

Di alcune non recenti esperienze,
considerate dal punto di vista della teoria elettronica.

Memoria del Socio AUGUSTO RIGHI

§ 1.

Introduzione.

La maggior parte di quelle, fra le mie ricerche sperimentali pubblicate dal 1872 in poi, che riguardano fenomeni elettrici, furono a me ispirate da certe idee teoriche sulla natura di tali fenomeni, molto simili a quelle, oggi accettate dalla maggior parte dei fisici, che condussero alla teoria della ionizzazione e degli elettroni.

A quell'epoca ormai lontana l'ipotesi della esistenza nei gas di ioni positivi e negativi non era stata ancora formulata; e quando poco dopo lo fu, non incontrò il generale assentimento, in causa forse del non sapersi allora soddisfacentemente spiegare l'esistenza di ioni delle due specie anche in un gas non composto. Quando però assai più tardi si riconobbe la possibile esistenza di elettroni negativi liberi, e si giunse a comprendere come per il separarsi di alcuni di essi dagli atomi neutri, e pel successivo riunirsi ad altri atomi, potevano essere generati i ioni positivi e negativi, la teoria della conduzione elettrolitica dei gas, non solo apparve accettabile, ma in brevissimo tempo acquistò una immensa portata. Ora l'ipotesi, che mi guidò sempre in passato, differisce da quella che forma la base della teoria generalmente adottata in ciò, che mentre i fenomeni venivano da me spiegati col movimento di molecole gassose, le quali erano elettrizzate, sia pel loro contatto con corpi carichi, sia in seguito al loro urto con altre molecole già cariche di elettricità, oggi invece si considerano i fenomeni stessi come dovuti al moto dei ioni, generati dalle note cause ionizzatrici, fra le quali l'urto di quelli già esistenti contro molecole neutre, le quali infatti, se l'urto è abbastanza energico, si scindono esse pure in ioni.

Le brillanti esperienze del CROOKES sulla così detta materia radiante, che vennero per qualche tempo spiegate da molti fisici considerando i raggi catodici come manifestazione di speciali ondulazioni dell'etere, da pochissimi furono interpretate conformemente al concetto di CROOKES; naturalmente mi trovai fra questi pochi, perchè le idee del fisico inglese erano identiche alle mie, che anzi in gran parte si erano in me formate a guisa di estensione e generalizzazione di quelle.

Oggi però le prove accumulate in favore della ionizzazione sono tali e tante, che s'impongono alla ragione; mentre d'altra parte non è possibile negare, che i raggi catodici consistano di particelle negative (elettroni) di massa di gran lunga minore di quelle degli atomi, e dotate di moto velocissimo. Con ciò le antiche esperienze non perdono

valore; molte di esse anzi, esaminate alla luce della nuova teoria, valgono a illustrarla in modo speciale. Perciò ho giudicato possa avere qualche interesse il richiamare alcune di quelle mie esperienze, e renderne conto a norma della teoria degli elettroni; il che richiederà semplicemente, almeno nella maggior parte dei casi, ch'io faccia una specie di traduzione, e cioè mi limiti quasi unicamente a sostituire certi vocabili, come: *molecole gassose, oppure particelle elettrizzate, ecc.*, con altri vocaboli, come *ioni positivi o negativi, oppure elettroni, ecc.*

Nel fare questo richiamo seguirò presso a poco l'ordine cronologico delle mie pubblicazioni, salvo quando l'attenermi a questo partito mi trarrebbe a inutili ripetizioni. Prima però credo necessaria una osservazione d'indole generale che, per quanto ovvia, non è stata fatta finora, ch'io sappia, da altri.

Il meccanismo della ionizzazione d'un gas si suol descrivere come segue. Un elettrone si separa da un atomo del gas, il qual atomo diviene in tal modo un ione positivo; l'elettrone separato o resta libero, oppure (particolarmente se il gas ha notevole pressione) si unisce ad un atomo neutro, trasformandolo così in ione negativo. Molto probabilmente anche il ione positivo s'ingressa unendosi ad un atomo neutro, e così si spiega la minor mobilità che possiede in confronto del ione negativo; sembra poi che in speciali circostanze (p. es. ionizzazione prodotta nell'aria dal fosforo) i ioni risultino costituiti da aggregati atomici anche più complessi. I ioni così formati saranno ioni monovalenti; a formarne dei bivalenti occorre far sì che in un atomo manchino o sieno in eccesso due elettroni, e così di seguito. Ora si sa che i gas composti si ionizzano essi pure, comportandosi in tutto come i gas semplici, e senza la minima manifestazione di scomposizione chimica. Bisogna dunque ritenere che la ionizzazione, almeno nei gas composti, si operi sulle molecole e non sugli atomi. Per esempio, se si tratta di anidride carbonica, i ioni positivi saranno molecole da cui fu tolto un elettrone (o più) mentre i ioni negativi saranno molecole con un elettrone aggiunto (o più). Può darsi che si abbiano ioni di tal genere anche nel caso di gas semplici non monoatomici.

In base a questa osservazione si scorge che in ultima analisi la mia antica ipotesi differisce da quella ora adottata meno di quanto a prima giunta poteva sembrare. La differenza veramente importante è quella relativa all'origine della carica attribuita alle molecole elettrizzate o ai ioni; ma su questo punto non si può rimanere dubbiosi: la teoria elettronica, così generale e comprensiva, merita intieramente la preferenza.

§ 2.

Influenza della densità elettrica degli elettrodi sulla scarica (*).

Dopo aver studiato, per mezzo d'uno speciale elettrometro, che permetteva l'esatta misura della differenza di potenziale fra gli elettrodi all'istante della scarica, l'influenza del segno della carica di ciascuno allorchè hanno differente curvatura (fenomeno questo assai più complesso di quanto da molti si crede ancora, come risulta dai casi

(* *Ricerche sperimentali sulle scariche elettriche*, Mem. della R. Acc. di Bologna, 11 maggio 1876. N. Cimento, serie 2^a, t. XVI.

d'inversione da me riscontrati), ebbi occasione di stabilire nuovi fatti e metterli fuori di dubbio altri già conosciuti, dimostranti fra altro l'influenza indicata a titolo del presente paragrafo.

