由尖端  $n$  而來的電花或分枝，也可以使石蕊紙轉紅。若果使用的紙片，是用碘化鉀（這是檢查電化作用最佳的藥品）的溶液浸濕的，拿來放到電花或分枝形狀的放電處，或是由尖端  $p$  或  $n$  放出來的極弱的電經由空氣中傳來也都能夠使碘立刻發生出來。

五九、上面所說的這些效應，和普通的電的真正的電化作用，決不可以相混，我們要檢查真正的電化效應時，一定要將上面所舉的避開。因此第一要避免的，是電路上任何部分，不許有電花通過，就是強度的增加也不能容許，因爲有了強度的增加，就會有電從鉛線和濕紙間通過，和傳導不同；若果衝破了空氣通過，上面（五八）所說的效應，就會發生。

六〇、這個效應的本身，是由於空氣中的氧氣和氮氣化合而成硝酸，所以在事實上，不過是將卡汶狄士的實驗拿來重演一遍，略微精緻一點罷了。這樣化合成成功的硝酸，分量雖然很少，可是水也不多，所以濃度極大，能夠使石蕊紙變成紅色；能夠使薑黃紙上的鹼不克出現；也能夠使碘化

鉀中的碘游離出來。

六一、我用一細而且長的石蕊紙條，在苛性鉀 (Caustic potassa) 的溶液中浸濕後，將他放在空氣中，使電花由其上面沿着紙條上長的一方通過，不久即將紙上的鹼中和最後並可使其變成紅色；俟其乾燥後加以檢查，發見其上有硝酸鉀 (Nitrate of potassa)，於是這個紙條，一變而為引火用的硝紙 (Touch paper)。

六二、由此可知，不拘用石蕊紙或白紙，在碘化鉀的濃厚溶液中浸濕後，都可以供卡沙狄士由大氣製造硝酸的實驗的使用，又簡單又方便。

六三、在前面曾經述及武拉斯吞有一個實驗(一，四五)用來證明普通電和電流電的相同，可是這個實驗，引起了不少的議論，也有反對他的，也有贊成他的。他的這個實驗，是用玻璃或其他的絕緣物質，包圍着極細的導線，只將導線的尖端，或一小段露在外面，將這樣的兩條導線，浸在水裏，使電由此兩條導線中通過，就是使用通常的起電機上的電，只要不發電花，就可以看見水的分解，有兩氣流從導線的尖端升起，由外面看去，和電池的電所發生的現象，完全相似，就是結果所



生的氣體，是氧氣和氫氣的混合物，也和電池來的電的結果相同。可是武拉斯吞自己又指出這個結果，和電池來的電的不同處，在於各電極都能發生氧氣和氫氣兩種氣體。並且這樣說過：『這實在是動電的一個極相接近的類似，可是事實上這個類似並不十分完全，』因此未曾根據這個實驗來建設他，這篇論文中並沒有絲毫錯誤的原則。

六四、這個實驗在實質上說起來，也不過是前人所實驗過的，再來重演一遍，僅略加改良罷了。同樣的實驗，在一七九七年，有披爾遜 (Pearson [註]) 再前還有脫羅茨基 (Paets Van Troostwyk) 和第曼 (Deiman) 在一七八九年以前，已曾作過。規定電化作用中電流的流動和析出來的物質最後出現的地點的定律 (一四，四五) 在這個實驗裏面，並沒有影響。從這種情形，也可以知道這個實驗，不能引用來作真正的電化分解的證明。在兩極發生的水的分解，彼此各不相關，發生出來的氧氣和氫氣，就是發生變化前在此處存在的水的元素。假如將武拉斯吞使用兩導線中的一條，用普通的導線或一手指來作代替，照樣實驗，即見換了的這一極，一切作用均行停止，而其他的一極，即是仍舊用武拉斯吞導線的一極，絲毫不受影響，仍舊能夠同樣發生氧氣和氫氣。

由此可見導線的尖端，對於分解作用，兩極間實在沒有相互的作用。不僅如是，如將起電機繼續轉動若干遍，使其送入充分的電，俾新換的普通導線或手指上，假使可以發生氣體，一定能滿佈全導線周圍，但事實上，縱令如此，未換的一極，固然氣泡陸續發生，而新換的一極，仍舊一個氣泡也沒有。

六五、當電化分解發生時，很有許多理由使我們相信分解出來的物質的數量，並不和強度相比例，而和通過的電量成比例（五六）。對於此理的證明，見本文的後面（一一一，一一三）。可是我們現在所說的這個實驗，却另是一回事。譬如使用一對同一的導線尖端，但由起電機而來的電，成爲電花通過時，發生的氣體分量爲若干；其次將電花減短實驗，即見發生的氣體也隨着減少；再若沒有電花通過，發生的氣體分量，差不多不能察見。再用硫酸鈉來代替水，雖用極其強烈的電花，也很不容易發生可以察覺得到的氣體分量，再用普通的電流，可以說完全沒有氣體發生；就電量而言，在同一時間內流過的電量，對於上述各種實驗，却都是相等的，並沒有絲毫的不同。

