

萬有文庫

第一集一千種

王雲五主編

法拉第電學實驗研究

(四)

法拉第著

周昌壽譯

商務印書館發行

萬有文庫

第一集一千種

總編者

王雲五

商務印書館發行

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

620-19

第二章

第三節 電傳導的一個新定律

第四節 一般的傳導本領

第三章

第五節 電化分解

第三册

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)

第六章 (註一)

第九節 電池中的電其來源分量強度及一般的特性

(i) 簡單的電流循環 (ii) 電解所需要的強度 (iii) 聯合的電流循環或電池 (iv) 電解質對於電

解所呈的阻力 (v) 關於有效電池組的一般注意

(i) 簡單的電流循環

六一〇、電池中的電流的來源，究出於何處，這個大問題，曾經引起許多的學者注意，只要是具有文藝思想而能認識電的本領的人，儘管對於這個問題，未曾加於研究，也會斷定說這個真理總在什麼地方被人發見過的。但若要去追求這個印象，他就不得不去做蒐集結果和結論的工作，於是遂發覺有如是互相衝突的證據，有如是成爲彼此不相下的異見，有如是不同的複雜的理論，

真令人如入五里霧中，不知道究竟應該接受那一種的意見，來作成他的真正的說明。結果只好自己重來一遍，去檢查那些事實，用他自己的判斷力去下斷語，比較依賴他人好得多。

註一 此章係法拉第電學實驗研究全集中的第八類，載在原書第一卷第二五九頁。

六一一、在有志於研究此題的人看去，這種的狀況，就是我已入手研究的東西。在電解中的物質裏面，電有其一定不易的作用（五一八），用來使物質分解的本領完全和要去反抗的本領相同（五九〇）。這兩種見解，並不是建築在單純的意見上，或普通的觀念上，乃是建築在完全未曾為人知道過的新的事實上。這些事實在我看去，不特異常精確，而且可以作為斷案。我因為有了這樣兩種見解，所以使我得到一種優越的地位。又研究這個問題，以前任何人都未曾得過這種優越的地位。儘管我的聰明，遠不及他們的優秀，我的知識，遠不及他的淵博，或許有了這一點，就勉強能够補我所不足，也未可知。因此想到對於這個問題，或許我還可以盡一點力，去將那些令人疑惑不定的知識，一掃而盡，豈不甚善。這種知識是一切進取科學的晨曦，對於科學的進步是極為緊要的。但是從事於將這些知識中所含着的欺人的一部分驅逐出去，將真實的一部分闡明出來。這樣的

人，自然有他的用處，對於科學的一般的進步也是很必要的。因為這種人是最初打破智識界中的暗黑，將前人所未知的一片新天地開拓出來的人。

六一二、造成電池中電流的力或電解的機能，和將電解質的成分元素保持在一起的力，即是和化學親和力，完全相等的事實（五九〇），可以指示出電池內的電，其本身只不過是真正的化學作用的一種表示方式罷了。或者更適當一點，說是他的原因的表顯亦可。因此我曾經說過，有些人認為電的供給，出於化學的本領（五九二），我對於這些人的意見，是很表同意的。

六一三、可是究竟他的發生，還是出於金屬接觸，或是出於化學作用。換句話說，究竟是由前者或由後者去決定這種電流，在我看去，依然還是大有可疑。我在前面曾經詳細敘述過（五九八等），用塗汞的鋅和鉑，來作很簡單的實驗，認為就是這個的結果。但對於我們目前的這個問題，還是不能夠決定。因為在那個實驗裏面，化學作用是不能離開金屬接觸而生的，金屬的接觸離開了化學作用也不能發生效力。所以兩者中任何一種，都可以看成是決定電流的原因。

六一四、我以為要決定這個問題，最緊要的事，是使用的器械和實驗的方法，務必必要盡量的

簡單，免得有許多想不到的錯誤屢入其中。單獨使用一對的極板，除非是放在能夠使他們發生作用的液體裏面（五九八），很不容易發生分解。這一個難關，成爲這種實驗的無法避免的妨礙。我記起了碘化鉀溶液（五二），很容易發生分解，認爲假使金屬接觸不是緊要的條件，何就是一個單獨的電路中，沒有金屬接觸，就得不到分解，實在沒有理論上的理由。我於是堅持下去，結局居然成功。

六一五、使用一塊鋅板，約八英寸長，半英寸寬，洗淨後，在中央處彎成直角，如第三十三圖中的 a。其次再取一塊鉑板，約三英寸長，半英寸寬，縛在一條鉑線上，將鉑線扳彎，如像圖中的 b。這兩種金屬，照着圖上繪出來的樣式裝置起來。但還沒有外面的容器 c，以及內容的溶液。此種溶液是由稀硫酸與小量的硝酸混合而成的。在 x 處，有一塊捲起了的吸水紙，用碘化鉀溶液浸過，貼在鉑上，用鉑線的末端壓住。這樣準備好了以後，再將這兩個金屬板，浸入容器 c 中的酸內。在 x 處，立刻就有效應發生。碘化物起了分解，碘出現於陽極上（三九九）。

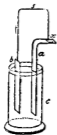


圖 三十三 第

即是出現於鉑線的末端。

六一六、只要是金屬板的下端逗留在酸裏，電流總是繼續不斷的流去，在x處的分解，也進行不已。再將鉑線端，沿着紙面上，到處移動，其效應的強烈，異常明顯。再在這個白紙與鋅板之間，放一塊薑黃紙，兩種紙都同樣的用碘化鉀的溶液浸過，那就有鹼在陰極上（三九九）即是在鋅的表面上現出，其分量和在陽極上出現的碘成比例。因此可知這種分解，完全是分極的，由於電流而來，電流是從鋅板經由酸內而達於容器。內的鉑板，再從鉑板經由溶液在x處復回轉至鋅。

六一七、在x處發生的分解，是真正的電解作用，由於容器。內的物體狀態而生的電流引起的，決不是出於鋅和鉑對於碘的直接化學作用，並且也不是出於碘化物，對於這些金屬有了什麼作用而在x處發生的電流的作用。要證明這一層，第一步先將容器。和其中的酸，從金屬板取去，於是一切的分解作用，就立刻停止。其次將金屬板在液內及液外連結起來，於是在x處就有碘化物的分解發生，可是發生的次序，卻是反對的。這個時候的鹼，出現在鉑線端上，而碘則出現於鋅上。可見這個時候的電流和先前的方向相反，由於紙中的溶液對於兩種金屬的作用不同而生的。

發生出來的碘，當然與鋅化合起來。

六一八、若是用塗有汞齊的鋅板（五九八）來作這個實驗，結果也是同一樣的容易，方向也是相同的。縱令盛在容器內的液體，只有稀硫酸一種，也是一樣。又無論將鋅板的任何一端浸在酸裏面，效應依然如故。所以雖然暫時以為是汞權充金屬接觸，可是倒用鋅板後，就將這個反對的意見消去。使用未·會·塗·過·汞·齊·的·鋅·板（六一五），更可將一切的疑慮消盡（註二）。

註二 用下面所說的方式，來做上面所說的初步實驗，更為顯著。用一塊鋅板，長十英寸或十二英寸，寬兩英寸，全部洗淨，再用兩塊乾淨的鉑的圓盤，直徑約一英寸半——再將三四疊吸水紙浸在碘化鉀的濃厚溶液中，將他拿起放到乾淨的鋅板的一端上面，其上再放一塊鉑盤，最後將同樣的吸水紙疊，或一小片麻布，浸入硝酸和水等量混成的液體中，取出放在鋅板的他一端上面，再將第二塊鉑盤放在其上。在這個情形下，碘化物的溶液中，並看不出有什麼變化發生。但若用一條鉑導線（或其他的導線亦可）將這兩塊鉑的圓盤連結起來，一兩秒鐘後，將碘化物上面的圓盤揭開，就可以看見底面全部都由發生出來的碘化物粘滯殆遍，並且還相當的厚。——一八三八年十二月。

六一九、後來又因爲研究別的事項（六六五），將容器。內的液體，改用苛性鉀溶液代替原來的酸，結果還是相同。雖然沒有類似的金屬接觸，可是碘化物的分解，卻進行自如，並且電流的方向，也和使用酸的時候相同。

六二〇、就將食鹽溶液放在容器。內，也能够發生同樣的結果。

六二一、用鉛線造成一個電流計，插入電路中，放在鉛板和發生分解的x處之間，電流計上就指示出有電流通過，其方向和由化學作用引起的電流方向相同。

六二二、假若我們將這些結果，綜合起來加以考慮，就會得到很重要的結論。第一是很確定的證明了金屬的接觸對於電流的發生，並非必重條件。其次是表示引起電流的流體親和力，和受電流作用而分解的流體，其間有非常重要的相互關係存在。

六二三、爲使考慮簡單化，所以拿塗有汞齊的鋅來作實驗。這種金屬非祇要有電流能够通過，然後方發生作用。同時並不會導入什麼新的方向，只不過將我們所要研究的電流的產生和效應以外的影響掃盡罷了（七三六）。這種的影響，假如不能除去，結局只有使我們得到混淆不明

的結果罷了。

六二四、取兩塊板，一塊是塗過汞齊的鋅板，一塊是鉑板，放在互相平行的地位上（第三十四圖），在一端夾一小滴稀硫酸 y 於兩板之間。在這一端並沒有可以感覺得到的化學效應發生，除非用能够傳電的物體，將這兩塊板，在別的地方，如 p 和 z 連結起來。這個用來連結的物體，若是金屬，或某種形式的炭，那麼，電流立即通過，當其經由 y 處流過時，就有分解發生。

六二五、其次將 y 處的酸取去，在 x 處放一滴碘化鉀的溶液，如第三十五圖，也有同樣的效應發生。僅有一點不同，



圖 四 十 三 第

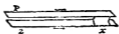


圖 五 十 三 第

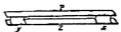


圖 六 十 三 第

就是當 p 和 z 處的金屬交通完成的時候，電流的方向，和前一個實驗中的電流方向相反，如像圖中的箭頭指示的一樣。用這個箭頭，可以將電流通過的路線表示出來（四〇三）。

六二六、其次將這兩種溶液都用來作成導體，可是在液體裏面的傳導，是按照着一定的次序（五九三）和分解連帶而起的。所以即由在某一點出現的元素，可以將通過的電流的方向指

示出來。並且這種溶液，要是各各放在金屬板的互相反對的一端上，如同前面所述的那兩個實驗（六二四，六二五），在他一端上有了金屬的接觸，通過的電流方向，彼此恰好相反。所以能夠同時使用這種互相反對的兩種液體的作用，各在金屬板的一端發生。由一方發生出來的電流，就由他一方放電。事實上不過是用他們來代替了金屬的接觸，將兩個實驗，併合成為一個實驗罷了（第三十六圖）。在這種情況下，有互相反對的兩種力作用。對於鋅作用的化學親和力較強，引起這個力的是液體，（在這裏就是稀酸）這個力量比較強大，所以勝過了其他的一力，於是遂造成了電流，並且決定了電流的方向。不僅使電流能夠從力量較弱的液體中通過，並且假如液體沒有受到這種作用，他的成分元素對於鋅和鉑的關係，一定正和現在相反。因此，假如是他自己的電流，成分元素所傾向的方向，也和現在正相反。所以假使在 y 處，令兩種金屬互相接觸起來，將這種力量優越的作用取去。那在 x 處的液體，就會恢復他原有的本領。或者不必令 y 處的金屬接觸，只要將在此處的溶液弄弱，同時將在 x 處的溶液加濃厚起來， x 處的作用也就會漸次增加起來，結果發生出來的分解，順序也就和前此相反。

六二七、在由兩種液體的不同部分間化學親和力的狀況以及其相互關係，得出一個最後的結論之前（六五一），我還要進一步去研究那些各種不同的景況。因為在這些景況下，受分解的物質的作用，很明白的對於在分解而造成電流的物質，也有反作用。

六二八、金屬接觸在一對簡單的金屬板上的用處，以及這種接觸比較用其他的物質來作接觸還要好得多的原因，現在已經很明白了。當塗過汞齊的鋅板浸在稀硫酸中的時候，作用於鋅和液體間的化學親和力，不足以引起可以感得到的作用，發生於接觸的表面上，也不足以使水因金屬的氧化而生分解。但卻能够使其發生一種電的狀況，（或化學親和力所依據的本領），只要是開一條路，就可以發生電流（六五一，六九一）。這種電流可以完成在這種情況下使水分解所需要的條件。

六二九、現在有一小片的鉑接觸着鋅和要想分解的液體，開通了電所需要的通路。其對於鋅的直接交通，效力甚大，利用電解質在鉑和鋅間作成的任何交通，均遠不及此，詳見前面所說的實驗（六二六）。因為使用了電解質，則在電解質和鋅之間，又有化學親和力，和在稀硫酸裏面發

生的作用，恰好相反。縱令這個作用很小，在他們的成分間相互作用的化學親和力，依然還得要打破，因為離開了分解，他們就不能夠導電。從實驗上證明這種分解對於在酸內發生電流的力，又作用回去（六三九，六四五等），在許多的例中，完全足以互相抵消。要是鋅和鉑能夠直接接觸，這一類的障礙力，也就不會發生，因此電流的產生，電流的流動，以及相伴發生的分解，也都進行得很順利。

六三〇、這兩種正反對的作用，可以消去一種，仍舊還可以用一種電解質，來連結浸在稀薄酸內，而互相分開的鋅與鉑，使其電路可以完成。譬如在第三十三圖上，令鉑線和鋅板 a ，在 x 處作金屬的接觸。又在鉑線上，其他的一部，如 s ，令其分開。然後用碘化物的溶液，放在這個分開的部分上，使其與兩方面的鉑的表面接觸。這樣一來，對於金屬並沒有化學的親和力作用。或者縱令有作用，但在雙方都是相等的。所以他那造成和由容器內的酸而來的電流相反的電本領，由此消去。只剩下阻礙分解的阻力留下，要由稀硫酸內的親和力，方得抵抗得過。

六三一、這就是有金屬接觸的一對簡單的有作用的金屬板所要的條件。在這樣的情形下，

只有一組相反的親和力，要用在容器。中占優勢的親和力去戰勝他。假使要沒有金屬的接觸，就有兩組的親和力，要去對付了（六二九）。

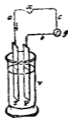
六三二、要想用由一對簡單的金屬板發生的電流，去使物質分解，通常都以為是很困難的事，有時簡直是不可能。就是使用的電流很強，足以將這兩條金屬的棒燒成紅熱。例如用一個簡單的電路而成的嘿爾卡計（Hare's calorimeter），或者用武拉斯吞的強烈的一對金屬，也是徒然。這種困難的原因，由於兩種化學親和力的互相衝突而來，一種是發生電流使用的，另一種是要去戰勝他的。這兩種電的相對的強度，為決定這種困難程度的原因。要是那一方面的力的總和，超過了他一方面的力的總和，前者就占到優勢，決定了電流，消滅了後者。結局使物質分解出來的成分元素，在方向上和分量上，都和最強烈而占優勢的作用相一致的。

六三三、通常水就是這樣的物質，由他的分解，可以用來檢查電流的通過情況。可是我現在卻發見水也有失敗的時候，因有我會經好久就發見了一個事實（五一，五二），是與碘化鉀相關的。即是這些物質對於一定的電流，發生分解，有難有易，其難易可由他們的通常的化學親和力的

情況及強度而定。這種理由，在他們對於誘發電流的親和力的反應中，也是有的。雖然水對於這種作用呈出抵抗，可是很覺得可以尋到許多的物質，只要用一對鉛鋅板浸入稀硫酸內所發生的電流，就可以發生分解。不僅作如是想，並且不久還尋到了果真有這樣的物質。因為這些實驗有許多新穎而且很好看的證據，可以證明誘發電流的親和力和反抗電流的親和力間的關係，以及他們互相反對的情形，我所以在下面詳細的敘述出來。

六三四、使用的器具如第三十七圖所示。容器 v 內盛稀硫酸， z 及 p 表鋅板和鉛板， a, b, c 等表鉛線，分解發生於 x 處，一般還加有一個電流計在圖中 g 處。圖中只不過表明電流計的所在處而已。

所畫的圓，和電流計的大小，當然沒有關係。按着分解發生的性質不同，在 x 處也有各種不同的準備。假如要使一滴的液體發生分解，只須將兩端浸在液裏面即足。假如要使含在紙孔中的溶液發生分解，就用一端連到支持紙片的鉛板上去，其餘一端則放在第四十四圖的 e 處。有時如像在硫酸鈉的例中，使用一塊鉛板，支持着兩部分的紙片，每一條導線端放在每一張紙片上，如第四十六



圖七十三第

圖中的。箭頭則指示出電流流過的方向（四〇三）。

六三五、將碘化鉀浸濕了的紙片，放在x處，去遮斷電路，紙片中的碘化鉀溶液，很容易發生分解，在陽極上有碘現出，在陰極上有鹼現出。

六三六、將熔化了的低級氯化錫放在x處，也是很容易的分解，在陽極上發生過氯化錫（五一四），在陰極上發生錫。

六三七、將熔化了的氯化銀放在x處，也很容易分解。在陽極上發生氯氣，在陰極上現出很光亮的金屬銀，或者成爲一層薄膜浮在液面上，或者成爲晶體在液面之下出現。

六三八、使用這種簡單的一對金屬板，由稀硫酸而生的電流，不能夠使下列各種物質發生分解，即如用硫酸來使其變成酸性的水，鹽酸溶液，硫酸鈉溶液，熔化了的硝石，熔化了的氯化鉛和碘化鉛等，均屬此類。

六三九、由這些實驗，可以證明使用一對簡單的金屬板，很可以使許多種的物質發生電解，使他們將成分元素分離出來，並且很巧妙的，將在這個作用點上的化學親和力間的直接關係及

其互相反對的情形表示出來。在 x 處的反抗親和力的總和，要在 v 處的親和力總和以下相當的程度，分解就能够發生。反之，要是高出 v 處的親和力以上，分解即被阻止，電流也就斷絕（六二六）。

六四〇、在 v 處作用的親和力的總和，要是使用稀硫酸以外的其他的溶液，當然可以增加。因為使用稀硫酸的時候，只有鋅對於已經在水內和氫化合了的氧氣作用的親和力，發生電流（六五四）。照着這個方法，使 v 處的親和力增加以後，在前面那些實驗中抵抗着不肯分解的物質，應該也會發生分解，因為這樣一來，兩種化學親和力間的差，大為增加，而發生作用的一方，又是增大的。這是由我的意見而得到的結論，這個希望，只要用下面所說的方法，就可以完全證實。

六四一、將少量的硝酸加入容器 v 的液體中，造成一種混合液體，我稱他為稀薄的硝酸（Nitro-sulphuric acid）。用這種液體作前面所說的那些實驗，從前能够分解的物質，用這種液體時，分解的容易程度，更進一步。不僅如此，有許多前此反抗分解的物質，在此也就發生了分解。例如在石蕊紙和薑黃紙間，受了作用的硫酸鈉溶液，在陽極上將酸放出，在陰極上將鹼放出。染成靛青色的鹽酸，在陽極上放出氯氣，在陰極上放出氫氣。硝酸銀的溶液在陰極上放出銀。還有熔化了的

硝石，熔化了的碘化鉛或氯化鉛，受了這種單獨一對的金屬板的電流作用，也都發生分解，可是在以前的方法，並不能夠發生（六三八）。

六四二、醋酸鉛的溶液，卻不能夠用這樣一對的金屬板來使其分解，還有用硫酸來變成酸性的水，在最初的時候，也都不能夠分解（七〇八）。

六四三、在誘發地點的化學作用力增加以後，由單純電流循環發生的電流的強度或其本領，也跟着增加，是很明白的了。可是爲要使其更爲明瞭，並指示出分解效應並不根據發生電量的能力而定，所以要作幾個實驗，表示出發生的量能夠增加而誘發的原因的強度，可以不必變動。於是又將使用稀硫酸的實驗（六三四），再重來一遍，將大形的鋅板和鉑板放在酸裏。儘管如此，先前反抗着不肯分解的那些物質，在這種新環境裏面，依然還是抵抗着不肯分解。其次再用硝酸（六四一）來作實驗，單用鉑線和鋅線浸在這種誘發的酸中。儘管這樣變化，前此抵抗着稀硫酸，使其不能造成電流的物質，現在也都分解了。例如鹽酸，用浸在稀硫酸內的一對金屬板，固然不能使其分解，就將硫酸的濃度加厚，或是將浸在其中的鉑板和鉛板加大，使其本領加強，也都不能成

功。但若使用很稀薄的硫酸，裏面只要稍加一些硝酸，發生出來的電，就具有使鹽酸分解的本領了，在陽極上發生氯氣，在陰極上發生氫氣，縱令僅用金屬線，也是一樣的有效。這樣使電流強度增加的方式，內面並沒有包含着由若干對金屬板而來的影響在內，就連增減酸類濃度的影響也都沒有，直接是和發生作用的化學親和力的情況和力量有關係。無論是在原則上或是在實際上，都和其他的方式完全不同。

六四四、從上面的實驗，知道了在簡單的電流循環中，電流的強度和決定電流處的化學作用的強度間，有直接的關係。從這種關係，我們可以得到一種結論。即是選用一些物質，例如熔化了的氯化物，鹽類，酸類溶液等，能夠對於使用的金屬，有程度不同的化學力。再選用一些金屬，或是和鉑，或是他們相互間對於誘發電解的液體，有程度不同的化學作用。那就可以造成一個比較一定的效應系統出來，這種效應，由於電流強度不同而生。這個系統，可以作成一種標度使用，將來我們的研究中，要量度相對強度的時候，就用得着，並且結果又很準確。

六四五、我曾經表示過，我對於分解的意見，從實驗上說去，不過是在一處作用的力，較其所

抵抗的力，占優勢時的自然的結果，也就是兩種本性全同的力，互相反對的結果（六二六，六三九）。在分解處作用的力有一種反作用達到決定電流的一方。此項反作用的大小，是和抵抗他本身的本領所需要的成爲比例。因此分解對於本來決定的力，對於電流，發生一種很奇妙的阻力。這就是氯化鉛，碘化鉛以及水等，用浸在硫酸內的一對鋅鉛板的電流，不能發生分解（六三八），而用由較強的化學本領發生的電流，就能分解的緣故，在這種例中，沒有可以感覺得到的電流流過（七〇二）。作用是完全停止着的。我在本研究的第二部分（一四九）敘述過的傳導定律，對於在液態的電解質，和對於固態時不同，因爲在固態時粒子間的引力，即是保持其爲化合物以及維持相互間地位的引力，較之電流太過於強大了的緣故。這些粒子各各保持着本己的地位。當分解遇着阻礙的時候，電的傳導也遇着阻礙。儘管使用許多極板的電池，只要使用的物質純粹，不會容許別間接的作用發生（七三六），和這個電池相關的親和力，同時全部停止。

六四六、將各種簡單的分解的實例，加以比較研究，知道他們所受的阻力，各各不同，可隨其維持分子於原位的親和力而定。所以由這些實例，又可以得出一個系統出來，由其程度上的差別，

可以量度一個單獨電池或其他的電流的初強度。再將前面由作用力不同（六四四）而得到決定強度的標度，與此合併一起，就可以得到一全套的差別。凡是有量度強度的必要的一切重要的實例，差不多都可以應付了。

六四七、根據我已作過的實驗，將下列的幾種電解質，按着次序排列起來，其中最先的一種，只須使用強度最低的電流，就可以使其分解。這些電流都是由單獨一對的金屬板而得的，可以看成是元始的電流（Voltaic force）。

碘化鉀（溶液） 氯化銀（熔化） 低級氯化錫（熔化） 氯化鉛（熔化） 碘化鉛
（熔化） 鹽酸（溶液） 水，用硫酸使其變成酸性的。

六四八、在研究各種不同種類的物質分解時所要的比較電解強度，應當注意到電極的本性，以及是否還有其他的物質存在，或許會引起副作用來，亦未可知（七二一）。假使電解的時候，分離出來的一種成分元素，對於電極或對於周圍液體中存在的其他物質，有親和力作用。那麼，反抗分解的親和力，一部分為這種力打消，在上面表中所應佔據的真正地位，就不能得到。譬如氣

氣很自由的和陽極的鉑化合，而碘則沒有。因此我認爲熔化了的氯化物，到應該列爲前表中的第一位。又在水的分解例中，假使不僅含有硫酸，並還有少許硝酸存在，水的分解當更形自由。因爲此刻在陰極上的氫氣，並非最後排出來的，他發生後立刻就在硝酸裏面尋着氧氣，化合起來，成爲副結果。這樣一來，反抗分解的親和力減小不少，所以只要使用強度低的電流，就可以將水的成分元素分析而出。

六四九、利用這個原理，可以在上面所說的那個始強度的標度中，插入一些更細的度數（六四四，六四六）。其法係使用強度一定不易的電流，和種種的物質來作電極，這些物質對於由電解質分析出來的成分元素的親和力，多寡不同，因此可得出種種中間的程度。

六五〇、迴溯前此考慮電源時（六一三等），還有一個很完全的證據，足以證明金屬接觸，和電流的產生完全沒有關係。並且所謂電，只不過是化學力作用的另外一種方式罷了。證據是用純粹而不相混合的化學力，使金屬還未接觸以前，就可以發生電花。這個實驗，後面再爲詳述（六九一），是在稀硫酸中的鋅板和銅板，當金屬將要接觸時，其間有電花發生。要將這個裝置方法，弄

得極力簡單，所以廢去汞表面不用，而用與銅板相連結着的一條銅線，去和鋅板上的清潔部分接觸。此時就可以看見有電花出現。可知電的發生和通過，都必須要在銅鋅接觸以前。

六五一、爲要使我在正要建立的這個原則更爲明瞭起見，我將根據我的所信，將他們用很簡單的形式重說一遍。電堆中的電（五九一等），無論就創生說，或就繼續上說，都和金屬的相互間的接觸（六一五，六五〇）不生關係。這個電全部由於化學作用而來（六一七），他的強度和使電發生的親和力的強度成比例（六四三）。他的分量和在進行期間中具有化學作用能力的物質的分量成比例（六〇四）。這個有一定的產生，又成爲一個強有力的確證，足以證明電的來源爲化學親和力。

六五二、電流的產生（Volta-electro-generation）既然僅僅是化學作用的一例，那麼電流的電解（Volta-electro-decomposition）也就不過一組的化學親和力，本性上比較另一組強烈而已。若將這樣兩組互相反對的力的例，加入考慮（六二六），並謹記着他們相互的關係，那麼在這些例中（雖然用電來說，或許要方便些，也未可知），除卻使用化學親和力的一個名詞而外，實在沒

有再用其他名詞的必要。對於發生這種結果，也不必另外去設想有什麼別的機能。因為在這兩作用處的本領，是經由金屬的媒介直接交通着的，是互相反對的（六二六），如第三十六圖所示，其情況就和兩個機械的力，經由中間一個槓桿相互反抗時的狀況一樣（七六七）。