Trovai infatti, che la differenza di potenziale necessaria alla scarica (o come si suol dire brevemente: il potenziale di scarica) dipende a parità di altre circostanze dalla densità dell'elettricità sulla superficie degli elettrodi, nel senso che, se a parità delle altre circostanze si accresce tale densità, il potenziale di scarica diminuisce. Per esempio il detto potenziale è, a parità di distanza esplosiva, tanto più piccolo, quanto minore è il diametro delle sfere funzionanti da elettrodi.

Costatai altresì che il potenziale di scarica diminuisce, se si mette in comunicazione col suolo uno dei due elettrodi. Antecedentemente WIEDEMANN e RÜHLMANN, certamente per un difetto di metodo, avevano asserito il contrario. Questo fenomeno si collega col precedente, in quanto che il mettere a terra uno degli elettrodi ha per

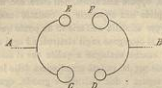


FIG. 1.

risultato l'accrescersi della densità, elettrica sull'altro. Infatti questa densità che dipende anche dalla differenza fra il potenziale del conduttore considerato e quello dei corpi circostanti (zero), diviene naturalmente in tal modo assai maggiore di prima.

Esperienze concludenti possono farsi anche senza misure, coll'antichissimo metodo della biforcazione (fig. 1). Ognuna delle armature A e B del condensatore comunica con due elettrodi, in modo che la scintilla può formarsi o in CD o in EF. Se le due distanze esplosive sono all'incirca eguali, e se D ed E sono piccole palline e C ed F grosse sfere, la scarica ha luogo in EF, se si mette in comunicazione col suolo l'armatura B, ed in CD, se si mette A in comunicazione colla terra. La scarica si forma dunque là ove è isolata la sfera di diametro minore, sulla quale è più pronunciato l'aumento di densità elettrica verificantesi col mettere l'opposto elettrodo in comunicazione col suolo.

Tutte queste esperienze, e molte altre ancora, mi vennero suggerite dal concetto, che la scintilla altro non sia che la fase finale di un processo, durante il quale le particelle elettrizzate (oggi diremo i ioni) acquistano moti di più in più rapidi da un elettrodo all'altro per azione della forza elettrica. L'urto dei ioni esistenti contro le molecole gassose produce nuovi ioni, cosicché il loro numero aumenta con crescente rapidità, finché si giunga alla fase finale, in cui la violenza degli urti è tale da dar luogo allo svolgimento della luce. Sembra naturale quindi l'ammettere, che una maggior densità elettrica sugli elettrodi, e quindi una maggiore intensità in una parte del campo elettrico, debba rendere più rapido ed efficace il processo preparatorio della scintilla, con che il fenomeno rimane spiegato.

Effetto simile, quantunque meno pronunciato, osservai con quattro sfere C, D, E, F di uguali diametri, due delle quali D, E formate di un certo metallo, e le altre due C, F di metallo differente. L'influenza della natura degli elettrodi si manifesta in ogni caso (*), anche nel prodursi di un effetto di valvola elettrica con elettrodi d'egual grandezza ma di diversa natura. La cosa nulla ha d'inverosimile, giacchè è sommamente probabile che gli elettroni, che i ioni positivi staccano dal catodo in seguito al loro violento urto su di esso, escano in numero diverso e con diverse velocità dai differenti metalli.

§ 3.

Scariche luminose nei liquidi (†).

Includendo nel circuito di scarica di un condensatore dell'acqua pura o con qualche sale in soluzione, oppure dell'alcool, dell'etere, ecc. mediante elettrodi metallici che presentino al liquido una superficie di contatto assai limitata, ed inoltre riservando un intervallo per scintilla nell'aria in un punto qualunque della parte metallica del circuito stesso, si ottengono sugli elettrodi ad ogni scarica certe belle apparenze luminose le quali, benchè analoghe a quelle che si osservano nell'aria, presentano uno speciale interesse per la varietà grandissima delle loro forme, dei colori ecc.

Se la distanza che separa i due elettrodi è grande, ognuno di essi produce un fenomeno luminoso distinto. Quello sull'elettrodo positivo consta di rami serpeggianti, che richiamano l'aspetto del pennacchio luminoso d'una punta positiva nell'aria; quello dell'elettrodo negativo, formato da rami più sottili e brevi, ma più numerosi e brillanti, somiglia alla stelletta che si forma sulle punte negative. Se poi si avvicinano abbastanza l'uno all'altro i due elettrodi, oppure si aumenta la lunghezza della scintilla nell'aria (e quindi anche il potenziale di scarica) i due fenomeni luminosi si uniscono, e infine costituiscono una vera scintilla in seno al liquido.

Ha speciale interesse il seguente fenomeno. Due grandi masse liquide, in ciascuna delle quali è immerso uno degli elettrodi, comunicano fra loro mediante un breve e strettissimo canale. Al momento della scarica questo s'illumina, e tale luminosità si prolunga nelle due masse liquide, con diramazioni luminose; quelle rivolte verso l'elettrodo negativo hanno l'aspetto di quelle, che nel caso precedente si osservarono sull'elettrodo positivo, e viceversa. Il fenomeno è dunque in tutto simile ad uno generalmente conosciuto, che si produce quando un tubo ha gas rarefatto a una strozzatura (‡).

(*) Nel suo recente libro *Conduction of Electricity through Gases*, il sig. J. J. THOMSON, (pag. 353) cadde in equivoco asserendo avere lo trovato sempre lo stesso potenziale di scarica con elettrodi di diversa natura.

(†) *Ricerche sperimentali sulle scariche elettriche*. IIª Memoria. Mem. della R. Acc. di Bologna, 4 febb. 1877. — N. Cimento, 3ª serie, t. I, pag. 234. — *Sulla fotografia delle scintille elettriche ed in particolare di quelle prodotte nell'acqua*. Rend. della R. Acc. dei Lincei (1883), pag. 459.

(‡) Con forti correnti di pila furono da me osservati all'epoca citata (1877) fenomeni luminosi simili a quelli descritti (vedi la Memoria citata), e cioè quei medesimi fenomeni su cui è basato il moderno interruttore di WENCKELT (elettrodo positivo di piccola superficie) e quelli SIMON, CALDWELL, TURPAIS (masse liquide comunicanti per mezzo di un piccolo canale).

