zioni saline devono essere confermate con ulteriori dati sperimentali. Di più abbiamo trovato qua e là dei problemi accessori che meriterebbero di essere risolti. È in questa direzione che mi propongo di continuare il mio studio sperimentale.

Torino, Giugno 1881.

UNA NUOVA FORMA DI REPULSIONE ELETTRICA;
PER E. GOLDSTEIN. — (BERLINO 1880)

Sunto.

Fino a pochi anni or sono, gli studi sulla scarica elettrica si limitavano alle esperienze dei tubi di Geissler, senza occuparsi di determinare quanto i fenomeni osservati dipendessero dalle condizioni speciali delle esperienze. Dopo che i lavori di Crookes ebbero mostrato quali nuovi e importanti fenomeni si producevano, se la rarefazione del gas era spinta verso un milionesimo di atmosfera, con lo studio di quei fenomeni fu tentato di giungere a scoprire la vera natura della scarica elettrica.

Dalle proprie esperienze, Crookes fu indotto a ritenere che vi sia una nuova materia, la *materia radiante*, il cui principale carattere sarebbe il moto rettilineo, e senza urti, delle sue molecole, per tratti finiti. Queste *traiettorie libere* si manifestano al Crookes nello *spazio oscuro* che circonda il catodo, quando la scarica avviene nel vuoto estremo. La *materia radiante* ha la proprietà di eccitare la fosforescenza sulle pareti del tubo di scarica, ed è incapace di deviare da se stessa dalla linea retta. Se si fa passare la scarica in un tubo a V, col catodo ad un'estremità superiore e l'anodo

nel vertice comune dei due rami, soltanto il ramo in cui si trova il catodo è inondato dalla luce verde della fosforescenza, quantunque Hittorff abbia provato che nei tubi cilindrici essa luce catodica si estende sempre per tutto lo spazio, in qualunque posizione sia l'anodo, contrariamente a ciò che succede nei tubi a vuoto moderato, nei quali la posizione dell'anodo ha la maggiore importanza.

Intercettata da un corpo solido, la materia radiante ne proietta l'ombra, e mediante queste ombre si scopre che gli urti molecolari modificano la parete del recipiente in modo da diminuirle la proprietà di ritornar fosforescente a una nuova eccitazione: infatti, adoprando per corpo opaco una crocetta cernierata, se, dopo che se ne è prodotta l'ombra tenendola verticale, si fa cadere, si vede che il luogo già occupato dall'ombra diventa molto più fosforescente di quello contiguo. La modificazione del vetro dura parecchio tempo, e resiste alla fusione.

La materia radiante può mettere in moto corpi leggeri, come si osserva col mulinello e col radiometro elettrico. Anzi le palette di quest' ultimo si muovono anche se, interrompendo le comunicazioni col rocchetto d'induzione, l'anello di platino che serve da catodo si scalda al rosso con una piccola pila galvanica.

Le molecole della materia radiante sono soggette all'azione della calamita: la linea luminosa è allora incurvata come se consistesse in un filo flessibile, fisso soltanto all'estremità corrispondente al catodo, e la curvatura cresce se la velocità delle molecole è diminuita da una maggior densità del gas. Nel vuoto moderato invece, la linea luminosa è incurvata soltanto in un piccolo tratto in corrispondenza del magnete, e si conserva rettilinea in tutto il tratto rimanente.

Quando se ne impedisca il movimento, la materia radiante produce calore così intenso da rendere l'ostacolo incandescente e talvolta da fonderlo. Le sue molecole, lanciate dal catodo, si ritengono elettrizzate negativamente, ed è probabile che la loro velocità sia dovuta alla mutua repulsione fra esse e il catodo. Ma nel vuoto estremo tali molecole non

trasportano una corrente elettrica, perchè due filetti luminosi emessi dal catodo si respingono invece di attrarsi come dovrebbero fare se potessero considerarsi come due correnti parallele.

