RICERCHE SULL' ARCO ELETTRICO,*di A. OCCHIALINI.***Introduzione.**

Lo studio dell' arco elettrico ha il duplice scopo di conoscere le proprietà e di spiegare l' intimo meccanismo di questo. Le proprietà e le condizioni necessarie al funzionamento dell' arco furono oggetto di molteplici indagini i risultati delle quali lasciano poco a desiderare sulla conoscenza esteriore del fenomeno. La natura di questo, invece, rimase inesplicabile finchè si cercò di ricondurre l' arco a un' ordinario caso di conduzione metallica od elettrolitica, e si rese chiara soltanto nelle linee generali, quando si ebbe la spiegazione dei fenomeni verificati nei tubi a gas rarefatti e quando si approfondì la conoscenza del trasporto di elettricità per convezione.

L' emissione di centri elettrizzati dai corpi roventi suggerì la funzione che avevano gli elettrodi nell' arco. Questa funzione venne poi precisata dai lavori di Mitkewitch e di Stark e Cassuto che dimostrarono essere l' alta temperatura del catodo condizione sufficiente per l' adescamento dell' arco e necessaria per il suo mantenimento.

L' analisi spettrale fu largamente usata come mezzo per riconoscere la costituzione dell' arco; ma i risultati di essa raramente furono impiegati per spiegare l' intimo suo funzionamento. Questo è ormai chiaro nel suo insieme, ma nei particolari lascia ancora il desiderio di uno studio più profondo.

Allo scopo di contribuire alla conoscenza completa del fenomeno dell' arco ho eseguito le esperienze che sono descritte e discusse nel presente lavoro.

In esso vengono studiate le particolarità dell' adescamento e viene dimostrato che questo ha per unico scopo di arroventare il catodo. Poi, dopo aver dimostrato che l' ipotesi dei joni

nell'arco è d'accordo con i fatti noti, si arriva alla conclusione che nelle condizioni ordinarie non solo il catodo, ma anche l'anodo contribuisce al trasporto dell'elettricità emettendo centri positivi. La coesione e la contrattilità dell'arco, conseguenze della sua costituzione, sono invocate nello studio dell'azione di un campo magnetico sull'arco. L'esame di tale azione porta a ritenere che presso gli elettrodi l'arco si comporta come un getto di joni scagliati dagli elettrodi stessi, e che nella sua regione centrale si comporta come un conduttore flessibile percorso dalla corrente.

CAPITOLO I.

L'adescamento dell'arco.

1. *Adescamento per corto circuito.* — Il metodo più usato per adescare l'arco elettrico è quello che chiamerò *per corto circuito*. Esso consiste nell'avvicinare i due elettrodi fino a portarli a contatto e nell'allontanarli successivamente fino a una certa distanza. Il corto circuito atto ad adescare l'arco può essere stabilito anche senza avvicinare direttamente gli elettrodi; basta per ciò una comunicazione momentanea fra gli elettrodi separati fatta con un conduttore o anche per mezzo di una scintilla.

Anzi la scintilla comparisce sempre nell'adescamento per corto circuito, giacchè essa si stabilisce sempre agli elettrodi al momento della loro separazione. Talchè è naturale attribuire a quella scintilla almeno in parte l'origine dell'arco e studiare in essa il meccanismo dell'adescamento.

Secondo taluni la scintilla che si ha nell'atto in cui l'arco si stabilisce ha per scopo di jonizzare lo spazio compreso fra gli elettrodi. Con ciò si ammette che per l'adescamento dell'arco sia necessaria una jonizzazione preventiva del mezzo.

Questo cerca di dimostrare il Filippini ¹⁾ col provocare l'adescamento dell'arco inserendo gli elettrodi tra le sfere di

1) Atti dell'Ass. Elettrot. Italiana, 9, 272, 1905.

uno spinterometro e facendo scoccare in quest' ultimo la scintilla. L' esperienza sarebbe certamente probatoria se la scintilla scoccasse fra gli elettrodi dell' arco senza toccarli. Ma il Filippini metteva gli elettrodi dell' arco alla distanza di 1.5 mm. e in queste condizioni non vedo come si possa escludere che la scintilla si imposti sugli elettrodi; nel qual caso non si può essere sicuri che la sua azione nell' adescamento sia limitata a jonizzare l' aria.

2. *L' adescamento per mezzo di una scintilla.* — Per decidere sopra questo punto ho studiato le circostanze nelle quali una scintilla provoca l' adescamento dell' arco.

E siccome a voler mantenere vicini i carboni non si può evitare che la scintilla scocchi sopra di essi ho cercato di eliminare qualunque incertezza facendo avvenire la scintilla fra uno dei carboni e una sferetta posta di fronte a questo.

Le cose furono disposte nel seguente modo: i due carboni A, B fra i quali doveva scoccar l' arco erano del diametro di circa 5 millimetri ed erano disposti perpendicolarmente l' uno all' altro (fig. 1). Essi erano collegati attraverso a un reostato

Fig. 1.

R alla condotta stradale a corrente continua a 110 volti. Un invertitore I permetteva di cambiar loro il segno. Uno dei carboni A era collegato con un polo di un rocchetto di induzione, del quale l' altro polo comunicava con una piccola sfera

S a una tale distanza dall'altro carbone B che non fosse possibile lo scoccare delle scintille fra B e S.

In queste condizioni durante il funzionamento del rocchetto avveniva fra S e A un vivo scintillamento che provocava qualche scintilla anche fra A e B. Ma in generale le scintille fra i due carboni non davano luogo all'accensione dell'arco sebbene esse talvolta apparissero tutt'altro che esili.

L'arco spesso si adescava dopo un lungo scintillamento; ma non fui in grado di escludere che l'accensione fosse dovuta a qualche scintilla più nutrita fra i due carboni. Così nulla ho potuto constatare in merito all'azione che la scintilla ha nel provocare l'accensione dell'arco.

Questo però risulta indubitato dall'esperienza precedente: *che la scintilla fra i due carboni spesso non è sufficiente ad adescare l'arco*, e ciò basta per affermare che per l'adesamento ci vuole qualche cosa di più di un semplice corto circuito.