六五三、這一切的事實指示出我們通常稱為化學親和力的本領，能够經由金屬或某種形式的炭，傳到遠的地方去。電流只不過是這種化學親和力的別一種形式罷了。這種能力是和使他產生的化學親和力成比例。假如這種力量不足，還可以向化學方面求助，前者所不足的，可以由後的當量來填補。換句話說，我們所稱的化學親和力和電，是二而一的。

六五四、若將尋常電池電路中產生電流時有關係的事項，加以檢查和比較，就知道這種機能的來源，就是在電池內周流不息的電，就是使電池得到他的本領和特性的電（六八二，七三二），存在化學作用裏面。而化學作用則發生於金屬與其他合的物質之間。至於由此而生的物質，與現有的酸之間的作用裏面，卻決沒有他的存在（註三）。譬如使用鋅，鉛和稀硫酸的時候，決定電流的原因，是鋅和水中的氧氣的化合。雖然要使這樣生成的氧化物離開，一定要有酸。因為氧化物

離開以後，鋅上的新的部分方能够和水的其他的部分發生作用。可是酸儘管和氧化物化合，對於周流不息的電流，並不會發生可以感覺得到的影響。因為電量完全由於受氧化作用的鋅的分量而定，和鋅的分量是成正比例的。電的強度也就和鋅對於此刻的氧氣的化學親和力的強度成比例。縱令不能說決不受酸的強弱的影響，但是影響也就微弱達於極點了（六四三）。

註三 見武拉斯吞的論文 *Philosophical Transactions* 一八〇一年第四二七頁。

六五五、其次假使用的是鋅鉑和鹽酸，發生的電就要隨着鋅對於氣氣的親和力而定。此刻周流不息的電量，是和鋅粒子與氣粒子互相化合的數量，成為正確的比例，事實上就是他們的當量。

六五六、若將氧化作用或其他對於金屬的直接作用的本身，看成是電流的原因或來源，不可忽略一件很重要的事項。即是這種的氧氣或其他的物質，必定在一種特殊的情況下，即是在一種能够化合的狀態中。不但如此，並且還限定於他的狀態，他的分量，都只恰能造成一種電解質為止（五五八）一對的鋅鉑板，不能配合起來，在氧氣中發生電流，也不能作成一個電池來使用。縱

令將溫度升高到得鋅的氧化，進行的程度，遠在僅將此一對金屬浸在稀硫酸內時所起的氧化作用之上，也是徒然。因為氧氣並不是電解質的一部分，所以不能夠由電解來傳導這個力，並連金屬本身的傳導也不能及。假如還有人嫌氣態恐怕別有窒礙，那麼，我們就拿液態的氫來說。這種液態氫不能由他和鋅的化合，發生一種電流在兩金屬板間流過。因為他的粒子，不能將發生化合處的電，傳達於鉛板。他的本身，既不像金屬那樣的是一種導體，又不是一種電解質，不能夠利用電解來傳電，所以只是一種化學作用，就限定在發生的地點上，因此也就不會有電流發生（註四）。

註四 我並不是說在這種時候，一點電的痕跡也沒有。我的意思是說沒有由誘發電流的原因而生的電，也沒有和這種原因成比例的電發生出來。至於偶然有點電現出，也不過是有作用的物質配置成爲電流的發生器時，生出來的電的一小部分而已。這樣出現的，不過其千萬分之一，甚而還不到百萬分之一，其來源根本不同，也是意料中應有的。

六五七、初看起來，好像一個傳導體而非電解質的物質，或許能夠用來作成在鋅和鉛中間的第三種物質，也未可知。事實上我們的確有一些這樣的物質，對於金屬能夠發生化學作用。但卻

要從金屬物質的本身裏面去選。因為除卻這些物質和炭而外，就沒有這種性質了。要想用實驗來決定，我於是使用了下面所說的器械，將熔化了的錫盛在一個彎成V字形的玻璃管內，如第三十八圖所示。使錫汁在兩方的管中均至半滿程度為止。插入兩段粗的鉑線如P及W，其端均在錫汁表面下若干深處。然後令其全體冷卻，將鉑線的他端P和W連結到一個電流計上。其次將玻璃管上的x那一部分再行加熱，同時y的那一部分，卻仍舊保持冷態。這樣一來，即見電流計受到了熱電流的影響。將x處的熱繼續不已的增加上去，一直到在這裏的錫和鉑化合為止。這種效應要有很強烈的化學作用和很高度的燃燒，方能發生。儘管發生，但對於電流計，並沒有絲毫的影響增加上去。自始至終，除卻由熱電流而生的偏轉而外，什麼也看不出來。由此可知，雖然用的導體能夠對於錫發生化學作用，可是因為他不是電解質，所以不能看出些微的電流影響（六八二）。

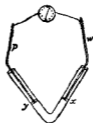


圖 八 十 三 第

六五八、從這一點看去，可見一種電解質的特殊情況和特性，在電流的一部分的電路上，是

很重要的。若將他的本性加以考慮，就可以知道他何以能夠單獨的有效的理由。電解質總是一種化合物，只有在電解進行中的時候，能夠導電。他的導電完全出於電解以及將他的粒子，沿着電流的平行方向輸送而去的結果。其關係至為密切，要是停止了這種粒子的輸送，電流也就跟着停止。要是將輸送的路線變過，電流的路線和方向，也跟着發生變化。輸送的進行要是沿着某一方，就除了由此而定的方向而外，更沒有向別一方進行的能力了。電解質的粒子相互間連結很密切，在電流通過的方向上，全體都具有一種密切的關係，要是不能將他的最後的一個粒子善為處分，他的最前頭的一個粒子，雖然受了金屬的最強烈的親和力作用，也很不容易發生新的結合。果然如此，電流的本身也就不能不停。電流和電解是彼此相倚而生的，無論先使那一方面發生，即是說無論先使粒子發生運動，或是先使電流運動，其餘的一方，必定相伴而生。

六五九、其次再就水而論，水是電解質，同時也是氧化物。在這個情況下，鋅對於氧氣的引力，較氧氣對於氫氣的引力為大。但若結合起來，就使電沿着一定的方向，發生周流不息的運動。這個一定的方向，如無數的實驗結果所指示的一樣，和氫氣從鋅移向鉑的方向是一致的，和從鉑向鋅

移動而去的新氧氣的移動方向是相反對的。所以電流能够在這一條線上流過，並且因爲電的流過，使最初決定電解和電流的鋅，陸續不絕的取得新鮮的表面。因此在鋅表面上的作用，可以陸續進行，而電流也就得以周流不息。由此可以知道最緊要的條件，是要有電解質在電路中，方能使這個作用向着一定不易的某一方移去。同時還要物質中有氧化物質或其他能够直接作用於金屬上的物質存在。而且這兩個條件還要併合成爲一起，也是很明白的。即是說對於金屬直接發生效力的成分，應該就是使用的電解質的一個游子。不拘電流的器械中使用酸的溶液，或使用鹼的溶液，或使用硫酸鹽，或使用熔化了了的物質（二一二）。在我知道的範圍內，這個成分總是陽向游子（六七八）。由電的作用的原理推測起來，我可以預期他應該是屬於這一類的物質。

六六〇、試取電路中使用的硫酸的作用，加以研究他和結成的氧化物化合起來，實在不足以發生些微的影響到電流上去。其簡單的理由，就是因爲缺少了上面所說的最緊要的條件。即是硫酸並不成爲電解質的一部分，對於溶液中任何其他的物質，也不會具有使粒子移動因而引起電的移動的關係。使由水的作用而成的氧化鋅，溶解在酸裏面去的那個平面，是和金屬的鋅接觸

着的。在這裏的氧化物，將和他自身對於酸的化學作用成比例的電態，傳到只是導體而非電解質的金屬上去，好似並不困難。可是在酸的一方面，卻沒有什麼物質，能將電路完成。就說水罷，水既是水，當然就不能夠傳電，最低限度，偶然傳導一些，也決不足以引起可以感覺得知的效應（七〇五），絕對不能像電解質一樣的傳導。因為電解質的傳導，由於他的粒子間的相互關係相互作用而來。在我所知道的範圍內，水的任何成分元素，甚至於水的本身，對於硫酸，都不能成為游子（五八三）〔註五〕。

註五 在此處又可以見到我對於德斐的意見，表示同意，他由實驗來維護他的意見，認為酸和鹼的化合，不會發

生電流——見 *Philosophical Transactions* 一八二六年第三九八頁。

六六一、對於欲使用硫酸來發生電流的這種副特性的見解，還有事實可以確實。即是發生的傳達的電流，和分解了的水量以及氧化了的鋅量，成為很正確的比例（六〇三，七二七）。也就和使同量的水發生分解所須要的電量完全相等。因此可以由水的分解指示出電的通過，出於他本身的能力，除鋅與水間的關係而外。並沒有別的關係，可以發生出別的電來，幫助此項電流的通

過

六六二、就一般的酸和鹽基（因為上面（六五九）所說的也包含在內）而論，可由理論上敘述如下。如第三十九圖，命 a 表乾燥的氧化物，b 表鹽基，也是乾燥的，在 c 點互相接觸，在其外端用鉑板 p p 和一條鉑線 w 連結起來，使電能由其中通過。假如這種酸和鹽基都是液體，在 c 處有化合作用發生，其化學親和力異常激烈，足以發生一種電流，則所生的電流也不會有好多的程度。根據實驗的結果，a 和 b 要不發生分解，就不能夠導電，因為他們或許是電解質，或許是絕緣質，要就只要容有異常微弱毫不重要的電流罷了（七〇五，七二一）。現在在 c 處的親和力，並非使 a b 兩者中的任何一種將其成分元素分析出來，而是在使這兩者結合起來成爲一個整體。所以作用點是絕緣的，作用的本身就是限於一局部的（六五六，六八二），不能夠造成陸續不斷的一個電流。

六六三、假使酸和鹽基溶解在水裏面，那麼一小部分由化學作用而生的電，經由水傳導而去，並不引起電解，也是可能的（七〇一，七一九）。可是這樣傳導而去的電量，極其微小，和由化學



第三十九圖

力的當量而來的，完全不能成比例。所以這種的電，只不過是偶然而生的。其中沒有含着電池的主要原則在內，所以也就不能成爲我們現在所要研究的現象中的一部分（註六）

註六 我相信讀者一定都很知道，在這些研究中，我並沒有將化學作用中電液的輕微搖動而生的所有的細緻

效應，偶然的效應，或者僅屬於可能範圍內的效應，一律加入考慮。我只是在將電流所根據的那些作用，加

以區別，並加以確認而已。

六六四、假如用氫酸來代替氧酸（六六二）——例如鹽酸一類的酸——那一切狀況都完全改變，此種酸對於鹽基的化學作用，可以造成一種電流。可是這兩種物質，都是有電解質的作用，能互相化合的各物質中，只有一個成分——例如氯氣對於金屬——酸中的氫氣和鹽基中的氧氣伴着酸中的氯氣和鹽基中的金屬，很容易按照前面所述的一般原則，發生移動，和電流很能一致。

六六五、將金屬的氧化或其他對於金屬的直接化學作用，認爲是尋常電池中產生電流的唯一原因，這樣的見解，可用事實來爲其證明。例如使用鹼或硫化物的溶液（六六六，六七八）來

作電解質的導體，代替稀硫酸，就會發生一種影響，足以證明這種見解是很正當的。因為要說明這一點，所以在前面（六一九）纔不用金屬接觸而用鹼溶液來作誘發電流的液體，做過若干的實驗。

六六六、於是利用最好的條件，使金屬能够接觸（六三〇），將使用單獨一對金屬板去電解各種物質的實驗，再重演一遍（六三四）。在第三十七圖中的。容器內，使苛性鉀的溶液來代替稀硫酸。一切的效應，都同先前同樣的發生。電流計也表示出偏轉。碘化鉀，硝酸銀，鹽酸，以及硫酸鈉等類的溶液，都在 x 處發生分解。其成分出現的地點，以及電流上的偏轉，均足以表示此時發生的電流的方向和容器 v 內使用硫的時候的方向相同。即是從鋅而出，經過溶液而至鉛上，再經過電流計和受電解作用的物質後再返於鋅上。

六六七、無論使用酸或使用鹼，作用都很相似。其相似的地方還不只此，更進一步，還能够證明發生的電，不僅方向而已，就是電量也是完全相同的。若將一塊塗有汞齊的鋅板浸入苛性鉀溶液中，差不多不會發生可以感得到的作用。但若在溶液中和一塊鉛板相接觸，鉛板上，就有氫氣

發生，鋅也受了氧化，和浸在稀硫酸內的時候一樣（五九八）。我於是再用秤過重量的鋅板，照看前面所說過的方法，再實驗一遍（五九九等）。僅用苛性鉀的溶液來代替稀硫酸罷了。雖然所要的時間，比較使用酸時要長久些，即是要使七·五五格令的鋅完全氧化，須歷三小時之久，可是在鉛板上發生的氫氣，仍舊和在鋅表面上受了氧化的金屬的量成爲當量。因此在前面可以適用的理論，在這裏也同樣的能夠適用，電流的方向也相同，分解的效應，也同一程度，只要將酸來代替鹼就得了（六〇三）。

六六八、在前面的實驗裏面，酸和氧化物的結合，和電流的產生完全沒有關係，其證據在我看去是很完全的了。因爲在此地的實驗，沒有酸的作用，反轉到有鹼的作用，然而還是有同樣的電流發生。對於生成的氧化物，在化學上的作用，鹼能夠和酸一樣，似乎一時不會相信，反而從一般的化學智識，加以判斷，還覺得尋常的金屬氧化物，對於鹼毋寧還有酸的作用。假如這種誘起作用的金屬氧化物，和能夠與他化合的物質結合起來，有電流發生，那在現在的例中，還是要發生反對方向的電流。可是照着這樣，儘管變更，電流的方向，永久是一定不易的，並且電量還和分解的水，或氧

化的鋅，成爲一定的比例。我們很可以相信酸和鹼，要是和金屬接觸，而又不能和金屬直接作用，但仍舊保留着吸取氧氣的本領（六七六）。可是從這些實驗所得的影響看來，最必要的還是金屬的氧化和發生電流的水的電解，不但是有相關的關係，而且還是相伴而生的（六五六，六五八）。至於酸和鹼的作用，不過是一種溶劑而已，用來將氧化鋅移去，俾其他的部分露出來使水分解，因此使電流的發生或電流的決定，得以繼續下去。

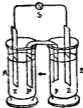
六六九、其次將這個實驗再加以變更，用氨的溶液來代替苛性鉀溶液。因爲氨溶液純粹的時候，也和水一樣，是一種不良的導體（二九〇），所以往往加上一些硫酸氨在這裏面去，增加他的本領。但是在一切的例中，所得的結果，都和前此相同。有同一種類的電解發生，而發生電解的電流，也和上面所說的實驗中的電流，同一方向。

六七〇、要想再得一種強有力的證據，來證明酸和鹼的作用互相類似而且相等，於是使用第四十圖所示的器具。玻璃容器A內盛稀硫酸，與他相應的玻璃容器B內盛鉀的溶液，PP爲鉛板浸在雙方的溶液中，ZZ爲鋅板上塗有汞齊，和一個電流計相連。若將這些板，同時浸入兩種容

器裏面，通常最初總是發生一種弱電流，對於鹼是有利的，即是電流的方向，在容器中沿着圖中箭頭所示的方向流過。假如只有容器 A 內的酸存在，所發生的電流，方向恰與此相反。這個效應不過一瞬即停，在兩容器內的金屬板的作用，大小相等，又因為他們的位置，彼此相反，所以結局沒有永久的電流發生出來。

六七一、有時使用一塊鋅板來代替 P P，使用鉛板代替 Z Z，這種變更，對於結果還是沒有影響。就再進一步將中間的板換用銅板，還是一樣。

六七二、或許有人以為一對的電解金屬板，除却單獨由他們的獨立作用差而來的結果而外，還有別的結果產生出來（七四一，七八一）。我於是又想出另外一種形式的器具，在這種器具的裏面，酸和鹼的作用，更能够直接加以比較。取一個圓筒形的玻璃杯，內部深約兩英寸，內徑一英寸，至少有四分之一英寸厚，從中剖成兩部分，如第四十一圖。用一個



圖十四第



圖一十四第



圖二十四第

寬的黃銅環，其直徑比玻璃杯還大，一方備有螺旋與玻璃杯的兩半邊在環內的時候，將螺旋轉緊使其和玻璃相貼，玻璃杯內盛入液體，可以不致漏出。用透水程度各不相同的吸水紙剪成小片，其大小恰好嵌入兩半邊的玻璃杯中，當兩半邊互相緊貼時，此紙片遂成爲一塊隔板，將杯內分爲兩部分，每一邊各容一種液體，因有紙片隔住，所以不會混合起來，除非是慢慢的由紙上透過，並且使他們成爲一種電解質的作用。這樣成功的兩半邊的地方，我稱他爲A電池和B電池，如第四十二圖所示。這個器械，在研究溶液和金屬的相互關係，和其同類間的關係時，應用的範圍很廣。再將這個器械和電流計聯合起來使用，就很容易的將一種金屬和兩種溶液，兩種金屬和一種溶液，以及兩種金屬和兩種溶液間的關係求出。

六七三、試將比重等於二·二五的硫酸，盛入電池A內，將濃厚的苛性鉀溶液盛入電池B內，兩種溶液透過紙片徐徐互相混合，最後在紙片上鄰着鹼的一方，結成了硫酸鉀的厚殼。再將清潔的鉑板，放入各一電池中，和一個靈敏的電流計連結着，但不見有電流通過。由此可知酸和一塊鉑板接觸，鹼和另一塊鉑板接觸的時候，不能夠發生電流。而酸和鹼的化合，也不見得因此發生（六

六〇。

六七四、若將其中一塊鉑板取出，換用一塊鋅板，不管鋅上有沒有塗着汞齊，都一樣的有很強的電流發生。並且不問是鋅在酸內而鉑在鹼內，或者反過來，總之，發生的電流，都是由鋅而出，經由電解質到鉑，再從鉑經由電流計復返至鋅。只不過鋅在鹼內鉑在酸內時所起的電流，特別強大一些罷了。

六七五、可見在這些實驗裏面，好像酸並沒有什麼本領，超出於鹼上，毋寧是就力量說起來，酸還要略微遜色一點。因此可見造成的氧化物和其周圍的酸化合起來，對於發生的電流，實在什麼直接的影響，電流的產生，完全是從金屬的氧化而來的（六五四）。

六七六、事實上，使一種金屬成爲陽態(Positive State)，鹼的確比酸好些。據德斐所說（註七），假如使用同一的金屬，例如鋅，錫，鉛，或銅等類，放在酸內和鹼內，發生的電流，總是從鹼而出，經由電池內而達於酸，再經過電流計復回到鹼上去。這種電流很強，假如使用塗有汞齊的鋅或錫或鉛，只要他和在鹼內的金屬，交通成立，在酸內的金屬，立刻就發出氫氣。若是連結一斷，作用也就立

即停止。可見並不是有什麼直接的酸對於金屬的作用，乃是對於在鹼內的金屬，成爲很強的陰性所致。

註七 見 Elements of Chemical Philosophy 第一卷九頁。又見 Philosophical Transactions 一八

二六年第四〇三頁。

六七七、 鹼的優勢，還可以用下述的方法來證明。假如使用鋅和錫，或是使用錫和鉛，隨便那一種金屬放入鹼內，都成爲陽性，而放在酸內的都成爲陰性。隨便那一種放在鹼內都發生氧化，而放在酸內的，仍舊保持着原來的金屬狀態。

六七八、 假如使用硫酸鹽溶液（六六五），要想來證明金屬的化學作用和電解質中的一種游子，是發生電流的主因，結果還是一樣。據德斐的指示（註八），如將鐵和銅插入稀薄酸中，發生的電流是從鐵而出，經由液體而至於銅。在苛性鉀的溶液內，也是同一的方向。但是在硫酸鉀的溶液內，方向却與此相反。在這三個實驗中，前兩者發生的電流出於氧和鐵的化合，最後的一例，則出於硫與銅的化合。兩來都是游子存在於電解質中，在這時候，電解質正受着電解作用。不但如是，兩

來還都是同一的陽向游子，因為他們都在電解質的陽極上離去，其作用完全和氯氣、碘或其他能夠用來使電池發生電流的陽向游子的作用相同。

註八 見 *Elements of Chemical Philosophy* 第 1 卷 8 頁。

六七九、下面還有一些實驗，可以將關於電池中電的來源的證明完成。將液態的鉀汞齊放入純粹的水裏面，鉀汞齊中含有的鉀還不到百分之一，經過一個電流計，和在同一的水中的鉍板連結起來。立即就有電流發生，從汞齊而出，經由電解質而至於鉍板。此刻既沒有酸，又沒有鹼，更沒有其他的方法，可以作用到發生的物質上去，所以發生的電流，完全是出於金屬的氧化。

六八〇、其次將清潔的鉛板和鉍板放在純粹的水內，立刻就有很強烈的電流發生，從鉛流出，經由液體而達於鉍板。如在電路中插入碘化鉀溶液，照着前面所說的方法（六一五）即使用第三十三圖的器具，此項電流之強，足以使碘化鉀發生電解。這裏也沒有酸和鹼能夠作用到由鉛而成的氧化物上，來供給這種電流。所以真正的來源，只有金屬的氧化。

六八一、我覺得在電學中最重要的一點，莫過於金屬的狀態，和金屬接觸開始完成的那一

瞬間前後，在簡單電池電路中的電解質的傳導。若果能夠將這兩點完全了解，那麼，關於各種電流的產生，或直接或間接的定律，也就可以窺知，並且由此還可以開拓出一片新天地來，以供我們的研究。

六八二、在許多的化學親和力的例中（例如鋅和水中的氧等類），這兩種引力的方式，究竟應該是那一種發生作用，我們好像已經在某種程度的範圍內，可以決定的了（七三二）。一種方式是能夠將這種本領傳送而去，使其能在某處產生和作用成爲當量的物質（六〇二，六五二）。還有一種方式，是不能傳去的，全體只能限定在一點作用。前者就是電池電流的例，後者就是尋常的化學親和力。不過兩者均同是化學作用，由於同一的力或同一原則而來的。

六八三、前一種方式的一般情況，在一切的電池電流中都有的，但也可以看成是條件完備而沒有含着第二種方式在內的，只有幾種，即是鋅板和鉛板在苛性鉀溶液內，或塗汞齊的鋅和鉛在稀硫酸內的時候一樣。

六八四、假定由前面所作的實驗和考察，可以認爲足以證明電動作用，當用鋅鉛和稀硫酸

的時候，是由於金屬鋅和水中的氫氣間的相互的親和力而來（六五六，六五九），就可以看出金屬單獨在這個情形下面，並沒有這麼大的力量，能夠從水中將氧氣吸取出來，而將氫氣斥去。因為在事實上就沒有這種作用發生。又還可以看出他因為吸取和他相接觸的粒子中的氧氣，所以他的力量，足以使在這些粒子和水中的其他的氧氣粒子和氫氣粒子間，已經發生了的力，成爲一種特殊的張力狀態，或是成爲一種極性狀態，或許還可以因此將和水接觸着的本身的粒子，弄成一種與此類似但方向相反的狀態。當其保守着這樣的狀態時，沒有進一步的變化發生。但當電路完成時，其決定電流的力，對於鋅和電解質，是在反對的方向上作用，恰好彼此互相抵消，這種特殊的狀態，也就恢復成爲原有的狀態，於是在和鉑接觸處及鋅發生作用處的中間地方，造成水的氧氣粒子和氫氣粒子，就接二連三的發生分解與再合的現象。這些介在中間的粒子，相互間當然有極密切的關係。在以前對於鋅和氫氣都同在分離狀態的氧氣，就和鋅直接化合起來，成爲一種氧化物。用酸將氧化物除去後，新的鋅表面就和水接觸，於是作用又再照樣的發生。

六八五、實際上若將一種金屬，其對於氧氣的引力不如鋅強，放在稀硫酸內，使其也和鋅接

觸，這種特殊的張力狀態，更其容易恢復自由。由鋅對於氧氣的優越的引力，在水粒子中發生作用的化學親和力，於是很奇妙的通過這兩種金屬，傳送而去，復行進入電路中的電解質的導體上，這一段電解質導體，和金屬不同，若不受分解作用，決不能再將他傳導前進。或許在同時使鋅和水中的氧氣化合的力量，和此種親和力恰足相抵，也說不定。兩個互相作用的粒子，也就是在反對方向的兩個粒子間的力，事實上就是電流中兩種方向相反的力的來源。這兩種力，當然是相等的。因為傳導而去的方向，彼此相反，於是遂成爲我們所謂的電流。所以在我看去，這個電流是有一個嚮導在前，這個嚮導就是在流體內，介在流體與鋅之間的張力狀態（state of tension），也就是鋅對於水中的氧氣作用的親和力的第一步的結果（first consequence），這樣的想法，實在是不能反對的了。

六八六、我很用心的去尋覓在電解質傳導體中的張力狀態的指示品，認爲當其放電以前或正在放電的時期中，會發生一些如同構造一般的現象，於是我就用偏極光（polarized light）來要想將他證明。使用一個玻璃瓶，七英寸長，一英寸半寬，六英寸深，有兩套鉛極放在其中，一套在端

上，一套在旁邊。在旁邊的這一套有七英寸長，三英寸高，當其在瓶中時，有一個木架上套洋布將他隔開，俾連結到電池上去，瓶中的溶液受了作用，從鉛上發出來的氣泡，不致於妨礙着液體的中央的一部分。

六八七、將硫酸鈉的飽和溶液盛入瓶中，將電極連結到電池上去，電池用的是一百五十對極板，每板均為四英寸大小。電流從瓶中通過極其容易，放電的情形，就和使用一條導線時一樣。其次令一條極化光射入溶液中，和電流通過的路線相橫，然後用檢偏極板去檢查。雖然光線射進七英寸深，受到電流的作用，雖然接觸點時開時閉，有時甚而將電流的方向反轉過來實驗，可是光線上並沒有見到有絲毫受到影響的痕跡。

六八八、其次將大的電極取去，另用適合於瓶端的電極，在每一塊極板上開一細縫，俾光能由此通過。此刻光的通過和電流的方向平行，或在其軸線的方向上（二五三）不問是連結的時候，或是脫離的時候，仍舊不見有什麼效應發生。