L'analogia fra queste scariche e quelle nei gas è così evidente, che si è costretti ad ammettere identico nei due casi il meccanismo che le produce. In appoggio di tale opinione sta il fatto dimostrato, dell'aumento di conducibilità elettrica presentato da certi liquidi allorchè sono attraversati dai raggi del radio (*). Si dovrà dunque ammettere una ionizzazione per urto anche per i liquidi, ovunque entro di essi il campo elettrico abbia sufficiente intensità, d'onde il crearsi di più in più accelerato di nuovi ioni, in aggiunta a quelli preesistenti nell'elettrolita. E siccome non si tratta più qui della dissociazione elettrolitica spontanea, nella quale il segno della carica d'un ione dipende dalla sua natura chimica (p. es. nel caso dell'acqua il ione idrogeno non è mai negativo), ma d'un fenomeno che può dirsi d'indole meccanica, potrà accadere che, a seconda delle circostanze in cui ha luogo ogni singolo urto, un ione d'una data sostanza abbia indifferentemente l'uno o l'altro segno (p. es. nel caso dell'acqua si formino anche ioni d'idrogeno negativi). Dende la naturale conseguenza del raccogliersi su ogni elettrodo un miscuglio degli elementi di cui il liquido è composto, per esempio un miscuglio d'ossigeno e idrogeno nel caso delle scariche nell'acqua, come coll'esperienza fu da me constatato.

§ 4.

Traiettorie percorse dai ioni.

Convinto, come fui sempre, che i raggi catodici constassero di particelle elettrizzate in moto, era naturale che considerassi come effetto di una speciale convezione elettrica ogni fenomeno di scarica. Così, mi spiegavo la scarica da una punta elettrizzata come dovuta ad innumerevoli particelle, elettrizzate dalla punta e da essa violentemente respinte; ciò che corrisponde alla odierna teoria, secondo la quale, avvenendo la ionizzazione per urto in prossimità della punta, tutto lo spazio compreso fra la regione di ionizzazione o la lastra piana funzionante da secondo elettrodo è percorso unicamente da ioni che si dirigono verso di questa, e di egual segno di quello della carica data alla punta.

Era dunque naturale che, conosciuto appena il fenomeno dell'ombra elettrica, osservato da HUTTON e GOLDSTEIN e brillantemente dimostrato dai CROOKES, intuisi il modo di ottenere un analogo fenomeno nell'aria all'ordinaria pressione per opera di una punta (*). Sino dai primi tentativi il risultato previsto si produsse, ed anzi potei ottenerlo in più maniere, di cui ecco le due principali.

a) La punta metallica è verticale e rivolta all'ingù verso una lastra metallica orizzontale, che fa da secondo elettrodo, mentre fra l'una e l'altra è posta una crocetta di ebanite. Posto sulla lastra un cartoncino liscio su cui fu sparsa una polvere conduttrice, questa, non appena si stabilisce una differenza di potenziale fra i due elettrodi, è scacciata dai luoghi, che la crocetta ripara contro il bombardamento dei ioni partenti dalla punta, mentre il resto della polvere non fa che saltellare leggermente, venendo incessantemente scaricata dai ioni medesimi.

(*) Rend. della R. Accad. dei Lincei, t. XIV, pag. 207 (1905).

(*) *Le ombre elettriche*, Mem. della R. Acc. delle Scienze di Bologna, 12 maggio 1881 11 aprile 1882. — Il N. Cimento, 5^a serie, t. II, pag. 123.

b) Si colloca sulla lastra metallica una lastra di ebanite, avente un'armatura sulla faccia inferiore, e, dopo aver fatto scoccare una scintilla fra una sfera comunicante colla punta e l'armatura interna d'un piccolo condensatore carico (di cui l'armatura esterna comunica colla lastra metallica e col suolo) si ritira l'ebanite e si proietta su di essa il noto miscuglio di solfo e minio in polvere.

Ombre elettriche in tutto simili ottenni più tardi per opera, non più di ioni respinti da una punta carica, ma di quelli negativi respinti da un corpo colpito da radiazioni ultraviolette (1), oppure da un filo metallico arroventato (2), o infine per opera dei ioni generati in un gas da una fiamma (3), o dai raggi di Röntgen (4) o da quelli delle sostanze radioattive (5).

Mentre gli elettroni, che emessi dalla superficie del catodo di un tubo di Crookes costituiscono i raggi catodici, si muovono secondo traiettorie sensibilmente rettilinee, altrettanto non può generalmente avvenire per i ioni che percorrono il campo elettrico nell'aria alla pressione ordinaria. Le traiettorie dei ioni restano certamente rettilinee, se gli elettrodi sono grandi lastre parallele; ma in generale la direzione del loro movimento muterà da un istante all'altro per effetto della forza elettrica, che su di essi agisce, e la cui direzione varia da punto a punto. Oltre a ciò si deve ammettere, che ad ogni urto contro altri ioni o contro molecole del gas avvenga una brusca variazione nella direzione e nella grandezza della velocità dei ioni, cosicchè le loro traiettorie avranno certamente la forma di linee spezzate. I singoli tratti continui saranno brevissimi (frazioni piccole di millimetro) nel caso d'un gas alla pressione ordinaria dell'atmosfera; e siccome nel maggior numero dei casi ogni ione perde nell'urto buona parte della velocità, che a partire dall'urto precedente il campo elettrico gli aveva fatto acquistare, così dopo l'urto esso si avvierà, se non esattamente nella direzione della forza elettrica, almeno in una direzione assai poco diversa, di modo che nel suo complesso la linea spezzata percorsa dal ione differirà pochissimo da una linea di forza.

Dimostrai appunto che in tutti i casi di ombra elettrica alla pressione ordinaria, le traiettorie dei ioni coincidono praticamente colle linee di forza del campo elettrico in cui si muovono, ricorrendo a sistemi cilindrici, cioè al caso in cui il campo elettrico è prodotto da lunghi cilindri paralleli o da un cilindro ed un piano, perchè le linee di forza sono ben conosciute (archi di cerchio).

Le esperienze, eseguite successivamente con diversi metodi, conformarono in modo assai preciso quella previsione teorica.