3. *Adescamento con arco ausiliario.* — Per eliminare qualunque incertezza sull'azione che può avere nell'adesamento dell'arco la jonizzazione del mezzo, ho eseguito l'esperienza seguente: tre carboni del diametro di 5 mm. circa furono disposti come è indicato nella figura 2. Due di essi A e B furono messi verticalmente l'uno sul prolungamento dell'altro; il terzo carbone C fu posto orizzontalmente in corrispondenza dell'intervallo compreso fra i primi due. Uno dei carboni verticali A può spostarsi secondo il proprio asse: gli altri due sono fissi. I carboni A e C sono riuniti allo stesso polo della corrente stradale; l'altro B è riunito con l'altro polo. Nel circuito sono inseriti un reostato R e un invertitore I che serve per scambiare la polarità dei carboni.

- Ora se portiamo a contatto i due carboni A e B, facendo scorrere lungo il proprio asse il carbone A, e poi li separiamo allontanando quest'ultimo, allora se il carbone B è negativo invariabilmente l'arco, interrompendosi tra A e B, va ad attaccarsi fra B e C. Invece quando il carbone B è positivo l'operazione precedente non conduce mai a stabilire l'arco fra B e C,

Evidentemente se l'accensione dell' arco fosse unicamente dovuta alla ionizzazione del mezzo, l' arco dovrebbe stabilirsi fra B e C qualunque fosse la polarità del sistema. Dunque l'esperienza dimostra che *la ionizzazione dell'aria compresa*

Fig. 2.

fra gli elettrodi non determina l'adescamento dell'arco. Di più essa stabilisce che tale adescamento si ha soltanto allorchè si giunge a riscaldare convenientemente l'elettrodo negativo.

4. Però l'esperienza precedente non stabilisce che l'arroventamento del catodo sia da sè sufficiente ad accendere un arco, nè esclude che la ionizzazione dell'aria compresa fra gli elettrodi entri in qualche modo nel determinare l'adescamento. In sostanza in essa si ha la sostituzione di un arco a uno preesistente e così come è condotta non toglie il dubbio che il nuovo arco si stabilisca a spese dell'antico e che la possibilità della sostituzione del secondo arco al primo non stia, oltrechè nella temperatura del catodo, anche nella presenza di quest' arco.

Ma la questione in questo riguardo può essere risolta adoperando la disposizione stessa della fig. 2, ma con due circuiti elettrici indipendenti. In tal modo se l'adescamento del secondo arco dipende soltanto dalle condizioni del catodo e

non è fatto a spese del primo, i due archi debbono poter coesistere senza che nessuna azione abbia luogo fra di essi.

L'apparecchio precedentemente adoperato fu montato secondo lo schema della fig. 3. Il carbone B è stato messo in comunicazione col polo negativo della corrente stradale e con

Fig. 3.

quello negativo di una batteria di accumulatori. Il polo positivo della corrente stradale fu messo in comunicazione con C e quello omonimo della batteria con A. In queste condizioni se si adesca l'arco sugli accumulatori ossia fra A e B e poi

Fig. 4.

si stabilisce il campo fra B e C, si vede fra questi due carboni formarsi un arco senza che quello preesistente subi-

sca variazione alcuna. Se poi si inverte la polarità del sistema totalmente col rendere positivo B e negativi A e C (fig. 4) non si ha mai l'adescamento del secondo arco.

Dunque la jonizzazione del gas non ha nessuna azione nell'adescamento dell'arco; l'unica circostanza che determina la sua accensione è l'arroventamento del catodo; la condizione che ci venne indicata nell'esperienza precedente come necessaria è anche sufficiente.

Per ciò nell'*adescamento ordinario per corto circuito la funzione della scintilla d'apertura è di produrre un conveniente riscaldamento dell'elettrodo negativo, condizione necessaria e sufficiente affinché l'arco possa iniziarsi.*

5. *Processo secondo cui l'arco si inizia.* -- Resta ora da vedere secondo quale processo fra due elettrodi posti a diverso potenziale, dei quali il catodo è rovente, l'arco si stabilisce.

Notoriamente un catodo ad alta temperatura emette corpuscoli: questi sotto l'influenza del campo elettrico stabiliscono una corrente fra i due elettrodi. Ma nella loro migrazione dal catodo all'anodo i corpuscoli opereranno delle dissociazioni, sicchè in ultima analisi ai centri elettrizzati uscenti dal catodo si aggiungeranno dei nuovi corpuscoli e dei joni positivi. Questi ultimi sollecitati verso il catodo cederanno ad essi la loro forza viva e contribuiranno con ciò a mantenerlo caldo; e quando i joni positivi saranno in numero conveniente e possederanno al momento della loro caduta sull'elettrodo una sufficiente forza viva, il catodo potrà essere mantenuto caldo anche senza l'intervento di una sorgente ausiliaria di calore. Allora l'arco sarà definitivamente stabilito.

Dunque l'esistenza di quest'ultimo esige la presenza di joni positivi; e siccome essi non possono provenire inizialmente che dalle dissociazioni operate per urto nel gas, così la loro origine avrà luogo in quelle regioni dove il campo è più forte. Ora se noi consideriamo un catodo rovente di fronte a un anodo freddo lo spazio compreso fra i due elettrodi si riempirà di corpuscoli, e finchè non incominceranno le dissociazioni, in ogni punto dello spazio suddetto si avrà una carica negativa. Per semplicità supponiamo che il campo fra gli elet-

trodi sia uniforme e sia X la sua intensità. Se prendiamo per asse delle x la direzione del campo, il teorema di Poisson permette di scrivere

$$\frac{dX}{dx} = 4\pi \rho$$

dove ρ è la densità elettrica nel punto generico del campo. Nel caso che si considera è negativa in tutto il campo, quindi $\frac{dX}{dx} < 0$, ossia la X decresce col crescere della x cioè di mano in mano che si procede dall'anodo al catodo. La forza elettrica sarà massima in vicinanza dell'anodo, perciò là incominceranno quelle dissociazioni che devono fornire i joni positivi. Ma le dissociazioni sono in generale accompagnate da fenomeni luminosi; dunque questi ultimi, se è vero quanto abbiamo esposto più sopra, nell'atto in cui l'arco si stabilisce devono iniziarsi all'anodo.

Il Villard ¹⁾ ha verificato questo fatto valendosi di un arco alternato e se ne è valso per ritenere che la scarica nel l'arco procede dall'anodo verso il catodo. Ora, da quanto ho esposto più sopra risulta che la propagazione della luminosità non può essere l'indice della propagazione della scarica; e che nel caso dell'arco questa ha inizio dal catodo in seguito all'emissione di corpuscoli, mentre la propagazione dei fenomeni luminosi avviene nel senso opposto.