Premessi questi cenni sulla materia radiante, la cui esistenza vedremo poi esser messa seriamente in dubbio, passiamo a riassumere le ricerche del Goldstein le quali si riferiscono più specialmente ai fenomeni che si presentano nei gas estremamente rarefatti allorchè si fa variare il numero e la disposizione dei catodi, e al contegno della luce catodica così eccitata.

Il Goldstein osserva anzitutto che la luce positiva non è parte necessaria delle apparenze luminose della scarica, poichè si può fare sparire ponendo gli elettrodi ad una distanza non superiore a una lunghezza determinata. La luce negativa apparisce invece necessariamente in ogni scarica: essa pure ha una stratificazione ma i suoi strati sono costantemente 3, o secondo alcuni 4, qualunque sia la natura e la densità del gas, e la forma del vaso di scarica. Al crescere della rarefazione, lo spazio oscuro che separava la luce positiva da quella negativa sparisce affatto, e la luce negativa penetra mano a mano nello spazio occupato dalla positiva, la quale conserva la sua primitiva estensione.

Plücker e Hittorff ritennero che la luce negativa si propagasse per raggi rettilinei, intendendo per raggio catodico la linea lungo la quale l'eccitazione luminosa si propaga nel gas da un punto del catodo: e anche il Goldstein ritiene che la rettilineità dei raggi catodici si possa ammettere senza errore sensibile. In opposizione a Crookes, il Goldstein non ammette che ogni elemento del catodo irraggi soltanto ed esattamente nella direzione della sua normale: questa proprietà egli l'attribuisce soltanto agli elementi *interni* del catodo, mentre ritiene che gli elementi *degli orli* (quelli cioè che sono lungo le linee di separazione fra due superficie del catodo, le quali possono essere o no ambedue conduttrici) irraggino in ogni direzione, come lo deduce dalla forma dello strato luminoso che circonda il catodo, e dalla debole fosfo-

rescenza eccitata sulle pareti al di fuori della sezione prodotta su di esse dai piani condotti normalmente al catodo per le sue due estremità.

Dopo queste generalità, il Goldstein passa ad esporre le ricerche di cui è oggetto la memoria che riassumiamo.

Un cilindro in cui il gas è estremamente rarefatto, porta ad una sua estremità per elettrodi due fili di alluminio, paralleli all'asse e simmetrici rispetto ad esso: all'altra estremità vi è un elettrodo solo, destinato a funzionare da anodo. Se gli altri due fili si uniscono al polo negativo del rocchetto, nella luce verde della parete appaiono due grandi superficie oscure, nettamente limitate, e perfettamente congruenti. Son contornate da due rette parallele ai catodi, che corrispondentemente all'estremità libera dei catodi si chiudono in un mezzo circolo; all'altra estremità si incurvano egualmente, ma senza chiudere il mezzo circolo.

Queste superficie oscure non dipendono affatto dalla forma e posizione dell'anodo, nè dalle dimensioni e forme dello spazio in cui decorre la luce positiva, ma dipendono essenzialmente dalla posizione dei catodi. L'altezza della parte limitata dalle curve circolari, si mantiene nelle superficie oscure costantemente uguale alla larghezza della parte rettilinea, qualunque sia la lunghezza del catodo. Col variare la forma e le dimensioni dello spazio circondante i catodi, variano corrispondentemente le superficie oscure: ma sulle loro dimensioni l'influenza specifica dell'ampiezza del vaso è quasi nulla, e tutta la variazione è dovuta alla diversa distanza che hanno i catodi dalle pareti, specialmente di quello più vicino alla superficie oscura considerata. La produzione di tali fenomeni non dipende dall'uso di catodi filiformi, ma le superficie oscure variano con le forme e con le dimensioni dei catodi: quella dovuta a un catodo conico è limitata da rette divergenti.