六八九、其次再用很濃厚的硝酸鉛溶液來代替硫酸鈉作實驗，結果仍舊沒有影響。

六九〇 想到最初的張力狀態或許能够發生一些效應，可是因為電解質的粒子，繼續不已的發生分解和再合，其電力的放電，彼此恰好相抵，因此沒有效應發現於外，亦未可知。於是就取一種物質，當其成為液態的時候，極其容易導電，當其成為固態的時候，又是一個絕好的絕緣體，即是硼酸鉛，做成一塊玻璃板的形狀，將其邊或稜和金屬板連結起來，有時和電池中的極板相接觸，有時甚而使其和起電機接觸，因為由此可以得到很高的強度。然後令偏極光從各種不同的方向透過其中和以前實驗時一樣，但却不能發見有何種效應發生在光線上。於是我遂得到下面的結論：電解質中如有大量的電通過，電解質就要發生電解，在電解之前，電解質一定成為一種張力的狀態。這種張力狀態，就是電解質凝成固體的時候，也是保持着的。總之，不問是在電解進行中，或是在電解開始以前的張力狀態中，電解質所成的新的非常狀態，還是沒有能力可以使偏極光受到變化。因為在事實上，我們用上面所說的種種方法，並看不出有什麼種類的構造和張力出現。

六九一 有一個很好看的實驗，足以證明在電流發生之前，在各種不同的金屬互相接觸之前，（六五〇），電解質和金屬所成的張力的狀態，實際上就是只有化學力一種能够發生效力，或

爲這種作用的原因的時候，始有這種張力狀態出現。我取一個電池，由單獨的一對大形極板而成，即是用一個塗有汞齊的鋅的圓筒和一個雙層的銅圓筒造成。將這兩個圓筒放在盛有稀硫酸的瓶內（註九），這兩塊極板各和一個汞杯連結在一起。用一條銅線，一端放在一個汞杯中，他一端可以任意隨時或放入第二個汞杯內，或由其中取出；放入時，兩極板就互相連結起來完成了金屬的
交通。

註九 使用稀硫酸的時候，電花更爲強烈，可是局部的化學作用，到了這個時候，也就開始，不需要有金屬的接觸，自能進行。

六九二、用上述的方法，佈置好了以後，當金屬板還沒有連屬以前，沒有化學作用，但若使用鉑線，將極板一連起來，就得到一個電花（註十），溶液也就發生分解。再將連絡切斷，尋常的電花也可以得到，同時電解也就停止。在這個例中，第一次的電花，是發生在金屬接觸以前，因爲電花是從中間隔着的空氣中通過的。並且在電解作用還未發生以前就有通過的傾向。因爲非有電流通過不能發生電解，而電花未通過以前，決沒有電流流過。因爲電池中的電流是由於鋅和水的相互接

觸而生的，所以他們最初的一度接觸，就成爲一種極強烈的張力狀態（六八七。）這種張力狀態，雖然不能夠使實際的水的分解發生，但是只要銻和適當的放電器（Discharger）之間的間隔，充分的接近，却足以使電花由其間通過。這個實驗可以將直接由純粹的化學作用發生電花的事實，表現出來。

註十 一般都以爲使單獨的一對板接觸，不會發電花；可是根據本篇的思索，我以爲也可以發生的。只要使用來

作連結的導線很短，就可以期待有電花出現，要是導線太長，就不免有種種其他的情形混入，使電花受其

影響。

六九三、和單獨一對極板發生電花有連帶關係的條件，還有幾項，應該要知道的。沒有這些條件存在，就不能夠發生電花。假如接觸的塗汞齊的表面是很清潔而又乾燥的，那麼，在接觸的那一瞬間出現的電花，縱令不致比切斷時的電花要亮些，至少也是同樣的光亮。假如有一薄層的氧化物或其他的污穢，在隨便那一方面的汞表面上，那麼，第一次的電花，往往很微弱，有時還完全看不見；而切斷時的電花，却無論何時都是同樣的光亮。假如加一點水到汞裏去，電花的明亮就大

爲減弱。不過在結合時及切斷時，出現得都很正確。假如金屬的接觸用的是鉑，所生的電花也很微小，接連時和切斷時，也都同樣的正確。事實上發生的真正的電花，是很小的，當用汞表面的時候，大都的亮光出於汞的燃燒。和汞燃燒有關的條件，以切斷時最爲有利。因爲在切斷時候，有清潔的金屬表面露出，而在接觸的時候，却有氧化物的薄膜或其他的污穢物往往妨礙着。通常的見解，認爲是只有連絡切斷的那一瞬間有電花通過，其理由卽在於此。

六九四、至於其他的一套例，卽是只限於在局部的作用（六八二），化學親和力雖然發生作用，却不能將這個本領傳送至別處，也就沒有電流發生，雖然一定有很強烈的力起了作用，但是當化合發生的期間中，這種強烈的力，因爲互相抵消，所以能將作用表現出來。這種的作用發生甚驟，而且又限於在相互間發生，縱令最後的狀態，和曾經有了電流通過後的一樣，仍舊不見有強烈的電流出現。我相信將燃燒時發生的熱和光，認爲是化合粒子的這一種電力作用而生的結果，是出於柏濟力阿斯的意見。可是關於電的本性，以及電和物質粒子結合的情形，還須要有更正確更廣泛的智識，方能將使他們化合時的這種力量的作用，澈底的了解，方能將上面區別出來的那兩

種作用的方式的差異，完全理解。單去想像，固然是可以的，不過這種想像在目前應該屬於那一類可疑的智識之中（六一一），這種可疑的智識，我們只應當努力的去減少，不能反而去增多。因為這種智識有許多自相矛盾的地方，由此也可以證明其中只有很少的一部分，可望是靠得住的。

六九五、關於化學親和力發生作用的兩種方式，有一件很重要的事項，不能不特為申明的。即是發生電流的那一種作用方式，和發生尋常的化合作用的方式，都是同一樣的有一定不易的分際。所以當我們在化合或電解的例中，檢查電的產生的時候，不僅要去觀察由電流而來的某項效應，並且還要檢查他們的分量。儘管有許多的例中發生的化學作用，一部分出於第一種方式，一部分出於第二種方式；但唯有能夠產生電流的那一種方式，方和電池作用有關係。例如使氫氣和合成水的時候，在作用繼續進行中，很要絕大的電量，始能維持下去（五九六，六〇八）。但無論用何種方法去檢查，當他們在此種激烈化合的時候所發出來的火焰，終不能得到絲毫的痕跡。所以這些不能夠就拿來認為是作用的本性的確證，只不過是偶然的結果罷了，對於我們所要研究的力，關係很微粒子間相互作用的情況，以及他們的力最後是怎樣的配佈，都不能夠由此得到

一些指示。

六九六、不能產生電流的那些化學作用，和我們所知道的電池儀器，並沒有矛盾的地方。一個電池最主要的事項，是化合的兩種元素之中，必有一種成爲電解質的導體，或者和電解質的導體有直接的關係（六五六，六五八）。在這種不能產生電流的例中，沒有自由的電張力發生，假如他們能夠變成電池的作用，在他們發生的電流中，兩種互相對的力彼此恰好相等。作用互足相抵。由此種種可以證明有互相對作用的物質粒子中的力，是相等的，所以在電化當量的物質中，含有的電本領，也是相等的（五五九）。這又是一種證據，足以證明電化作用有其一定不易的本性（五一八等），而化學親和力和電，完全是同一種類的本領，只不過形式不同罷了（六五二等）。

六九七、由電池的作用，在實驗分解處發生的效應，和在誘發處作用的化學親和力（六二六，六五二）之間，有一種直接的關係。發生出來的物質（或游子）何以向着某一方向而去，只要從這種直接關係，就可以得到一種很簡單而又很自然的見解。因爲只有在這個方向流去，方能與在決定全體作用處占優勢的力一致，方能與他相抵（至少在方向上）。試取一個例來說，假如電

流電路中的作用是由於鋅對於水中的氧氣的引力決定的，而鋅是由右向左移動，那麼，凡是在電路中所含有的陰向游子，不管電路是電解質的一部分，或僅在這一瞬間成爲其一部分，都是同樣的由右向左，移動而去。至於在水中的氧氣，則由於他對於鋅的自然親和力，是從左向右移去，所以和他同類的其他的物質（即是陽向游子），在這時候，也都要受他的支配，從左向右移動而去。

六九八 這一層我可以用第四十三圖來說明，雙重的圓周表示一個完全的電池電路，其上作用的力的方向，暫時，

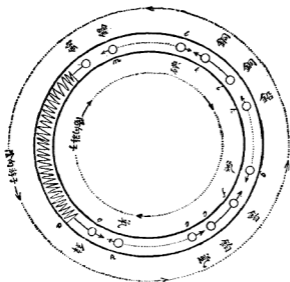


圖 三 十 四 第

可以想作由於鋅 b 和鉑對 c 於水 d, e 及其他的物質的作用而定。更用一個電池加於 a 處，(七二五)，增高他們的能量，使其能夠發生幾種的分解。假如 h 和 c 是由一對單獨的鋅板和鉑板而成，他們兩者之間所起的作用，本極明瞭。現在使用的電池裏面的作用，也不過就是由這種作用反覆發生若干遍而成，所以上面的想像，是可以容許的。這樣的鋅 b 和氧 d，由於他們相互間的親和力，有互相結合一起的傾向。可是氧 d 原本是和氫 e 結合在一起的，他天生的化學本領或電本領，因為後者的關係，暫時消滅。於是氫 e 就不得不離開氧 d，沿着箭頭所示的方向前進。否卽鋅決不能夠沿着同一的方向移動，去和氧 d 結合，而氧 d 也不能夠沿着反對的方向移動，去與鋅 b 結合。d 和 e 的力相似，與 d 的力則相反。當氫 e 前進時，與鉑 c 相遇，c 本是電路的一部分，於是電力 and 化學力即經由鉑傳過，而達於電路上的其次的一種電解質，卽熔化了的氯化鉛在這裏的氧氣一定取在 d 處的氧氣的方向前進，因為他受了 d b 的鋅和氧的影響，不得不來補償。同樣，鉛也得沿着箭頭所示的方向移動，其關係完全和他同類而第一移動的物質一樣，卽是和鋅銅相同。假如在電路上的 i 和 k 之間，有銅隔着，他的作用也和鉑的作用一樣。假如有此種電解質，如碘化錫

等類，在於 l m，即碘 l 成爲陽向游子移動的方向，和誘起此項作用的陽向游子即是氧 d 的運動方一致，而錫 m 則成爲陰向游子，和其他的陰向游子及 e，及 h 的運動方向相同。在全電路中的化學力，在方向上和量上，都成爲平衡。這些陽向游子當其循環不已的流動中，如其和各電解質的陽極上的金屬化合，如像在鉛 f 和銅 k 處的一樣，這種物質就成爲電解質的一部分，在電流作用的時候，立即向前移動。但若想到他們對於鋅 b 的關係，就知道他們的移動，除却和他的路徑一致的方向而外，決不能向着別的方向進行。所以他們只能由陽極向陰極而去。

六九九、在上面所說的那個圓內，一切知道的陽向游子都可以聚集起來，列於圓的內方，一切陰向游子也可以聚集在圓的外方。假如其中有幾個成爲游子進入電解質的成分之中，造成了一個電路，而且同時受到一種共通的電流作用，那麼，陽向游子都一律向着同一的方向進行。陰向一律向着反對的方向進行。不但如是，這些物質的等量部分，也非向着反對的方向進行不可。因爲要是有三二·五部分的鋅 b 移動，那必定就有八部分的氧在 d 處，三十六部分的氯在 g 處，一二六部分的碘在 l 處，同時都沿着反對的方向前進。還有氫，鉛銅，錫等各各在 e h k m 等處，都按着

各各的電化當量的分量，沿着同一的方向進前。

七〇〇、要是我現在的這篇論文，可以被認為能夠表出正確的事實，那也不過是將德斐從前發表過的普遍的意見，加以一種確證而已。德斐的意見最初是在一八〇六年培克耳講演（Pa. Kerian lecture）（註十一）的時候發表的，後來又於一八二六年，重作培克耳講演的時候，關於電變化及化學變化，再將他的意見加以修正，重行提出（註十二）。他的話是這樣說的：『化學的引力和電的引力是由同一的原因而生的，一方面是對於粒子作用，他一方面是對於物質的質量作用。而且同一的性質，有種種的變形，各種不同的電流化合所表現出來的一切現象，也都是出於這個原因』（註十三）。他的這種說法，我相信是真的，可是我在贊同他和維護他的時候，也得要申明，免得被人誤會，以為我對於德斐的這兩篇論文中所說到的一切事項，都表示同意，或者他所引用的那些實驗，我都認為是可作這個原則的確證。要是我果真如此，那又何必來作現在的這一番研究呢？或許有些人認為我應該將他那兩篇論文，加以澈底的探討，那些是我能夠同意的，那些是我不能同意的，一一區別清楚，並且還要將實驗上和理論上的理由舉出來，方知道我是如何判定的。假使要

如此做去，那麼，對於同一目的，還得要評論各種贊成和反對有金屬接觸必要的論文，以及贊成和反對電流來源出於化學作用的論文，這種職務，我在現在的這篇論文中，儘可以不必去理會（註十四）。

註十一 見 *Philosophical Transactions* 一八〇七年。

註十二 見同誌一八二六年第三八三頁。

註十三 見同誌一八二六年第三八九頁。

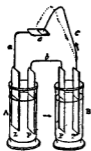
註十四 我有一個時期，很想在這裏插入一個表，將各學者對於電池的來源，或認其為金屬接觸，或認其為化學作用，或認其為兩方面都有關係，一一列入，以供參考。可是後來柏克勒爾的那冊很重要又很有價值的書 *Traité de l'Electricité et du Magnétisme* 出版以後，我想關於這一方面的參考，還是去檢這一冊書妥當些。見書中第八六，九一，一〇四，一一〇，一一二，一一七，一一八，一二〇，一五一，一五二，二四，二二七，二二八，二三二，二三三，二五二，二五五，二五七，二五八，二九〇等頁——一八三四年七月三日。

(ii) 電解所需要的強度

七一〇、產生電流有許多的隨伴條件，要澈底明瞭這些條件，對於下列的幾個問題，實有決定的必要。如果能夠辦得到，還得要加以斷然的決定。假如作用的電流，其強度在於某種程度以下，電解質能否抵抗他的作用？電流停止其作用時的強度，對於一切的電解質，是否都是一樣？當電解質抵抗着電解的時候，既失去電解質的作用，所以不能再用來作成導電的電解質。這個時候，是否能成爲一種導體，如同金屬一樣，將電流傳導過去，或者成爲一個完全的絕緣體？

七〇二、從前面所說的實驗（六三九，六四一），知道各種不同的物質，受到電流作用時，發生分解，有難有易。那麼要使他們分解，所要的電流，強度當然也就不同。對於有些強度的電流，可以抵抗得過，對於其他的強度的電流，就只好屈服。事實上真正沒有能夠通過而又不引起電解的電流（六四五），還得要有很注意很特別的實驗，方能決定。

七〇三、照着第四十四圖所示的方法，用兩個玻璃瓶，內



圖四十四第

盛同樣的稀硫酸，其比重爲一·二五。鋅板是塗有汞齊的，經一條鉑質導線 a 連結到鉑板上。兩塊鉑板 P 和 P' 用一條鉑導線 b 連結，再用一條鉑導線 c 連結到鉑板 P' 上。在鉑板的上面放着一塊用碘化鉀溶液浸透的紙片。導線 c 彎曲過來，俾其末端能够很自由的停在這張紙片上面。由此發生的碘，可以指示出有沒有電流流過。或則如像圖中虛線所示的狀況，直接和鉑板 c 連結，電流即可通過而不引起電解。目的是在利用第一容器 A 內的酸，對於塗有汞齊的鋅板，有化學作用，由此而生一種電流。此項電流經由鉑的電極而進入第二容器 B 內的酸中。假如他的本領能够使水分解，就可以在 B 內看出。同時又可以利用 e 處所起的分解，任便去檢查電流的存在又不至於受到因維持一定電解而起的電流的妨礙。照着這樣裝置後，即由 e 處的分解將電流的存在證實。然後將鉑線 d 的端放在鉑板上面，使其在此處成爲恆定的金屬的交通。

七〇四、如是數小時以後，再將導線 d 的尖端，移到 e 處的試紙上去，分解隨即發生，電流的存在，完全證實。不過這種電流，和最初實驗時所得到的電流，比較起來，頗爲微弱。這是在第二容器內的金屬表面，得到了一種特殊的狀態，使他們在這種情況下，由自己具有的力，去反抗通過的電

流（七七六）再由分解得到的指示，可以證明在第二容器中的金屬板的狀態，不足以阻止在第一容器內發生的電流，這一點就是我們目前的問題，所要決定的。

七〇五、這個器械隨時加以檢查，都可以看見有電流由其中通過，一直繼續至十二天之久，在此期間中第二容器中的水，不絕的都受到這種作用。時間儘管這麼長久，容器中的無論那一塊金屬板上，從沒有些微的氣泡發生。從這個實驗的結果，我可以斷定其中確有一種電流流過，不過他的強度太低，不能使水的兩成分互相分離而已。當然如有其他的作用，例如水和電極的物質，和其周圍的液體，如能化合，由其發生的副作用，也可以幫助他發生分解。可是我們現在所研究的，只在於第二容器中的狀態，不足以使水分解，故知其程度甚低而已。

七〇六、或許有人以為不是不能分解，不過是分解出來的氫氣和氧氣，分量太少，或者恰能溶解在水裏面，最好就從表面逸出空氣中去，或許就在水中又相結合成為水，亦未可知。氫氣能夠這樣的溶解，在第一容器內可以證明。經過了幾天之後，插在鋅鉛板的中間使其互相隔開的玻璃棒，以及鉛板本身的表面上，都現出一些氣泡，這些氣泡都是氫氣。這些氫氣的發生原因，大致如下：

鋅板上，儘管塗有汞齊，仍舊不免受到少許由酸而來的作用，所以有細微的氫氣的氣流，陸續不絕，從其表面流出。其中有少量漸漸溶解在稀酸裏面，一部分則由於這種物質在溶液裏面的一個人所共知的作用（三五九等），在玻璃棒和鉛板的表面上，游離出來。

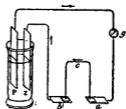
七〇七、假使在第二容器中由水的分解，確有此種氣體發生，而且溶解在水內，那麼，我們也同樣的可以期待在極板上，尤其是陰極板上面，應該有少許的氣泡出現。因為他的作用，在溶液內，只是一個核，氣體就在核的周圍積成。可是等候過了十二天，仍舊不見有這種氣泡出現。

七〇八、若在第四十四圖所示的容器A內，加上幾滴硝酸，結果就完全不同。還不到五分鐘，就可以看見第二容器內的板P'P'上面，有氣泡出現，要證明這個現象由於電流而來（可在e處檢查同時有此項電流流過），可將e處的連絡切斷，將P'P'板拭淨，不留少許的氣泡。然後放入容器B內的酸裏面，經歷十五分鐘。在此期間內，板上並不見有氣泡發生。但若將e處的連絡恢復，還等不到一分鐘，又見板面上有氣泡現出。所以這個證明是很充分而且很完全的。即是說容器A中的稀硫酸加上少許的硝酸，此時誘發的電流，其強度足以克服容器B內的水的兩成分氫和氧間

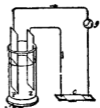
作用的化學親和力，若單獨由稀硫酸一種誘發的電流，就沒有這樣強大的強度了。

七〇九、用濃厚的苛性鉀溶液盛在容器A內，使其誘生電流，仍舊由c處發生的分解效應，可以檢出確有電流流過。但此項電流的強度，不足以使容器B內的水發生分解。就將他這樣放着，經過十四天之久，其間電流一直通過不斷，在P'P''的表面上，依然不見有些微的氣體出現，也沒有其他些微的徵兆，足以指示出水已經受到了分解的作用。

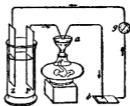
七一〇、其次再用硫酸鈉溶液實驗，看這種物質的電解，是否也須要一定的強度和上面對於水求得的結果能不能夠相同（七〇九）？此時器械的裝置方法，如第四十五圖所示。P和2表鉛板和鋅板，浸在食鹽溶液裏面。a和b表鉛板，用鉛的導線（除卻在電流計g內的部分而外）和P2相連結。c也是一條鉛導線，其尖端可以任便使其或停在鉛板ab的上面，或停在溶液浸過的紙上，紙也就是放在ab上面的。這樣一來，可以隨便使電流流過，也可以同時不發生分解，也可以同時能發生一種或兩種的分解。爲要換動在分解處的陽極和陰極，有時又使用第四十六圖的裝置方法。此時只用一塊鉛板。上面放着兩張紙片，都是用來指示分解的。從P和2而來的導



圖五十四第



圖六十四第



圖七十四第

線，就停在這兩塊紙片上，或者停在上。由其停放的處所不同，於是通過的電流，或則有分解相伴發生，或則沒有。

七一、試將碘化鉀溶液放入一張紙片中，將硫酸鈉溶液放在另一張紙片中，使發生的電流，一定要由此兩者通過，即見碘化物的溶液，慢慢的發生分解，在陽極上現出碘，在陰極上現出鹼，而硫酸鈉溶液的方面，卻不見有分解發生的痕跡，既沒有放出酸來，也沒有放出鹼來。若將導線的位置移動，令電流單獨從碘化物中通過，即是單獨使碘化物受到電流的作用（六三五）即見其

發生的分解又快又烈。再將導線移動，使硫酸鈉單獨受到電流的作用，仍舊不見其分解。最後再將上面裝置好的器械，放在一個潮濕的玻璃鐘罩內，使其放過十二小時。電流在此期間中，仍舊從硫酸鈉溶液中流過。用兩疊厚的吸水的石蕊紙和薑黃紙保持着其地位。到得十二小時以後，在第二作用處上，看出有碘化鉀的分解，可知在此全期間中，電流的確是繼續不斷的流過，可是硫酸鈉中並沒有酸或鹼分出。

七一二、從這些實驗，可以斷定硫酸鈉的溶液可以傳導電流，而電流卻不能使此中性的鹽類分解。這個鹽類在溶液狀態的時候，也和水一樣，必須要有相當的電解強度，始能發生分解。而且這個鹽類所需要的強度，比較碘化鉀在同一的溶液狀態時所需要的強度，高得多。

七一三、其次再對於熔化後始成爲電解質的那些物質，加於實驗。首先就檢查氯化鉛。用稀硫酸並不加硝酸在內，使鋅板和鉛板間發生電流，如第四十七圖所示，使其經由 a 處通過，a 處放着有熔化在玻璃上面的氯化鉛，b 處放有用碘化鋅溶液浸濕的紙片，g 處有一個電流計。a 和 b 的金屬端都是鉛。這樣裝置好了以後，由 b 處的分解和 g 處的偏轉，均足以指示有電流通過，但 a

處並不見有分解出現，甚至於就是將b處的金屬交通接連起來，也還是不能分解。這個實驗曾經反覆行了若干遍，結果使我斷定此時的電流強度不足，所以不能使氯化鉛發生電解。並且知道熔化了的氯化鉛也和水一樣（七〇九）可以傳導強度在他分解時所需要的電流，而不至於受其分解。

七一四、其次再用氯化銀來實驗，放在第四十七圖中的a處，代替氯化鉛。此時在b處的碘化鉀溶液，立即發生分解，當此處的金屬接觸後，電流計g的指針就發生很可觀的偏轉。在熔化了的氯化物中a處的陽極上，鉑也溶解，可見此地確有分解作用發生。

七一五、再進一步，還有下述的證據，證明分解的發生。將插在熔化了的氯化物內a處的鉑線，放得異常的貼近，（在b處的金屬接觸，當然早經成立，）然後任其放着，由電流計上的偏轉，可知通過的電流，力量雖然微弱，但卻是一定不變的。如是經歷一兩分鐘後，即見指針驟然受到強烈的作用，表示此刻流過的電流，宛如在a處的金屬接觸了一樣。這是因為銀受了電流的作用，還元而成爲長而且細的針狀結晶體，所以後來遂將金屬的接觸，完全接通。同時傳導的電流，比熔化了

的氯化物強烈。所以由此可以證明氯化物中已經有了電化分解發生過。因此可以知道在鋅與鉍間的稀硫酸誘起的電流，強度雖然不足使熔化了的氯化鉛發生分解，但卻已遠在氯化銀分解所需要的強度以上。

七一六、其次將一小滴的水，放在 a 處，代替熔化了的氯化物。實驗的結果，和前面相同（七〇五）。即是也能使電流通過，但電流卻不能使水分解。因為在相當時間之後，b 處的碘化物溶液到起了分解，不過傳導電流的本領，又遠在熔化了的氯化鉛以下（七一三）。

七一七、用熔化了的硝石放在 a 處，其傳導比水好得多。我雖然不能夠確定硝石是否發生分解，但我卻偏向着他不能發生的一方，因為在陰極的鉑上，並不見有漂白的作用。假使在誘發電流的容器內使用硝硫酸，那麼硝石也好，氯化鉛也好，都得要受分解作用，和水一樣（六四一）。

七一八、總括上述的結果，是傳導電流可以無須分解，各種電解質需要有一定的電解強度，方能使其游子分離。這個結果，和本研究的第二部分中的第四條所得到的實驗和結果，有直接的關係（一五四，一五九，一八〇，一八五）。要完全了解這些關係，必須先有更精確的知識，究竟他的

強度是一種什麼樣的本性？電流的最末的源頭，出於何處？在中間加入一段不良導體，或長或短，或為電解質或非電解質，因此使其降低，降低的情形又如何？凡此種種，都非知道了不可。

七一九、就水而論，據我所作的實驗，若是電流的強度降低，到他分解需要的程度以下，此時他對於傳導電流的程度，完全是一定的。不管有沒有硫酸，或其他的電解質，足以影響他的傳導本領的物質存在，結果都是相同的。換句話說，就是水所須要的分解強度，不問水是否純粹或加入別的物质使其變為良導體，總是一定不變的。強度在此以下的電流，純粹的水和變成酸性的水，都以同等的本領傳導而去。用一個器械，裝置如第四十四圖，在容器 A 內盛稀硫酸，在容器 B 內盛純粹的蒸餾水。對於不能引起分解的電流，據 e 處所起的分解的指示，好像水比稀硫酸還更容易傳導一些。但是我總覺得水的這種視優點 (apparent superiority)，由於鉑電極的一種特殊條件而來。關於此項特殊條件，在後面還要申說 (七七六)。據我的判斷，在稀硫酸中，此項條件的程度，比在純粹水中高些。酸類鹼類鹽類以及其他在溶液中的為質，能够增加傳導本領，也只能限於能受電流作用而起分解的那些電解質，方能發生效力。假使傳達的電流，強度太低不能引起化學變化，

那麼使傳導本領增加的效力，也就完全失掉。或許尋常在固態的電解質的傳導本領（一五五）和其在液態時對於強度在其分解所需要的程度以下的電流，所具有的傳導本領，完全相同，也說不定。

