

ATTI  
DELLA  
REALE ACCADEMIA DEI LINCEI  
ANNO CCXCVII.  
1900

---

SERIE QUINTA

---

RENDICONTI

---

Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali.

---

VOLUME IX.

2° SEMESTRE.



ROMA  
TIPOGRAFIA DELLA R. ACCADEMIA DEI LINCEI

PROPRIETÀ DEL CAV. V. SALVIUCCI

1900

resto al Widmann il merito di avere scoperto che l'acido usnico è dotato di potere rotatorio, perchè il suo contributo nella conoscenza di questa sostanza sia considerato come uno dei più notevoli.

In quanto alla costituzione dell'acido usnico, il problema può appena dirsi enunciato, ed io vedo con piacere entrare altri chimici in questo campo, perchè sarà così più facile venire ad una soluzione.

**Fisica** — *Sull'effetto Volta, e su di un nuovo metodo per misurarlo.* Nota di QUIRINO MAJORANA, presentata dal Socio BLASERNA.

1. Tre mie Note pubblicate in questi Rendiconti, sul principio dell'anno passato, tendevano ad illustrare sperimentalmente il fenomeno fondamentale scoperto da Volta.

In esse, io non ebbi di mira il voler definire, in un determinato senso, le controversie di interpretazione esistenti sulla cosiddetta *elettricità di contatto*; ma mi limitavo, specie nelle ultime due, a descrivere alcune nuove esperienze, che, in guise diverse dalle conosciute sin allora, dimostravano l'*effetto Volta*.

In una seduta del Congresso degli Elettricisti (settembre 1899) a Como prima, e poi in articoli comparsi anche recentemente, su periodici scientifici esteri, si volle da taluni attribuire alle mie esperienze, un significato che mai io ad esse avevo dato. Si volle cioè affermare che io, con esse, avevo preteso fornire nuovi argomenti atti ad appoggiare, più di quelli già conosciuti, la teoria del contatto enunciata da Volta. Come già ebbi a dichiarare nelle sedute del Congresso di Como, ripeto qui che tale non fu la mia intenzione; e ciò sarebbe facile constatare, rileggendo le mie tre Note.

È però certo che una vivace polemica è impegnata, da qualche tempo, tra i sostenitori della teoria del contatto, che sono i più, con a capo il nome autorevole di Lord Kelvin, e quelli che appoggiano una teoria immaginata sin dal 1884 dal prof. Lodge, che potrebbesi definire non teoria chimica, ma *teoria della tendenza chimica*.

Talchè è bene, quando ci si voglia mantenere estranei a tale polemica, parlare semplicemente di *effetto Volta*, senza preoccuparsi della sua origine intima.

In seguito a considerazioni fatte nella prima delle tre Note citate, a me pare si possa ritenere come indubitato, che l'*effetto Volta* sia dovuto (come causa immediata) ad un potenziale che è variabile da corpo a corpo e caratteristico per ognuno di essi, quando le condizioni superficiali di questi, sieno ben definite.

Prescindendo dalle azioni termoelettriche, questo *potenziale naturale* dei corpi, non può essere cambiato che quando intervengano fenomeni di indole

chimica o semplicemente molecolare, o anche azioni meccaniche, aventi per effetto mutazioni delle singole capacità elettriche. Così Zn e Pt posseggono rispettivamente potenziali caratteristici che differiscono circa per 1 volt. Ciò sarà sempre, a meno che vengano congiunti per mezzo di una sostanza (elettrolita), che possa intaccare uno dei due. Quando una goccia d'acqua è interposta tra Zn e Pt, l'inizio dell'azione chimica, rende i due potenziali eguali, e questo eguagliamento ha per conseguenza l'arresto dell'azione stessa. Ma se la congiunzione elettrolitica fra quei due metalli è tale, che alcuna azione chimica non possa avvenire, come sarebbe il caso in cui tutto lo Zn, in immediato contatto con l'acqua, è trasformato in ossido, i due metalli ritornano ai loro potenziali naturali. Se ciò non fosse, congiungendoli si avrebbe una corrente; e a spese di che? Si vede dunque che si può parlare di questi potenziali naturali, come di costanti caratteristiche dei corpi; beninteso in determinate condizioni superficiali. E non occorre ricordare che i potenziali naturali si osservano ponendo in contatto secco i corpi che si studiano, giacchè si escludono le azioni chimiche, molecolari, oltrechè le termiche e le meccaniche. Il potenziale naturale caratterizza dunque il corpo nel suo stato di quiete, quando cioè queste azioni non avvengono, o non avverrebbero in seguito a congiunzioni metalliche.

