

ATTI  
DELLA  
REALE ACCADEMIA DEI LINCEI

ANNO CCCXII.

1915

---

SERIE QUINTA

---

RENDICONTI

---

Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali.

---

VOLUME XXIV.

1° SEMESTRE.



ROMA

TIPOGRAFIA DELLA R. ACCADEMIA DEI LINCÆI

PROPRIETÀ DEL DOTT. PIO BEFANI

1915

Fisica. — *Persistenza delle correnti nelle cellule fotoelettriche dopo la soppressione della luce eccitatrice.* Nota II di O. M. CORBINO e G. U. TRABACCHI, presentata dal Socio P. BLASERNA.

Come annunziammo nella Nota I, procediamo alla descrizione dei particolari della disposizione sperimentale adottata.

*Parte elettrica* — Essendo in giuoco resistenze elettriche molto grandi e tensioni piuttosto alte, fino a 70 volts, si imponeva la maggior cura per garantire lo isolamento delle varie parti del circuito, specialmente nei casi in cui, utilizzando un galvanometro ad alta resistenza interna, le minime correnti di dispersione avrebbero determinato deviazioni notevoli e incostanti. Fu perciò necessario di ricorrere, come sorgente, a una batteria di piccole pile a secco affondate in una scatola contenente paraffina; evitare, lungo lo intero

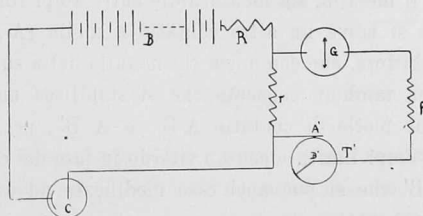


FIG. 1.

circuito (connessioni, resistenze, apparecchi di misura), ogni possibile derivazione di corrente a terra; e tenere in buona connessione permanente col suolo la sola parte che non poteva essere bene isolata: l'interruttore rotante. In tal modo correnti di dispersione si producevano solo quando nelle manovre preparatorie qualche parte del circuito veniva toccata dalla mano dell'operatore; ma ogni disturbo cessava durante le esperienze per le quali, come vedremo, la manovra si riduceva solo alla interposizione di uno schermo nel tragitto della luce. Lo schema dei circuiti, già descritto nella prima Nota, è riprodotto nella fig. 1.

*Interruttore rotante* — Come abbiamo detto, ci siamo serviti dell'apparecchio del prof. Blaserna, esistente in questo Istituto, e che consente la realizzazione delle combinazioni più svariate.

Su un unico asse robusto (fig. 2), messo in rotazione da un sistema di ruote a ingranaggi, sono disposti, l'uno dopo l'altro, due tamburi T T', cilindrici, identici, di materia isolante: di essi il primo è stabilmente solidale con l'albero; l'altro, pur girando solidalmente col primo, può subire rispetto

ad esso spostamenti arbitrari e misurabili per mezzo di un cerchio graduato, disposto dove i due tamburi si toccano.

Sulla superficie cilindrica dei tamburi trovasi una parte metallica, esattamente tornita col cilindro isolante; davanti alla parte metallica può portarsi un contatto a molla (B, B') sostenuto da una guida laterale, di avorio; se ne può regolare la pressione sul cilindro in modo da assicurare il contatto

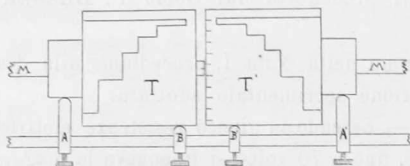


FIG. 2

periodico, senza attriti eccessivi col cilindro mobile. La parte metallica, avente la forma di una gradinata, occupa porzioni angolari differenti della intera superficie cilindrica, cosicchè, portando il contatto in presenza dei diversi gradini, si può ottenere che la frazione di giro, durante la quale permane il contatto fra la molla e il metallo, sia modificabile entro ampî limiti. Agli estremi di ciascun tamburo si trova un altro contatto a molla (A, A') su un cilindretto continuo conduttore, che comunica col metallo della superficie. È chiaro, adunque, che ciascun tamburo consente che si stabilisca una comunicazione metallica fra le due molle di contatto AB, o A'B', per una frazione di giro variabile entro ampî limiti, e con un ritardo in fase dal contatto fra A e B a quello fra A' e B' che si può anch'esso modificare ad arbitrio con continuità e in modo misurabile.