Così concepito l'adescamento dell'arco ottenuto con un preventivo arroventamento del catodo appare sostanzialmente dovuto a un corto circuito. Infatti i joni negativi che uscendo dal catodo caldo vanno ad occupare nella fase preparatoria dell'arco lo spazio fra gli elettrodi costituiscono un prolungamento dell'elettrodo negativo che ha per effetto di portare momentaneamente quest'ultimo a contatto dell'anodo. Così in ultima analisi anche in questo caso si realizza, nell'atto in cui si inizia il fiocco luminoso, un processo equivalente a una scintilla.

A sostegno di questo modo di vedere varranno le considerazioni e le esperienze che saranno esposte nel prossimo capitolo.

1) Willard. Journ. de Phys. 6, pag. 1013, 1907.

CAPITOLO II.

L' arco elettrico nella sua fase iniziale.

6. Ammesso, in conformità delle conclusioni tratte nel primo capitolo, che l' arco, stabilendosi fra due elettrodi, debba passare per una fase preparatoria che corrisponde alla migrazione dei corpuscoli dall'elettrodo negativo all'elettrodo positivo, e che dura finchè i joni positivi creati per urto presso l'anodo, o estratti dall'elettrodo positivo non abbiano stabilito la colonna luminosa che collega i due elettrodi e che costituisce l' arco propriamente detto, vediamo di studiare questa fase preparatoria, e l' arco stesso nel suo periodo iniziale.

Per questo mi varrò dell' azione di un campo magnetico ; quindi per l' esatta interpretazione delle esperienze che saranno esposte in seguito stimo opportuno premettere alcune considerazioni sull' azione di un campo magnetico sopra i joni mobili in seno a un gas.

L' arco una volta stabilito si presenta come una colonna dotata di coesione e di contrattilità, e ciò è ben naturale se, come generalmente si ammette, esso è costituito da un insieme di joni di segno contrario che esercitano fra di loro delle azioni attrattive. Quindi in tali condizioni le forze che il campo magnetico esercita sui singoli joni si trasmettono agli altri joni per mezzo dei loro mutui legami e danno luogo ad un sistema di pressioni invariabili nel tempo e applicate alla colonna luminosa ; questa allora si comporta come un conduttore flessibile. Da ciò deriva lo spostamento notevole subito dall' arco anche in presenza di campi magnetici deboli.

Ma nella fase iniziale i joni sono tutti di un segno e quindi mancano quei vincoli che si traducono in forze coesive nella colonna luminosa. In questa fase un jone spostandosi non si tira con sè gli altri joni ; quindi lo spostamento dell' arco nella sua fase iniziale sarà approssimativamente quello di un jone isolato mobile in seno a un gas alla pressione e alla temperatura ordinarie.

7. Spostamento di un jone per effetto del campo magnetico. — Una carica che si muovesse sotto l' azione di una forza

costante sarebbe animata, quando fosse libera, da un moto uniformemente accelerato. Se invece si muove in un gas essa subisce, dopo piccole corse, degli urti che distruggono la velocità previamente acquistata. Talchè la carica, sotto l'azione di forze costanti, raggiunge, per effetto degli urti una velocità media che si mantiene invariabile in tutto il tragitto. È la media delle velocità assunte dalla carica fra un urto e il successivo.

Nel caso che un jone sia soggetto all'azione simultanea di una forza elettrica diretta secondo l'asse delle x e di una forza magnetica diretta secondo l'asse delle z , il movimento sarà nel piano xy e la velocità del jone sarà definita da due componenti le cui medie u_x, u_y si mantengono costanti. Il movimento avverrà in media secondo una retta che fa con l'asse delle x un angolo α tale che

$$\text{tang } \alpha = \frac{u_y}{u_x}.$$

Calcoliamo le componenti u_x e u_y .

Nell'intervallo fra un urto e il successivo la carica si muove come se fosse libera. Quindi segue, come è noto, un arco di cicloide. In questo tratto le componenti dello spostamento sono

$$x = \frac{M\phi}{eH^2}(1 - \cos bt)$$

$$y = \frac{M\phi}{eH^2}(bt - \text{sen } bt)$$

con

$$b = \frac{He}{M},$$

dove M è la massa del jone, e la sua carica, ϕ il campo elettrico diretto secondo l'asse delle x , H il campo magnetico diretto secondo l'asse delle z . Di qui per le componenti della velocità effettiva all'istante generico t si ha

$$v_x = b \frac{M\phi}{eH^2} \text{sen } bt = \frac{\phi}{H} \text{sen } bt$$

$$v_y = b \frac{M\phi}{eH^2} (1 - \cos bt) = \frac{\phi}{H} (1 - \cos bt).$$

Le medie dei componenti delle due velocità nell'intervallo di tempo T necessario a percorrere il cammino libero di un jone saranno

$$u_x = \frac{\phi}{H} \frac{\int_0^T \sin b t \, dt}{T} = \frac{\phi}{H} \frac{1 - \cos b T}{b T}$$

$$u_y = \frac{\phi}{H} \frac{\int_0^T (1 - \cos b t) \, dt}{T} = \frac{\phi}{H} \frac{b T - \sin b T}{b T}.$$

$$\text{tang } \alpha = \frac{b T - \sin b T}{1 - \cos b T}.$$

8. Per calcolare il valore numerico dello spostamento ammettiamo che il campo magnetico abbia un valore di 1000 unità, sia cioè assai superiore a quello necessario per produrre forti deviazioni in un arco definitivamente stabilito.

I centri elettrizzati essendo corpuscoli, si ha $\frac{e}{M} = 10^7$. La velocità di un corpuscolo si compone di quella dovuta all'agitazione termica più quella dovuta all'azione del campo elettrico. Ma, come è facile accertarsi con un semplice calcolo, la prima è enormemente superiore all'ultima e non si farà errore sensibile introducendola sola in calcolo. D'altra parte la velocità media del corpuscolo sta a quella delle molecole alle quali è accompagnato nel rapporto inverso delle radici quadrate delle loro masse. Nell'aria questo rapporto è

$$\sqrt{1900 \times 14 \times 2} = 230 \text{ circa ;}$$

e siccome la velocità media di una molecola non scende nelle condizioni date al disotto di 5.10^4 cm. al secondo, così la velocità media di un corpuscolo è superiore a 10^7 .

La strada libera di un corpuscolo in seno all'aria nelle condizioni ordinarie si calcola facilmente ritenendo che il diametro di un corpuscolo sia trascurabile rispetto al diametro di una molecola. In tal caso la strada libera di un corpuscolo è

quattro volte più grande di quella di una molecola d'aria ossia è $32 \cdot 10^{-6}$.