Passando a studiare l'origine di queste superficie oscure, il Goldstein, notando che la fosforescenza eccitata da un catodo ritorto in modo da sembrare una vite finissima è fornita della corrispondente spirale luminosa, fa vedere che esse

non son dovute all'indebolimento della luce prodotta da ambedue i catodi, ma che in ciascuna manca affatto e soltanto la luce del catodo più lontano. Tal mancanza non può ascriversi all'indebolimento della luce per la distanza, perchè, nei casi studiati, sulla superficie oscura considerata dovrebbero giungere almeno i $\frac{1}{3}$ della luce emessa. Tali superficie oscure non si possono ritenere quali ombre ingrandite dei catodi, perchè se uno di questi è una laminetta tagliata a mezza luna ad una estremità, la superficie oscura corrispondente mostra una convessità opposta.

Quando la rarefazione del gas non è troppo forte, il catodo si ricopre (nell'aria) di una luce gialla, che è il *primo strato*; ma al crescere della rarefazione si presenta un *secondo strato* di luce azzurra, e i due strati si compenetrano senza escludersi a vicenda; per questa compenetrazione e per la debolezza della luce gialla, pare che il *secondo strato* sia come unico a circondare il catodo, e da ciò gli equivoci di alcuni osservatori. La forma di questo secondo strato è simile a quella della superficie oscura, ma questa non è l'ombra di quello, perchè diminuendo la distanza fra i catodi, il secondo strato, che dapprima si contraeva, invade anche l'altro catodo, e ciò non ostante le superficie oscure conservano la loro forma, quantunque varino le loro dimensioni. Nè si possono ritenere dovute alla mancanza, o alla minore intensità della fosforescenza eccitata dai raggi del secondo strato perchè adoprando 3 catodi si hanno 6 superficie oscure, invece di 3 come porterebbe l'ipotesi accennata.

Ricerche opportune hanno invece dimostrato che esse son dovute ad una deviazione dei raggi elettrici emessi da un catodo, prodotta dall'altro più vicino alla superficie oscura considerata, e perpendicolarmente al catodo stesso. Al di là del luogo di deviazione i raggi catodici posseggono di nuovo la proprietà della propagazione rettilinea, come, con opportuna disposizione dei catodi, si riconosce introducendo nel cilindro una lastra di vetro resa fosforescente col cospargerla di creta. Gli elementi degli orli producono una repulsione in tutti i sensi, e vengon devianti anche i raggi che passan vicini

al catodo senza toccarlo; ma questa deviazione decresce rapidamente con la distanza dei raggi dal catodo. Nei raggi deviati si ha poi una specie di allargamento a mo' di ventaglio, che non è dovuto ad azioni secondarie, perchè si osservava anche nelle spirali luminose dovute ad un catodo di filo ritorto.

Dopo tutto ciò si comprende come le superficie oscure vengano determinate, anche nelle loro dimensioni, quando si conosca l'angolo di cui i raggi son deviati. Quest'angolo è indipendente dall'ampiezza del tubo e dalla lunghezza dei catodi, nonchè da molte altre particolarità, e in quattro esperienze è stato trovato per esso il valore di 37° . La deviazione peraltro cresce col raggio di curvatura dell'elemento deviante nella sezione normale del catodo condotta pel raggio considerato; ma per una certa obliquità dei raggi, la deviazione cessa di avere un valore apprezzabile. Un catodo piano tanto più devia raggi ad esso paralleli, quanto maggiore è la sua estensione; ma la larghezza di 7 mill. supera già l'estensione della zona attiva.