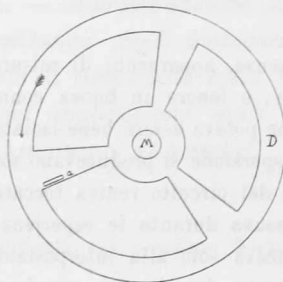


FIG. 3.

Nella prima parte delle esperienze che ci apprestiamo a descrivere ci siamo serviti di un solo contatto mobile, quello del tamburo T', mentre la fase angolare del contatto poteva modificarsi e leggersi sul centro graduato rispetto al tamburo fisso T.

*La parte ottica.* — All'estremità M dell'albero trovasi una ruota D (fig. 3) a tre settori in alluminio. Noi ci siamo serviti di uno dei settori metallici del disco, per operare l'intercettamento periodico del fascio luminoso.

La disposizione ottica era la seguente: Un fascio intenso, proveniente dal sole o da una lampada ad arco a corrente continua, era concentrato (fig. 4) su una fenditura rettangolare  $F$  a contorni netti, e poi raccolto da un grande obiettivo Zeiss  $O$  che ne produceva una piccola immagine nel piano del disco a settori  $D$ . La luce si propaga liberamente finchè il fascio non incontra uno dei tre settori; e traversa al di là un secondo obiettivo Zeiss  $O'$  che rende parallelo il fascio e lo fa cadere sulla cella.

In una certa posizione del disco, la immagine della fenditura è intercettata dal settore opaco, e si dipinge su di esso; è facile allora dare ai bordi della fenditura tale orientazione che la loro immagine risulti esattamente parallela all'orlo del settore nella posizione in cui ha luogo l'intercettamento. Così la estinzione si produce, durante il moto del disco, per riduzione progressiva della larghezza del fascio di luce fino a zero, con che del fascio di luce parallela emergente dal secondo obiettivo si modifica progressivamente fino a zero la intensità, senza che se ne alteri la forma.

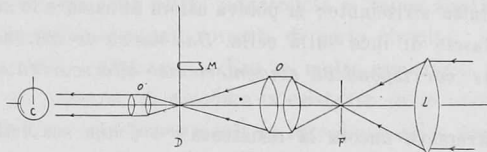


FIG. 4.

Essendo il disco solidale con l'albero, si può modificare opportunamente la fase del contatto sul tamburo  $T'$  in modo che esso abbia luogo o subito dopo l'estinzione della luce, o dopo un intervallo angolare variabile a volontà, che si può leggere con riferimento al cerchio graduato. La durata del contatto, scegliendo opportunamente il gradino sul tamburo, si regolava in modo che esso cessasse un po' prima che la luce tornasse a cadere sulla cella; e poichè fra i gradini ce n'è alcuni di minima apertura angolare, si poteva, quando parve opportuno, far sì che il contatto durasse per una minima frazione del giro, e dopo intervalli di tempo variabili dall'istante in cui era stata interamente intercettata la luce.

*Andamento di una esperienza.* — Trovata la posizione del tamburo  $T'$  per cui il contatto avvenisse *immediatamente* dopo l'intercettamento totale della luce da parte del settore, si spostava ulteriormente il tamburo, di un certo numero  $\alpha$  di gradi.

Chiuso allora il circuito principale, si sopprimeva permanentemente la luce con uno schermo a mano, si apriva lo schermo della cella, e si osservava l'andamento del galvanometro. Questo era, secondo i casi, un Hartmann e Braun, a bobina mobile da 100 ohms, o un Siemens e Halske, pure a bobina mobile, di alta resistenza. Messa in rapida rotazione il tamburo (la velocità comunemente adoperata era di circa 20 giri al secondo), si ebbe a consta-

tare una deviazione al galvanometro, pur essendo permanentemente intercep-tata la luce.