六六、我並不是說用這樣的器具，普通的電不能和電池的電同樣可以使水分解，而是相信他的確能夠發生同樣的分解，可是因爲發生的氣體分量太過於少了，本來應該一條導線發生

氧氣，他一條導線上發生氫氣，在我却無法決定是否果然如此。兩種氣流之中。有一種容積比較大些，就是將起電機的轉動方向反轉過來，這個比較大些的氣體，仍舊出現於同一的一邊。若用硫酸鈉來代替純粹的水（六五），這兩種氣流雖然減少，仍然可以看見。不過質量太小，曾經將起電機繼續不斷的轉動半個鐘頭，兩極上出現的氣泡，均不及一粒細砂的大小。如果我歸納而得的化學作用的數量關係（一一三），沒有錯誤，這個結果就是當然應有的。

六七、我認爲將這個實驗拿來作成電化作用的檢查手段，實在不甚妥當，以後還有許多地方，如緣磁電流以及其他的電流（七一，八二）等發生的所謂化學作用，都和這個實驗有相關的地方，到那時再加以敘述。同時，和這個實驗完全不相關，我們對於武拉斯吞所得到的普遍的結論，即是電池的電和尋常的電都有化學分解的本領，兩者的性質相同，受同一的定律支配，已是無可容疑的了。

六八、iv生理作用——普通的電能夠使動物全體發生顫動或震動，弱的電也可以使舌尖或眼皮感覺，這些特徵，可以看成和電池來的電相同。不過對於普通的電，論其強度，對於電池的電，

則論其繼續時間的久暫罷了。試用一條濕線插入電路中，將狀況甚佳的起電機（二六）轉動八遍或十遍（註八），使電池帶電（二七），由此發生尋常電的電流，再用白金製的壓舌（Spatulus），經由舌尖或齒齦使其放電，則其對於舌尖和眼皮引起的作用，和微弱的電池電流的作用，完全相同。

六九、 $\nabla$ 電花——和尋常的電放電時伴同出現的燦爛的光輝，是人所共知的。可與電池的電放電所發的光輝相匹敵，或許更爲強烈一點，但只能維持極短促的期間，並且同時有尖銳的噪音發生，好像極小的炸彈發出來的音一樣。這樣的電花，和電池發出來的電花，完全相同，尤其是在幾種特殊的例中，更容易下這個判斷。放電的兩極的金屬，若用銻齊塗過的表面，在空氣中隔着同樣的距離，使普通的電和電池的電，在其間放電，出現的電花，目力決不能判別。

七〇、若在來丁瓶（二七）的電路中，插入一段濕線，使其放電，濕線所在處，須離電花通過處稍遠，此時出現的電花略帶黃色，狀如火焰，比未插入濕線時所經歷的時間爲長，電花的長度約四分之三英寸，同時有些微的噪音發生，有時也不發噪音，一方面却失去一部分和電池電的電花相

同的性質。像這樣用水妨礙着的電，在兩塊木炭間放電時，兩塊木炭的表面上，有異常的光輝發出，和電池電在這樣的表面上放電時所發的光亮相似。若不受妨礙的電在木炭上放電，兩木炭的表面上，也同樣的放光，（就此一點而論，和電流的電也相類似），但此時的噪音甚大，並且尖銳震耳。

七一、我相信全體的學界同人都會和我同意，認為大氣中的電，性質和普通電相同（二〇），因此大可利用關於大氣中的電引起的化學效應的幾篇論文，來證明普通電也和電池來的電同樣的有化學分解的能力。不過我所引用的這些對照，異常嚴密。在引用這些論文以前，非先將他們的正確的程度，盡量證實不可；雖如此說，我並沒有權力來淹沒他們，假如他們是正確的，那麼，我現在想要努力去建設的無可容疑的基礎，還是由他們建成功的，所以對於我的結果，還有優先權呢。

七二、據稱日內瓦的波尼佐爾（Bonjoi〔註九〕）曾經造成一個很精緻的器械，使用普通的電去作水的分解。將這個器械連結到一個絕緣的避雷針上，就是大氣中的電不甚強烈的時候，水的分解也是繼續不絕的進行，並且還很迅速。可惜這個器械，未曾鼓及，只說是使用的導線的直徑異常的小，這樣想來，應該和武拉斯吞（六三）的實驗的構造相似。因為這不能成爲真正的

