ESPERIENZE SULL'ARCO ELETTRICO A MERCURIO CON UN CATODO FORATO.

Nota di A. SELLERIO.

Un arco elettrico viene stabilito prendendo come anodo un menisco di mercurio, e come catodo una lastrina sottile di metallo, o di carbone posta poco al di sopra.

Regolando le cose convenientemente, la colonnina di vapori di mercurio che sorge dall'anodo e si slancia verso il catodo rimane per breve tempo quieta ¹⁾. In tali condizioni la lamina si consuma in corrispondenza del catodo, finchè a un certo punto si produce un forellino sottile. Si osserva allora che *l'arco, o per esser più precisi, la colonnina di vapori che sorge dall'anodo passa al di là della lastrina e forma una fiammella sormontata da un alto pennacchio di fumo bianchiccio.*

Con molte altre sostanze questo fatto non si presenta.

Se si prova ad es. con un anodo di carbone, si vede che la lamina vien forata facilmente anche se è grossa, ma l'arco non si prolunga al di là, sibbene si incurva per mantenere l'aderenza all'orlo del foro e tutto al più, se questo è ampio, una parte dell'aureola si estende al di là senza innalzarsi.

Il privilegio del mercurio dipende probabilmente dalla concorrenza di due condizioni van-

¹⁾ Maggiore stabilità si ottiene quando il catodo è costituito da una esile bacchetta di carbone terminata in punta. Questo arco mi è servito di base per un « Contributo allo studio quantitativo dell'arco elettrico ecc. » *Nuovo Cimento*, novembre-dicembre 1921.

taggiose: l'alta volabilità, ossia il basso punto di ebollizione e la tenue ossidabilità.

Come catodo usai da principio lastrine di carbone da microfono, ma poi continuai per comodità con lastrine di rame, sicchè quel che riporterò si riferisce particolarmente all'arco $\text{Hg}^+ | \text{Cu}^-$.

Le lastrine devono essere sottili — perchè diversamente l'arco trova difficoltà a forarle — ma non troppo, giacchè allora il forellino si allarga subito, l'arco si muove e si spegne.

Si deve anche evitare che la superficie della lastrina sia troppo grande, affinchè non vada disperso troppo calore.

Vanno bene laminette di 3 cm.² all'incirca, su uno spessore di 5 a 10 decimi di millimetro, montate su apposito supporto che ne permette il facile ricambio.

Mi è riuscito molto comodo mettere il mercurio in un tubo ad U di legno: il ramo che utilizzavo per l'arco e la traversa hanno il diametro interno sottile, circa 3 mm., l'altro ramo ha in testa una svasatura che forma un buon serbatoio a livello.

Differenza di potenziale agli estremi dell'arco intorno a 35 volt, corrente da 1 a 2 amp.

La *fiammella* è rossiccia arancione, e quando raggiunge sufficiente lunghezza presenta una parte più interna bianca splendente come è dentro l'arco.

Troncando il *fumo* bianchiccio con una grande lastra, vi si deposita un velo di mercurio; e così si riconosce che il *pennacchio* è costituito da vapore o da goccioline minutissime di questo metallo, frammisto forse a rame.

Elettrizzazione.

Il presente studio mi venne in mente come concatenazione dell'altro citato. In esso assegnavo gran parte del trasporto dell'elettricità agli ioni Hg, positivi lanciati verso il catodo. Pensai perciò che alcuni ioni $+$ sarebbero riusciti a tra-

versare il forellino e scappare come nel caso dei raggi canali, e quindi si sarebbero dovute riscontrare tracce di elettrizzazione positiva nei vapori di mercurio che hanno attraversato il foro.

Diversi sperimentatori hanno studiato le particelle uscenti dall'arco elettrico, o vaganti nelle sue immediate vicinanze, facendole deviare artificialmente, con mezzi meccanici, come correnti di aria ¹⁾. Quantunque le particelle ottenute così siano diverse per natura e funzioni da quelle che han gioco predominante nell'arco, pure (non potendosi accedere direttamente nell'interno) la loro conoscenza può, in mancanza di meglio, dire qualche cosa su quello che c'è al di dentro. Ora il catodo (o eventualmente l'anodo) forato è il mezzo più spontaneo per questo studio, ed evita di ricorrere agli artifici meccanici suaccennati.

Ho inserito l'arco fra $+150$, -150 per il tramite di due resistenze; una verso il $+150$, e l'altra verso il -150 . Regolandole opportunamente con $R + R' = \text{cost.}$, per mantenere una data corrente, si può tenere il catodo a un potenziale $V \gtrless 0$ a piacere, mentre funziona l'arco con costante d. d. p. agli estremi.

