9) Dalle molte esperienze fatte risulta che l'estrema punta polare positiva del carbone raggiunse la temperatura di 3900 gradi circa, la punta polare negativa la temperatura di circa 3150 gradi, e l'arco voltaico che guizza fra quelle due punte ebbe costantemente la temperatura di circa 4800 gradi qualunque fosse la grossezza dell'arco, e la intensità della corrente. -

SULLE LEGGI TERMICHE E GALVANOMETRICHE DELLE SCINTILLE
DELLE SCARICHE D'INDUZIONE; RICERCHE DEL PROF. EMILIO
VILLARI. (TERZA MEMORIA).

Dopo di avere determinato le leggi termiche e galvanometriche delle scintille prodotte dalle scariche dei condensatori (1), io intrapresi altre ricerche consimili sulle scintille d'induzione, e specialmente su quelle prodotte dai grandi induttori: e l'esposizione dei risultati di queste mie nuove indagini forma il soggetto di questo scritto.

L'apparecchio adoperato da me in queste nuove esperienze è disegnato nella Tavola II, e consta di un grau rocchetto di Ruhmkorff R; e di uno o due dei miei termometri a scintilla T e P e di un galvanometro G (*).

Il rocchetto era uno dei maggiori fabbricati dal Ruhmkorff, e tale che animato da 8 grandi elementi Bunsen produceva delle scintille di 35 a 40 cm. di lunghezza. A misurare la intensità della corrente inducente io ho adoperato una ottima bussola delle tangenti, che ponevo in derivazione

(1) I risultati di queste mie indagini sulle scintille si trovano pubblicate in due estese memorie: la prima è fra le *Memorie dell'Accad. delle Scienze di Bologna* T. X (3.) p. 147, 1879, Bologna: e la seconda trovasi inserita nelle *Memorie della R. Accademia dei Lincei*, Anno CCLXXVI, 1879, Roma.

(2) Il termometro P disegnato per isbaglio come è indicato nella figura deve avere la forma di quello rappresentato in T.

del circuito primitivo, ed a grande distanza dal rocchetto per eliminare le sue influenze perturbatrici. Le interruzioni della corrente primaria, per produrre le induzioni, si eseguivano a mano affine di potere sperimentare sopra una sola scintilla per volta; e perciò si adoperava il noto interruttore Foucault, che era unito al rocchetto nel modo ordinario e munito delle sue pile, per farlo agire nelle medesime condizioni nelle quali suolsi adoperare.

I termometri a scintilla erano quei medesimi ideati da me e descritti nella I. delle due memorie succitate; e consistono ciascuno in un pallone di vetro *T* isolato, munito di un cannello di vetro *t* contenente un indice di glicerina ed acqua, il quale col suo spostamento misura le dilatazioni e perciò i riscaldamenti subiti dal gas contenuto nel pallone. La scintilla vi scatta internamente fra due palline di platino fuse agli estremi di corti fili della stessa sostanza (1).

Il galvanometro *G* era quello del Wiedemann a specchio con rocchetti di filo di rame rivestito di grosso strato di guttaperca, ed esso era posto a molta distanza dall'induttore per sottrarlo alle sue influenze perturbatrici.

Il galvanometro ed i termometri successivamente od insieme si facevano comunicare col circuito indotto del rocchetto per mezzo dei fili *ff* perfettamente isolati e sostenuti nell'aria da bastoni di ebanite.

Ciò posto dirò come le mie prime ricerche ebbero per iscopo di determinare la relazione che esiste fra la lunghezza della scintilla indotta e la quantità di calorico che essa produce. Perciò riunii al circuito indotto del rocchetto (animato da 6 elementi Bunsen medio modello) il solo termometro a scintilla *T* con elettrodi mobili. Quindi manovrando l'interruttore Foucault facevo scoccare una sola scintilla per volta nel pallone e misuravo la dilatazione del gas (generalmente aria od azoto secco) in quello contenuto, ossia il riscaldamento prodotto dalla scintilla, con lo spostamento del-

(1) Per maggiori particolari intorno a questi termometri vedi: Villari, *Accademie delle Scienze di Bologna*, pag. 149. Bologna 1879.

l'indice glicerico t . Codeste dilatazioni e riscaldamenti s'ottenivano solamente all'interruzione della corrente primaria, imperocchè nel pallone vi passava solo la indotta diretta, a meno che gli elettrodi non fossero estremamente vicini; nel qual caso un lieve riscaldamento s'ottenneva anche alla chiusura della corrente primaria.