Restavano ad esaminare i casi intermedi fra quello del tubo di Crookes e quello delle ombre alla pressione ordinaria. La lacuna venne colmata mediante esperienze con

(1) *Sui fenomeni elettrici provocati dalle radiazioni*, Mem. della R. Acc. di Bologna, 11 novembre 1888; Atti del R. Ist. Veneto, t. VII (1889), N. Cimento, 3^a serie, t. 24, pag. 256, t. 25, pag. 193.

(2) *Sulla connessione elettrica*, Rend. della R. Acc. dei Lincei, 1880.

(3) *Ibid.*

(4) *Sulla propagazione dell'elettricità nei gas attraversati dai raggi di Röntgen*, Mem. della R. Acc. di Bologna, 31 maggio 1896.

(5) *Esperienze dimostrative sulla radioattività*, Rend. della R. Acc. di Bologna, 29 maggio 1904.

elettrodi formanti ancora un sistema cilindrico, ma contenuti in un recipiente chiuso, entro il quale si poteva rarefare l'aria. La fig. 2 mostra schematicamente l'apparecchio adoperato. Z è un catodo cilindrico di zinco interamente verniciato salvo che lungo una generatrice a , L è l'anodo piano, presso la superficie del quale, e da esso isolati, sono tesi molti fili di platino f_1, f_2, \dots , che possono successivamente mettersi in comunicazione con un elettrometro, e Q è un disco di quarzo che chiude l'apparecchio, e permette di far giungere su a un fascio di raggi ultravioletti. Per mezzo dell'elettrometro si riconosce ove colpiscono i ioni emessi dalla generatrice a ,

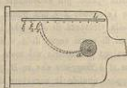


FIG. 2.

alla quale si dà ogni voluta posizione mercè una debita rotazione del cilindro Z intorno al proprio asse. Si trovò così che, rarefacendo gradatamente l'aria, le traiettorie, le quali dapprima sono i noti archi di cerchio (per esempio $a f_1$), divengono sempre meno incurvate, e tendono a divenire rettilinee per le grandi rarefazioni (1).

E così si può asserire, che lo studio della forma delle traiettorie percorse dai ioni nei gas era già compiuto assai prima che la teoria oggi generalmente accolta venisse ideata, ed almeno proposta in maniera abbastanza chiara e completa.

§ 5.

Scintille in un campo elettrico trasversale.

Una serie di esperimenti da me eseguiti nel 1881 (2) valgono a confermare l'esistenza di quel movimento rapidamente accelerato di ioni, che, come si è detto nel paragrafo 2, precede e prepara la scintilla. In quelle esperienze i due elettrodi A ,



FIG. 3.

B (fig. 3) fra i quali scoccavano le scintille d'un condensatore, erano collocati fra due grandi dischi paralleli C, D , mantenuti oppostamente carichi permanentemente da una macchina elettrica, che di preferenza era affatto indipendente da quella che serviva alla carica del condensatore.

In tali condizioni le scintille assumono una forma diversa dalla rettilinea, divenendo spesso sensibilmente incurvate verso C o verso D . Questo cambiamento di forma suol essere accompagnato da uno spostamento sugli elettrodi A e B dei punti di partenza della scintilla. Se mediante l'introduzione d'una colonna di acqua nel circuito si rende la scarica non oscillante e di maggior durata, il fenomeno diviene molto più evidente. Ecco le considerazioni, quasi identiche a quelle che mi fecero prevedere il fenomeno, e che valgono oggi a spiegarlo.

(1) Sulla connessione fotoelettrica, ecc., Mem. R. Acc. di Bologna, 27 aprile 1890.

(2) Spostamenti e deformazioni delle scintille ecc., Mem. della R. Accademia di Bologna, 12 maggio 1881.

Il movimento dei ioni fra gli elettrodi, che precede la scintilla, non è generalmente simmetrico, e cioè i ioni d'una specie sogliono essere, almeno in una parte dello spazio, più abbondanti di quelli della specie opposta. Si sa, per esempio, che se l'elettrodo A è una punta e B una lastra piana, la ionizzazione per urto ha luogo nella vicinanza di A , e che in quasi tutto l'intervallo AB si muovono soltanto dei ioni di egual segno di A , e da A verso B , sensibilmente lungo le linee di forza. Una analoga dissimetria nel moto dei ioni esisterà, se semplicemente la densità elettrica su A è maggiore che su B , per esempio quando A è isolato e B comunica col suolo, oppure quando la curvatura di A è maggiore di quella di B . Or bene, in tutti questi casi, mentre il campo elettrico trasversale tende a far deviare in sensi opposti i ioni delle due specie, l'azione prodotta su quelli che partono da A sarà preponderante, e nel suo complesso il fenomeno di convezione preparatorio della scintilla subirà uno spostamento verso C o verso D , secondo che la carica di A è negativa o positiva. Si può esprimere tutto ciò anche dicendo, che le traiettorie dei ioni, le quali sono sensibilmente linee di forza, acquistano una nuova forma quando al campo dovuto agli elettrodi A e B si compone quello dovuto ai dischi C e D ; la nuova forma è tale da render conto del fenomeno osservato. All'epoca di questa esperienza ammettevo, che l'effetto degli urti fra le particelle in moto fosse soltanto quello di svolgere calore e con ciò preparare il più agevole cammino alla scintilla. Tale sviluppo di calore indubbiamente esiste, e benché si debba oggi ritenere che non abbia fondamentale importanza, esso non dovrà trascurarsi.

§ 6.

Fenomeni fotoelettrici (1).

Certe esperienze del LENARD (2), spiegate colla emissione di raggi catodici per parte di metalli elettrizzati negativamente nel vuoto e colpiti da raggi ultravioletti, resero sommaramente probabile, che anche nelle antecedenti mie numerosissime esperienze sui fenomeni fotoelettrici, i fenomeni dovessero spiegarsi nella stessa maniera, benché in molte di quelle esperienze il corpo si trovasse, non già in un gas rarefatto, ma nell'aria alla pressione ordinaria. Soltanto dovrà supporre che in questo caso gli elettroni non appena emessi dal corpo colpito dalle radiazioni si trasformino, almeno per la maggior parte, in ioni negativi, in seguito al loro congiungersi ad atomi neutri. Basterà dunque sostituire i vocaboli *ioni negativi* a quelli più generici da me adoperati e cioè *particelle elettrizzate* o simili, perchè quegli scritti non recenti esprimano correttamente i fatti in modo consentaneo alla nuova teoria. Senza insistere su questo punto farò notare però che, per quanto mi è noto, le prime misure di velocità dei ioni, o in genere delle particelle trasportanti le cariche elettriche, furono quelle da me eseguite nel corso di quelle ricerche (3). Le velocità (da 55 a 146 metri)

(1) Mem. della R. Acc. di Bologna, 11 nov. 1888. — Atti del R. Ist. Veneto, t. VII (1889).