La scoperta deviazione dei raggi catodici, vien detta dal Goldstein *deflessione*, e passando a ricercarne le leggi, egli nota che l'anodo non possiede azione deviante, ma che piuttosto attrae debolmente i raggi, nel senso che l'ombra di un filo è più stretta quando esso fa da anodo, di quando è neutro; peraltro l'anodo ha una certa azione se è in estrema vicinanza del catodo deviante: non ne ha alcuna se è vicino all'altro catodo. La deflessione non dipende nè dalla natura dei gas, nè dalla natura metallica degli elettrodi; e quando i catodi siano riuniti metallicamente, non dipende nemmeno dalla intensità della corrente. Ma notevoli cambiamenti si hanno se la corrente si divide in proporzioni diverse fra i due catodi. Se alla corrente che va al catodo deviante si fa attraversare un filo di lino, lungo molti decimetri e bagnato, la superficie oscura che esso catodo determina si deforma in modo da diventare come una linguetta sottilissima un poco slargata alle estremità; allo scemare della resistenza interposta, essa cresce, e acquista sempre più la forma delle super-

ficie oscure ordinarie. Queste superficie contratte, il Goldstein le dice *microsuperficie*; si hanno anche se i catodi sono isolati, purchè la parete esterna del tubo sia umida. Talvolta l'unione dei catodi avviene per le scariche interne dall'uno all'altro, e le microsuperficie si producono anche se il catodo deviante è coperto di ceralacca. Se un conduttore colpito dai raggi catodici si deriva a terra, la microsuperficie da esso prodotta tende a prender la forma normale.

Le superficie oscure prodotte dal catodo in cui l'intensità della corrente è maggiore, sono invece più grandi di quelle normali, e si dicono *macrosuperficie*; le loro variazioni sono opposte a quelle delle precedenti, ma mentre le microsuperficie restano visibili qualunque sia la resistenza interposta, le altre per forti resistenze spariscono.

Queste ed altre ricerche mostrano che la deflessione è determinata dal rapporto delle intensità al catodo raggiante e a quello deviante, e se si chiama *poter deflettore* di un catodo la proprietà che esso ha di produrre deviazione, *poter deflessivo* dei raggi la proprietà di esser deviati, e *rigidezza* dei raggi il valore reciproco del poter deflessivo, si trova che la rigidezza dei raggi cresce col poter deflettore dell'elemento che li emette, e che quanto più un fascio di raggi è respinto tanto minore, a condizioni rimanenti uguali, è il poter deflettore dell'elemento da cui il fascio emana. Mediante ciò si spiegano tutti i fenomeni della deflessione, colla avvertenza che i fili isolati devon ritenersi quali catodi in cui l'intensità della corrente sia debolissima.

Stante la difficoltà di eseguire misure esatte sul poter deflessivo di un debolissimo catodo e sulle macrosuperficie dovute a grandi differenze di intensità, non si è potuto stabilire la relazione precisa in cui stanno i due poteri deflettore e deflessivo; ma si trova che essi non dipendono dalla natura del catodo, perchè ogni punto della parete vitrea messo in comunicazione col suolo, funziona esso pure da catodo. Anzi la contrazione dell'ombra dovuta all'anodo, è in parte da ascriversi all'azione delle pareti, dacchè Riess e Hittorff trovarono che esse si caricano e scaricano al passaggio della corrente.

Finalmente la deviazione di un raggio diminuisce sensibilmente se nel piano della deviazione si trovano altri raggi esterni ad esso rispetto al catodo, e cresce invece notevolmente quando i catodi si avvicinano molto fra loro.

Esposti i risultati precedenti il Goldstein ricerca se la deflessione può ritenersi dovuta a forze già conosciute, o se i nuovi fenomeni debbono ripetersi da una causa nuova. E poichè la deflessione ha tutti i caratteri di una repulsione, egli esamina se possa ascriversi ad una delle tre specie conosciute di repulsione; cioè: a quella meccanica per l'urto di masse ponderabili, a quella elettrostatica, o a quella elettrodinamica.