Tenendo il catodo a potenziale $V = 0$, esposi al pennacchio di fumo un largo conduttore congiunto al piattello inferiore di un elettroscopio condensatore, mentre l'altro piattello e la custodia metallica erano collegati al suolo.

Spento l'arco e allontanato il piattello superiore dell'elettroscopio, le foglioline si aprirono, manifestando una carica positiva, come avevo previsto.

La divergenza delle foglioline, piccola se il conduttore è rimasto per poco tempo in presenza dei vapori e gas costituenti il fumo, cresce col tempo d'esposizione, ma naturalmente fino ad un certo limite. Questo si spiega così: nella

¹⁾ Vedansi per es. Merrit e Stewart *Phys Rev.*, 7, p. 129 (1898) e una serie di lavori di Child in *Phys Rev.* e *Phys Zeit.* intorno al 1902.

corrente di *fumo* che ascende vi è prevalenza di particelle positive che incontrando nel loro cammino il conduttore vi si depositano. Il conduttore in virtù della carica acquistata genera una forza elettrica antagonista che respinge i corpuscoli positivi sopravvenienti, o attira i negativi. In fenomeni di questo genere si stabilisce quindi un *regime* caratterizzato dal *potenziale limite* a cui si porta il conduttore.

Ho voluto poi accertare sperimentalmente che il conduttore si carica proprio perchè il *fumo* è elettrizzato e non per una qualsiasi azione provocata da gas o vapori ionizzati in presenza di eventuali campi elettrici, o in forza di diversa velocità delle particelle dei due segni: feci in modo che il getto di fumo entrasse in un pozzetto di Faraday, circondato

a sua volta da un altro più grande collegato a terra, che serviva da schermo elettrostatico. L'elettroscopio collegato al pozzetto interno diede la solita deviazione, confermando così che il fumo immesso nel pozzetto era elettrizzato.

Teniamo ora la lastrina a un potenziale $V < 0$, per il che basta crescere R , e diminuire di altrettanto R' , lasciando tutto il resto immutato. Allora se V è sufficientemente basso, il fumo uscente si trova elettrizzato *negativamente*.

Se invece è $V > 0$, si ripresenta elettrizzazione positiva rinforzata.

Questi fatti mi indussero a pensare che si ha da fare con due cause distinte. Dall'anodo partono ioni Hg^+ mescolati a particelle neutre: ora da un canto alcuni ioni $+$

riescono a sfuggire attraverso il forellino come nei raggi canale, d'altro canto passano pure per il forellino alcune particelle di mercurio che erano neutre quando evaporarono, furono trascinate meccanicamente nell'arco e sfiorando poi il catodo, o mescolandosi coi vapori di esso, si caricano $\pm$ secondo il potenziale della lastrina catodica.

Così se questa è a potenziale 0, agisce solo la prima causa; se V è positivo, l'elettrizzazione $+$ del fumo viene accresciuta, e se V è negativo essa viene indebolita o invertita di segno.

Se questo modo di vedere è giusto, ci deve essere un certo potenziale V *negativo* tale che con esso le due cause si compensino. Per tentativi trovai che con $V = -10$ i vapori o gas non presentano elettrizzazione: questo è appunto il *potenziale di compenso*.

Se poi si fa variare V , tenendo sempre costante la corrente e la d. d. p. agli estremi dell'arco, la divaricazione δ delle foglioline dell'elettroscopio condensatore usato come sopra ¹⁾, assume i valori:

V Volt	-65	-40	-40	-35	-28	-20	-18	-12
segno dell'elettrizzazione	-	-	-	-	-	-	-	-
δ in cm.	3,5	2	1,8	1,5	1,2	0,7	0,7	0,1

-10	-10	-10	-3	0	+4	+	+10	+25	+28	+40	+30	+54
-	-	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
0,1	imper- cett.	0	0,4		0,4	0,8	1	2,2	2	2,7	3,5	3,8

¹⁾ Tarandolo, ho visto che ogni cm. di δ equivale in media a 16 volt circa.

riportati nella figura 3.

fig. 3

In conclusione rimane assodato che :

- l'arco Hg + contro un catodo forato, lancia al di là *parti celle positive* ;
- quest'effetto è indebolito, o accresciuto secondo il potenziale della lastrina catodica. In tutte le esperienze di questo genere non basta a priori considerare solo la polarità e la diff. di pot. degli elettrodi, ma bisogna tener conto anche dei singoli potenziali locali. Se questo si trascura, si possono avere facilmente false interpretazioni e risultati discordi.

Temperatura della fiammella.