Consequentemente il tempo necessario per percorrere la strada libera sarà

$$T < \frac{32 \cdot 10^{-6}}{10^7} = 3,2 \cdot 10^{-12}.$$

Con i valori assunti per e , M , H , il valore di b è 10^{10} ; perciò $bT < 3,2 \cdot 10^{-2}$ ossia è sufficientemente piccolo per poterne trascurare la quarta potenza. Allora si potrà scrivere

$$\cos bT = 1 - \frac{(bT)^2}{2!}$$

$$\sin bT = bT - \frac{(bT)^3}{3!}$$

$$|\tan \alpha| = \frac{bT}{3} < 1,1 \cdot 10^{-2} \text{ cm.}$$

Dunque alla temperatura e alla pressione ordinaria con un campo magnetico di 1000 unità un corpuscolo dopo il percorso di un centimetro non resterebbe spostato di un decimo di millimetro dalla strada che esso seguirebbe se il campo non esistesse.

Nel periodo preparatorio dell'arco, quando cioè soltanto il catodo è rovente i joni si muovono in un atmosfera che, se si esclude l'immediata vicinanza dell'elettrodo è a temperatura poco superiore a quella ordinaria. È probabile quindi che nelle condizioni reali lo spostamento dei corpuscoli nella fase iniziale dell'arco non superi quello calcolato precedentemente. E ciò apparirà tanto più ammissibile quando si pensi che a una piccola distanza dal catodo la temperatura è forse sufficientemente bassa da permettere aggruppamenti delle molecole intorno ai corpuscoli, nel qual caso questi assumerebbero la massa e le dimensioni di una molecola almeno, e subirebbero conseguentemente una deviazione assai più piccola di quella calcolata più sopra.

Perciò credo di poter concludere che *nella sua fase iniziale l'arco è insensibile ai campi magnetici che bastano per deviarlo fortemente quando è definitivamente stabilito.*

9. *Azione del campo magnetico sulla fase iniziale dell'arco.* — Vediamo se l'esperienza conferma queste previsioni, se cioè un arco adescato in presenza del campo magnetico si presenta come se quest'ultimo non esistesse, e viene deviato solo dopo che la colonna luminosa si è stabilita.

Per constatar questo ho realizzato un arco rapidamente interrotto e l'ho osservato mediante una disposizione stroboscopica nelle sue fasi diverse, mentre un campo magnetico agiva continuamente con le linee di forza perpendicolari all'asse dell'arco.

Sulla periferia di una robusta ruota R (fig. 5) mobile intorno a un asse orizzontale è stato incastrato un cerchio di ottone C ritagliato in modo da presentare quattro sporgenze ugualmente distanti l'una dall'altra.

Fig. 5.

Una spazzola metallica S_2 strisciante sulla periferia della ruota può spostarsi in guisa da mantenersi a contatto col cerchio durante tutto il giro della ruota (posizione S_2), oppure da mantenersi in contatto soltanto con le quattro sporgenze del cerchio (posizione S'_2). Il cerchio C è poi collegato per mezzo di un filo metallico con un anello isolato A montato sull'asse della ruota. Su quest'anello striscia una molla S_1 .

Inserendo quest'apparecchio nel circuito di un arco e imprimendo una rapida rotazione alla ruota per mezzo di un motore elettrico, l'arco risulta continuo o interrotto a seconda che la spazzola mobile si trova nella posizione S_2 o nella posizione S'_2 . Un disco di zinco Z fissato sulla testa dell'asse porta quattro aperture rettangolari attraverso alle quali l'arco interrotto apparisce in una sola fase. Le varie fasi dell'arco si possono osservare variando la posizione relativa delle aperture del disco e delle sporgenze del cerchio C .

La disposizione schematica dell'esperienza è rappresentata nella figura 6. L'immagine dell'arco A data da un obbiettivo O veniva formata sul disco di zinco Z all'altezza delle aperture in essa praticate. Un secondo obbiettivo O_1 dava l'immagine osservata attraverso alle aperture del disco rotante sopra una lastra fotografica L . Talvolta trovai più comodo osservare l'immagine direttamente con l'occhio e allora al posto dell'obbiettivo O_1 e della lastra L misi un cannocchiale. Dietro l'arco e con l'asse perpendicolare all'asse di questo disposi un rocchetto E di una elettrocalamita di Faraday sotto l'azione della quale l'arco era spostato perpendicolarmente al piano della figura.

Fig. 6.

10. Per eseguire l'osservazione portavo la spazzola mobile a contatto del cerchio nella posizione S_2 . Poi, acceso l'arco, che così risultava continuo, spostavo la spazzola nella posizione S'_2 , in modo da aver l'arco interrotto.

Osservato col cannocchiale l'arco interrotto sembrava assente nelle fasi di interruzione e appariva come una colonna bluastra nelle fasi in cui era stabilito.

Se poi per mezzo dell'elettromagnete E (fig. 6) si creava un campo magnetico perpendicolare all'arco, si trovava che in generale il fiocco bluastrò era fortemente deviato. Ma ponendo il disco in posizione tale da osservare l'arco nell'istante in cui esso si stabilisce, non si verifica nessuna deviazione.

Nella figura 7 sono riprodotte le fotografie corrispondenti alla fase in cui la colonna luminosa si inizia e a due fasi successive. Chiaramente si scorge che nella prima la colonna che congiunge gli elettrodi è rettilinea; mentre nella seconda e più ancora nella terza è piegata nel senso in cui era sollecitata dal campo elettrico.

Fig. 7.

Così anche sperimentalmente è provato che nell'arco il periodo preparatorio non è influenzato dal campo magnetico. L'azione di questo si fa sentire solamente sulla colonna luminosa e incomincia, per le ragioni esposte al § 6, quando quest'ultima è già stabilita.

11. *Confronto tra la fase iniziale dell'arco e la scintilla.* — Questo comportamento richiama alla memoria quello della scintilla ¹⁾. È noto che quest'ultima è iniziata da un processo esplosivo che costituisce la scintilla pilota.

Ora i Professori Battelli e Magri ²⁾ hanno constatato che la scintilla pilota non è influenzata dai campi magnetici più

1) La somiglianza fra l'arco e la scintilla nel loro periodo iniziale è stata messa in evidenza per la prima volta dai Puccianti che la riscontrò studiando lo spettro di un arco alternato (Nuovo Cimento, 13, 269, 1907).

2) Battelli e Magri. Rend. Acc. Linc., 16, 155, 1907.

intensi, che pure hanno tanta azione nella fase successiva della scarica.

