ATTI

DELLA

REALE ACCADEMIA DEI LINCEI

ANNO CCCX.

1913

SERIE QUINTA

RENDICONTI

Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali.

VOLUME XXII.

2° Semestre.

ROMA

TIPOGRAFIA DELLA R. ACCADEMIA DEI LINCEI

PROPRIETÀ DEL CAV. V. SALVIUCCI

1913

Fisica. — *Nuove esperienze sull'anodo virtuale nei tubi a raggi magnetici.* Nota del Socio AUGUSTO RIGHI [1].

Fino da quando pubblicai la mia Nota: *Sui raggi magnetici in diversi gas* [2] in risposta a quella, avente lo stesso titolo, dei signori T. More ed E. Rieman [3], mi ero proposto di prendere di nuovo in esame quella, delle mie esperienze sui raggi magnetici, che questi fisici avevano ripetuto, e che aveva ad essi fornito risultati diversi dai miei, quando adoperarono gas differenti dall'aria. Soltanto di recente ho avuto agio di soddisfare tale mio desiderio con una serie di esperienze numerose, che descriverò e discuterò estesamente fra non molto in una speciale pubblicazione. Colla presente Nota intendo far conoscere intanto i nuovi risultati da me conseguiti, dopo di che mi occuperò di una nuova Nota sull'argomento dovuta ai signori More e Mauchly [4], rispetto alla quale trovo per ora sufficienti alcune poche osservazioni.

L'esperienza di cui si tratta è stata tante volte descritta, ed ultimamente anche nella Nota di More e Rieman, che posso considerarla come conosciuta dal lettore. Essa mostra che quando per azione del campo magnetico appare con insolita estensione un fascio di raggi catodici presentante certi caratteri, che hanno consigliato parecchi fisici a dar loro una speciale denominazione (*raggi catodici di seconda specie*, o *raggi magnetocatodici*, o *raggi magnetici*), sul prolungamento di quel fascio può comparirne un altro avente il colore ed i caratteri della colonna positiva d'una scarica usuale.

A questa colonna di luce, che costituisce un fenomeno secondario dovuto ai raggi magnetici, More e Rieman dànno il nome di *colonna indotta*. Per l'addietro non mi sembrò necessario darle un nome speciale; però, allo scopo di evitare equivoci, l'ho chiamata così anch'io nella Nota citata più sopra. Ma siccome non si ha qui nessun vero fenomeno d'induzione, la indicherò invece d'ora in avanti colla denominazione di *colonna secondaria*.

Il fenomeno si produce particolarmente bene coi tubi da me all'uopo ideati, aventi il catodo ad una estremità, attigua al polo del rocchetto produttore del campo magnetico, e disposti col loro asse sul prolungamento di quello del rocchetto, mentre l'anodo è collocato in un ramo laterale. Il lettore può vederne la forma nelle figure delle mie pubblicazioni, per esempio

(1) Pervenuta all'Accademia l'11 settembre 1913.
(2) Phil. Mag. November (1912), pag. 804.
(3) Phil: Mag: August (1912), pag. 307.
(4) Phil: Mag: August (1912), pag 252.

nella fig. 1 a pag. 32 nel fascicolo del Nuovo Cimento del gennaio 1910. La esperienza principale si effettua studiando l'azione prodotta sulla colonna secondaria da un debole campo magnetico trasversale prodotto, per esempio, da un rocchetto. Nella detta figura, B E è il fascio di raggi magnetici, E F la colonna secondaria, ed S il rocchetto esploratore. L'effetto che si osserva è una deformazione della colonna secondaria, quale dovrebbe prodursi se in una data regione di essa esistesse un anodo (anodo virtuale), e vi fossero due catodi verso le estremità del tubo.