分極的電化分解(六四)，所以波尼佐爾的結果，不能證明普通電和電池的電在化學作用上是相同的。

七三、在一般文庫 (Bibliothèque Universelle) 書中的同一頁上，又說波尼佐爾曾將苛性鉀又將氯化銀等分別裝在狹窄的管內，使用尋常起電機的電花，由他們上面通過，結果將此等物質分解出來。這個實驗當然和真正的電池電流的分解不相類似。因為真正的電池分解中的電必須由受作用的物體中傳導而去時，方能發生分解，若由電花中傳過，則遵照通常的定律，分解應行停止。這些效應，或許有一部分和披爾遜或武拉斯吞的器械的水所發生的效應相似，其原因或許由於物質的極小微粒，驟然受到了極高的溫度變化而來，或許和空氣中的結果(五八)有關係，亦未可知。因為受了電花的影響(六〇)，氮氣就能夠直接和氧氣化合，所以他從苛性鉀裏面去將鉀提取出來，並不是不可能的，尤其是有大量的苛性鉀存在的時候，和受作用的微粒接觸着造成硝酸。這些作用和真正的分極的電分解，雖有很顯著的不同，仍不失為異常重要，值得我們的研究。

七四、最近去世的巴列 (Barry) 去年送了一篇論文到皇家學會，(註 10) 記述得異常的詳細，乍看起來，好像普通電和電池電的化學作用，立可由此證明是同一的一般，但若加以檢查，即可發見其中有一些效應，如要和其他的效應，能夠並立，實不易辦到。他使用兩個管，每管內各有一條導線，由密封着的一端透出管外，和通常電池分解中使用的相同。管內盛硫酸鈉的溶液，加一點紫色汁水使其染成紫色，就用硫酸鈉的溶液的一部分連絡起來，和通常的情形相同。一管中的導線由一條鍍金線 (Gilt thread) 連結到一個絕緣的電風箏的線上，他一管中的導線，也用同樣的鍍金線連結到地面上。不久即見和風箏連結着的管內有氫氣發生，其他的一管內有氧氣發生，如是歷十分鐘後，第一管內因受發生出來的鹼的影響，變成綠色，第二管內則因受發生出來的自由的酸的影響，變成紅色。至於實驗中大氣中的電的強度，據原文所說：『只要接觸風箏線，即可感覺通常的震動。』

七五、這個實驗中的電，和由其他任何電源得來的尋常電不相類似，可由幾個實例，指示出來。武拉斯吞 不能用這樣的方法，使用普通電，使水分解，將所得的氣體，分離出來。就是其餘的那幾

位學者，也同樣的不能使用這種的器機，由起電機的電，使水或中性的鹽類，發生這樣的分解。我最近還用一個大的起電機（二二六）來試過一遍，雖然全部盡量使用，並且繼續轉動了一刻鐘的時間，恐怕總轉動了數百遍以上，仍舊得不到可以覺察得到的效應，雖然此時起電機的力量極大，比較任何時候由風箏線上感受的震動，只要是在安全的範圍以內，都要大得多，就是震動的次數，也比風箏線上來的特別的多，仍屬無效。根據我們後面所說的比較（一〇七）推算起來，要由普通電發生這樣的效應，所要的電量，大得不可以言喻，這樣大的電量，當然決不能經由一條鍍金線，傳導到地面上來，同時由此引起的震動，也決不會和「通常的震動」一樣。

七六、這種電和電池來的電，不消說是不同的了，因為這種只能發生「通常的震動」而電池的電，縱令他的電壓弱到只能通過八分之一英寸的空氣，也會發生令人可怕的感覺。

七七、或許這種「通常的震動」由於通過風箏和線的空氣，成爲一種帶電的狀態，其力足以發生，亦屬可能，當電引到下面去的時期中，這項空氣，仍舊能夠供給新的電量，所以電流也繼續不斷。風箏線共長一千五百英尺，由兩條的雙線而成。若着眼到其上不得不聚集的大量的電（一



○七，一一二），又覺得這個說明很有可疑的地方。我使用一個電池，內有二十對的極板，每板有四英寸見方的面積，兩面皆銅，極其堅固，使其帶電絕緣後，將其陽極連結到放電列（二八）上，陰極連結到一個和巴列的器械相似的器械上，用一條導線使其連接，此導線中有一小段長約三英寸，是埋在地面下的潤濕的泥土中。這樣成功的電池，能夠發生微弱的分解效應，據我看去，差不多和巴列所說的器械相似。這套器械中流過的電，當然遠不及風箏線中的電，可是由放電列供給的電，却沒有限制。風箏線還有所謂『通常的震動』，而我的這個器械，比較起來，完全沒有震動。

七八、巴列所作的實驗，異常重要，實有重演一遍並加檢查的必要。若果能夠證實，那據我所知，要算是用普通的電發生真正的電化分解的最早的記錄了。並且由此法可以得到一種電流，對於量的方面和強度的方面，都恰在尋常起電機和電堆而來的電流的中間。