Sottili sonde di vetro o di rame introdottevi, vi si fondono facilmente; lo stesso avviene, sebbene con qualche difficoltà, con un nastrino esile di platino (spessore $\frac{1}{10}$ di mm.; larghezza 1,5), quindi siamo sopra i 1700°. Questo già nella parte rossastra della fiammella, che è come ho detto, la più esterna. Se poi si penetra nella parte interna, si trova una temperatura molto più elevata. Prendiamo un sottile bastoncino di carbone — diametro da 2 a 3 mm. — colleghiamolo elettricamente alla lastrina Cu attraverso una resistenza e una forza elettromotrice e immergiamone l'estremità nella *fiammella*. Dopo alcuni istanti, nel tratto dei vapori di mercurio scocca l'arco fra la punta del carbone e la lastrina. Ciò è causato precisamente dall'alta temperatura alla quale si porta l'estremità del carbone, ed avviene subito quando esso è a potenziale più alto della laminetta, cioè fa da anodo di questo secondo arco; un po' più lentamente nel caso contrario. Questa differenza conferma ancora una volta le odierne vedute sulla funzione del catodo nell'arco.

Osservazioni spettroscopiche ¹⁾.

Son rese molto difficili dalla instabilità del fenomeno; gli spettrogrammi stessi riescono discreti solo dopo un lungo tirocinio. Ho trovato un vantaggio nell'aggiunta di *autoinduzione*, ma mi son convinto alla fine che solo operando a *pressione ridotta* e con *lastre rapidissime* si potranno avere

¹⁾ Ho trovato una ricerca che ha una certa analogia con la presente: R. J. Strutt. Vapeurs lumineuses distillées de l'arc, avec application à l'étude des séries spectrales et de leur origine, Radium 11, p. 200, (1914-1919). L'arco è nel vuoto parziale, i metalli evaporati fanno da catodo: lo Strutt studia spettroscopicamente come si va estinguendo la *postluminescenza* dei vapori, man mano che si allontanano dall'arco traversando un disco, o un tappo metallico forato, che fa da anodo.

dei risultati buoni, e allora sarà il caso di ricorrere a dispersioni più forti.

Espongo intanto quel che ho potuto già notare.

Chiameremo, per abbreviare, spettro *trans* quello che si presenta nella regione luminosa al di là della lastrina di rame, e spettro *cis* quello che si presenta al di qua, cioè nella regione fra gli elettrodi.

L'attenzione va rivolta sia a questi spettri singolarmente, sia al loro confronto, come pure al confronto con quello consueto che si presenta quando l'arco non ha ancora forato la lastrina catodica.

Con l'arco $\text{Hg} + |\text{Cu}^-$ si nota a un primo esame che lo spettro *cis* non differisce sostanzialmente nella sua costituzione da quello *trans*, ma è in generale differente la distribuzione delle intensità. Per esempio, guardando allo spettroscopio, si vedono talora nel *trans* cioè nella *fiammella* le bande rosse del rame, le quali nel *cis* compaiono più raramente e più deboli.

Le righe del mercurio si distinguono a colpo d'occhio da quelle del rame: *le prime sono lunghe e partono tutte dal basso cioè dall'anodo, mentre invece quelle del rame sono sì può dire limitate alle vicinanze della lastrina e si estendono più al di sopra che al di sotto.*

Tale diversità si riscontra in tutte le fotografie ¹⁾. Esse sono state ottenute, al solito, proiettando sulla fenditura dello spettroscopio l'immagine dell'arco. Se non che, siccome questo non si forma, o non si mantiene, esattamente al punto preveduto nella messa a fuoco, l'immagine della lastrina che è vista di taglio non si forma costantemente sulla fenditura, e così la separazione dei due spettri *cis* e *trans* non appare sempre netta.

¹⁾ Uno spettro come quelli mostrati qui, si presta assai bene alla taratura *pronta* di uno spettrografo, perchè si hanno a disposizione le numerose righe sia del mercurio che del rame, senza pericolo che si confondano.

Il diverso aspetto presentato dalle righe di Hg e di Cu per riguardo all'*intensità*, alla *lunghezza* e alla *localizzazione* non credo si possa spiegare mediante una diversa potenza eccitatrice, perchè i vapori di rame vengono prodotti al catodo, dove ha sede al solito una forte caduta di potenziale al contatto metallo | gas, caduta che forse supera quella anodica ¹⁾.

Invece dobbiamo pensare o che i vapori Hg siano in prevalenza a causa della maggiore volatilità di questo metallo, o che essi a parità di altre circostanze emettano più facilmente le vibrazioni luminose. Vedremo che l'una e l'altra causa entrano a parte della spiegazione.