Secondo l'ipotesi sulla natura dei raggi magnetici, che mi ha guidato sempre nelle mie ricerche sopra tale argomento, i detti raggi non sono semplicemente dei raggi catodici (di forme rese elicoidali dal campo magnetico) ma essi contengono altresì delle coppie neutre costituite da un ione positivo, intorno a cui gira un elettrone a guisa di satellite. Di tali coppie verosimilmente se ne formano in ogni caso entro un gas ionizzato, però esse passano inavvertite perchè orientate senza regola ed estremamente instabili; ma in presenza di un campo magnetico, quelle, nelle quali l'elettrone gira in un certo senso, sono rese meno instabili, ed in pari tempo la forza agente sulla corrente chiusa rappresentata dall'orbita dello elettrone le spinge nel senso in cui l'intensità del campo diminuisce. Da ciò proverrebbe in parte almeno l'allungarsi del fascio magnetocatodico, che si osserva quando si fa crescere (sino ad un certo limite) l'intensità del campo magnetico.

Ciò posto, ecco quale sarebbe la spiegazione dell'*anodo virtuale*: Le coppie ione-elettrone sono incessantemente distrutte per opera delle collisioni molecolari; ma se ne formano di nuove, però in quantità che naturalmente decresce andando verso i luoghi in cui l'intensità del campo è minore. Accade, così, che ioni positivi ed elettroni, provenienti dallo scindersi delle coppie, si trasportano, in virtù della loro velocità, verso il fondo del tubo, che gli ultimi facilmente raggiungeranno in gran parte, mentre i ioni positivi si arresteranno prima e formeranno l'anodo virtuale. Questa lunga spiegazione non è qui superflua, viste alcune delle obbiezioni messe avanti, poichè il lettore può ora da sè solo rimuoverle.

More e Rieman hanno in tutto confermato i fatti da me descritti, finchè hanno adoperato, come avevo sempre fatto io in passato, dei tubi contenenti aria, come pure impiegando altri miscugli gassosi contenenti azoto; mentre non è stato così con un gas puro, come azoto, idrogeno, ossigeno e anidride carbonica. In questi casi, essi hanno veduto inflettersi ovunque la colonna secondaria come se non esistesse anodo virtuale, o, più esattamente, come se questo si trovasse alla estremità del fascio di raggi magnetici [1].

[1] Benchè abbia riservato alla fine della presente Nota le mie osservazioni alla recente Nota di More e Mauchly, trovo acconcio di farne una sin da ora a proposito di quanto dicono in fondo alla pag. 254. Volendo opporsi all'interpretazione ripetuta qui nel testo (e cioè che l'anodo virtuale può rinvenirsi all'estremità dei raggi magnetici),

Prima di accingermi a verificare questo risultato, ero perfettamente disposto ad ammetterne l'esattezza. Ma ho dovuto finire per convincermi, dopo innumerevoli esperienze e coll'impiego d'ogni più minuziosa cura per assicurare la purezza dei gas (particolarmente dell'idrogeno e dell'ossigeno) che con tutti i gas messi ad esperimento possono ottenersi gli stessi effetti constatati coll'aria, a condizione però di scegliere opportunamente le condizioni sperimentali (dimensioni del tubo, pressione del gas, intensità della corrente che lo attraversa, intensità del campo magnetico). Oltre ai due gas menzionati, ho sperimentato anche coi seguenti, che però non mi curai di rendere assolutamente puri: azoto, anidride carbonica, ossido di carbonio, vapore d'etere, vapore di cloroformio.

E qui non posso astenermi dal ripetere che, quand'anche fosse vero che con certi gas e non con certi altri sia possibile di constatare l'esistenza dell'anodo virtuale, ciò non constituirebbe affatto una seria obbiezione contro l'ipotesi da me proposta, come mostrano di credere i fisici citati.

Infatti, dei gas differenti, e quindi ioni positivi di masse e strutture diverse, possono fornire coppie aventi caratteri differenti, particolarmente in quanto alla loro stabilità ed alla mobilità loro. Dunque l'influenza della natura del gas sui fenomeni non è contraria alla mia teoria, ma è da essa preveduta; e la sua precisa constatazione vi aggiunge verosimiglianza.