Ciò posto si può a mio avviso ritenere come poco esatta una asserzione fatta recentemente dal Lodge (Phil. Mag., ap. 1900, pag. 366); e cioè: « due metalli connessi da un liquido, sono approssimativamente nelle stesse « condizioni elettriche che se fossero connessi dall'aria. Essi non si caricano « oppostamente che nel caso di uno o più punti in connessione metallica... ». Ora per criticare questo asserto, le ipotesi possibili sono due: il mezzo ambiente aria è capace di condurre o di disperdere (per quanto lentamente) le cariche elettriche possedute dai metalli, o non è capace? Se non è capace, qualunque sia la differenza di potenziale dei due metalli, essi la manterranno, ed è impossibile che ve ne sia una determinata e caratteristica, dovuta al mezzo. Se questo è invece capace di condurre o disperdere le cariche possedute, io dico che i due metalli finiscono per assumere i loro potenziali naturali, precedentemente definiti. Se ciò non fosse, congiungendoli con un filo, si avrebbe una corrente; e a spese di che?

Il prof. Lodge aggiunge anche (pag. 377): « Il potenziale di un pezzo « di Zn isolato è più basso di quello di un pezzo di Cu nelle stesse con- « dizioni, e ciò è provato dal fatto indiscusso che si ha un flusso di elettri- « cità da un metallo all'altro, se posti in contatto ». Questa asserzione è da respingersi come la prima per le medesime ragioni, tanto più che non conosco nessuna esperienza diretta, intenta a verificare *il fatto indiscusso* a cui l'autore accenna. A mio avviso, si deve dunque ritenere, che un gas o un dielettrico qualsiasi, poichè alla lunga finisce per disperdere qualsiasi carica aggiunta dei conduttori, mantiene questi conduttori ai loro rispettivi potenziali naturali.

Benchè io non intenda entrare nella discussione sulla interpretazione dell'effetto Volta, pure non posso fare a meno di riconoscere che, di fronte alla semplicità di principio su cui si basa la teoria del contatto, si trova una idea, così complicata nei suoi particolari, che difficilmente può essere afferrata, da chi si prova a leggere le memorie del Lodge per la prima volta (<sup>1</sup>).

Il prof. Lodge ammette che le cariche elettrostatiche generate dall'effetto Volta, sieno dovute al fatto che il mezzo (l'ossigeno) in cui si trova la coppia metallica, tende ad attaccare uno o tutti e due i metalli di essa. Benchè, come dice Kelvin, in questa teoria vi sieno indizi di voler cadere nuovamente sulla vecchia teoria di De La Rive (azione dell'umidità dell'aria), pure essa ne differisce, o almeno vorrebbe differirne alquanto. Non è necessario infatti secondo Lodge, che l'ossigeno attacchi lo Zn, per conferirgli un potenziale differente da quello del Pt, Pt che non potrebbe mai essere attaccato; basta, egli dice, che questa possibilità vi sia. E così egli spiega perchè l'effetto Volta si riscontri sempre nella stessa misura, anche nei vuoti più spinti, anche in bagni liquidi isolanti. In entrambi i casi si trovano in presenza del metallo ossidabile, un numero di molecole di ossigeno sufficienti per conferire allo Zn, in segno e anche in valore, lo stesso potenziale. Se questa immagine del fenomeno scoperto dal Volta, è ingegnosa, non si deve disconoscere che è anche artificiosa. E l'artificio si spinge anche sino a riconoscere come conclusive (nel senso di appoggiare l'immagine stessa), esperienze che realmente non dicono nulla di nuovo. Il sig. Spiers (Phil. Mag. Jan. 1900, pag. 70) ha riconosciuto che una coppia Fe Pt, quando venga riscaldata vivamente (800° c.) in una atmosfera di idrogeno, scende dal valore di + 0,37 volt nell'aria, a — 0,60. Secondo l'autore, scaldare così vivamente, è necessario al fine di eliminare le ultime tracce di ossigeno, e di immergere la coppia in un'atmosfera di solo idrogeno; il cambiamento del