In quanto alla prevalenza dei vapori di mercurio, è da mettersi fuori dubbio: essi costituiscono un vero zampillo luminoso che parte dall'anodo e prosegue velocemente ²⁾ traversando la lastrina.

Guardiamo la fig. 4 che costituisce una cosiddetta *fotografia monocromatica* presa secondo il metodo di Lockyer, Lenard, Puccianti ecc. senza la fenditura del collimatore. In essa si vede che i vapori di rame prodotti in quantità relativamente scarsa all'orlo del forellino formatosi sulla laminetta sono in parte stagnanti in basso, e in parte più cospicua vengono trascinati verso l'alto nella *fiammella* dove continuano a emetter luce. Ora se la scarsa presenza di vapori Cu può esser sufficiente a spiegare l'assenza quasi totale di righe di rame nella parte bassa del *cis*, questa spiegazione è insussistente per la parte alta del *trans*.

Quindi bisogna concludere che i vapori Cu usciti dalla fiammella si spengono quasi subito; mentre invece — si confronti nella fig. III la più lunga del rame che è la 5105 con la più lunga di Hg che è la 4359 — i vapori di mercurio

¹⁾ Il voltmetro inserito fra anodo e catodo non accusa alcun comportamento anormale quando la laminetta vien forata.

²⁾ Velocità da 10 a 20 m | sec. secondo il computo che ho fatto altrove (l. c.).

emettono, (almeno certe righe) anche dopo che sono usciti dalla *fiammella*. Questa loro *postluminescenza* che fu prima osservata nelle lampade di quarzo, vien certo favorita dalla maggiore difficoltà che essi hanno, in confronto dei vapori di rame, a condensarsi ed ossidarsi, ma è dovuta principalmente a qualche causa speciale che ancora non si conosce con esattezza.

Nello spettro del rame ¹⁾, a parte la 5105 ed altre non classificate, vengono prima qui per lunghezza e intensità le doppie della prima serie accessoria, cioè:

$$\left\{ \begin{array}{l} 5220 \text{ IN, I } 4 \\ 5153 \text{ IN, II } 4 \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} 4063 \text{ IN, I } 5 \\ 4022 \text{ IN, II } 5 \end{array} \right.$$

e poi quelle della seconda serie accessoria:

$$\left\{ \begin{array}{l} 4531 \text{ II N, I } 4 \\ 4480 \text{ II N, II } 4 \end{array} \right.$$

Nella fotografia III del *trans* si notano due leggere bande sfumate verso il rosso.

$$4712 \qquad 4456$$

date da Hartley.

In quanto allo spettro del mercurio ²⁾, sta al primo piano la tripla, $m = 2$.

$$5460 \qquad 4358 \qquad 4046$$

¹⁾ Kayser, vol. II, p. 530; V, p. 398, e 414 (bande). Tralascio i decimali.

²⁾ La morfologia dello spettro Hg quale risulta dai lavori di Paschen e della sua scuola è riassunta da G. Wiedmann. *Ann. d. Phys.*, 38, p. 1041 (1912).

attribuita dal Paschen ad una serie principale di triple (*Triplet H S*). La 4358 nella sua parte centrale è qualche volta invertita, come si riconosce nella negativa della II. Seguono, un poco più corte, le righe

$m=3$	$m=4$	$m=5$
5790	4347	e forse 3906
89	43	03
69	39	02

della prima serie accessoria di linee semplici (*I N S einfacher Linien*) con le sue due combinazioni. Più corte ancora si presentano le righe

4916	4108
------	------

della seconda serie accessoria di linee semplici (*II N S einfacher Linien*) corrispondenti ad $m=3,5$ $m=4,5$.

La riga 4227 che si trova sulla fotografia III non può essere del mercurio, perchè sulla base anodica Hg manca costantemente, e si trova solo — e di rado — più sopra; quindi, malgrado sia stata riscontrata qualche volta sullo spettro Hg, ¹⁾ qui è da attribuirsi piuttosto al calcio, il quale mostra in questa riga una post — luminescenza.

Con lastrine di carbone.

Guardando lo spettro di quest'arco Hg + | C — prima e dopo che la lastrina C — venga forata, ho notato che prima il vapore di carbonio emette pochissimo, ed è pure assai debole l'emissione dovuta alle impurezze metalliche della lastrina C —.

Quando invece essa è forata, si presenta uno spettro ricchissimo: compaiono facilmente le bande Cy, numerose

¹⁾ Stiles ed Eder e Valenta; in Kayser V, p. 541.

righe di impurezze e anche qualche banda di Swann come la 4737 a 5 teste.