Le mie misure però furono eseguite sulla sola scintilla indotta diretta, che si produceva di varie lunghezze nel pallone, portando in esso gli elettrodi a diverse distanze le quali esattamente si misuravano, determinando in ciascun caso con le seste, la posizione degli elettrodi medesimi. Per ogni determinata lunghezza di scintilla si eseguivano tre o più esperienze, per determinare il suo potere termico, e le medie di queste misure sono riportate nella tabella seguente.

TABELLA I. — *Ossigeno. Pallone B $\alpha = 23^{\circ}, 30'$.*

N. d'Ordine	Lunghezza di scintilla L.	Calore C	Rapporti L : C
1	0	0,00	0,00
2	7,3	2,22	3,29
3	12,0	3,44	3,49
4	17,2	4,80	3,58
5	24,6	6,00	4,10
6	29,2	6,70	4,36
7	35,4	6,82	5,21
8	42,3	7,14	6,59
9	51,1	7,22	7,08
10	61,5	7,67	8,02
11	71,0	7,75	9,16
12	88,0	3,17	27,76

Nella tabella precedente sono trascritte nella colonna L le lunghezze delle varie scintille con le quali si sperimentò; nella colonna C sono indicati i calori svolti da ciascuna scintilla, e nell'ultima colonna sono riferiti i rapporti L : C, fra le lunghezze delle scintille ed i calori relativi C.

Dell'esame dei quali risultati noi scorgiamo, che in principio il calorico da esse prodotto cresce con la loro lunghezza

poi rimane costante ed indipendente delle lunghezze medesime; e finalmente al crescere di queste, quello va rapidissimamente diminuendo. Ed in effetti l'esame della colonna ultima, dei rapporti $L:C$, mette in chiaro che in principio (esp. 1 a 6) il calorico cresce quasi proporzionalmente alla lunghezza della scintilla, giacchè in detti limiti il rapporto su indicato cresce assai lentamente, così da potersi ritenere approssimativamente costante. In seguito, oltre la esperienza 6, il detto rapporto cresce rapidamente, ed il calorico svolto delle varie scintille (esp. 6 a 11 colonna C) rimane quasi costante, per poi decrescere grandemente fra le due ultime esperienze.

Queste diverse fasi o periodi del fenomeno non sono naturalmente separati fra loro in modo netto e reciso, ma quasi si sovrappongono, in maniera che lentamente dall'uno si passa all'altro. E tali periodi inoltre sono evidentemente in relazione con l'apparenza propria della scintilla indotta. Così essa per un determinato rocchetto è grossa vivace e fiammeggiante, quando è breve e l'induzione è potente; e per lo contrario, pare che si assottigli e diventi poco luminosa, quando si allunga, sino poi a riescire invisibile e quindi spegnersi affatto, oltre un dato limite della sua lunghezza.

Questo vario modo di comportarsi della scintilla d'induzione, io credetti fosse in relazione con l'intensità dell'induzione medesima, non che della natura del gas nel quale la scintilla si faceva balenare; e perciò ripetei le esperienze precedenti adoperando una corrente inducente più energica (la bussola dava 31° , $30'$ di deviazione, e precedentemente soli 23° , $30'$), e facendo passare la scintilla per entro il pallone, una volta ripieno di idrogeno ed un'altra di ossigeno. I risultati medi di 3 o più misure per ciascun caso sono riportati nelle tabelle seguenti.

TABELLA II. — *Ossigeno* $\alpha = 31^{\circ}, 30'$.

N. d'Ordine	Lunghezza di scintilla L.	Calorico C	Rapporti L : C
1	0.0	1.27	
2	4.3	4.68	0.92
3	8.8	7.78	1.13
4	11.9	9.95	1.20
5	14.0	10.70	1.31
6	18.0	13.47	1.37
7	23.0	15.50	1.48
8	26.0	17.34	1.49
9	31.0	18.50	1.68
10	34.5	17.60	1.96
11	38.0	17.50	2.27
12	46.2	18.50	2.57
13	54.5	18.00	3.03
14	66.0	19.20	3.44
15	76.0	20.60	3.69

TABELLA III. — *Idrogeno* $\alpha = 31^{\circ}, 30'$.