(2) Drude's Ann. t. II, pag. 359 (1900).

(3) Sui fenomeni elettrici provocati dalle radiazioni, II Mem., Atti del R. Ist. Veneto, t. VII (1889).

da me trovate allora sono molto grandi in confronto di quelle misurate più tardi, ma ciò è naturalissimo perchè si riferivano a campi elettrici di grande intensità. Quanto al metodo impiegato, esso consisteva nel fare agire sui ioni in moto una corrente d'aria trasversale di nota velocità, e nel misurare di quanto si spostava il punto di arrivo dei ioni; un tale metodo è dunque quel medesimo, che fu impiegato recentemente al medesimo scopo dal sig. ZELENY (1).

Crede possa presentare qualche interesse un breve richiamo relativo al caso in cui il corpo colpito dalle radiazioni è inizialmente allo stato neutro. Nel corso delle mie ricerche ebbi occasione di stabilire, che un corpo scarico (dielettrico o conduttore) si elettrizzava positivamente per effetto delle radiazioni. Il sig. HALLWACHS confermò questo fatto, che dapprima lo avevo attribuito all'effetto Volta fra il corpo in esperienza ed i corpi circostanti.

In seguito a molte esperienze fui condotto alla seguente legge, pel caso in cui il corpo colpito dalle radiazioni sia circondato dall'aria alla pressione ordinaria: *cessa di aumentare la carica positiva del corpo, allorchè la densità elettrica nelle parti colpite dalle radiazioni arriva ad un determinato valore dipendente solo dalla natura del corpo stesso.* Ne risulta, per esempio, che se il corpo è una sfera, il potenziale positivo che esso raggiunge è proporzionale al suo raggio. Ecco come si potrà rendere conto di tutto ciò nella teoria odierna.

Sotto l'azione delle radiazioni che giungono sul corpo, escono dal medesimo degli elettroni con velocità verosimilmente grandissima, e così rimane al corpo stesso una carica positiva. Se il corpo fosse nel vuoto, quegli elettroni costituirebbero veri raggi catodici, i quali rapidamente trasporterebbero a grande distanza la carica negativa; ma nell'aria alla pressione atmosferica gli elettroni divengono tosto ioni negativi, e questi sono esposti a innumerevoli e frequenti collisioni colle molecole neutre, che hanno come conseguenza di diminuire la loro velocità, in modo che parte di essi, attratti dal corpo che si è intanto caricato positivamente, gli restituiscono la carica negativa.

Sarà raggiunto uno stato stazionario quando si avrà compensazione fra gli elettroni emessi e i ioni negativi che ricadono sul corpo. Questa serie di fenomeni, che accadono entro un sottilissimo strato di gas attiguo alla superficie del corpo, è dipendente solo dalla intensità della forza elettrica entro questo strato, e lo stato stazionario finale ha luogo, quando questa forza ha un valore determinato, probabilmente diverso da una sostanza ad un'altra, perchè verosimilmente diversa la velocità è la quantità degli elettroni emessi per secondo.

Siccome ad un determinato valore del campo elettrico presso la superficie del corpo corrisponde un determinato valore della densità superficiale della carica, così la precedente legge rimane spiegata.

Le esperienze che dimostrano questa legge possono variarsi assai; eccone una. Il conduttore colpito dalle radiazioni sia una lastra piana, parallela ad una reticella metallica comunicante col suolo. Allontanando l'un dall'altro i due conduttori, il potenziale positivo, che il primo acquista, cresce in proporzione (entro certi limiti) della

(1) Phil. Trans., t. 195, pag. 193 (1900).

sua distanza dalla reticella. Questo fenomeno non va confuso con quelli di cui si parlerà nel paragrafo 8.

Naturalmente la legge cade in difetto, se la reticella vien posta troppo vicina al corpo, in modo da trovarsi entro il sottile strato di cui si è parlato più sopra. Lo stesso accade con distanze non piccole, se l'aria viene rarefatta, giacchè colla rarefazione lo strato entro cui restano i ioni negativi aumenta di grossezza. Nell'uno e nell'altro caso molti ioni più non ricadono sul conduttore da cui partirono, essendo invece tratti dalla reticella, che essi possono allora facilmente raggiungere.

Ecco perchè il potenziale positivo del corpo colpito dalle radiazioni cresce al crescere della rarefazione.

Un fatto, da me annunciato sin dal 1890, trova pure la sua naturale spiegazione (*), quello cioè che un campo magnetico rende meno marcato, o anche fa affatto sparire, l'aumento di effetto che si ottiene mediante la rarefazione. Precisamente come in una classica esperienza fatta assai più tardi dal THOMSON, i ioni negativi o gli elettroni per effetto del campo magnetico descrivono curve, che li riconducono al corpo da cui partirono poco prima, cosicchè il campo magnetico limita la carica positiva che il corpo può acquistare.

§ 7.

Distribuzione del potenziale entro i tubi di scarica.

È di grandissima utilità, per la spiegazione dei fenomeni di scarica, il conoscere come vari il potenziale o la forza elettrica lungo il cammino della scarica stessa. Infatti se V ed X sono il potenziale e la forza elettrica in un punto distante x da un estremo della scarica luminosa, preso lungo la scarica supposta rettilinea, la somma delle derivate seconde del potenziale si riduce a $\frac{\partial^2 V}{\partial x^2}$ ossia a $-\frac{\partial X}{\partial x}$, e perciò l'equazione di Poisson dà: $4\pi q = -\frac{\partial X}{\partial x} = -\frac{\partial^2 V}{\partial x^2}$, dicendo q la densità elettrica di volume nel punto considerato. Se quindi si è determinato V oppure X per vari valori di x , si può calcolare q , o almeno vedere qual segno abbia questa quantità, e quindi scoprire se esistano lungo la scarica delle cariche elettriche nel gas, ossia prevalenza di ioni positivi o di ioni negativi.