La fotografia riprodotta nella fig. 8, favoritami dalla gentilezza del Professori sudetti, rappresenta una scintilla scoccata in un forte campo magnetico. Manifestamente la pilota non è rimasta influenzata dal campo, mentre tutto il resto della scarica appare violentemente soffiato.

Fig. 8.

Un arco si inizia anch'esso con un processo che corrisponde alla scintilla pilota e che è insensibile al campo magnetico come quest'ultima. Nell'adescamento per corto circuito il processo iniziale dell'arco è costituito secondo me da una vera e propria scintilla, quella di apertura. Nell'adescamento con l'arco ausiliario (§ 3, 4) o nella riaccensione di un arco alternato la scintilla d'apertura manca, ma essa è sostituita da un processo sostanzialmente identico.

Particolarmente interessante da questo punto di vista mi sembra la fotografia riprodotta nella figura 9. Essa mostra due archi stabiliti in presenza di un campo magnetico fra l'estremità di un carbone cilindrico negativo ed una lastra di car-

bone positiva posta perpendicolarmente a questo. Uno degli archi è fortemente deviato ed è sul punto di spegnersi; l'altro stabilitosi spontaneamente è colto nell'istante in cui si formava, si presenta come una scintilla improvvisamente scoccata fra i due elettrodi. Lo stabilirsi di quest'ultimo arco è accompagnato da un colpo secco che attesta il suo carattere esplosivo.

Fig. 9.

Del resto che fra i due fenomeni inizio dell'arco e inizio della scintilla debba esserci una relazione intima appare subito se si ammettono le conclusioni tratte nel primo capitolo (§ 5), secondo le quali l'inizio dell'arco è fatto dai joni positivi, cioè proprio da quella specie di joni che inizia la scintilla ¹⁾.

A questo proposito mi piace osservare che ad una conclusione identica si può giungere interpretando alcune esperienze recenti del La Rosa ²⁾. Questi trova che un arco bruscamente e rapidamente interrotto, ossia tale da mostrare in prevalenza gli effetti del processo di adescamento, dà lo spettro di righe che è caratteristico della scintilla pilota. D'altra parte secondo lo Stark ³⁾ uno spettro di righe è sempre dovuto a joni positivi. Dunque verosimilmente tanto la scintilla pilota quanto la riaccensione dell'arco sono dovute ad un processo in cui entrano in giuoco joni positivi.

1) Townsend. *Phil. Mag.* 6, 598, 1903.

2) La Rosa. *Memorie Acc. Linc.*, serie 5, v. 7, fasc. 4.

3) Stark. *Journ. de Phys.* (4), 6, 46, 1907.

CAPITOLO III.

Costituzione dell'arco.

12. Il problema della costituzione dell'arco è ancora argomento di controversia e di discussione. Tutti sono d'accordo nel riconoscere una somiglianza fra il processo che si svolge nell'arco e quello che ha per sede nelle altre forme di passaggio di elettricità nei gas, scintilla e scarica nei gas rarefatti; secondo il Villard, anzi, l'arco non sarebbe che una scarica ridotta alla luce positiva. Però tutto questo, se stabilisce importanti relazioni fra i diversi ordini di fenomeni, non porta nessun contributo alla loro conoscenza. E così, mentre molti ritengono che i fenomeni della scarica nei gas in generale e particolarmente l'arco voltaico siano dovuti al movimento di joni positivi e negativi in sensi opposti, c'è ancora chi, come il Villard, trova un irriducibile contrasto fra questa teoria e i fatti.

L'obiezione del Villard ¹⁾ si fonda sul seguente ragionamento: nell'ipotesi dei joni mobili nella scarica attraverso i gas l'emissione della luce viene attribuita alla dissociazione delle molecole gassose per urto. Conseguentemente esagerando la ionizzazione si dovrebbero esagerare i fenomeni luminosi. Ma d'altra parte l'illustre fisico francese osserva che l'azione di un corpo radioattivo, che pur dovrebbe tradursi un eccesso di ionizzazione, sopprime i fenomeni luminosi della scintilla; di più osserva che se in un tubo a gas rarefatto si fa avvenire la scarica e se nella colonna positiva si fanno arrivare i raggi catodici per mezzo di una piccola ampolla saldata lateralmente sulla parete del tubo, la luminosità della colonna sparisce proprio nella regione che, per essere attraversata dai raggi catodici, dovrebbe presentare esaltati quei fenomeni di luminosità che si attribuiscono agli urti.

Ora a me sembra che queste esperienze non siano tali da non permettere l'accordo con l'ipotesi che fa consistere il passaggio dell'elettricità nei gas in un movimento di joni, e i fenomeni di luminosità in manifestazioni di urti.

1) Villard. I. c.

Infatti, bisogna porre mente che gli agenti ionizzanti adoperati dal Villard per far sparire i fenomeni luminosi della scarica introducono nel gas nuovi centri elettrizzati, sia portandoveli dall'esterno, sia creandoli nel gas stesso.

Questa sopraproduzione di joni ha certamente per conseguenza di diminuire il valore del campo elettrico là dove essa ha luogo.

Infatti, se chiamiamo con n_1 e con n_2 il numero dei centri elettrizzati positivi e negativi nell'unità di volume, con k_1 e k_2 le mobilità delle due specie di centri, con X il valore del campo elettrico nel punto che si considera, l'intensità della corrente è data da

$$i = X (n_1 k_1 + n_2 k_2).$$

Conseguentemente lungo la colonna conduttrice X sarà tanto più piccolo quanto più grande sarà il numero dei joni presenti e nei punti dove il numero dei joni supera un certo limite il campo avrà un valore troppo basso per provocare delle dissociazioni e per dar luogo ai fenomeni luminosi.

Così in ultima analisi gli agenti ionizzanti adoperati dal Villard per eliminare la luminosità della colonna positiva, da un lato contribuiranno a rendere luminoso il gas per mezzo dei loro urti, dall'altro determineranno una diminuzione dei fenomeni luminosi preesistenti.

E non c'è nulla di strano che, almeno in condizioni particolari, l'ultimo effetto abbia una grande prevalenza sul primo, cosicchè si verifichi il fenomeno osservato dal Villard nella scarica.

13. *Distribuzione delle cariche nell'arco.* — Allo stato attuale della conoscenza sul funzionamento dell'arco non trovo ragioni sufficienti per scartare la teoria che attribuisce la conduzione nell'arco ai joni mobili nel gas sotto l'azione del campo elettrico.