註一 見 Philosophical Transactions 一八二七年第一八頁。又見 Edinburgh Transactions 一八三〇

年。又見 Harris on a New Electrometer。

註二 見 *Demonferrand's Manuel d' Electricité dynamique* 111頁。

註三 見 *Annales de Chimie* 第三十三卷第六二頁。

註四 這個電流計的構造，雖頗粗率，但用來作這個指示，却已經很夠靈敏的了。導線是用銅製的，其上用絲線包蔽，纏十六轉或十八轉。將兩個縫針磁化後，安放在一張乾燥的草葉上，使其互成平行，但方向互相反對，兩針間的距離約為半英寸。全體用未曾搓過的絲線懸住，使下面的一條縫針恰好在這些絲線纏繞的中間，上面一條針則在其上。下面的磁針的磁性極其強大，可以使其全體取地球磁力的方向。第三圖所示的為此器放在磁子午面內時導線和磁針所取的方向。導線的兩端如圖中的A和B。至於NS則表磁針的北極和南極單受地磁力作用時的位置。故N的一端即標出的一極。全體用一個玻璃瓶罩住，放在一個大磁石旁邊，相隔約八呎遠，和磁石一邊約作十六度或十七度的角度。這個大磁石是由四百五十個磁棒集合而成的，長十五英寸，寬一英寸，厚半英寸，裝在一個盒內，僅將兩端露在外面，現出磁石的兩極。

註五 見 *Philosophical Transactions* 1801年第四二七頁及第四三四頁。

註六 見同誌一八〇一年第四二九頁。

註七 見 *Nicholson's Journal* 第四集第一卷第二四一頁，二九九頁和三四九頁。

註八 或者三四十遍也可以。

註九 見 *Bibliothèque Universelle* 一八三〇年第四十五集卷二一三頁。

註一〇 見 *Philosophical Transactions* 一八三一年第一六五頁。

### 三、磁電

七九、電壓——由通常的電壓而來的引力和斥力，和磁電感應 (*Magneto-electric induction*) 而生的引力和斥力，曾經有人比較過。匹息 (*Pixii*) 使用的器械，構造既巧，作用又極有效〔註一〕，由此而得到驗電器〔註二〕的金箔，發生很大的離角。

八〇、運動中 i 熱的發生——由磁電感應發生的電流，也和普通電一樣，能使導線生熱。

本年六月，我在牛津大學的英國科學協會 (*British Association of Science*) 裏，和赫黎斯 (*Harris*) 丹聶爾 (*Daniell*) 當坎 (*Duncan*) 等，共同作過一次實驗，其中使用了博物院中的大磁

石，赫黎斯的新驗電器和磁電圈 (Magneto-electric coil (註三))，只有磁電圈，稍加改良一下，其改良的方法，我曾在別處發表過 (註四)。當此磁電圈和磁石接觸或離開的瞬間，可以發生電花。每當電花通過時，互相接觸着的螺線端，立即分離，將這些螺線端用一條導線連結到驗電器上，即見每逢磁石的接觸成功或脫離的一瞬間，這個器械內部的空氣，都發生膨脹，表示在此一瞬間中，導線的温度升高。

八一、ii 磁性——這種電流的發見，即由於他們的磁力。

八二、iii 化學分解——我曾經費過許多的工夫，去研究利用磁電發生化學的分解，可是完全沒有結果。去年七月我得到一封匿名信，後來曾經公布過 (註五)，上面敘述一種磁電的器械，能夠使水發生分解。因為使用有『護端』(Guarded point) 的字樣，恐怕這個器械就是武拉斯吞使用的 (六三等)。可是在武拉斯吞的器械裏，不能得到分極的電化分解。最近波托 (Bass) 發表了他所得到的一些結果 (註六)，從現在的論法說起來，他的這些結果，也是沒有什麼效果的。因為他使用的器械，完全和武拉斯吞的器械一樣，不過指示出一些假的表現罷了 (六三)。磁電能

發生電花，所以和這個器械適宜的效應，也自然能夠指示出來可是前面所說的匹息的器械（七九），經他本人〔註七〕和阿瑟特（Hachette〔註八〕），却得到了確定的化學結果因此完成了這個證明的連鎖。水確能用磁電來分解，氧氣和氫氣分別發生於不同的管內，和一般對於電池分解的定律所規定的結果相同。

八三、iv生理作用——磁電的電流能使蛙的肌肉顫動，在歷史上早已有過這項實驗。我最初得到這種電流，對於舌尖或眼皮所生的影響，程度尙屬微弱，以後更經使用種種的有力機械，程度大爲提高，由此引起的感覺，不僅微弱，簡直令人發生不快。

八四、v電花——我最初使用這種電流來發生電花，尙極微弱，其後經諾比力（Nobili）和安替諾力（Antinori）及其他諸人加以改良，其與普通電所生的電花相同，已無可可疑了。