N. d'Ordine	Lunghezza di scintilla L.	Calore C	Rapporti L : C
1	0	0.0	
2	3.7	2.4	1.54
3	11.4	11.3	1.00
4	18.0	10.8	1.67
5	24.2	18.7	1.29
6	37.9	18.7	2.03
7	56.8	20.0	2.59
8	72.7	19.6	3.70
9	80.9	21.1	3.80

Le due tabelle precedenti sono disposte nel medesimo ordine della I, e i risultati registrati nelle due ultime sono simili a quelli trascritti nella I.

Così noi scorgiamo che il calorico svolto dalla scintilla tanto nell'ossigeno quanto nell'idrogeno, aumenta in princi-

pio con la lunghezza della scintilla e poscia rimane quasi costante. Ed inoltre, in sulle prime, l'aumento di calorico è quasi proporzionale alla lunghezza della scintilla, quando però questa non superi i 23 o 26^{mm}; come mostra la costanza dei rapporti $L:C$ (tab. II e III) considerati nei suindicati limiti. Per lunghezze di scintille maggiori delle predette noi vediamo dalle colonne C delle due ultime tabelle, che il calorico svolto nel pallone è pressochè costante, sebbene la lunghezza delle scintille che l'ha prodotta abbia grandemente variato; laonde in questo secondo periodo il calorico svolto dalle scintille è quasi indipendente dalla loro lunghezza. Il che potrebbe dipendere o da un raffreddamento della scintilla dovuto al suo allungamento, e perciò alla diminuita intensità della corrente inducente, od anche forse ad altre cagioni non per anco ben determinate.

Un completo confronto può intanto farsi fra i risultati della tabella I e quelli iscritti nelle tabelle II e III essendo tutti stati in circostanze analoghe, salvo l'intensità delle correnti adoperate che fu diversa nei vari casi. Ora una tale comparazione fra la tabella I e II fa scorgere che il riscaldamento prodotto da una medesima lunghezza di scintilla sia assai maggiore nelle esperienze relative alla tabella II che alla I. Così p. e. si rileva nella tabella I che ad una scintilla di 24^{mm},6 corrisponde un riscaldamento di 6° del mio termometro, e nella tabella II ad una scintilla di 23^{mm} corrisponde un riscaldamento di 15°,5, cioè quasi il triplo del precedente. E questo maggiore effetto termico della scintilla in questo ultimo caso dipende dall'essere essa stata prodotta da una più energica induzione.

Le tre tabelle poi insieme considerate mostrano, come la relazione fra il calorico svolto dalle scintille e la loro lunghezza tiene in tutte il medesimo andamento. Così il periodo o legge di proporzionalità, fra il calorico e la lunghezza della scintilla, si appalesa nei dati di ciascuna tabella e cessa per l'idrogeno come per l'ossigeno, con corrente debole o forte, con una lunghezza di scintilla compresa presso a poco fra 24 e 30^{mm}: quindi segue il secondo periodo. E perciò può dirsi

che il cessar dell'uno ed il cominciar dell'altro, sia quasi indipendente dalla natura del gas e dall'intensità della corrente inducente.

Nella tabella I inoltre si rileva che il 2° periodo cessa con una lunghezza di scintilla di 71^{mm} circa, mentre che con una lunghezza di scintilla di 76 per la II tabella e di 80^{mm} per la III noi scorgiamo mantenersi sempre stabile il 2° periodo. Questo adunque può dirsi, che sebbene cominci con una lunghezza di scintilla quasi costante ed indipendente dalla energia dell'inducente, pure esso si prolunga assai di più con correnti forti che con correnti inducenti deboli. E tale prolungarsi del secondo periodo è in relazione evidentemente col fatto, che con corrente inducente energica le scintille indotte si producono di molta maggiore lunghezza che con corrente primaria debole. Noi adunque possiamo, generalizzando e riassumendo dire, che dalle precedenti esperienze risultano dimostrate le seguenti leggi o periodi relativi alle scintille d'induzione:

1° *Per piccole lunghezze di scintille indotte il calorico svolto da esse cresce quasi proporzionalmente a dette lunghezze.*

2° *Per lunghezze maggiori di scintille il calorico svolto da esse è quasi costante ed indipendente da dette lunghezze.*

3° *Per lunghezze massime di scintille (massime, in relazione con l'intensità dell'inducente) il calorico da esse prodotto decresce rapidamente col loro aumentarsi fino a diventar 0°, quando la scintilla cessa di passare nel gas.*

A viemmeglio mettere sottocchio del lettore l'andamento ed il succedersi di questi tre periodi o fasi del fenomeno, ho coi dati delle tre precedenti tabelle, tracciate nella Tav. III tre curve, contando sulle ascisse le semilunghezze delle scintille, e sulle ordinate il calorico svolto da esse; cioè le indicazioni termometriche corrispondenti: ed il numero che porta ciascuna curva corrisponde a quello della tabella i cui dati servirono a costruirla.