Da che cosa possono dipendere questi fatti?

Per Cy vien subito di pensare alla presenza di azoto, giacchè dopo che la lamina è forata esso si troverà in maggiore quantità e raggiungerà più facilmente le regioni dove la temperatura o l'eccitazione in genere è più elevata. Analoga spiegazione si potrebbe invocare per le righe delle impurezze metalliche, ricorrendo all'ossigeno, il quale favorisce la loro comparsa, anzi sembra condizione necessaria.

Tale necessità fu spiegata dal Prof. La Rosa ¹⁾ ammettendo che sull'arco a carboni si formino dei carburi metallici, quando non interviene l'ossigeno a impedire questa formazione. La spiegazione si adatterebbe bene anche qui per le righe di Mn, Ca, Al ecc., metalli che danno carburi, ma non giova p. es. per il rame (che dopo la perforazione presenta bene le righe 4275 — 67 — 49; 4063) giacchè esso non forma carburi.

D'altra parte sappiamo che bastano talvolta *tracce* di ossigeno per far brillare le righe di impurezze, quindi la loro estinzione quasi completa nell'arco Hg + C — prima della perforazione e la ricomparsa insieme allo spettro C di Swann e Cy, non potrà essere spiegata in modo completo senza ricorrere a qualche altra causa che va forse cercata in un certo *antagonismo* col mercurio. Tale antagonismo o *dissonanza* andrebbe preso in questo senso: se si ha una miscela di vapori o gas sottoposti a forte eccitazione, questa eccitazione non si distribuisce uniformemente, ma invece si porta a preferenza sulle particelle di una determinata sostanza, le quali perciò emettono molto di più.

Infatti è assodato che l'introduzione sull'arco C/C di certi metalli come K Na Li Rb, Cs Ba Ca Sr se non fa scomparire del tutto le bande C, Cy come aveva asserito Snow, le

¹⁾ M. La Rosa, *Nuovo Cimento*, 20, p. 341, (1910).

attenua però in modo straordinario, mentre altri metalli si comportano in modo indifferente (Ag, Ca) ed altri ancora (Zn, Cd) secondo il Baldwin talvolta le rinforzano ¹⁾.

Nello stesso ordine di idee si può pensare anche che la presenza di certe sostanze imponga un *limite* all'eccitazione raggiungibile per le vibrazioni luminose — qualche cosa di analogo al principio della *parete fredda*.

Nelle attuali esperienze, dopo la perforazione della lastrina C, i vapori Hg hanno più libero corso e quindi cessata vicino all'orlo del foro la loro azione *antagonista* e *limitatrice*, la potenza impiegata elettricamente o chimicamente si innalza e si sposta verso la materia di cui è formata la lastrina. Quindi i loro spettri sull'orlo del foro debbono raggiungere un grado di eccitazione più elevato.

La fotografia V mostra lo spettro Hg + | C — poco prima della perforazione. Oltre la quasi assenza delle bande del carbone (C, Cy) e delle righe di impurezze metalliche, si nota che alcune di queste, come le Ca 4227 e 3934, Al 3962 e 3944 mancano nella parte centrale nel *cis* e compaiono invece agli estremi, cioè nelle immediate vicinanze del catodo e dell'*anodo*. Aspetto simile ho riscontrato in alcune linee di Cu nel caso Hg + | Cu —. L'indebolimento della parte centrale è attribuibile anch'esso alle cause generali sopra indicate, cause che nelle vicinanze degli elettrodi per le forti cadute anodica e catodica, vengono in questo caso superate.

La fotografia VI è stata presa dopo la perforazione della laminetta C —. Appaiono, ma deboli, le teste di banda 4737 C, brillanti le bande Cy e le righe d'impurezze. Si noti

¹⁾ Baldwin. *Phys. Rev*, 3, p. 370 e 448 (1895). Altra letteratura in Kayser, vol. I, p. 167.

È questo un argomento che andrebbe approfondito a parte, da un punto di vista generale, riprendendo certe esperienze di Liveing e Dewar: Ueber das Verschwinden einiger Spectrallinien und die Veränderungen der Spectra von Mischungen von Metaldämpfen, Beibl. 6, p. 676 (1882). L'originale è in *Proc. Roy. Soc.*, 33, p. 428 (1882).

però che questo avviene nello spettro *trans* cioè nella *fiammella*, mentre il *cis*, cioè il vero e proprio arco rimane quasi immutato. Con una posa prolungata, lo spettrogramma presenta nel *trans* una straordinaria ricchezza di linee, quantunque l'intensità della corrente sia molto modesta.

Palermo, dicembre 1921.