註一 見 Annales de Chimie 第一卷第三二二頁。

註二 見同誌第一卷，第七七頁。

註三 用紙板造成一個圓筒，在上面捲導紙成爲螺線形狀。共用二百二十英尺長的銅線，纏成八個螺線在紙筒上面，其中的四個螺線，各端各各連結起來，再與電流計連結，其餘的四個螺線，即嵌在先前那四個螺線的中間，也將各端各各連結起來，再使用一百對的電池，經由此等螺線中，使其放電。

註四 見 *Philosophical magazine and Annales* 一八三二年第九卷第四〇五頁。

註五 見 *Lond. and Edinb. Phil. mag. and Journ.* 一八三二年第一卷第一六一頁。

註六 見同誌一八三二年第一卷第四四一頁。

註七 見 *Annales de Chimie* 第七七頁。

註八 見同誌第七二頁。

#### 四、熱電

八五、熱電 (*thermo-electricity*) 由於則貝克 (*Seebeck*) 發見，是電中很好看的一種，由其發生所必需的條件，可以知道其電壓甚小，決不能增高至普通電的電壓那麼高，所以普通電所

發生的效應，也就不能期待於熱電。我曾經說過熱電和普通電互相類似的證據，綜合起來，大致如下：——電壓由某項程度的電壓而生的引力和斥力，確曾察見過。電流 i 熱的發生！此種電使溫度昇高的力量，據我所知，似像尚未爲人察及。ii 磁性曾經發見過，並且由其磁力最容易認知此項電的存在。iii 化學分解也尚未曾發見。iv 生理作用，諾比力曾經指示過〔註一〕，此種電流能使蛙的肢體發生抽動。v 電花也未曾見過。

八六、只有那些必須要有高度的強度方能發生的效應，在這種電裏面異常微弱，或者完全缺乏。可是就是普通電要是減到了熱電的程度，其所能發生的效應也決不會在熱電以上。

註一 見 *Bibliothèque Universelle* 第三十七卷第一五頁。

## 五 動物電

八七、當我將窩爾士 (Walsh〔註一〕)、英根豪斯 (Ingenhousz〔註二〕)、卡汶狄士 (Cavendish〔註三〕)、德斐

爵士〔註四〕及德斐博士〔註五〕等的實驗，檢查一遍以後，即覺電鰻的電和普通電及電流電的相同，已毫無可疑。我預料別人對於我力避學術上的證明的主張，一定都認為正當。德斐爵士提出的疑意，已為其弟德斐博士解釋出來，德斐博士所得的結果，係將前人的結果顛倒而得。現在將這些證據，綜括列舉如下：

八八、電壓——由電壓而生的引力或斥力可以感覺得到的尙未曾見過。

八九、運動中——i 熱的發生——未曾察及，我相信赫黎斯的靜電計 (electrometer) 必定可以將此結果指示出來（二三，九五）。

九〇、ii 磁性——此項效應極其顯明。據德斐博士〔註六〕發表，此項電流使磁針發生偏轉和製造磁石，完全和普通電及電流電受同一的定律所支配。

九一、iii 化學分解——此項效應也很明顯。德斐博士所用的器械，其構造雖然和武拉斯吞（六三）使用的相類似，可是並沒有包含有誤差在內，所起的分解是分極的，就性質上說起來，是真正的電化效應。由磁石的方向，斷定魚的下面是陰極，上面是陽極。由化學分解得知和魚的下面連



結着的導線一端，有銀或鉛分析出來，其他的一端則沒有。假如使用的導線或者是鋼或者是銀製成的，放在食鹽溶液內，就有氣體（或許是氫氣）從陰極的導線上昇起，而陽極的導線上則沒有。

九二、這個分解是一種電化分解的第二層理由，是用火漆塗在外面的導線造成的武拉斯吞器械，儘管具有獨特的形狀，也決不能令水分解，除非是他那上面的電積得太多，致令電路上的某一部分有電花出現，方能辦到。而電鋪則不然，決不能發生令人感覺得到的電花。第三層理由是由武拉斯吞器械裏面的水愈純粹，分解的分量愈多。我並且使用過一架起電機和導線，使蒸餾水也同樣的分解，若在水裏面加上一些硫酸鈉，或食鹽以及其他的鹽類，使其變成電的良導體時，分解就完全停止。可是在德斐博士用電鋪作的實驗裏面，使用很濃的鹽溶液，或硝酸銀，過醋酸鉛（*superacetate of lead*）等的溶液，居然能夠成功。其結果比較使用稀薄溶液為佳，也是無可容疑的。

九三、*iv* 生理的效應，——這是這種電所特有的特徵，電鋪和電鰻（*Gymnotus*）就是因為具有這種特殊的本領，為人所識。

九四、V電花——這種電的電花，還未曾見到，至少在我所知是如此的，不過還是將這一面面所得到的證據舉出來，比較妥當。關於瑞典人法爾堡（M. Fahberg）得到的結果，洪保德（Humbolt）曾經這樣說過：『當窩爾士和英根豪斯在倫敦當着這位學者的面前，實驗時，他曾見到電花。其法係將電鰻放在空氣中，用兩張金箔貼在玻璃板上，彼此相隔一線的距離，將此插在導體的通路中，使其隔斷』（註七）。我却不能夠尋出窩爾士或英根豪斯中任何一人作這樣實驗的記載，也不知道從何去參攷法爾堡的實驗。就是洪保德本人，也無法察見任何發光的效應。