Le curve I e II relative all'ossigeno hanno un anda-

mento perfettamente regolare e simile fra loro, sebbene nella II i valori delle ordinate (calore) corrispondenti alla stessa ascissa della I sieno molto maggiori che in questa. L'inflessione in entrambi le curve accade presso a poco alla medesima ascissa e perciò può ritenersi che per le due serie di esperienze il primo periodo cede al secondo presso a poco alla medesima lunghezza delle scintille. Del terzo periodo non vi è che una sola osservazione relativa alla curva I indicata in n : nella quale curva i risultati furono ottenuti con debole corrente inducente, con la quale il terzo periodo si manifesta con scintille non eccessivamente lunghe. Nella curva II invece detto periodo manca, imperocchè le esperienze relative ad essa furono fatte con corrente inducente molto energica, per la quale l'apparire del 3° periodo abbisognava di lunghezze di scintille troppo maggiori di quelle che le dimensioni del mio termometro a scintilla non permetteva ottenere.

Le medesime conclusioni valgono per la curva III, che si riferisce all'idrogeno; nella quale si scorge che il 1° periodo dà luogo al 2° presso a poco come e quando si verifica nelle due curve precedenti.

La spiegazione di questi periodi o leggi che segue il calorico generato dalle scintille di induzione di varia lunghezza, noi dobbiamo necessariamente ricercarla nei due fattori che concorrono a produrre il calorico stesso per mezzo della scintilla che balena in un medesimo gasse; e questi due fattori sono: primo la lunghezza della scintilla, e secondo la quantità di elettricità che la costituisce; circa le quali cose io ho già, nella mia memoria più volte citata, stabilito in modo sicuro che il calorico svolto dalla scintilla è (poste le altre cose eguali) proporzionale alla lunghezza della scintilla ed alla quantità di elettricità che la costituisce. Ora nelle esperienze più sopra citate, la lunghezza delle scintille era perfettamente misurata e quindi rimaneva a studiare solo come variava la quantità di elettricità che la formava al variare della lunghezza medesima.

È già noto che la scintilla indotta quando si allunga di-

venta poco luminosa e par che s'assottigli; e sicuramente la corrente che la produce deve variare di intensità con le diverse lunghezze della scintilla medesima. Però la legge con la quale varia la suddetta intensità, per quanto io mi sappia non è ancora stata da alcuno investigata, e mi è parso utile affine d'interpretare i fenomeni termici della scintilla, di istituire in proposito una serie di esperienze. Al quale scopo io feci passare la scarica d'induzione attraverso il mio solito termometro a scintilla (i cui elettrodi portati successivamente a varie distanze determinavo la lunghezza della scintilla) e poscia attraverso il galvanometro isolato come più sopra dissi. Le esperienze si praticavano nella maniera consueta e s'osservavano contemporaneamente gli effetti termici e galvanometrici che una scarica indotta produceva: e nella tabella seguente sono riportati i valori medi di 3 o più esperienze successive eseguite con ciascuna lunghezza di scintilla.

TABELLA IV. — *Ossigeno. Pallone B. Bussola $\alpha = 20^{\circ}, 48'$.*

Numero d'Ordine	I Lunghezza di scintilla L	II Calore C	III Rapporti L : C	IV Derivazioni galvanomet. D	V Prodotti L $\times$ D	VI Differenze
1	0,0	0,0		62,0		
2	5,7	1,9	3,00	20,0	114	
3	9,2	3,0	3,67	17,6	162	
4	12,5	4,3	3,12	14,9	186	
5	19,7	6,5	3,03	12,5	246	
6	26,7	7,6	3,51	10,0	267	— 19
7	31,4	8,3	3,78	9,2	289	+ 03
8	38,0	9,8	3,89	8,0	304	+ 18
9	45,2	8,4	5,38	6,6	298	+ 12
10	52,5	8,5	6,18	5,7	289	+ 03
11	57,7	9,6	5,07	5,0	289	+ 03
12	66,0	7,3	9,11	4,0	264	— 22
13	74,0	2,5	39,60	2,5	185	