Questa deviazione era dovuta al fatto che il contatto strisciante sul tamburo si riscaldava sensibilmente, non ostante le disposizioni prese per lubrificare le superfici: e quando a ogni giro, per l'avvenuto contatto, si schiu-deva il circuito formato dal galvanometro e della resistenza  $r$  (fig. 1), una corrente termoelettrica passava periodicamente nel galvanometro. Si poteva anche ritenere che, essendo aperta la cella, e perciò esposta alla luce diffusa della camera, una corrente fotoelettrica permanente attraversasse il circuito, e il galvanometro la rivelasse per la parte derivata in esso, sulla resistenza  $r$ , nei successivi contatti periodici. Ma fu facile di riconoscere, occultando, durante la rotazione, la cella, che questa causa produceva una deviazione minima, appena di qualche millimetro della scala.

La deviazione galvanometrica dovuta al movimento del tamburo dive-niva stabile dopo che si era raggiunta una specie di regime nel riscalda-mento del contatto strisciante; si poteva allora abbassare lo schermo a mano e mandare il fascio di luce sulla cella. *Una nuova deviazione venne allora constatata, che corrispondeva evidentemente alla corrente fotoelettrica residua.*

Questa traversava ancora la resistenza  $r$ ; e una sua derivazione, attra-verso al contatto periodico, prendeva la via del galvanometro. La deviazione ottenuta, per una data velocità di rotazione del disco, poteva, così, facilmente esser misurata per diversi valori dello sfasamento  $\alpha$  fra l'interruzione della luce e lo stabilirsi del contatto, e quindi poteva determinarsi la corrente residua dopo intervalli di tempo diversi da quando era cessata la causa.

Per potere mettere a confronto la corrente residua osservata, con la cor-rente fotoelettrica normale che traversa la cella durante lo illuminamento, bastava dare una tale posizione angolare al tamburo T' rispetto al disco, da far avvenire il contatto, durante la rotazione, in piena luce, quando cioè la immagine della fenditura poteva passare liberamente attraverso a uno dei settori vuoti del disco. La deviazione ottenuta al galvanometro, mentre il tamburo girava alla stessa velocità di prima, e ricorrendo sempre alla manovra di sopprimere o ristabilisce con lo schermo a mano il fascio luminoso, forniva appunto la misura della corrente totale.

Occorre tener presente che la deviazione galvanometrica misura la totale corrente fotoelettrica (sia la normale, sia la residua), con un forte coefficiente di riduzione. Questo dipende da tre cause: anzitutto, anche per un contatto permanente a tamburo fermo, il galvanometro è traversato solo da una deri-vazione della corrente principale, dipendentemente dal rapporto fra le resi-stenze delle due branche derivate. Ma una ulteriore e più forte riduzione è apportata dal fatto che la chiusura nel ramo galvanometrico avviene solo du-rante una breve frazione del giro del tamburo, ciò che arreca un'altra causa

di riduzione poichè a questi bruschi passaggi di elettricità la bobina del galvanometro oppone, per la sua autoinduzione elevata, un ostacolo rilevante.

In alcuni casi abbiamo trovato opportuno, per attenuare quest'ultima causa di riduzione, shuntare la bobina del galvanometro o con una resistenza ohmica o con una capacità. Ma fu in ogni caso ritenuto necessario di dare alla resistenza  $r$ , su cui era derivato il circuito galvanometrico, un valore piccolo rispetto a  $R$ ; e ciò allo scopo di evitare che la chiusura periodica del circuito derivato modificasse periodicamente in modo sensibile la resistenza totale.

A questo proposito sarà anzi utile di osservare che se la resistenza  $R$  è anch'essa troppo elevata, poichè la corrente fotoelettrica dovuta alla luce intermittente si annulla, o quasi, periodicamente, e si modifica in conseguenza la perdita di tensione ohmica lungo la resistenza  $R$ , si determinano forti oscillazioni di tensione, ai poli della cella, che è bene evitare. In considerazione di ciò, abbiamo cercato di dare a  $R$  valori piuttosto piccoli rispetto alla resistenza interna della cella: riducendola ai valori appena necessari per garantire questa dalle eventuali correnti di corto circuito.