Ammesso questo, la distribuzione del campo elettrico lungo l'arco può dedursi dalla distribuzione del potenziale lungo di esso. Ora secondo le determinazioni della signora Ayrton ¹⁾

1) Ayrton. Lond. Elect. 41, 720.

il potenziale lungo un arco è distribuito conformemente alla rappresentazione grafica della figura 10.

Nella regione centrale si ha una variazione lenta e uniforme del potenziale V , mentre presso gli elettrodi si ha un brusco salto, più grande assai presso l'anodo che presso il catodo. Da ciò risulta facile desumere la distribuzione delle cariche nell'arco ¹⁾.

Fig. 10.

Precisamente si deduce che nell'arco presso gli elettrodi si ha un eccesso di joni di un segno su quelli del segno opposto: presso l'anodo sovrabbondano i centri negativi e presso il catodo quelli positivi. Nel tratto centrale, invece, l'arco è costituito da un egual numero di joni positivi e negativi.

14. *Origine delle cariche nell'arco.* — Dunque nell'arco si riscontrano joni dei due segni.

Sull'origine dei corpuscoli tutti sono concordi nel ritenere che essi siano per la massima parte emessi dal catodo. I joni positivi saranno in parte forniti dalle dissociazioni che si operano lungo la strada. Ma avendosi, quando non si usino particolari disposizioni, oltre al catodo, anche l'anodo rovente, non si può escludere che quest'ultimo emetta joni e contri-

1) Child. Phys. Rev. 10, 155, 1900.

buisca in qualche misura alla conduzione. L'aver realizzato per parte di Stark e Cassuto ¹⁾ un arco a anodo freddo sembrerebbe affermare che l'arco può esistere anche senza l'emissione di joni positivi dall'anodo. Ma da un lato non si può *a priori* asserire che l'emissione dall'anodo caldo quando essa fosse presente non acquisti una importanza notevole se non una preponderanza assoluta. Dall'altro non bisogna dimenticare che alla pressione ordinaria l'emissione dei joni positivi dai solidi incomincia a una temperatura relativamente bassa ²⁾ ed è molto dubbio che il mezzo escogitato dai due sperimentatori sopranominati per mantenere freddi gli elettrodi sia stato sufficiente per escludere una emissione di joni positivi dall'anodo.

Per lo studio della costituzione dell'arco giova decidere in merito all'emissione di joni da parte dell'anodo giacchè essa avrebbe, quando fosse presente, per effetto di stabilire fra l'arco e l'anodo delle forze che darebbero al fenomeno delle caratteristiche notevoli.

15. *Adesione dell'arco agli elettrodi.* — Infatti, se la conduzione è operata per mezzo di centri elettrizzati essi seguono costantemente le linee di forza del campo; e se i centri hanno origine unicamente nella massa del gas compreso fra gli elettrodi che stabiliscono il campo, le traiettorie dei centri sono indipendenti dai movimenti degli elettrodi finchè le linee di forza rimangono invariate nello spazio. Una colonna conduttrice in queste condizioni collegherebbe i due elettrodi, ma non presenterebbe con essi nessuna adesione.

Invece se le regioni degli elettrodi in cui si imposta la colonna conduttrice fossero esse stesse dei focolai di emissione dei centri elettrizzati, allora gli estremi della colonna sarebbero fissi agli elettrodi e ne seguirebbero fino a un certo punto i movimenti, mostrando con essi una specie di adesione.

Esaminiamo ora ciò che accade nell'arco: perpendicolarmente a una lastra di carbone L mobile nel proprio piano di-

1) Stark e Cassuto. Nuovo Cim. Vol. 7, p. 425, 1904.

2) Occhialini. Rend. Acc. Linc. 16, 119, 1907.

sponiamo un carbone cilindrico A fisso (fig. 11). Fra A e L stabiliamo un arco e poi facciamo scorrere la lastra mantenendo inalterata la sua distanza dal carbone cilindrico: allora osserviamo un fatto costante: il cratere posto sulla lastra mantiene inalterata la propria posizione e ne segue i movimenti (fig. 12), tanto se la lastra è anodo, quanto se è catodo. Nell'un caso e nell'altro si ha adesione al cratere, soltanto questa è assai più forte per il cratere negativo che per il cratere positivo.

Fig. 11.

Fig. 12.

Infatti quando la lastra è negativa questo nel suo spostamento porta con sé il cratere finchè l'arco per l'eccessiva lunghezza si spegne; invece se la lastra è positiva il suo spostamento è seguito dal cratere fino a un certo punto oltrepassato il quale il cratere scivola sull'elettrodo.

Per ciò che si è detto precedentemente si può asserire che *l'adesione dell'arco agli elettrodi indica che tanto l'anodo quanto il catodo emettono delle cariche.*

Per quanto riguarda il catodo questo fatto non porta nulla di nuovo; invece così si trova che l'emissione dall'anodo esiste, pur non essendo essenziale nel processo dell'arco elettrico. Ma questa emissione è una conseguenza dell'alta temperatura dell'anodo e, essenziale o no, essa si rivela con particolarità che nello studio dell'arco è necessario mettere in conto.

Con ciò la funzione dell'anodo appare non limitata a stabilire il campo elettrico e a mantenere la corrente col raccogliere i corpuscoli emessi dal catodo; come il catodo, sebbene in misura assai minore, esso fornisce il materiale per la conduzione dell'arco.

16. *Coesione e contrattilità dell' arco.* — Oltre all' adesione che l' arco manifesta sugli elettrodi vi sono altre forze che si manifestano nell' interno dell' arco in conseguenza della sua costituzione: l' arco risultando di un insieme di joni positivi e negativi è soggetto a delle azioni elettrostatiche, per effetto delle quali non riuscirà frammentario o slegato, ma presenterà una notevole coesione.

Queste forze poi tendono a raccorciare l' arco, tanto che una diminuzione della sua lunghezza è sempre accompagnata da una diminuzione della differenza di potenziale agli estremi. Perciò l' arco oltre alla coesione deve presentare una contrattilità in conseguenza della quale esso assume sempre la forma più breve compatibilmente con i vincoli a cui è soggetto. L' arco, dunque, si comporterà per certi riguardi come una fune flessibile ed elastica. Questa contrattilità è posseduta anche dalla luce positiva dei tubi a vuoto e in questo caso è stata verificata dal Villard mediante una serie di esperienze elegantissime riproducenti i fenomeni delle corde vibranti.

CAPITOLO IV.

Azione del campo magnetico sull' arco.

