

萬有文庫

第一集一千種

王雲五主編

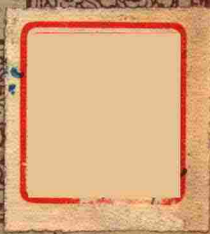
法拉第電學實驗研究

(三)

法第拉著

周昌壽譯

商務印書館發行



法第拉電學實驗研究

(三)

法第拉著

周昌壽譯

漢譯世界名著

## 第四章〔註二〕

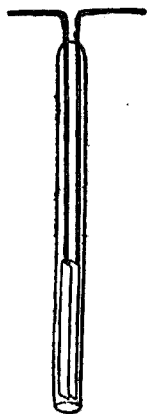
### 第六節 金屬及其他固體對於氣體物質結合的誘引力

三〇〇、就本文所得到的結論說起來，好像全部拿來作成電學研究的一類，不甚相宜的一般。但是這個現象雖然異常的顯著，可是發生這個現象的本領，却不能認為出於電源，除却粒子間作用的一切引力，或許可以將這個微妙的作用認為公共的原因而外，和電直沒有關係。不過事實上這些效應是在電學研究中遇着的，而且和其他由電而生的效應，有密切的關係，所以有熟知的必要，並且在許多的電解研究中（四四二），有注意避免的必要。因此我覺得在這裏敘述出來，是很應當的。

三〇一、不問電的強度如何，以及電所經過的物質為受分解作用的，或為完全的導體，總之，一定的電量，就有一定的恆常的化學作用，這個結果，可由此後所說的實驗（四四〇）證明，根據

這個結果，我想製造出一種量度的器械，從其用途，至少暫時可以稱為電量計 (Volta-electrometer) [註1]。

三〇二、當我對於這個量度器作種種的實驗，希望將其效率提高的時候，常常有意想不到的現象發生。即是由水的分解而得的氣體，往往缺少，最後甚至於已經發生，已經收集起來而且測定了的一部分的氣體，居然也會消滅。其消滅的情形如下。使用一個玻璃管長約十二英寸，直徑四分之三英寸，由其上端插入兩條鉛導線，將上端封密，使不透氣。此兩條鉛線在玻璃管內和兩塊鉛板用金來銲合，如第十六圖，作成兩個電極。管內滿盛稀硫酸，倒插入盛有同樣溶液的杯內。將管外露出的金線，連結到電池上，即見有多量的氧氣和氫氣發生，佔據全管五分之四的地位，或用管上所記的標度來計算，共佔有一百十六格。若於此時將電流切斷，立見氣體的容積減小，經歷約五小時後，剩下的氣體就只有十三格半了，再任其繼續下去，最後即完全消滅無餘。



第十六圖

三〇三、由種種實驗的結果，始知這個效應的原因，並非氣體漏到外面，也非溶解，更不是在這種情況中他們能夠具有的什麼特殊條件，使氧氣和氫氣重行化合，乃是管內的電極，對於在其周圍的氣體作用使然。若於通電後，即鉑極對於稀硫酸既經作用以後，將鉑板由電池取下，分別各插入一個內盛氧氣氫氣混合物的管內，即見陽極確有使氣體化合的效力，陰極却沒有這樣效力（三二四）。假使管內只有單獨的氧氣或單獨的氫氣，那麼，陽極和氣體間，並沒有可以感覺得到的作用發生。

三〇四、由這些實驗可知曾經一度被用作電解的陽極的鉑，雖在通常的溫度中，甚而至於在低溫時，也有使氧氣氫氣化合的本領，電流切斷後，氣體逐漸消滅的現象，其原因即在於此。在我所知的範圍內，這是一個很新的效應，接着就去研究其性質是否與電有關，以及在電解進行中，對於分析而出的物質的量，妨礙到什麼地步。

三〇五、照着第十七圖所示的金板，預備好了幾個。每個差不多有半英寸寬，

兩英寸半長，至於厚處，則不相等，有些只有二百分之一英寸，有些還不到六百分之一英寸，又有些甚至於有七十分之一英寸。每一塊板都連着一段鉛導線，約有七英寸長，是用金來鍍上的。其次又預備了若干的玻璃管。約有九英寸或十英寸長，內徑約為八分之五英寸，一端封閉，使不透氣，管上均有標度。這些管內各盛入由二容積的氫氣，和一容積的氧氣，混合而成的氣體用水槽內的水，將管口封緊，將上面所述的鉑板，和電池的陽極或陰極連結，放置若干時後，或用其他的方法製成亦可。將這樣製成的鉑板，經從水中放到玻璃管內的混合氣裏面，然後令全管倒立在另一玻璃管內，如第十八圖所示，放置若干時間後，即可觀察得到其中所起的作用。

三〇六、下面所舉的結果，可以將我們

現在要研究的現象表現出來。將比重等於一

• 三三六的稀硫酸盛入玻璃缸內，缸中又放有一個大的鉑板，將此鉑板和電池陰極連結。

電池用四十對的四英寸的雙層銅板製成，其灌電的程度，強弱適中。其次將上述的鉑板中的一塊

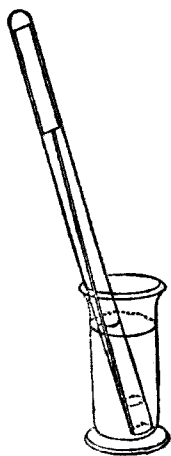


圖 八 十 第

(三〇五)和陽極連結，浸在同一的缸內，經過五分鐘的時間，方將電流切斷，用蒸餾水洗淨，再經過水中，插入內容氧氣氫氣的混合體的玻璃管內(三〇五)。即見氣體的容積，開始減少，並且愈減愈快，直至混合氣體的容積，約減去四分之三為止。此時玻璃管的上端變得很暖，鉑板的自身尤其熱，所以水昇到鉑板上時，簡直沸騰起來。還不到一分鐘，一立方英寸又半的氣體消去，這是由於鉑板的力量，化合後變成爲水。

三〇七、陽極連結着的鉑板，得到的這種非常的影響，以對於氧氣和氫氣，作用最快而且最有效。經我實驗的結果，他種氣體均遠不及氫氣和氧氣。取一容積的氫氣和一容積的氫氣混合後，盛在玻璃管內，管中插有原在稀硫酸內作陽極用歷四分鐘後的鉑板(三〇六)。放置一小時後，並不見有感覺得到的作用，可是放置三十六小時後，即見減去原容積的大約八分之一。由此可見並非沒有作用，不過進行異常遲緩，即是作用極其微弱罷了。

三〇八、其次取一容積的一氧化二氮(nitrous oxide)和一容積的氫氣的混合體，和同樣製成的鉑板，同放入玻璃管內(三〇五，三〇六)。也不見有立刻發生的作用。但若經歷三十六

小時後，即約有全體的四分之一消滅，即減去了約有半立方英寸。再將同樣的混合氣體放在另一玻璃管內，其中不放鉑板，以作比較，即見有一部分減少，由於溶解而生，其他的一部分，則由於鉑板的作用；不過其作用極其遲緩而又微弱罷了。

三〇九、再將成油氣 (Olefiant gas) 一容積及氧氣三容積混合，照前實驗，完全不受那樣的鉑板的作用。就是放置若干日以後，還是不生變化 (三七六，三七七)。

三一〇、二容積的碳酸氣和一容積的氧氣混合而成的氣體，也不受這樣預備好了的鉑板的作用，經歷若干日後，還是如此 (三八一等)。

三一一、用氫氣和等容積的氫氣混合而成的氣體，着上述的方法 (三〇六) 做過好幾次的實驗。容積的減小，立即出現，可是經歷三十六小時後，將這些實驗加以檢查，始知差不多全部的氫氣，都消滅完盡，這實在是受了吸收使然，大部分由水吸收而去，原有的氫氣，容積始終未變。所以這個混合的氣體，並沒有化合。

三一二、再將這些金板插入氧氣和氫氣的混合氣體中去 (三〇六) 即見在相當的時期



中，仍舊保存有此項本領，雖然進行甚遲，可是在任何情形均必存在。至於保存此項本領的時期的久暫，則隨環境而異。設送一部分新的氫氣氧氣混合體，進入內容鉑板的玻璃管內（三〇五），使管內原有的混合氣體的密度增加時，此項作用可以繼續至大約三十小時以上。並且有幾個實驗裏面，就在八十小時以後，還發見有很遲緩的化合物發生。又此項繼續的時期的久暫，和使用的氣體是否純粹，也大有關係（三七四）。

三一二、有幾塊鉑板（三〇五）是浸在比重爲一·三三六的稀硫酸內，作成陽極，隔四分鐘後而成。取出用蒸餾水沖洗後，任取其中的兩塊，放在一個小的瓶內，將瓶塞上，其餘各塊，仍放在空氣中。在瓶中的板，和有限的空氣接觸着，就在八天後，也還能夠保存這種本領。可是放在大氣中的那幾塊板，只在十二小時內，即將此項本領，全部喪失完盡。若在氣流通的地方，保持的時間較此更短。

三三四、又將金板放在比重爲一·三三六的稀硫酸內，作成陽極，歷五分鐘後，始行使用。將其中的一塊，仍留在硫酸中，由切斷電流時起，再隔八分鐘久，方取出使用。此板對於氫氣氧氣的混

合氣體作用的本領，並不減小。其餘各塊，仍舊放在同樣的酸內，再歷四十小時，有些甚至於放到八天後，方取出使用，其對於氫氣和氧氣的混合氣體作用的本領，和切斷電流後立即取出使用時相同。

三一五、同樣用苛性鉀的溶液，來保存鉑板的效應，也作若干次的實驗。將鉑板放在這樣溶液內，歷四十小時後，始行取出使用，其對於氫氣和氧氣的混合氣體，作用極佳，其中並且還有一塊，使氣體的凝結過於太快，致令全板受到很大的熱量，其溫度差不多要昇到着火的程度。

三一六、若將同樣製好的鉑板，放在蒸餾水內，隔四十小時，然後放入氫氣和氧氣的混合氣體中，其作用即一變而成異常的遲緩，異常的微弱，遠不及在酸或鹼中保存後的作用強烈。可是用來保存鉑板的水的分量，假使很少，那麼，就是將鉑板放在裏面隔三四天後，此項本領所受到的損害，仍極微小。盛水是用的木器，所以由其中取出一部來，放在玻璃器內重行蒸餾，如是而得的水，即能保存鉑板至相當長久的時期。如將這樣的水放在玻璃管內，再將鉑板浸在管中，將管口塞上，隔二十四天後，再由此管中取出幾塊鉑板來實驗，其對於氫氣氧氣的混合物的作用，極其敏捷。其餘

的鉑板更在管內直至五十三天後，始行取出檢查，仍有使混合氣體化合的本領。在此實驗中，用來封閉管口的物質，不過是通常的軟木。

三一七、混合體化合的結果，有使鉑板的本領減少的作用，有時甚至於使鉑板的本領完全消滅。雖然不能說全體的話，總之，在多數的實例中，混合氣體的化合，開始總是覺察不到的，以後始逐漸增強，有時甚至於增強到發生炸裂的程度。可是只要炸裂不至於出現，這種化合的速度，就漸漸的降低下去。縱令再送入一些新鮮的混合氣體進入管中，化合仍舊是愈來愈慢，到得最後，竟至完全停止。前半節化合速度增快的原因，一部分是由於化合成功的水隨即流去，讓出鉑板表面與新的混合氣體接觸，一部分是由於化合時，有相當的熱量相伴發生（三六六）。儘管有這些原因存在，事實上終不能免其減小，甚至於完全停止其作用。同時還有一件事，也不可忽視，就是混合氣體如愈純粹，則鉑板的本領，保持愈久。使用的混合氣體，要是在純粹的稀硫酸內兩極上發生的，那麼，保存的時間要算最長久的了。若是使用完全純粹的氧氣和氫氣，或許此項本領，一點也不會減弱。

三一八、當鉑板既經失其爲陽極以後，再加以種種的處理，結果對於其本領，發生很奇怪的影響。一塊鉑板放在比重爲一·三三六的稀硫酸內，作爲陽極，歷四五分鐘，然後用水沖洗，始放在氫氣氧氣的混合氣體內，作用甚佳，於六七分鐘內，可以凝結一立方英寸又半的氣體。但如同一的板，不單止用水來沖洗，並且還任他在純粹的蒸餾水中，放置十二分鐘或十五分鐘以上，始行放入混合氣體中，只消一兩分鐘，即熱到發火的程度，通常均有炸裂發生。有時此項作用的時間，延至八九分鐘，有時甚至於延到四十分鐘，不過發火以及炸裂，仍舊是不能避免的。這個效應是由於鉑板上還粘得有一小部分的稀硫酸，單用水沖，不能去盡，在水中多浸若干時間，即可完全去脫（註三）。

三一九、有時將鉑板（三〇五）自電池陽極撤下後，先用水洗，後用吸水紙或布來揩，其次再洗再揩，反覆數遍。然後放到氧氣和氫氣的混合氣體中內，其結果和未曾洗過揩過時一樣。有時將盛氣體的管口放開，使其與空氣相通，暫時後，將揩乾了的鉑板放進去，仍舊沒有感覺得到的差別，只不過其作用的開始，略微快一點罷了。

三二〇、此外還有熱對於鉑板的作用，有無影響，也曾加以實驗（三三一）。先將鉑板放在

稀硫酸內，作成陽極，歷四分鐘後取出，在水中洗過，再拿到酒精燈上去燒，使其變成紅色，再放入混合氣體中去檢查，即見其作用甚佳。又將另外幾塊鉑板，照同一方法製就後，拿到更強烈的火中，如吹管去燒後，結果雖然不及前一鉑板的作用猛烈，却也還能使混合氣體受其作用。由此可見鉑板在電池的陽極上，取得的這種特殊的本領，並未曾被熱驅逐而去。雖然有時此項本領也不免減小，但總還有熱以外其他的原因存在。譬如鉑板洗得不十分乾淨，其上還留有少許的酸，或者用來加熱的火焰，含有炭質在內，或者使用的酒精燈的酒精中，雜有小量的酸在內，或者使用的燈心上，放有鹽類或其他的雜物時，鉑板的本領，都會減得很快，而且減得很多（三七〇，三七二）。

三二一、鉑板只要是在硫酸內作成陽極使用，就能夠得到這種顯著的性質，不問使用的硫酸，比重是否一·三三六，或是較此更濃，或是較此更淡，或是濃到純粹的硫酸，也都同樣。再用濃硝酸，稍硝酸，硝酸，酒石酸溶液，枸橼酸溶液，羧酸等來實驗，結果都是一樣的有效。再用鹽酸來試，結果也能使鉑板得到此項本領，不過程度較遜罷了。

三二二、將鉑板放到苛性鉀的溶液中，作成陽極使用後，鉑板並不能夠取得使氧氣氫氣混

合體互相化合的本領。再將鉑板放到碳酸鉀或放到碳酸鈉的溶液內，作成陽極使用後，取出檢查，即見其雖然具有此項本領，但其程度甚低。

三二三、若使用中性的溶液，如硫酸鈉溶液，或硝石的溶液，或氯酸鉀的溶液，或磷酸鉀溶液，或醋酸鉀溶液，或硫酸銅溶液，將鉑板放在此等溶液中，作成陽極，歷四分鐘後，取出用水洗淨，對於氫氣氧氣的混合氣體，立即顯示很強的作用。

三二四、要研究鉑板何以能夠得到此項作用的原因，先要決定是否只有陽極始能使其得到此項特性。或者事實儘管如此，究竟若果能夠將妨礙陰極的各種情形避去以後，陰極是否仍舊不能得到此項性質。爲此目的，於是用了三個鉑板，放在比重等於一·三三六的稀硫酸中，作成陰極，歷四分鐘後，取出用水洗淨，始放在混合着的氫氣和氧氣裏面。各板均同樣的發生作用，雖然程度不及陽極時的強烈。歷二十五分鐘後，各板均使約有一立方英寸又四分之一的氣體化合。這個實驗曾經反復行使過若干遍，各次得到的結果都是相同的。若在未將鉑板放到混合氣體以前，先令其在稀硫酸內放置十分鐘或十二分鐘（三一八），則其作用即發生得很快。

三二五、假使酸內若含有任何金屬，或其他的物質，能夠在陰極沈澱出來的時候，此時的鉑板，就沒有使混合的氧氣氫氣化合的作用。

三二六、由這些實驗的結果，可以想見鉑板因被用作電池的陽極，而取得的使氧氣氫氣化合的本領，其主要的原由，並不在於電池的作用，也不在於和鉑板連結着的任何的部分上，而在於鉑板的本身上。並且無論何時，都有此項作用，只要鉑板的表面完全的乾淨，無論何時，都有效力。當鉑板放在酸內作成陽極使用時，固然是一種最有效的方法，使其表面洗淨，但却不能說，用其他通常的方法去洗淨他，不能得到同樣的結果的話，只不過程度不十分顯著罷了。

三二七、因此就拿一塊鉑板（三〇五）用一塊軟木，一些水和一些煤灰，放在一塊玻璃板上，去加以洗滌，然後用水沖淨，放在氫氣氧氣的混合氣體中，開始時，其作用雖甚遲緩，不久即見其作用進行加快。一點鐘後，即有一立方英寸又半的氣體消滅。

三二八、又拿若干塊的鉑板用普通的砂紙和水去擦淨，又有些用白粉和水去擦淨，又有些用金剛砂和水去洗淨，又有些用黑色的氧化錳和水去擦淨，又有些用一塊木炭和水去洗淨，都可

以在管內的氧氣和氫氣的混合體，發生化合作用。這些鉑板的作用，當然決沒有作成陽極使用過的鉑板的強烈，可是經歷二十五分鐘乃至八十分鐘後，也有一立方英寸至二立方英寸的混合氣體消去。

三二九、再用軟木，金剛砂和稀硫酸去磨洗鉑板，其作用更佳。因為要圖條件的簡單化，即將軟木擯去不用，而改用一枚鉑箔來代替，依舊還是有作用發生。其次再省去硫酸，使用木灰（Potash）的溶液，其效應依然如故。

三三〇、這些結果為數極多，很足以表明用機械的方法去擦淨金板，即足以使其在通常的溫度中，有使氧氣氫氣化合的本領。

三三一、其次再檢查熱對於鉑板的此種作用，有何影響（三二〇）。將不生作用的鉑板，即是不能夠使氧氣氫氣的混合體起化合作用的鉑板，放在新剪過的燈心的酒精燈火焰邊，用口吹的吹管將火焰放到鉑板上，燒若干時後，再使其冷卻，然後放在盛有混合氣體的玻璃管內，即見開始時作用甚緩，可是經歷兩三小時以後，差不多全管內的混合氣都化合無餘了。



三三二、另取一塊鉑板，約有一英寸寬，兩英寸又四分之三長，在上述各種試驗中均未曾用過，使其略微彎成曲面，以便放入玻璃管中，管中盛氫氣和氧氣的混合體，此鉑板在其中放置十三小時之久，並未見有絲毫的氣體化合。從此管內經由封閉管口的水中，將鉑板抽出，放在酒精燈火焰中用吹管加熱，然後俟其冷卻，插入先前的管內同一的部分的混合氣體中。只經歷兩三分鐘後，即可看出氣體的減少，四十五分鐘後，共約減去一立方英寸又四分之一的氣體。此外還有許多其他的實驗，也都表示出鉑板受熱後，即取得使氧氣氫氣化合的本領。

三三三、一方面也常常遇到許多不確定的情形，受熱後的鉑板，放在氧氣氫氣的混合體內，不加擾動，保持到兩小時以後，依然不能使氧氣和氫氣化合。又有些時候，當鉑板燒成暗紅色的程度時，雖然能夠使混合氣體化合，程度可不甚高，但若將他燒成白熱的時候，反轉失却了此項本領。又有時與此相反，當其受熱不多時，完全不發生作用，當其燒成發火的程度後，又發生效力。

三三四、雖然如上所述，結果不甚準確，又對於在電池陽極的鉑板（三二〇），使其本領減小，可是在未受熱以前，完全不生作用的鉑板，到了受熱以後，一變而成有效，也是很明顯的事實。

(三三二) 至於上面所說的幾種例，不過是偶然遇到的，算不得普遍的結果。其原因完全由於鉑的表面不潔而來。或者鉑表面上原已有別的物质附着於其上，經火燒後，其附着更爲密切。或者由火焰中傳來一些別的物质，新附着於鉑的表面上。或者從空氣中，亦可傳到。試將一塊磨光的鉑板，放在酒精燈的火焰上，用吹管加熱，每每可以看見其表面的顏色轉暗，或者起霧，即其上有別種物质生成或沈漬於此處。這一些，即使比比更少，也就很足以妨礙他表現出我們現在正在研究中的那種奇怪的本領了(三七〇，三七二)。鉑又可和碳化合，所以在火焰中受熱時，火焰中若果有碳或其化合物存在，就難免不有此種化合物發生，成爲一層薄膜，蒙在鉑板面上，因此不能表現純粹時的特性〔註四〕。

三三五、其次對於酸和鹼，再由實驗加以檢查，以明其能否使鉑得到此項特性。將不能使氫氣氧氯化合的鉑板(三〇五)，放在苛性鉀的溶液中，加熱煮沸，洗淨後，放入混合氣體中，有時固然作用極佳，但亦有時失敗。其失敗的原因，可以歸諸鉑板面上的不純粹物质。此種不純物，不能夠單獨使用鹼性溶液即可溶去，只要使用少許的金剛砂磨擦後，再用同一的鹼溶液(三二八)處

理，即見其同樣的能夠發生作用。

三三六、酸類的作用，比起鹼來，就安定得多了，結果也很能令人滿意。將一塊鉑板放在稀硝酸內煮沸，洗淨後，放入氫氣氧氣的混合氣體內，作用甚佳。再將幾塊鉑板放在濃硝酸內煮沸，並在其中煮的時間，由半分鐘到四分鐘為止。然後用蒸餾水洗淨，其作用仍甚佳。在八分鐘或九分鐘間，可使一立方英寸又半的混合氣體凝結，結果並使全管成爲相當的煖熱（三〇六）。

三三七、濃厚的硫酸，對於使鉑板發生此項本領，最爲有效。將一鉑板放在其中加熱，歷一分鐘後，再行洗淨，放入氧氣和氫氣的混合氣體中，此時引起的作用，和用電池陽極製成時相同（三〇六）。

三三八、有些鉑板在鹼中用火燒後，或帶電後，或經其他方法處理後，如仍不呈作用，只要將他放在熱的純硫酸中一二分鐘，甚而至於一瞬間，然後放入水中，立即取得此項本領。

三三九、若將鉑板放在純硫酸內，取出後再行加熱，將其上的酸驅盡，即不生作用，這是因爲由酸中留下一些不純的物質在鉑的表面上所致。

三四〇、植物性的酸類，例如醋酸或酒石酸等，有時能夠使沒有作用的鉑板取得此項本領，有時又不能夠。這樣的差異，在我想去，應該是鉑板上原先附有的不純物質，性質不同，如其容易被這些酸類溶解而去，就能使鉑板取得本領，如不能為其溶去，就不發生作用。稀薄的硫酸，也有這樣的差異，要是濃厚的硫酸（三三七）就決不會失却效力。

三四一、最有效的處理方法，除將鉑板放在濃厚的酸中，作成陽極使用而外，要推下面所述的為最。先將鉑板拿到酒精燈的火焰上，俟其燒熱，用苛性鉀一片去摩擦，苛性鉀熔化後，即在鉑板的表面上，成爲一層異常濃厚的鹼的薄膜，這層膜保持着他的液態，在表面上歷一兩秒鐘以後〔註五〕，再放在水內浸四五分鐘，以便將鹼洗去，加以震搖後，再浸入熱的純硫酸中，約一分鐘。由此取出，再放入蒸餾水內，如是放置十分鐘或十五分鐘，以便將最後的酸的痕跡洗去（三一八）其後始放到氧氣氫氣的混合氣體內，立即有化合作用發生，其進行頗速，全管成爲煖熱，鉑板變成紅熱，其剩餘的氣體，因此點燃。這個效應，可以任意反復行始，如此一來，就不必使用電池，也能夠使這種最顯著的現象發生。

三四二、如用酒石酸或醋酸的溶液來代替硫酸，作上述的實驗，鉑板同樣的可以得到那樣大的本領，每每也可以使混合氣體發生炸裂，不過仍不及用硫酸時靠得住，並且也不及硫酸強烈。

三四三、如將硼酸或碳酸鉀和碳酸鈉的混合物，熔化到鉑板的表面上，然後用水好好洗滌，也能使鉑板得到這種本領，不過程度不甚高，若於熔化後，加以洗滌，洗滌後再浸入熱的硫酸裏面（三三七）去，那就可以得到強烈的作用了。