media = 286

Dai dati precedenti noi scorgiamo al solito, che il calorico svolto dalle scintille di diverse lunghezze, in principio cresce

quasi proporzionalmente alle dette lunghezze, come bene si rileva dalla colonna III nella quale i rapporti $L:C$ sono quasi costanti fino alla 6^a o 7^a esperienza. Poscia il calorico svolto è indipendente da detta lunghezza, come si rileva dalla colonna II nella quale il detto calore è pressochè costante dalla 7^a alla 12^a esperienza all'incirca. E da ultimo il calore rapidamente decresce dall'esp. 12^a alla 13^a. E con questi dati ho costruito la curva IV che concorda con le precedenti, registrate nella Tav. III ed alla quale curva appartiene il valore n' corrispondente al 3° periodo.

Nella colonna IV della stessa tabella sono riportate le deviazioni D del galvanometro, generate dalla scarica indotta, quando produceva scintille delle lunghezze indicate nella colonna I. Ora dall'esame della detta colonna IV si scorge chiaro come le derivazioni galvanometriche decrescono al crescere della lunghezza della scintilla; ossia decrescono al crescere dello strato d'aria che la corrente indotta deve attraversare. Ed io per meglio rilevare la legge di tale decremento ho trascritto nella colonna V i prodotti $L \times D$, delle lunghezze delle scintille per le deviazioni galvanometriche. Ora esaminando i valori contenuti in detta colonna si scorge che per le prime 4 o 5 esperienze (corrispondenti alle minime lunghezze delle scintille), i suddetti prodotti vanno rapidamente aumentando, per cui si inferisce che le deviazioni D , decrescono più lentamente che non aumentano le lunghezze L . Poscia il prodotto $L \times D$ rimane pressochè costante (esp. 6 a 12) per cui si conclude che le deviazioni D , ossia le intensità della indotta sono in ragione inversa della lunghezza L delle scintille. E finalmente i detti prodotti rapidamente decrescono (esp. 12^a a 13^a) e perciò le deviazioni galvanometriche e la intensità della corrente rapidissimamente decrescono, e presto si riducono a 0° con l'aumento di L .

Laonde noi qui possiamo ritenere, che relativamente alle deviazioni galvanometriche esistono ancora tre periodi, analoghi a quelli che si osservano rispetto al calorico e quindi anche qui potremo dire che:

1° *Per piccole lunghezze di scintille indotte, la quan-*

tà di elettricità che le costituisce decresce pochissimo al crescere delle lunghezze di quelle.

2° Per lunghezze di scintille maggiori, la quantità di elettricità che le produce è in ragione inversa di dette lunghezze.

3° Finalmente per lunghezze di scintille ancora maggiori, la quantità di elettricità che le costituisce decresce ancora più rapidamente dell'aumento delle lunghezze di quelle.

Nè vuolsi qui mancare d'avvertire, che questi tre periodi relativi alle deviazioni galvanometriche, sono perfettamente analoghi a quelli già indicati parlando del calorico svolto dalla scintilla: ed essi inoltre, nei due ordini di fenomeni, si manifestano e succedono insieme nelle medesime condizioni e per le medesime lunghezze di scintille, cosicchè sono fra loro strettamente collegati e dipendenti. E siccome io ho già dimostrato (1) che il calorico svolto dalla scintilla elettrica cresce proporzionalmente alla sua lunghezza, quando è d'intensità costante, ed alla quantità di elettricità che la produce, quando è di lunghezza costante, così riassumendo e collegando insieme i due ordini di fenomeni, del calorico cioè svolto dalle scintille e delle deviazioni galvanometriche, noi potremo dire che:

1° Per scintille indotte di piccola lunghezza, il calorico svolto da esse cresce quasi proporzionalmente alla loro lunghezza, perchè allora la quantità di elettricità che le costituisce è quasi costante, scemando poco con lo allungarsi delle scintille.

2° Per scintille di maggior lunghezza, il calorico svolto da esse è quasi costante ed indipendente dalla loro lunghezza, perchè la quantità di elettricità che le costituisce è quasi in ragione inversa della lunghezza delle scintille stesse.

3° Finalmente per scintille di massima lunghezza, il calorico che esse svolgono decresce rapidamente col crescere della loro lunghezza, imperocchè allora la quantità di elettrico che le produce, decresce più rapidamente che non crescono le lunghezze suddette.