*Risultati delle esperienze.* — Fra le molte esperienze eseguite, che ci permisero fin da principio di assodare la esistenza delle correnti di isteresi, e che ci suggerirono i perfezionamenti da introdurre nella disposizione sperimentale, riferiamo i risultati di quelle fatte nelle migliori condizioni.

L'istante più prossimo a quello d'interruzione della luce per cui fu potuta misurare la corrente residua, corrisponde a una chiusura del circuito galvanometrico dopo  $1,6 \times 10^{-4}$  secondi dalla totale occultazione del fascio da parte del settore mobile.

Alla velocità di 10 giri al secondo del disco, ogni grado di ulteriore spostamento del tamburo corrisponde a un ritardo di 2,8 millesimi di secondo nella chiusura del contatto.

A titolo di esempio riferiamo anzitutto i dati della esperienza eseguita a 54,5 volts.

Si aveva  $R = 3000$  ohms;  $r = 10000$ ; resistenza totale del ramo galvanometrico 10000; le deviazioni osservate furono le seguenti:

Tempi dopo la cessazione totale della luce	Deviazioni galvanometriche
$1,6 \times 10^{-4}$ sec.	50
$14 \times 10^{-3}$ "	24
$28 \times 10^{-3}$ "	12
$42 \times 10^{-3}$ "	9
$56 \times 10^{-3}$ "	5

Nel modo sopra indicato si potè stabilire che la corrente che si sarebbe ottenuta lasciando sussistere la luce durante il contatto rotante, era misu-

rata da circa 2000 divisioni; se ne deduce che la corrente residua dopo  $1,6 \times 10^{-4}$  sec., è circa il 25 ‰ della corrente durante la illuminazione; e si riduce al 2.5 ‰ dopo 56 millesimi di secondo.

La corrente residua è molto più intensa applicando alla cella una tensione più alta; ma è allora anche assai maggiore la corrente in piena luce; è però da notare che la legge di decrescimento della corrente residua, col tempo, è molto più rapida con le tensioni più alte.

Così, con 82 volts di tensione,  $R = 13000$  ohms,  $r = 1000$  ohms, e resistenza totale del ramo galvanometrico eguale a 10000 ohms si ebbe:

Tempi in millesimi di secondo	Corrente
0,16	435
2,8	330
5,6	260
8,4	190
11,2	150
14,0	95
16,8	73
19,6	42
22,4	18
28,0	11
36,4	7

E si riconosce immediatamente che la corrente residua, dopo 28 millesimi di secondo, è appena il 2,5 per cento della residua dopo  $1,6 \times 10^{-4}$  sec.; mentre con 54 volts, nello stesso tempo, la corrente residua si era ridotta solo al 24 per cento.

Questi, e altri risultati che ci dispensiamo dal riferire, ci permettono di trarre la seguente conclusione:

*Dopo l'interruzione della luce che colpisce una cella fotoelettrica sottoposta a tensione, sussiste una corrente residua: essa è ancora constatabile dopo tempi dell'ordine di grandezza del centesimo di secondo; e decresce col tempo, tanto più rapidamente quanto più è alta la tensione applicata.*

*Interpretazione dei risultati.* — Stabilita così l'esistenza di correnti dopo brevissimi intervalli di tempo da quando è cessata la luce, esaminiamo le possibili spiegazioni del fenomeno.

Potrebbe ammettersi, come prima ipotesi, che il metallo del catodo, irradiato da luce intensa, continui a emettere elettroni anche dopo cessata l'azione della luce; i pochi elettroni emessi, accelerati dal campo esterno, provocherebbero, come prima, la produzione di nuovi ioni, e quindi la corrente postuma osservata.

Ma può anche farsi una seconda ipotesi: si potrebbe cioè attribuire questa corrente residua agli ioni già esistenti fra gli elettrodi, e che conti-

nuerebbero a produrne dei nuovi sotto l'azione del campo, finchè, mancando la sorgente continua di produzione di elettroni al catodo, la corrente tornerebbe al valore zero.