Per questo motivo ho eseguito una lunga serie di misure destinate a determinare in varie circostanze la posizione occupata dall'anodo virtuale, e cioè la sua distanza dal catodo. Tale determinazione, fatta spostando il rocchetto esploratore sinchè di fronte ad esso la colonna secondaria resti nell'asse del tubo, o si sdoppi simmetricamente, non è naturalmente suscettibile di molta precisione per evidenti ragioni, fra cui quella, che l'anodo virtuale pare costituito spesso da una estesa nube di ioni positivi; ma con ripetute esperienze si giunge a risultati abbastanza netti, specialmente adoperando un tubo lungo non meno di un metro e mezzo, per potere costruire una curva, avente per ascisse le distanze dell'anodo virtuale dal catodo, e per ordinate le intensità del campo magnetico.

È facile imaginare la forma di tali curve, già sapendosi che, a parità delle altre condizioni, la distanza dell'anodo virtuale dal catodo cresce (sino a un certo punto, che generalmente non si raggiunge se la rarefazione è sufficiente) al crescere del campo. Esse diversificano poco da rette dirette all'in su andando nel senso delle ascisse crescenti; in realtà presentano spesso verso questo asse, specialmente con taluni gas, una certa convessità.

---

essi dichiarano che esso necessariamente deve trovarsi oltre questa estremità di tanto quant'è il cammino libero degli ioni. Ma con ciò implicitamente ammettono che tutte le coppie si rompano alla detta estremità, mentre in realtà molte si scinderanno assai prima d'arrivarvi.

Per uno stesso gas le curve corrispondenti a diverse pressioni si trovano l'una al disopra dell'altra, distribuite in ordine di rarefazione crescente andando dall'una all'altra verso l'asse delle ascisse. Si sapeva già, infatti, che i ioni positivi vanno a formare l'anodo virtuale in un luogo tanto più lontano dal catodo, a parità di campo magnetico, quanto più rare sono le molecole che possono arrestarli, e, quindi, quanto più spinta è la rarefazione.

Il confronto fra le curve ottenute coi diversi gas ha dato un risultato interessante.

Il luogo in cui arrivano i ioni positivi, provenienti dalla scissione delle coppie ione-elettrone, dipende naturalmente dalla velocità impressa alle coppie stesse dalla forza magnetica, e per conseguenza dipende:

1°) dall'area racchiusa dall'orbita dell'elettrone satellite;

2°) dalla velocità con cui esso la percorre;

3°) dalla massa del ione positivo.

Non conoscendo dati precisi in proposito, è difficile prevedere come muti, a parità di condizioni, la posizione dell'anodo virtuale al mutare del gas: tuttavia sembra verosimile, che ad una grande variazione di massa del ione positivo debba corrispondere una variazione in senso opposto della velocità impressa dal campo magnetico alle coppie ione-elettrone, e, quindi, della distanza dal catodo, alla quale si forma l'anodo virtuale. Ora, questa è appunto la conclusione che si ricava dal confronto fra le curve relative ai varii gas.

Infatti, mentre quelle relative ai gas N, O, CO (pesi molecolari rispettivi: 28, 32, 28) sono assai vicine fra loro, quelle relative a CO_2 (peso molecolare 44) stanno assai al disopra delle precedenti, mentre quelle relative all' H (peso molecolare 2) si trovano assai al disotto di tutte le altre. In altri termini, a parità di campo magnetico e di pressione del gas, l'anodo virtuale si forma molto lontano dal catodo nel caso dell'idrogeno, assai meno lontano dal catodo nel caso dell'azoto, dell'ossigeno e dell'ossido di carbonio, e a distanza anche assai minore dal catodo nel caso dell'anidride carbonica. In pari tempo la lunghezza complessiva del fenomeno luminoso (raggi magnetici e colonna secondaria) varia in modo analogo. Anzi, con vapore di etere o di cloroformio (pesi molecolari 74 e 119) non si riesce che difficilmente ad osservare i fenomeni. Bastano poi delle traccie di tali vapori perchè con certi gas, come l'ossigeno e l'idrogeno, divenga assai difficile realizzare l'esperienza dell'anodo virtuale.

In linea generale, sono differenti pei varî gas i due limiti di pressione, fra i quali si realizzano con buona evidenza i fenomeni di cui ci occupiamo. Per esempio, nel caso del tubo da me il più delle volte adoperato, quando il tubo stesso contiene idrogeno la pressione può variare fra 1 mm. e 0,30 mm., mentre quando contiene anidride carbonica bisogna che la pressione non superi molto 0,36 mm., e si può arrivare a 0,01 mm. senza che gli effetti restino troppo modificati.