三四四、其次再取鉑以外的其他的金屬來實驗，金和鈦（Palladium），無論作成電池的陽極（三〇六）或用熱的純硫酸處理（三三七），都可以表現出有此項本領。不過使用鈦的時候，電池或硫酸的作用，均須適中。假使過強，鈦就不免要受其作用。又銀和銅兩種金屬，在通常的溫度時，沒有此項效應。

三四五、根據上述各種實驗的結果，可知無論是連結到電池的陽極，或是用機械的方法或化學的方法去洗淨，都可以使鉑或其他的金屬得到此項能力，可以誘起化學反應，至於何以能夠誘起此項反應，則由於一八二三年經得柏賴涅（Doberainer）〔註六〕發見的海綿狀白金（sp.

ongy platina) 的作用。此項作用其後經度隆 (Dulong) 及特那耳 (Thenard) 兩人詳細實驗證明過〔註七〕。他們兩人並且還引出幾個實驗，使用一條白金導線，捲成螺線狀，浸在硝酸、硫酸或鹽酸中，以後放在氫氣的氣流上〔註八〕，即能發火。我現在就用上述的方法（三〇六，三三七，三四一），即可隨意使鉑導線或鉑板發生此種效應。又還將一塊鉑板，切得很小，俾其上只有幾點停放在玻璃上，但仍能使水流去，如第十九圖所示，則熱的損失甚小，此時的鉑板也就同化成爲海綿的狀況，這樣一來，實驗就不至於失敗。

三四六、得柏賴涅將這個效應認爲是完全由於電的作用而來。他以爲白金和氫氣造成了一個通常的電池，其中氫氣的陽性頗高，所以和通常的電流發生器中的鋅相同，因此能夠吸引氧氣，而與他化合〔註九〕。

三四七、在度隆和忒那耳的兩篇最著名的論文裏面〔註一〇〕，他們指出溫度的升高，對於此項作用頗爲有利，但却不能改變他的性質。還有德斐的白熱白金導線，也和得柏賴涅的海綿狀白



金，屬於同一類的現象。由此可以表明一切的金屬，均有此項能力，不過強弱各不相同罷了。不但金屬爲然，就是木炭、浮石（Pumice），瓷器、玻璃、水晶等類的物質，當其溫度升高以後，也有這樣的能力。還有德斐的另外一個效應，即是氫氣和氧氣在着火點以下的溫度時，徐徐化合，其真正的原因，由於和他們共同存在的熱玻璃的性質使然。他們又說液體物質沒有此項效應，至少是水銀，在其沸點的溫度或在沸點以下的溫度時，沒有這種能力。其原因並不出於孔性。其作用的強弱，隨其狀態而變。除氫氣氧氣的混合物而外，還有許多的混合氣體，都能受其影響，只要將溫度升高，都可以發生化學反應。他們以爲海綿狀的白金，其所以能夠取得此項能力的原因，或者出於還原時發生出來的酸和他相接觸，或者出於現在受到的熱的本身。

三四八、度隆和忒那耳表示他們兩人對於這個作用的意見，頗爲審慎，可是說到金屬對於分解氨精的本領時，因爲溫度升高還不足以使鹼類發生影響，他們就斷定凡對於電解最爲有效的金屬，對於引起氫氣氧氣化合物的作用，也最薄弱。一方面如鉑、金等類的物質，引起氨分解的力最小，同時使水的成分元素化合物的能力就最大。由此他們得到一種結論，是說氣體中有些受了金屬

的作用發生結合，有些又反而分離，這個性質又隨金屬而異。他們在第二篇論文的結束處，曾說這種作用和我們所已經知道的任何理論，都不能關聯。這個效應很顯然的是一瞬間即過，雖然和電流的作用頗相類似，可是他們大多數實驗的結果，假如認此為完全出於電性，就不能夠說明。

三四九、佛息尼立 (Fusini) 關於此題也有著述發表過，並且提出一個學說，他認為可

將這個現象說明〔註一〕。據他說這個現象的直接原因如下：「鉑不絕由氣體或汽中，將其可以燃燒的物質沉積下來，成爲一層凝成膜，流到鉑的表面上，即引燃燒，燒後又來一層新膜，如是繼續不已，因其燃燒，遂令鉑板的溫度升高，並且維持此項高溫不致降下。」此項可燃性的物質，經此作用造成目不能見的薄膜，其中凝結的部分，和氧氣相接觸，最容易引起化合，假使是在氣態的時候，還要相當的溫度，現在就遠在此溫度以下，也很容易結合，所以此時的狀態，和所謂初生態 (Nascent condition) 很相類似。這種可燃性的氣體，失去他的彈性狀態，變成了凝結的形狀，雖然很薄，却

是很堅固的一層，有許多的事實足以證明，其中有些在一八二四年出版的 *Giornale di Fisica* (註一) 書中，已經引用過。雖然須要有很高的溫度，方能成爲此種狀態，雖然說水或其他物質



造成的同類的薄膜，受熱作用後，應該消散，可是對於種種反對的意見，依然還是有許多事實，足以證明這個結論是正當的。

三五〇、將可燃性的氣體或汽凝結到固體的表面上，成爲薄膜，失去其彈性的狀態，此項作用，並不出於引力，也不出於親和力。此項作用並且可以推廣到其他的液體和固體，凡是和這種有作用的固體接觸着的時候，也能夠在他的表面上造成一層薄膜，這是出於斥力的作用，當固體有一部分變成稀薄的時候，那一部分就有這種斥力表現出來，稀薄變化的進行愈完全，表現出來的斥力也愈大。這種力的進展極速，開始的時候，變成稀薄的物質，那一邊最短，此項力的發展最爲猛烈，其次則沿着隅角轉灣，只要表面上稍微有點原因存在，都可以促進他的發展。不僅使氣體或其他的物質在物體表面上起驟然的擴散由於此力，並且他的性質還是普遍的重要，如像細管現象，化學親和力，內聚力，稀薄，沸騰，揮發，爆發，以及其他的熱學現象，還有燃燒炸裂等一切現象，均可用此力來作說明。因此將他認爲是熱的一種形態，特別給他一個名稱，叫做本熱 (Native caloric)，更進一步，將這個力認爲是兩種電和兩種磁的素因。

三五一、我很願意能夠得到最正確的佛息尼立的見解，一方面因為對於他用來解釋這些現象的力，我實在不能得到明確的觀念，一方面他用來記載他的議論的文字，我知道得不甚完全。所以我希望對於此題要知道詳細的人，還是直接去參攷他本人的著作爲安。

三五二、這個問題雖然還不會完全解決，可是我却要提出一個意見，只須根據已經知道的原則，就足以將這個效應說明。

三五三、還有應行申明的，就是這個作用對於鉑既不由於任何特殊的或暫時的情況而來，也不是電或其他任何的性質。試觀鉑板隨電極可成陽性，也可成陰性，並且用酸，用鹼，用水，用炭，用金剛砂，用灰，用玻璃，各種各樣不相同的物質，都可以將其洗盡，甚至僅僅加熱，也能辦到。由此種種事實，亦足以證明此種意見，並非事實。這種作用和海綿狀態及孔性也沒有關係，對於壓緊和磨光，密集和稀薄，也都沒有關係。因為這些狀況下的金屬，無論是哪一種，也都可以發生效力，同時也都可以使其失去作用。其唯一的要件，好像是完全的清·潔·和·金·屬·的·表·面。只要有了這個條件，其餘的條件如何，形狀如何，都不成爲問題，鉑一定可以發生作用。雖然其餘的那些條件，對於作用進行

的速度，頗有關係，因此對於其外觀以及此項作用的副效應，即金屬的着火，和氣體的燃燒等，也有相當的影響。可是縱令在最有效的條件下面，要是沒有清潔的金屬表面，也還是不能發生效力。

三五四、雖然不能說是全體，總之大多數的固體，都能發生這種效應，不過其中有許多的效應甚弱，以鉑的效應最爲顯著。度隆 (Dulong) 和忒那德 (Thenard) 曾經對於此事，由理論上加以擴充，認爲一切的金屬，土金屬，玻璃，石類等（三四七），莫不具有此項性質。由此一來，將他認爲是一種已經周知的作用，或是認爲是一種電作用的各種觀念，遂一掃而盡。

三五五、凡和此題有關的一切現象，都使我確信問題中這個效應，完全是偶然而來的，其性質是一種副作用。此項效應由於氣體的彈性的自然狀況，與許多物體具有的引力的作用，尤其是固體此項作用最強，差不多全都具有。因爲有了此項引力，所以他們方能集合攏來，同時往往構成一種附着的狀況，然而並不起化學的化合作用。這種引力在極佳的條件下，如像現在所說的，往往使同時受此引力作用的物體間，發生化合的作用。關於集合的引力和化學親和力雙方面，我所採用的見解，也和大多數的人所採用的相同，認爲在粒子間作用的作用球的範圍，超出其直接結合

的那些粒子以外（二五九）在許多的情形下，發生出異常重大的效應。我認爲這種引力是決定得柏賴涅（Dobereiner）效應的最緊要的條件，其他與此相類似的條件，均不及此。

三五六、用不能和物體發生化合作用的液體來使物體潤濕，或用不能使物體溶解的液體來浸着物體，要算是這種引力的實例中最簡單的了。

三五七、凡能溶解在水裏面而不化合的，都是吸收濕氣的，將濕氣吸收在其表面上，是這種吸引力最強的實例，和現在研究中的問題，很爲接近。假如研碎了的泥土，一氧化鐵或過氧化鐵，氧化鏽，木炭，甚至於金屬，例如海綿狀白金或沈澱出來的銀，放在含有水蒸氣的大氣裏面，立即變爲潤濕，這就是這個引力的表現，雖然不能和物體化合，却將水分吸收到物體的表面上而成的。假如將這樣潤濕後的物體，放到乾燥的大氣裏面去，例如和硫酸共同封住的空氣內，或者加熱後，他們所吸收的水分，立即全部放出，不能和物體直接的或永久的接觸（註一三）。

三五八、這種本領的更好的例，就是和我們要想解釋的現象最爲類似的，當推在玻璃和空氣間存在着的引力，在製造氣壓計和溫度計的人，都很知道的。此時的附着力或引力，是在固體和

氣體間作用。這兩種物體的物理的條件既不相同，相互間又沒有結合的能力，當引力作用之間，各保持着其原有的物理狀態，不起變化〔註一四〕。如將水銀注入氣壓計的玻璃管內，則水銀和玻璃之間，必留下一層薄的空氣膜，可繼續至數月以上，有時還可以繼續到若干年之久。除却施用特殊的手段而外，簡直無法將這一層空氣薄膜逐去。所謂特別的手段，是將水銀加熱，使其沸騰。換句話說，就是造成大量的汽，俾得與玻璃的任何部分和水銀表面的任何部分相接觸，漸次混合，變為稀薄，因此可將這些表面上所吸引而來附着於其上的空氣攜帶而去，由其他的汽，來作空氣的代替。受同樣大小或許比較更大的引力作用，可是到得冷卻以後，這種汽立即凝結起來，成為管內所盛的液體。

三五九、在結晶的溶液或沉積的溶液中，作核使用的外來物體，當液體中任何處所都沒有沉積物質分析出來的時候，也能夠使物質分析出來，即是此種外來物體，好像具有發生同樣本領的效應，能夠將其近傍的粒子吸引而來，雖然他的力量不足以引起化合，但却能使其附着於核的周圍。

三六〇、由溶液中的核的各種實例，以及放在含有水蒸氣，碘汽以及樟腦汽的空氣中的物體所起的效應，加以推察，好像此項引力有一部分的選擇性，集合的引力和化學的親和力兩方面都可以取得。這個結果和我們所抱的觀念，不特不相衝突，並且頗能一致。此處所說的觀念，是說粒子的力，並不作用於直接與其結合的其他的粒子，而作用於距離較遠的粒子，或則因其前此的條件，物理的位置，薄弱的關係，不能與其結合的粒子，在此方發生作用。

三六一、各種物體之中首推氣體，當其受鉛或其他有作用的固體物質的引力作用的時候，能夠表示一些相互的作用。至於水，酒精等類的液體，其狀態過於密集，比較上不能壓縮，所以他們的粒子受固體的引力作用後，不能期待他更相接近。可是這種引力的作用，却將他的粒子牽引到固體的粒子的近傍。有許多的例中，前者的引力遠大於後者。但是氣體分子間的距離，受外力的作用後，可以大為改動。當其與鉛直接接觸着的時候，氣體分子和鉛分子的接近程度，能夠增成最大。對於前此所說的潤濕的物體（三五七），其力足以使汽恢復其液體的狀態，往往大氣中要是沒有這種引力的作用，必須使用機械的力量將原有的容積壓縮到十分之一甚至於二十分之一，還

不能夠使其化爲液體。

三六二、和物體間的此項作用，還有一點有很重要的關係，就我所知，以前還未曾爲人注意到，就是氣體對於作用物體的表面的彈性的條件。關於固態物體，液態物體和氣態物體的分子間的真正內面的狀況，我們知道得並不十分完全。當我們說氣態是由於粒子或其周圍的空氣間的斥力而來，縱令我們誤會各個粒子是熱電或其他任何作用的空氣圈的一個很微小的核心，但在此項彈性的時候，一定不會錯誤，完全由於相互間的作用而來。現在此項相互關係，遇着氣體粒子與鉑接觸的時候，完全失去效力，由此不免令人想到此處的彈力，至少也減去一半。因爲根據道爾頓的說法，一種氣體粒子的彈力對於第二種氣體粒子的彈力，不能發生作用，彼此間的關係，和各在真空中的時候相同，因此，鉑粒子對於氣體粒子，決沒有影響可言，無論如何也不能像同類氣體粒子間的作用。

三六三、但是在氣體物質的一方面，其對於金屬的力量減少一半，在我看去，好像是從已經熟知的氣體構造而生的一種自然的結果。一種氣體或汽存在的空間中，無論是怎樣的稠密，怎樣

的壓緊，對於第二種的氣體，其效用和真空相同。譬如含有一種乾燥氣體，如乾燥的空氣之類的容器，其中的氣壓，縱令有一百氣壓之多，若果將少許的水拿到其中，此時發生的水蒸氣，和在真空中時發生的水蒸氣分量相等。此時水蒸氣粒子和空氣粒子間的距離，可以無限制的接近，絲毫不感覺困難，只有受他同類的粒子的影響。假如對於別的物體，和其本身有相同的彈力，也是這樣，那麼，對於鉑等類的物體粒子，以及其他有限制的物體的粒子，雖然沒有這樣的彈力，性質也不相同，更應該是這樣的了。由此可以推知氫氣或在鉑之次的其他任何氣體或汽的粒子，和他接觸的狀況，宛如在液體狀態時一樣，縱令金屬沒有受到引力的作用，也能互相接近，比較其本身的粒子相互間還要接近些。

三六四、還有第三個重要的點，對於氣體間的相互作用也是有利的，就是氣體是可以完全互相混合的，若果能夠化合的流體也能夠混合起來，那麼，當他們混合的時候，立即發生化合作用，並不必要等待其他任何規定的條件，但若這樣的兩種氣體，是氧氣和氫氣共同存在着的時候，這兩種氣體雖然在千千萬萬的實例中，具有強烈的親合力，可是單純的混合起來，却不能夠化合。不



過只要他們配合比例很完全，再加上任何一種規定的原因，如像鉑的陰極作用，使其彈性消滅，或如鉑的陽極作用使其受到一種引力作用後，在鉑的表面上凝結攏來，或如此兩種作用共同動作，則此兩種氣體粒子，都成爲最適於化合的狀態。

三六五、受了化合粒子以外的力的影響而起的化合，雖然沒有許多不同的情況，可是將由此而來的困難消去的，却已夠用。荷爾（Sir James Hall）發見碳酸和石灰受了壓力的作用，可以在一種溫度中發生化合，假使取去了作用的壓力，在同一的溫度，決不能夠化合。我也曾經觀察過一個氮氣的直接化合的例（註一五），在通常的溫度中受了壓縮，就能夠與水化合，造成一種一定不易的水化物的結晶體，假如將壓力撤去，那就不能夠造成功，也不能維持下去。

三六六、根據上述這些原則，當鉑發生作用的時候，使氧氣和氫氣化合的時候，其常軌可以陳述如下：由前述的各種情況的影響（三五五等），即是彈力的缺乏，和金屬對於氣體的引力作用，當此兩者共同存在時，後者的作用極爲濃厚，就在通常的溫度中，也足以使其近入相互的親合力範圍以內。其中彈力的缺乏，不僅能使氣體粒子更得與金屬的引力接近，並且還使他們成爲最

適於化合的狀態。因為只要將反抗化合的本領提去，化合就容易進行了。其化合的結果，有水蒸氣的產生和溫度的升高。但鉑對於如是而成的水蒸氣的引力，不比對於氫氣和氧氣的引力大（因為金屬不會為水潤濕），則造成的水蒸氣立即在殘餘的混合氣體中擴散開去。就有一部分新的混合氣體，流到鉑的近傍來和鉑接觸，因此又發生化合，成為新的水蒸氣，同樣的又擴散而去，又讓一部分新的混合氣體來受作用。準此進行，發生的熱逐漸加多，進行的速度亦愈加快，由實驗得知化合的容易進行是和其強度成正反例的，溫度由是繼長增高，其結果遂達於發火點。

三六七、在這個說明裏面，水蒸氣在鉑板面的生成，以及新的氫氣氧氣流來和鉑接觸，均不成為難題。鉑的作用並不在使任何物質的粒子和其本身的粒子化合，而在於將他們引到他的近傍來，使其更為接近。這種被壓縮了的粒子很容易離開鉑而去，由其他的粒子來作代替，其容易的程度，就和在地球表面上的濃密空氣，或者在極深的炭坑中的濃密的空氣，只要受到了些微的衝動，很容易昇起到上層稀薄的大氣中的情形相同。

三六八、在通常的環境中，何以鉑沒有這樣的效應，其理由已無申明的必要。此時的鉑表面

不十分清潔（三五三），足以妨礙混合氣體，使其不能和鉑表面接觸，故不能得到在常溫中開始化合所要的效應，非與鉑表面接觸，此項效應實無法受到。事實上使氧氣氫氣化合的這種本領，在通常的鉑接觸的作用下，即足以使外來的物質在鉑表面上凝結起來，使其表面污濁，暫時間使其失去了化合氫氣氧氣的本領，妨礙此兩種氣體，使其不能和真正的鉑表面接觸（三三四）。

三六九、我所說的，真正乾淨的鉑，或者是用來作成電池的陽極（三〇六），或者用酸來處理過（三四一），並且浸到蒸餾水裏經過十二分鐘乃至十五分鐘之久，這樣的鉑板，若是拿兩塊來互相摩擦，就有一種特殊的摩擦表現出來。這樣的鉑很自由的可以用純粹的水來潤濕，縱令加以振搖，並且在酒精燈上燒乾以後，仍舊容易用水使其潤濕。若將其放入稀酸內，作成電池的電極使用，即有許多的細小氣泡，由其表面上各部分出現。可是在尋常狀態的鉑，却缺少這種特殊的性質。決不能和純粹的鉑同樣用水潤濕。若將他作成電池的陽極使用，則在相當的時間內，發生很大的氣泡，這種氣泡就附着在鉑板上，並不脫離。並且鉑表面上各處，雖也有這種氣泡出現，可是彼此之間，却隔着若干的距離。這種現象，這種效應，以及其缺乏使氫氣氧氣化合的本領，均足以表示其表

面是污濁不潔的。

三七〇、我又發見完全清潔的鉑，只要露出於空氣中，立即會變成污濁，經過二十四小時以後，已經沒有能力可以將水分集在其表面上，只見大的水滴，分佈於其表面，留下許多空處，完全沒有水。至於水滴存在過那些部分，就是乾燥以後（三一六），也還能夠為水潤濕，表示這些處所的鉑表面，是純潔無垢的，和其餘的部分完全不同。

三七一、上面所說的事實，也不限於鉑和金屬，就是土類元素，也有同樣的性質。例如水晶（Rock Crystal），黑曜石（Obsidian），就不能使其表面自由的為水潤濕，可是假如將他們放入濃硫酸內，然後將表面上的硫酸洗去，並且放置在蒸餾水內，俾其能將殘餘的酸洗去，以後無論再將他們烘乾，或任其潤濕，都很容易使水分在其周圍凝結出來。但若待其乾燥後，放在空氣中經過二十四小時以後，其表面又復污濁，水分就不能夠附着於其全面，只能凝成較大的水滴，散佈於表面上不同的處所。假若用布去揩（就是使最清潔的布），結果比單純露在空氣中還要更壞。不問是金屬還是結晶體，經過這樣揩抹之後，宛如表面上塗抹了一薄層的油脂一樣。在通常的時候，金

屬的細粒，可以浮在水的表面上，也就是因為表面污濁的緣故。水銀一度污濁或塗油以後，其表面很不容易洗淨，也是同一的原由。

三七二、有許多的時候，鉑板的本領，會立即消滅，尤其是正當要使用的時候，忽然失去了本領，也可以用同一的理由來解釋。度隆和忒那德由海綿狀的金屬〔註一六〕，也觀察到同樣的效應。凡是用過得柏賴涅的瞬間發光機的人，也都知道的。若果任其放在空氣中，若是浸在通常的蒸餾水內，若是任其和通常的氧氣和氫氣接觸，這些都有一部分的不純潔。鉑的表面，一遇到了這些物質，不純粹的部分立即附着於其上，只要有這一點不潔，在常溫中也就很足以妨礙氧氣和氫氣受他的全部的作用。但若能將溫度升高，也就足以抵償所失，使其發生化合現象。

三七三、任何固體都不及氯化銨受熱時，適於發生這種效應。他的表面最爲闊大，最爲清潔，同時又容易使在他近旁的氣體，和他接近。若果放到不純粹的處所中去，據度隆和忒那德的觀察，他的外部可將他的內部護住，使其仍能保持清潔。至於溫度則因其爲不良導體，其最初一部分的氣體化合所發生的熱，即保存於其內部，因此促成其次一部分的化合。

三七四、我現在要舉出幾個非常重大的事項，足以妨礙上述的現象，此類事項，和金屬或他能夠發生作用的固體的性質或狀況，並不生關係，完全由於和受作用的氣體共同混合存在着的幾種物質而定。以後常常要用到氫氣氧氣的混合氣體，爲簡便起見，使用的混合氣體，都規定爲由氧氣一容積和氫氣兩容積而成，卽是恰足以配成水的成分的比例。至於氫氣，則一律是將稀硫酸注到純粹的鋅上而得氧氣，一律加熱於氯化鉀而得，遇有特別的時，再隨時特加聲明。

三七五、氧氣氫氣的混合氣體中，若含有四分之一，二分之一，甚至於三分之二的空氣，連同準備下的鉑板（三〇六，三四一）納入玻璃管中，仍能同樣的發生作用，和完全沒有空氣時相同。在想像上以爲空氣的效用，能使混合氣體變成稀薄，因此妨礙其與鉑表面的接觸，可是事實上所生的障礙，遠在預期之下。只要經過兩小時半的時間之後，全部的混合氣體都化合完淨。

三七六、但若用生油氣（Olefiant gas）作同樣的實驗，此時的鉑板，用作電池的陽極 三〇六，浸在酸內，結果就大不相同。使用的混合氣體，由氫氣二九·二容積與氧氣一四·六容積而成，就是水的成分比例，此中再加一另外一種混合氣體，由氧氣三容積與生油氣一容積而成，這

樣一來，生油氣只有全容積的四十八分之一。在這樣的混合氣體裏面，鉑板縱令放置四十五小時的時間，還是不起作用。其不起作用的原因，並非鉑沒有本領，其事很易證明，只要從這裏面將鉑板提出來，放到氧氣和氫氣的混合氣體裏去，立刻有作用發生，只須七分鐘，就可以使混合氣體爆發。這個實驗曾經反覆行使若干遍，使用的生油氣的比例分量愈多，其作用愈覺沒有希望。

三七七、其次用四十九容積的氧氣和氫氣（三七四），加一容積的生油氣，其中放一塊準備好的鉑板。如是兩小時完了以後，還沒有感覺得到的容積上的減少。放了二十四小時以後，再去檢查，即見玻璃管業已炸碎，由此可見化合的作用，雖然遲延了不少，到底還是會發生而且達到最高的程度。

三七八、再用九十九容積的氧氣氫氣（三七四）和一容積的生油氣，經歷五十分鐘之後，有極微弱的作用發生，以後逐漸加速（三六六）到得八十五分鐘後，作用已增加到了爆發的程度。在這一實驗裏面，也可以將生油氣有遲延的效應表出。