Se si trattasse di repulsione meccanica, poichè la scarica consisterebbe nel trasporto convettivo della elettricità per mezzo delle molecole di gas caricate agli elettrodi e poi respinte, la deflessione proverrebbe dalla deviazione prodotta nei raggi catodici dall'urto meccanico delle molecole di cui sono composti. In tal caso dovrebbero esser deviati anche i raggi del catodo deviante; invece, separando con opportuno diafragma un fascio di raggi emesso da uno dei catodi (*a*), in modo che esso tagli perpendicolarmente i raggi emessi dall'altro catodo (*b*), mentre si osserva che questi ultimi vengono deviati, la fosforescenza eccitata dall'altro fascio resta immobile, sia che il diafragma sia neutro o funzioni da anodo. Helmholtz osservò che questa immobilità si spiegherebbe se la fosforescenza fosse eccitata soltanto dai raggi emessi al principio di ciascuna scarica parziale di cui si compone realmente la scarica; perchè, nell'esperienza citata il punto d'incontro dei due sistemi di raggi essendo più vicino ad (*a*) che a (*b*), potrebbe darsi che i raggi emessi da (*a*) e capaci di eccitare la fosforescenza, oltrepassassero il punto d'incontro prima che vi giungessero quelli di (*b*). Ma se ciò fosse, fra i raggi emessi da (*a*) dovrebbero esser deviati quelli emessi alla fine della scarica, mentre operando a rarefazione tale che insieme alla fosforescenza sia visibile la luce azzurra del gas, si riscontra che il fascio emesso da (*a*) resta invariato. Altre esperienze mostrano poi che se il punto d'in-

contro dei due sistemi di raggi è distante 35 mm. da (b) cessa la deviazione anche dei raggi emessi da (b); onde la deflessione non si può ritenere operata da una scambievole azione meccanica fra i raggi catodici.

Nel concetto della repulsione elettrostatica, i raggi catodici consistono in molecole di gas che, in conseguenza della carica ricevuta al catodo, operano il trasporto della elettricità nella direzione dei raggi. La deflessione consisterebbe perciò nella repulsione esercitata dalla elettricità libera della superficie di un catodo, sulla elettricità omonima delle particelle che compongono i raggi di un secondo catodo.

Contro questa ipotesi il Goldstein obietta anzitutto che secondo Warburg e Nahrwold non si potrebbe produrre nei gas una carica elettrostatica immergendovi un conduttore carico, se questo non è al calor bianco: mentre tutti i fenomeni riferiti sono stati ottenuti con catodi che non hanno mai raggiunto tal temperatura.

Di più, in quella stessa ipotesi, i due elettrodi dovrebbero avere le stesse proprietà, mentre all'anodo non si ha traccia di una scarica che abbia i caratteri della luce catodica. La differenza non può attribuirsi alla pretesa diversa facilità con cui un conduttore rigido può comunicare all'aria elettricità $+$ o $-$, perchè il Goldstein ha ottenuto i fenomeni che si presentano all'anodo o al catodo senza bisogno di elettrodi metallici, unicamente con variazioni nell'ampiezza del vaso in una sezione qualunque della colonna libera del gas.

Ma pur non tenendo conto di ciò, le tre forme sotto cui si presenta la teoria ora discussa, detta teoria della convezione, sono insufficienti a spiegare la deflessione. Infatti, se si ritiene primieramente che i raggi catodici siano le traiettorie delle particelle gaseose che, caricatesi al catodo, vengono da esso slanciate per tratti finiti, uguali alla lunghezza dei raggi, senza soffrire urti devianti, in tali tratti non si avrebbe luce, e i raggi elettrici sarebbero invisibili. Di più, le molecole dovrebbero seguire le linee di forza, e non si potrebbe così spiegare la propagazione rettilinea dei raggi, se si am-

mette che la scarica al catodo duri finchè le molecole abbiano percorso almeno alcuni centimetri, come è provato dalla deflessione che un raggio incurvato mediante una calamita può soffrire al catodo stesso da cui è stato emesso, anche se la scarica è semplice, indivisibile, come quella che si ottiene con un condensatore di piccolissima capacità. Eppoi in questa teoria la *lunghezza dei raggi* coinciderebbe con il *libero percorso* delle molecole nella teoria cinetica dei gas. Ora a pressioni di circa $\frac{1}{100}$ di mm. il libero percorso sarebbe minore di 1 cm., talchè i numerosi urti che si sarebbero dovuti produrre nei raggi catodici di 50 cm. ottenuti a tali pressioni, avrebbero prodotto numerose variazioni di direzione, mentre in realtà si mantengono rettilinei.