(<sup>1</sup>) Forse più che dai concetti, la difficoltà che si incontra nella lettura delle Memorie del Lodge, è offerta dal modo di esporli. P. e. a pag. 367 (Mem. cit.), è detto testualmente così: « . . . . Alcuni preferiscono dire che Zn e Cu in contatto sono a potenziali differenti « invece io preferisco dire che essi sono allo stesso potenziale fintanto che sono in contatto; ma nessuno può negare che essi sono caricati oppostamente . . . » e occorre rivedere molto laboriosamente le idee di Lodge, per rendersi conto di ciò che l'a. ha voluto esprimere con quel periodo. — E giacchè sono a commentare questa Memoria, mi si permetta di fare la seguente osservazione. Il prof. Lodge parlando dell'attrazione esistente tra metalli eterogenei, che è stata per la prima volta dimostrata da me, così si esprime: « Il sig. Majorana (Phil. Mag. Sept. 1899) ha indicato alcuni metodi semplici « per dimostrare questa attrazione, uno dei quali era stato da me usato per dimostrare « l'attrazione di due metalli esposti alle radiazioni di Hertz prima della coesione . . » Ora il lavoro del Lodge formò oggetto di una lettura alla R. I. di Londra nel 1899, mentre io avevo dimostrato l'attrazione tra metalli eterogenei sin dal novembre 1898, e su di ciò feci una comunicazione pubblica in una seduta dell'A. E. I. in Roma, sul finire del gennaio 1899. Ciò per la giusta interpretazione delle parole del Lodge. Del resto egli stesso mi ha recentemente scritto nello stesso senso.

valore e del segno della f. e. m. sarebbe dovuto a questo nuovo gas. Ciò è certamente esatto, tanto più che si sapeva già (Kelvin, Nature Ap. 1881) che il platino, immerso nell'idrogeno, diventa lentamente più positivo; ma l'esperienza si spiega benissimo anche con la teoria di Volta: in essa si è infatti cambiato lo stato superficiale dei due metalli; uno dei due (il Pt) ha probabilmente condensato una grande quantità di idrogeno sulla sua superficie. Non mi sembra dunque conclusiva l'esperienza dello Spiers, come non era conclusiva la vecchia esperienza di misurare la f. e. m. tra Zn e Cu, nell'acido solfidrico. Solo in un caso riconoscerei la giustezza delle vedute di Lodge; quando cioè si fosse dimostrato sperimentalmente, che *due metalli diversi, a superficie ben terse e privi di qualsiasi atmosfera ambiente e aderente, diano luogo ad un effetto Volta nullo*. Ma fin tanto che si cambia il mezzo ambiente, specie poi in una guisa così energica come è quella di riscaldare la coppia a 800° c., resta sempre il dubbio che si sieno alterate le condizioni superficiali dei due metalli.