三七九、用鹼和酸（三四一）製成的板，也能夠發生上面所說的效應。

三八〇、由上面所舉的各例，可以推知生油氣的分量無論怎樣的少，對於氧氣和氫氣的化合，都有很顯著的遲延作用，不過其作用也只限於遲延，並不致於傷害鉑的作用能力。

三八一、這種妨礙氧氣氫氣合成水的作用，還有一個很顯著的例，就是氧化碳，尤其是與炭酸對照着的時候，更為明顯。使用的混合氣體由一容積的氧氣氫氣（三七四）和四容積的炭酸氣而成，插入用酸等（三四一）製成的鉑板，立即有作用發生，經過一小時又十五分鐘後，差不多全部的混合氣體都已化合完盡。含有更少量的炭酸氣的混合氣體，其作用較此更快。

三八二、但若用氧化炭來代替炭酸，就沒有些微的作用發生。假如氧化炭的分量佔有全容積的八分之一，經過四五十日以後，依然還是沒有作用發生。但是鉑板的本領，並不因此消滅，只要將他拿到氧氣氫氣的混合氣體中去，立即有作用發生，即其明證。

三八三、其次用二容積的氧化炭，一容積的氧氣和九容積的氧氣氫氣（三七四）混合起來，其中放入一塊在酸內作成陽極使用過的鉑板，縱令放置十五小時之久，依然沒有作用發生。但在同容積的氧化炭和氧氣中，加入三十三容積的氧氣氫氣，即是氧化碳，只佔有全容積的十八



分之一，鉑板仍能作用，開始的時候雖然很弱，但是到了四十二分鐘以後，氣體就發生爆發。

三八四、上述的實驗，推廣到各種各樣的氣體和汽，所得的普遍結果如下：氧氣，氫氣，氮氣以及氧化氮等，如用來使混合氣體變成稀簿，縱令其分量多到全容積的五分之四，也不能妨阻鉑板的作用。在理想上，氧氣，氫氣受了此項稀簿，必致令其與鉑板的接觸，發生機械上的障礙，可是事實雖然作用不免要受遲延，但其遲延並不如預想為甚。還有炭酸也有同樣的性質，其與上述各種氣體的次序，孰先孰後，可排列如下。妨礙化合作用最少的物質，為氧化炭，以下次第為氫氣，炭酸，氮氣，氧氣等。再從一方面着想，或許使用來作實驗的鉑板，未見能夠完全相同，並且其餘的環境，也未見能夠完全相等，因此一來，要精確的將這個次序排列起來，還得要作多數的實驗。

三八五、其次對於遲延的作用而論，生油氣和氧化炭的遲延能力，上面已經說過。在氧氣，氫氣的混合氣體中，如含有十六分之一乃至二十分之一的硫化氫或磷化氫，開始好像有一點作用發生，但是以後就不能繼續前進，縱令將鉑板放到氣體中，使其接觸歷七十小時之久，依然沒有作用。從此中將鉑板取出加以檢查，對於純粹的氧氣，氫氣，完全失却作用的本領。由此可見這種妨礙，

其性質又和上述的兩種不同，對於鉛板有永久的效應。

三八六、其次取一小塊軟木，浸在硫化炭中，經由水內，放進盛有氧氣氫氣（三七四）的管內，俾其一部分的汽，能在混合氣體中擴散。在此管內導入一塊鉛板，開始時見其有些微的作用，可是經歷六十一小時以後，仍見其減少極微。再將這一塊鉛板，放到純粹的氧氣氫氣混合體內，即見作用立即發生，並且異常強烈，由此可知其本領，並未減小。

三八七、少量的醚汽加入氧氣氫氣的混合物內，可以使鉛板的作用遲延，却不能使其完全停止。少量的凝結成爲液體的油氣的汽（註一七），更能加強遲延程度，但不及同容積的生油氣所引起的遲延。在這兩種實驗中，發生化學反應的，都是原本的氧氣和氫氣，至於混入其中的醚以及油氣的汽，始終保持原狀未受變化，就是使用的鉛板，也保持着他的本領，對於新鮮的氧氣氫氣的混合體，仍舊能夠發生作用。

三八八、其次使用海綿狀的白金來代替鉛板，將混合着各種不同種類的氣體的氫氣，由管口噴出空氣中，吹到海綿狀的白金上去。所得的結果也與前此相同，不過有時還要更爲顯著罷了。

即是一容積的油汽或者氧化炭與三容積的氫氣的混合氣體，在常溫中實驗時，不能使海綿狀的白金生熱。但是同容積的氮氣和氫氣的混合氣體，却能發生很好的作用，引起燃燒。對於碳酸實驗時，其結果更爲動人。三容積的碳酸氣和一容積的氫氣，足以使鉑着火，可是拿小蠟燭去點他的時候，這個混合氣體却不再繼續燃燒下去。就是七容積的碳酸氣和一容積的氫氣混合而成的氣體，也同樣能夠使冷的鉑着火，却也不能用燭火點燃，反轉可以將燭火吹熄。一方面氧化炭或生油氣的混合氣體，本與鉑無關，但用燭火去點，竟能點燃，並且燃燒得很不錯。

三八九、氫氣中混有醚或液體油氣的汽時，能使海綿狀的白金着火。其與油氣混合着的時候，燃燒起來，發生一種火焰，光亮甚強，遠在所述的氫氣和生油氣的混合氣體的火焰以上。由此可見炭化氫的遲延作用，決不單獨和存在的炭元素的量成比例。

三九〇、和這些妨礙原因連帶着，還有一事也要申明，就是使水蒸氣由着火的鐵上通過，即有氫氣發生，這樣得來的氫氣和氧氣混合着的時候，對於鉑的作用，竟拒絕不受。他能夠在水面上繼續到七天，將一切的臭味完全失去。但在常溫中噴到海綿狀白金上去，並不能使鉑着火。又將他

和氧氣共同盛在玻璃管內，插入製好的鉑板或白金海綿，也不能發生化合的作用。這種氣體的一容積和純粹氫氣的三容積混合而成的氣體，以及以同一比例與氧氣混合而成的氣體，用鉑板插入其中，雖經歷五十小時之久，依然不起作用。我很想將這種氣體對於氧化炭所生的影響加以考察，可惜限於時間，未能研究出來。至於鉑板的本領，則並未消滅（三七六，三八二）。

三九一、以上各節所說的，就是這些妨礙原因所發生的很顯著的事實。究竟此項效應，是否由於共同混合的這幾種氣體對於氧氣氫氣的粒子有一種直接的作用，致氧氣氫氣減少化合的傾向，或者加以一種比氫氣更為強大的引力，將鉑板的作用暫時變更（並不能引起真正的變化），或者更有其他的原因，亦未可知，要解決這個問題，還要作範圍更大的實驗。

三九二、對於原本的現象，我提出來的這個學說，在我看去，很足以解釋一切的效應，只要參攷已經熟知的性質，不必再將什麼新的本領加到物質上去。我對於這個題目，曾經詳加研究，因為在我看去，這種新加的物質作用，不問他是作用於兩個物體間，或是作用於同一物體上的一部分，以及不能引起化合的粒子間的作用，對於化學上哲學上，都逐漸更形重要起來（註一八）。在通常的

燃燒的例中，無論是在火中的炭元素的表面上或是在火焰中明亮的部分上，都有此處所說的作用出現，對於在此等處所發生的化合現象，莫不具有絕大的影響。

三九三、前面說過的（三六二，三六三）氣體物質的外表的彈性條件，和作成核使用的固體對於汽的作用，有密切的關係。此項固體的核，遇着汽自身中發生了任何一種的凝縮，立即可使汽在核的周圍凝結成爲液體。在溶液中的核，也有與此類似的效應，所以也有與此類似的條件存在（三五九）因爲在溶液中的固體物質的部分和在汽或氣體狀態中的物質的部分，應有類推的條件存在。由此推想，不難得知在同一溫度中的同一物質的兩部分，其互相接觸着的表面所應有的相應條件，所謂同一物質的兩部分，是說一部分爲固體或液體，他一部分是氣體，例如蒸汽和水。假如我所認爲獨立的作用（三六二，三六三）是道爾頓原理的結果，沒有錯誤，那麼，在液體分子近旁的汽粒子對於這個液體粒子的作用很爲特別，拿去和同一的汽粒子對於其他的任何固體或液體，例如用水銀或鉑等來代替先前所指的水，所生的作用比較，完全不同。還有類似粒子間的相互關係，以及經道爾頓建立的各種氣體，或汽的不相類似的粒子，並沒有什麼區別的

關係，在相當的範圍內，都可以推廣到固體和液體間，即是當他們和其本身的汽或其他物質的汽接觸着的時候，都可以適用這樣的關係。以上所舉的諸端，對於各種不同的物質，以及固液氣三態的物理構造，均具有很重大的關係，但在此我並不想提出任何強硬的意見〔註一九〕。

三九四、有許多人所共知的例，指示在初生狀態中的物質，例如氧氣和氫氣，很容易發生作用，化合成爲新物質，要是他們一旦成了氣體的狀態，就沒有這種本領。在電池的兩極上，這樣的例，異常普遍，並且也很容易說明，當這樣的粒子分離開來的時候，必有不同種類的他種的粒子，和他隔得異常的近，差不多是互相接觸着的一樣。此時這樣的粒子還沒有發展到成爲其所應有的形態，必須要有同種類的粒子集合起來，然後方能成爲應有的形態。在這個時候的這樣的粒子，完全沒有彈性，對於和他相接觸的粒子，只要具有化學的親和力，其關係也就和在純潔的鉑表面上的氫氣氧氣間的關係，完全相同（三六二，三六三）。

三九五、有些氣體只要有極少的分量，就足以引起遲延的作用，有些就是分量再多，也沒有作用（三七六，三八一，三八八）假使這種奇怪的效應，是由於所加的氣體，對於固體的表面

的任何一種關係而來，那麼，就會立刻知道他和我在若干年前發見的一種奇怪的現象〔註二〇〕有密切的關係。所謂奇怪的現象，是各種氣體，在低壓下，從狹管中通過時出現的。在我想去，這種表面的作用，對於氣體的擴散現象，必有影響。至少其影響也當如一八二九年及一八三一年格累謨（Graham）實驗的一樣〔註二一〕，還有一八三〇年菲列得爾菲亞（Philadelphia）的密折爾（Mitchell）〔註二二〕也作過這種實驗。假如使用白金海綿一樣的物质，很可以得出一個關於氣體擴散的新定律，和使用石膏粉（Plaster of Paris）所得到的定律不同。

三九六、我很想在這一章之後，接着再寫一些關於立忒（Ritter）的副電堆（Secondary Pile）的事項，以及關於電堆的電極的特性的事項，關於電流所經由通過的金屬的特性的事項，曾經立忒，凡馬魯謨（Van Marum），葉林（Yelin），得拉里甫（De la Rive），馬立阿尼尼（Marianini），柏濟力阿斯（Berzelius）等發見過的，可是在我看去，這些事項，只要引用一些已經知道的原則，連帶着本文所說的研究，就可以得到很滿意的解釋，不必再要添加任何新的狀態或新的性質的假定。不過因為實驗的進步，尤其是馬立阿尼尼的實驗，必須要有很周到的反覆檢驗，方足以

徵信，一方面又迫於作電化分解的研究，只好暫時將這一方面的研究，委諸上面所引的那些論文，以作結束。

一八三三年十一月三十日。

註一 此章係法拉第電學實驗研究全集中的第六集，載在原書第一冊第一六五頁。

註二 又名 Voltameter——一八三八年十二月。

註三 要證明這就是所說的例，可參閱第七七四條——一八三八年十二月。

註四 熱要是果能使其得到這種性質，那完全是由原先污濁了鉑板面的有機物質或其他種類的物質，受了破壞或消耗而得的。（三六八，三六九，三七〇）——一八三八年十二月。

註五 熱不必要高到使鉑為鹼污濁的程度，縱令有了這樣的效應，對於電極的作用也無妨礙。

註六 見 *Annales de Chimie* 第二十四卷第九三頁。

註七 見同誌第二十三卷第四四〇頁，又同誌第二十四卷第三八〇頁。

註八 見同誌第二十四卷第三八三頁。

註九 見同誌第二十四卷第九十四頁及第九十五頁。又見 *Bibliothèque Universelle* 第二十四卷第五四頁。



註一〇 見同誌第二十三卷第四四〇頁；又同誌第二十四卷第三八〇頁。

註一一 見 *Giornale di Fisica* 一八二五年第八卷第二五九頁。

註一二 見第一三八頁及第三七一頁。

註一三 我在愛丁堡遇到了一件吸濕性的例，其範圍異常廣大，或許有少許的溶媒力量幫助着也未可知。事實是這樣的，將一些草土 (Turf) 用蓋子蓋着，放在大氣中經過長久的時期，俾其完全乾燥，然後放到水壓機中，加以壓力，結果單受壓力的作用，居然會放出百分之五十四的水分出來。

註一四 佛息尼立和柏拉尼 (Bellani) 以爲在這種情況下的空氣，造成了一種固體性的薄膜——見 *Giornale di Fisica* 一八二五年第八卷第二六二頁。

註一五 見 *Philosophical Transactions* 一八二三年第一六一頁。

註一六 見 *Annales de Chimie* 第二十四卷第三八六頁。

註一七 見 *Philosophical Transactions* 一八二五年第四四〇頁。

註一八 機械的力對於化學親和力有極奇怪的影響，可用一個例來證明，有些物質當他的表面很完全的時候，不會發生粉殼，但若他的表面一生破裂，粉殼也就立即出現。例如碳酸鈉，或磷酸鈉，或硫酸鈉等的結晶，或具有很

完全的表面，又不受外來的強力作用，他們的表面上，決不會起風化作用。因此我們可以將碳酸鈉的結晶由一八二七年的九月保存到一八三三年的正月，將碳酸鈉的結晶，從一八三二年的五月保存到現在，即是一八三三年的十一月，依舊是透明的，絲毫未起變化。假如這些結晶的表面上，任何一處被手指刮傷或者破裂，風化作用就由這些傷破處開始，漸及於其全體。上面所說的這些結晶體，不過是單純的放在蒸發皿內，上面用一張紙蓋上罷了。

註一九 關於這一條的記載，以及三六二條，可參照亨利（Dr. C. Henry）在他那篇極有價值的論文，此文所論的也是這個題目，對於本書所說有所更正——見 *Philosophical Magazine* 一八三五年第六卷第三六五頁——一八三八年十二月。

註二〇 見 *Quarterly Journal of Science* 一八一九年第七卷第一〇六頁。

註二一 見同誌第二十八卷第七四頁，又見 *Edinburgh Transactions* 一八三一年。

註二二 見 *Journal of the Royal Institution* 一八三一年第一〇一頁。

## 第五章 [註]

### 第七節 電化分解 (續第五節註二)

(IV) 幾種電解的普遍條件。(V) 動電的一種新的減度。(VI) 在電極上生成的物質的原性及副性。

(VII) 電解作用的一定不易的性質及其範圍。第八節和物質粒子或原子結合着的絕對電量。

### 序言

三九七、我相信我提出來的這個學說，能夠將真正的電化分解的事實完全表出，因此在本書的前一章曾經詳細的敘述過。可是這個學說和從前的舊說，不同的地方太多。假如按照着一般的使用法，使用各種名詞，又要想將這個學說正確表出，很感覺有許多的困難。這一類的名詞，為數頗多，其中的一個為極 (pole)，在其前面加上一個形容詞，或陰或陽，連帶着還有一個引力和斥力的觀念在內。這個名詞最普通的使用法，是說陽極吸收氧氣酸類等，再說周到一點，就是限定這一

類的物質，應該在他的表面上出現。至於陰極的作用，也與此相應，被其吸引或在其表面上發生的物質為氫氣，可燃性的物質，金屬，以及鹽基等。但依我的見解，這樣規定的力，並不在於兩個極上，而在於受分解作用中的物體的內部。即是氧氣和酸類，變成了這個物體的陰性的極端，而氫氣金屬等類，則變為這個物體的陽性的極端（二五四，二六〇）。

三九八、因此為圖避免混雜以及繁文贅說起見，並且希望能夠得到精確的表示方法，比較其他任何方法都覺滿意，於是遂與兩位友人，對於這個問題，詳加討論，經其協助，造成了幾個新名詞，此後即實際使用，所以現在先將這些新名詞的定義，敘述出來。通常使用慣了的「極」，不過是正在受分解作用的物體上的門戶或路徑，表示電流由此處進出於此物體罷了（二六二）所以此等處所，要是和物體接觸，就自然表示出這個物體，在電流進行的通路上，以此為其止境。這個名詞普通都用來表示和正在分解中的物質接觸着的金屬的表面。至於經我檢查出來的結果，還有空氣的表面（二〇一，二〇七），和水的表面（二二九），也都有發生電化分解的效力。究竟一般的學者，是否同意將這個名詞應用到這一類的表面上去，尚屬疑問。因此一來，我所以另外提出

一個新名詞，就叫「電極」(electrode) [註三]。這個名詞的意義，就是不拘是空氣，是水，是金屬，或是其他任何的物質，只要是圍繞着正在分解中的物質，而又在電流進行的方向上，他的表面都叫做電極。

三九九、按照通常的用法，電流進入物質的處所，或由物質流出外面來的處所，要算是物質表面上最重要的作用所在地。這些處所，大多數是和從前的人所說的「極」(pole) 接觸着的，但是在我現在定義出來的「電極」(electrode)，則無論何時都是接觸着的，此兩者之間，必須加以區別。要想得到一種自然的標準，拿來決定電流的方向，可以表出這兩者的區別，同時對於任何一種學說，都可通用，於是遂想到地球，或者可以使用。假使地球的磁性，是由於電流繞地球流過而來。那麼，此項繞地球流過的電流，其方向應是一定不變的。按照現在的名詞用法，此項電流的方向，是由東向西流去的。或者為便於記憶起見，可以說電流流過的方向，和我們眼中看見的太陽移動的方向相同。在任何電化分解的例中，假使我們認為正在分解的物質，有一定的位置，電流由其中通過，也取同一的方向，即是在其中通過的電流方向，和設想在地球中繞過的電流方向，互相平行。

那麼，其表面上電流進入物質的處所，和電流流出的處所，應有一定不易的關係。在此兩處，無論何時，都應有同一本領的關係表現出來。根據這個觀念，我們對於向東的那一處所，就稱他為「陽極」(anode) [註四]，而向西的處所，就稱為「陰極」(cathode) [註五]。我們對於電的性質和電的作用，所抱的觀念，無論怎樣的改變，雖然足以影響到我們所取的自然的標準，可是對於正在分解的物質，總是在同一的方向，並且其分量也是相同的。所以這些名詞，無論對於任何情形，同樣的能夠使用。決不會因此引起什麼混淆，也不會有維護任何虛偽見解的傾向。這樣一來，照着現在的使用法，所謂陽極 (anode)，是說電流從此進入物質中的表面上的那一部分，所以就正在分解中的物質而言，應該成爲其陰性的極端。此處應當有氧氣，氯氣，酸等類的物質出現。和陽性的電極，是正向對着的。所謂陰極 (cathode)，是說表面上的另一部分，電流從此由正在分解的物質流出，所以應該是陽性的極端。此處應當有可燃性的物質，金屬，鹼，鹽基等類的物質出現，恰和陰性的電極接觸着。

四〇〇、我在這個研究裏面，將來要依據某項關係（五五七），將物質排列成爲一定的次

序，所依據的關係，可由他們的電學方面的作用而得。希望不必包含着任何假說，即能將他們的關係表出。爲達這個目的起見，所以要使用下面所說的幾個名詞。有許多的物質，可以直接用電流使其分解，使各元素游離而出，這樣的物質，我稱他爲「電解質」(electrolytes) [註六]。所以水也就是一種電解質。又如硝酸硫酸等類的物質，必須由副作用方能分解（四八七，四九二），所以不能包括進電解質裏面。其次對於通常所謂「電化分解」(electro chemical decomposition) 我却稱他爲「電解」(electrolysis)，此語原與前相同，意義是說所指的物質受了電的影響，分離成爲成分，音義均和「分析」(analysis) 相似，也是由相類的方法造成的。此外還有「電解性的」(electrolytical) 一字，其意義不難立知。例如說鹽酸是電解性的，而硼酸則否。

四〇一、最後我還要用一個名詞，來稱能夠到電極去的物質。當他們受到此項想像中的直接引力的影響，就能進行到陽性的極上去的時候，就稱爲是「電陰性的」(electro negative) 物質，如其係向着陰性的極而去，就稱爲「電陽性的」(electro-positive) 物質。可是這樣的名詞，太過於顯明了，我使用他們的時候，並沒有這樣的明確規定。縱令我所用的意義，沒有錯誤，但終不

外是一種臆說。或許會有錯誤，也正在意料之中。影響雖然很小，可是因為是繼續作用的，所以也很危險。將科學家習用慣了的見解，加以制限，必定對於科學的前途，要發生絕大的妨害。所以我另外新的名詞來分別他們。凡是走到正在分解的物質的陽極（anode）上去的物體，就稱他為「陽向游子」(anion)〔註七〕，凡是走到陰極（cathode）上去的物體，就稱他為「陰向游子」(cation)〔註八〕。有時將此兩者併合稱呼的時候，就泛稱為「游子」(ion)這樣一來，例如氯化鉛是一種電解質，當其發生電解的時候，就有氫和鉛兩種游子出現，前者為陽向游子，後者為陰向游子。

四〇二、這些名詞經過一度的定義以後，使用起來，就可以免去許多的贅詞，以及曖昧不明弊病。我並不想勉強推行這些新名詞，除非是非用不可的時候，方去用他。我也很明白名詞是一件事，而科學又是另一件事〔註九〕。

四〇三、還有一事應行聲明的，就是我對於電流的性質，除却在前面（一九，二五三）略微說過而外，現在並不想發表我的意見。至於電流的方向，是從陽極的一方，向着陰極的一方，進行而去（三九九），這也不過是遵從科學家一種習慣，俾便敘述由電流而生的力時，有一定不易的



方向，可得而知。

註一 本章係法拉第電學實驗研究全集中的第七集，載在原書第一卷第一九五頁。

註二 參閱第七八三條下的註釋，在第六章中——一八三八年十二月。

註三 語原出於希臘文中的  $\alpha\epsilon\tau\tau\epsilon\upsilon\sigma\alpha\iota$  及  $\sigma\delta\delta\alpha\iota$  (路)。

註四 語原出於希臘文中的  $\beta\epsilon\epsilon$  (向上) 及  $\sigma\sigma\sigma$  (路) 即太陽升起的方向。

註五 語原出於希臘文中的  $\gamma\epsilon\gamma\alpha$  (向上) 及  $\sigma\sigma\sigma$  (路) 即太陽沒落的方向。

註六 語原出於希臘文中的  $\alpha\epsilon\tau\tau\epsilon\upsilon\sigma\alpha\iota$  及  $\lambda\delta\delta\epsilon$  (分解)，名詞動詞相通，僅語尾略有不同。

註七 語原出於希臘文中的  $\beta\epsilon\epsilon$  即向上昇起的。

註八 語原出於希臘文中的  $\sigma\delta\delta\alpha\iota$  即向下降落的。

註九 在我宣讀了這篇論文以後，我對於最初所提出的名詞，又有廣闊的意義，略有修改，我的目的在於使用性質簡單，語意明確，同時又不致包含有虛脫在內的名詞。

#### IV 幾種關於電化分解的普遍定律

四〇四、自從電化分解的現象發生以來，直至現在都認為是在普通的化學親和力的現象中，彼此最相反對而以最大的引力互相化合的元素或成分，也就是正在分解的物體的反對的兩極上最容易出現的物質（二八五）。

四〇五、從前認為這樣的分解，差不多全都有水存在，所以水對於分解是很緊要的（二〇八），在那個時候，假如前條所說的結果，已經是明白的事項，那麼，現在既已證明了水對於這個現象，並沒有什麼必要（二一〇），還有其他的物質，在好些效應裏面比這種物質更為特別，這樣一來，前條所說的結果，當然比從前又加一層明瞭了。

四〇六、就水的構造以及其成分元素的性質而論，就各種電解現象大都離不了有水而論，所以直到現在為止，均推水為第一位。雖然是由極強烈的親和力結成的化合物，可是只要受到極微弱的電流作用，就將其成分元素放出來。究竟不放出成分元素的電解現象，能否存在的確是一個疑問。

四〇七、各種的氧化物，氟化物，碘化物，鹽類等，我在前面都已證明了。當他們在液體的狀態

時，可用電流使其分解，和水一樣，應受同一的定律支配（一三八）。這些物質也同樣的可將前面所說的結果，很顯明的表現出來。即是當他們分解的時候，分解得出來的成分，就其化學上的關係而論，彼此是正相反對的。