七二〇、用八個或十個串聯起來的電池，發出來的電流，也有方法可以使其強度減低。即是在鉛板之間，使電流經由三四個的容器中的水，次第通過，就可以得到能由水傳過而不致使水受其分解的電流。這個效應，所根據的干涉原理，後面再詳為敘述（七四五，七五四）。可是這種效應卻大有用處，可以利用來發生標準強度的電流。對於任何極板數的電池，也都可以適用。

七二一、因為有許多的理由使我們相信，一切的電解質都受一個定律的支配，即是需要有某種程度的電流強度，方足以使其分解，而各種電解質所要的這種程度，又各不相同，所以很希望能夠將電解質，按着他們所要求的電解強度的次序，列出一個表來。在造成這個表以前，研究的範圍必定要大為推廣，其中包含着的物質，比上面曾經說過的，不知要增加多少。在這些實驗中，須將使用的電極物質的本性說出。假如有選擇的餘地，應該要選用那些不會幫助游子分離的物質。

(六四八)來作電極，如像有幾個例中，就是用的鉑或石墨。

七二二、電力的傳達有兩種方式，一種是金屬所表現的特性即是通常所謂傳導，一種是伴同電解而生的。前一種對於一切的物質都是共通具有的，只不過發生的時候，程度千差萬別，直可以數計而已。第二種現在已經明白了，是電解質所特有的。可是此後或許不均限於電解質，還可以推廣到金屬去，也說不定。因為金屬的導電而不起分解的本領，或許是因為他們所需要的電解強度過於太高的緣故。

七二三、發生電解之前，先要有其需要的電解強度，這個原則建定後，性質異常重大。我們往往要顧慮着，恐怕有許多微弱的電流，如像天然的熱電發生的，或在地上的天然電池發生出來的，應該各有其相當的效應。因為要發生分解或化合，不僅要有一種電流存在，而且還要有某種程度的強度，方能抵抗得過反對的親和力。否則也只不過是傳導過去而已，不會生出永久性的化學效應。從反對的方面說，也很淺明。這種反抗的作用，也可以利用這個原則，使他減弱，將那些親和力不足以發生直接作用的物質，並置起來(六四八)很弱的電流，也應該將他的作用聚積起來，昇到

很高的程度，結局就足以引起化學的變化。

七二四、在結束對於電解所需要的強度的研究以前，我不能不將關於一般的強度得到的重要結論，敘述如次。一個電流發生了的時候，總有一定不易的強度，其值由誘起電流的化學親和力的強弱而定（六五一），其力足以使某一種特殊物質發生分解，和通過的電量多少無關。電解質是否能被他分解，只由其強度而定。假如這個結論是確定的，那麼我們大可以想出一種裝置來，使同一分量的電，在同一時間內，由同一的表面上，流進在同一狀態中的同一種的分解物質中，但其強度卻不相等，結果，在一方面有分解發生，在他一方面則否。——即是先取一個電源，其強度甚低，不能發生分解，將其在一定時間中通過的電量測出。其次再取第二個電源，其強度很高，使用一些不良導體插入電路中，以節制其通過的電量，俾其減少至第一電源的程度。這樣一來，希望要發生的結果所要求的一切條件，都已齊備，並且又是很容易辦得到的。

(iii) 聯合的電流循環或電池組

七二五、從單獨的一個電流循環的考察，（六一〇等）轉入由他們若干個聯合而成的電

池，是一個很明顯的結果。例如第三十三圖和第三十六圖（六一五、六二六）中的兩組化學親和力，假使配置的時候，不使其互相對，而使其互相一致，那麼作用的結果，不僅不互相干涉，反而足以相助。只不過是將兩對的金屬板排列起來，使其成爲一個完全的電路即得。這樣連結成功後，其全體的作用大爲增加。若將這種十組百組或其他任何數目的組，按次取同一的方向連絡起來，全體的能力也就比例增大起來，結果由此就得到一種強有力的研究工具，就是電池組（Voltaic Battery）。

七二六、但從上面所述的一定作用的原則，可以知道，在新的化學作用發生處的氧化金屬和溶解的分量，儘管增加，而電流中流過的電量，卻決不會增加。一對單獨的鋅鉛板，因爲有了三二五格令的鋅，受了氧化（六〇三）放出的電量是一定的。就將電池組內的極板對數增加千倍，致鋅面上的氧化金屬也增加了千倍，差不多重量有五磅之多，然而放出來的電量，仍舊還是只有這麼多。因爲在第一電池中從鋅而出經過其中的酸向鉛而去的電，是伴同着這種電池中的水的一定量的分解而起的，甚而至於是由一定量的水的分解發生的。當其進入第二電池中時，除非在第一

二電池中也有同一分量的水發生分解，同一分量的鋅受其氧化而外，決不能由第二電池中的鋅橫渡過其中的酸而達於第二電池中的鉑（六五九，六八四）。在其他各電池中，無不如此。每一電池中，非有水的電化當量發生分解，電流不能通過。因為通過的電量和分解的電解質的分量，一定是互成爲當量的。所以各個電池的作用，並不能夠使任何一個電池送出來的電量增加，只不過使其向前進而已。但電若經由一個電池中通過，就不免受使此電池中的鋅發生氧化。照着這樣，就可以將我們現在所說的電流的一種特性，即是強度，大爲增高。同時又不會使電量加多。其電量是和其中任何一個電池中的氧化鋅的分量成比例的。

七二七、爲要證明此說，我就使用十對的塗有汞齊的鋅板和鉑板，插入稀硫酸中，造成一個電池組。當電路連成的時候，各對的極板都同時發生作用，都有氣體從鉑板表面發生。將這些氣體各各收集起來，即知其分量都是相等的。任何一塊鉑板發生出來的氫氣和任何一塊鋅板溶解而去的鋅的分量，都成爲同一的比例，和前面使用單獨一對的金屬板時所得的結果相同（五九九等）。所以將十個電池串聯起來使用時，消費的鋅的分量，雖然十倍於一個單獨的電池，可是通過

的電量，恰好等於單獨一對極板發出來的電量，決不會更多。

七二八、這個真理，曾經在很早以前，就用別的方法證明過。即是利用發生的電流，對於一個小磁針的作用，可以證明。只要使用的連絡導線甚大，足以使一個單獨金屬板對發生的電流，由此流過，就可以實驗出一對極板的轉偏本領，和電池組全體的轉偏本領是相等的。不過在電有一定不易的作用和發生的原則還未闡明以前（五一八，六〇四）這種作用何以能夠相等的原因，卻不能夠完全理解罷了。

七二九、電池組的分解本領，遠在單獨一對金屬板之上，可由兩種方法表示出來。一種是電解質的化學親和力太強，可以抵抗得過單獨一對極板發生的電流作用。但使用由電池組而來的電流，即不能不使其屈服而起分解。還有一種是雖然使用單獨一對或少數的對數的金屬板的電流，也可以使其分解。但若使用多數極板的電池組，其分成游子更為容易。

七三〇、這兩種效應，我以為都很容易了解。不管電的本性是出於一種流體，或幾種流體，或出於以太的振動，或出於其他的物質狀態。總之，電流的強度，是由於此種電的本性而定。所以也就

不必去問電流的強度如何，只要第一個電池在這種程度的強度下發生了電流，那麼，第二個電池假如也和第一電池向着同一的方向作用，而且也有相等的能力。電流受到這個第二電池的作用時，強度應當增加，並非十分難於了解的事。又因為分解現象只不過是反對的作用，但和誘發電流的作用，完全為同一種類（六五二），所以對於單獨的一個分解作用，雖然能够抵抗得過，但若有許多的分解作用，集合起來，如像在一個電池組中一樣，自然就不能再行抵抗得過了。

七三一、還有對於一個微弱電流就能分解的物質，對於力量更強但和一定不易的電化分解的定律並不抵觸的電流，分解進行更易，也是當然應有的事。一切的事實，和我要想提出的理論，都指示着分解作用對於要通過的電流，有一種阻礙的力。要是分解電流的強度高，就容易抵抗得過這種阻力，要是強度低，就不容易抵抗得過。這個情形，和我們對於電的觀念，完全是一致的。

七三二、我在某處（六八二）曾經將鋅和稀硫酸的化學作用，區別成爲兩部分。其中對於鋅能够發生作用的，就在他的表面上將氫氣發生出來，其能發生出一種電力經由全體的電解質（在此爲水）中通過的，就由其中將氧氣吸出。但若發生的電流，不能自由通過，就辦不到。此時在

別的地方發生出來的氫氣，不在於鋅的表面上。電流就完全依賴這第二種的作用。但若電流因受着電解作用的好處，能夠通過，那一定就要使前一部分減少，後一部分增多。

七三三、因此可知在通常的電池中，假如使用普通的鋅，即以發生電流為其目的的本領，就要受到絕大的損失。試想有三盞士半的鋅，假如受到了正常的氧化，發生的電流，就足以使差不多有一盞士的水發生分解，約有二四〇〇立方英寸的氫氣發生出來，其損失之大當然不足為異了。這種損失，不僅電池組的極板連結着的時候，應和任何一塊鋅板表面上發生的氫氣分量成比例，就是極板未曾接連着的時候，發生的一切化學作用，也都包含在內。

七三四、據得拉里甫的指示，使用尋常的鋅時，此項損失，比使用純粹的金屬大得多。其原因如下，通常的鋅受到稀硫酸的作用時，其中或許含有的銅，鉛，鎳，以及其他的金屬，在其表面上游離出來。這些和鋅，又都有金屬的連結，所以成了一個很小規模，但卻強有力的電流循環。因此消耗去大部分的鋅，發生大量的氫氣。看去好像發生的氫氣，就出現於鋅的表面上，其實還是在這些雜金屬的表面上。這些不純的金屬，送回了好多的電到鋅上去，發生電流的力量，就減少好多。要不因為

這樣的減少，電流一定可以渡過酸，而達於遠處的銅板或鉛板上，方纔放電。這種銅板或鉛板，是和鋅板共同放在液內，預備造成一個電池而設的。

七三五、這種的障礙，都可以設法避免，只要使用鑿普（Kemp）所推薦的汞齊鋅，或使用斯忒準（五九八）的塗有汞齊的鋅板亦可。斯忒準自己提出這種使用法，同時對於用來造電池組，又曾表示過反對的意見。他說：『假如不是因為汞和鋅的混合物有一種脆性，以及其他的不便，那麼，在鋅表面上塗上汞齊，對於電池組，必將成爲一種最重要的進步。因爲這樣的金屬，既能耐久，又能長久保持着清潔的表面，有時甚至於繼續到數小時之久。這都是使用這種器械時的重要事項。』

七三六、照這樣製成的鋅，雖然不純粹，但卻不能夠使稀硫酸中的水，發生出可以感覺得到的分解，不過他對於氧氣的親和力，卻仍舊保持着。只要有銅或鉛等類親和力很少或完全沒有親和力的金屬，在酸內和他一行接觸，作用立即發生，接着就有強烈豐富的電流出現。或許是因爲水銀的流動性的緣故，所以將鋅板的表面變成一種均勻的狀態，將原來那種性質不同的處分防止

了的緣故，亦未可知。這些性質不同的處所，就是造成那些微小電流循環時萬離不了的（七三四）。假使在最初開始的時候，表面上有一點鋅和汞的成分，和別一點不同，那麼含有汞最少的那一點，最先受到作用，鋅溶解了少許分量以後，這一部份豈不就和別一點成爲完全同一的狀態。於是全表面都成了均勻的狀態，所以其上任何一部分都不能夠使其他的部分放電。所以他的表面，對於水作用的化學親和力，全都在同一的狀況（六八四）。雖然能夠發出一種電流，通過液體，而達於能夠用作放電體的其他的金屬板上（六八五）；但在他本身上面，並沒有不規則的處所，不至於一部分對於氧氣的親和力，會比別一部分特別弱，所以也就不能夠用其一部分來作成對於別一部分的放電器。由金屬的這個狀態，可以得到兩個非常重要的結果。第一是假使有一定分量的鋅受了氧化，就可以得到和他相當的全部的電。第二是用這種的鋅造成的電池組，使用稀硫酸後，只有兩電極連結着的時候，發生作用。只要連絡一斷，立即停止作用，或停止受硫酸的作用。

七三七、我有一個十對極板的電池組，就是使用這樣製好的鋅板造成的。我確信這樣的裝

置異常重要，尤其是在研究這個器械本身的原則，更爲重要。我使用的金屬是塗了汞齊的鋅和鉑，用鉑線焊起來，使他們連結，形式和杯子的頂一樣。使用的液體是比重等於一·二五的稀硫酸。除電極連接的時候以外，金屬上沒有作用發生。發生作用的時候，作用的分量，也只和實驗電池內的分解成比例。因爲假使電流在此處停滯不進，則在電池組裏面，也同樣的停滯，所以不致於白耗金屬。

七三八、 因有這個緣故，電池中的酸比較通常的特別經久得多。事實上決不因爲時間的經過，會使他的作用降低到我們感覺得到的程度。因爲金屬板既然保護着非到適當的時候不起作用，那麼，酸也是保持着他那最初的強度。所以比較使用尋常的鋅得到的作用，恆常得多。

七三九、 還有一個最優的點，就是在兩次實驗的中間，休息的時候，可以恢復到最初的最有效的狀態。當塗汞齊的鋅板和鉑板浸在稀硫酸中，最初接連的時候，電流最強；但經過了一瞬間後，力量便大爲減弱，有時簡直降低到只要最初產生的八分之一或十分之一的程度（七七二）。這是因爲和鋅接觸着的酸，受了生出來的氧化物的作用，而成了中和，所以應當接踵而來的迅速氧

化作用，受了窒礙，不能暢行的緣故。要是使用通常的鋅，那麼，在他表面上發生的氣體，總是要和全體的液體混合一起。因此一來，就攜帶着新的酸到鋅上去作用，於是氧化物遂能被酸移去。在使用塗汞齊的鋅板電池組內，每次電流停止，作用於鋅板的鹽類溶液，都漸次擴散到其餘的液體裏面去。所以當兩電極從新連結的時候，鋅板又成了最相宜的情況，足以發生容易而且很強烈的電流了。

七四〇、或許有人乍看起來，以為塗汞齊的鋅板，力量不及尋常的鋅。因為汞既然遍佈於其全表面，他的能量就不免要降低。但是事實上決不如此。當兩對的鉑板和鋅板的電流，互相對峙着的時候，這兩對金屬板中的鋅板，一方使用的是尋常的鋅，一方使用的是塗有汞齊的鋅。其中只有塗汞齊的鋅，發出來的電流最強，雖然沒有氣體在上面發生，可是在塗有汞齊的金屬上發生的氣體，卻很不少。又如德斐所示，若將塗汞齊的鋅和未塗汞齊的鋅，接觸起來，放在稀硫酸中，其他的激發液體內，前一塊對於後一塊成爲陽性。即是說，電流從塗有汞齊的鋅板流出，通過液體後，達於未塗汞齊的鋅上。他對於這個現象，是這樣的去解釋：「各種金屬之能具有電的特性，並非出於各

自生來的特殊的性質，乃是由於他的特殊的狀態。——即是由於集合的形式，適於發生化學變化。

七四一、可是塗汞齊的鋅，其優點並不由於這些原因，乃是和他接觸着的液體狀態，發生的很簡單的結果。因為沒有塗汞齊的鋅板，對於液體可以單獨的發生直接作用，而塗有汞齊的則不能。因而沒有塗汞齊的鋅，（因受他產生的氧化物的影響，）遂令和他相接觸的酸，很快的成爲中和。這樣一來，氧化作用，當然就受到阻礙。在塗有汞齊的鋅板上，發生的氧化物，經由自由的酸，立即移去，使他的新的金屬表面露出，無論何時都能够以其全部能量對水作用。他的優點就在於此（七七三）。

七四二、對於電池組的改良和應用，現今的情形和數年前完全相反，是很顯明的。從前是只知道去增加極板的數目，加厚酸的濃度，以及將全器的容積擴大。現今卻一變而成恢復他最初的簡單狀態，同時對於支配他的力和作用的原理，得到了許多很密切的知識和應用。現在只要使用十對的極板就可以發生分解的效應，（一五三，）在從前則非有五百對或一千對，決辦不到。按照在

前面建立成功的定律（一一六等）熔化了的氯化物與碘化物以及其他的化合物等，都可以分解。又使用前面所說的那些儀器（五二四，五四九等）可以收集得到一些生出來的物質，而不至於受到什麼損失。因為有這兩層關係，於是電池組遂成爲最有用並且最經濟的製造器械。因爲根據我們的理論，只要消耗三四倍當量的常見的物質，即是說鋅，就可以得到一個當量的稀有的物質。到現在爲止，一切的實際結果，也證明我們的這種期待，是很正確的。由這一點而論，我認爲使用鉛板或銀板來代替銅板，是很有利的。因爲使用銅時，往往由其溶液生出許多不好的影響。若果有銅沉澱在鋅上，鋅的電化本領即將大受損害。若使用鉛或銀，就可以將這些缺點，通通避開了（七八三）。

（ia） 電解質對於電解作用所表現的阻力及中間插入的物質，

七四三、我曾經用力所能及的最簡單的實驗（六二五，六四五）來指示過，在分解發生的處所，對於在誘發處作用的力，有一種阻力作用。我現在想對於這種阻力，作更普遍的檢查。可是就目前而論，與其對於他們的本性，作嚴格的學理的研究，到不如就實際上干涉電池組的作用和現

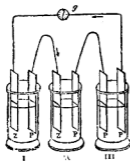
象，加以研究，較爲便當。普遍的主要的原因，是要抵抗的化學親和力的阻力。可是還有許多其他的情況，都和這些力有連帶的關係（七七〇，七七六等。）這些情形非得一一加以詳密的考察以後，不能得到一個正確的總說明。

七四四、在敘述這個實驗的時候，不必照着實際的形式，還要便當些。所以這兩種形式，都有預先說明的必要。將寬約四分之一英寸，長三英寸的鉛板，銅板，鋅板，以及其他金屬板，照着第四十八圖的樣式，用一條鉛線，焊在上面，使其成爲一對一對的，每一對中的兩板，或爲同種類的金屬，或不爲同種類的金屬。然後，放在第四十九



圖九十四第

圖所示的玻璃杯內，使其成爲伏脫的杯頂杯中的酸或其他的液體，不能浸着金屬板的全部，有時還插入一些玻璃小柱在兩板之間，免得他們彼此直接接觸。串聯的末端，使用單獨的一對金屬板來和電流計連結，或者和分解器連結（六三四，七〇三



圖十五第



圖八十四第

等，)或者雙方同時連結。若將第五十圖和五十一圖加以比較，後者可以代表前者，只不過是形式極簡單罷了。因為前者的玻璃杯 I II III 等，以及裏面的內容，都可以由後者的 I II III 等為其代表，前者的金屬板 P 和 2，也可以由後者的同樣的 P 和 2 來代表。事實上在此兩圖中唯一的不同，只不過是金屬和酸間的接觸表面的分量，前者大於後者一倍而已。

七四五、當上述的最末端的金屬板，如第五十圖，和電流計 \mathcal{G} 有金屬連



圖一十五第

結的時候，全體就成功了一個電池組，由兩對的鋅鉑板而成發出來的電流，不必需要別的化學親和力直接幫助，當其還未渡過 III 的電池以前，即是電流還未流通以前，就可以使水分解。這種水的分解，和電流的進行方向相反，為便利計，可以看成是在電池 III 內成為電極的兩塊鉑板表面上發生的，也可以看成是第五十一圖中將電池 II 和 III 隔開的那塊鉑板的兩方的表面上發生的。假如將這一塊鉑板抽去，這個電池組就成為由兩對金屬板和兩個電池而成。其配置的位置，最適宜於發生電流。所以將這塊板放在 x 的地點上，只要有分解的電流通過，一邊的表面有氧氣發生，他一

邊的表面有氫氣發生。所以這塊鉑板可以看成是因受到電流的電解作用後而起的水的分解所引起的一切障礙的原因。我常常稱這個鉑板為間隔板 (interposed plate)。

七四六、為圖使條件簡單起見，最初在各電池中都是使用稀硫酸，而以鉑板來作間隔板。這樣一來，造成的電流，開始時的強度，一定不變，由於鋅對於水的分解本領而定。分解的反抗力也是一定不變的。水的成分元素互相分離時，在間隔板上並沒有受到由電極而來的任何親和力或副作用的幫助，(四七九)完全是由板本身的本性，或周圍的液體發生的。

七四七、當使用單獨一對的鋅鉑板時，若照第五十二圖所示，插入一個鉑板作為間隔板，電流就完全停止。即是必得要有足以使水分解，而將其兩種成分元素發出來，電流，方能通得過去。這個結果和我們前面的見解，完全符合(六四五，六五二，七〇八)。因為全體的結果，由於電的誘發處和電解發生處的互相反對的力



圖二十五第

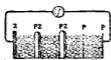
而定，而水又在電流未曾通過之前，就在這兩處發生分解，所以我們對於鋅，就不够希望他對於氫氣會有偌大的強烈引力，不特足以從結合着的氫氣，將他吸去，並且還有餘力，到達其次的分解處，

尙能發生第二次的水的分解。要發生這種期待中的效應，鉍和氧氣間的引力，在這種情況下，必得要有氧和氫間的引力的二倍，方足敷用。

七四八、就使用兩對的鉍鉍板來誘發電流，只要如第五十三圖所示，插入一個鉍的間隔板，實際上電流也就立即停止。雖然開始時還有一點很微弱的電流效應，可是不久立即完全停止。此外還有許多與此類似的效應，後面再為詳述（七五三）。

七四九、如照着第五十四圖所示，使用三對的鉍鉍板，由此發生的電流，就能够透過一塊鉍的間隔板，使電池IV內的水發生分解。電流繼續不絕的通過，可是電流計上的指針所起的連續不斷的偏轉角度，以及在電池IV裏面的電極上有氫氣和氧氣的氣泡發生，為之證明。由此可見三塊鉍塊使水分解的力量相加起來，就比氫和氧結合的力量大，所以也就足以使這兩種成分元素互相分離。

七五〇、其次插入兩塊鉍的間隔板，在三對的鉍鉍板而成的電池中間，



圖四十五第

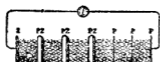


圖三十五第

如第五十五圖所示。這樣一來，電流又復停止。

七五一、其次再用四對的鋅鉛板來作實驗，如第五十六圖，其作用仍被兩塊鉛的間隔板停止。

七五二、其次再用五對的鋅鉛板和兩塊鉛的間隔板，如第五十七圖，結果發生很微弱的電流。此時的電流計上有永久的偏轉出現，在電池VI和VII裏

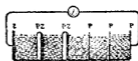


圖六十五第

面，也有分解發生。不過電流實在異常的微弱。假如將中間所有的板，全數抽去，只剩下兩極端的板，留在其中，此時所得的電流，都遠在本實驗所得的那種微弱電流之上。因為將他們就分離到彼此相隔有六英寸之遠，還是能够發生很強的電流。由此可見使用五對誘發電流的金屬板，和兩塊間隔板的時候所發生的電流，真不足以和單獨一對金屬板而沒有間隔板時所發生的電流，比較而論。



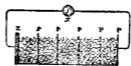
圖七十五第



圖五十五第

七五三、我曾說過使用兩對的鋅鉑板和一塊鉑的間隔板時，有很微弱的電流通過（七四八）。其實這樣的微弱電流，無論在任何情形下，都是免不掉的。就是在單獨一對的誘發電流的金屬板之間，插入四塊鉑的間隔板，如第五十八圖所示，仍舊還是有此項微弱的電流通過。在x處可以由碘化鉀溶液所受到的化學作用和電流計，將他檢出。這種電流，我相信是因為強度降低，不足以引起水的分解而來的（七〇五，七一九）。因為水對於強度如是其低的電，也具有和金屬木炭等共通的本領，將他傳導過去。可是對於強度太高的電，就非得要受分解，然後方能傳導。這樣一來，又得要受一種新的反抗力。對於強度這樣低的電流，或強度更在此下的電流，雖增多間隔板，好像也不會使傳導的困難，隨着增多。

七五四、為欲明瞭增加每一鉑板所生的窒礙本領，於是如第五十九圖所示，使用了六對的金屬板，和四塊的間隔板。此時也有很微弱的電流通過（七二〇，七五三）。將間隔板中的一塊抽出，此時只有三塊間隔板，即見通過的電流略強。若再抽去一塊，只剩下兩塊間隔板，通過的電流更



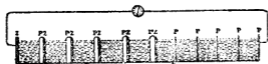
第五十八圖

強一些。若再抽去一塊，只剩下一塊間隔板，就可以得到相當的電流。但是這種插入間隔板時，所生的效應，每次各不相同，其間差別頗大，和我們預期的一樣。第一塊插進去時，阻止電流的力量，遠甚於第二塊，而第二塊又遠甚於第三塊，以下準此。

七五五、上面所說的這些實驗，曾經用過塗有汞齊的鋅板，和未塗過的，各各實驗過，其結果一般是相同的。

七五六、假如在各板間的液體的本性有了變動，無論是在誘發電池內，或在阻礙電池內，都足以使上面所說的阻礙效應完全變化。譬如誘發電池內的液體，仍舊使用稀硫酸，以便保持同一的誘發力，但將少許的硝酸加入阻礙電池內。這樣一來，電流的通過，就異常的方便。試舉一個實例來說，只用單獨一對的誘發金屬板，如第五十二圖所示（七四七），將一兩點滴硝酸加入電池II內，立刻就見有很強的電流流過。（但是不久由別的原因，就會降低下來。

（七七二，七七六。）就是使用若干塊的間隔板，照此加硝酸下去，也同樣的會使效應增加。



第九十五圖

七五七、這是因爲分解的水，並非將他的氫絕對的排斥逐去，如像前此的那些例中的一樣。乃是將氫傳到硝酸中的氧去，於是在陰極上發生出一種副結果來（四八七），因此減少了分解的困難。因爲照着我們已經達到了的電流和其作用的化學觀點而論（六四八），水對於分解所表現的反抗力，並不等於氧和氫間互相作用的引力的全部，還有一部分要受這個力的反抗作用。因爲在陰極處的氫，對於在其周圍的硝酸中的氧，有引力作用。最後這兩種遂化合起來，不能成爲自由的狀態，表現而出，所以力量因此減小。

七五八、若將少許的硝酸加到激發電流的電池內，對於電流的通過，也是很有利的。電流的強度本身加起來，成爲相當的強（六四一）。若再在誘發電流的電池和阻礙電池雙方都加上一些硝酸，電流的通過，更其自由。

七五九、使用鹽酸的時候，比使用純粹的稀硫酸，容易傳電流通過，但不及使用稀硝酸時那種的容易。因爲鹽酸看去比水容易分解（五〇〇），而鋅對於氫的親和力甚爲強烈，所以由他發生的電流，可以期望比使用稀硫酸時強烈。因受更低的強度，即可分解（六四七），所以傳電更其