In una seconda forma della stessa teoria, per spiegare la visibilità dei raggi, si ritiene che le particelle di gas state in contatto colla superficie catodica e da essa slanciate, non arrivino a percorrere senza urti tratti di lunghezza uguale all'intera lunghezza dei raggi, ma che si propaghino rettilineamente finchè non ricevono urti. Anche contro questa forma valgono le obiezioni precedenti, e di più, per la obliquità degli urti, i raggi catodici verrebbero a consistere in una rete confusa di traiettorie, senza direzioni nè determinate, nè preferite.

La terza forma ammette che le molecole percorrano senza collisioni soltanto quei tratti che sono compatibili colla teoria cinetica dei gas; ma anche qui, gli urti non essendo centrali non si potrebbe spiegare la rettilineità dei raggi; e poichè questa è incontestata, devesi concludere che quella teoria non corrisponde alla realtà.

Nè maggior valore ha la modificazione dovuta a Crookes. Questi s'immagina che le particelle di gas scagliate a modo di vento dal catodo, scaccino quelle non elettrizzate, e formino così intorno al catodo uno spazio finito in cui si trovino soltanto molecole elettrizzate. Se il catodo è piano o cilindrico tali molecole, scagliate normalmente alla superficie, non soffrono urti in quello spazio, e perciò la eccitazione luminosa si ha soltanto là, dove sono state respinte le molecole non elettrizzate. Così crede Crookes di

spiegare la pretesa esistenza di uno spazio oscuro attorno al catodo, e la osservata rettilineità dei raggi catodici. Questa teoria abbisogna della ipotesi, già accennata e riconosciuta verosimile, che la scarica duri finchè le molecole abbian percorso tratti finiti; ma allora la traiettoria molecolare, nello spazio ove non si hanno urti sarebbe iperbolica, mentre si è più volte detto che è rettilinea. Ma lo spazio oscuro attorno al catodo, che è una conseguenza della teoria di Crookes, non esiste poi affatto, perchè il *secondo strato* ha una visibile colorazione bleu-scura, e inoltre vi è la luce giallastra del primo strato, che contraddice assolutamente alla teoria stessa. Di più con l'ipotesi di Crookes, il 2° strato dovrebbe allargarsi al crescere della intensità della scarica, mentre il Goldstein ha trovato che si contrae. E finalmente, la immobilità nelle linee spettrali della luce negativa, sia che l'asse del tubo si tenga parallelo o normale al collimatore, osservata già da molto tempo dal Goldstein, e riferita anche da Von Zahn, è in contraddizione con la velocità di 200 cm. al secondo che dovrebbero possedere le molecole slanciate dal catodo.

Si potrebbe considerare la scarica come una corrente di elettricità libera; ma anche in questo caso i fenomeni osservati sono in contraddizione con le conseguenze di tale ipotesi talchè resta dimostrato che la deflessione non si può spiegare con la repulsione elettrostatica.

Resta finalmente l'ipotesi della repulsione elettrodinamica; ma contro di essa stanno l'indifferenza dell'anodo, il crescere della deviazione col diminuire della distanza fra i catodi, e l'esperienza riferita nella discussione dell'ipotesi della ripulsione meccanica. Di più, l'azione elettrodinamica cui dovrebbe ascriversi la deflessione, dipende da un integrale esteso alla lunghezza del raggio deviato, mentre le esperienze mostrano che tal raggio può esser reso 6 volte più lungo senza che vi sia variazione nella forza deviante.

Per conseguenza il Goldstein conclude, che la deflessione non può essere spiegata con nessuna delle forme conosciute di repulsione.

A. STEFANINI.