2. Indicherò ora una nuova disposizione sperimentale, che permette di misurare rapidamente l'effetto Volta. Essa è in fondo una modifica dell'anello bimetallico di Lord Kelvin; ma su questo ha vantaggi sia di sensibilità che di comodità sperimentale, che facilmente si riconosceranno. Un filo di quarzo argentato F (fig. 1) è sospeso fra due sfere formate dai due metalli su cui si sperimenta. Questi due conduttori possono realmente avere forme qualunque; è preferibile la sferica, per la maggiore uniformità dello stato superficiale. Il diametro delle sfere può anche essere di soli 5 mm. e la distanza tra i due centri, di 2 cm. Il filo di quarzo non deve essere eccessivamente sottile. Praticamente, poichè è difficile valutare il diametro di tali fili, si adopereranno fili lunghi 12 cm. circa, e di grossezza tale, che tenuti per un estremo con una pinza, e orizzontalmente, l'altro estremo sia più basso per 4 cm. circa. Il sistema delle due sfere e del filo (che come si intende può essere molto piccolo), è chiuso in una scatola di vetro con viti di livello, e dall'esterno di essa, si possono stabilire comunicazioni metalliche, con ciascuno di quei tre conduttori. Le viti di livello hanno lo scopo di portare esattamente l'estremità inferiore di F, a egual distanza dalle due sfere. Se tale condizione di simmetria è verificata, quando Au e Zn sono in comunicazione metallica, il filo F cadrà (o solo devierà) verso sinistra o verso destra, a seconda che lo si elettrizza positivamente o negativamente. Il potenziale necessario per la riuscita di questa esperienza è solo di circa 200 volt. Per avere la misura dell'effetto Volta, così osservato, si adotta il solito metodo di compensazione di Kelvin. È però utile servirsi della disposizione della fig. 1. Due cassette di resistenza  $R_1$ ,  $R_2$  eguali e, ciascuna, da 100 ohm, sono disposte insieme con un accumulatore di grande capacità e di vecchia carica, come nel disegno. Le due cassette posseggono ciascuna anche le suddivisioni in decimi di ohm. Le spine di una delle cassette sono soppresse,

talchè, se si ha l'avvertenza di servirsi di una determinata spina, per togliere sempre una resistenza di determinato valore sia di  $R_1$  che di  $R_2$ , la complessiva resistenza offerta dalle cassette, al passaggio della corrente, è sempre di 100 ohm. Ma, a seconda della posizione delle spine, il potenziale della sfera di Zn può variare da 0 sino a 2 volt circa, e ciò gradatamente per cinquecentesimi di volt. Qual sia rigorosamente la f. e. m. agli estremi

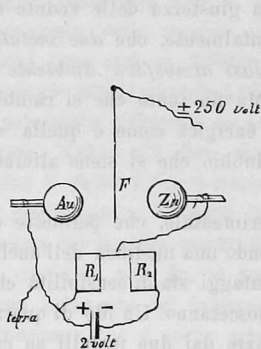


FIG. 1.

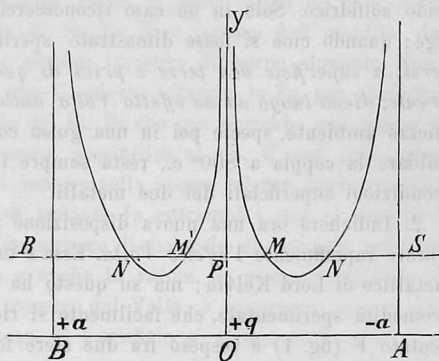


FIG. 2.

delle due cassette, vien determinata, di tanto in tanto, confrontandola con quella di un elemento campione. Al fine di elettrizzare il filo di quarzo, si possono adoperare 100 piccoli accumulatori Plantè, o qualsiasi altra sorgente, non occorrendo affatto la costanza del potenziale. Mediante un opportuno commutatore, può porsi il filo F sia in comunicazione col suolo, che con uno dei poli della sorgente, mentre l'altro polo vien messo a terra. I moti di F vengono osservati con un microscopio sia a visione diretta, che a proiezione. Sperimentalmente si procede così. Si elettrizza F in un senso qualsiasi, e si osserva da qual parte esso cade. Lo si elettrizza allora con elettricità contraria. Se cade dalla stessa parte, ciò è dovuto a dissimetria, che viene corretta con le viti di livello. Dopo pochi tentativi di tal genere, si arriva a far sì che, lavorando col commutatore, si può far cadere il filo F sia a destra che a sinistra, a seconda del segno di elettrizzazione; ciò quando tutte le spine sono sulla cassetta  $R_1$ , ossia questa è esclusa. Si comincia quindi a levare qualche spina da  $R_1$ , e a porla in  $R_2$ , e, anche ora con qualche tentativo, si arriva a eguagliare i potenziali dei due metalli; il filo F resta allora immobile quando venga elettrizzato, o devia sempre dalla stessa parte, indipendentemente dal segno della sua carica. Se  $v$  è il vol-