還有勒斯力（Sir John Leslie）的數理及物理科學的進步的論文，載在一八三〇年愛丁堡出版的第七版大英百科全書第六二二頁裏面也有一段記事，說『從在倫敦展覽的一種電鰻（silurus electricus）中的健全的樣品（其意毋甯是指電鰻而言），可以在暗室內看見有活潑的電花發出。』可是他並未會說他自己親眼見過，也未會說出有誰見過，我自己也未會發見這樣現象的任何記載，所以這篇論文裏面的這一段記事，不能令人無疑（註八）。

九五、總括以前關於電鰻的研究，有一事實，不能不特別提出，即此動物每一次的努力，必能

使絕大的電量在其體內循環。普通的起電機，能否在相當短時間內，供給巨大的電量，足以使水發生電化分解（六六，七五），實屬疑問，可是由電鏽發出來的電流，確能如此。其對於磁力表現出來的效應，程度也與此相倣（三二，一〇七）。由這些情形推察起來，可見電鏽實具有一種特殊的本領，大約按照着卡汶狄士所敘述的方法，能在相當長久的時間內，繼續生電，所以他的繼續不已的放電，是一種間歇的作用，與其說是和繼續灌電放電若干遍的來丁瓶相似，毋甯說他和電池的作用相類似，還要切近些。雖然在實際上，這兩種的電源，並沒有什麼學術上的差別存在於其間。

九六、由上面蒐集的各種事實，可以得出一個普遍的結論，即是不問來源為何，電的性質，總是同一的。我們所列舉出來的五種電源，相差的不過程度問題，並非根本的性質不同。從這一點看來，他們的差異，實和各種情形下的電量及強度（註九）成比例，並且任何一種的電，電量和強度都是可以任意使其變化的，也和一種電源與其他電源間的變化一樣。

各種來源不同的電共通的實驗效應（註一〇）

	1 電流電	2 普通電	3 磁電	4 熱電	5 動物電
生理效應	×	×	×	×	×
磁的轉	×	×	×	×	×
造磁石	×	×	×	+	×
電花	×	×	×	+	+
熱本領	×	×	×	+	+
眞正的化學作用	×	×	×	+	×
斥力	×	×	×		
由熱空氣而生的放電	×	×			

註一 見 Philosophical Transactions ] 七十七年第四六一頁。

註二 見同誌一七七五年第一頁。

註三 見同誌一七七六年第一九六頁。

註四 見同誌一八二九年第一五頁。

註五 見同誌一八二三年第二五九頁。

註六 見同誌一八二二年第二六〇頁。

註七 見 *Edinburgh Phil. Journal* 第二卷第二四九頁

註八 這段話是布累勒 (Brayley) 告訴我的，他關於記載過的事項見聞極廣，可是關於此項記事，却除此以外，別無所見。

註九 電學中所慣用的電量 (quantity) 這個名詞，意義已很顯明，無庸再加申說。可是電度 (intensity) 這個名詞，却很不容易下嚴格的定義。我在本文中使用了這個名詞的意義，是普通採用而且為一般的人共同承認的。

註一〇 原表內尚留有許多的空白地方，現在都可以加填了。如熱電方面，波托 (Botto) 已遺囑了磁石，並且還得到分極的化學分解。安替諾立 (Antinori) 發明成功電花，縱令以前未曾成功，現在也有高琴斯 (Watkins) 在赫黎斯的熱電靜電計 (thermo-electrometer) 裏面燒熱了一條導線。關於動物電的一方面，馬退烏奇 (Mat-tenci) 和力那立 (Linari) 從電鱷得到了電花，我最近也從電鱷得到。德斐博士發見了從電鱷而來的電流所生的熱本領。因此我在上面的表內，記上一個十字，俾與原有的有所區別。這樣一來，只剩下五個空地位，未曾

填滿，五個之中，有兩個在於引力和斥力的項下，有三個在於由熱空氣而生的放電項下，雖然這幾處的效應，尚未發見，可是和他們相應的電花，却已得到，所以我們應當斷定他們是可能的。因為既然能夠渡過冷空氣而放電，那麼，對於其他效應所必要的強度，當然也就非有不可了。——一八三八年十二月十三日。

## 第二節 由量度而得的普通電和電流電的關係〔註〕

九七、 既經確信各種來源的電性質同一以後，再進一步去尋求一種共同的量度，即是在由起電機而得的電量和由弗打電堆而得的電量之間，去求一種已知的關係，其目的不僅在於證明他們的同一性（一一四），並且還可以由此指示出幾種普遍的原則（一〇二，一一三等），創造出研究意義的擴張，應用這種奇怪而又巧妙的化學本領。