17. Le forze che hanno sede nell' arco e in particolare la coesione e la contrattilità hanno una importanza assai grande nel suo comportamento sotto l' azione del campo magnetico. Tale comportamento è sempre conseguenza del fatto che i joni in moto subiscono per parte del campo magnetico un' azione che tende a deviarli dalla loro direzione primitiva. Ma l' effetto di tali forze può essere assai diverso a seconda che esse riescono a modificare la traiettoria dei singoli joni, oppure si trasmettono per effetto dei mutui legami a tutto l' insieme della colonna che costituisce l' arco, e si traducono in un sistema di pressioni invariate nel tempo e applicate alla colonna come un tutto (§ 6).

Nel primo caso l' arco si comporterebbe come un getto di joni liberi e l' azione del campo sarebbe dovuta al cambiamento di traiettoria subito da essi: l' azione sull' arco potrebbe

chiamarsi *dinamica*. Nel secondo caso l'arco si comporterebbe come un conduttore flessibile e contrattile percorso dalla corrente. Allora l'azione del campo potrebbe chiamarsi *statica*.

Il Villard ¹⁾ a proposito della luce positiva dei tubi a vuoto nega la prima azione e afferma che detta luce e anche l'arco, si comportano non come un getto di joni liberi, ma come un conduttore flessibile.

Ma questa ipotesi mi sembra facilmente controllabile con l'esperienza. Infatti le forze che agiscono lungo l'arco considerato come un conduttore flessibile sotto l'azione di un campo uniforme sono costanti e sempre dirette in ogni punto perpendicolarmente all'arco stesso. La figura di equilibrio in questo caso è ben determinata ed è un arco di cerchio: ma essa non coincide mai con quella assunta dall'arco, talchè l'assimilare quest'ultimo a un conduttore flessibile senz'altro non risponde alla vera condizione delle cose.

L'esame del comportamento dell'arco sotto il campo magnetico forse è atto a indicarci la sua costituzione meglio di qualunque ipotesi.

18. *Forma dell'arco sotto l'azione di un campo magnetico.* — La forma di equilibrio che un arco assume sotto l'azione di un campo magnetico è subordinata oltre che all'intima costituzione sua anche ai vincoli imposti alla mobilità dei crateri dalla forma degli elettrodi. Quindi, affinchè da questo studio possa risultare qualche indicazione a proposito della struttura dell'arco, credo conveniente eseguire la ricerca in modo che sia permesso ai due crateri un'assoluta libertà di movimenti.

Ho per tale scopo disposto le cose nella maniera seguente: due lastre A, B (fig. 13) di carbone furono collocate orizzontalmente e parallelamente una sopra l'altra. Esse erano sorrette per mezzo di due bracci metallici C, D che attraversano due ghiere E, F isolate su bastoni di vetro.

Di fronte ai carboni e con l'asse disposto parallelamente ai loro piani era situato un elettromagnete M; l'intensità del

1) Villard. l. c.

campo magnetico era regolata per mezzo di un reostato inserito nel circuito dell'elettromagnete.

Fig. 13.

In queste condizioni l'arco, che nell'assenza del campo assume la forma rettilinea, si presenta, quando è deviato dal campo magnetico, con l'aspetto della fig. 14. Il cratere negativo è rimasto fisso, quello positivo, mobilissimo, ha seguito la sollecitazione del campo magnetico ed è scivolato lungo la superficie del carbone. Di più tanto sull'anodo quanto sul catodo l'arco si imposta perpendicolarmente alla superficie dell'elettrodo.

Fig. 14.

Data la contrattilità che agisce lungo l'arco tale comportamento all'anodo è perfettamente spiegabile: il cratere anodico in conseguenza della sua debole adesione segue la sollecitazione del campo e scorrendo lungo il carbone si dispone in modo che risulti nulla la componente delle forze di contrattilità parallela alle lastre. In queste condizioni l'impostatura dell'arco non può essere che perpendicolare all'elettrodo.

Ma dalla parte del catodo questa impostatura non può essere conseguenza della posizione assunta dal cratere, perchè il cratere catodico è per sua natura immobile. Essa è dovuta alla costituzione particolare dell'arco presso quell'elettrodo, e non si concilia con l'ipotesi che assimila l'arco a un filo flessibile, giacchè quando ciò fosse esso si disporrebbe ad arco di cerchio cioè secondo una curva che non ha nessuna somiglianza con quella che si osserva nella fig. 14.

19. *L'arco presso gli elettrodi.* — Credo perciò sia inammissibile ritenere che l'arco si comporti *in tutte le sue parti* come un filo flessibile; tanto più che il comportamento che si osserva sotto l'azione del campo magnetico induce a ritenere che nelle regioni aderenti agli elettrodi si comporti come se esistesse veramente un getto di joni liberi.

In altre parole, e per adoperare la nomenclatura introdotta sopra, presso gli elettrodi tutto succede come se l'azione del campo fosse dinamica e non statica.

Il fiocco luminoso che fa capo al catodo ha una piega assai somigliante alla traiettoria di un jone negativo partente dal catodo e mobile sotto le azioni simultanee di un campo elettrico e di un campo magnetico perpendicolari fra loro. Mi sembra dunque molto naturale ammettere che quel fiocco luminoso sia prodotto dai joni negativi che sono lanciati dal catodo con grande velocità e si trovano quindi in condizioni assai adatte per operare delle dissociazioni e per provocare dei fenomeni luminosi.

La deviazione dei joni presso l'anodo rimane, anche se esiste, moderata dalla mobilità del cratere, per la quale, come abbiamo già visto, l'arco si imposta sull'elettrodo positivo

perpendicolarmente a questo nella sua posizione di equilibrio. Però prima che le forze di contrattilità abbiano avuto tempo di trascinare il cratere nella sua posizione finale la traiettoria dei joni positivi piegata dal campo magnetico è perfettamente manifesta. Infatti appena stabilito il campo il cratere positivo resta per un istante fisso e da esso parte un fiocco luminoso, simile in tutto a quello che contemporaneamente si osserva al catodo, che disegna la traiettoria dei joni positivi scagliati con grande velocità dall'anodo e mobili dentro un campo magnetico perpendicolare alla loro traiettoria.

La fotografia riprodotta nella fig. 15 rappresenta questo stato transitorio in un arco stabilito fra due piani.

Fig. 15.

Quando l'arco è molto lungo le cariche in esso distribuite sono di necessità assai lontane le une dalle altre e quindi le azioni elettrostatiche sono in tal caso assai deboli; per questo l'arco in tali condizioni presenta una contrattilità piccola tanto da non arrivare a vincere spesso quella debole adesione che il cratere anodico ha sul proprio elettrodo. In questo caso l'azione del campo sui centri elettrizzati che partono dagli elettrodi è osservabile anche nella posizione di equilibrio dell'arco.