Fra i diversi gas ho poi riscontrato altre differenze di minor conto. Per esempio, le curve che ho ottenuto coll'ossigeno sono più inclinate all'insù di quelle relative all'ossido di carbonio, di modo che succede che la curva di uno dei gas sta in parte al disopra e in parte al disotto di quella dell'altro per una stessa pressione.

Qualche risultato non privo d'interesse ho ottenuto con miscugli gassosi. A parte il caso dei vapori, anche di quello di acqua, che sembrano attenuare i fenomeni, con miscugli di due gas in varie proporzioni si osserva in generale il seguente curioso fenomeno: Facendo crescere gradatamente, a partire da zero, l'intensità del campo magnetico, si forma dapprima bruscamente, per un certo valore del campo, un fascio di raggi magnetici prolungato da una breve colonna secondaria; poi la lunghezza complessiva della luminosità raggiunge un massimo, indi diminuisce sino ad un minimo, e quindi cresce di nuovo. Qualche volta ho osservato due massimi successivi. Alla fine, se si può raggiungere una intensità sufficiente del campo, la colonna si raccorcia e può anche sparire. Si direbbe, dunque, che dapprima si formano delle coppie ione-elettrone col contributo principale dei ioni positivi di uno dei gas, mentre con campo più intenso quel medesimo gas si avvicina alle condizioni per le quali scema la produzione dei raggi magnetici, ed allora questi si formano principalmente coi ioni positivi forniti dal secondo dei gas presenti. Naturalmente, non si tratta di cosa dimostrata; ma questa è l'impressione che dà il fenomeno.

Non è stato inutile il tracciare curve analoghe a quelle di cui si è parlato più sopra, anche pel caso del miscuglio di due gas.

Mescolando N e CO, ho ottenuto curve poco differenti da quelle, fra loro poco lontane, relative ai due gas presi separatamente. Col miscuglio di H e CO_2 ho ottenuto curve comprese fra quelle di egual pressione appartenenti ad H e a CO_2, più vicine all'una o all'altra secondo che nel miscuglio è maggiore la proporzione di H o di CO_2. Ma più a lungo ho studiato il miscuglio di N con H. Avendo dapprima ottenuto le indicazioni dell'anodo virtuale nell'idrogeno, ho ad esso aggiunto circa $^1/_{50}$ di azoto, ed il risultato non ha sensibilmente variato; ho dovuto aggiungere assai più azoto, prima di constatare qualche modificazione notevole. Ciò male si concilia coll'opinione che l'idrogeno dia gli effetti usuali solo in virtù della presenza d'una traccia d'azoto. Con certe proporzioni di N e di H e con certe pressioni, ho poi osservato un'altra particolarità. Avendo introdotto nel tubo un miscuglio di 5 parti di H e 2 parti di N, e ridotto la pressione ad essere 0,16 mm., quando ho fatto scorrere il rocchetto esploratore lungo il tubo ho trovato, per ogni intensità di campo, due posizioni nelle quali sembrava esistere un anodo virtuale. La curva risulta quindi divisa in due rami, quasi sovrapposti in corrispondenza delle deboli intensità del campo, e di più in più separati per le intensità maggiori. Qui pure si è tentati di

dare la spiegazione suggerita dalla ipotesi ammessa. Si direbbe infatti che si formino due anodi virtuali in conseguenza dell'essere possibile la formazione di due specie di coppie ione-elettrone, cioè quelle contenenti ioni positivi di uno dei gas, e quelle formate a spese dell'altro. I ioni provenienti dalla scissione di tali coppie raggiungeranno, nel tubo, due regioni differentemente lontane dal catodo.