teggio dell'accumulatore, la differenza di potenziale tra i due metalli è dunque

$$e = v \frac{R_1}{R_1 + R_2}.$$

Più è grande il potenziale  $q$  di elettrizzazione del filo F, maggiore è la sensibilità del metodo, ma è bene che esso non sia tale da produrre attrazioni troppo brusche. Analizzare le leggi che governano queste attrazioni, sarebbe forse cosa impossibile se fatta rigorosamente, cioè avendo riguardo ai fenomeni di induzione elettrica, e ai complicati modi di distribuzione delle cariche elettriche sulle due sfere. Ma un caso teorico semplicissimo, fa vedere come vi sieno interessanti considerazioni da fare, su di un problema di tal genere. Consideriamo due piccolissime sfere o due punti A, B (fig. 2) che abbiano tra di loro una differenza di potenziale  $2a$ , e propriamente tali che uno di essi possieda una massa elettrica  $-a$ , e l'altro  $+a$ . Nel punto di mezzo O della loro congiungente, si trovi una massa elettrica  $+q$ . Essa rappresenta la estremità inferiore del filo di quarzo F. Le tre masse  $+a$ ,  $-a$ ,  $+q$  sono isolate, e non è possibile scambio di elettricità fra i conduttori che le posseggono. Sia  $AB = 2r$ , e sia  $x$  lo spostamento generico di  $q$  verso la massa  $-a$ . Se il filo che sostiene questa massa è abbastanza lungo e sottile, si potrà ritenere che la forza che tende a riportarla in O (dovuta alla flessione del filo e alla gravità), sia proporzionale ad  $x$ . Sicchè  $F = Kx$ . Una forza eguale e contraria, è data dalla somma della repulsione di B su  $q$  e dell'attrazione di A su  $q$ . Cioè:

$$(1) \quad F = Kx = \frac{aq}{(r+x)^2} + \frac{aq}{(r-x)^2}$$

Questa equazione è la stessa tanto che  $q$  sia positiva che negativa. Infatti in questo secondo caso, entrambe le quantità  $q$  e  $x$  cambiano di segno, e l'equazione resta inalterata; essa si può anche scrivere.

$$(2) \quad \frac{1}{x(r+x)^2} + \frac{1}{x(r-x)^2} = \frac{K}{aq}$$

Il primo membro di questa espressione è una funzione di  $x$  che, tanto per  $x=0$  che per  $x=r$ , va ad infinito. Se scriviamo ora genericamente

$$(3) \quad y = \frac{1}{x(r+x)^2} + \frac{1}{x(r-x)^2}$$

la curva rappresentata da questa equazione è quella indicata dalla figura. Si compone cioè di due rami, che hanno un assintoto comune OY, e che sono di nuovo assintotici rispettivamente a due parallele a OY, per A e B. Ora i valori di  $y$ , sono quelli che corrispondono a quelli che può assumere  $\frac{K}{aq}$ ,

quando in questa si faccia variare una qualunque delle tre quantità che vi rientrano. Consideriamo un dato valore OP di  $\frac{K}{aq}$ . La parallela ad AB per P, interseca la curva in quattro punti. Vi sono dunque quattro posizioni di equilibrio possibili. Si riconosce subito che le due di destra, sono quelle che corrispondono ai valori di  $q$  positivi, e quelli di sinistra ai valori negativi. Ma nel caso pratico, sono da considerarsi i soli punti M, M', giacchè gli altri due N, N' sono posizioni di equilibrio instabile. Per verificare ciò basta esaminare come varii la forza totale, costringendo la massa  $q$  ad allontanarsi a destra o a sinistra di M e di N.