四〇八、從另一方面說起來，凡由微弱的親和力結合成功的物體，很少有分解的。試取一個例來說，譬如玻璃，大多數是由矽，石灰，鹼，及氧化，鉛等類的物質而成，只能看成是一種物質溶解在他種物質內而成的（註一）。若將製玻璃瓶用的玻璃燒熔，使其受電池的作用，好像絲毫也不受分解的作用（一四四）。若將火石玻璃（flint glass）拿來實驗，此種玻璃中包含着正相反對的物質較多，結果也受少許的分解作用。再用硼酸鉛玻璃來實驗，更是一定的化合物，立即放出其成分元素（一四四）。

四〇九、在前條所舉的例裏面，雖然有那樣顯明的結果，在其他類似的例中，似乎應該有類似的結果出現，可是事實上並不能夠證實。或許有人說，就是我自己提出來的電化分解的學說，也可以誘導出一個結果來。一切的化合物受了電流的作用，都會放出其成分的元素，並且放出來的

容易程度，是和成分元素結合的親和力成正比例的，至於成分是近成分抑或最後的成分，都相同的。我到不覺得我的學說會有這樣的推論，假如在事實上以為果然有這樣的反對意見，那麼，只要對於化學親和力，以及電流對於親和力的作用狀況，知道得很清楚，有了精確的觀念以後，這種反對的意見，也就自然會消滅的（二五四，二六〇）。並且此種意見對於電化分解的其他的任何學說，都是相反對的，也和對於我所提出來的學說和他們不能相容的情形一樣。假如容認這樣意見，那麼，引力愈直接相反的物质，其化合的力愈強大，成為普遍的事實。這樣一來，這種反對意見，對於曾經考慮過的任何電解學說，都以同一的力量發生效力。結果不過是在我用來反對這些學說的材料中，又添此一項罷了。

四一〇、在不能分解的各種有力的化合物當中，當推硼酸為最（一四四）。其次則為碘化硫，氮化硫，氮化磷，氮化碳等。雖然他們的成分元素，在性質上將導出反對的期望，可是在通常情況中，仍舊是不會發生分解的。還有氮化銻（一三八，四二六），炭化氫，醋酸，矽，及其他許多不能用電池使其分解的物質，好像都由於很強的親和力結合而成。可以表示出他們的成分元素，性質相

去很遠。由此一點着想，似應可用電池使其分離。尤其是有許多單純的溶液（二六六，二八〇），其親和力比較微弱，此種分離作用，果然能夠發生（註二）。

四一一、雖然事實上有這許多的困難，但却不要忘記這些困難中的大多數，或許全體，都由於缺乏傳導本領而來。電流既被阻斷，由電流而生的效應，當然也就不能出現了。一切已經知道的化合物，當其在固態的時候，都是非導體。當其在液體的時候，都是導體。所以一切化合物，都可以分解。或許到現在只有一個例外，是我們知道的。就是過碘化汞（periodide of mercury）（四一四，四二六）。就是水的本身，雖然受了電流的作用，很容易分解成成分元素，但若是完全純粹的水，就幾乎不起變化，因為這個時候的水，已經變成了很不良的導體了。

四一二、不發生化學分解的物質，從化學上考察起來，很應該有這樣的結果（四〇四，四〇七，四〇九）。此後若要證明這些不起分解的原因，出於缺乏傳導本領，那麼，同時，還要證明分解作用由於傳導而來，並非傳導由於分解而來（一四九）。在水的例，差不多是一件完全決定的事實。可是從另一方面說來，有一個結論，是無法反對的。即是說，使電能夠通過電解質中傳導而去

的本領，由於這些物質所能接受的分解本領而定，要是物質果能發生分解，也就有電傳過，所傳過的電，和分離而出的成分元素的量爲正比例（五五六）。在實驗上對於此點的討論，我現在還不想立即停止。

四一三、當一種化合物的成分元素，可以向電池的兩個相反的極端而去，可是他們現有的成分的比例，還是具有反抗分解的能力。例如低級氯化錫，很容易傳電，也很容易分解（一三八）。但是過氯化物，既不傳電，也不分解（一四二）。低級碘化錫，當其成爲液體時，可以分解（一三八），而過碘化物則不能（一四三）。過碘化汞熔成液體的時候，雖然能夠傳電，但却不起分解（四二六）。低級碘化汞受熱後可以分解成爲水銀和過碘化汞，這兩者間的不同，到不容易比較。

四一四、因爲有這些重要的差別，使我對於某種二元化合物，不能再加一層的詳細檢查，希望能由此發見一個定律，可由成分元素的比例的關係，或其當量（equivalents），將其分解的程度決定出來。在上舉的那些物質當中，只有低級化合物，可以分解。上面引了許多的例，用來表示我發見的傳導和分解的定律的力量及其普遍性（一三八）。將這些物質參照一下，就知道氧化

物，氯化物及碘化物，都受這個定律的支配，也都發生分解。只有氯化銻和過碘化汞兩種是例外。（此中現在加上一種，就是昇汞）（corrosive sublimate）至於這些元素的許多的過化合物，不受這個定律的支配，也不起分解的作用（一四一，一四二）。

四一五、對於這個普遍的結果，違反得最甚的物質，是硫酸，磷酸，硝酸，砷酸以及其他的酸類。

四一六、我雖然曾經有過一種意見，以為硫酸的本身，就是一種電的導體，或是一種可用電來使其分解的物質（二八八）。可是將他拿來加以實驗，即知道這種見解並沒有理由，可以令人相信。硫酸愈濃厚，其傳電本領愈弱（註三）。若果受了很強大的電池作用，其陽極上有氧氣出現，不過大部分被其吸收而去罷了（四六三）。陰極上有氫氣和硫出現。經我實驗的結果，無論何時得到的氫氣都是極純粹的，沒有受硫化。並且比較現有的硫的分量，只有少無多。由此可見分解發生的時候，水也必定起了分解。我會設法用過不含水分的硫酸，來作實驗，結果好像是當其熔化的時候，既非電的導體，也不發生分解。可惜我手邊像這樣的乾燥的酸，沒有許多。所以對於這一點，不能得到很滿意的決定。我相信硫酸受了電流的作用後，有硫出現，乃是一種副作用的效果，酸的本身却

不是可以用電分解的（四九二）。

四一七、我相信磷酸也應該和硫酸在同樣的一狀況，可是完全沒有方法，可以將這一點決定出來。因為要熔化磷酐，實在是困難的工作。磷酸一旦得到了水，以後若單加熱，決不能將所得的水，復行奪取而去。這種既已含有水分的磷酸，受熱後，立即蒸發。將磷酸熔化在導線末端的小圈裏面（一三七），然後使其受電流的作用，即見其成爲導電體，同時也起分解。其陰極上隨時都有氣體發生，我相信這種氣體應該是氫氣，導線並不發生變化。要是真正有磷酸分析出來，導線就不免要受變化，陽極的上面，也有氣體發生。由這一切的事實推察起來，結論是發生分解的是水而不是酸。

四一八、**砷酸**。這種物質是導電體，也能發生電解。可是裏面含有水分，熔化了的砷酐，究竟能否取得，當時實無法繼續追究。因此一來，目前總算對於前述的普遍的結果，此物質也不成爲例外。

四一九、從硝酸鉛的蒸餾而得的亞硝酸，若果保存在和強硫酸接觸的空間裏，也是一種導電體，其分解進行甚爲遲緩。但若加以詳細的檢查，即知有許多的理由，令人相信，有水存在，所謂傳



電，所謂分解，全都由存在着的水分而來。我也曾設法想製成一種完全的亞硝酸，可惜沒有充分的時間去求出，沒有例外的結果。

四二〇、硝酸我相信是一種不能直接用電流使其分解的物質。因為我須要事實來將原分解 (Primary decomposition) 和副分解 (secondary decomposition) 間的區別表示出來，所以我只能在這裏將他們敘述一下 (四八七)。

四二一、這些礦物性的酸類，雖然能使水得到傳電和分解的便利，但却不能由此就證明他們的本身，也對於這種作用有利。硼酸雖然不能分解，但也和此相同。據得拉里甫的指示，氮氣也有這樣的本領。但在我們看去，氮氣終是一種單純的原質，決不是由於能受分解作用而來的。

四二二、氮化硫不能導電，也不發生分解。此種物質係由其成分元素的單比例量而成。但決不是因為這個緣故，所以使其成爲這個普遍定則的一個例外 (四一四)。雖不能證實一切由單比例量合成的化合物，都可以分解。但却能證明一切能分解的化合物，都是這樣構成的。

四二三、低級氮化磷不能導電，也不會分解。

四二四、低級氮化碳不能導電，也不會發生分解。但連同這種化合物，我將由生油氣及氮氣而得的氮氫酸碳，共同受電流的作用，仍然不能傳導，也不分出其成分元素來。

四二五、關於這些例外的物質（四一四），若再加以詳細的檢查，即可消去一部分。氮化銻由一種化合物，是由一比例量的銻和比一例量又半的氮氣化合而成的物質，取這個物質新造成功的拿來放在玻璃管內，如圖二十八（五二四），使其熔化後受電流的作用，用石墨作其陽極。最初電不能通過，也看不見有分解發生。但若將氮氣中放着的陽極和陰極移動，使其相互間的距離極其接近，即有微弱的作用發生，同時有微弱的電流流過。這個效應，雖然完全可由前述的定律（一三〇）而得，但其分量實在過於微小，完全和其他的例中所得到的傳導和分解，不相類似。所以我很懷疑，以為是由有小量的水存在而生的，（因為這種氮化物，以及其他許多的氮化物，對於水都有很強大的吸收力，由此造成水化的氮化物）。或許是由於有少量的真正的低級氮化物，由單比例量而成，亦未可知（四三〇，五三一）。

四二六、過碘化汞若照着同樣的方法加以檢查，即見其固體時是很明顯的絕緣質，液體時

是很明顯的導電體和液體導電 (liquid-conduction) (1318) 的定律相符，但却沒有受分解作用的形勢。陽極上既沒有碘出現，陰極上也沒有汞或其他的物質出現。所以這個物質，並算不得是只有由單比例量合成的化合物方能分解的定則的一個例外。但若是說凡受液體導電定律支配的物質，却是可以分解的，這個物質，就要算是一個例外。據我所知，也只是其唯一的例外。我相信是有一部分的低級碘化汞，溶解在過碘化物的裏面，保有這一小部分的低級碘化物在其中。代表現出來的微弱的導電本領，就是由於低級碘化物的遲緩分解而來。其副作用的結果，在陽極上有過碘化物發生。在陰極上，由副作用的結果，汞也會成爲低級碘化物。這些生成的物質，和全體的液體混合在一處，所以無從得見其最後的分離，儘管分解作用繼續下去，亦復徒然。

四二七、當過氮化汞受電流的作用時，固體的時候不能導電，液體的時候却能。我相信其爲液體的時候，也能夠發生分解。但是因爲尚有許多干涉的情狀，包含在內。非得先要詳加檢查，不能由此得出積極的結論。

四二八、將通常的一氧化錒熔成液體後，使其受電流的作用，也能發生分解。不過因爲有其

他種種的原因，所以發生的分解，不久立即停止（一三八，五三六）。這種氧化物中，含有一比例量的錒，和一比例量又半的氧氣，所以和我們假定的普遍定則不能相符，當然是一個例外。可是當我用這種氧化物和氯化物作實驗研究的時候，遇到許多的事實，令我懷疑。通常我們稱爲低級氧化物和低級氟化物之中，是否常常包含有他種化合物在內，其成分由單比例量而成的，到是真正的低級化合物，所以在氧化物的例中，纔能發生上述的分解作用。

四二九、通常的硫化錒，大都認爲是含有最少量的硫的化合物，其比例成分和通常的低級氧化物類似。可是經我的實驗，將此種物質和金屬的錒一起熔化後，就成爲一種新的硫化物。其中所含有的錒的分量，比前此更少。兩者有判然的區別。熔化後一方面成爲純粹的金屬，他方面成爲普通的灰色的硫化物。在幾次不甚精密的實驗裏面，經這種通常的硫化錒吸收而去的錒的分量，等於原本硫化錒中所含有的錒的分量的一半。在這些例中所得到的新的硫化物，應由單比例量結合而成。

四三〇、將上述的新的硫化物，溶解到鹽酸裏面，雖不免有少量的錒分析出來，但在我看去，

却成了一個真正的低級氫化物，由單比例量而成。使用鹼等類，可由這種真正的低級氫化物，得到由單比例量而成的真正的低級氧化物。雖然如此，我還不願即行停止，希望要由分析上，將此事嚴密的確定出來。

四三一、我相信的確有這樣的氧化物存在。通常我們所稱的低級氧化物的裏面，這種氧化物以種種不同的比例混合存在，對於分析，往往發生不準確的結果。上面所說的電化分解，也就是由此原因產生出來的（註四）。

四三二、就全體綜合而論，凡是二元的化合物而在液體狀態時，能受電解作用，在固體狀態時則不能，即遵從液體導電定律（一三〇）時，都由於成分元素以單比例量結合而成。假若他們的成分元素，不依此項單比例化合，如像硼酸，氫過氟化物，過碘化物，以及其他多數的直接的元素化合物，那就不能夠發生電解的現象。

四三三、關於各種鹽類及化合物的結合體等，這個簡單的關係，似不能夠適用。我不能夠用鹼類的二硫化物，來將這一點決斷出來。因為既有第二部分的酸存在，那裏面就必定保持有水在

內。熔化後的鹽類能夠導電，也能發生電解，但是陰極上無論何時都有氫氣發生。

四三四、加熱於鈣磷酸鈉 (ammonia-phosphate of soda)，最後使其熔化，由此可以製成重磷酸鈉 (biphosphate of soda)，這種重酸鹽熔化成為液體的時候，能夠導電，也能分解。但其陰極上有少許的氣體出現。我雖然很相信這種鹽類，其本身就是一種電解質，但却因為不能使其完全脫離水分，所以不能滿意。

四三五、其次製成重硼酸鈉 (biborate of soda)，這是毫無異議的一個實驗。當此鹽類熔化了的時候，能夠導電，也能發生分解，兩極上都有氣體發生。縱令其中含有的硼酸的分量，增加到三倍之多，結果還是一樣。

四三六、由此可知，這一類的化合物，好像和以前的那些二元化合物不同，不受同一的簡單定律所支配。我們能否尋出一些理由，將這一類的化合物，看出是單比例量的化合物而溶解於過剩的酸類裏面，（硫化物即屬此類，只不過有許多的例外），還要留待將來的檢查，方能決定。

四三七、對於以上所說的任何一點的研究，必須要加以充分的注意，將水避開，假如有水存

在，立即會有副作用發生，好像似起了分解作用的一樣，其實並沒有真正的分解發生（四七七等節）。

四三八、總之，不能發生分解的時候，都由於缺少傳導本領，是很明白的了（四一二，一四九）。至於各種成分元素，若單改變其配合的比例，而不改變其性質，可以引起無窮的變化，這些變化可以引起許多的興趣，決不因上述的結論爲之減少。尤其是德斐提倡的學說，認爲通常的化學親和力，不過是物質粒子間作用的電的引力的結果，經柏濟力阿斯及其他有名的學者加以例證過的。凡對於此學說，欲加以解釋，更能引起我們的興趣。

註一 見 *Philosophical Transactions* 一八三〇年卷四九頁。

註二 關於溶解的問題，我曾經遇到許多的理由，可以將他看成因遷移也會消滅的，等到有便利的機會，對於此一層當再加追究。

註三 得拉里甫。

註四 關於此點及以上的三條，連同五三六條，參照柏濟力阿斯對於所謂鹵的硫化物及矽化物的性質的更正，見

Philosophical magazine 一八三六年第八卷第四七六頁——一八三八年十二月。

註五 見 Philosophical Transactions 一八〇七年第三二及三九頁又一八二六年第三八七頁及三八九頁。

(V) 動電的一種新的量度

四三九、當我在將普通電和電流電化爲同一量度的標準的時候（一一三），以及後來導入我對於電化分解的理論的時候（二四〇，二四一，二四六），曾經說過：對於一定量的電引起的電化分解的作用，是恆常不變的，無論電量的來源發生種種差別，無論電的強度如何變化，無論使用的極板大小如何不同，無論電所經由通過的導體（或非導體）的本性有何不同，無論其他的情況如何變化，總之，這個說法都是對的，這個說法的最後的證據，在下面不久即可得到（五一八等條）。

四四〇、我根據這個定律，想去製造一個器械，能夠將通過其中的電量量度出來。將這個器械無論插入任何實驗的電流通過的路中，都可以使用，二者間接作成一種比較其發生的效應的



一種標準，或則直接就將流過的電量量出。

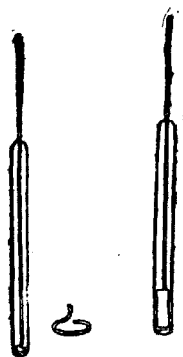
四四一、這個器械裏面所需要的指示用的物品，在通常的情況中，最適宜的莫如水，因為水裏面若是和上一些酸或鹽類，使其變成較良的導體以後，就很容易發生分解。由分解而成的成分物質，在無數的實例中，收集起來決不會發生副作用。並且因為都是氣態的物質，所以物理的條件極佳，對於分離和量度莫不相宜。因此種種緣故，以後我所說的實驗，通常都是使用水來作成指示品。並且是加了硫酸，變成酸性的。雖然也有一些時候，在特殊的實驗裏面，或特殊的例內，要用別種的物質來作指示品（五七八），方覺便當，不過一般還是用水。

四四二、製造這樣的器械時，第一步是要避免分析

出來的氣體，再行結合，尤其是陽極，最容易發生這種效應

（三〇七）。為着這個目的，所以製成了許多形狀的分解

器。第一種形狀是用的直玻璃管，每一管內含有一段鉑線和鉑板，用黃金鍍接起來，固着在管的密閉着的一端。管內



圖一十二第

圖十二第

不與外面透氣，如第二十圖所示。這種玻璃管長約八英寸，直徑約一英寸的十分之七，管上有標度。管內的鉑板長約一英寸，寬與管齊，只要管內容納得下，愈寬愈佳。板的位置在於管口處，只要不妨礙到發生出來的氣體的收集，務以接近管口為宜。有些時候，分解成功的物質，需要發生在一個極小的表面上，對於此種需要，就將管內的鉑板取去，改用一條鉑線，彎成一個環形，如第二十一圖所示的形狀。用這種玻璃管來作量度的時候，內面須充滿稀硫酸，倒放在一個淺盆內，盆中也盛同種類的液體，如第二十二圖所示。並且玻璃管要放在傾斜的位置上，兩管口務要接近，俾分解而成的少量的物質互相混合。又管中的鉑板，要在鉛直的平面內（四五五）。

四四三、這種器具還有另外的一種形式，如第



圖 二 十 二 第

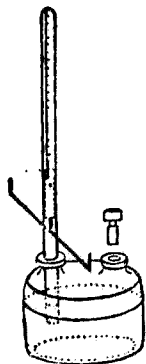


圖 四 十 二 第

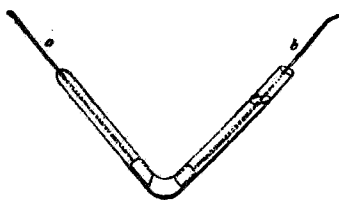


圖 三 十 二 第

二十三圖所示。玻璃管的中部彎折作人字狀，一端封閉。在這封閉着的一端，固着一條鉑線和鉑板，如圖中的 a，一直達到下方，如圖中所示的位置。對於彎曲部分，極爲接近，和密封着管端處發生出來的氣體，隨時都是接觸着的。這個鉑板的平面，也要在鉛直面內（四五五）。其他的一個金屬極端，如圖中的 b，要等到作分解實驗的時候，方納入管中。也要放到管的彎曲部分近傍，務使由此板上發生出來的氣體，走到密閉着的那一端去。即是由此而生的氣體，應讓他逸出管外。

四四四、這種實驗用的器械的第三種形式，是將兩個電極都裝在同一的管內。因此，電的傳送，以及由此而生的分解，都進行極速，遠在分開的管以上。此時所得的氣體，是雙方電極發生的氣體混合而成的。在通常情況下，使用這種器械來量度通過電流的電量時，比較前面所說的那幾種形式，都要好些。其構造係用一條玻璃的直管，如第二十四圖所示，上端封閉，管側有標度，管壁內部有一條鉑線熔在其內，和管內的兩塊鉑板相連

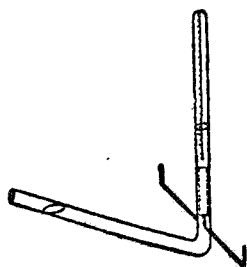


圖 五 十 二 第

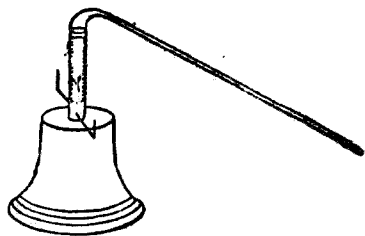
結。玻璃管插在雙頸瓶的一個頸口上。若瓶中盛有半滿或三分之二的稀硫酸（四四一），那麼，將全體傾向一方後，硫酸即流入玻璃管內，使其充滿。這樣器械中要有電流通過，那在極板上發生出來的氣體就在玻璃管的上部聚集起來，不會再受鉛的作用，發生復合了。

四四五、這種器械還有另外的一種形式，如第二十五圖所示。

四四六、第五種的形式如第二十六圖所示。這一種我覺得

對於作長時間的實驗極其有用。有時連續實驗到幾天之久，收集

的氣體分量也很大。此器裝在一個重的腳上，形狀很像一個燒瓶，內含兩個電極。其頸狹小，有相當的長，足夠使發生的氣體，由此送到另外的一個瓶內。此瓶則放在一個空氣的小槽中，裝電極的一部分，是密閉着的，就在台的上面，長五英寸，直徑十分之六英寸，頸的一部分長九英寸，內徑十分之



第 二 十 六 圖

四英寸，其構造如圖所示。

四四七、這種種形式的器械，以及連結用的導線，都要注意使其絕緣。務使由彼到此，電可以完全通過，不會中途受何阻礙。

四四八、除收集氣體而外，其次應當注意的，是在各種條件下，至少對於水，去試驗這個一定不易的電解作用的定律。有了這個確信，就可以知道種種妨礙這個作用的情境，在實際上應竭力避去。

四四九、第一研究的是電極的大小，對於作用有沒有任何影響。爲此目的，使用前面所述的那種種器械（四四四，四四五，四四六）。其中的一個極板有十分之七英寸寬，差不多有四英寸長，又有一個的極板，僅僅半英寸寬，十分之八英寸長。第三種的導線，直徑百分之二英寸，長三英寸。第四種的導線，也與此相似，但只有半英寸長。可是若將這幾種器械，充滿了稀硫酸，順次的排列起來，使共通的電流，從他們裏面流過。各器中所發生的氣體，都差不多完全相等。這樣的不同的，不過是表示有時這一種特別好些，有時那一種特別好些罷了。一般的結果，則爲電極最小的器械，即

是只用鉑線作電極的器械，發生的氣體分量最多。

四五〇、同類的實驗對於單獨的極板，直的玻璃管（四四二），及彎曲的玻璃管（四四三）都會作過，結果也是相同。用種種不同的方法將這些玻璃管和以前的那些玻璃連結起來，只要通過的電流相同，金屬的表面，不問大小如何，結果都是相等的。現在舉幾個數字的例出來說明。有一個器械，用兩條導線作電極，發生了七四·三容積的混合氣體，有一個用板的電極，發生了七三·二五容積的氣體，但其分離的兩管內的氧氣和氫氣的總和則為七三·六五容積。在其他另外的，一個實驗裏面所得的結果則為五五·三、五五·三及五四·四容積。

四五一、在這些實驗裏面，可以發見單獨一個極板的管內（四四二），其陰極發生的氫氣，和在陽極上發生的氧氣分量，並不成為比例，氫氣總要特別的來得多。就是和用兩個極板的玻璃管中發生的氫氣氧氣，也不成為比例。一般單極管內的氫氣，總要多些。對於這個效應，再加以詳細的檢查，纔知道是由於發生的氣體起了溶解所致。尤其是在陽極發生出來的氣體，特別溶解得多。不僅如此，就是用導線電極和用鉑板作極，所得的結果不能相同（四四九），也是同一的原因。