九八、 第一點先要決定的，就是普通電的同一的絕對量，在種種不同的情況下，由一個電流計中流過時，是否能夠使指針發生同一的偏轉。因此在電流計的上面，先附一個任意的標度，每一小格約等於四度，這個器械的一切佈置，均照從前的實驗（三二）。起電機（二六）電池（二七）

以及其他各部分均按着一定的次序加入，並且盡量的保持着他們的狀況，務使其不變。其次將這個實驗加以更迭，使其指出器械的條件若有變更時所應發生的變化，並應如何加以必要的訂正。

九九、將電池中的瓶取去七個，其餘八個留下以備使用。這樣一來，即見起電機大約轉動四十遍，這八個來丁瓶上，就都灌滿了電。其次再將起電機轉動三十遍，使瓶灌電，然後始令其經由電流計中放電，其電路中插有一條粗的濕線，約長十英寸。此時見電流計上的指針，立向一方移動到距離零位五格半的地方。當其振動時，在反對的一方，也通過五格半的地位。

一〇〇、其次將其餘的七個來丁瓶也加在這八個裏面，將起電機轉動三十次，使全體十五個的來丁瓶灌電。亨利 (Henry) 的靜電計還不到前此的一半的高；可是通過電流計放電時，前此靜止着的指針，立即開始振動，並且其通過的格數，完全和前一實驗相同。像這樣用八個來丁瓶和用十五個來丁瓶的實驗，交換着實驗若干遍，都得同一的結果。

一〇一、其次再作其他的實驗，使用全數的來丁瓶，其所帶的電（用起電機轉十五遍而得）送入電流計中通過，不過在其通過中有時單獨經過一條濕絲線，有時須通過一條長三十八

英寸的細線，並且是用蒸餾水浸過的，有時通過的線有十二倍的粗，長則僅有十二英寸，但用稀薄的酸浸透過（三四）。在粗線中電立即傳過，在細線中却佔有相當長的時間，而在絲線中則歷兩三秒之久，靜電計方完全垂下。由此可見在這幾種情形下，電流的強度雖有極端的變化，可是電流計的指針的偏轉，在感覺得到的範圍內，一律相同。假使要有不同的地方，那就是細線和絲線的偏轉最大。假使有科拉頓所謂的橫向傳達（lateral transmission）經由細線流入電流計中的導線圈流過，那麼，因為強度的降低，橫向傳達減少，自然就有這樣的結果。

一〇二、由此可見電的同一絕對量通過電流計時，不問其強度如何，對於磁針作用的偏轉力總是相同的。

一〇三、其次將起電機轉動六十遍使此十五個來丁瓶的電池灌電，並且照前使其經由電流計中放電。此時磁針的偏轉，差不多和第十一格極相接近，可惜標度不十分準確，使我不能確實證明此實驗中所得的弧長，恰等於前實驗中所得的弧長的一倍，不過在肉眼看去，好像是這樣的。因此可以確信不問電的強度為何，電流的偏向力總是和通過的電的絕對量成正比例（註二）。



一〇四、立契 (Dr. Ritchie) 曾經指示過一個實例，當電的強度保持一定時，磁針的偏轉，和由電流計中通過的電量成正比例〔註三〕。赫黎斯也指示過不拘前此的強度如何，普通電對於金屬導線所生的熱本領，只要是同一的電量，總是相同的〔註四〕。

一〇五、第二步的工作是在尋出一個電流的器械，能夠發出和上述的器械（一〇三）相等的效應。用白金線和鋅線各一條，由圖畫板上的同一小洞中穿過，直徑不過十八分之一英寸。此兩線繫在支架上，使其下端平行伸出，兩者相距為十六分之五英寸。其上端則和電流計中的導線連結。取幾種的酸類，使其成為稀薄溶液，經過種種的準備實驗後，選定一種作為標準，係將一滴濃硫酸滴入四盎司的蒸餾水內而成。最後觀測指針無論從左移右或從右移左所要的時間，結果等於我所用的表聲十七響，每分鐘表響一百五十次。這些準備的目的，是在佈置一個電流的器械，只要浸入一定的酸內，而所浸入的時間又遠在指針向任何一方作一完全振動所需要的時間以下，就可以使其偏轉，和由來丁瓶而來的普通電的放電使此器械發生的偏轉相等（九九，一〇〇）。再將鋅線上未曾用過的部分，拿來和鉑線一同使用，即可作比較的實驗。

一〇六、將鋅線和鉑線插在酸內液面下八分之五英寸，任其經歷表響八次之久，然後迅速由酸內提出，即見指針發生偏轉，並且當電流器械從酸內提出以後，還是繼續着向同一的方向前進不已。一直到得指針移到五格半的地位上，始折向反對的方向，並且在反對的一邊，也到達同樣的距離。這個實驗曾經返復演過若干遍，結果總是相同的。