Si riconosce, da quanto si è detto, l'interesse notevole di decidere fra le due spiegazioni: poichè la prima farebbe intervenire una tardiva emissione elettronica, da parte del metallo, come se questo possedesse una facoltà di accumulo della energia ricevuta; mentre la seconda, e cioè l'esaurimento degli ioni rimasti per via e capaci di produrne dei nuovi, darebbe una valida conferma della teoria del Townsend sulla ionizzazione per urto nei suoi particolari più delicati.

Si noti, invero, che, se la seconda ipotesi è la vera, la corrente residua non può essere spiegata se non ammettendo che anche gli ioni positivi prendano parte al processo di ionizzazione per urti, ciò che appunto suppone il Townsend nel caso in cui il campo sia abbastanza intenso. Non potrebbe, invero, la corrente residua essere spiegata se solo gli ioni negativi prendono parte al processo di rigenerazione degli ioni; poichè, se così fosse, data la loro grandissima mobilità (corrispondente al fatto che essi sono costituiti, a basse pressioni, da elettroni puri), e dato il campo intenso che è in azione, la corrente residua dovrebbe annullarsi dopo un tempo estremamente breve, di gran lunga inferiore a quello dopo il quale essa si rivela ancora sensibilissima.

Un primo tentativo per dilucidare la questione fu fatto ricorrendo a tensioni piuttosto basse, tali cioè da rendere molto tenue il processo di ionizzazione per urto. E fu così osservato che anche con 18 volts applicati ai poli della cella, e perciò con tensioni inferiori a quelle che nella caratteristica segnano la prima brusca salita, indice della intensa ionizzazione per urti, c'è una traccia del fenomeno.

Il risultato però non è sufficiente a giustificare la ipotesi che si tratti di una emissione postuma di elettroni da parte del metallo: e ciò sia per la piccolezza dell'effetto ottenuto, in quanto che non è assolutamente da escludere che esso possa esser dovuto a cause perturbatrici non riconoscibili; sia perchè anche a tensioni basse possono alcuni ioni assumere la velocità necessaria per funzionare da riproduttori, come del resto risulta dalla stessa teoria del Townsend.

Siamo quindi passati a una disposizione del tutto diversa, che, a nostro parere, permette di decidere fra le due spiegazioni.

Nel circuito principale della batteria B (fig. 5) si trovano una resistenza R, un galvanometro  $G_1$ , la cella C e un interruttore a mano A. Agli estremi del tratto galvanometro-cella è derivato un secondo circuito che comprende l'interruttore rotante D e una resistenza  $r$ , nella quale, per mezzo di un terzo circuito, una pila P invia in permanenza una corrente regolabile con la resistenza C. Quando l'interruttore D è aperto (ciò



che avviene mentre il disco rotante connesso con l'interruttore intercetta la luce) ai poli della cella agisce l'intera f. e. m. della batteria (circa 75 volts) ma non vi passa corrente poichè la cella non è illuminata. Quando invece l'interruttore D è chiuso la f. e. m. ai poli della cella e del galvanometro si riduce solo a circa 4 volt, poichè la resistenza derivata  $r$  è traversata da una corrente notevole, e quindi ha luogo una forte caduta di tensione nella resistenza R assai più elevata. La stessa tensione agisce nella cella interrompendo il circuito principale in A, poichè  $r$  viene allora traversata dalla stessa corrente, prodotta dalla pila P; la resistenza  $\rho$ , su cui è derivata la tensione che agisce ai poli  $r$ , è appunto regolata in modo che, aprendo o chiudendo il circuito principale in A, non sia per nulla modificata quella tensione; ciò che può constatarsi, con metodo di zero, ricorrendo al galvanometro  $G_2$ .

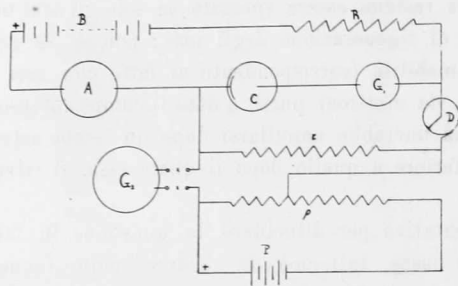


FIG. 5.