四五二、陽極和陰極的表面相等的時候，在稀硫酸中由他們雙方發生出來的氣泡，性質總是不同的。在陽極處發生的氣泡，異常細小，因為陽極板的清潔（三六九），所以一有氣泡發生，立刻就全部脫離了金屬表面而起。可是到了液體裏面，因為他們的數目又多，形體又小，所以使液體成爲朦朧不明的狀況，容易被水流攜帶向下方而去。所以不但是比大氣泡和液體接觸的表面積多，並且在液體裏面，因為和液體混合起來，所以保持的時間，也比較的長久。可是由陰極表面發出來的氣泡，雖然全體的容積，有由陽極發生的氣體容積的兩倍，可是氣泡的數目，却遠在陰極發生的氣泡的數目之下。並且在極板的各部分上並非一律都發生氣泡，好像似由若干地點發生出來的一般。形體雖然很大，但却粘着在金屬表面上，很不容易使他脫離。一旦能夠脫離，立即向着液體的表面浮起。所以即使假定在同樣的情形下，氧氣和氫氣的溶解度相等，即是說兩者和水結合的本領相等。那麼，在我們現在的這種條件下，氧氣總要比較氫氣容易溶解得多。再加氧氣具有一種與水化合的特殊本領，並且在陽極上的確有這樣的化合物發生，不過分量不甚多罷了。當水內沒有含着氣或其類似的成分的時候，往往有人發見陽極地方有一種漂白的作用，或許就是這樣化合

成功氧化水所致。

四五三、至於用導線作電極，比用金屬板作電極時，發生的氣體，特別的多，也很容易說明。本來在同一的時間內，發生的氣體分量應相等。可是在導線上結成的氣泡，却比較來得快，並且比其他的部分上的氣泡來得大，所以和液體直接接觸的面積既小，又不如金屬板上的氣泡，接觸的時間長，因此溶解的機會較少，結果收集的氣體自然較多了。

四五四、還有一個效應，也是同時發生的，尤其是在使用大形的電極時，特別顯著。不單是由發生的氣體溶解了一部分而成的結果，並且還可以拿來證明此項溶解作用的存在。將收集得來的氣體，加以檢查，發見其中含有一小部分的氮氣。我認爲這個氮氣的來源，出於空氣。因爲有一小部分的空氣，溶解在用來分解的酸裏面。大家都知道，凡是溶解度很小的氣體，由水或其他的溶液中通過時，新溶解的那一部分，必將前此溶解在水中或溶液中的舊的部分驅逐開去。就我們現在的例而論，溶解的氧氣必須將原先溶解在酸內的空氣驅逐開去，至少也得要將氮氣逐去。在大形的電極上，發生出來的氣體，最適合於發生溶解作用。所以這種含有氮氣在內的現象，也特別顯著。



四五五、爲圖竭力避免此項氣體的溶解起見，所以我將分解用的極板，裝在鉛直的位置上（四四二，四四三），俾發生的氣泡，得以早向上方昇起，而向下方去的水流，也不至和向上方昇起的氣流相遇。這個注意對於要想發生一定不變的結果，很有相當的幫助。尤其在此後所說的那些實驗裏面，獲益不少。在那些實驗裏，使用的液體不是稀硫酸，而是鉀等類的溶液。

四五六、由上述的溶解而生的量度上的不規律程度甚小。只要作兩三次的實驗，將所得的結果加以比較，即可完全校正。又可以選取特種的溶液，務使其對於氣體的溶解程度極低（四六三），亦不避免。再則只要將發生的氫氣，單獨收集起來，用作指示的氣體，也就可以避免。因爲氫氣的溶解度遠在氧氣以下，發生的速度又加一倍的快。泡的形體也大（五五二），所以很容易收集，並且也很純粹。

四五七、從上述的各種實驗，以及其他的種種實驗，得到一個共通的結果，即是電極的形狀雖有種種的不同，但一定量的電對於水引起的化學作用，却並沒有差別。

四五八、對於電化作用的恆常性，作第二步的檢查，係着眼於其強度的變化。第一先將上述

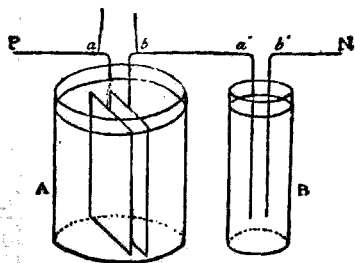
的實驗重來一遍，用等數極板的電池，或則灌電略強，或則略弱，但結果總是相同的。其次再作一次實驗，使用的電池，有時包含着四十對的極板，有時僅有五對極板，結果依然不變。由此可知無論在灌電的程度，或在極板的數目上，變更其強度，結果也和變更極板的大小相同，不能發生差別。

四五九、這些結果仍不足以證明電流的強度變更，不能引起相應的電化效應的變化。因為在一切表面上，或許同時增加，或許同時減少，亦未可定。可是這個缺點，並不難指明。只要用前述的大小不同的極板的實驗，即可完全證明。因為極板的大小，若不相等，當然強度的變化，也就隨着發生。在性質長度相同的導體中流過的電流強度和經由垂直於電流方向的橫切面上通過的電量，用時間來除所得的商相比例（參照第九六的註）。所以將兩個大的極板，隔着相當的距離裝好，再將兩條導線也裝在相等的距離上，兩者間都使同一種類的分解物質為之連絡（四四九），使同一的電流，由此兩器中次第流過，此時在兩個極板間和在兩條導線間的電狀況當然不同，即其電壓不等，然而兩者所生的化學效應，仍舊還是相同。

四六〇、上面所說的強度的不同，實際只要使兩個電解器，照着第二十七圖所示的方法裝

置起來，就很容易的表現出來。此兩器內的受分解的液體完全相同，通過的電流也是一樣，但A內的電極是兩塊鉑板，而B內則為兩條細的鉑線。再用一個第三的分解器，如前在第二十六圖中所繪的形狀（四四六），拿來連結到第二十七圖上的a、b兩點，由此第三器中發生的分解的程度，就可以將兩塊板上對於強度的相對的狀態指示出來。其次再將此第三器連結到a'、b'的兩點上，就可以指示出導線上的強度。在時a'、b'分解的量，驟然增加不少，可知導線兩端間的電的強度，比在a、b兩點時的強度高得多。當然在實驗中，兩線端P和N，要和電池連結着，自不庸說。

四六一、對於強度不同，而有相等的電化作用還有第三種的實驗方法。法用三個電量計，使電流先由一個電量計中流過，其次分爲兩路，各從其餘兩個電量計中的一個流過，最後又復合爲一。在後兩個電量計裏面分解而得的量的總和，無論何時都是和首先的一個電量計中分解出來的量相等的。可是講到強度，在分開以後，決不能和未分開



圖七十二第

前的狀況相同。由此可知對於同一的電量，雖變更其強度，也不會影響到結果上去。事實上這個實驗，也不過是單獨增加電極的面積罷了（四六〇）。

四六二、對於水有一定不移的電化作用的原理，現在要作第三步的檢查，即是着眼於使用的液溶的濃度變化。因為要使水成爲導電體，所以要加些硫酸（四四二），這樣加的硫酸，或其類似的物質，好像不會使水增加分解的本領，只要電量是一定不變的時候。可是結果却不如如此。將濃度不同的稀硫酸注入不同的分解器內，使其同時受到同一電流的作用（四四九）。結果發生少許的差別，也和以前一樣。有時在這一方向，有時又在反對的方向。雖然有些分解器中的硫酸，有其他分解器中的硫酸的七倍的多，可是最後的結果，仍舊是一切的溶液中，對於一定的電量所引起的水的分解分量，總是正確的相等。至於我所使用的硫酸的濃度，可由比重來表。都是在一·四九五以下的。

四六三、若是使用比重等於一·三三六的硫酸，結果更爲平允。在多數的例中，發生出來的氧氣和氮氣（四五—），總是成爲正確的比例。對於同一的電流，這種硫酸所生的氣體分量，遠在

比他更稀薄的硫酸發生的氣體以上。這很明白的是因爲更稀薄的硫酸，溶解度也較小的緣故。假如使用的硫酸太濃，就有一部分氧氣消滅。試舉一個例來說，有一次的實驗，用兩容積的濃硫酸，和一容積的水，混合起來實驗，結果得到四十二容積的氫氣，可是氧氣不過十二容積而已。用比重等於一·二二二的硫酸來實驗，發生出來的氫氣，差不多也是一樣。我尙沒有工夫去研究，在這個例中，消滅的氧氣，有些什麼相伴存在的情況。只不過在想像上，認爲由於氧化水的構成而來罷了。據忒那德的指示，有酸存在的時候，這種物質的化合是最容易的。

四六四、我現在所說的器械，雖然在實際的使用上，沒有什麼需要。可是因爲對於水有一定不移的電化作用，有連帶的關係。所以我就更進一步，用來研究各種酸類，鹽類，以及化合物等，種種性質極端不同的物質的水溶液，有電流由其中通過時所引起的效應。結果異常的整齊一致，真令人爲之驚嘆不置。其中還有許多，具有副作用 (secondary action)，當在後面再爲述及。

四六五、苛性鉀或苛性鈉的溶液，或硫酸鎂硫酸鈉等的水溶液，受了電流的作用，發生的氫氣和氧氣的分量，完全和稀硫酸所發生的分量相等。只要加以比較，即可得知。又氨的溶液內，加上

一些硫酸氫（二九〇），變成良導體後，拿來實驗，或是用次碳酸鉀的溶液亦可，結果發生的氫氣，也和從稀硫酸中發生的分量相同。由此可知溶液的性質雖變，水的電解作用的恆久性並不受其影響。

四六六、我在使用大小不同的電極處曾經說過，連結的次序雖然改變，可是普遍的結果並不發生變化（四五〇）。對於各種不同的溶液，以及各種不同的濃度，也同樣的可以適用。並且無論實驗的環境怎樣的改變，結果總是恆定的，由此可知，電化作用仍舊還是不變的。

四六七、上所說的那些研究，我認爲已經足以證明關於水的非常重要的原則了。即是說當水受了電流的作用，發生的分解物質，和通過的電量，成爲很正確的比例。不問實驗時條件和環境怎樣的變更，結果總是這樣。假使有種副作用（四七七等），以及氣體的溶解或再合，空氣的發生等類的干涉作用能夠避免，那麼，收集起來的氣體分量，異常的準確，可以用來量度通過的電量。

四六八、在第二十四，二十五，二十六等圖（四四四，四四五，四四六）所示的器械，恐怕要算是最有用的形式。因爲他們可以用很大的氣體的容積來指示電量，並且對於電流的通過，又

沒有些微的妨礙。由經驗告訴我，最好的溶液，應該要用比重等於一·三三六近傍或由一·三三六到一二五的硫酸的溶液。最重要的是不能使用有機物質，或植物性的酸類，以及其他能在電極上發生氧氣和氫氣的物質（五〇八等）。因為用了這樣的溶液，不是格外加上一些氣體。就要減少一些。

四六九、有許多的例中，這個器械可以用作一種比較的標準（Comparative standard）甚或簡直用作一種量度的標度（measure）。在這種時候，最好單獨使用氫氣一種，因為氫氣比較不易被別的物質吸收，也不容易如像氧氣那樣的消滅。並且同時他的容積又大，所以要算是很好的而且很靈敏的指示品。在這樣的時候，可以使用第一種或第二種形式的器械，如第二十二及第二十三圖所示（四四二，四四三）。這樣得來的結果，甚為恆定，比較同時收集兩種氣體的那些器械，變化很小。又將溶液用來作成比較的實驗時，也可以得到這樣的指示。在這些比較的實驗裏面，沒有氧氣發生，只有由他的作用而生的副結果。若是要將兩極上面發生的物質收集起來，決不能得到什麼指示。使用氮，鹽酸，氯化物，碘化物，醋酸鹽，以及其他植物性酸的鹽類作實驗時，均屬於此。

四七〇、在少數的例中，因為金屬鹽類的溶液，很容易在陰極地方受還原的作用，反轉使用氧氣來作指示品，更爲有利。譬如硫酸銅的分解，即其一例。

四七一、因此一來，通常有兩種形式的器械，可以用來量度電量。其中的一種，是將水分解而成的兩種氣體，全部收集起來（四四四，四四五，四四六）。他一種則只將其中的氫氣收集使用（四四二，四四三）。若是用來作比較的器具（Comparative instrument）（此項用法範圍頗廣，下面再爲詳述），那就不必要特別的注意。但若用來作成一種絕對的量度標度（absolute measure），那就得要將大氣壓力和溫度，一律加入考慮。對於這個器具的標度，要有一定的比例。百分之一立方英寸或其更小的分割，最適合於這個目的。用百分之一來指示電的「度」(degree)最爲方便。

四七二、關於這個器具的使用法，除上述而外，實在沒有再說的必要了。使用的時候，將他插入電流通過的路線的中途上，使其受到電流的作用。若是要量度六十度或七十度的電，那麼，不問電流的強弱爲何，或者在其線路的一部分上，或者同時在其數處，將他連結上去，直到管內的氣



體積到所要的數目的標度爲止。若是要量度足以發生某種效應的電量，那麼，就等到目的的效應發生的時候，將指示的度數讀下。在精密的量度中，對於這樣讀出來的氣體容積，應加以溫度和壓力兩方面的校正。尤其是對於濕氣 (moisture) 的校正 (註)。爲最後所指的這個目的，以使用第二十六圖所示的電量計最爲精確，因爲此時的氣體，可以在水的上面去量度，而在其他的器具，則保存在醇類或鹽類溶液上。

四七三、我使用「度」(四七一)的這個名詞，並不躊躇，因爲他的利用和其他的一種最重要也是不可稱量的量，即是熱量，很相類似。在熱的一方面，可以利用空氣、水、汞等類有一定的膨脹，來作熱量的量度，同樣，在這裏發生出來的氣體的容積，也是一定的，所以也就可以利用來作電的量度。

四七四、這個器械只能用作電流電的實際的量度 (actual measure)。因爲無論經歷的時間或強度如何變更，無論電流本身如何的變異，也不問他的種類如何，來源如何，甚而至於作用是否中斷。總之，只要是通過的電量，通一律指示出來，毫不遺漏。因此我所以稱他爲「電量計」。

(voltaelectrometer)。

四七五、量度電流電的器具，還有另外的一種，是利用發生出來的金屬或其他的物質，不問此種發生是出於原作用或副作用的結果，在許多的地方，這種量度法，也很有他的特長。可是我現在不欲將這些生產物的利用方法擴大，還得要將他們所根據的原則，先行奠定，然後再及於此項問題（五二六，五二八）。

四七六、得了這種器具的幫助，我方能夠將電化作用的一定不移的性質，就廣義上決定出來。並且確信由這種觀念在發展電學是最有效功的。我不欲更涉及細節，只不過想將這個原則的真實指示出來，並將他的利用方法提出而已（註二）。

註一 對於濕氣的簡單的校正法，可以參看我著的化學處理術（*Chemical manipulation*），一八三〇年版第三七六頁。

註二 最早要推給呂薩克和忒那德等，在一八一一年就利用化學分解去作電池堆中的電的長度，參看 *Recherches Physico-chymiques* 第一二頁。至於這個現象何以能成爲一種精確的量度，其所依據的原理，和應當注意的事

## VI 在電極上生成的物質的原性及副性

四七七、用電量計來量度電化分解的恆常性，本是一個普通的定律，可是在使用電量計以前，還須先行檢查由電化作用生成的物質，究竟是屬於原性 (primary character) 或屬於副性 (secondary character)。此項區別，學科家早已認識得到。並且要是可能的話，還希望根據一種普遍的原則，將此兩種特性決定出來。此後可以遇見關於電化作用，以及由他引起的結果，往往發生絕大的錯誤，就是將這兩種特性，混合在一處造成成功的。

四七八、受了電解作用後在兩極上發生出來的物質，要是恆定不變，也不和電流所通過的物質發生化合，這樣的物質，縱令其本身是一種化合物，我們也稱他是原作用的生成物。例如氧氣、氫氣，就是由水而生成的原作用生成物，簡稱爲原結果 (primary result)。又如由硫酸鈉生成的酸和鹼兩者都是化合物，但也是原結果。假使受電流作用後生成的物質，在還未出現於電極以前，

就起了變化，那就發生了副結果 (secondary result)。此項副結果在許多的例中，發生出來，往往還是很簡單的物質或元素。

四七九、此項副結果的發生，有兩種原因。有時由於分離出來的物質，和電極的物質間的相互作用。有時則由於分析出來的物質，對於受分解作用的物質中所含有的某種物質的作用。例如用礬作陽極，浸入稀硫酸內，常常發生氧化礬和碳酸，而不見有氧氣出現。這就是因為碳酸對於礬極，發生了化學反應，所以生成這些副結果出來。又如用鉑作陽極，放在硝酸鉛或醋酸鉛的溶液裏面，就有過氧化鉛發生。也和前例相同，是一種副結果。不過是氧氣對於溶液中的物質，起了化學反應生成的罷了。再用鉑的電極來使氮分解，其陽極上就發生氮氣（註）。氮氣雖是很簡單的元素，可是發生的來源，還是一個副結果。本來應該在此處出現的氧氣，遇着周圍溶液中的氮（二九），起了化學作用，方纔生成的。同樣金屬鹽類的水溶液，受電流作用後，陰極上有金屬出現。金屬固然也是簡單的元素，却此時的出現，也是一種副結果，並非電流的分解本領，接得出來的物質。

四八〇、這種副結果之中，有許多是極有的價值的。譬如柏克勒爾 (Bequerel) 用微弱電

流，得到的一切有趣的化合物，都屬於這一類。可是他們的要點，還是化學方面，所以應該在電解作用的理論上，和那些直接由電流作用得來的物質，詳加區別。

四八一、從發生的物質的本性，往往可以判斷他們究竟是原性或是副性。這種判斷雖然也很正確，但僅僅這一點，還不能完全的斷定。例如氮氣有時被陽極吸引，有時又被陰極吸引。要看和他化合的物質如何，方能決定（二九〇，二九一）。在這樣的時候，應該很明白的是屬於原結果（註二）。可是我能夠指示出來，在陽極出現的氮氣，的確是一種副結果（四八三）。因此德斐（註三）以及大多數的化學家（我也在內）都用金屬鹽類的水溶液受了電流作用後，就有銅，鉛，錫，銀，金等類的物質出現於陰極上面，作為這一類的金屬，都受這一個表面吸引的證明。因此，在這些例中，遂認為金屬是原結果。雖然如此，我却要想證明，這一類的物質，都是副結果。他們的出現，完全是由於化學的作用，既不能證明有這樣的引力存在，也不能證明關於他們出現的地點的定律。

四八二、但如我們將前面（四六七）已經就水的一方面證明過的一定不移的電化作用（constant electro-chemical action）借重一下，我相信這個原則大可擴張開來，對於一切物質，

都很能夠得到滿意的適用（五五六）。再加對於分析出來的物質，不僅對於量（quantity）的一方面，同時還要對於其本性（nature）一方面，也得加以考慮，那就不難得到一個普遍準確的判斷方法，去決定生出來的物質，究竟屬於原性，或屬於副性了。這是一件很重要的事，對於電解的理論，極其重要。因為由此可以判斷什麼物質，是電流作用的直接的結果（和那些不受作用的物質，有所區別）。其結果生成的物質，應該屬於何種，也可以由此預想得到。這個重要的原則確定以後，因為他的精確程度很高，所以將這一部分的自然科學中所有的無數曖昧不明的觀念，和含有疑意的思想，都一掃而盡。

四八三、現在試將這個原則，應用到氮去分離氮氣，使其在一方的電極或他一方的電極上出現（二九〇，二九一）。純粹的濃氮溶液，也和純粹的水一樣，是不良導體，所以也很不容易發生電解。但若有硫酸銨溶解在內，全體就變成導體。在陽極上出現的氮氣，差不多有時候甚至是很完全的純粹品，而在陰極出現的，則為氫氣。氮氣的容積對於氫氣容積的比，雖不一定，但總在一對三或四之比的附近。這個結果初看上去，好像足以指示電流將氮分解了，並且在陽電極上將氮氣

游離出來的一般。但若用電量計將通過的電量度出來（四四二，四七一），就可以知道發生的氫氣分量，完全和水受分解後所發生的氫氣分量相同，而發生的氮氣，却什麼關係也說不上。再將這個實驗反覆做過若干遍，或是使用更濃或更稀的溶液，或是使更強或更弱的電池，結果在陽極上發生的氣體，證明是氧氣和氮氣的混合物，其混合的比例以及絕對的分量，都沒有有一定。可是在陰極出現的氫氣，始終是一定不變。據此，則在陽極上出現的氮氣，應係副結果，實已無可容疑。這種副結果實在是溶液中的氮受了電流的作用，在極板的表面上，游離出來的新生期的氧氣的化學作用生出來的。所以實際上發生分解的物質，不是氮而是水。不但如此，用這個實驗發生的氮氣，究竟應該生在陽極或生在陰極上，也無法決定。不僅使用氮如此，據我所知，任便使用硝酸，或其他氮的化合物來作實驗，也還是同樣的不能夠將氮氣應出現於那一個電極，決定出來。

四八四、現在還可以引一個副結果的例，就是醋酸鉀的溶液。要是使用很濃的溶液，其陽極上出現的氣體，恆多於在陰極上出現的氣體，兩者間大約成爲四與三的比例。在陽極發生的是一氧化碳和碳酸氣的混合體，而在陰極出現的則爲氫氣。要是使用較稀薄的溶液，則在陽極出現的

氣體，不至於比在陰極出現的氣體，多到如是的地步。此時在陽極出現的氣體，除一氧化碳和碳酸氣而外，還有碳化氫，也包含得有。這種在陽極上發生的碳化氫，要是作成是電流的分解本領，直接得出來的結果而論，那就有很不合乎常規的形狀。可是這實在是一種副結果，也和一氧化碳以及碳酸氣一樣。因為受電解作用的只有水，分解後在陽極應生氧氣，此項氧氣對於醋酸發生反應，所以最後出現的，就是這種物質。上面所說的事實，可以由電量計（四四二）完全證實。因為從醋酸在陰極上發生出來的氫氣，無論何時，分量總是一定的，和從溶液中通過的電量成比一定的比例，和在電量計本身裏面發生的氫氣一樣。物質的出現有一定的處所，根據這個定律推測起去，現在就在陽極上會有碳伴同氫氣發生，而在陰極上則不會出現，這個對照，到是很可異的。

四八五、假如溶液內的鹽類是醋酸鉛，那麼，在雙方的電極上出現的物質，都是副結果。這樣的情形，決不能夠用來估計或表示電化作用的分量，除非要是後面所述的迂迴的辦法（五七八）。在這個時候，在陽極出現的不是氧氣，甚至於也不是前面所說的那些氣體（四八四），而是過氧化鉛。假如改用其他金屬的溶液，內中含有過氧化物，譬如過氧化銅之類，和這種金屬溶液，或其他



可受電解作用的酸類，化合起來，結果更爲複雜。若是將這種複雜極了的結果，錯認爲是電化分解作用的原結果，必將陷於混亂。其混亂的程度，正和其結果的複雜程度相比例。但若將他們看成是副結果，那就成爲完全的調和，並且異常的簡單，和受一定量電通過而生的氧氣氮氣的分量，具有一定的比例。

四八六、我會對於種種的物質，加於實驗，希望能夠決定他們的結果，究竟是原結果，還是副結果。實驗的結果，在通常的情形下，發生副結果的例最多，並且往往以爲是別的物质應該發生電解，結局仍舊還是水在分解，真不能令人不爲之驚異。其中有數種，我不能不提出，並略加數語於下。

四八七、硝酸——當其濃厚的時候，是很好的導電體，並且在陽極上發生氧氣。陰極上沒有氧氣出現，可是有亞硝酸，外觀上有氧化氮在此處發生，溶解後使酸帶黃色或紅色，最後因爲氧化氮的驟然分離，甚至於發生沸騰一樣的許多的氣泡。若用水加入，使其變爲稀薄，其陰極上即發生氣體。其分量則沒有一定，隨着酸的濃度和電流的強度，而生種種的變化。假如用一個弱的電池，不能使其陰極發生氣體，那麼改用一個較強的電池，的確就有氣體發生。又如使用同一的電池，在酸

濃的時候，雖然陰極沒有氣體出現，可是在稀的酸裏，又的確能使氣體發生。在陽極出現的氣體，始終都是氧氣，在陰極出現的，總是氫氣。其次用電量計（四四二）去檢查發生的氣體分量，不管是濃的酸，或是稀薄的酸，氧氣的分量，都是和水成爲一定的比例。當使用稀薄的酸的時候，其比重若在一·二四或其以下所發生的氫氣，也可以證明和水成爲一定的比例。由此我遂決定硝酸並沒有受到電解，受到電解的，真正還是水，而在陽極出現的氧氣，始終是原結果，在陰極出現的物質，往往是副結果，由於氫氣和硝酸間所起的化學反應而生的。

四八八、硝石——這種鹽類的溶液分解出來的結果，全沒有一定，隨着使用的玻璃管的形式如何，以及使用的電極的大小如何，而起變化。有時由水分解出來的氫氣，全部可在陰極出現，有時又只能得一部分，因爲很容易造成副結果。這個溶液，對於電的傳導，是特別的良好。