容易。

七六〇、和這些間隔效應有關聯的事項，還有一件。即是電極的大小，以及各間隔板間在酸內的相互距離，都和這種效應沒有關係。除非是有真正能夠流過的電流存在，那麼，這些情形如有變化，對於電流的通過，也就有難有易了。試用第五十二圖的方法（七四七）拿一個間隔板和一對誘發電流的金屬板，來再作一次實驗。但將間隔板 P 取去，改用一條導線，或改用一塊面積很大的板，來代替（七四四），並且對於誘發電流的金屬板 2 和 P，也加以變更，有時也只使用兩條導線，有時又用很大的金屬板，儘管這樣種種的變動，結果仍舊和前述的完全相同。

七六一、爲要指示出距離的效應，於是再作一個實驗，如像第五十三圖所示的形狀。使用兩對誘發電流的金屬板和一塊間隔板（七四八），並須在第三電池中的兩板間的距離，可以增加到六英寸或八英寸，又可以縮短到只有一張吸水紙的厚。但在兩種實驗中，結果仍舊相同。當其接近時，中間只隔着一層吸水紙，其效應較之遠隔着的時候，並不見有感覺得到增加。所以在這個例子中，對於電流的主要的抵抗，和中間介在的電解質導體的分量，沒有關係，完全由於他的成分元素

對於電流強度的關係而定，或者由於電極物質和周圍液體的化學的本性而定。

七六二、要是使用硫酸，無論在那一個電池中，將他的濃度加強，也不會使其效應發生變化。在誘發電池中既不能發生更強的電流（六四三），也不能使發生的電流通過分解電池更其容易一些。但若在稀硫酸裏面，加上一兩滴硝酸，那麼，這兩種效應中的任何一種，都可以發生。像這樣的情形，誘發作用和傳導作用，都和酸本身有直接的關係，所以增加了他硝酸的強度，也就是增加了他的本領。

七六三、其次再變更間隔板的本性，去檢查間隔板和誘發現象或阻礙現象間的關係，第一步先用塗有汞齊的鋅板來代替鉛板。照着第六十圖所示，用一對的金屬板和一個間隔的鋅板發生的電流，頗為強烈，好像中間沒有這塊鋅板隔着的一樣。在電池II內，P上面有氫出現，在電池I內第二塊的鋅板的邊上，也有氫發生。可是在電池II內的鋅板的邊上，並不見有氣體出現，在電池I內的鋅板上也沒有。



圖一十六第



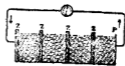
圖十六第

七六四、再如第六十一圖所示，使用兩塊塗有汞齊的鋅板來作間隔板，仍舊還是有強烈的電流通過，不過也有干涉發生。再用三塊間隔板，如第六十二圖所示，阻礙的程度更加甚，不過流過的電流也很不弱罷了。

七六五、如果將這種阻礙，看成是塗汞齊的鋅對於稀酸的不活動而來，而不活動又是由於表面上的汞的效應而來的結果，每一塊板，稍微受到了電

流的幫助，都有使水分解的傾向。在汞齊狀態中的鋅板，得不到這樣的幫助，所以對於通過其中的電流，也就沒有感得到的阻礙表現出來。只要使用兩塊或三塊的間隔板，而且是塗有汞齊的，來作實驗，就可以將我們這種期望證實出來。結果，電流通過，極其自由，好像中間並沒有這樣的間隔板一樣。他們不必需要電流，可以使水分解，所以不呈什麼抵抗。此時的電流，只能使一部分的力得到一定的方向，這些力是不管電流能否通過，都是要發生作用的。

七六六、其次再換銅板來作間隔板。最初好像沒有什麼阻礙，可是經過兩三分鐘以後，電流就差不多完全停止。這個效應，好像是出於表面變成了一種特殊的情形而來（七七六）因為成



圖二十六第

了這種特殊的情形，所以有發生一種反對方向的電流的傾向。假使將這些板中的一塊或數塊，翻轉過來，使用第五十圖的形式，就很容易辦到。一經翻轉，又有強烈的電流流過，可以繼續到兩三分鐘之久，然後又復停止。由此可見確有這種傾向。用鉛板和銅板放在稀硫酸內，造成的電池，不能維持兩三分鐘以上，就是因爲有這種特殊的反對效應使然。

七六七、由電解作用分離出來的物質，和其出現處表面間作用的親和力，有強有弱，甚至至於完全欠少。這種分解現象表示出來阻礙效應，都可以指示出一般的化學關係，和電流的來源，以及在誘發處和分解處的親和力的平衡狀態。這樣一來，所以將此兩者認爲同一的證據，又復增加。由他們可以證明在電動部作用的化學本領，和在間隔部上作用的化學本領，是互相反對的。他們指示出第一種發生電效應，而第二種則反抗這種電效應。他們將這兩種間的直接關係，表露出來。他們證明由其中任何一種，可以決定其餘的一種，好像說原因和結果，可以互相顛倒的一樣。由此可以證明化學作用和電作用，本是單獨的一個本領，只不過表現的方面，有兩種罷了（六五一等）。

七六八、若果電流的強度相當的低，那麼水以及其他的電解質，都能够將電傳導過去，而不

致受分解（七二一）已經是很明白了。這樣一來，我們說過的只要有電流，由電解質中通過，就要發生一定不易的分解效應，好像就不能對於一切情形都能使用了。可是在一定時期中，從電解質內通過而不引起電解的電量，實在太小，決不足以和一個極平常的電解所需的電量，以及在電解所要求的強度以上的電量，相提並論。我一直到現在，還沒有遇見過一個例，和在這個研究的一部分發展成功的一定不易的電解作用定律（五一八等）會有感覺得到的抵觸。

七六九、我在結束本論文的這一部分的研究以前，不能不提及得拉里甫對於間隔板效應所作的極重要的實驗〔註一〕。因為我對於這些金屬板，只認為是發生新分解的來源，因此只有使通過的電流受其阻礙，所以得拉里甫所說的那些奇怪的效應，也就沒有加以深究的必要了。並且目前還要竭力的避開這一方面，因為我同時不能不進入德麥對於同一這個問題所具的見解〔註二〕，此外還有馬立阿尼尼（Marianini）〔註三〕和立忒（Ritter）〔註四〕的見解也有關係。

註一 見 *Annales de Chimie* 第二十八卷第一九〇頁和 *Mémoires de Genève*。

註二 見 *Philosophical Transactions* 一八二六年第四一三頁。

註二 見 *Annales de Chimie* 第三十三卷第一一七、一一九頁。

註四 見 *Journal de Physique* 第五十七卷第三四九頁三五〇頁。

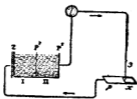
(V) 關於有效電池組的一般注意

七七〇、一個尋常的電池組發生了作用後，由他本身的作用，就可以發生一些效應，這些效應又反而作用於其上，於是遂使他的本領，受到很嚴重的毀損。就他發生的效應而言，因為這個緣故，不能得一定的分量，所以成爲一種極不正確的器械。這些效應中的一部分，已經是我們知道的，而且能够了解的。因爲他們的重要性，及許多一致的結果，都可以用前面敘述過的實驗和原理，解釋明白。所以我認爲在電池的這一部分的研究中，將他們簡單的注意一下，到是很有用處的。

七七一、當電池組發生作用後，令生成的物質，結在金屬板上，這些物質，使電池的本領，大爲減弱，甚而至於還會發生反對的電流。德斐認爲這個現象，大可用來解釋立忒的副電池，又可用來說明得拉里甫使用鉛間隔板時觀察得到的效應（註一）。

註一 見 *Philosophical Transactions* 一八二六卷第四一三頁。

七七二、我在前面曾經說過，這是可能的結果（七三九）。在有些例中，電流因此減少到只有最初的電流的八分之一乃至十分之一。還遇着一些例，減少的程度，更較此為大。有一次的實驗，如第六十三圖所示，使用單獨一對的金屬板和一塊間隔鉑，插在稀硫酸內連結用的導線的一端，如圖中3字所示處，可以任隨人意，或停在沒有碘化鉀溶液的紙片x上面，或直接就停在這裏的鉑板上。在電路未通以前，任其如是放着，經歷相當的時間之後，方將導線端3放在紙片上去，就見有電流流過，可由發生的分解和電流計指針的偏轉證實。假若將導線端3拿去和鉑板上的P點相接觸，就有比較更強的電流發生，使電流計的指針移動，但僅能維持一極短的時期。以後電流計上的效應，就完全停止。若再將線端3移到紙片上去，也完全沒有電解發生的徵兆。將導線端3提起，並使全電路切斷，暫時之後，又可以回復他原有的本領，不過須要經過五分鐘乃至十分鐘的期間罷了。經過此項時間之後，再照前使3和P相連，又有暫時的電流發生，一切的效應，也就立即停止。



圖三十六第

七七三、這個效應，我最後歸之於電池I內的鋅板上有一層薄的液膜接觸着的緣故。這一層膜中的酸，受到造成成功的氧化物的作用，立即成爲中和。因此鋅的氧化作用，就不能如前此容易進行。化學作用，因此被阻，電流作用，也就隨着減少。至於需要的時間，是要使液體能夠擴散，俾其他的酸能夠再來代替。用種種的金屬板來作實驗，對於單獨一對金屬板發生的這種影響，極其重大。很要有相當的注意方能避免。因此我頗疑這種干涉作用，發生的時候，必定很多，範圍也很廣泛，爲一般實驗的人注意所不能及，所以很要用一番心去注意他。

七七四、在考慮電池的這種不規則作用的來源的時候，應該知道只有和能受氧化的金屬接觸着的那一小部分，方和這種變化有關係。而且在金屬的表面上（三二八，三四一）這一小部分還並不是很容易就脫離下來的。尤其是金屬的表面極其粗糙而又很不規則的時候，更不容易。爲欲表明這一點，我要引用一個很顯著的實驗。將一塊磨光的鉑板（三〇五）放在熱的濃硫酸裏面去，只要一瞬間，就取出來放到蒸餾水中，在水裏動搖後，方取出拭乾。再放到第二部分的蒸餾水中去，仍在裏面盪搖數下，再取出拭乾。又再放到第三部分的蒸餾水中，動搖到八分鐘之久。然後取

出，不必拭乾，再放入第四部分的蒸餾水中，又在裏面放置五分鐘之久。最後兩部分的水，拿來檢查，是否有硫酸在內。其中第三部分並沒有含着這種物質，但是第四部分中，則不僅含有，並且還有不少的分量。這個結果，足以指出要使曾經和金屬直接接觸過的物質，完全離去，是怎樣的困難。在電池中的金屬板上，液體的接觸，既然又密切又完全，那麼，這一層液體變得來和電池中的一般的液體不同，是怎樣的快，怎樣的差別，也就容易想像得到。其結果對於電池的力量減少，更為當然的事項了。

七七五、在通常的電池中，這個效應的影響，程度有深有淺各不相同。將武拉斯吞製造的板，用二十對造成一個電池組，將其最末端連結到一個電量計上，如第二十六圖所示（四四六。）見本研究的第五部分，五分鐘後，即見有許多的氣泡，從玻璃管的極端發生。這是水起了分解而成的。不必移動金屬板，只要加入一根羽毛進去，在銅鋅間的酸就會受到很激烈的擾動，立刻就有多量的氣泡發生，其分量差不多有前此的二倍之多。在這個例中，很明顯的可以看出羽毛的作用，是一種很不完全的方式，使電池內的酸在金屬的表面上，恢復其最初的相等的狀況。儘管方式不完全，

可是也就能夠使電池的本領增加了一倍以上。一個電池組的最初效應，程度透出於此電池所能維持的作用以上，差不多完全出於酸和金屬板的這種接觸。

七七六、由於電池本身的作用，使其能力減弱的第二原因，就是金屬板的表面成爲一種異乎尋常的狀態（七〇四）。最初注意到這個效應的人，我信爲是立式（註二）。他認爲是他所說的副電池的本領。後來馬立阿尼尼作過很詳細的實驗，得拉里甫也同樣的研究過。假如使用第六十三圖所示的器械（七七二），任其發生作用一兩小時，使導線端3和金屬板P接觸，俾電流得以自由通過。其次雖然令接觸點脫離至十分鐘或十二分鐘之久，然後再使其接觸起來，仍舊只有很微弱的電流通過，和我們預期的，完全不能相比。並且若用一條導線將P¹和P²連結起來，就有很強烈的瞬時電流從P²流出，通過酸中，向P¹流去。所以他的方向，和在這套器械中由鋅的作用而生的電流，方向恰相反。此項電流既經發生之後，就經由全體中流過，也和最初的時候一樣。因爲這樣的流過之後，於是又使P²和P¹兩板，恢復了以前的反對的狀況。這就是立式，馬立阿尼尼以及得拉里甫等所說的事實。對於電池作用所定的反對影響很大，尤其是電池只用少數的極板組成，電流

又須通過多數的間隔物時，更爲顯著。效應的大小，則由於間隔板所在的溶液種類，電流的強度，電池的強弱，作用的時間等項而定。尤其是在實驗的當中，偶然不注意使金屬板互相接觸，或位置互相交換的時候，影響更大。隨時都注意着去追求他的來源強度，以及電流的變化。要避免這種效應，其法前面已曾說過（七七二等），即是在液體和鋅板接觸而起的效應還未發覺以前，先令金屬板 P^1 和 P^2 間的連結完成，以及由其他的注意，即可辦到。

註二 見 *Journal de Physique* 第五十七卷第三四九頁。

七七七、若是使用幾塊鉛板，如第五十八圖所示（七五三）和一個電池組連結，其電流足以通過其中，此時他們得到發生反對方向電流的本領，異常的強大。

七七八、在一個電池組的不同電瓶內，或不同的電池內，不能同時使用弱而乏疲的電荷，和強而新鮮的電液。在各個瓶內的液體，應該相同。否則在弱的瓶內的板，不能夠幫助強的瓶，使電流通過，反轉要使發生的電流減弱。各塊鋅板都應該要在電流通過鋅板和液體之間以前，能夠幫助使水分解。所以在一個由五十對金屬板集成的電池組內，要是有了十個瓶中的液體，比較其餘的

爲弱，結果就和用了十塊分解板來反抗由四十對金屬板發生的電流通過的情形相同（七六七）。因此要受到很重大的損失，並且若果從此中取去了十對，其餘的四十對發出來的電流，反轉還比五十對全部使用時，強大得多，其理由也就由此可以得知了。

七七九、試取五個同樣的電池組，每一組都有十對極板，其中的四組，用很好的均勻的酸來作電液。第五組則用一部分已經成了中和的酸，來作電液。將此五組，順序連結起來，並和一個電量計（四四六）相連。全體五十對極板，一共發生一·一立方英寸的氫和氧，於一分鐘之內。但若將結連的導線移去一條，使四組好的電液，在此電路中，對於同一的電量計，在同一時間內發生的氣體，當有八·四立方英寸之多。可見這四個電池組若果和第五組共同使用時，其發電的本領，差不多失去了八分之七。

七八〇、再將這個五十對極板的電池組，照着上面的實驗使用過，然後連結一個電量計（四四六），將連結用的導線，很迅速的移動，俾電池組全部的電流，或其一部分能够在一定的時期中，連續的由這個器械中流過。如是在半分鐘內，電池組全體發生的氫和氧，有〇·九立方英寸。

在同一時間內四十對的極板發生出來的，有四·六立方英寸。其次在半分鐘內，全體發生的氣體爲一立方英寸。而較弱的那十個電池，在同一的時間內，則發生〇·四立方英寸。最後在標準時間內，全體發出的氣體，爲一·一五立方英寸。實驗的次序，如上所述。由此結果，很足以表出在同一的電池組內，將強弱不同的電液混合時用時，發生的損壞效應。

七八一、 同一的道理，強弱不同的金屬板對，結合起來使用，也應該竭力的避去。如將銅板和鉛板的一對，和鋅板鉛板一對，放在稀硫酸中，使其方向相同，就可以看見後者的作用被停，甚至於兩對的後者，作用亦可以停止。其效應差不多和加上一塊間隔板一樣（七四七）。又好像銅的本身，是鉛一樣。事實上的確成了一塊間隔的分解板，所以結果不能成爲幫助的一對板，反轉成爲阻礙的。

七八二、 電池組內的極板，假使偶然或因爲別的緣故，交換了位置，就要發生很重的損壞。這不僅是因爲極板反轉了，就受到電流的反抗作用，甚而至於就是一對無有關係的板，也有阻礙的效應。在電流通過以前，必須要有分解，發生於其表面上，和電流的方向相符。所以這種反轉過的極

板，第一和間隔鉛板的作用一樣（七四七——七五四）反抗電流的通過。並且還在其上，加上一層反對的力成爲一對反對電流的極板。用四對鋅鉛板串聯起來，放在稀硫酸內，假如其中有一對的方向倒轉了，結果全體的本領，差不多都成了中和的狀態。

七八三、電池裏面，還有許多反應的阻礙，和不規則的原因。其中有一種異乎尋常的原因，就是在電池中，銅沉澱於鋅板的上面，這種損壞，曾在前面說過（七四二）這種問題，雖然也自有其興趣，不過本篇的篇幅業已過長，目的原在研究電池的理論，所以對於此類特殊的實用問題不容再佔篇幅。

附註——我的實驗研究的這一部分內發表的見解和實驗，有許多可以看成是本研究的第三部分和第五部分中發展成功的電化分解理論的訂正和擴充。我現在要變動的地方，就是關於生成的元素，和電極無關的事項，以及成分元素的發生，完全由於內部的本領（二六〇，二七三，九七）的說法。現在這一篇論文，可以將我現在的見解表出，詳見六二六，六三九，六四五，六五二，六五三，六八二，六九八，七四三，七六七等各條，茲不再贅。我希望這個附註，足以被認爲現在的訂正。因

爲我對於現在考慮着的這種本領，何以有時又像和物質粒子接合着的一樣，這種物質粒子就是使他們具有化學引力的東西，有時又像似自由的電量（二二九，六九二）還沒有得到很明確的觀念。所以我對於電化分解的理論的全體，只好暫時擱下，不欲卽行校正。——法拉第。

一八三四年三月三十一日

第七章 (註二)

第十節 電池中的本領的來源

(i) 誘發電解質等是熱電流和微弱電流的導體。(ii) 含有一種電解質在內的不起作用的導體循環。

(iii) 由硫化鉀等類溶液誘起作用的循環。

第九節 電池中的本領的來源

七八四、電池內的本領，究由何處而來？這個問題在現在的電學理論及其發展上，成爲最重要的一個問題。對於這個問題的見解種種不一。其中最重要的見解有二：一認本領的來源出於接觸；一認其出於化學作用。這兩種見解之間，問題實涉及電作用的原理。因爲這兩種見解，互相對立，

致令採取這兩種見解的人，受其束縛，對於一切電池現象所依據的作用的本性，無論就那一點而論，都不能不彼此互相對立，各不相同。

註一 此章係法拉第電學實驗研究全集中的第十六類，載在原書第二卷第十八頁。

七八五、主張來源出於接觸的，是伏特的理論，就是發明電池的人。自從他提出以後，就有不少的學者，維護着這種學說。現今此輩學者中，有普法夫 (Pflü) 馬立阿尼尼 費希奈爾 (Fechner) 贊波尼 (Zamboni) 馬退烏奇 (Martencoi) 卡斯騰 (Karsten) 部沙達 (Bouchardat) 等。至於涉及此項本領的激發問題，就是德斐也在其內。差不多這一方面的泰斗都在其內。主張化學作用的人，最初提倡的是法布洛泥 (Fabroni) [註1]，武拉斯吞 [註1]，和帕洛 (Parrot) [註5]。其後更經厄斯忒德 (Ersted)，柏克勒爾，得拉里甫，立契浦耶 (Pouillet)，申拜因 (Schönbein)，和許多的學者，略加改良。其中應持筆大書的，即是柏克勒爾，貢獻了不少的有力的實驗證據，證明化學作用能够生電 [註5]。還有得拉里甫的見解，是最明瞭而且最堅持此說，從一八二七年一直到現在 [註6]，始終不懈的，供給出許多的事實和議論。

註二 時在紀元後一七九二年及一七九九年。見 *Beccarel's Traite de l'Electricité* 第一卷第八一
九一頁，及 *Nicholson's quarto Journal* 第三卷第三〇八頁，第四卷第一二〇頁，或 *Journal de
Physique* 第六卷第三四八頁。

註三 時爲紀元後一八〇一年。見 *Philosophical Transactions* 一八〇一年第四二七頁。

註四 時爲紀元後一八〇一年。見 *Annales de Chimie* 一八二九年第四十二卷第四五頁，又一八三一年第
四十六卷第三六一頁。

註五 時爲紀元後一八二四年以後。見 *Annales de Chimie* 一八二四年第二十五卷第四〇五頁；又一八二
七年第三十五卷第一一三頁；又一八三一年第四十六卷第二六五頁，第二六七頁，第三三七頁；又第四十
七卷第一一三頁；又第四十九卷第一三二頁。

註六 見前註一八二八年第三十七卷第二二五頁；又第三十九卷第二九七頁，又一八三六年第六十二卷第一
四七頁。或見 *Mémoires de Genève* 一八二九年第四卷第二八五頁，又一八三二年第六卷第一四九
頁；又一八三五年第七卷。

七八六、用一定不易的電化作用的結果，來檢查這個問題，我不能不加入那些信電池本領出於化學作用的人（六一〇，七〇〇）曾經在一八三四年四月（六一〇等）（註七），大膽的提出了一篇論文，發表這個意見，博得馬立阿尼尼（註八）特別的注意。因為這位學者的身分，因為費希奈爾（註九）的觀察，因為知道接觸在意大利和德國的大部分，還很有勢力，於是遂使我不得不對於這個問題，再詳細的重行加以檢查。我不單是希望能免於錯誤，並且我自己實在也急於要知道接觸說的真相。因為假使有了接觸的電動力，那麼就他所能發生的現象而論，他的本領，不僅和其他的天然的本領的不同，並且還沒有限制，沒有一定的作用，沒有一定不易的發生物（一〇五三）。

註七 見 *Philosophical Transactions* 一八三四年第四二五頁。

註八 見 *Mémoire della Società Italiana in Modena* 一八三七年第二十一卷第二〇五頁。

註九 見 *Philosophical Magazine* 一八三八年第十三卷第二〇五頁。或 *Poggendorff's Annalen* 第四

十二卷第四八一頁。費希奈爾又參考普法夫對於我的論文的答辯，我很引為遺憾，我不懂得德文。

七八七、我希望這樣收集起來的這些實驗和議論的結果，對於科學有所裨益。只恐怕他的

詳細情形過於繁瑣罷了，不過這是一種自然的結果，無法避免得掉的。接觸說自古以來，就深得人心，又有一大部分的學術界泰斗，爲之維護。在歐羅巴的有些地方，多年以來，就具有很大的勢力，認爲是無可容疑的問題了。假使他是一種錯誤，這個錯誤的根源，就非得要有多數的強有力的實驗證據不能除去。得拉里甫的那些論文，還不足够使研究這個問題的人，完全明白這一層。我所以認爲在他的那些證據以及別人的證據之上，還有再加上一些我的更進一步的證據的必要，並且內容的詳細，事實的豐富，比較通常宣佈一個科學上的新真理的所要求的，不知要更多若干倍，其理由即在於此（一〇〇五）。因此有許多地方，我只須將其他的學者，尤其是得拉里甫曾經做過的工作，加以擴大，並且很希望這樣一來，能够使其力量加強。

七八八、如能將對於接觸的各種不同的意見，先行說出，好像這個問題，容易明白一些。第一先說伏特的理論。他認爲導電體只須接觸一下，就可以在接觸處發生電，並不因此使接觸的物質的本性，起什麼變化。還有水和種種的水溶液，雖然也是導體，也具有此項性質，可是他們具有這種性質的程度，實在太低，和在金屬間發生出來的（註一〇）比較起來，沒有考慮的價值。現今意大利和

德意志方面主張接觸說的學者，我相信大致也是這樣的見解。只不過間或有一些，認為不完全導體和金屬接觸，也是很重要的，所以也將他增加進去罷了。贊波尼在一八三七年的時候，認為金屬的接觸，是最強的電源，而金屬和液體的接觸，則不能算最強（註一〇）。可是卡斯騰的意見，則與此相反，認為電力的傳達，是出於液體和固體金屬的接觸（註一一）。馬立阿尼尼所主張的，也是這個原理，但加上一層說實際的接觸，並不真正需要，只要兩塊種類不同的導體之間，有了空氣隔着其間的距離，不過一條線的粗細的一萬分之一，就足以使兩者發生效應，引起這種誘發力出來（註一二）。

註一〇 見 *Annales de Chimie* 一八〇二年第四十卷第二二五頁。

註一一 見 *Bibliothèque Universelle* 一八三六年第五卷第三八七頁；又一八三七年第八卷第一八九頁。

註一二 見 *L'Institut* 第一五〇號。

註一三 見 *Mem. della Soc. Ital. in Modena* 一八三七年第二十一卷第二三三頁至二三七頁。

七八九、得拉里甫與此正相反對，主張單純的嚴格的化學作用，在我知道的範圍內，他決不容認，有不依據不連帶着完全化學效應而能發生的電流。還有柏克勒爾說的話，雖然異常的謹慎，

但仍不免露出承認化學引力，可以發生電流。只要抵抗電流的內聚力，不十分強大，互相的結合，就此完結（註一四）。申拜因也說過，電流可由於化學作用的傾向而生，即是凡具有化學結合的傾向的物質，都能够發生電流。這種傾向，並不一定有實際的物質的化合繼之而起（註一五）。在這些情形下，所指的力和伏特所說的接觸而來的力一樣。只要是發生電流的期間中，有此項作用的物質，沒有發生別的變動。德斐的意見，則以爲這種接觸，和伏特的接觸一樣，誘起了這種電流，或者是電流的原因，不過化學作用，卻是供給電流的來源。在我本身的意見，現在是和德拉里甫的意見相一致的。不認爲單獨的接觸，能够在電池中誘發電流，只不過是一種完全的化學作用的預備，也就止於如此。

註一四 見 *Annales de Chimie* 一八三五年第四十卷第一七一頁，及 *Traité de l'Electricité* 第一卷第二五三頁，第二五八頁。