Supponiamo che la illuminazione intermittente della cella avvenga durante la chiusura dell'interruttore D, e cessi poco prima che il contatto si interrompa. Si avrà allora nel galvanometro  $G_1$  una lieve corrente, dovuta alla tensione di circa 4 volts che agisce mentre la cella è illuminata; ma questa tensione non è sufficiente per imprimere agli elettroni la velocità necessaria a trasformarli in generatori di nuovi ioni: ed essi saranno perciò esauriti senza crearne altri per via, nel breve tempo che passa fra la cessazione della luce e quella del contatto. Interviene, subito dopo l'interruzione in D, la grande tensione di 75 volts della batteria B; e se il metallo continuasse ad emettere elettroni dopo la cessazione della luce, essi sarebbero accelerati dal campo producendo una corrente di ionizzazione per urto. Se così fosse, il fare agire o no la batteria B (ciò che può ottenersi chiudendo o aprendo il circuito principale in A) dovrebbe modificare la corrente che traversa  $G_1$ . Perchè la messa in azione della batteria B non modifichi la tensione che agisce sulla cella (4 volts) durante il contatto D è la illuminazione, occorre che siano molto accuratamente regolate le resistenze R e

g. Basta per questo, come si è detto, ottenere che la chiusura in A sia senza effetto, mentre D è chiuso, sul galvanometro  $G_2$ .

Raggiunte queste condizioni furono messi in moto il disco e l'interruttore rotante D; la deviazione nel galvanometro  $G_1$  non subiva che una lievissima variazione aprendo e chiudendo in A. Quella lieve variazione si rese impercettibile regolando le cose in modo che la tensione applicata alla cella durante il contatto D fosse di 8, anzichè di 4 volts. E poichè il tempo intercedente fra la cessazione della luce e l'azione della batteria B era di soli 5 centomillesimi di secondo, ciò dimostra, per quanto si è detto, che dopo questo intervallo di tempo non esiste ulteriore emissione di elettroni da parte del metallo.

Si può anche dire che quel tempo è sufficiente per eliminare gli elettroni moventisi nella cella sotto l'azione di soli 8 volts; senza di che, quelli rimasti per via sarebbero accelerati dal campo intenso sopravveniente, e ne creerebbero dei nuovi.

Possiamo quindi concludere che le correnti residue osservate nell'altra esperienza, sotto l'azione di *permanenti* tensioni elevate, son dovute non a una emissione postuma di elettroni da parte del metallo, ma bensì alla presenza postuma, nella cella, di ioni creati per urto, e che prima, di trasferirsi agli elettrodi, ne creano dei nuovi determinando come uno strascico nel processo di eliminazione.

#### PRESENTAZIONE DI LIBRI

Il Segretario MILLOSEVICH presenta le pubblicazioni giunte in dono, segnalando una Memoria a stampa del Socio TARAMELLI, avente per titolo: *La traspirazione tellurica ed i terremoti nell'Appennino centrale e meridionale*; un opuscolo contenente il resoconto della *Commemorazione* di CESARE ARZELÀ, fatta all'Università di Bologna il 2 maggio 1915; ed una *Relazione di perizia geoidrologica sul disastro del Tritone in Roma* (con atlante), del prof. DE ANGELIS D'OSSAT.

Il Socio VOLTERRA fa omaggio di un volume contenente le lezioni da lui impartite all'Università di Princeton *sulla teoria delle funzioni permutabili*; e fa menzione di un'opera recentemente pubblicata dal dott. PÈRÈS, la quale tratta, con grande competenza, analogo soggetto.

Il Socio PATERNÒ presenta una pubblicazione del prof. C. A. GARUFI, accompagnandola colle seguenti parole:

Per incarico dell'autore prof. C. A. GARUFI della Università di Palermo, ho l'onore di presentare all'Accademia un volume di oltre 600 pagine pub-