Credo che le prime esperienze di tal genere siano quelle di WARREN DE LA RUE e MUELLER (†), cui seguirono altre di SCHUSTER (‡), CROOKES (§), e le mie (¶), e poi in questi ultimi tempi, quelle di molti altri fisici.

I risultati dei primi sperimentatori non furono concordi, mentre invece riescono regolarissimi i risultati miei, i quali dimostrarono, per la prima volta in modo scevro da obiezioni, l'accumularsi di ioni presso gli elettrodi, e più specialmente

(*) Sulla concezione fotoelettrica, ecc. Mem. della R. Acc. di Bologna, 27 aprile 1890.

(†) Phil. Trans., t. 174, pag. 477 (1885).

(‡) Proc. of the Roy. Soc. t. XLVIII, pag. 541.

(§) Inaugural Address 15th January 1891, Inst. Roy. Engineers.

(¶) Sulla distribuzione dei potenziali presso il catodo, Mem. della R. Acc. di Bologna, 13 novembre 1892.

di ioni positivi presso il catodo. Va notato poi, che nelle mie esperienze era esclusa ogni influenza disturbatrice per parte delle cariche, che sogliono acquistare le pareti del tubo di scarica. Infatti nel mio apparecchio gli elettrodi erano sferici e concentrici; uno di essi A, generalmente l'anodo (fig. 4), non era altro che la superficie argentata d'un pallone di vetro, mentre l'altro elettrodo C era costituito da una pallina metallica collocata nel centro del recipiente. Una sonda S (filo di platino protetto per quasi tutta la sua lunghezza da un cannello di vetro) mobile a piacere, serviva a determinare il potenziale in vari punti del gas fra i due elettrodi.

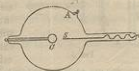


FIG. 4.

Se si adopera un galvanometro, i suoi reoferi possono congiungersi: 1° con S e C, oppure: 2° con S ed A. Anche nel secondo caso si arriva a determinare la differenza di potenziale fra S e C, se a

quella fra S ed A si aggiunge quella fra A e C, che si determina a parte.

Sperimentando nella seconda maniera si trova, che il potenziale nel gas, partendo da un punto vicinissimo al catodo C e andando verso l'anodo A, comincia col diminuire sino ad una certa distanza, ove presenta un valore minimo, dopo di che cresce nuovamente. Se ne deduce la presenza d'una carica positiva nel gas attorno al catodo. Quivi si accumulano dunque dei ioni positivi.

Sperimentando col 1° metodo il risultato è affatto diverso; ma ciò si spiega agevolmente riflettendo, che quando S e C comunicano insieme per mezzo del galvanometro, anche la sonda S deve funzionare da catodo, e perciò circondarsi di ioni positivi, la cui presenza più non permette di riconoscere quella dei ioni circondanti il catodo.

Basta infatti sostituire al galvanometro un elettrometro, che sia isolato in modo assolutamente perfetto, perchè il primo modo di operare dia lo stesso risultato del secondo.

Riconobbi un tenue affollamento di ioni negativi intorno a C, quando questa pallina funzionava da anodo. La sorgente di elettricità adoperata era una batteria di piccole coppie di Volta.

Le ricerche recenti, nelle quali generalmente con una doppia sonda si misurò la forza elettrica anziché il potenziale, confermarono ed estesero i miei risultati; ma sarebbe forse desiderabile che venissero ripetute con elettrodi concentrici.

§ 8.

Propagazione dell'elettricità in un gas fra lastre parallele di cui si varia la distanza.

Alle esperienze del precedente paragrafo fui condotto, nel cercare la spiegazione di certi fatti, a prima vista paradossali, che ebbi a constatare durante i miei studi sperimentali intorno ai fenomeni elettrici prodotti dalle radiazioni (ultraviolette, di RÖNTGEN, ecc.). Ecco alcuni (1).

(1) Sulla convezione fotoelettrica, ecc., Mem. della R. Acc. di Bologna, 27 aprile 1890.

Un recipiente in cui può rarefarsi l'aria, ed in cui trovasi un disco di zinco Z (fig. 5) caricato dal polo negativo di una pila, ha la sua bocca chiusa da un disco di quarzo Q, che permette di far cadere su Z un fascio intenso di radiazioni ultraviolette. Fra Q e Z si trova una reticella metallica mobile



FIG. 5.

che comunica col suolo, in prossimità della quale è teso un sottile filo metallico F comunicante con un elettrometro. La quantità di elettricità raccolta dal filo in un dato tempo costante, misurerà la corrente fotoelettrica. Variando la distanza fra Z ed R si trova che, entro certi limiti, l'intensità di quella corrente cresce colla distanza suddetta.

Tenuto conto della circostanza che verosimilmente l'anodo in realtà consta, non solo della reticella R, ma anche delle pareti del recipiente, se si assimila il filo F alla sonda S del paragrafo 7, il descritto fenomeno resta spiegato dalla presenza di ioni positivi presso il disco Z.

Se la forza elettromotrice della pila che carica Z è sufficientemente elevata, si realizza il descritto fenomeno anche senza l'intervento delle radiazioni. Inoltre la disposizione sperimentale può semplificarsi, sopprimendo F e raccogliendo colla reticella R la carica negativa; anzi nel caso in cui non si adoperino le radiazioni l'apparecchio può ridursi al seguente (fig. 6) (1). Un tubo contenente aria rarefatta porta due elettrodi A, B, per esempio in forma di dischi paralleli, uno dei quali A è mobile. Messo il tubo in circuito con un galvanometro ed una pila di Volta di sufficiente forza elettromotrice (qualche centinaio di coppie), osservasi il seguente fenomeno. Se A e B sono vicinissimi non si ha deviazione; questa si produce allontanando abbastanza A da B, cresce fino ad un massimo continuando l'allontanamento, poi nuovamente decresce sino

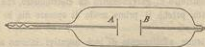


FIG. 6.

a zero, e se la pressione del gas è non troppo piccola, e la forza elettromotrice della pila è appena sufficiente allo scopo, il descritto fenomeno diviene sorprendente pel modo brusco con cui si presenta. Basta allora infatti uno spostamento di meno d'un millimetro dell'elettrodo mobile perché la deviazione si presenti, arrivi al massimo e di nuovo svanisca. È anche più rimarchevole il fenomeno se al galvanometro si sostituisce un elettrometro o un elettroscopio a foglie d'oro.