註一五 見 *Philosophical Magazine* 一八三八年第十二卷第二二七頁，第三一一頁，第三一四頁；又見

Bibliothèque Universelle 第十四卷第一五五頁及第三九五頁。

七九〇、接觸說像這樣變動不定，可以說是漸漸的由一種逐次轉變成爲另一種，甚而至於擴充到收容了化學作用在內的程度。不過在我看去，總覺得這兩極端的學說，無論在任何形式之中，都是不能並立的。其理由如下：在接觸說的一方面的假定是說兩種不同的導電體，互相接觸時，在其接觸點上，有一種力發生。因爲有了這種力的作用，所以第一種物質，能夠將他本來含有的電的一部分，交付與第二種的物質，而第二種物質取得了這一部分的電後，就加入他本來所有的以內。又假定說儘管這種接觸點，能够彼此交換電量，但卻不能夠保留着因接觸而發生的電荷，必須各各向着在他們後面的物質放電（一〇五五）。又假定說：引誘粒子使其在接觸處取得一種新狀態的這種力，不能夠使他們將這種狀態，永久維持下去（一〇五七）。又假定說：以上所說的種種事項的發生，決不使接觸着的部分，受到永久的變化，和他們的化學力，完全沒有關係（一〇五三，一〇五七）。

七九一、在化學作用說一方面，是假定說：在發生作用處互相接觸着的物質粒子，相互間可以發生化學作用，並且在這種環境中，能够將作用中的力，或多或少，放出來使其成爲一種動力學

的形式（六八二，七三二。）又假定說：在頂好的環境中，全部都可以轉換成爲這種動力學的形式（七三六。）又假定說：既然如此，所以發生出來的電流的力量，和原本使用了的化學力，應當正確的相等。又假定說：除卻消費相等的化學力而外，無論如何（就在電池內，）也不能使電流發生。

七九二、我對於這個問題，要去重行檢查的動機，由於馬立阿尼尼的那篇論文（註一六。）但是我所取的徑路，不足以解決特殊的反對意見，只對於我自己是認爲很滿意的。關於論爭的一點，完全取公開的態度，無論那一種學說，都同樣的預備接受。所以他的這篇論文，不成爲反對的議論，而是包含着更進一層的事實和證據，用來可以證明得拉里甫的見解，是正當的。馬立阿尼尼所引的例，都有很多的趣味，只要有一天能夠得到強度和力的量的數字上的結果，他所提出來的那些反對的問題，都可以解決。但是在我想去，他那些反對問題，全都是應該要討論的，由於量的變化而生，對於普遍的問題，不會有十分嚴重的影響。譬如這位學者引的一個數字的結果，是由於兩種金屬，有液體在他們反對的極端，能够造成反對的電流時而得，他將這個差異，認爲是金屬接觸的效應，不問電路或通或斷。在我看去，可以用關於反對電流已經有一部分知道了的事實，來將這個效應

說明。經我的實驗，當金屬接觸在電路中的時候發生的差異，和他一樣的大，並且有時比他的還大，都在前面的論文中舉出過（七八二）。所以在他的雜記第二一三頁處，我不能夠承認。發生的效應，會等於 b 和 d 的差。因為在 b 和 d 處，對於被誘發的電流所呈的抵抗，僅屬於不良導體。在處則不然，其反對的力量，出於在反對方向作用的電流的本領。

註一六 見 *Mémoires della Società Italiana in Modena* 一八二七年第二十一卷第二〇五頁。

七九三、 至於在他的雜記中，關於磁化物溶液的作用的那一部分（註一七），可以參考後來所作的那些研究。我同這位意大利的學者，完全不同，鐵和金或和鉑，在硫化鉀的溶液內時，我發見鐵對於他們不能成爲陽性（註一八），反而成爲很強的陰性，其理由後面再爲詳述（一〇三七）。

七九四、 關於接觸前有電花發生的原因，也有議論（註一九）。馬立阿尼承認有這種電花，我卻完全放棄。雅科俾（Taglioli）的論文（註二〇），使我知道我對於金屬接觸之前有張力狀態存在的那個證明（六五〇，六九一）是錯了。所以我現在除卻將我的觀察撤回而外，別無他法。

註一七 見同書第二一七頁。

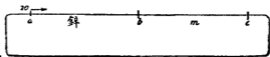
註一八 見同書第二一七頁。

註一九 見同書第二二五頁。

註二〇 見 *Philosophical Magazine* 一八三八年第十三卷第四〇一頁。

七九五、與其去說這些特殊的辯論，或去說本領既弱，性質又饒有可疑的，那些爭論，到不如去說一般的議論。因為我自始就有一種感想，認為我們要緊說明的，不是微弱的效應，不是微弱的現象，而是這些本領極大的力。所以指定的原因，對於發生的效應，在強度和分量上，都有相當的部分關係着。

七九六、一切的研究，都使用電流和電流計幫助。因為這種器械和這種方針，對於檢查電池中的電，要算是最適當的。靜電計是一種最重要的器械，誰也不會懷疑，可是誰使用這種器械，對於他的結果，是否安全，是否精密，很難能夠自己保持一致。並且就退一步說，將靜電計所能辦到的那兩三種指示，認為是正常的，但也嫌太過於普遍了。究竟電池中激發電流的力，出於接觸或出於化學作用，還是不能夠決定。要將這個器械，用得



圖四十六第

密切一點，使其能够在這兩種學說中，決定出一種來，必須先要造成一個接觸表，或接觸效應表。將各種不同的金屬，以及造成一個電池時所須要的液體，一對對的排列入內（八五六）並且還要在表中，將接觸而生的力的大小和方向也都要列出。

七九七、維護接觸說的人，假定說：金屬雖然在其接觸點上，有很強的電動力相互作用，可是這些力在電路上，無論在任何的器械之中，總是互相平衡的，所以沒有電流發生。所以在第六十四圖上，若銅和鋅的接觸力為十 \rightarrow ，加入一個第三的金屬在m處，不管他是一種什麼金屬，假定他在b和c點，與鋅和銅接觸，其效應必定是在反對方向上的一個力，大小等於十。譬如他是鉀，他在b點的接觸力或許是五 \rightarrow ，但在c點的接觸力，就得要成 \leftarrow 十五，又譬如他是金，其在b點的接觸力，或許是 \leftarrow 十九，但在c點的接觸力，就得要成爲九 \rightarrow 。這是一個很大的一個假說，只要有必要，是可以和事實符合的。儘管這樣，我從沒有得到過任何的數據，和問題中的這個學說，完全沒有關係，足以作其證明。所以我仍舊只認他不過是一種假說罷了。

七九八、同時在另外的一方面，又假定含有水的物質，即是液態的導體，也就是我所謂的電

解質（四〇〇，五五八，六五六）和金屬接觸的時候，在接觸點上，沒有接觸力互相作用。即令有這樣的本領，但也和金屬的接觸，大不相同。在金屬的接觸時，全電路上的接觸力，互相抵償，或互相中和的定律，對於液體和金屬接觸時，就不能夠適用（七九七）。可是我覺得這仍舊是假說，並沒有什麼獨立性的量度或事實（七九六）可以用來維護此說。只不過是這個學說的本身如此而已。

七九九、根據這一層意思，要想將一個有作用的電循環，究竟受到接觸的什麼影響，受到化學作用的什麼影響，確定出來，於是遂着手在上面所說的這一類物質（七九八）中，去努力的尋覓，要對於使用的金屬沒有化學作用，俾將電流的原因除外，但卻同時要是很好的導體，只要這些金屬互相接觸，或是和液體接觸，有少許的電流發生，就能夠表示出來方能適用。最後認為能夠傳導由單獨一對的鋅鎘板而來的熱電流的電解質，恰好適於此項目的，蒐求的結果，幸而不久就居然得到。

(i) 誘發電解質是熱電流和微弱電流的導體

八〇〇、硫化鉀——這種物質以及其溶液的準備方法如下。將等量的苛性鉀和硫黃，混和後放在燒瓶內，徐徐加熱，一直到全體熔化成爲化合物爲止，剩餘的硫，即開始昇華。然後令其冷卻，溶解於水中，俾成爲濃厚的水溶液，靜靜放置若干時間後，即成爲完全清淨的液體。

八〇一、將這種溶液的一部，插入含有電流計和一對銻鋇板的電路中，另用兩條鉛導線，各條長約二英寸，寬約半英寸，和電解質連結。差不多全部都在其內，相互隔着的距離約一英寸。當電路完成以後，假如各部分都是同一的溫度，沒有電流流過。但若銻和鋇的接口或者受熱，或者受冷，立刻就有與之相應的熱電流發生，使電流計上的指針，發生永久的偏轉，有時竟達於八十度的偏轉角度。甚至於只要用手指去和則貝克 (Seebeck) 的這個熱電偶觸接一下，由這一點的微弱溫度差，也可以有時候發生可以感得到的電流，從電解質中通過。假如不使用銻鋇，而使用平常的銅線和鉛線，或鐵線和鉛線，就得要使用酒精燈來加熱於其接頭，於是也就立刻有熱電流在電路中流過。

八〇二、這樣看來，電解質確實具有高度的導電本領，完全能夠滿足我們的需要（七九九）。

關於此點，性質特別的顯著，我曾經使用一個單獨的貝克熱電偶，陸續通過了五個部分，彼此之間是用鉛板來連結着的。

八〇三、亞硝酸——黃色的亞硝酸酐，可由乾燥的硝酸鉛蒸餾而得。將這種物質放在一個玻璃管內，插入電路中，電路內含有銻鉍的熱電偶和一個電流計，並不見有熱電流由其中流過。縱令浸在液體中的極板，每一塊都由四英寸長相當的厚的鉛導線而成，相互間的距離，還不及四分之一英寸，仍舊沒有熱電流發生。

八〇四、取這種酸和差不多等量的水混合起來。其作用的結果，能够使溫度降低，發生一些亞硝酸氣，造成一些硝酸，發生出一種暗綠色的液體。這是一種傳導本領異常大的導電體，差不多的微弱電流，都可以通過。只要鉛線有八分之一英寸長，浸在這種酸裏，由貝克熱電偶發生的電流，就可以感覺得到。假如有兩英寸的長，浸在液內，傳導的性質更甚。不管鉛線在液內相互間的距離，差不多近到可以接觸的程度，或是相隔有四分之一英寸的遠，在電流計上，都表示不出絲毫的差別出來（註一）。

八〇五、**硝酸**——取若干的硝酸，加熱煮沸，將一切的亞硝酸氣逐盡，然後令其冷卻。用鉛板將此物質導入電路中（八〇一），就可以知道其導電的本領甚不佳，就是使用鎘鎳熱電偶，其接頭的温度差，到得最高的程度，由電流計上，仍舊不能將發生的效應表現出來。

八〇六、換用由別種方法提得的純粹的淡黃色的酸，結果比較前一種的傳導電流的本領，略微好些。再換用紅色的硝酸，對於熱電流的傳導，極其良好。再將少許綠色的亞硝酸（八〇四）加到無色的硝酸內去，混合的結果，可以得到很高度的傳導本領。由此可見純粹的硝酸，並不是良導體，但若其中含有些亞硝酸在內（或許還有水共同存在），就成為電解質中程度很高的傳導本領（註二）。很濃厚的紅色硝酸，和很稀薄的綠色的酸（由一容積的濃硝酸與二容積的水合成，由電池組中的鉛質陰極的作用而成綠色），都是很良的導電體。縱令使用鉛板將這種部分，繼續連結至五個之多，熱電流仍能通過，一點也不會受阻礙。我相信就有二十個的阻礙，也不會使這種微弱的電流停止。

註一 得拉里甫曾經指出電流在鉑和亞硝酸間，很容易的通過。——見 *Annales de Chimie* 一八二八年第

註二 申拜因對於硝酸和亞硝酸的實驗，或許和這個問題有相當的關係——見 *Bibliothèque Universelle*

一八一七年第十卷第四〇六頁。

八〇七、**硫酸**——濃厚的硫酸，放在鉛製的電極之間（八〇一），能够傳導由銻銻而生的熱電流，此項傳導雖然可以感覺得到，但卻也很微弱。由兩容積酸一容積水混和而成的液體，傳導本領更佳，但仍不及前面所說那兩種電解質（八〇二，八〇四）。由一容積的硫酸和兩容積的硫酸銅的飽和溶液混合而成的物質，對於這種微弱的電流，傳導本領極佳。

八〇八、**苛性鉀**——苛性鉀的濃溶液在鉛板間也能傳導熱電流，雖然可以察見，但也很微弱。我在這裏還要隨敘述一些其他的結果，和物質的傳導本領有關係，在現在這個研究中，也是很需要的。方鉛礦（Galena），黃色的硫化鐵，含砷硫化鐵，天然出產的硫化鐵或硫化銅，天然出產的灰色硫化銅，硫化銻，鐵，氧化鐵的小粒，受熱而成的氧化鐵，或鱗狀的氧化鐵等，都很能够傳導熱電流。天然出產的過氧化錳，和過氧化鉛，也能相當的傳導，但程度並不甚高。

八〇九、下列的一些物質，在有些方面上說起來，本性和成分都有些相類似，他們的接觸表面不十分大的時候，都不能夠傳導這種微弱的電流。即是人造的灰色硫化錫，方硫錳礦，硃砂，赤鐵礦，厄爾巴鐵礦，天然出產的磁性氧化鐵，天然出產的過氧化錫或錫石，錳礦，熔化了的或冷的低級氧化銅，過氧化汞等。

八一〇、前面所舉的那些物質中，有許多的傳導本領異常的顯著。在硫化鉀溶液內（八〇一）和在亞硝酸內（八〇四）傳導本領之大，即由於此。過氧化錳和過氧化鉛也還有很顯著的傳導本領。因為這些金屬的低級氧化物，對於微弱的熱電流，固不傳導，就是由電池組而來的很強烈的電流，也不傳導。這種情形，使我特別不能放心，要去檢查過氧化鉛。我於是利用硝酸的作用，從紅鉛去製造。將褐色的氧化物煮沸，在幾部分的蒸餾水內，若干日後，一直到完全沒有硝酸和硝酸鉛的痕跡為止，即行得到。其後即成爲乾燥的。這些粉末的堆中，各細粒間的相互接觸，當然很不完全，可是拿來放在兩塊鉛板之間，使其壓緊，插入電路中去（八〇一），電流仍舊很容易通過。

(ii) 含有一種液體或電解質在內的不起作用的導體的循環

八一 得拉里甫已經引用過一個例說使用苛性鉀和鉑可以表示出沒有化學作用的時候，就沒有電流發生（註二）。我現在的目的，就是要增多這樣的實例。還要使用苛性鉀以外的液體而又善於傳導微弱電流的。又使用濃厚的溶液和稀薄的溶液。這樣去將實驗上和理論上的聯合着的實驗，蒐集起來，以求這個問題的最後的解決。

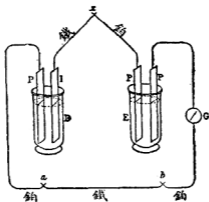
註一 見 *Philosophical Magazine* 一八三七年第九卷第二七五頁。

八一 二、我第一先使用硫化鉀來作電解質，他的導電本領很大，可是同鐵和鉑一起插入電路中時，不會有化學作用發生（七九九）實驗時的佈置如第六十五圖，其中的 D 和 E 表示兩個玻璃試驗管，內中盛着硫化鉀的濃溶液（八〇〇）另外還有四塊金屬板，寬約半英寸，浸在液內的長約二英寸，其中的三塊如 P P P 爲鉑板，一塊用記號 I 表出，爲鐵板。照圖中所示，用鐵線和鉑線，將這些板連結起來，並加入一個電流計 G 在電路中。在這樣佈置成功的電路內，一共有三個金屬的接觸點，由鉑和鐵的接觸而成，即圖中 A, b 和 x 的三處。最初的兩個接觸點，方向彼此反對，可以看成相互作用的力，彼此互相中和。可是第三個接觸點，對於任何其他的接觸點，都不成反對。所以

大可用來和 a b 兩者之中任何一個相配。只要有溫度的不同，就有差別發生。又可以和其本身比較，當其受熱或受冷的時候（八一八）。假如其間導入任何具有化學作用的物體，又可以比較其和化學作用的力的差別（八一九）。

八一三、當上面所述的佈置，結連成功之後，絕對沒有電流由其中通過，電流計的指針，就停止在零位上。可是全電路對於任何微弱的電流，都是門戶開放着的，可以任其通過。在 a b x 的三個接觸點上，任何一點只要有溫度差別，都可以發生與之相應的熱電流，立刻作用於電流計，使其指針永久停止在三十度或四十度，甚而有時竟停在五十度的位置上。

八一四、但若得到適當的和正常的狀態，必得要對於若干特殊處，加以注意。假如除開將鐵板和鉑板浸在 D 杯中而外，各部分的電路，都是完全的時候，第一應當注意的事項，就是將其浸



圖五十六第

入杯內的時候，立即有電流發生，從鉑板（此時的鉑板成爲陽性）通過溶液內向鐵流去。而且這種電流可以繼續至五分鐘乃至十分鐘之久。假如鐵板揩拭的時候，未曾注意，或許還會繼續到數小時之久。此項效應，由於硫化物溶液對於氧化鐵的作用而來，和金屬的鐵，並沒有任何的關係。等到此項電流停止以後，妨礙的原因，也就可以看成已經完盡了。關於這樣說明，也有實驗的證據，後面再說（一〇三七）。

八一五、第二種應注意的事項，是由於無意中使溶液內的金屬板動搖一下而生的效應。設若將兩塊鉑板，放進硫化鉀的溶液中去，然後使電路完成，並插入一個電流計。這樣佈置成功以後，就可以看見沒有電流通過。但若將其中的一板提出，在空氣中經過兩三秒鐘後，再放進溶液內去，這塊板對於未提出的那一塊，就成爲陰性，於是發生一種電流，可以維持短時間（註二）。假如這兩塊金屬板是鐵和鉑，或其他任何金屬，或任何物質，對於硫化物沒有作用時，都能够發生同樣的效應。在這些例中發生的電流，乃空氣對於粘在提出來的那塊板上的硫化物溶液薄膜，引起的變化，發生出來的（註三）。就是程度遠不及此的原因，也可以發生電流。譬如將一塊鉑板提起，洗淨後，再

使其乾燥，甚而至於加熱燒過，然後再導入液內，仍舊表示其為陰性，可以繼續至一兩秒鐘之久。

註二 馬立阿尼尼將浸在硝酸中的一塊或兩塊金屬板，露到空氣中，就可以觀察得到這樣的效應。——見 *Annales de Chimie* 1830年第四十五卷第四二頁。

註三 柏克勒爾很早以前就將浸在某種溶液中的板露出時表現的效應，歸之於空氣。一般這些板露出後再返

溶液內時，都變成陽性。——見 *Annales de Chimie* 1824年第二十五卷第四〇五頁。

八一六、因為使用的溶液，導電本領程度甚高，所以在這些實驗中，大部分都免不了有上述的那些妨礙的原因存在，有時還有其他別的妨礙原因。但若避免這種金屬板在溶液中的動搖，也就不會受到妨礙。如是就和前面所說的一樣，全體成爲正當的完全不起作用的狀態了。

八一七、現在還有一種實驗的佈置方法，在鉑和鐵的接觸點 x 上，能够任意的發生任何的效應，經由這種接觸點，都可以傳導過去，使用的結果，仍舊什麼也沒有。這並非電解質不良於傳導，所以由接觸而來的電流不能通過。因爲較此更爲微弱而且遠不及此的電流，我們都假定他很容易的能夠通過（八〇一），並且使用的電解質，傳導的本領，又遠在通常電池內所用的溶液之上。

電池中的電流，不是仍舊假定是由接觸而生的嗎？由這個實驗得到唯一的結論，就是我認為鐵和鉑的接觸，完全沒有些微的電動力（八二三，八四七，八七七。）

八一八、若果接觸完全，能够真正發生效力，根據貝克的發見，只要有一部分的溫度和電路中的其他部分不同，就可以見到確有電流發生（八一二。）這一點我們很可以利用來比較我們現在所想像的單純的接觸和熱電的接觸。結果發見後者比前者之大，直無邊際可言。相形之下，由前者而來的，直可以說等於零。對於這種單純的接觸，和熱電的接觸，還有一種比較的方法。就是將接觸點。在通常溫度時的效應，和接觸點 a 或 b 受熱時或受冷時所發生的效應，拿來對照一下，即得。在這些地方的溫度，只須適中的變化，就有和他相應的電流發生，可是單純在 x 處的接觸則否。

八一九、所以我相信在 x 處，可以將假定的單純接觸的效應和化學作用的效應間的差別，真實的比較出來。甚至於從理論上，從嚴格上，加以比較，也都辦得到。假如金屬在 x 處分離開來，將一塊浸有稀薄酸類或鹽類溶液的紙片，放在此處；或者就用舌尖，或濕的手指，放在這裏，也都可以。

立刻就有電發生，強度當遠在先前發生的熱電流以上（八一八。）由鐵流出，經過加進來的酸類或其他有作用的溶液中，而達於鉛板，這就是一個電路中沒有含着金屬的接觸，單由化學作用發生電流的例。但暫時還可以想作是由於金屬接觸而來（六一四。）並且還是一個金屬接觸，變成了化學作用的例。其結果則成爲接觸完全不發生作用，而化學作用，則對於電流的產生，異常的有

八二〇、同樣的實驗，可以在其他的兩個接觸點 a 或 b 上去比較，當然是用不着再說的了。

八二一、我們暫時承認上面佈置的實驗，已經證明了在 x 點上鐵和鉛的接觸，沒有電動力（八二三，八四七。）那麼，跟着也就知道，無論是鐵或是鉛，去和任何其他的金屬接觸，也沒有這樣的力量。譬如任取一種其他的金屬，例如錳，拿來放到鐵和鉛之間，如第六十五圖所示的 x 處，並沒有電流發生。可是假如在 a 點或在 b 點上，試加一點熱，就可以表示出此刻的電路是很完全的，只要有電流發生，就可以自由的流過。在那些維持接觸作用說的人，並不承認錳和鐵的接觸會和錳和鉛的接觸能夠發生相等的電動力。所以我們應該得到的結果，是等於這兩種接觸發生的電

動力的差，應該發生相當的電流。可是事實上沒有電流，所以我斷定這個結果，可以證明鐵鋅和鉑鋅的接觸，完全沒有電動力。

八二二、其次將金，銀，鉀，和銅等，各各拿來放在 x 處，同樣的都現出陰性。一切其他的金屬，也許全部如此。就是依着維護接觸說的學者，對於金屬容納的關係，也是如此（七〇七）。同樣在同一處所，放上許多其他的導體，結果也表現出同一的陰性。例如前面已經說過的那些很容易傳導熱電流的物質，莫不如此（八〇八）。由其效應可以證明這些物質，無論和鐵或和鉑接觸，都完全不能够成爲一種電動力的來源。

八二三、在我看去，對於上面所舉的那些事實，和推得的結論，接觸說方面如要反對，只好說在第六十五圖的D杯裏面的硫化鉀溶液，和金屬的作用一樣（七九七）。所以在全電路中，一切的接觸點上的效應，恰好互相抵銷。我在此刻，不能够停止着去指出電解質或在電池中的液體物質，和支配金屬及固態導體的那個定律，有所歧異。雖然還不過是一種假定，但在電池內的接觸說，却仍舊是很緊要的（七九八，八四九）〔註四〕。同時也不去證明電解質除却沒有絲毫的接觸

電動力而外，一點也不像金屬。我相信這些不久都可以明白的。現在我要繼續着敘述實驗的結果，關於此點，留到後面，再為詳述（八四七，八七七。）

註四 見賈希奈爾所說——*Philosophical Magazine* 一八三八年第八卷第三七七頁。

八二四、其次再用一條鎳棒來代替第六十五圖（八一二）中的鐵，重行實驗。其餘的情形，一律照舊。這樣的電路，對於微弱的熱電流，是很好的導體。但若全部都是在同一的溫度，並加以相當的注意，即見此項裝置方法，完全不能發生電池的作用（一〇三九。）在 x 處插入金屬，依然無效（八二二。）但若在 x 處插入化學作用，其影響的顯著，和前述的例（八一九）完全相同。所得的一切結果，在事實上，都和前面曾經得過的成為平行。假若我們的理論是正常的，那麼，由此就可以斷定鉑和鎳的接觸，或他們中的一種和在 x 處放入的其他任何金屬或固體導體的接觸，完全沒有電動力。

八二五、還有許多對的其他的金屬，照着這個方法，比較研究過。一方面用硫化鉀溶液將他們連結起來，他方面却由這兩種金屬間相互的接觸，為之連絡。其實例如下：鐵和金，鐵和鈹，鎳和金，

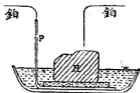
鎳和鈳，鉑和金，鉑和鈳等。用這些實驗的結果，就和前面使用鉑和鐵時所得到的結果，完全相同。

八二六、要使全體的器械成爲沒有例外的狀態，必得要有相當的注意。往往發見金屬板最初浸入液體中時，電流計的指針會發生偏轉。事實上並且將兩塊同一種類的金屬板，放到液體中去的時候，要希望不生偏轉，是絕對不可能的。但是這些效應，消滅很快，等他們消滅以後，就可以使用來作研究了（八一四）。有時也有一種微弱的指針的偏轉，但却是具有永久性的。譬如使用的金屬爲鉑和鈳，當最初的效應消滅以後，還留下一種電流，足以使電流計上的指針，偏轉到三度的角度，表示出鉑對於鈳成爲陽極。一個單純的熱電流，可以使磁針偏轉六十度以上的角度。比較起來，這個三度的偏轉，直說不上。並且縱令將此項電流，看成是這個全體裝置的一種緊要的效應。但其方向也和接觸說的主張相反。我覺得這個效應，出於鉑和其他的物質使化合或分解發生，但本身並不化合的本領。我往時常見到一塊鉑板放在硫化鉀的濃厚溶液中，經過長時間之後（八〇〇），有少許的硫沈積到鉑的表面上。總之，不問此項最終的電流原因何在，終因爲量過弱，不足以維護接觸說，反對成爲很精緻的因而也是很有力的證據，對於化學作用說，極其有利。

八二七、將第六十五圖中所示的那種實驗器械，對於D杯加以變更，俾便使用金屬以外的其他物質來做實驗。將硫化鉀溶液盛入一個淺的容器內，將鉑板扳彎，使浸在液內的那一極端，和容器的器底相應。又在這上面放着礫石或其他物質，來和鉑比較。液體的深度，只能將物體的一部分浸着，其餘的部分，仍舊保持着清淨乾燥。就在這一部分上裝上一條鉑導線，用來完成這個全電路，電路上這一部分的裝置方法，如第六十六圖所示。圖中的H，表示一塊方鉛礦，用來和鉑P作比較的。

八二八、照着這個方法，使用硫化鉀溶液作為電路中的電解質，可以將方鉛礦，緊密的黃色黃銅礦，黃鐵礦以及氧化鐵的小粒等，拿來和鉑比較，結果和用金屬實驗時所得到的結果，完全相同（八一七·八二一）。

八二九、此後所要敘述的實驗，是如何裝置，方能使用同一的電解質將硫化鉛等去和金，鉑，鐵，鎳，及鉍等，作比較的研究（八七三，八七四）還有將硫化鉍拿去和鉑，金，鉑，鐵，鎳，鉛，以及硫化鉛等，作比較（八八二）所得的結果，仍舊相同。即是