四八九、——硝酸氫——其水溶液發生的副結果，也有種種的變化，分量也很不一定。

四九〇、——亞硫酸——純粹的液態亞硫酸不能傳電，也不受電流作用而起分解（註五），但若溶解在水裏面，其水溶液就成了導電體，也就發生分解，在陽極上發生氧氣，陰極上發生氫氣和

硫。

四九一——含有硫酸和亞硫酸的溶液，傳電的程度更高。雙方的電極上發生的氣體，分量都很少。陽極上出現的是氫氣，陰極上出現的是純粹的氫氣。從陰極還發出一些濁流體，其中含有擴散的硫在內，不久就使全體都成了乳白色。這種液體發生出來的氣體的分量，和在電量計中由水發來的氣體分量，不能成爲比例。我認定在這些實驗中，亞硫酸完全不受電流的作用發生分解，實際分解的，就是其中的水。在陽極地方由水分離出來的氧氣，將亞硫酸變成了硫酸，在陰極地方由水分出來的氫氣，又使亞硫酸發生分解，吸收了他的氧氣，所以使硫游離出來。我決定在陰極處出現的硫，不過是副結果罷了。事實上，假如用稀的亞硫酸溶液來實驗，決不見有些微的部分和氫氣化合。

四九二、硫酸——硫酸是非導體的理由，我已經說過，即是不能用電流使其受直接的分解。但往往在陰極上發生的氫氣（四一六），可以使他發生副結果。德斐於一八〇〇年，對於在硫酸中得出來的硫，曾經認爲是新生氫（nascent hydrogen）作用的結果（註六）。可是在一八〇四年，

喜辛格 (Hisinger) 和柏濟力阿斯 (Berzelius) 則認為是電流作用的直接的結果〔註七〕。從此以後，好像德斐也就採用這種意見，以後任何學者，均以爲然。我自己的意見起了變化後，於是對於我在這個研究的前一部分（二八八），關於硫酸的分解的意見，不得不加以糾正。我決不承認在陰極出現的硫，是電解作用的一種直接的結果。

四九三、鹽酸——濃厚的溶液在陰極上發生氯氣，在陽極上只能發生氧氣。氧氣的一部分作用到鉑上去，一部分則分解於液內。剩餘的一個很小的氣泡並不是氧氣，或許是以前在液內的空氣。

四九四、在鹽酸裏面分解出來的氯氣，究竟是原結果，還是因爲由水發生的氧氣，在陽極地方對於鹽酸發生作用後，而得的副結果，很有研究明白的必要。即是鹽酸是否一種電解質，假使是能夠發生電解的，那就要問發生的分解，是不是一定的。

四九五、試將鹽酸逐漸的使其變爲稀薄一部分的鹽酸，和六倍的水，混合起來，在陽極上只發生氯氣，一部分的鹽酸和八倍的水，也只發生氯氣。到了使用九倍的水，那就有少許的氧氣和氯

氣同時發出。氧氣是否能夠出現，同時還要看電流的強弱程度而定。再用十五倍的水，陽極上就有少量的氧氣和大量的氫氣出現。因為到了這個程度的溶液，已經成了不良的導體，所以加上一些硫酸，結果使分解發生很容易，但却不能使氫氣和氧氣的比例上，發生感覺得到的變化。

四九六、其次用一百倍的稀硫酸加在鹽酸裏去，使其稀薄，結果在陽極上出現的氫氣的分量，更形加多，此項氫氣也是和氧氣混合在一起的。無論使用的電池，是由四十對的極板構成的，還是由五對的極板而成的，結果都是一樣。這種濃度的酸，是陽極上發生的氧氣和陰極上發生的氫氣，容積的比例等於十七對六十四。因此可知氫氣假如不溶解入於溶液內，他的容積應為三十。

四九七、其次再對於發生的量加以考察。使用電量計的結果，知道無論用濃厚的或稀薄的鹽酸，無論在陽極出現的是單獨的氫氣或是與氧氣混合出現，總之，在陰極出現的氫氣，都有一定的分量，其分量就和同一的電量由水中通過的時候，由水內分解出來的氧氣的氣量一樣。

四九八、這一點恆常性，還不足以判斷鹽酸能否受電解作用，只能證明假如鹽酸能夠電解。此項發生的物質分量，應該和通過的電量成一定的比例。對於這一點，可以用其他的方法來決定。

氫氣和氧氣對於氫氣的關係，很爲相似，所以要是化合起來，極容易造成和電解過程中相似的部  
分。兩者都能夠和氮氣作極簡單的比例化合，比例的數字對於化合物的分解性（四三二），具有  
極密切而又極重要的關係。並且鹽酸中的比例，和水中的比例一樣，對於分解作用，極爲有利，或許  
不僅有利，還成爲最必要的，也未可知。在氮元素的其他二元化合物中，不致於含有氮化氧，同時  
共在的疑意的時候，受電流作用的結果，陽極上都有氮氣直接分析出來。氮化鉛的例（一三一），  
就屬於此類。可以拿去和低級氧化鉛（一三八）相比，其關係和鹽酸與水，完全相同。還有氮化鉀，  
氮化鈉，氮化鋇等，對於同金屬的低級氧化物，也有同樣的關係，受電流作用後，也呈同樣的結果  
（一三八）。

四九九、根據這些實驗，以及上述的各種考察，我遂斷定鹽酸的分解，是由於電流的直接作  
用而來，並且發生的物質的分量，以及化學作用，對於一定量的電，總是一定不變的。我雖不會將在  
陽極出現的游離狀態的氮氣收集過，也未曾量度過。可是他對於在陰極上出現的氮氣，具有一定  
不移的比例，已無可容疑了。這個結果，已經足以將鹽酸有一定的電化作用的定律奠定了。

五〇〇、在稀薄的酸裏（四九六），我得到的結果，是有一部分的水，受了電化分解的作用，發出了氧氣，和在陽極出現的氫氣混合一起，這種氧氣可以看作一種副結果。但我却相信其不然。因為假使果真是副結果，那麼，在濃厚的酸裏面，就應該有大量的氧氣發生，而事實却與此正相反對。從這一層考察，還有其他的事實，令我斷定鹽酸比水，還要更容易用電流去使其發生分解。因為就是使用九倍的水去使他稀薄，結果仍舊只有鹽酸發生分解，水却絲毫也未曾發生變化。

五〇一、氟化物——用氟化物的水溶液，例如氟化鈉或氟化鈣的溶液作實驗，則陽極上出現的只有氫氣，而在陰極上出現的氫氣，則與這種鹽基的氧化物，如氧化鈉或石灰，共同存在。這個電解的過程，有兩三種不同的進行方法，但是結果總是相同的。最簡單的一種，是將氟化物看成是電解的物質，其中的氟元素，在陽極上出現，金屬則向陰極而去，在陰極不能尋着氟氣來同他化合，於是遂作用於水，發生了副結果的氫氣和氧氣。照着這樣詳細的討論下去，未免妨礙着正當的重要工作，而且又不是直接的結果，所以我現在只好暫置不論。不過，有一句話，不得不鄭重加以申明，就是使用了電量計，得到的最大的結果，就是在雙方的實驗中得到的氫氣，總是一定不變的。假使

所得的結果，不能證明氫化物有一定不移的分解的分量（其證明將見於別處——五二四，五二九，五四九），但最低的限度，也決不會和這個結論相衝突，實際還是維護着這個普遍定律。

五〇二、碘·氫·酸——碘·氫·酸 (hydriodic acid) 的溶液，受電流的作用而把分解，其情形完全和鹽酸相同。當使用濃溶液的時候，氫氣出現於陰極，出現的分量，和通過的電量成爲一定的比例，即是和水受同量的電流通過時所發生的氫氣的分量一樣。在陽極上出現的爲碘，並沒有氧氣。但若使用稀薄的溶液時，就有小量的氧氣與碘同時在陽極上出現，而在陰極上出現的氫氣的分量則並沒有變化。

五〇三、我相信在這個情形下碘·氫·酸發生的分解，是一種直接的結果，其理由和鹽類處所說的理由完全相同（四九八，四九九）。

五〇四、碘·化·物——使碘·化·鉀的溶液受電流的作用，有碘出現於陽極（並沒有氧氣混在內），氫·氣則與自由狀態的鹼，在陰極上出現。前此關於氫·化·物溶液的實驗（五〇一），對於碘·化·物可適用。



五〇五、氫、氟、酸及氟、化、物——氫、氟、酸 (hydrofluoric acid) 的溶液，受到電流的作用，不能發生分解，分解的還是水。熔化了的氟、化、物，到能夠發生電解（一五三），但在進行中的時候，可以得到游離狀態的氟、元、素。關於這個問題，我想還是在本研究的後面，再為詳細的敘述，比放在這裏好像適當得多〔註八〕。

五〇六、氫、酸——氫、氟、酸 (hydro-cyanic acid) 的溶液不能導電。在陰極分離出來的氫、氣、分、量是一定不變的，和由水發生的分量相同。在陽極上發生小量的氧、氣，很顯明的造成了氫、的、溶、液。全體的作用，和稀鹽酸或碘氫、酸的作用相當。若在氫、氟、酸的裏面，加上一些硫、酸，使其成為較良的導體，其結果還是一樣。

氫、化、物——由氫、化、物的溶液而得的結果，完全和由氟、化、物或碘、化、物得到的結果一樣。在陽極上沒有氧、氣出現，可是有褐色的溶液現出。按前此在氟、化、物處所說的理由（五〇一），又因熔化了了的氫、化、物在陽極上應有氫、出、現〔註九〕，所以我相信氫、溶、液的分解，是直接的結果。

五〇七、亞、鐵、氰、酸 (ferro-cyanic acid) 和亞、鐵、化、物以及硫、氰、酸 (sulpho-cyanic acid)

和硫酸化物等，對於電流所起的分解，和上面所說的（五〇六）完全相同。

五〇八、醋·酸——冰醋酸（Glacial acetic acid）熔化了的時候（一四一），既不能受電的分解作用，也不導電。加上一些水，依舊還是沒有作用。加的水稍多，作用也就徐徐發生，差不多就和純粹的水的情形一樣。加上一些稀硫酸，俾其變成良導體這樣一來，於是在陰極上有一定分量的氫氣發生，在陽極上，則有很少量的氧氣和二氧化碳，還有少量的一氧化碳，混合在一起出現。因此，可知醋酸是不能發生電解的，但其一部分受了在陽極發生的氧氣的作用，方始分解，產生副結果，其分量隨着酸的濃度，電流的強弱，以及其他的各種條件而變。

五〇九、醋·酸·鹽——醋酸鹽中的一種，前面已曾提到，對於醋酸，只能發生副結果（四八四）。多數的金屬的醋酸鹽，受到電流的作用後，雙方的電極上，都發生副結果（四八一，四八五）。

醋·酸·鈉·化·了·而·又·成·為·酏·(anhydrous)，可以受直接的分解。我相信他是一個真正的電解質，在陰極和陽極上發生鈉和醋酸。但是兩者都不能持久，立刻又變成其他的物質。前者有木炭，鈉，氫等發生，在我所能判斷的範圍內，後者當有醋酸和一氧化碳、二氧化碳等混合着現出。

五一〇、酒石酸——純粹的酒石酸的溶液，也和純粹的水一樣，不能導電。加上一些硫酸，就變成了良導體，其結果在陽極上或成爲原結果，或成副爲結果，分量也不一定，要隨着酸的濃度以及電流的強弱以爲轉移（四八七）。鹼性的酒石酸，在陽極上發生的副結果分量頗大，而在陰極出現的氫氣分量，却是始終一樣。除非是使用某種三價的金屬鹽類，方能發生變化。

五一一、其次再實驗含有其他植物性酸的鹽類，例如將安息酸鹽類的溶液，糖或樹膠溶化在硫酸內，樹脂，蛋白質等溶化在鹼內，將這些溶液，順次用電流來作用。其陽極上均有副結果出現，不過程度有大小不同罷了。

五一二、在本研究結果以前，千萬不可以認爲電流對於兩電極間的物質所呈的作用，是複雜的而非簡單的。物質發生分解，只有兩途。成則由於電流直接的力，或則由於電流生出來的物質的間接作用。新物質的構成，也有兩途，或則新生期的物質直接對於電極的物質發生作用（三九四），或則和隨伴着的別的物质合化而成。這種隨伴着的物質，在陰陽兩極上，都同樣的有其存在，有時這兩種作用同時發生，並且彼此間的比例也沒有一定，情形就更加複雜。但若加以詳細的分

析。還是可以歸納入於前述的原則裏面（四八二）。

五一三、假使用物質的水溶液來實驗，發生副結果的機會，特別的多。縱令溶液中的水的分量不多，僅有化合的分量，仍舊不免發生副結果。例如德斐用氫氧化鉀或氫氧化鈉來實驗，有一部分鉀出現出來，就是副作用的結果。還有往往應該發生的氫氣和氧氣消滅了的原因，也在於此。水溶液中沒有氮氣出現於其陰極，就是表示有副作用發生。在我觀測的範圍中，這個原則還沒有例外。

五一四、副結果並不限於在水溶液或有水存在的地方。例如種種的氯化物，當其熔化的時候（一三八），受鉛電極的作用，在陽極上，將氮氣電解出來。還有許多的例，如像氯化鉛，氯化鉀，氯化銀等作用於鉑，同他化合起來，造成一種可以溶解的化合物。但如使用低級氯化錫，則在陽極上出現的氮氣，就不能作用到鉑，而作用於業已在此地的氯化物，造成過氮化物，成爲氣泡升起（五二三，五三九）。這些都是在水中的物體，發生的兩種的副作用。

五一五、還有從硼砂（一三八，一五三）而生成的硼元素，也是副作用。因爲硼酸不能受

電的分解（一四四），在陰極出現的是鈉，鈉再同周圍的硼酸發生作用，奪取了其中的氧氣，於是將硼游離出來，方能成爲前面所說的實驗的結果。

五一六、副作用在柏克勒爾的手裏，已經發生了許多有興趣的事項，拿來造成了種種的化合物。其中有些是完全的新物質，有些又和天然出產的相似〔註丁〕。或許對於反對的一方面，即是使別的物质發生電解的一方面，也同樣的含有興趣。曾經得到過許多的報告，關於種種特殊物質的分子的成分以及其排列的狀況。例如植物性酸類和鹼類，以及一般的有機化合物等，將在電極上發生的新生氧，新生氫，新生氮等，作用到這些物質上去都可以得到這些報告。電流的強度，電極的大小，電解質的本性，及其濃度等，種種相伴存在的條件，對於最後的結果，都各有各其相當的效應，而對於這一類的條件，我們都得到了完全可以任意配的能力，所以這種作用的發生，較前更有把握。

五一七、我認爲極其滿意的，就是極端的副結果，對於我的學說，即是電化作用，是恆常一定不變的學說，也不相違背。關於這一點的詳細經過，就在下面寫出。

註一 見 *Annales de Chimie* 一八〇四年第五十一卷第一六七頁。

註二 見同誌第一七二頁。

註三 見 *Elements of Chemical Philosophy* 第一四四頁及第一六一頁。

註四 一直到一八〇四年爲止，其間一般的意見，都認爲金屬的還原，是出於新生氫的作用。到了一八〇四年，麥辛革和柏濟力阿斯（見 *Annales de Chemie* 一八〇四年第五十一卷第一七四頁）始出來反對，認爲金屬的出現是由於電流的直接作用。從此以後，好像德斐也就取同一的意見了（見 *Philosophical Transactions* 一八二六年第三八八頁）。

註五 又可參閱拉里甫著的 *Bibliothèque Universelle* 第六十卷第二〇五頁，或 *Quarterly Journal of Science* 第二十七卷第四〇七頁。

註六 見 *Nicholson's Quarterly Journal* 第四卷第二八〇及二八一頁。

註七 見 *Annales de Chimie* 一八〇四年第五十一卷第一七三頁。

註八 我沒有得到鐵。我的期待，差不多是等於一種考慮，經過了嚴密的檢查以後，一一都失敗了。結局得到了許多奇

怪的结果。——一八三八年十二月

註九 在這個例中碳和氣向着電池中<sub>正</sub>極的表面，大量生產出來，確是一件人注目的事項。但却和我提出來的電解學說，很能一致。

註十 見 *Annales de Chimie* 第三十五卷第一一三頁。

## VII 電解作用的一定不易的性質及其範圍

五一八、在本研究開始處，於證明了各種來源不同的電，都是完全同一的以後，就用實際的量度，指示出一個很微弱的電流發生器（一〇七，一一二），可以發生出非常大量的電。由實驗的結果，我就提出了一個定律，這個定律，據我看來，對於電學研究的全體，都是異常重要的，而關於這一部分，特別稱為電化學（electro-chemistry）。我提出來的定律如下：電流的分解的本領和通過的絕對電量為正比例（一一三）。

五一九、在其後繼續做的實驗中，常常遇見和這個定律有關係的事項，有時這些事項，還成爲這個定律的極有力的證明（一九二，二四〇，二四一）。就是現在所說的這一些例，爲數已

經不少，而且都可以適用這個定律（四三九，四五七，四六一，四六七）。我現在的目的，是想對於這個原則，再加以詳細的考察，希望由此得到一些結果。因為要想得到的證據，更加一層的明顯，並且更可以拿來利用，所以我引的例，務用含有極少的干涉，受作用的物質極其簡單，可是本性却很一定。

五二〇、第一步我認爲對於水的分解，已經定立了這個定律，雖然在想像上，以爲有那許多情形，好像可以妨礙他的一般，因此，我就不再贅述，只將結果摘錄出來（四六七）。關於這一方面的研究，全部都劃歸前面敘述電量計的那一部分裏去（四三九等）。

五二一、第二步又認爲這個定律對於鹽酸也是成立的，其所根據的實驗和理論，在前面詳述原結果與副結果的區別的部分（四九三等），也詳細的說過了。

五二二、我又認爲這個定律對於碘氫酸也是成立的，其理由見前（五〇二，五〇三）。

五二三、再從許多的實驗，前面已經說過的，和未曾說出的，關於氫氫酸，氫氫酸，氫鐵酸，硫酸等（五〇五，五〇六，五〇七），和氮氫酸，碘氫酸，溴氫酸等極相類似的，地方，所得的結論，也



很和這個定律相一致，可以幫助來作證明。

五二四 在目前的例中，除開第一種而外，水是被認

爲不起作用的。因爲有他存在，就會引起這種混淆，所以我去搜尋能夠避免得了的物質。利用前面已經詳細說明過的傳導的定律（一一六等節），不久就得到了很多種的物質，其中第一種能夠照着下面所說的方法發生分解的，要算低級氯化錫（*protochloride of tin*）。取一段鉑線，令其一端捲成一個小球形狀，將其重要精確量度出來，然後封在一個瓶用玻璃的管內，使不透氣。並令小球要在管內的底部，如第二十八圖所示。其次將此管用一條鉑線懸住，俾由酒精燈而來的熱，能夠加於其上，將新近熔化了的低級氯化錫，導入管內，分量要多，約要占半管之多。然後將管中的導線連結到電量計上（四四六），電量計本身也是和電池的陰極連結着的。另用一條鉑線，一端和電池的陽極相連，他端插入管內熔化了的氯化物內。鉑線要相當的彎曲，縱令手或器械受了震動，也決不至於會和管底的陰極相接觸。全體的器具，可裝置如第二十九圖。



圖八十二第

五二五 在這些情形下，氯化錫是可以發生分解的，氯氣發生在陽極，成爲重氯化錫（*bi*

chloride of tin)(五十四)如烟一般的飛散而去。錫發生於陰極，和鉑化合起來，造成一種合金，在此管中所受的溫度下，發生熔解，所以並沒有金屬，從這個分解的氯化物中通過。再將這個實驗延長下去，到得電量計中的氣體，已積到相當的程度，然後撤去電池的連絡，將陽極取出，令管連同着殘餘的氯化物，一起受冷卻作用。當其冷後，將管打碎，其中殘餘的氯化物和玻璃，很容易和鉑線以及其上凝結成功的合金小球，分離開來。將分離出來的鉑線及合金洗淨，量定重量，增加的分量，就是還原的錫的重。

五二六、我現在將其中一個實驗的詳細項目舉出來，用以表示在此處或他處使用的方法，其結果我還要常常引用。在這一實驗中，陰極的最初的重量是二十格令，到得實驗末了，連同合金小球，共重二三·二格令。故在陰極上，因受電流作用而生的錫，重三·二格令。在電量計中收集的氧氣

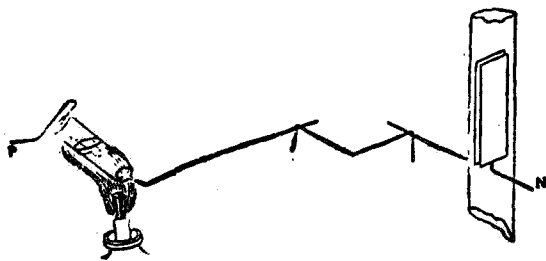


圖 九 十 二 第

和氧氣的容量，爲三·八五立方英寸。按照着能夠化合成水的比例，配合起來的氧氣和氫氣的化合物，每一〇〇立方英寸，可以看成重一二·九二格令，所以此處得到的三·八五立方英寸的混合氣體，應重〇·四九七四二格令。用同一的電流對於水可以分解如是多的分量，對於低級氧化錫，則只能分析出三·二格令的金屬出來。因〇·四九七四二對於三·二之比，等於水的當量的九倍對於五七·九之比，所以假使實驗中沒有誤差，而電化分解在這一個例中，也是一定不易的。那麼，這個五七·九的數字，就是錫的當量。別一方面的結果，錫的當量有些是五八，有些又是五七·九。這兩者都合現在實驗所得的結果，極其相近。實驗的本身，也並沒有含着少許可以發生變化的原因在內，（例如電量中的氣體，因受吸收而生的影響（四五一等））。由此可知，對於這個例或其他類似的電化分解，可以適用一定作用的定律（Law of definite action），已是無可容疑的了。

五二七、由實驗得到的結果，數字上能夠和上面所述的完全相符，到也並不甚多。我曾經用低級氧化錫來作了四次的實驗，在電量計中發生的氣體的量，從二·〇五立方英寸到一〇·二

九立方英寸。這四次實驗的結果平均起來，求得錫的電化當量爲五八·五三。

五二八、在實驗完了後，殘餘下來的氯化物，是純粹的低級氯化錫。至於在陽極上發生的氯氣，成爲副結果的重氯化錫，化烟而散，其氯氣的分量，就是他的當量，對於這一層，誰也不會懷疑的。

五二九、再照着同樣的方法，用氯化鉛來實驗。此時不同的，只有陽極的本性。因爲在陽極上出現的氯氣，不能成功過氯化鉛，而直接去和鉑化合，於是遂成爲氯化鉑而溶解於氯化鉛中。結局有一部分的鉑可以到達陰極，所以會發生錯誤的結果。因此只好避去鉑不用，另外去搜尋別的物质，後來得到石墨（plumbago），可以拿來當作陽極使用，就在氯化物碘化物等類裏面，也是很安全的氯化物和碘化物，對於石墨，不會作用，反轉可以成爲游離的狀態，在他表面上現出。在這情形下，石墨插在熔化了的氯化物或碘化物的當中，也不會發生作用。雖然受了發生出來的氣體熱的作用或力學的作用，不免有少許的石墨粒子，分離開來，但却對於氯化物，不生妨害。

五三〇、實驗了三次，將結果平均起來，求得鉛的當量爲一〇〇·八五，其化學當量則爲一

〇三·五。我的這個實驗的結果，其所以還有少許的差，我以爲是由於電量計中的氣體，有一部分

溶解的緣故（四五—）。總之，受了一定的電量作用後，無論是鉛或是氮氣，都是有一定的量發生出來，是無可容疑的了（五四九等）。

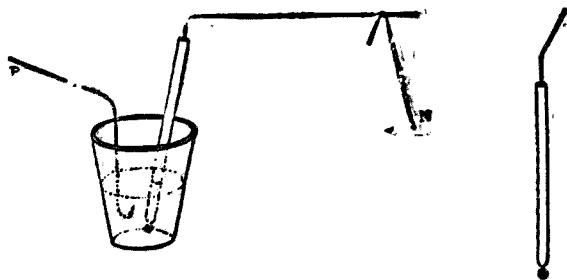
### 五三一、氮化銻。

因為要想從氮化物去求銻的電化當量，於是遂發覺在這個研究的開始處，關於這種物質與水共同存在着的時候，發表過的陳述（四二五，四二八等）實有其理由存在。

五三二、我將硝石放在鉑製的坩鍋裏，由熔解和燃燒得到了氧化鉛，將這樣得來的氧化鉛，加以實驗，因為要很高的溫度，方能成為完全的熔解，又因為這種物質的流動性質很強，所以覺得異常的困難。改用青玻璃來實驗，仍舊失敗。最後拿這個氧化物放在一個小的瓷坩鍋裏，放在炭火裏去加熱，在陰極放出來的鉛，應該在表面的下面，所以用一個青玻璃的管，去將陰極護住。這個青玻璃管是熔着於陰極的周圍，只將鉑的下端小球露在外面，如第三十圖所示。這樣一來，就可以插入表面以下，並且在此處還元的鉛，也就不會和空氣或氧氣等接觸了。用氧線作陽極，這種金屬決不會受到在他上面發生出來的氧氣的作用。全體的器械，如第三十一圖所示。