Non è facile di trovare le ragioni della profonda divergenza fra i miei risultati e quelli dei due fisici citati. Che nelle mie esperienze i gas contenessero sempre tracce di azoto, recisamente lo escludo. D'altronde, come si spiegherebbe poi il fatto dell'avere io ottenuto i consueti fenomeni, anzi assai agevoli e brillanti, coll'azoto? Devono esservi invece ragioni speciali, in causa delle quali non è riuscito a More e Rieman di ottenere risultati costanti, e sono convinto che essi confermeranno i miei risultati imitando più fedelmente le condizioni sperimentali da me più volte minutamente descritte. Le cause che possono avere contribuito all'insuccesso sono numerose, ed eccone le principali: In primo luogo ho dimostrato altrove che, con valori troppo grandi dell'intensità della corrente attraversante il gas, i valori limiti dell'intensità del campo, fra i quali soltanto possono formarsi i raggi magnetici, risultano assai vicini tra loro, e perciò può accadere che con certi gas non sia sempre facile la produzione dei fenomeni. In secondo luogo è da notare che More e Rieman hanno impiegato le scariche di un rocchetto e non la corrente (sensibilmente continua quando non esiste il campo magnetico) fornita da accumulatori o da una buona macchina ad influenza, ed ebbi altra volta occasione di rilevare come, in causa forse della intermittenza della corrente attraverso il gas rarefatto, i fenomeni risultino profondamente perturbati, tanto che dopo alcuni tentativi dovetti abbandonare l'impiego del rocchetto. In terzo luogo la forma del tubo di scarica e la sua scarsa lunghezza possono esser causa d'insuccesso. Ho recentemente osservato, che un certo tubo avente il ramo laterale così breve, che la distanza fra anodo e catodo era solo di 6 centimetri, non dava in modo soddisfacente il fenomeno dell'anodo virtuale; ma bastò allungare quel ramo, sinchè la detta distanza fosse triplicata, perchè tutto procedesse nel modo migliore. E taccio di altre cause d'incertezza aventi minor importanza.

Dopo quanto ho qui esposto, basteranno, almeno per ora, brevi commenti alla recente Nota di More e Mauchly; anzi mi limiterò quasi unicamente a rilevare alcuni malintesi, dovuti forse in parte a mancanza di chiarezza nell'esposizione da parte mia. Per esempio, a pag. 252 gli autori dicono che io trovai che i raggi magnetici non trasportano carica in una camera di Faraday. Invece ciò fu asserito, più che altro a titolo di probabilità, dal Villard e non da me, che constatai al contrario un trasporto di elettricità negativa, naturalmente dovuta ai raggi catodici, che esistono abbondanti in quel fascio di luce che chiamasi fascio di raggi magnetici.

Certe difficoltà di spiegazione segnalate dagli autori restano poi eliminate, quando si tenga conto delle cariche acquistate dalle pareti del tubo. Ad esse, per esempio, può essere dovuto il concentrarsi della luce verso l'asse. Certe altre difficoltà non esistono per chi tenga conto del fatto, che le coppie ione-elettrone possono rompersi in ogni regione del tubo, e che perciò l'anodo virtuale può essere esteso e diffuso. Infine non si deve dimenticare che la produzione dell'anodo virtuale costituisce necessariamente un fenomeno non continuo, in quanto che le sue manifestazioni debbono, secondo la teoria, alternarsi con la produzione, resa intermittente dal campo, della scarica principale.

Devo inoltre osservare, che non sussiste quanto è detto in principio della pag. 263, cioè ch'io abbia fatto la strana asserzione di essere indispensabile il campo magnetico perchè la scarica risulti intermittente. Infatti indicai fra altro in precedenti pubblicazioni il caso di una piccola scintilla nell'aria libera inserita fra tubo e sorgente elettrica, la quale può dar luogo ad una illuminazione dell'intero tubo, e trarre in errore pel fatto, che sotto l'azione del rocchetto esploratore possono aversi sdoppiamenti e incurvamenti della colonna luminosa.

Ma anche senza la piccola scintilla si può incorrere in errori. Se infatti, dopo che, col progressivo accrescersi del campo, la colonna secondaria si è allungata sino a raggiungere il fondo del tubo, si aumenta ulteriormente il campo magnetico, si produce uno stato di cose simile a quello dovuto alla piccola scintilla.