一〇七、因此，在目前專就磁力上判斷（一一二），可得一近似的結論如下：用兩條導線，一爲鉑，一爲鋅，直徑均爲八分之一英寸，彼此相隔十六分之五英寸，插入酸內，令其在液面下八分之五英寸處，酸係由一滴硫酸與四盎司的蒸餾水和成，溫度爲六十度，兩線的他端和一條銅線相連，銅線長十八英尺，粗十八分之一英寸，（按此即電流計中之圈）在我使用的表響八次的期間中，即在一分鐘的一百五十分之八的時間內，發生的電，和由起電機的三十次轉動而帶電的來丁瓶在極良的排列狀況下（九九，一〇〇）所發生的電，恰好相等。由外觀上看去，這兩種電的大小，雖然大相懸殊，可是和各種強度電量不同的電流所產生的效應，却很能彼此一致。

一〇八、爲要獲得化學作用的關係，將導線浸在酸內，使其仍在液面下八分之五英寸處，保

持不動，當指針停止不再前進時。觀測他所在的地位，盡肉眼能力所能及，可以斷定他是在五又三分之一的地位。由此可見有一恆常的電流繼續不已的發生，這種電流在我的表響八次（一〇五）的期間內所供給的電量，和用起電機轉動三十次使來丁瓶帶電後所能供給的電相等。

一〇九、在關於化學作用的各種實驗中，特別選出下列的器械和由此而得的結果。用一條鉛線，其直徑為十二分之一英寸，重二百六十格令，兩端磨平成爲一個小圓，使其與一起電機上的導體和一個電流器械（一〇五）交替連結，但均成爲陽極，並且保持着垂直的地位，致其全體的重量，支在使用的試紙上，試紙的本身又放在白金薄片上，或者和放電列（二八）連結，或者和電流器中的陰極的導線相連，試紙共用四層，用碘氫酸鉀（*hydriodate of potassa*）的標準溶液，使其無論何時，都是同樣的潤濕（五二）。

一一〇、當白金線和起電機上的一次導體連結，白金薄片和放電列連結時，起電機轉動十次，即發生很大的分解本領，足以現出一個蒼白色的碘的圓形斑點，其直徑和導線的直徑一樣的大，轉動二十次，即現出更暗黑的記號，轉動三十次，即成一個黑褐色的斑點，並且透入第二層的試

紙上多轉或少轉兩三次所生的效應差別，很容易的可以判斷出來。

一一一、其次將導線和白金薄片連結到電流器上（一〇五），電流計也裝在其內；事前準備好一種濃厚的酸，由硝酸與水混合而成，電流器盡量的浸入其中，使指針得一永久的偏轉，取五又三分之一的地位（一〇八），中隔四層濕紙與前相同〔註五〕。然後將導線的端沿着試紙上面左右前後的移動，觀測表響五次，六次，七次以及其他任何次數的時間內（一〇五），電流所生的效應，拿去和起電機的效應，互相比較。如是交互實驗比較，並返復行使若干遍後，證實表響八次時間內，繼續流過的此項標準電流，其化學效應，恰和起電機的三十轉相等，若起電機僅有二十轉，即可察知其過於太少。

一一二、由此可知就磁針的偏轉（一〇七）和化學作用兩方面而言，在表響八次的時間內，由這種標準電池所發生的電流，都是和起電機三十轉所發生的電流相等。

一一三、由此更可得一結論，因其對於電化分解有此結果，對於其他各種效應，大抵亦與此相同，即其化學作用也和磁力（一〇二）一樣，與通過的電的絕對量為正比例。

一一四、普通電和電流電的同一性，假如還需要證明的時候，由上述的結果，又可得一確實的證明，至於前此認爲此兩者性質不同，只要用強度和電量的差別，即足以說明。

一一五、以上的研究，使我對於構成電化分解論的各項事實以及見解，得以大爲擴充，不久將連同他方面的電學學說，彙成另外一集的實驗研究，提呈皇家學會。

一八三二年十二月十五日

註一 關於此題的更進一步的說明，參閱第五章五九〇——六〇八各條——一八三八年十月。

註二 用電流計來作通過其中的電的一種實際的量度，不同其爲繼續不斷的電流，或爲間歇的電流，均有極大而又普遍的價值，只要從這兩項結論，加以考慮，即可自明。照着立契教授的方法，用玻璃絲製成（參閱 *Philosophical Transactions* 一八三〇年第二一八頁及 *Quarterly Journal of Science* 新集第一卷第二一九頁）即很完備。

註三 見 *Quarterly Journal of Science* 新集第一卷第三三頁。

註四 見 *Plymouth Transactions* 第二二頁。

註五 以電流器的強大本領，當然可以抵償在插在其間的不真導體。