第六十六圖

凡沒有化學作用發生處，也就沒有電流造成。儘管電路是由很良好的導電體造成，照着接觸說，說起來，這樣的接觸，應該是有電流發生的。

八三〇、其次不用濃厚的溶液，改用黃色硫化鉀的稀溶液來試。此種溶液由一容積的濃溶液（八〇〇）和十容積的水，混合而成。將鉑板裝在這種溶液內，如上述的狀況（八一二）最初的時候，鐵成爲陰極（一〇三七），但經過十分鐘後，就成爲中性，電流計上的指針，指着零位。其後在x處（八一九）設起的化學電流，很容易的流過。就是由熱電而生的熱電流（八一八）也能夠使指針將其效應表出。這樣一來，可見電解質溶液，不拘爲濃爲淡，都有同一的現象（註七）。若再將溶液沖淡，在其中的鐵，經過最初所現的效應以後，永久的表示着很微弱的陽性。若再延長下去，在這些例中，可以看見有黑色的硫化物，在鐵上面的各處沈澱出來。鏽了的鐵，在這種稀薄的溶液內，對於鉑成爲陰性（一〇三七）。這種溶液，若由直接的化學作用，可以使金屬的鐵，成爲陽性。

註五 這又是這種實驗的別一種形式，我也時常採用過的。將第六十五圖中的杯E，連同內容一並撤去，將其中的兩塊鉑板，連結在一處。這種佈置後，全體可以看成是由三個鐵和鉑的接觸而成。其中的兩個作用的方

向在一方，其餘的一個，則在反對的一方。這樣的佈置情形，以及由此而得的結果，實際都和以前所得的一樣。還有更簡單的辦法，對於許多的議論，也都是同等的。即將 a b 間的鐵，完全撤去。這樣一來，只留下在 x 處的一個接觸，來供我們的考慮。

註六 有一塊鐵，當其浸入時，對於鉛成爲陽性，繼續延長到七八分鐘之久，然後始成爲中性。將他提出來，看去好像上面有了淡黃色的色彩，和蒙上一層硫化物的膜一樣。我懷疑這一塊的作用像鉛（八七三）和鐵（八八三）要得到純粹的並且緊密的鐵，頗不容易。假使上面有許多的孔隙，那麼，保存在這些孔隙中的物質，就會發生電流。

註七 在這些實驗中以及在前面類似的實驗中，曾經很注意的將鉛板表面上的作用力放去，恐怕以前的電流使鉛板得到此項作用。其法係將鉛由其他的金屬離開，在溶液中和另外的一塊鉛板，暫時接觸一下即得。

八三一、在前面所說那些實驗中，使用的電解質，都是硫化鉀溶液。現在我却要換用別種物質，其性質完全不同。例如綠色亞硝酸（八〇四），前面曾經說過這種物質，對於電流的傳導程度甚高。又用鐵和鉛作成金屬，兩者都用導線狀。金屬所浸的容器，是一個圓筒，如像前面所說的形狀（八〇三）。至於其他各點，在原則上，也都和前面所說過的裝置方法一樣（八一、二，八二、四）。

最初的效應是發生一種電流，在酸中的鐵，對於鉑成爲陽性。但是這種電流，消滅甚快，於是不久電流計的指針，就回到零點的位置上，在這個狀態中的電路，一切都不能夠和使用硫化鉀作電解質時的電路相比（八一二）。因爲他對於熱電流，雖然能夠傳導，但其傳導的程度，却遠不及前者爲甚。就比兩塊鉑板浸在硝酸中時的電路的傳導本領，也有所不及（八〇四）。這樣顯著的妨礙作用，是鐵成了一種特殊狀態後而生的自然結果。關於此項鐵的特性，申拜因曾經用過許多的實驗和研究，詳細的敘述過。縱令承認和酸接觸着的鐵，確有這種特殊的狀態（九三九，九八九，一〇二一），而含有鉑，鐵，特殊狀態的鐵及亞硝酸的電路，雖然具有足以使熱電流傳過的本領，但却不能使電流發生。

八三二、假使鉑和鐵的接觸有電動力，那麼，爲什麼不發生電流呢？應用熱（八一八）或在接觸處應用少許的化學作用（八一九），就有電流發生。而且在後者所發生的電流，還很強大。如果在這種裝置上還有別的接觸點，經這樣的應用熱和化學作用，也能發生電流。何以不會有相應的效應，表現出來呢？唯一的答案是這一種特殊狀態的鐵，和鉑有同樣的電動性質及關係。或者

說亞硝酸也應該包含在支配金屬的那個定律之中（七九七，八二三）照着這樣說法，在電路中一切接觸點的效應的總和，恰成爲零。即是說這些作用的力，彼此恰好互相抵消。我相信這種鐵也和鉛一樣，在接觸點上，離開了化學作用，就不會有電動力。但此兩者對於電的關係，却不一樣。這兩者在濃硝酸內，或在稀酸內，即有差別。無論對於硝酸或對於硫化鉀，這兩者傳導電流的本領，都不一樣。此外還有其他不相同的地方。對於亞硝酸，因其接觸的本領，就將他認爲和其他的電解質不同，而歸入金屬一類之下，只不過是一種假定。此後我們要考慮硫化鉀時，還有困難發生。用此假定去說明此項困難，實在是太沒有理由（八二三，八四七，八七七，一〇四八）。

八三三、在主張電化學說的學者看去，這個例只是許多強有力的鐵證中的一種，指示電路上要缺少了化學作用，就沒有電流發生。不管電解質用的是硫化鉀溶液，或是亞硝酸，結果總是相同。結局接觸對於發生作用的電動狀況，絲毫也沒有關係。

八三四、在鐵和鉛的接觸點上，就導入種種的金屬，對於結果，均沒有差別（八二一，八二二）也不會發生電流，這是不用着再說的了。可是我曾經說過，在這裏若應用熱或化學作用，就有

相應的效應出現。由這些同樣發生作用及同樣不發生作用的現象，足以表示這種電路（雖然有特殊的鐵沈澱在金屬表面上）本性還是和硫化鉀溶液相同。所以由硫化鉀溶液得到的一切結論，在這裏都可以完全適用。若果硫化鉀溶液的例，足以作為反對接觸說的一個證據，現在這個例，也同樣的可以。

八三五、其次使用鐵和鉑作成電路中固體部分的兩極端，用亞硝酸作其液體。用酒精燈來燒鐵導線，使其上面蒙上一層氧化物，如申拜因在他的研究時所說的一樣。然後就用此物來代替清潔的鐵（八三一）。氧化鐵最初表現程度很少的陽性，不久就成為中和。這個電路也和由前者所成的一樣，在通常的溫度時，沒有電流發生。但其傳導本領，却和鐵不同，對於熱電流的傳導程度極高。氧化鐵對於此種電流的通過，並沒有些微的阻礙，而特殊狀態的鐵，則礙極阻大（八三一，八三二）。由此可知在電路中的第三種物質使用亞硝酸時，氧化鐵和鐵的接觸，還是不會發生電流。在前面使用硫化鉀溶液作為第三種物質時，所得的結果，和現在的結果，是完全一致的。

八三六、在使用亞硝酸的時候，對於下面所說的效應，須得要加以相當的注意。若果電路是

由綠色的亞硝酸，鉑線和電流計而成，在數秒鐘後，由最初的擾動而生的電流，即消滅無形。但若將其中的一條導線提出空氣中，立刻又復行插回其原位置，就有電流發生。提出去過的導線，成爲陰性，隔着中間的電解質，和其餘的一條導線相對。若是將其中一條導線浸在液內，只有很少的距離，例如只有四分之一英寸的長，那麼將這一條導線，不必完全提出，只要提高八分之一英寸，立刻又恢復其原有的位置，也有電流發生，效應和前一條一樣。這個效應，是由於露出來的導線上粘着的亞硝酸，蒸發使然（九二五）。關於這一點，或許後面還會說到，現在只不過提起注意，在實驗進行中，務必要將浸在液內的導線，保持一定的位置，不可使其受到動搖。

八三七、根據申拜因關於鐵和硝酸而得的事實，我遂進而使用硝酸作成液體，將鐵和鉑浸入其中，造成一個電池電路。純粹的硝酸，傳導本領異常缺乏（八〇五），可以看成由鉑和鐵接觸發生出來的電流，均被其完全阻止。他的障礙還不止此，這種酸對於鐵，有輕微的作用性，所以發生出由化學作用而來的電流，和我們設想的接觸電流的效應，或許混合在一起，也說不定。我們現在的目的，是要將這種化學作用一律除外，單留下接觸的影響，以供研究。結果還是和前面說過的那

些很完全的作用相符。因爲在一個含有鐵、鉑和硝酸的電路中，酸對於鐵的化學作用，和鐵鉑的接觸作用，聯合起來發生的電流，可以從電流計指示出來，其次照着前面所說的方法（八一九）使鐵和鉑接觸起來，俾其能够發生少許的化學作用，此刻發生的電流，比較前面發生的強得多。若果再從此項微弱的電流之中，將由化學效應發生的一部分減去，剩下來的實在已沒有多少，可以認爲是金屬接觸而生的了。

八三八、 但由紅硝酸、和鉑板而成的電路，傳導熱電流極其容易，就是硝酸稀薄到相當的程度（八〇六），還是同樣的有效。用這種紅硝酸放在鐵和鉑之間，其傳導本領可以使鋇銻的反對方向的熱電流，將永久電流的一半抗過。這樣一方面來的熱電流，和他一方面來的對於鐵上的化學作用和鐵與鉑的接觸作用聯合起來發生的電流，就可以互相比較了。我們認爲熱電流異常微弱，那麼，由第二部分即是由接觸作用而來的電流，最高又能達到什麼程度呢？拿去和通常的電池中發生的電流比較，其小直不足道。

八三九、 假如取去清潔的鐵線，而用在酒精燈上燒過的氧化鐵的導線，來作代替，和鉑一同

插入純粹的濃硝酸中，就可以見到有微弱的電流發生。氧化鐵對於鉑，成爲陽性。事實大致都和用鐵的時候相同。不過要比較其和濃酸或和稀酸接觸時，還是使用這種氧化鐵，便利得多。若將一容積的濃酸，和四容積的水，混合起來，使用的結果，發生的偏轉角度，比使用濃酸時，還要小些。這個時候在鐵的一方面，差不多感覺不到其有作用。除非是用很精緻的手段，方能將電流觀察得出。雖然如此，假如在這兩種情形下，用化學作用來代替接觸，結果發生的電流，通過得很佳，甚至於微弱的熱電流，也要比接觸而生的強得多，也可以表現出來，使我們得知其存在。

八四〇、在上面所說的這些例中，最安全是將氧化鐵浸在液面以下，在其上裝一條鉑線，由此連結到電路中去。假使不如此，從酸到空氣中都存這種氧化鐵連續着，那就不免要受到在接觸表面上的酸和空氣的聯合作用。

八四一、我更進一步使用液體，和前面用過的任何一種，都不相同。即是苛性鉀的溶液，從前得拉里甫（八一—）曾經用來和鐵與鉑作過實驗。這種物質要是濃厚的時候，是一種頂好的傳導體，就連熱電流也能由其中通過（八〇七）。所以假使接觸果能發生電流，這種液體也足以將

他表示出來。

八四二、用這種物質的濃溶液和銀與鉑（其間若用硝酸或鹽酸連結時，這兩種金屬彼此頗不相同）裝置的方法，與上述相同，結果可以看見有很微弱的電流發生，電流計上的指針，差不多就停在零位的近傍。可知這兩種金屬的接觸，並不能夠發生可以感覺得到的電流。這是因為在這樣的接觸處，並沒有電動力存在着的緣故。假使將接觸作用，換成一種極其微弱的化學作用，譬如在接觸處夾入一塊含有稀硝酸的紙片（八一九）結果就有電流發生。所以也和從前許多的例一樣，只要電路中有些微的化學作用，就沒有金屬的接觸，也可以發生電流。反過來要是沒有化學作用，單獨的接觸作用，是不能夠發生電流的。

八四三、鐵或鎳與鉑共同浸在苛性鉀的濃溶液中時，現出陽性。發生電流的力量，不久就漸漸減小，一小時後，已經減到很小的分量。其次將第六十五圖中x處的金屬接觸撤去，換用一種微弱的化學效應，譬如稀硝酸之類，由此而生的電流，立即通過，可以表現出來，使人知道。所以這一個例，也和以前所說的並行不背，足以指示由接觸而來的電流，是如何的微小。因為鐵和鉑的接觸作

用，和苛性鉀與鐵的化學作用，聯合起來的效應，和稀硝酸的化學作用，相形之下，其微小直不足道。

八四四、其次將濃厚的苛性鉀換去，改用一容積的濃溶液和六容積的水混合而成的稀薄溶液，來作實驗。仍舊使用銀和鉑，其結果還是一樣。只要除却金屬接觸而外，沒有其他的誘發原因，就沒有電流發生。但若在此處改用些微一點的化學作用（八一九），立刻就發生電流。

八四五、將鐵和鎳連同着鉑，浸在這種稀薄溶液中，也能够發生類似的結果。只有一點不同，就是這些金屬所現的陽性，比較在濃厚的溶液中時，更來得長久一些。儘管如此，竟究還是和接觸說所預期的，完全不能成爲比例。

八四六、這些金屬以及其他固態的良導體的各種不同的接觸，可以證明其對於電流的發生，完全沒有效用。在電路中使用苛性鉀的溶液來作第三種物質或液體物質時，情形完全和使用硫化鉀溶液，或使用水化亞硝酸，或使用硝酸，或使用硝酸和亞硝酸的混合物，來作第三種物質時的情形相同。還有前面在硫化鉀溶液處說過的（八二一），在兩種主要的固體物質的結合處，插入的物質，其接觸也絲毫沒有影響。關於這一方面的一切議論，對於苛性鉀，也都可以適用。實際上

也確是如此。凡是這種間隔的液體存在處，要沒有化學作用，就沒有電流發生。假如能夠發見一個實例，其中間隔的液體沒有作用，而又是一個良導體，並且有電流發生，那麼對於接觸說就很有利。可是在我知道的範圍內，却是抵抗不過的。我不知費盡了許多的氣力，要想去發見這樣的例，結局還是不成功（七八六）。

八四七、議論到了這一步，正好回頭，再說前面曾經提及的那一個要點（八二二，八三二）。假如真能由主張接觸說的人，推進一步，那就可以將我們在前面做到的那許多實驗的結果，全部推翻。雖然也不能夠使接觸說將電池中電流，何以有此項作用以及何以能夠存在的理由說出，也不要緊。但如其是錯了，那麼，接觸說也就成爲完全的失敗，成爲毫無根據的假說了。

八四八、維護接觸說的人，或許會說，在前面那些實驗中，使用的各種能夠導電的電解質，也和金屬一樣。即是說這些物質，和金屬，或其他用來完成電路的固態良導體接觸着的時候，在接觸處也有電動力作用。但是其強度在全電路上各接觸點，全部總計起來，其合力應等於零（七九七）。在接觸處的作用，是張緊的電動作用，但却是互相抵償的，所以沒有電流發生。可是有什麼實驗足

以維持這種說法？在那裏會有這種數量上量度出來的電動結果，足以證明他（七九六）我相信是不會有的。

八四九、接觸說假定了種類不同的物質單純接觸有電動的本領之後，更進一步又假定說金屬和液體的良導體之間，還有差別存在（七九八）否則接觸說對於電池中的電流，就無法說明。因為在一個金屬的電路中，接觸的效應，是假定為無論何時都是互足相抵的，又假定說電解質或間隔着液體和金屬的接觸效應，却不能互相抵消，不但不能成爲平衡，並且還會發生最強烈的電流，甚至於發生的電流，有由電池發生的電流那樣的強大。要是果然如此，那麼，何以硫化鉀的溶液，會是一個例外呢？硫化鉀溶液完全不像金屬，除開分解而外，並不見他能夠傳導電流。他是一種很好的電解質，只要加以適宜方法（八六八）當其發生化學作用時，就能够發生很強烈的電流。就在這些地方，完全不像金屬。至就其作用而言，和通常使用的酸或鹽類的誘發電解質的任何一種，都很相像。又沒有一個直接的實驗事實，單只爲要避免反對的力，我們就可以將他從電解質中提出，拿去歸入金屬一類之中，無論如何也不能容許的。而何況於就其特性說來，屬於金屬之中，也

只不過是一種假定罷了（七七七）

八五〇、應該允許自由的還不只硫化鉀一種，還可以推廣到亞硫酸（八三一；八三五）硝酸（八三七等），甚至於苛性鉀的溶液（八四二）。這些物質都是電解質。並且表示出沒有化學作用的時候，電路中就沒有電流通過。此外還有硫化鉀的稀薄溶液（八三〇）和苛性鉀的稀薄溶液（八四四）也都和濃厚的溶液，表現同一的現象，所以也都應該列入此項例外之中。假如主張接觸說的人，認為這些都是稀薄溶液的緣故，那麼我就要問，何以稀薄的硝酸對於鐵的作用，何以會和濃硝酸對於鐵的作用不同（九六五），竟能發生出很強的電流呢？

八五一、在主張化學作用的學者一方面，對於這些難題，絲毫不感覺困難。因為他最初就用一個簡單直接的實驗，檢出所設想的這兩種物質，在電路中，是否相互有化學作用。若果有的話，他就預料到有相應的電流發生，就去將這種電流檢出來。假如沒有的話，他就預料到不會發生電流，儘管電路是良導體，儘管他用盡方法去檢查，也不能夠將此項電流發見出來（八一七）。

八五二、再說，就鐵，鉍，以及硫化鉀溶液等而論，是沒有電流的，但若用鋅代替鐵，就有很強烈

的電流發生。我也可以不用鋅而使用銅，銀，錫，鎳，鉛，以及其他的金屬，但因為鋅的硫化物，能够溶解，可被溶液攜走俾剩下一塊清潔的金屬板，在極簡單的狀態下，所以我仍舊使用鋅。此項事實，對於其他的金屬，也是同樣的。現在假定接觸說果係正當，若果由鐵，鉛，和硫化鉀溶液而得的接觸，其電動力完全成爲平衡，那麼，何以用鋅將鐵換去，就會使平衡破裂呢。在一個金屬電路中，換用一種別的金屬，不應該會生變化。就是在那許多能够造成一個傳導（而不發生化學作用）的電路的固體物質中，變更一種，也不應該會有變化發生（八五五等）。假如硫化鉀溶液，在我所引的那個實驗（八一三等）中所表現出來的作用，要列入金屬中去，何以在這些新的鋅，銅，銀等的例中（八七〇，八七三等），其作用又和金屬不同，而具有一種本領，差不多和他一類的本領相等呢？

八五三、我認爲在接觸說的學者一方面，一定要遇到這種困難，不得不再來一個假說。即是假定這種溶液的作用，有時和最佳的金屬一樣，屬於第一種的導體，有時又和最佳的電解質一樣，屬於第二種導體。這樣一來，在實驗科學上，會用出如此鬆懈的方法（八五七）未免太不相宜，並且還有不幸的事，就是這第二種的狀況或關係，絕對不會遇見。即是從來就沒有見過單獨由接觸

發生的電流。有電流的時候，一定就有化學作用，在主張化學作用的人看去，對於一切的電流，都可以用化學作用得到很簡單的說明。

八五四、同樣使用亞硝酸，硝酸，以及苛性鉀，來實驗的時候，上面所說那一番議論，也都以同等的力量，完全適用。這是用不着我再說的。其結果也以同一的力量，來維護此說（八三一，八三七，八四一）。

八五五、現在或許已經沒有需要了，可是我在有一時期，很希望得到一種接觸的電動力。於是造成了許多的電路，由三種物質而成。包含着電流計在內，都是很好的導體。以為可以尋得出一種裝置方法，能夠發生電流而又沒有化學作用。這些實驗的次數，以及變更的種類，都可以從略。現在只將所得的要項，摘錄如次。其中如金屬，石墨，硫化物，以及氧化物等，就對於熱電流，也都能够傳導。聯合的方法如下：

- 1 鉞
- 2 鐵
- 3 鋅
- 4 銅
- 5 石墨
- 6 氧化鐵
- 7 天然產過氧化錳
- 8 天然產灰硫化
- 銅
- 9 天然產黃鐵礦
- 10 天然產黃銅礦
- 11 方鉛礦
- 12 人造硫化銅
- 13 人造硫化鐵

14 人造硫化錳

- 用 1 2 與 5 或與 6, 或與 7, 或與 8, 或與 9, 或與 10, 或與 11, 或與 12, 或與 13, 或與 14, 行實驗。
- 用 1 3 與 5, 或與 6, 或與 7, 或與 8, 或與 9, 或與 10, 或與 11, 或與 12, 或與 13, 或與 14。
- 用 1 5 與 6, 或與 7, 或與 8, 或與 9, 或與 10, 或與 11, 或與 12, 或與 13, 或與 14。
- 用 3 6 與 7, 或與 8, 或與 9, 或與 10, 或與 11, 或與 12, 或與 13, 或與 14。
- 用 4 5 與 6, 或與 7, 或與 8, 或與 9, 或與 10, 或與 11, 或與 12, 或與 13, 或與 14。
- 用 4 6 與 7, 或與 8, 或與 9, 或與 10, 或與 11, 或與 12, 或與 13, 或與 14。
- 用 4 7 與 8, 或與 9, 或與 10, 或與 11, 或與 12, 或與 13, 或與 14。
- 用 4 8 與 9, 或與 10, 或與 11, 或與 12, 或與 13, 或與 14。
- 用 4 9 與 10, 或與 11, 或與 12, 或與 13, 或與 14。
- 用 4 10 與 11, 或與 12, 或與 13, 或與 14。
- 用 4 11 與 12, 或與 13, 或與 14。

用 4 12 與 13, 或與 14。

用 4 13 與 14。

用 1 4 與 12。

八五六、馬立阿尼尼根據實驗說過，銅對於硫化銅成爲陽性（註八），還有許多的電流學家，都認爲硫化銅對於鐵成爲陽性（八六六），又鐵對於銅也是陽性。所以使用這三種物質，應該可以造成一個強有力的電循環。可是事實恰好相反，我所使用的任何一種硫化銅，都沒有這樣的效力。

註八 見 *Memorie della Società Italiana in Modena* 一八二七年第二十一卷第二二四頁。

八五七、因爲過氧化鉛在硫化鉀溶液中，可以發生很強的電流，並且無論在任何的電路內，只要他能夠放出他的氧氣，也都如此。所以我就想到，假使接觸電流果真存在，那麼，使用這種物質去和金屬接觸，或許能夠有電流發生，也未可知。於是將製備好了的這種物質（八一〇）的一部分，任其乾透。這種乾透的過程，在這個實驗中，是極爲緊要的。然後再照着下列的結合法使用：

鉑·鋅·過氧化鉛。鉑·鉛·過氧化鉛。鉑·鎳·過氧化鉛。鉑·鐵·過氧化鉛。

這種結合之中，簡直沒有一種能夠表示出有些微的電流通過。不過溫度是要保持一定不變的罷了。而且這些結合中，也無有一種，對於傳導的本領不佳，就是極弱的熱電流，也都很容易的傳導而過。

八五八、所以在接觸說中，不僅止金屬的接觸，在一個完全循環的電路中，發生的力，總和起來等於零（七九七），就是其他一切固體物質，只要是導體，也就不問他是碳，是氧化物，是硫化物，都應該屬於同一的類中。還有已經說過的那些電解質，即硫化鉀溶液，苛性鉀溶液，亞硝酸，以及硝酸等，只要是不起化學作用，也都如此。事實上在電路中一切沒有化學作用的導體，在接觸說方面，都假定是在這種狀態，一直到有了不伴同化學作用的電流發生為止（八四六）。

八五九、縱令承認伏特及其後起者所得到的事實，由靜電計證明了單純的接觸有電動力，能夠發生他的效應，然而一切的經驗，都指示出單獨只有接觸的時候，在全電路中的電動力，總是互相抵消的。上面所舉的那許多種類的物質，要怎樣方能在這一點上互相一致？我敢相信，他們一

致的地方，就是完全沒有此項本領。假使果然如此，那麼，用接觸說來說明電池中的電流，其本領的來源，又出於何處？假使他們不成爲互相抵消，又何從去尋覓單獨接觸而能發生電流的實例？又從何處去求能成爲此項實例的數據（七九六，八五六）？在主張接觸說的人所需要的實例，並非產生無限小的電流，因爲這種小的電流，決不能夠說明電池中的電流，並且常常進入了得拉里甫指斥得很明白的那種大可辯論的根據裏去。他們真正需要的實例，是要有很明確很重要的數據，方有價值來反對主張化學作用一方面的學者所舉出的那許多的實例（八八〇）。假如沒有這種數據，那麼，在我看去，接觸說應用到電池上去，就完全沒有根據。至於認定就在平衡狀況下，也有接觸的電動力，尤其沒有理由。

八六〇、要避免這種結論以及類似的結論，只好將接觸說用最奇特最不規則的方法，使其變通來將就事實。譬如硫化鉀溶液和鐵的接觸，要看成是他和鉑的接觸，以及鐵和鉑的接觸聯合起來的作用，恰好與此抵消。但若將鐵換成了鉛，硫化物和鉛的接觸，就不能夠再和其他兩個接觸的聯合作用成爲平衡，於是關係就不得不起突然的變化。過兩三秒鐘後，由化學作用造成一層硫

化物的薄膜，以後全電路雖然仍舊是良導體，（八七三）電流卻停止不復流過了。到了這個時候，不得不假定溶液對於金屬及硫化鉛已經成爲最先一種的關係，即是在全電路中的接觸成爲互相平衡的狀態。

八六一、同樣對於這種硫化物溶液以及對於苛性鉀溶液，在接觸說方面，認爲是稀薄的時候，在接觸力的性質上，沒有變化。但對於硝酸，則與此相反，又不能不承認這種接觸力的性質，有很大的變化（九六五）。還有酸和鹼，如其能够發生電流，例如與鋅鉑合作時，雖然兩者本性上相差極遠，應該期待他們發生反對方向的電流，可是不能不假定他們發生來的電動力，都是同一的方向上。

八六二、總之，在主張接觸說的一方面的人，認爲所有一切的電流，都可以假定是在接觸點作用的本領，其強度和所得的結果一致。對於酸和鹼也是這樣變通學說，沒有一定的普遍性。結果如下，這種學說對於應該發生的結果，完全不能預先判斷，而且並沒有真正缺乏化學作用的電流存在。對於有化學作用存在的時候，就加以變通，使其能與事實相符。這種變通，完全和由實驗指示