Come si vede un tal fenomeno è sostanzialmente identico ad uno osservato più tardi da PRACE o più recentemente ancora da CARR (2), i quali hanno trovato, che il potenziale di scarica è minimo per una certa piccola distanza fra gli elettrodi, e cresce rendendo tale distanza ancora più piccola.

(1) Loc. cit., pag. 112.

(2) J. J. THOMSON, *Conduction of Electricity through Gases*, pag. 356.

Considerando il modo nel quale si passa dalle esperienze del paragrafo precedente a quelle di questo, si è indotti ad attribuire anche gli ultimi fenomeni all'atmosfera di ioni positivi che avvolge il catodo. Infatti è verosimile che, anche in quei casi in cui non si stabilisce in modo durevole la scarica attraverso il gas, un principio di scarica tuttavia abbia luogo, ma così ben presto in seguito all'accumularsi dei ioni positivi tutt'intorno al catodo.

Anche le antiche esperienze di HITTORF e GASSIOT, secondo le quali in un gas estremamente rarefatto la scarica preferisce un lungo cammino al diretto passaggio fra elettrodi vicinissimi, avrebbero la medesima spiegazione.

Se non che ecco altri fatti, che sembrano della stessa natura dei precedenti, e dei quali tuttavia si sono date spiegazioni differenti.

Due dischi metallici paralleli posti nell'aria all'ordinaria pressione comunicano, uno col polo isolato d'una pila e l'altro con un elettrometro e, quando si vuole, anche col suolo. Ionizzando l'aria coi raggi X osservai ⁽¹⁾ un curioso fenomeno, che confermarono più tardi J. J. THOMSON e RUTHERFORD ⁽²⁾, e cioè che l'intensità della corrente fra i dischi cresce sino ad un certo limite quando si aumenta la loro distanza. Di questo fenomeno si rende conto ammettendo, che la detta corrente sia prossima alla saturazione, cioè utilizzi quasi tutti i ioni, man mano che i raggi X li producono; se così è l'allontanare i dischi introduce fra essi un maggior numero di ioni, e da ciò la maggior intensità della corrente ⁽³⁾.

Un fenomeno simile è stato da me recentemente dimostrato ⁽⁴⁾, facendo agire i raggi del radio anziché i raggi X.

Uno dei fatti citati più sopra è più particolarmente simile al precedente, colla differenza che si fanno agire le radiazioni ultraviolette invece dei raggi X, al che si richiede che il disco positivo sia sostituito da una reticella metallica, e coll'altra differenza, che l'aria è più o meno rarefatta. La spiegazione che si dà di tale fenomeno è basata sulla ionizzazione dovuta all'urto dei ioni negativi respinti dal catodo contro le molecole gassose, la quale avviene quando il campo elettrico è abbastanza intenso ⁽⁵⁾. Si potrebbe però obiettare, che il fenomeno fu da me ottenuto anche con campo assai debole (4 a 5 volta di differenza di potenziale).

Come si vede, per fenomeni che sembrano essere fra loro molto affini esistono ancora tre differenti spiegazioni; ma è verosimile che una volta messi così a riscontro fra loro si giunga a scoprire fra essi qualche legame sostanziale, e a trovare per essi una spiegazione più uniforme e completa. Questa dovrà essere tale da rendere conto ancora del seguente fatto, e cioè che quando si fa agire un intenso campo magnetico

⁽¹⁾ *Nuovi studi sulla dispersione prodotta dai raggi di Röntgen*, Rend. della R. Acc. dei Lincei, 3 maggio 1896. *Sulla propagazione dell'elettricità nei gas attraversati dai raggi di Röntgen*, Mem. della R. Acc. di Bologna, 31 maggio 1896.

⁽²⁾ Phil. Mag., t. 42 (1896).

⁽³⁾ J. J. Thomson, *Conduction of Electricity through Gases*, pag. 13, par. 13.

⁽⁴⁾ *Di alcuni fenomeni osservati nell'aria ionizzata da corpi radioattivi*, Rend. della R. Acc. dei Lincei, t. XII, pag. 237 (1904).

⁽⁵⁾ J. J. Thomson, loc. cit., pag. 232.

i fenomeni anomali descritti in questo paragrafo (o per lo meno quelli in aria rarefatta) tendono a sparire; cosicchè per esempio, nel caso dell'esperienza a cui si riferisce la fig. 6, l'intensità della corrente, quando esiste il campo magnetico, diminuisce regolarmente al crescere della distanza fra gli elettrodi (1). A me sembra che si arrivi alla desiderata spiegazione completa tenendo conto tanto delle spiegazioni date dal Thomson, e cioè dell'effetto che risulta dall'essere minore la ionizzazione per urto dei ioni quando per un motivo qualunque scarseggiano le molecole gassose fra i due conduttori, quanto della spiegazione mia basata sull'ingorgo dei ioni positivi che si accumulano intorno al catodo. Anzi, se non si accettassero le considerazioni svolte in base a questo accumulo di ioni non sarebbe facile, a mio avviso, dar ragione dell'effetto prodotto dal campo magnetico (2).

§ 9.

Scariche elettriche aventi l'aspetto di luminosità in lento moto traslatorio.

Mi preme, per ultimo, richiamare l'attenzione su certe mie ricerche relative ad una forma assai singolare di scariche luminose, le quali si producono adoperando condensatori di grandissima capacità e circuiti con resistenze assai rilevanti costituite da lunghe colonne di acqua (3). Tali scariche si manifestano con una luminosità di forma sferica o sferoidale più o meno allungata o anche avente altre forme, che sorge presso l'anodo, si allontana da questo avviandosi verso il catodo, per svanire ad un tratto prima di averlo raggiunto, dopo essere rimasta visibile per uno o più secondi, tale potendo essere la durata del fenomeno.