Ora la forza è data da

$$f = \frac{aq}{(r+x)^2} + \frac{aq}{(r-x)^2} - Kx.$$

Questa espressione, al variare della sola  $x$ , conserva lo stesso segno dell'altra

$$f' = \frac{1}{x(r+x)^2} + \frac{1}{x(r-x)^2} - \frac{K}{aq};$$

per cui basta esaminare questa quantità. Ora l'insieme dei primi due termini è rappresentato dalla curva della figura (consideriamo il ramo positivo), mentre il terzo termine, che è costante, è rappresentato dalla retta RS. Si vede dunque che se  $x < PM$ ,  $f' > 0$ , e quindi la massa  $q$  tende ad essere riportata in M; se  $x > PM$ ,  $f' < 0$ , e la massa  $q$  tende di nuovo ad essere riportata in M. Per il punto N, si ha invece forza negativa a sinistra, e positiva a destra, per cui equilibrio instabile. Ma supponiamo ora che la carica  $q$  vada crescendo; allora la quantità  $\frac{K}{aq}$  va decrescendo per cui la retta RS va abbassandosi, sino a divenir tangente ai due rami della curva. Questi due minimi, sono due punti che hanno un significato meccanico molto interessante. E cioè se si accresce ancora la carica  $q$ , non è più possibile l'equilibrio, giacchè i punti di incontro della retta RS con la curva diventano immaginari. Diremo dunque che vi sono due deviazioni eguali, che possono chiamarsi *deviazioni critiche*, una a destra e l'altra a sinistra di O, al di là delle quali non è più possibile l'equilibrio, e la massa  $q$  cade sulla sfera attraente. Queste due deviazioni corrispondono alle ascisse dei minimi della curva, sicchè esse non dipendono che dalla distanza  $r$ , e non dalle quantità  $K$ ,  $a$ ,  $q$ . E si intende anche che il valore della deviazione critica, non potendo dipendere dalla unità di misura di  $r$ , debba in qualsiasi caso essere una parte aliquota ben determinata di tutto il valore di  $r$ . È del resto facile verificare ciò; deriviamo la (2) rispetto ad  $x$  ed eguagliamo a zero, al fine di trovare il minimo:

$$-\frac{1}{x^2(r+x)^2} - \frac{2}{x(r+x)^3} - \frac{1}{x^2(r-x)^2} + \frac{2}{x(r-x)^3} = 0;$$



o anche:

$$\frac{3x^4 + 6r^2x^2 - r^4}{x^2(r^2 - x^2)^3} = 0.$$

E poichè  $r > x$ , il denominatore del primo membro è sempre una quantità finita diversa da zero; si ha dunque

$$3x^4 + 6r^2x^2 - r^4 = 0.$$

Questa equazione ha due radici reali date da

$$x = \pm r \sqrt{\frac{2}{\sqrt{3}} - 1} = \pm 0,39332 r.$$

Ciò vuol dire che le due deviazioni critiche sono realmente una a destra e l'altra a sinistra di O, ad una distanza da questo punto eguale ai  $\frac{4}{10}$  circa di  $r$ , o  $\frac{2}{10}$  di tutta la distanza dei due punti elettrizzati. Scriviamo per semplicità  $x = nr$ .

Perchè la (1) possa sussistere deve essere dunque

$$\frac{1}{nr(r + nr)^2} + \frac{1}{nr(r - nr)^2} \leq \frac{K}{aq}$$

o anche:

$$2 \frac{1 + n^2}{n(1 - n^2)^2} \leq \frac{Kr^3}{aq}$$

e numericamente

$$\frac{Kr^3}{aq} \leq 8,2174.$$

Qui non v'è più il doppio segno, giacchè al cambiare del segno di  $n$  cambia anche quello di  $q$ . La precedente espressione ci dice che se le quantità  $K$ ,  $r$ ,  $a$ ,  $q$  soddisfano ad essa, la massa  $q$ , resta sempre compresa tra le due deviazioni critiche, escludendo naturalmente le posizioni di equilibrio instabile.

Il caso pratico è molto più complicato a trattarsi del considerato, perchè le sfere non sono abbastanza piccole, e perchè fenomeni di induzione, dovuti alla presenza del filo di quarzo elettrizzato, richiamano sulle sfere, quantità di elettricità superiori alle preesistenti. Entrambe queste cause contribuiscono a deprimere il valore delle due deviazioni critiche, ma che anche qui esse si abbiano, è facile verificare sperimentalmente. Così nel caso di due sfere di 25 mm. di diametro, i cui centri distano 6 cm., le due deviazioni critiche, sono solo di circa 2 mm. a destra e a sinistra, della posizione centrale di riposo.