出來的純粹化學力的各種變化，成爲平行。

八六三、在這些紛擾不定之中，卻有化學作用說，對於這一切實驗的結果，都可以很簡單的對付過去。不單止將這些結果，全部包括進內，並且還可以預行斷出。只要有了電流，就一定有化學作用；只要作用一停，電流也就停止（八七〇，八七三，八八二）作用可在陽極上或在陰極上決定，隨情形而定（一〇二七，一〇二九）可是電流的方向，總是一定的。即是作用中的化學力，強迫着陽向游子和陰向游子在電路中移動的方向，和電流的方向，是有連帶的關係（六九七，一〇四〇）。

八六四、總括起來一看，在許多的實驗裝置中，沒有化學的變化（八一三等）就沒有電流發生；凡有化學變化相伴着的，就一定有電流發生；只有化學變化而無接觸的，也都發生電流（一〇〇五等）許多只有接觸而無化學變化的（八五五）都沒有作用。將這些情形綜合起來考慮之後，對於電池的本領，起源於化學力作用的這個結論，實在難於反對了。

(iii) 由硫化鉀溶液誘起作用的循環

八六五、在一八一二年的時候，德斐曾經發表過一個實驗，表示兩種不同的金屬，即銅和鐵，對於氧氣有很強的引力時，在氧化物的溶液內，卻現出陽性；對於硫有很強的引力時，在硫化物溶液中卻現出陽性（註一）。在一八二七年，得拉里甫也引用了許多的研究兩種金屬的這種狀態的例，用各種不同的溶液，使其發生此項狀態。由此推理，單純的接觸，不能夠使金屬發生此項狀態，發生此項狀態的，實際是液體的化學作用（註二）。

八六六、在前一部分，我曾經引用過德斐的實驗（六七八），用他所得的結果，來證明銅與鐵的接觸不能夠發生電流。因為如將硫化物換去，改用稀酸，電流的方向，就反過來，然而金屬的接觸，卻仍舊未曾變動。馬立阿尼尼又加上一些實驗說；銅也有這樣的效應，無論是和錫，或和鉛，或甚至和鋅使用，都是這樣。還有銀也和銅一樣，能夠發生同樣的效應（註三）。使用銅的時候，他的解釋是這種效應的原因出於鐵和在銅上新成功的物質間的關係。照伏特說起來，此項新物質，對於鐵應該成爲陽性（註四）。但據他本人的實驗，這種物質在同一的溶液內對於鐵卻是陰性（註五）。

註二 見 *Annales de Chimie* 一八二八年第三十七卷第二三十一——二三七頁。

註三 見 *Memorie della Società Italiana in Modena* 一八三七年第二十一卷第二三四頁。

註四 見前誌一八三七年第二十一卷第二一九頁。

註五 見前誌一八三七年第二十一卷第二二四頁。

八六七、我現在想要再論那一類的例，使用硫化鉀溶液作為電池的液體，因為我相信這些例都是極有力的鐵證，足以證明電池中的電流，決不能由接觸產生，完全是出於化學作用。

八六八、硫化鉀溶液（八〇〇）是最優良的導電體（八〇二）當其在兩塊鉑板間受一個小小電池的分解本領時，很容易在陽極上放出純粹的硫在陰極上放出少許的氣體，這個氣體大概是氫氣。若果和鉑表面裝置成爲一個立式的副電池時，只要有微弱的原電流通過兩三秒鐘後，就可以使副電池發生作用，發出反對方向的電流。所以照電解質的傳導說起來（六五八）除卻分解而外，是不能夠傳導的，或許絲毫也不傳導，他的電解強度（七〇一，七一八）一定很低（用化學作用說起來）這種物質誘發電流的作用，或者是將一個陽向游子（硫）交付與他能

够作用的金屬，或其他的物質，或者是從和他相接觸的物質上，奪取來一個陽向游子。譬如與過氧化鉛和過氧化錳以及低級的氧化鐵（一〇三四）一起作用的時候，就屬於第二種。由這兩種的原因，發生出來的電流，方向當然相反，他的親和力，在多數的例中，是陽向游子向着在使用尋常的電解質時未曾接觸着的那一塊金屬板而去。所以得到一種和金屬的關係恰相反對的電流。譬如用銅和鎳和這個物質時，陽向游子是向銅而去的。但若仍舊使用銅和鎳，但換用尋常的電解質時，陽向游子就向着鎳而去。他的優良的導電本領，使他能够發生的電流，異常顯明，異常強大。結果所得的電流強度，據電流計的指示，由於誘發出來的能量（並不單止分量）和電流通過的全電路的傳導本領兩者聯合起來的作用，方能決定。在現在的這個研究中，因為由其對於金屬的作用，放出一些化合物，有些是可溶的，有些是不能溶解的，所以誘發電流的電解質的數值，為之增加。這些不能夠溶解的結果之中，有些是很優良的導體，有些又完全沒有絲毫的傳導本領。

八六九、我要敘述的實驗，一般可照下列的方法去做。先預備鉛線，金線，鈇線，鐵線，鉛線，錫線，以及其他可展的金屬的線。約有二十分之一英寸的直徑，六英寸的長。將其中兩條連結到電流計

的導線端上，然後同時投入試驗管內，其中盛有硫化鉀溶液，導線投入管中後保持狀態，不令稍受動搖（九〇七），同時觀測其發生的效應。在一切的實驗中，使用的此項金屬線，均須使用新的細砂紙和乾淨的布來揩拭乾淨。有時還用一條玻璃棒來磨擦過，使其表面平滑。各種金屬線的接頭，以及其與電流計連結處都要加以注意，務要避免其間發生少許的溫度差。

八七〇、錫和鉑——當錫與鉑，與金，或與其他對於硫化物溶液不發生化學作用的任何金屬，共同使用時，發生很強的電流，錫在溶向中對於鉑現為陽性。換句話說，電流的方向是由錫經過溶液向鉑流去。只在短時間內，電流的本領，就大為降低。十分鐘後，電流計上的指針，已經停止在零點近傍了。其次試將銻鉍發生的熱電流送入此電路中（八一三），即見其不能通過，全體已經失卻其為導體了。這是因為在錫上面結成一層不可溶解又不傳導電流的硫化錫的結果。這種新生成的物質，完全不能傳導電流，也不僅這個實驗，就在前面的實驗中（八〇九），也曾經說過。

八七一、馬立阿尼尼以為可以將這種電流，看成是出於新成的硫化物的接觸力。（至少對於銅，可以作如是觀（八六六）。）我則以為凡與此相類似的例，都應如此。因為支配這一些物質，

只能够有一個定律或原則。可是這種意見，決不能適用於此。何則？一個非導體，無論是由接觸，或是由其他的方法，如何能成功一種電流呢？像這樣的例，從未曾見過，而且也和本性相反。所以決不是硫化物的接觸，發生這樣的電流。現在的這個例，既然如此，在其他的例中，又豈不如此？因為用一種的誘發電解質，並不曾見過有電流發生的例。

八七二、但在另一方面，這個結果，對於化學作用說，卻成了一個最好的證據。錫能够從這種電解質中將硫取出成爲一種硫化物。當其進行此種工作時，發生一種電流，程度和其進行的程度成比例。但若變成的硫化物已經蒙遍了金屬的全表面，使金屬和液體完全隔絕，妨阻着化學作用，使其不能繼續進行，於是電流也就跟着停止。在這裏並不必要他是非導體。就是將導體的硫化物拿來，也有同樣的效用（八七三，八八二）也成爲同樣的結果。照看這樣說起來，在變成硫化物的期間內，有電流發生。既已變成了以後，單靠接觸，就不能够有同樣的效果。再比這樣更明白的事，真是沒有了。

八七三、鉛——這種物質在硫化鉀溶液內，呈一種很好的結果。使用的金屬爲鉛和鉛，最初

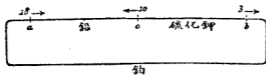
鉛成爲陽性的程度頗高。但經過數秒鐘後，電流即行降低。到得兩秒鐘以後，電流計上的指針，就指着零位。這個器械，對於很微弱的熱電流，仍舊很能傳導，他的傳導本領，並沒有消滅，也和錫的例一樣。因爲金屬外面蒙着的那一層硫化鉛，還是一個導體（八〇八）。儘管如此，却將化學作用阻止住，使其不能繼續進行，跟着電流也就停止。

八七四、鉛和金都有同樣的效應，鉛和鈮也是如此。鉛和鐵亦然，只不過鐵的傾向，在通常的情形下發生的電流，是從電解質流到鐵上面去，所以要加以考慮，並且要注意避去（八一四，一〇三七）。鉛和鎳，也是這樣。在上面所舉的這些例中，若果將鉛提出來洗過，就可以看見上面有一層很薄的硫化鉛薄皮，蒙在外面，極爲美觀。

八七五、使用鉛的時候，造成功的是有傳導性的硫化物，但仍舊沒有絲毫能夠由接觸發生電流的痕跡，和非導體的硫化錫（八七〇）並沒有差別。由傳導體並沒有什麼新的附加的作用。以前的非導體的生成物，並不缺少什麼作用。兩者的結果，都是相同的。對於真正能夠發生電流的關係，兩者却實相同。即是兩來都沒有化學力。一塊鉛單，獨放到硫化鉀溶液中時，其表面變成了硫

化鉛，所以證明就沒有電流的時候，也有一種（化學）力存在。而且在這樣的情形下，能够發生作用。假如這個器械的全體，成爲一個完全的電路的時候，這種力還可以發生出電流。至於在誘發處作用的力，可以由硫化物的生成以及電流的發生，雙方都可以表示出來。前者生成的分量要是減少了，後者發生的量，也依同一比例減弱。儘管生成的各種物質都是良導體，而接觸仍舊能够發生他所能發生的任何效應，這個關係總是不變。

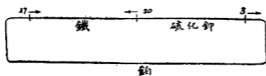
八七六、或許有人會說這種電流，是在實驗開始時，硫化物溶液和鉛（也可以是錫，看使用的金屬而定）之間的接觸所生的，亦未可知。至於作用停止的時候，是因爲有了硫化鉛等類的新物質加入電路之中，所以種種接觸點處作用的力，都成爲平衡的狀態所致。這種說法，就陷入前面我們反對過的那種錯誤，即是這樣的溶液，要歸入金屬以及其相類的物質之中，對於這些物質中的有幾種，例如現在所說的硫化鉛，其接觸的



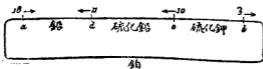
圖七十六第

效應，應該是互相平衡的。然而對於其他的若干種，例如對於鉛本身，則不然。一般則認為鉛和硫化鉛，都應該是同一種類的金屬（七九七，八五八）。

八七七、在自然發生的效應中，完全不會有這種現象，以及維護他的實驗證明，一點也得不到，我們在前面已經詳細說過（八四九，八五九），可是現在又發生了一兩種追加的理由。或許使用兩個圖來說明，更覺明白，也未可知。姑且假定有想像中的接觸力，不必要有實驗的表示，只要於理論上不錯就得了。設有第六十七圖，來表一個電路循環中的電動力。由鉛、鐵、及硫化鉀溶液而成。或用鉛、鎳、及硫化物溶液，也可以。總之，照着接觸說的主張，其間作用的力，是互相平衡的（八四八）。第六十八圖表示由鉛鉛及硫化物溶液而成的循環，並不



圖八十六第



圖九十六第

發生電流。據我的假定，應該有合成力 $11 \rightarrow$ 作用。在數分鐘後成爲靜止，即是電流停止。照着接觸說起來，這種新狀態，應該成爲第六十九圖所示的狀況。因爲在第六十八圖中的接觸點 c 處，加上了硫化鉛的間隔，發生了第六十九圖所示的 d 和 e 兩個接觸點，接觸力就能夠由 10 變成 21 ，受到這樣大的影響，真覺令人難於置信。同一的硫化物或者放在 a 處，或者放在 b 處，（八二二，八二八），作成間隔物，什麼效應也不會發生。因爲在這時候，在這兩個新接觸點上作用的力的總和，恰等於未插入間隔物質以前原有的接觸力，可以由插入間隔物質不會影響到全電路的效應，爲之證明（八五五，八二八）。所以假若這種物質介在於鉛和鉑之間的 a 處，或介在於硫化鉀溶液和鉑之間的 b 處（如第六十八圖），不能發生變化，其中已經包含着和鉛及硫化物溶液雙方都接觸的例在內。那麼，何以在這兩種物質間的 c 處的間隔物，就能夠有如是顯著的差別，使其力倍於未加間隔以前呢？實際上，就是稍許的差別，也是不應該有的。

八七八、因爲硫化鉛有兩個接觸點，遂令我們假定他有的接觸力的總和，發生這樣大的變動。我們曾經認定有種液體具有一種的特殊性質，有時在導體的電路循環中，作用的力可以互成

平衡，有時又否（八五三）現在說硫化鉛的接觸力變動，也就和說它具有這種特殊性質是一樣。

八七九 事實上，就是金屬本身，也一定要被迫而成這樣束縛的狀況。因為假使果真有接觸力作用，那麼，在一個接觸上發生的效應，就應該是互相接觸的物體的聯合作用，以及相互作用的結果。所以假使在第六十八圖的電路中，接觸力不能成爲平衡，那就一定是因爲鉛和溶液在。點的聯合作用缺乏了的緣故（註六）。假如這個金屬和溶液，能够發生正當的作用，即是說能够發生用鐵或鎳來代替鉛時所起的作用。那麼，這個力就應該成爲 $\leftarrow 2i$ 了。然而他比此小，只不過是假定的 $\leftarrow 10$ 罷了。和溶液都是同一樣的良導體，何以鉛會比溶液有這樣高的優勢？實在沒有理由可以令人相信。除却用前面所說的那種奇妙的性質而外，簡直沒有方法可以解釋。所謂奇妙的性質，就是說有時可以使電路中作用的接觸力彼此互相抵消，有時又不能夠（八五三）。

註六 我使用的數字，本來是假定的，假如使用別的數字，其理由可改爲接觸點在b，或甚至於在a。但其結果，仍舊還是如此。

八八〇、假如鉛真有這樣奇妙的性質，那麼，凡是能够與這種硫化物電解質一同使用，就造

成發生電流的循環的金屬，都應該也同樣的有。即是鉍、銅、銻、銀、鎘、鋅等，全都在內。對於其他的電解質流體，鐵和鎳也是如此，甚至於金、鉑、鈾，也都如此。事實上即凡能够成爲電流電路的一切物質，莫不皆然。儘管認爲這是可能的，然而這許多物質組成的電路之中，並連一種也沒有，真能够發出沒有化學作用的電流（八五五），可以看成是出於已經知道的和前此已經存在的力的作用，不必看成是結果。

八八一、我想不再涉及這種辯論，但却不能不由數目繁多的事實中，舉出一小部分出來（七七七）。這些事實在我看去，都有同一方向的關係。

八八二、鉍——這樣物質若與鉑、金、或鈾，共同插入硫化鉀溶液中，能够成爲一個有作用的電流循環，鉍成爲陽性。還沒有經過半小時之後，電流就停止了。可是電路對於熱電流，還是很優良的導體。鉍和鐵或和鎳也發生同一的最後的結果，但如前面所說，並不十分的顯明（八一四）。鉍和鉛也可以成功一個有作用的電流循環。開始的時候，鉍成陽性，一兩分鐘後，電流即行停止，但是全電路仍舊是很優良的導體，可以將熱電流傳過。

八八三、這樣一來，可知硫化鋁還在生成的期間中，電流也繼續的流過，到得化學作用停止了的時候，電流也跟着停止。儘管接觸仍舊維持着，儘管電路仍舊是良導體，也都沒有。在用鋁和鉛的時候，化學作用是雙方發生的。但在鋁的一方作用最強，電流的方向，也就由此決定。就是在化學作用停止所以引起電流停止的那一瞬間，也是這樣。

八八四、在使用鉛和鋁的實驗中，我曾經舉出鉑、金、鈮、鐵、鎳等，和他們底是同僚。第一層因為結果證明這些電流，全都是出於化學作用。其次因為在最後的靜止狀態時，這些金屬的接觸表示出完全沒有力作用（八一七），由此還有放在他們中間的其他的導體而得的接觸，都是一種被動的狀況（八二一）。至於議論一方面，實在沒有再說的必要，只好一律從略。

八八五、銅——這種物質和鉛，或和金、鐵，以及其他能在硫化物溶液內有化學作用發生的任何金屬，共同使用時，可以成功一個有作用發生的電流環。在其中銅對於其餘的金屬，現為陽性。雖然電流降低下去，可是銅的作用，並不就完全停止，和上面的那些例，略有不同。其理由如下：成功的硫化銅，並不十分緊密，乃是一種多孔性的形狀，而且不粘着在銅的表面上，成爲鱗片狀，脫

離而去。因此結果使金屬和電解質間的化學作用，得以重新發生，電流也就能够繼續下去。假如經過相當的時間後，將銅取出洗淨曬乾後，只要揩拭一下，也都可以取下一部分的鱗狀硫化物。要是再使用一只釘，那就很容易將其餘的全部，都脫離下來。或者將銅板浸在異常豐盛的硫化物溶液內，化學作用也能够繼續下去，硫化物的層，在銅上就逐漸的加厚起去。

八八六、假如照着馬立阿尼尼的指示方法（註七），在銅板上積成的硫化物層，還沒有厚到由銅塊下面自行脫離的程度，就將銅塊提起，揩乾後聯合着鉛或鐵，再行放入硫化物溶液中。開始的時候，現為中性，對於其他的金屬往往還現為陰性（八一五，八二六。）我們通常認為只要有一點硫化物到了銅的表面上，就可以使銅成為陽性，有強電流發出（八八五，八六六。）現在卻得到反對的結果。其實進一步研究，就知道此刻決不僅是有硫化為溶液存在而已，還有發生電流的硫化物的生成，也是很重要的關係。假使令銅板在溶液多放一些時候，俾溶液能够透進硫化銅殼內，去和殼裏面的銅，發生作用，銅板即能開始活動，電流也就發生出來。

八八七、我曾經在有很多的硫汽中，將一條粗銅線，在燒瓶內或坩鍋內去燒，由此造成一些硫化銅。這樣得來的硫化銅，對於這些實驗，極其相宜，又是一個良導體。但對於硫化物溶液，並不見沒有化學作用，還能夠從其中再吸取一些硫出來。結果此物在這種溶液內，對於鐵或鉑，成爲陽性。假如使用這樣的硫化銅，令其長久浸在溶液中，然後取出洗淨，令其乾燥，通常都表示出硫化的最後的狀態。或者一部分如此，或者全部均如此，也沒有作用發生，和先前說過的在銅板上面結成的硫化銅一樣（八八六）即當化學作用停止時，電流也就跟着停止。

八八八、天然出產的灰色硫化銅，對於這種電解質，也有同樣的關係。能夠從電解質內再行吸取硫，達於程度極高的化合物狀態。因爲是一個導體（八〇八），所以也發生電流。只要有電流繼續的時間內，其本身總是表現陽性。

八八九、但若銅已經硫化充足，一切的作用，也就停止。儘管硫化物還是很好的導體，各接觸處仍舊一樣，很弱的熱電流也都可以自由的通過，還是不見有電流存在。這不單止是方纔所說的那種靜止狀態的例（八八六），還有緊密的黃銅礦和鉑在這種電解質內完全不生作用，前面已

經說過的（八二八）有這兩種關係聯合起來，於是遂成這樣的結果。

八九〇、銻——單獨將這種金屬浸到硫化鉀溶液中去，有作用發生，成爲一種硫化銻，在金屬上結得並不十分牢固，可以一措即脫。因此假如使用銻鉑和這種溶液造成一個電流循環，在液中的銻成爲陽性，造成一種很強的電流，可以繼續流過。這又是一種很好看的狀況變更，用化學作用來說明這個效應，異常容易，用接觸說就辦不到。這個時候結成功的硫化物，當其在固態時，是一種不良導體（一三八）。所以這種硫化物的任何接觸，也不能夠發生電流。關於此一點，這種硫化物也和硫化錫（八七〇）相似。但這種情形不能阻止電流的發生，因爲結成功的硫化物，並不是一個連續體，而是一種多孔質。電解質能夠和他接近，所以作用也就繼續不絕。

八九一、銀——這種金屬若聯合鉑、鐵或其他在此種電解中不生作用的金屬，共用使用時，成爲很強的陽性，繼續發出強烈的電流。所以若將單獨受此種電解質作用而蒙上一層硫化物的銀板，取出加以檢查，即見板面上結成的一層殼，既脆而且又是破碎的，差不多立刻就要從銀板上脫離下來的一樣。從這一點加以論斷，銀和銅的性質，頗爲類似，所以雙方面的作用，都應該可以繼

續下去的。可是兩者之間，也有不同的地方。即是硫化銀是一種非導體，（一〇七）對於這些微弱的電流，不能令其通過。所以從這一點看來，銀應該和銻（八九〇）相類似。

八九二、鎳——鎳與鉑、金、鐵等，任何一種，聯合使用時，在硫化物溶液中，發生很強的電流，鎳成爲陽性。有許多的例，這樣發生的電流，往往繼續到兩三小時以上。若果遇着這樣長久的例，將鎳取出洗過揩淨後，即見硫化物很容易由鎳脫離下來，成爲鱗片狀，粘在揩拭用的布片上。

八九三、有時這樣發生的電流，不久即行停止。停止以後的電路，對於熱電流（八〇一）也不能傳導。此刻將鎳取出檢查，硫化物結成的殼，附着在鎳上異常的牢固。假使在實驗未曾開始以前，先將鎳板洗淨，再用玻璃棒磨光（八六九），然後實驗，其硫化物的粘着，更爲牢固。由此可見這般金屬的硫化物，是一種非導體，並且他的接觸，不能發生電流（八七一），如像馬立阿尼尼所想的的一樣。一切這些結果，對於化學作用說，都是完全一致的，但對於接觸說，却是衝突的。

八九四、鋅——這種金屬聯合着鉑、金、鐵等共同使用時，在硫化物溶液內，發生很強的電流，對於其他的金屬，成爲陽性。發生出來的電流，是繼續不絕的。在這裏又有一種很可觀的變化，和一

般的實驗情形不同。硫化鋅是一種非導體（八〇九）和硫化錫、硫化鎘、硫化銻等相似。可是硫化鋅却能溶解在硫化鉀溶液裏面。這種性質很容易證實，只要將鋅的溶液，取一滴放在這種電解質溶液的一部分中，先加以攪拌，即見有許多的硫化鋅發生。其次再將全體加以攪拌，就可以看見生成的硫化鋅。復行溶解。因為硫化鋅有這樣的可溶性，所以將鋅板提出來加以檢查，即見板面上完全是自由的，並沒有少許的硫化鋅蒙在其上。所以在化學作用說的一方面，此刻電流之所以能夠繼續，其理由即在於此。可是在接觸說一方面，對於這種硫化物最初是非導體，其次隨生隨即溶解入於液內，由這樣的金屬的硫化物的接觸，如何能夠說明電流發生呢？

八九五、這樣看來，使用這種頂方便的電解質（八六八）發生的一切現象，不管他們對於電解質是能發生作用的（八六七）或僅是一種被動的（八一三等）物質，結果都和化學作用說一致，都和接觸說相反。在錫和鎘生成的物質，是一種不容透過的非導體；在鉛和銻生成的，是不容透過的導體；在銻和銀生成的，是一種可以透過的非導體；在銅生成的，是一種可以透過的導體；在鋅生成的，是一種可以溶解的非導體。至於化學作用以及其結果，在這些形形色色各不相同的

例中，却是始終如一的。但若試用接觸說來說明一下，在我所知道的範圍內，除却將接觸說本身，更加變通而外，實無他法。而且此刻所要的普通程度，較之前此的程度，當更有甚焉。因為現在的特別的例，既有如其多；當然需要更多的假定，方能解釋出來。

八九六、低級硫化鉀溶液或重硫氫化鉀——我在兩三種實驗中使用這種物質作為電解質得到的結果，一般都和前面所得的相符。可是我認為沒有再追求下去的必要。至於這種溶液是將硫化氫氣送入純粹的苛性鉀濃溶液中，經過二十四小時之久造成功的。

八九七、使用鐵和鉑，在這種溶液中，就成為一個電流循環。其中的鐵，開始時是陰性，其後逐漸變為中性，到得最後就成為陽性。溶液在開始時和黃色的硫化物一樣，其作用在使蒙在板上面的氧化物還元（一〇三七），其後則很明白的直接作用於鐵將造成功的硫化物，溶解入於液中。鎳最初對於鉑是陽性，以後雖然發生的電流很微弱，總是仍舊繼續為其陽性。假使在第六十五圖（八一九）中的x處，用一種微弱的化學作用來代替金屬接觸，立刻就有強烈的電流通過。銅無論對於鐵，或對於鎳，都有程度很高的陽性，也和對於鉑、金，以及其他和溶液不生作用的金屬一樣。

銀對於鐵、鎳、甚至於對於鉛，都現為陽性；對於鉑、金等也是如此。鉛對於鉑是陽性，其後電流降低，但卻並不停止。鉍在開始時也現為陽性，可是不久電流差不多就完全停止，和使用黃色硫化鉀（八八二）時的情形，完全相同。

八九八、天然出產的灰色硫化銅，以及人造的硫化銅（八八七）對於鉑，以及對於不生產用的金屬，都現為陽性。可是黃銅礦、黃鐵礦、和方鉛礦，在這種溶液內，卻和這些金屬不發生作用。其情形也和從前使用黃色重硫化鉀溶液時相同。從這種溶液的成分推測起來，比較黃色硫化鉀的鹼性，應該要重一些。

八九九、在結束這些使用硫化物溶液作電解質的結果以前，我還要說出一個稍微不同而有很美觀的現象。其法係將銅和銀，或兩塊銅，或兩塊銀，放在此種黃色硫化物溶液內，造成一個電流循環。假如使用的金屬為銅和銀，那麼，在開始時銅是陽性，銀則保持着他的光澤，並不粘污。經過一短時間後，這種作用停止，銀即成為陽性。同時銀即和硫化合，表面上就有硫化銀附着。如是進行不久，銅又復成為陽性。照着這樣，翻來覆去的可以進行若干遍，於是發生的電流，也就隨着各時的

情形，或者於這一邊有利，或者於那一邊有利，也就翻去覆來的，改變其方向。

九〇〇、硫化物在此地的發生結局遂成爲開始的電流減弱的理由，因此遂使本來誘發力很弱，而在當時還沒有硫化物結在上面的銀，暫時佔了優勢，發生出一種電流出來，足以勝過在銅上誘發出來的電流（八九九）。那麼，由接觸說說起來，此項開始發生的電流，究竟是怎樣的和發生的硫化銅接觸而起的呢？對於這樣的變化，要如何方能說明？除了用化學作用來說明而外，尙有何法？在我看去，使用化學作用來解釋這個現象，也就和解釋前面的那些現象，同樣的簡單明瞭。因爲不管他的作用方式如何變化，周圍的情形如何不同，都是很能圓滿說明的。

一八三九年十二月十二日。