(1) Sulla *connessione fotoelettrica*, ecc., loc. cit., pag. 113. — Una mia recentissima esperienza (Rend. della R. Acc. dei Lincei), conferma l'intravvista relazione fra i fatti di cui si è parlato in questo § e quella nota esperienza di Hittorf, la quale si eseguisce con un piccolo tubo contenente due elettrodi filiformi, che quasi arrivano a toccarsi colle loro estremità, ed in cui esiste un ottimo vuoto. Le scariche di un condensatore si formano nell'aria fra due palline comunicanti cogli elettrodi e distanti parecchi centimetri una dall'altra, piuttosto che nel vuoto fra i due fili vicinissimi. Or bene, messo questo tubo fra i poli di una potente elettrocalamita e regolata a dovere la distanza esplosiva nell'aria ho verificato, che eccitando il campo magnetico cessano le scintille, e la scarica si fa entro il tubo, sulle cui pareti appare infatti una vivissima fluorescenza verde. La più naturale spiegazione di questo fatto mi sembra la seguente. Anche quando la scarica avviene fuori del tubo ha luogo entro di questo un inizio di scarica, e cioè l'emissione di elettroni dal catodo, i quali per urto contro le molecole del gas generano dei ioni positivi che si accumulano poi attorno al catodo, come si è detto nel § 7. Il campo magnetico, incurvando fortemente le traiettorie degli elettroni, rende più scarsi i detti urti, e impedisce così la formazione di quell'atmosfera di ioni positivi intorno al catodo, a cui si può attribuire l'effetto di ostacolare la scarica.

(2) Veggasi la precedente nota, nonché in un numero di quest'anno (1906) dei Rend. della R. Acc. dei Lincei una mia pubblicazione: *Su alcuni fenomeni apparentemente paradossali di passaggio della elettricità attraverso i gas*.

(3) Sopra una specie di scintille, ecc., Mem. della R. Acc. di Bologna, 25 gennaio 1891. *Sulle scintille costituite da masse luminose in moto*, Rend. Acc. Lincei, 19 aprile 1891. *Ricerche sperimentali intorno a corte scintille*, ecc., Mem. della R. Acc. di Bologna, 26 aprile 1891. *Nuove esperienze sulle scintille costituite da masse luminose*, ecc. Mem. della R. Acc. di Bologna, 19 maggio 1893.

Qualche volta la luminosità mobile retrocede alquanto prima di sparire, oppure resta per un certo tempo immobile. In certe determinate condizioni (*) la luminosità resta immobile e permanentemente visibile, perchè la sorgente che fornisce la carica al condensatore rimanga in continua azione; cosicchè, mentre è necessaria la grande capacità del condensatore perchè il fenomeno si produca, esso, in questo caso, continua indefinitamente per opera della sola corrente fornita dalla macchina elettrica.

In particolari condizioni sperimentali ogni scarica è composta anzichè semplice, e cioè consta dell'emissione dall'anodo, non d'una sola, ma di più successive luminosità mobili, le quali in tal caso sono animate da velocità non tanto piccole.

Generalmente il curioso fenomeno, che pel suo aspetto richiama quello delle famose folgori globulari, si produce nettamente a pressioni del gas piuttosto elevate, di uno o più centimetri di mercurio; perciò è da ritenersi, che la luce negativa e lo spazio oscuro del catodo siano conformati nell'immediata vicinanza di questo elettrodo, ciò che del resto chiaramente appare nella maggior parte dei casi.

Ne consegue che la luminosità mobile costituisce o rappresenta la così detta colonna luminosa positiva. So quindi si vuol ad essa applicare la spiegazione generalmente ammessa, si dovrà dire, che la luminosità mobile è formata là dove gli elettroni provenienti dal bagliore negativo, giungono con sufficiente velocità per ionizzare nuovamente il gas.

Stante la grande resistenza del circuito di scarica la differenza di potenziale fra i due elettrodi seguita ad aumentare, anche dopo che la scarica si è iniziata, ed in causa di questo aumento diviene minore il cammino che devono percorrere gli elettroni, onde il campo elettrico comunicati ad essi la velocità necessaria alla ionizzazione per urto. Si spiega così il moto progressivo della luminosità verso il catodo.

La formazione di successive masse luminose per ogni scarica, costituisce un fenomeno analogo alle scariche intermittenti; può accadere, che al crescere della differenza di potenziale fra gli elettrodi, gli elettroni, che provengono dalla prima luminosità mobile, acquistino la velocità necessaria ad una nuova ionizzazione per urto prima di arrivare all'anodo, d'onde la formazione d'una seconda massa mobile.

Si rende conto così del fenomeno nelle sue linee generali, ma rimangono da spiegare le sue modalità svariate, e certe modificazioni come la seguente. Se il tubo di scarica ha una strozzatura, anche da questa partono delle luminosità, che si dirigono verso il catodo; per cui, come avviene di solito, la strozzatura si comporta come un catodo per la porzione di tubo compresa fra essa e l'anodo, e come anodo per l'altra porzione. Ma sopra tutto rimangono ancora senza spiegazione molte circostanze, per esempio la necessità, o almeno l'opportunità, di grandissime capacità e resistenze, la necessità che la pressione del gas per date capacità, resistenza, dimensioni del tubo, ecc., sia compresa fra certi limiti non molto lontani. Infine rimane a sapersi perchè il fenomeno in discorso si presenti perfetto nell'azoto, in modo un poco meno spiccato nell'ossido di carbonio, e non si manifesti invece distintamente nei molti altri gas messi

(*) Occorre specialmente provocare la scarica col mettere bruscamente in reciproco contatto le palline dello spinterometro, che deve sempre includersi nel circuito, di modo che non rimanga in questo nessun altro luogo in cui avvenga una scarica luminosa, all'infuori del tubo in cui si osserva il fenomeno che si studia.

alla prova. Sarebbero dunque molto opportune nuove ricerche su questo soggetto, e per chi vi si volesse accingere ricorderò, che per ottenere il fenomeno in modo soddisfacente è necessario adoperare un condensatore formato da molte giare o bottiglie di Leida (nel caso mio oltre un centinaio) avente una capacità di circa un microfarad, pur comportando tal condensatore potenziali di scarica corrispondenti a scintille di 2 o più centimetri nell'aria ordinaria.

Per dare al condensatore la dovuta carica non può bastare un rocchetto, anche se è delle più grandi dimensioni, nè una batteria di accumulatori, a meno che non fosse formata da un numero stragrande di elementi. Convien dunque far uso d'una potente macchina ad influenza, colla quale, quand'anche sia a molti dischi, si richiederà spesso qualche decina di minuti primi per giungere a dare al condensatore una carica sufficiente allo scopo.