Nelle nuove esperienze descritte nell'ultima delle citate Note, gli autori hanno impiegato un catodo di Wehnelt. E ciò era stato già fatto dal signor Berti [1], che trovò effetti in gran parte conformi a quelli da me descritti, e principalmente il trasporto, decrescente al crescere del campo, di elettricità negativa.

Alla fine della Nota, More e Mauchly, per combattere la mia ipotesi, contrappongono ad essa il loro diverso modo di vedere, basandosi sulla variazione del potenziale di scarica dovuta al campo. Citano i lavori di Paalzow e Niesen, di Almy e di altri, dimostranti una diminuzione della caduta di potenziale catodica, ma non i miei sul medesimo argomento, nei quali è dimostrato che esistono casi in cui il campo fa accrescere quel potenziale.

È quanto avviene appunto coi tubi ad anodo laterale adoperati per le esperienze discusse in questo scritto. Basta un elettrometro di conveniente sensibilità per constatare che, quando il campo magnetico genera i raggi magnetici, la deviazione dell'elettrometro è molto maggiore di prima, spesso più che doppia. Orbene, la nuova spiegazione proposta dai detti autori ha come punto di partenza una supposta diminuzione della discesa di potenziale catodica prodotta dal campo. Posso quindi dispensarmi dal discuterla.

[1] Rend. del R. Istituto Lombardo, 10 febbraio 1912.

Farò notare per ultimo, a proposito del richiamo fatto a pag. 266, che ha bisogno di essere dimostrata la legittimità dell'applicazione, al caso dei gas rarefatti, del risultato ottenuto da J. J. Thomson trattando la questione del trasporto di ioni per opera di un campo magnetico, perchè tale trattazione è basata sulla ipotesi, che la viscosità del mezzo in cui si muove uno ione sia tale, da far sì che la sua velocità risulti proporzionale alla forza agente su di esso; e ciò non sembra sempre ammissibile nel caso di un gas rarefatto.

Chimica fisica. — *Sopra alcune proprietà colloidali della emoglobina. Modificazioni della viscosità e della tensione superficiale di sospensioni di metemoglobina per l'azione di* HCl *e di* Na OH [1]. Nota II del Corrisp. Filippo Bottazzi [2].

La metemoglobina pura, precipitata mediante dialisi prolungata di una soluzione acquosa di ossiemoglobina [3], è un materiale ottimo per indagare le modificazioni di viscosità e di tensione superficiale che una sospensione subisce quando la sostanza si scioglie sotto l'influenza di acidi o di alcali; perchè, mentre la metemoglobina preparata nel modo detto è affatto insolubile in acqua, dà poi una soluzione limpidissima quando la si tratta con un acido (per es. HCl) o con una base (per es. Na OH) in quantità sufficiente. Sciogliendosi, la metemoglobina si trasforma, nel primo caso in cloruro di metemoglobina, nel secondo in metemoglobinato di sodio: due composti salini, dei quali il secondo è notevolmente più dissociabile.

Inoltre si sa [4], che per l'aggiunta di un eccesso di Na Cl al cloruro di metemoglobina o al metemoglobinato sodico, la sostanza sciolta precipita. Ora non mi sembra privo d'interesse il vedere come si modifichino la viscosità e la tensione superficiale delle soluzioni in simili condizioni.

Ho fatto i seguenti esperimenti: Preparata una sospensione unica di metaemoglobina precipitata in forma di minuti granuli, da questa ho preso via via le porzioni che mi sono servite per le ricerche di tensione superficiale (« numero di gocce », quasi sempre dallo stesso stalagmometro) e per le poche determinazioni di viscosità (« tempo di deflusso » per lo stesso viscosimetro di Ostwald e alla stessa temperatura). Determinato il « numero di gocce » della sospensione originale, volta per volta, ho aggiunto a gocce le

(1) Lavoro eseguito nel Laboratorio di fisiologia di Napoli.

(2) Pervenuta all'Accademia il 24 agosto 1913.

(3) Circa la preparazione della metemoglobina e la proprietà di questa sostanza come fu da me ottenuta, ved. Rend. R. Accad. dei Lincei (ser. 5ª), vol. 22, pag. 141 (1913).

(4) loc. cit.