五三三、在這種實驗中的一個得出來的鉛的當量爲九三·一七，過於太小。其原因我相信是在氧化鉛內的陰陽兩極之間，有了少許的間隔的緣故。所以在陽極造成的氣泡中，有些和在陰極還元的鉛接觸後，又再使其氧化。我於是就多用些密陀僧去補救，可是因爲要使全體保持液體狀態，需要很大的熱量，而其中的一大部分的热量，對於坩鍋，引起了很迅速的作用，不久就將坩鍋燒穿，實驗又完全失敗。

五三四、在這種實驗中有一次，我使用硼酸鉛（一四四，四〇八）受了電流作用後，在陽極上發生鉛，在陰極上發生氧氣。因爲在實驗的期間中，硼酸既不會直接發生分解（一四四）也不會因爲別的原因，偶然有分解出現，所以我期待有由氧化鉛而來的結果，可以得到。硼酸鹽並不如氧化物那樣的激烈，可是要使其成爲完全的液態，所



要的温度更高。假使不十分熱，那麼氧的氣泡，就附着在陽極上面，令電的交通受其妨礙。這樣得出來的鉛的當量，等於一〇一·二九，結果和一〇三·五極相似，可以表示電流的作用是一定不易的。

五三五、銻的氧化物——我發見這種物質需要很高的溫度，是一種作用很強烈的熔質，不能容許我們拿他來作任何的實驗，除非是要用更長久的時間和注意，可惜我現在還辦不到。

五三六、通常的低級的氧化銻，是由一成的銻和一成半的氧氣而成的，拿來放在青玻璃管（五二四）內，受電流的作用，周圍用鉛箔套圍繞着，在木炭的火中去燒。最初分解開始得很順利，也還能夠繼續。據普遍定律（四一四，四三二），可知這種物質所含有的成分的比例，是可以受電流作用的。這個效應，或許出於其中有由簡單比例配合而成的真正的低級氧化物在內，亦未可知。至於我們如此設想的理由，前面已會說過（四三一，四二八）。但是這個分解的作用，不久就漸次減小下去，最後完全停止。這是因為在陽極上，有這種金屬的高級氧化物化成的緣故。這種化合物，或許是過氧化物，在其低級的氧化物內，既不溶化，也不溶解，造成了一塊結晶性的物質，圍繞

於陽極的周圍。因此使陽極絕緣，妨礙電流的交通。假使其能熔化，並且還不會與低級氧化物混合，縱令如此，也未必一定就能夠分解。因為他的成分，已經和分解所要求的成分比例不同了（四三二）。這種物質，自然是一種在陽極上結成的副結果（五一四）。將管打開來，就看見在陰極上有少許的銻，可是其量過於微小，不能由他得到任何定量上的結論（註二）。

五三七、碘化鉛——這種物質可以裝在玻璃管內試驗，用酒精燈加熱（五二四）。可是我並未曾得到圓滿的結果。不拘使用鉛，或使用石墨作陽極，都是一樣。其中有兩次的結果，鉛的當量得出為七五·四六及七三·四五，都和一〇三·五不符。其原因，我認為是在陽極上有過碘化物造成。在大量的液體的碘裏面，發生溶解，和在陰極上發生的鉛接觸，使其一部分溶解，結果其自身又復變成了低級的碘化物。這樣的過碘化物的確是有的。有這種過碘化物存在的時候，由沈澱而生的碘化鉛，洗淨後當其熔化的時候，若不發生大量的碘，實在是很少有的事。從這種物質的熱的水溶液裏面，也沒有結晶可以游離出來。就是將少量的低級碘化物和碘，放在搗鉢裏面，揉混在一起，也有一部分過碘化物發生。縱令將他熔化，並且加熱使其成爲暗紅色，歷數分鐘之久，俾其全體



都變成了低級碘化物，却也不能妨礙那在陽極上造成成功的，受電流作用，被其帶至陰極上去，和陰極相接觸。

五三八、上面所說的意見，可以再用第三的一個實驗來幫助他，使其成爲更有力的。在這個實驗中，兩個電極間的距離，增加到三分之一英寸。此時妨礙的影響，大爲減小，結局得到的鉛的當量是八九·〇四，用下面詳述的遷移 (transfer) (五五三) 來說明，就可以得到這個結果的確定。

所以用碘化物來作實驗，對於我們所說的那個普遍定律，也不成爲例外，並且若果從普遍的方面着想，反而是包含在內的。

五三九、低級碘化錫——這種物質熔化以後 (一三八) 既能導電，也能分解，受電流作用後，在陽極上發生錫在陰極上由副作用的結果，發生過碘化錫 (五一四·五二五)。因爲熔化所要的溫度太高，所以不能夠將發生出來的物質，加以精細的量度。

五四〇、碘化鉀 (iodide of potassium) 也可以裝在管內實驗，其法如第二十八圖所示

(五二四)其陰極上成爲一個球形的鉛，我希望照着這個方法，能夠將鉀保留得住，並且所得的鉛果可以量度，可以和電量計指示的度數相比較。但最感困難的，就是需要的溫度太高，還有對於玻璃的作用，因爲有鉛的存在而引起的鉑的熔解，以及其他種種的原因，所以我不能得到希望的結果。不過碘化物的分解却很明瞭，在陽極上發生碘，在陰極上發生鉀，其情形也和前一例相同。

五四一、在有幾個實驗中，曾將若干種物質，順次連結着，使其受到同一的電流，同時各各發生分解。由此可知低級氯化錫，氯化鉛，以及水，都是立刻就發生作用的。並且生成的物質，如錫，鉛，氧氣，氧氣，以及氫氣等，都可以由比較上去量度，結果分量是一定不易的，由各自的電化當量而定。

五四二、現在我們再轉向另一方面，去證明電流有一定的化學作用對於在電解進行的期間中，在其兩極上發生的物質的分量。假使還有其他的原因，足以發生影響，那麼，使用各種不同的物質來作電極這些物質對於發生的物質，有相差甚遠的化學親和力，這些影響，也應該同樣的存在。鉑在稀硫酸裏面和應該在陽極上分離出來的氧氣，不會化合，就是新生期的氧氣，也沒有作用。在他一方面，銅却不然，只要電流使氧氣和氫氣分開，立刻就會和氧氣化合起來，鉍則不但能夠和

氧氣化合，並且不必要有電流的幫助，也能夠直接從水裏面將氧氣提出來，同時有巨量的氫氣發生。雖然這樣，假若使用同一分量的稀硫酸，其比重爲一·三三六，用這三種物質來作電極，就有同一分量的水，受到作用，發生分解，在三個溶液中的陰極上，發生的氫氣分量，也是完全相等的。

五四三、實驗的方法如下。將稀硫酸的一部分，各各放在三個盆內。使用第二十圖及第二十二圖的電量計管，內盛同樣的酸，每一個管倒放在一個盆內（四四二）。將一個和電池的陽極連結着的鋅板，浸入第一盆內，造成陽極。在這裏有巨量的氫氣發生，這是出於鋅的直接作用，這些氫氣讓他脫去。其次將一塊銅板浸在第二盆內所盛的酸中，並且和第一盆中的陰電極相連結。最後將一塊鉑板浸在第三盆內所盛的酸內，和第三盆中的陰電極相連結。第三盆內的陰電極則和一個電量計連結起來（四四六），再和電池的陰極相連。

五四四、電路的連結一完，各盆內的電化作用，立即隨着開始。第一盆內由鋅的陽極發生的氫氣，看去好像並不減少。在第二個盆內銅陽極上，却沒有氧氣發生，在這裏有硫酸銅現出。而在第三盆內，由鉑陽極發生的却是純粹的氧氣，對於其本身，並不發生變化。在三個盆內的鉑陰極上，發

生出來的氫氣，都是同一的分量，和在電量計中發生的氫氣的分量相等。由此可知，電流在各器內引起分解作用的水的分量，彼此都是相等的。所以在這一種試驗中，證明了電化作用完全是一定不易的。

五四五、同樣的實驗，又可以拿鹽酸來試，使用的鹽酸中，加上同容積的水，使其變為稀薄。使用的三種陽電極，則為鋅，銀，鉑。其中的第一種，不必要電流的幫助，也可以使氫氣分離，而和他化合。第二種則須等到經電流作用使氫氣游離出來以後，方能與他化合。三器中使用的陰電極，也和前一節一樣，都用鉑板固定於玻璃管內部。這個實驗的結果，也和前一實驗相同。各器中在陰極出現的氫氣的分量，都是一樣的，和在電量計中分離出來的氫氣的分量相等。在這種實驗中直接發生電解的是鹽酸，其理由已見前（四九九）。這個實驗的結果，更證明分解的分量完全一定不易，和通過的電量成比例。

五四六、在這個實驗中，第二盆內造成的氯化銀，有使電流受阻礙的作用。這是由於前面所述的導電的定律而來的（一三〇）。所以當實驗進行的期間內，要將此項氯化銀取去，前後共須

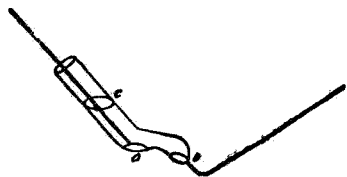
取去四遍之多。儘管如此，此器中所得的結果，和其他各器中所得的之間，並沒有什麼差別。

五四七、對於硫酸和鹽酸，都可以換用木炭來作電極（五四三、五四五），但所得的結果，仍然沒有不同。在硫酸鈉或食鹽的溶液中的鋅陽極，還是同樣的發生一定不易的結果。

五四八、同樣的實驗，其次再對於狀態完全不同的物質，加以檢查，例如熔化了的氯化物碘化物等。我曾經說過一個實驗，使用熔化了的氯化銀，用金屬的銀來作電極。其陰極的一方，因為新加了這種的金屬，所以加大或加長了一些。而作成陽極使用的一方，則由此項提出的結果，被其蝕去一部分。這個實驗再復行一遍，用量度過重量的兩條銀線，作為電極，電路中插入一個電量計。注意提起其陰極。提起的時候，又要很有規則，又要很穩定，以防還元出來銀的結晶，在熔化了的氯化物的表面下，不致完成金屬的交通。實驗完了以後，將陽電極再量度一次，確定出他損失了的重量。在陰極上次第分離出來的銀和氯化銀的混合物，也同樣的度量過，這種游離出來的銀，溶解在氫的溶液內，將氯化物逐去，所以結局仍舊還是只有金屬的銀餘下。結果在陰極還元出來的量，精確等於在陽極上溶解的分量。並且各部分都很和電量計中分解的水極其相當。

五四九、在實驗時的溫度，銀不能熔化，他的結晶又長又多分枝，所以使上面所述的實驗，難於執行，並且得出來的結果，也不準確。於是我就使用氯化鉛來作實驗，用的是綠玻璃管，形狀如第三十二圖。將一條量度過重量的鉛線，熔在一個玻璃的小管底，如前所述（五二四）。其次將玻璃曲作一個角度，彎屈處離封閉的一端，約有半英寸的距離。再將彎曲處和極端之間的那一部分燒軟後，用力使其伸向上方，如圖中所示的形狀，俾其造成一個橋形，即是分開成爲兩部。在管內有兩處很低，如a和b成爲兩個小小的盆地。用鉛線將這樣的管懸掛起來，如前所述，以便由酒精燈加熱於其上。放在這樣的傾斜位置上，好使氯化鉛熔化的期間中，所有的空氣，都能自由的逸出去。其次再預備一個陽極，使用鉛線，將其端扳曲成爲一個小球形狀，其上着熔金屬的鉛，重約二十格令，放在一個密閉着的小玻璃管內，後來再行打破。這樣預備好了以後，將鉛線連帶着鉛一同加以量度，將量度得的重量記下。

五五〇、其次將氯化鉛導入管內，注意使其熔化。鉛的電極，也納入其



圖二十三第

內。其端附着的鉛，不久就熔化了。這樣一來，管內就盛有氯化鉛一直到c的地位。要用來作陰極的電極的一端，在b盆地內，而熔有鉛的電極，則保持於a盆地內，用適當的導線連結到電池上去，就成爲陽極。電流中當然要插入一個電量計，自不待言。

五五一、當電路完成以後，電流立即通過，電解也就跟着開始。陽極上並沒有氯氣出現。因爲熔化了的氯化物是透明的物體，所以可以看見在b處有一小點的合金漸次出現，並且逐漸加大。同時在a處的鉛，也可以看見逐漸的減少下去。經過了相當的時刻以後，停止實驗。使管冷卻，然後打破。將鉑線和合金的小點洗淨，量度重量，將所得的重量上的變化，和電量計中的指示量，互相比較。

五五二、在這個實驗裏，陽極上失去的鉛的分量，和陰極上增加的鉛的分量，恰好相等（五三〇），並且得失的分量，和在電量計中受了分解的水的當量，相爲相近。由此得出鉛的當量爲一〇一·五。由此可知對於在陽極上出現的物質，當實驗進行的期間中，不問他的親和力強到如何的程度，或完全沒有親和力（五四二），結果對於電流有一定不易的化學作用，還是沒有變化。

五五三、同樣的實驗，再改用碘化鉛來作一遍。照着這個方法，可以將由過碘化物的造成而引起的一切紛糾避去（五三八）。在全部的作用期間中，沒有碘出現，最後在陽極上損失的鉛，和在陰極上增加的鉛，分量相同，拿去和電量計中的結果比較，求得鉛的當量為一〇三·五。

五五四、其次再用低級氯化鉛來作同樣的實驗，當然此時使用的陽極為錫。完全沒有重氣化錫出現（五一四、五二五）。取兩個電極加以檢查，陽極上損失的，恰和陰極上所得的相同。和電量計中指示的結果比較，即求得錫的當量為五九。

五五五、在這個實驗中以及在與此類似的其他的實驗中，在鉛導線的末端出現的合金小球，其內容如何，很有檢查的必要。這種小球，尤其是當作陽極使用後成功的小球，常常是多孔的，其中含有使用中的氯化物或碘化物的一部分，在最後量度重量之前，必須取去。用鉛的時候比較使用錫的時候，像這樣的情形，還要多些。

五五六、這許多的事實集合起來，成爲一個不能反對的鐵證，證明我在前而提出來的那個學說，又確實，又重要，即是說一個電流的化學本領，和通過的絕對電量成比例（一一三，五一八）。



不僅對於水可以適用，就對於一切凡可以發生電解的物質，都同樣的可以適用，也可以由這些事實，爲之證明。不特如此，不僅由一種物質得到的結果，在任何情形下都能夠互相一致。並且就是由其他物質得出來的結果，也能夠互相一致。所以綜合起來，成爲一個一定不易的電化作用的系統。（二四一）。我並不是說完全不會有例外出現。有些例外出現，自屬當然的事，尤其是那些只能由很微弱的親和力作用始能存在的物質，就不能免。儘管有這些例外，我却認爲決不至於對於上述的學說，有何重大的妨害。在這個詳細研究過，詳細檢查過，並且還可以說詳細證實過的學說，即是尋常的化學親和力有一定不易的本性的學說裏面，假如有這樣的例外發生，事實上這種例外却也不少，但也不會使我們對於這個普遍的結論，有所懷疑，應該將他們認爲對於電化作用的新觀念的一種啓示。從事於將這個原則改良成爲更形完整的人，切不可將這些例外，看成是一種障礙，應該暫且將他們放在一邊，慢慢的等候着，較此更完全更能普遍一致的解釋，最後總可以希望達到的。

五五七、剛纔說的那個一定不易的電化作用的學說，我相信是已建立定了，由此可以得到

新的見解，將受到此項作用或和這個作用關聯着的一切物質的關係以及分類，從新決定出來。其中有些我就在下面次第的舉出。

五五八、 第一步，是一切化合物，可以大別爲二，一種是能夠受電流作用而起分解的，他一種則否。這不能分解的物質中，有些是電的導體，有些又是非導體（註三）。能夠分解的物質，其分解的程度，並不僅由成分物質的本性而定。儘管是由同樣的兩種元素化合而成，其中的一種屬於一類，其他的又屬於另一類。所以分解的性質，或許和其成分元素的比例，也有關係（四三二）。還有一件很顯著的事項，就是除却少數的例外（一五〇、四二六）姑暫不論而外，這些分解性的物質，完全要受我在前面說過的那個很顯著的傳導定律所支配（一三〇）。那個定律尙沒有擴充到許多化合的熔化物質上面，這些都是要除外的。我提議稱這一類可以分解的物質爲「電解質」(electrolytes) (四〇〇)。

五五九、 其次他們受了電流作用後，分解而成的物質，成爲非常重要的一大類。他們是化合物，他們是和化學親和力論中的基礎的部分有直接的關係，他們有一定不易的比例，在電化作用

進行的期間中，總是按着這個比例分解而出，我曾經提議將這些物質，通稱爲「游子」(ion)，其在陽極上出現的，特稱爲「陽向游子」(anion)，在陰極上出現的，稱爲「陰向游子」(cation) (四〇一)。表示他們分解時的一定的比例的數字，稱爲「電化當量」(electro-chemical equivalent)。這樣一來如氫氣，氧氣，氮氣，碘，鉛，錫等類通是游子。最前的三種是陽向游子，最後的兩種金屬是陰向游子。他們的電化當量約爲一，八，三六，一二五，一〇四，五八等。

五六〇、關於上面所說的電解質，游子，以及電化當量，有幾點業經證實過的，可以總括起來，成爲下面所說的普遍式的命題，我希望其中不至包含着重大的誤差。

五六一、I 一個單獨存在的游子，即是沒有別的可以和他化合的游子存在時，對於任何一方的電極，都沒有接近而去的傾向，所以對於通過的電流，完全不生關係，除非是這個游子的本身，是由於更簡單的游子集合而成，那就要受實際的分解作用了。對於電化分解的新理論，成爲有利的證據的許多事實，都以此爲其根據。其詳細的情形，我在本研究的開始處，已經說過了（二五四等節）。

五六二、II 假使一個游子和其他正相反的游子，以正當的比例（四三二）化合起來，即是說一個陽向游子，和一個陰向游子，互相化合起來的時候，那就雙方都在分解中的物質裏面移動起來，其一向着陽極而去，另一個則向着陰極而去（二六六，二七八，二八三）。

五六三、III 假使有一個游子移動到了一方的電極上去，那麼，其反對的游子，必於同時到達他一電極，縱令有時不會出現，那也是因為成了副結果的關係（四七八）。

五六四、IV 凡能受到電流作用即發生直接分解的物質，即是一種電解質，一定是由兩個游子集合而成的，在電解作用進行的期間中，一定繼續不已的將這兩種游子放出外面來。

五六五、V 只有一種電解質，是由完全同類的兩個簡單游子合成的。這個事實看去至少是由於一個定律而來（四三二），即是說只有簡單游子的單獨的電化當量，能夠移至電極上去，其倍數則不能。

五六六、VI 一種物質，要是單獨存在的時候，不發生分解，例如硼酸，那就在化合物內，受到了電流的作用，也不會有直接的電解發生（五一五）。這樣的物質，可以成爲一種游子，整個的移至

陽極或陰極，但却不能分析出他的成分元素。除非有時起了副作用。這一層和水是沒有關係的。自不庸說。因為水中若有其他的物質存在，可以變成良導體，所以更容易的發生分解，其情形當然和此命題不同。

五六七、Ⅷ製造電極的物質的本性，也沒有關係，只要是一個導體就可以，對於電化分解的種類和進行程度，都不發生影響（五四二，五四八）。但由副作用（四七九）對於游子最後出現的狀態，却有很重大的影響。這個原則大可利用來使這樣的游子互相化合，或將他收集起來，因為假使他們是在自由狀態下發生的，那就不容易處分了（註三）。

五六八、Ⅷ製造電極的物質要是能夠和在他上面發生的游子化合，這種物質我相信也是一種游子，並且在這種情形下，其化合的量，可以用他的電化當量來表。我的一切實驗都和這個原則相符。由我看去，應該是一種必然的結果。游子作用後其發生的副作用，假如不是由於製造電極的物質，而由於在電極周圍液體中的物質（四七九），是否有同樣的結果，還要有範圍更廣的研究，始能決定。

五六九、 $\Gamma$ 複合的游子並不一定是由簡單游子依着電化當量的比例合成的。例如硫酸、硼酸、磷酸等均爲游子，但却不是電解質，所以他們並不是由簡單游子以電化當量比例合成的。

五七〇、 $\Sigma$ 電化當量的數值是永久一致的。即是說有一種物質A，當其由第二種物質B分離出來的時候，其電化當量爲若干，那就是由第三種物質C內將A分離出來的時候，電化當量的數值，還是同一的。例如八是氧氣的電化當量，不拘他是由氫氣，或是由錫，或由鉛分析出來，總是一樣。又如一〇三·五是鉛的電化當量，不問其由於氧氣，或由於氯氣，或由於碘中分離而得。

五七一、 $\Sigma$ 電化當量恆和尋常的化學當量相一致，並且是同一的數值。

五七二、根據實驗和上述的各項命題，可以由種種不同的方法，去研究游子和他的電化當量。

五七三、第一步，可以直接去將他們量度出來，其方法就和前面已經說過的那些實驗一樣，由此可以求到氫氣，氧氣，鉛，等類物質的數值。

五七四、第二步根據命題II和命題III可以由演繹上推出其他許多的游子及其電化當量。

當氯化鉛分解的時候，兩電極用的是鉑（一三一），氯氣移到陽極上去的事實，已無可容疑。只不過此時發生的氯氣，和鉑發生了作用罷了。要是使用石墨代替鉑，就沒有此項化合作用發生（五二九），於是氯氣遂得自由的出現。在這兩種實驗中，出現於陰極的鉛，每一〇三·五，則在陽極上就必有三六的氯氣相伴出現，殘餘的氯化鉛，始終不變，這也是無可容疑的事實。同樣，假使在金屬的溶液中，有一容積的氧氣，或含有這種比例成分的副結果，在陽極上現出，那麼，誰也毫不躊躇的就可以斷定在陰極上，有兩容積的氫氣發生，縱令此項氫氣，因受副作用，使氧化鉛，氧化銅或氧化其他的金屬等還元，成爲金屬的狀態，未曾實際現出，也是一樣。準此，由前述的各種實驗遂斷定氯氣，碘，氟，鈣，鉀，鋁，錳，鎂，等都是游子，他們的電化當量，也就和他們尋常的化學當量相同。

五七五、利用命題Ⅳ及命題Ⅴ，可以將我們的方法大爲推廣。假如有一種物質，他的化學成分知道的，要是發見他可以分解，在電極上出現的物質，不管他是原結果或副結果（四七八，五一二），只要能夠將他的本性確定，就可以從這個分解出來的物質所應有的一定的比例，將這個物質的電化當量推出。例如用低級碘化錫分解的時候（五三九），就可以得到結論，知道錫和

碘雙方都是游子，而在這種熔化的化合物中，這兩種游子配合的比例，就表示他們的電化當量。其次再說熔化了的碘化鉀（五四〇），那就是一種電解質，其化學當量也就是他的電化當量。

五七六、若果命題Ⅷ能夠和許多的實驗研究相符，那不特由其他的命題推出來的結果，可以用這個命題來幫着證實，並且由他的本身，還可以得到許多的指示。

五七七、在許多的實例內，因為分離出來的游子，對於周圍的液體或溶液中存在着的其他的物質，發生了化合作用，因而得出一種副結果。利用此項副結果，也可以求得電化當量。例如在醋酸鉛的溶液內，以及在其他受陰極上發生的新生氫的還元作用的低級鹽類的溶液內，沈積出來的金屬分量，就和由原作用而分出來的分量一樣（只要是沒有自由的氫氣，由此逸去），所以能夠很正確的將電化當量的數字表出。

五七八、根據這個原則，到是這種副結果，往往可以用來作電流的量度（四四一，四七五）。可是事實上，能夠滿足這個要求的金屬溶液，到也沒有許多。因為假使金屬要不是很容易的沈積出來，那就有氫氣在陰極上現出，使結果不能正確。若是在陽極上造成了可以溶解的過氧化物，或