La fig. 16 rappresenta un arco stabilito fra un carbone cilindrico verticale e un piano orizzontale e posto in un campo magnetico orizzontale. La lastra orizzontale è anodo. Evidentemente i due ciuffi luminosi che si attaccano agli elettrodi

disegnano una curva simile alla traiettoria seguita dalle due specie di centri respinti dagli elettrodi omonimi.

Fig. 16.

20. *L'arco soffiato con la corrente d'aria.* — Per eliminare il dubbio che le curve notate non siano dovute alle traiettorie dei joni ho cercato se esse si presentano quando la deviazione dell'arco è ottenuta mediante un agente che non operi sui singoli joni, ma che trasporti l'arco come un tutto.

Credo che una corrente d'aria possa soddisfare bene a questa esigenza.

Fig. 17.

Fig. 18.

Le fig. 17 e 18 sono ottenute nelle stesse condizioni soffiando un arco stabilito fra due piani con un campo magnetico (fig. 17) e con una corrente d'aria (fig. 18). Nei due casi i due crateri sono ugualmente distanti l'uno dall'altro; però l'arco soffiato col campo magnetico si mostra chiaramente di-

viso in due parti rappresentate dai due ciuffi luminosi che si staccano dai due crateri e che presentano la piega della traiettoria dei joni che partono dai due elettrodi ¹⁾; invece quello soffiato con la corrente d'aria non presenta questa particolarità, si mostra costituito in modo continuo e si imposta sulla lastra positiva perpendicolarmente a questa.

A parer mio la differenza fra questi due casi non può essere imputata altro che a un'azione selettiva dell'agente deviatore sui singoli joni, la quale è presente col campo magnetico e con la corrente d'aria manca.

21. *La costituzione delle varie parti dell'arco.* — La ragione per la quale l'azione di un campo magnetico sui singoli joni è visibile soltanto in prossimità degli elettrodi è chiara dopo quanto si è detto precedentemente. Affinchè questa azione sia sensibile è necessario che ai joni sia riservato un tragitto considerevole. Ma ciò è possibile soltanto allorchè i centri hanno velocità tanto grandi da potersi fare una strada libera sufficientemente lunga attraverso alle molecole dissociate dal loro urto.

Ora è da ricordare che il campo elettrico è forte solamente in prossimità degli elettrodi; quindi nessuna meraviglia che in questa regione soltanto si verifichino quelle particolarità che abbiamo notato.

La regione centrale dell'arco è sede di un campo relativamente debole, tantochè in essa gli urti frequenti hanno per effetto di arrestare immediatamente i centri. Allora l'azione del campo magnetico resa efficace soltanto fra un urto e il successivo dura troppo poco per dare effetti sensibili. Di più in queste condizioni i legami elettrostatici fra le diverse parti dell'arco sono assai vivi e danno alla parte centrale dell'arco una coesione forte. Dunque la parte centrale, ma soltanto quella, presenta nell'arco dei caratteri che la fanno assomigliare ad una fune flessibile e alla luce positiva. Presumibil-

1) Nella riproduzione della fig. 17 sono stati perduti molti particolari che sono chiaramente visibili nella fotografia originale. In questa i due ciuffi che partono dagli elettrodi si mostrano chiaramente separati e ripiegati com'è detto nel testo.

mente i fenomeni notati dal Villard sulla luce positiva sono facilmente osservabili in quanto la scarica nei tubi a vuoto è molto lunga. Nell'arco il tratto che possiede queste caratteristiche può essere notevole negli archi lunghi (fig. 16) ma è spesso brevissimo.

22. Si potrebbe obiettare che con la spiegazione data sembrerebbe che in vicinanza di ogni elettrodo il campo magnetico agisse su una sola specie di joni, quella che dall'elettrodo è respinta: mentre si sa che ivi sono presenti ambedue le specie di joni.

Ma a spiegare ciò basta notare che quei centri che sono respinti dall'elettrodo possiedono inizialmente una velocità abbastanza grande per potersi far strada attraverso al gas e dar tempo così al campo di rendere sensibile la propria azione; mentre quei centri che sono attratti da un elettrodo provenendo da regioni in cui il campo è debole non hanno forza viva sufficiente per percorrere un lungo cammino. È vero che anche questi ultimo di mano in mano che si avvicinano all'elettrodo si trovano in un campo sempre più intenso; ma è vero altresì che la strada che rimane loro a percorrere diventa sempre più piccola di mano in mano che essi si avvicinano all'elettrodo, talchè quando essi hanno acquistato una velocità da renderli atti a percorrere un lungo tragitto essi sono tanto vicini all'elettrodo da averne interrotta la corsa.

23. *Il movimento del cratere negativo.* — Non è detto però che il campo magnetico non eserciti in condizioni speciali una sensibile azione presso un elettrodo anche per quei joni che sono diretti verso l'elettrodo stesso. Questa azione avrebbe al catodo per effetto di cambiare la regione bersagliata dai joni positivi e quindi di spostare il cratere negativo. Ora il cratere negativo non è sempre immobile, sebbene la sua mobilità sia estremamente più piccola di quella del cratere positivo. Chi osserva l'arco stabilito fra due piani orizzontali sotto l'azione di un campo orizzontale molto intenso, vede che anche il cratere negativo si sposta faticosamente lungo

la superficie dell'elettrodo e ha l'impressione che l'arco, appoggiandosi saldamente sul carbone positivo, si tiri dietro, ma con stento, il cratere negativo.

Questo non è che apparenza giacchè si è visto che la base dell'arco che si appoggia all'elettrodo positivo non è molto aderente all'elettrodo stesso; lo spostamento del cratere negativo va ricercato nello spostamento dei joni positivi che vi si precipitano. Questi in condizioni ordinarie risalgono la corrente dei corpuscoli che crea una strada di grande conducibilità; ma sotto l'influenza del campo magnetico intenso essi sono abbastanza deviati da far capo sul catodo in una regione vicina al cratere.

Questa regione diventerà a sua volta cratere quando il numero dei joni positivi che lo colpiscono sarà tale da renderla rovente. Ma siccome per ottener ciò è necessario un certo tempo, così questa sostituzione di un cratere a un altro anche con campi intensi presenta una notevole difficoltà.

Così si spiegano quello stento e quelle pause più o meno lunghe che accompagnano il movimento del cratere negativo.