者沈積出來的金屬的結晶，渡過了溶液，和陽電極接觸起來，結果也是同樣的靠不住。我盼望能夠尋到一些鹽類，譬如醋酸汞或醋酸鋅等，其溶液對於這個目的很為適宜。

五七九、在由實驗研究，去將電有一定不易的化學作用的定律建立以後，我就毫不躊躇，利用化學分析的更精確的結果，去改正由電解結果而得到的數字。在多數的例中，不必十分藉用嚴格的科學研究，也很容易的就辦得到。得出來的一組電化當量的數值，也和尋常的化學當量的數值一樣，還要留待以後繼續的實驗研究和健全的理论，逐漸加以改正。

五八〇、下面所舉的簡單的表，表出許多游子和他們的電化當量，目的只在作成一種樣本，並不能就滿足我們的需要。我們所需要的是要這一類物質的全部的而且極完全的一個表。這樣的表，假如造得很完美，對於通常的化學親和力與電的作用之間存在着的密切關係，加以發展，證明他們是二而一的，不單是在想像上如此，就在我們的知覺上和正當的判斷上，都是如此，那就很要用得着這種表了。因此我很希望繼續努力下去，將這個表改良成爲一個真實的電化當量表，不體是一個假想的表。要不如此，我們就會超越了事實，把橫在我們面前的眼界以及知識，都失掉了。

五八一、這個當量表，不敢說是很正確的，其中大多數還是由其他的學者所得到的結果，完全引用的，我對於這些學者比對於我自己還要信任得多。

五八二、游子表

陽向游子

氧	八	硒酸	六四	酒石酸	六六
---	---	----	----	-----	----

氮	三五·五	硝酸	五四	檸檬酸	五八
---	------	----	----	-----	----

碘	一二六	鹽酸	七五·五	碲酸	三六
---	-----	----	------	----	----

溴	七八·三	磷酸	三五·七	硫(?)	一六
---	------	----	------	------	----

銀	一八·七	炭酸	二二	硒(?)	
---	------	----	----	------	--

氫	二八	硼酸	二四	硫氫	
---	----	----	----	----	--

硫酸	四〇	醋酸	五一		
----	----	----	----	--	--

陰向游子

鉛	錫	鋅	錳	鎂	鈣	鋁	銀	鋰	鈉	鉀	氫
一〇三·五	五七·九	三二·五	二七·七	一二·七	二〇·五	四三·八	六八·七	一〇	二三·三	三九·二	一
氮	金	鉑	銀	汞	錫	銻	鎳	鈷	鈾	鐳	鐳
一七	—	?	九八·六(?)	一〇八	二〇〇	七一	六四·六(?)	二九·五	二九·五	四六	五五·八
一般的植物性鹼	嗎啡 二九〇	金雞納皮一六〇	金雞納 一七一·六	一般的低級氧化物	鋁 ?	苦土 二〇·七	石灰 二八·五	氧化錳 五一·八	重土 七六·七	氧化鋯 一八	曹達 三一·三

鐵

二八

苛性鉀

四七·二

銅

三一·六

五八三、這個表也可以另外排過，依照着物質的性質，是否可以互相作用，互相置換，分作部類。例如酸和鹽基，相互間可以作用，但雙方對於氧氣、氫氣以及其他的簡單元素，却不作用。若是將物質微粒的電的關係，加以詳細的檢查，這種的分類法是應當有的。其中簡單的物質如氫、硫、氫，還有一兩種的化合物，或許要歸入第一類。酸類和鹽基以及其他類似的物質，可以證明其能成爲游子的，應屬於第二類，是否這兩類就能夠將一切的游子都包括入內，抑或還有第三類的必要，還得要等候將來的實驗，方能決定。

五八四、我們現在所有的一切簡單的物質，大致都是游子，但却還沒有完全決定。有一些物質如像碳、磷、氮、矽、硼、鎂等，是否能夠稱爲游子，很希望能夠趕快的決定。還有許多化合物，其中如礬土、砂土等，可以用沒有例外的實驗，立即歸入類中，也是很希望的。或許一切凡可以化合的物質，不問其爲化合物；爲簡單的物質，都可以列入游子裏面。不過在現在，似還不能夠這樣。我現在所有的

實驗證據，爲數不多，而關於這一點的事實，大有愈集愈多的景象，所以我實在不能夠有何堅持的意見。

五八五、我也決不認爲一定不易的電化作用說，比什麼都還重要。在這個學說裏面，討論通常的化學親和力不過是物質粒子間的電力的觀念，比較以前的各種學說，都要直接些。或許由此我們可以由他將現在還未明白的地方研究出來，將這個觀念的真實性，加一層的表现於外，否則也可由他發展開去，成爲可以代替的新觀念。

五八六、電化當量的一個很有價值的應用，就是去決定一種物質真正的化學當量，他的定比，以及其原子量。因爲我確信左右電化分解的本領，和尋常化學的引力是同一的。因爲前者所受的定律，有那樣的普遍性，所以也就毫不躊躇的，認爲後者也得服從這些定律。事實上也的確如此。假定氫氣爲一，將其餘的小數略去，以圖簡便，則氧氣的當量，即其原子量應爲八，氯氣爲三六，溴爲七八·四，鉛爲一〇三·六，錫爲五九等，雖然有很靠得住的人，將其中的幾個增加了一倍，但大致是如此的。

註一 這一節所述的應該用第四三一節所附的註糾正。——一八三八年十二月

註二 我此處所說的電流的電，意思只在指來源異常豐富而強度又不甚大的電而言。

註三 往往因為用作電極的物質的本性不同，放在溶液中去，會發生一種電流，和使用的電池中發出來的電流的方向，無論相同或相反，都可以使結果受其影響。在這許多的混雜情形中，實際從正在受分解的物質內流過的電流，還是發生其一定不易的效應。

### 第七節 和物質粒子或原子結合着的絕對電量

五八七、在我看去，電化作用一定的學說，可以將各種不同物質所具有的絕對電量或電本領，簡單明白的敘述出來。對於這個問題，要不超出現在事實所能幫助的範圍以外，是不能夠去討論的。但同時要不將他解釋明白，也是同樣的不可能，而且也是一種失策。原子究竟是怎樣的一個東西，我們雖然不知道，但我們却不能禁止在心裏面造成一種觀念，認他是一個很小的物質粒子。對於電亦復如此，我們的知識雖然不至於比關於原子的知識更少，但也相差不多。究竟電是否一

種特殊的物質粒子，或僅是尋常物質的運動。或是其他的某種本領，雖然還不能決定。但却有無窮的事實，使我們不能不相信物質的原子。是和電本領是連帶着的。即是原子上本來就稟賦有此項本領，他們的使人驚異的性質中。大部分都由此項本領而來。其中尤其是相互間的化學親和力，最爲人所注目。據道爾頓的學說，不問物質發生作用時的環境如何變化，他們的化學本領，各種物質總是一定不易的，我們既然有見及此，那就得要去估計這樣的物質上所具有的此種力的相對的數值。從這個知識遂得到一種事實，知道了我們能夠使他暫時脫離物質粒子，但仍舊保留着化學本領，從一處傳送到他一處去的電，原來是可以加以測定的。又由量度的結果，知道他們在作用中是一定不易的。其一定不易的情況，就和那些還沒有和物質脫離部分，也就是使他們得到化學關係的那些部分，同樣的一定不易。由這個結果看來，我們好像得到了一種連鎖，將我們已經使他發生出來的那一部分，和在天然狀態中的粒子所有的那一部分，貫連起來了的一般。

五八八、 很小量的化合物，需要相當大量的電，方能分解，這確令人稱奇不置。試舉一個水的例來，將這一點還有其他的幾點說明。使用一·格令的水，加少許的酸，使其容易導電，使用的電流，要

能夠繼續至三分鐘又四分之三的長久，始能完成分解，並且通過的電流，要很強大，要能夠使  $\frac{1}{104}$  英寸厚的鉑線，在空氣中，保持其紅熱的狀況（註二）假如中途遇着木炭細粒等類的障礙，此項電流可以發生光彩奪目的定常的火光。假如能夠照着惠斯登（Wheatstone）的實驗（註二）的指示，對於電壓的瞬時放電加以注意，同時又注意到我在別處敘述通常電和電流的關係（一〇七，一一一），就知道此時所需要的電和一個強烈的閃電中的電相等。儘管如此，我們仍舊可以完全的支配他，能夠直接使他發生，能使任意的使用。可是這樣強大的電，拿來作成電解使用的時候，全部用盡，也僅足以使一格令的水的成分，互相分離罷了。

五八九、從他一方面而論，電的傳導和水的分解之間，關係異常密切。要想使兩者之中一方面單獨進行，是辦不到的。假如使水略微變更，其變更的程度，也只不過是狀態由液態而成爲固體，結果電的傳導立刻停止，同時分解也隨着停止。究竟導電的現象，能否看成由於分解現象而來（一四九，四三八），實在因爲這兩個現象，過於密切過於不可分離的關係，所以還不能斷定。

五九〇、沒有分解就沒有電的傳導，一定量的電可使一定量的水或其他的物質分解。從此



兩種密切而且成爲雙重的關係着想，再從電只不過是用來反抗物質所受的電本領着想。就知道通過的電量或許就是分離的粒子的當量，所以也就和粒子的當量相等。即是說按着正常的比例混合在一起的氫氣氧氣，其全體的分量可以造成功一格令的水，能夠將這個分量的水，牽制着使其不要分開，此時所需要的電量，假使能夠轉變成爲電流，其作用的結果，恰足以使一格令的水，復行分離成爲其成分的元素。

五九一、由這個見解，立即得到一個差不多可以壓倒一切的觀念。認爲電所有的非常的量或其程度，應當屬於物質的粒子。儘管如此，事實並沒有絲毫和這個觀念衝突，很可以舉出這種例來。爲表明這一點，我現在要說幾句關於電池的話。（註三）

五九二、因爲要想應用本研究和前一集研究的結果，去議論電池中的電的來源，所以我對於這個問題，不願意有什麼成見。我並不排斥金屬接觸，和非金屬而係導體的兩種不同的物質的接觸，好像將他們看成和電的來源沒有什麼關係。雖然如此，我却仍舊和德斐表示同意，認爲至少是由於化學的作用繼續下去的，而其供給的電流，差不多完全出於這一個來源。

五九三、凡是放在電池的金屬的中間，使其發生作用的物質，一切都是電解（二一二），凡從事於此項研究的人，誰也注意到，在這樣的物質裏，分解和電流的傳導，異常的密切，兩者只能同時發生，決不會只發生其中的一種。對於這個事實，我在水和其他許多的例裏面（一三八，二二二），曾經詳細的證明過。即是一個電池的兩端，假使用一種可以發生分解的物質，連絡起來，如像用水的時候，那就可以得到一個連續不斷的電流，從這個器械發生出來。當這個作用進行中的時候，我們可以將酸作用於極板的那一部分，和電流作用於水的那一部分，看成是互相交換的。在這兩部分中都可以看到上面所說的那兩種狀況，在這樣的物質內是不能分開的。即是電流的通過和分解。對於電池中的任何一個小電池固然如此，對於水電池，亦復如此。因為一直到現在，還沒有能夠製出一個電池，其中只限於有化合的作用。必定同時還包含有分解的作用在內，我相信這是很重要的化學的部分。

五九四、連結着的電池中的兩部分，即是分解或實驗電池和誘起作用的電池，兩者之間的差別如下。在前者之中，我們是使電流流過，但是出於自然的要求，有分解的作用相伴發生。在後者

我們是由尋常的化學作用（雖然此項作用的本身也是電），使分解發生，所以結局就得到了電流。在前者之中，依據電流而生的分解是一定不易的，所以在後者之中，和分解連帶着發生的電流，也是一定不變的（五九七等）。

五九五、現在將上述的見解應用去幫助前面綜括而成的意見，即是說每一個粒子或物質的原子，具有絕大的電本領（五九一）。我在這個研究的前面的一部分，由尋常電和電流電的強度，曾經指示過。使用兩條導線，一鉑一鋅。直徑各十八分之一英寸，相隔十六分之五英寸遠，放在酸的液面下八分之五英寸深，酸係由一滴硫酸和四盎斯的蒸餾水而成，溫度約為華氏六〇度，其他的兩極端，用十八英尺長的銅線連結起來，銅線的粗有十八分之一英寸，在三秒鐘內放出來的電就和用有很大而且很強的板的起電機，盡量的轉了三十遍，來使一個來丁瓶帶電時的電相等（一〇七）。這樣的電量，假使讓他由一匹老鼠或小猫的頭上通過，很足以使他受震而死，和受雷擊一樣。可是由那樣小的鋅的部分和與鋅接觸着的水間的相互作用，就能夠發生出來。發生之後，此兩者所受到的重量上的損失，無論我們用任何精密的器械，也不能將他量度出來。至於可以由

電流使其分解的水，分量上好像一點也沒有感受到變化，因為在這三秒鐘內，鉑的表面上並沒有見到氫氣出現的痕跡。

五七六、僅僅分解一格令的水，要如是巨大的電量。這樣多的電，我們在前面曾經說過，足以維持一條鉑線厚  $\frac{1}{104}$  英寸，在空氣中成爲紅熱的狀態而達於三分鐘又四分之三之久（五八八）。我方纔說過的那種標準電池（五九五，一〇七）發生出來的電，和這個巨大的電量比較起來，相差不知多少遠。我會努力去比較過這樣的導線，在這樣的酸裏面，於一定的時間內，究竟減輕了多少重量，爲此目的而使用的原理，就在下一條內詳細說出（五九七）。結果得出來的數字，實在過於太大，我真有點不敢說出來。即是使用上面所說的來丁瓶，必得要八十萬倍這樣的電量，方足以供給使一格令的水完全分解。假使我沒有錯，這個電量，就等於一格令的水的成分，由相互間的化學親和力自然得到的電量。

五九七、因爲要證明物質粒子有如是高程度的電，要證明附屬在物質上的電量和使他們分離所要的電量完全相同，我現在要詳述出一個極其簡單的實驗，可是從他發生的電流和分解

的本領間的關係看去，却又極端的美觀。

五九八、使用的稀硫酸，是一倍的硫酸中加入三十倍的水而成。對於在尋常簡單狀態的鋅板，發生很強的作用。但據斯忒準 (Sturgeon) 的指示，註四 假使這個金屬的表面，塗上了汞齊 (amalgam) 就完全沒有作用。可是這種塗上汞齊的鉛板，同着鉛板，要是用作一個靜電計的時候，仍能發生很強烈的作用，有氫氣從鉛板的表面發出，而鋅則成爲氧化物，溶解於溶液內。要是在鋅板的表面上，撒上幾滴汞，鋅板是用稀硫酸潤濕過的，然後用手去擦過，使液態的金屬，遍佈於全體的表面，這樣去塗汞齊，尤爲有效。過量的汞就在鋅板上結成液滴，必須要措去。註五

五九九、取這樣塗過汞齊的鋅板兩塊，令其乾燥後量度出重量，其中的一塊稱爲A，重一六三·一格令，第二塊稱爲B，重一四八·三格令，兩塊均約長五英寸，寬十分之四英寸。用一個土燒的槽，內盛稀硫酸令滿，稀硫酸的濃度，如上面所說的一樣（五九八），還用一個瓶，內面也盛滿同樣的酸，倒放於其內（註六）將一塊差不多一樣長的鉛板。其寬處則約爲鋅板的三倍，放在這個瓶內。鋅板A也放入這個瓶中，和鉛板相接觸，同時將鋅板B放進槽內，浸入稀硫酸中，但和其他的金

屬不相接觸。

六〇〇、當上面瓶中的鋅板和鉑相接觸的時候，立即就有很強烈的作用發生。氫氣從鉑板出現，集合在瓶內，但從鋅板無論那一塊，都沒有氫氣或其他的氣體發生。經過十分鐘或十二分鐘後，氫氣已集得很多，然後停止實驗。在其間看見有很小的幾個氣泡，出現於鋅板B的上面，但A的上面卻沒有。其次將鋅板取出，用蒸餾水洗淨，乾燥後，再量度其重量。結果鋅板B重一四八·三格令，完全和先前一樣，所以沒有直接受到酸的化學作用，未曾損失其重量。可是鋅板A的重，却只有一五四·六五格令了。即是在實驗進行的期間中，有八·四五格令的鋅，受到氧化，溶解在酸內去了。

六〇一、再將收集起來的氫氣，移入水槽內，加以量度。結果知其為一二·五立方英寸，溫度為五十二度，大氣壓力為二九·二英寸。對於溫度，壓力，以及濕度等項，各各加以更正，結果計算出在平均溫度壓力的時候，所得的乾燥的氫氣，共計一二·一五四五三立方英寸。其中加一半作為向陽極，即是向着鋅板而去的氫氣，共成一八·二二二立方英寸。是水受電流的分解後發生的氫

氣和氧氣的分量。參照前面（五二六）估計過的混合氣體的重量，現在所得的這個容積的混合氣體，應等於二·三五三五五四格令，這就是分解了的水的重量。這個重量對於受了氧化的鋅的重量即是對於八·四五的比，等於九對三二·三一·三一的比。試取九作成水的當量，那麼，三二·五的數字就是鋅的當量。從這樣符合的結果，可以知道有一個當量的鋅受了氧化，就一定有一個當量的水發生分解。

六〇二、其次再細察水是怎樣的分解。其受電解後，並不能分解成爲其化學的成分，如像通常物質的分解那樣。因爲在這個分解中的物質的陽極上現出來的氧氣，和在陰極上現出來的氫氣，在這個實驗的許多例內，都是僅僅昇上一英寸就散了。再則通常的化學親和力，在這種情況下，實在不足以使水發生分解，可以用鋅板B不生作用來作證明。電流的電於是成爲最緊要的了。恐怕有人要誤會以爲化學親和力，差不多恰足以使水分解，所以在這種情況下，只要有少量的電流，或者就可以使氫氣向着陰極而去，也未可知。爲要避免這種誤會，我只要引用上面所說的結果即得（五四二，五四八）即是在電極處的化學作用，對於水或正在分解中的任何物質的量，一點

關係也沒有。這種化學作用，完全由於通過的電量而定。

六〇三、那麼，這個實驗整個的結果，究竟如何？在這個簡單電池裏面，在三二·三一的部分的鋅，即是在一當量的鋅上作用的化學作用，何以能夠發出那許多的電來成功一個電流，從水流過，並能夠使水分解了九的部分，即是水的一當量呢。將本論文的前一部分決定出來的電的一定不易的關係，加以考慮，結果就可以證明天然和物質粒子結合在一起使他們得到化合本領的電量，要是放出來成爲電流，就能夠使這些粒子，從結合的狀態分開。換句話說，使一定量的物質分解所要的電和由其分解而發生的電是相同的。

六〇四、有一定量的電，就有一當量的作用發生，由這個理論，對於結合在一起的關於一定的比例和一定的電化親和力的理論，導出一個很大的調和。據此，則一種物質的當量的重量，不過是含有等量的電的質量。或是自然具有相等的電本領的重量罷了。這就是決定當量數值所要的電量，爲的是他能夠決定化合力。或者照着原子論的說法，凡尋常化學作用彼此相等的物質，就有相等的電量天然的和他們結合在一起。但我却要申明，我對於「原子」(atom)的這個名詞，却



是很加以審慎的。因為原子說固去然很容易，但若要想關於他的本性，得到一個很明確的觀念，却極爲困難。尤其是當我們考慮化合物的時候，更爲棘手。

六〇五、我於是不能不想到從前曾經一度發表過的一個觀念，好像是由柏濟力阿斯（四三八）在敘述他對於親和力的電化論的見解時，發表出來的。當化學作用強烈的時候，有熱及光現出，這是在此瞬時發生的放電的自然的結果。這個觀念和我現在的思想，認爲有一定的電和物質粒子結合在一起，很能夠符合。

六〇六、在這裏宣布的定律，卽是一定量的電的作用，必有一定量的物質粒子與之相應的定律，我並沒有將這一方面的一切化學作用或電化作用，令都包括進去。還有許多理論方面的事項，尤其是關於化合物以及他們應該具有的合成的電力我希望這些研究，能夠漸漸的得到發展。同時還有無數的實驗，例如用微弱親和力可以造成的化合物。水和鹽類同時發生的分解等。都還需要更進一步的研究。但研究的結果，將來無論如何，對於我此刻收集的這些事實，以及由他們歸納而得的結果，卽是那個普遍的定律，我相信是不會有重大的變化的。這一方面的研究，雖然還有

許多不完全，甚而至於還沒有人着手，可是他們也很重要，確有發表的價值。這實在是我們的科學，即是化學的美點。其進步的程度，雖或多或少。總之是前方進取的。不會使我們研究的題目完盡，而是開放一重重的門戶，使犧牲個人苦痛，去埋頭於實驗研究的人，可以得到無窮盡的新知識和很豐富的利用。

六〇七、用一定量的電和一定量的化學作用相伴而生的關係（六〇三），我想可以證明在一個電池裏面，維持電流的是電化分解，或許說是化學作用，更爲得當，而不僅是物質的接觸。在這裏我却要聲明也和在別的地方一樣（五九二），關於接觸的真正的的作用，我的意見暫時還要保留。因爲我現在還不能夠決定，究竟接觸是引起電流的原因，還是電流由別的原因發生出來，接觸只不過是使電能夠由一塊金屬板，傳達到另一塊金屬上去。

六〇八、假定承認化學作用是電的來源，我們從一個電池能夠得到能夠使用的電，比起他的全部來源來，少得真正可憐。用一條鋅線和一條鉑線，直徑約十八分之一英寸，長約半英寸，浸在稀硫酸中，稀的程度就放到舌頭上也不感覺酸，就用最靈敏的試紙，也檢查不出，然而二十分之一

分鐘內，由此發生的電（五九五），總比一個人在一瞬時內所能容許由其身體內通過的電，要多些。一格令的水對於四格令的鋅的化學作用，發生的電，和一個極強烈的雷電中的電量相等（六〇三，五九六）。並且這種電不但是具有活用的性質，實際上却也可以使用他來完成他的職務（六〇二等）。由此可知對於支配這種性質的作用及其發展的原則，若再加以嚴密的實驗研究，我們很可以增加電池的本領，或者發明出新器械，其所含的能量，比較我們現在所有的，超出萬倍以上，亦未可知。

六〇九、現在我不得不將關於電有一定不易的化學作用的研究，暫時放下。可是當我結束這一章的實驗研究之前，必得要將我在前面的實驗集中曾經指出電流對於磁也有一定不易的效應（一〇二，一〇三，一一二，一一三）的事實，特為提出。雖然對於磁效應一方面，未曾深加研究，但我很相信研究化學作用時收到的成績，決不會比研究磁現象應得的成績為多。

一八三三年十二月三十一日

我沒有說出使用的導線有多少長，因為在實驗中，我發見導線的長短沒有什麼關係，却和理論所推得的一樣。在一定的時間內，能夠使直徑若干大長一英寸的導線成爲紅熱狀態所需要的電量，只要是導線周圍無論那一部分所受到的冷卻影響沒有差別，就對於同一導線長至數千尺或數萬尺，也同樣的可以使它受熱。這個事實，我曾用量計來證明過，我發見無論使用半英寸長或使用半英寸長的導線，保持着暗紅色的一定溫度，在相等的時間內，分解出來的水量，都是相等的。使用半英寸長的導線時，只不過中心部分着火罷了。一條很細的導線，甚至於大可以用來作爲電流的節制器，雖然覺得不甚精細，但却很便於使用，即將此項導線，插入電路中，使其成爲電路的一部分，令與他相通的大電線，或和他接近或由他分開，務使在電路中遭一部分上的溫度，感覺不出有差別，這個時候，從他流過的電，也就差不多是相等的了。

註二 見 *Literary Gazette* 一八三三年三月一日及八日。又見 *Philosophical Magazine* 一八三三年第二〇四頁。見 *L'Institut* 一八三三年第二六一頁。

註三 電池的這個名詞，是由金屬造成的一種器械，一直到這種時候爲止，全都這樣的稱他，內裏面含有水，鹽水，酸類或其他的水溶液，或可以發生分解的物質（二一二），介在於兩極板之間。其他種類的電池，當然還可以發明，

但是我的希望，新的電池的構造，最好再像伏特 (Volta) 所發明的那樣。

註四 見 Recent Experimental Researches 等，一八三〇年第七四頁等。

註五 這個實驗又可以使用純粹的鋅，化學家全都知道純粹的鋅比起尋常的鋅來，所受的稀硫酸的作用甚小，尋常的鋅在作用的期間中，要受到無限多的電池作用。關於這個問題可參閱 De la Rive 的 Bibliothèque Universelle 一八三〇年第三九一頁。

註六 這個酸放過了一夜，一小片未曾塗過汞劑的鋅，就放在裏面，希望能夠將可以離去的那些空氣放出，俾全體成爲一定不易的狀態。

註七 這個實驗曾經反覆做過若干遍，結果都是一樣。