(1) Villari, l. c.

Con lo studio delle leggi galvanometriche, che seguono le correnti indotte, noi siamo riusciti a darci ragione ed interpretare le leggi termiche delle scintille prodotte dalle medesime correnti. Ora ci rimane a spiegare come e perchè l'intensità della indotta varia nel modo indicato precedentemente; il che si potrebbe facilmente qualora al rocchetto indotto, considerato come una pila, si potessero applicare le note leggi di Ohm sulle correnti elettriche.

Ed in vero risulta dagli studi fatti sul rocchetto d'induzione, che il filo indotto nell'istante dell'induzione può considerarsi come una pila d'un enorme numero d'elementi, la forza elettromotrice della quale possiamo rappresentare con E , e la resistenza con R , quindi l'intensità I dell'indotta sarà

$$I = \frac{E}{R}$$

per un determinato rocchetto animato da una data corrente inducente, e supposto che i capi del filo indotto sieno riuniti direttamente fra loro. Nel caso invece che fra gli estremi del filo indotto s'introduca una determinata resistenza r , questa deve naturalmente entrare in calcolo, per la determinazione del valore di I , e quindi avremo in questo secondo caso per la legge di Ohm

$$I = \frac{R + r}{E}.$$

Il valore adunque di I dipende evidentemente da quello delle due resistenze R ed r , che potremo chiamare interna ed esterna.

Nelle mie esperienze più sopra descritte, la resistenza esterna del rocchetto era fatta da brevi fili congiuntivi di rame, e perciò di resistenza trascurabile, e dalla resistenza opposta dall'aria al passaggio della scarica; la quale resistenza può essere o piccola o grande, rispetto alla resistenza interna del rocchetto indotto a seconda che la scintilla d'induzione è breve o lunga. Così per le scintille di frazione di

un millimetro od anche di alcuni millimetri, il valore di r rispetto ad R può considerarsi come piccolissimo, e supponendolo anche trascurabile, il valore di I ci sarà dato con approssimazione dalla relazione

$$I = \frac{E}{R}.$$

Cioè in questo caso l'intensità dell'indotto sarà presso a poco costante ed indipendente da r , cioè dalla lunghezza della scintilla: e perciò il calorico svolto da essa dovrà essere proporzionale alla sua lunghezza. Ciò si verifica appunto approssimativamente con le scintille brevi, ed abbiamo il 1° periodo notato più sopra.

Nè qui parmi per avventura arrischiata la supposizione, che la resistenza di uno strato d'aria, anche di parecchi millimetri, possa ritenersi come trascurabile rispetto alla resistenza interna del rocchetto indotto, imperocchè questa non deve calcolarsi in ragione della sua normale resistenza elettrica già per se stessa grandissima, ma sì vero bisogna considerare che esso rocchetto indotto, nell'istante dell'azione inducente è sede di forze elettromotrici potentissime, le quali dirò (se mi è permesso il confronto) che a quella guisa di molteplici polarità secondarie, operando nell'interno del filo stesso, contrastano il passaggio dell'elettricità nel senso opposto a quello che in esso si svolge per l'induzione, e perciò nel momento che scatta la scintilla, la resistenza interna del rocchetto deve essere enorme.

Quando poi la scintilla aumenta molto di lunghezza, così che lo strato d'aria da quella percorsa diventa di sufficiente spessore, la resistenza che esso oppone alla scarica crescendo in proporzione presto rappresenta, con sufficiente approssimazione, la resistenza totale dell'intero circuito d'induzione. Allora R può considerarsi come trascurabile rispetto ad r , ed I è dato approssimativamente dalla formola

$$I = \frac{E}{r}.$$

In questo caso adunque I è in ragione inversa di r , lunghezza della scintilla, come appunto con approssimazione trovasi confermato nello specchio IV fra gli altri (colonna V esp. 6 a 12); ed in tali limiti il calorico svolto dalla scintilla deve essere ed è infatti quasi indipendente dalla sua lunghezza e perciò si manifesta il 2° periodo.

Finalmente crescendo ancora viemaggiormente la lunghezza della scintilla, e quindi avvicinandosi al limite della sua formazione, l'intensità della corrente scema rapidissimamente, ha luogo il 3° periodo, e poscia la resistenza dell'aria potendosi considerare infinita, per l'apparato che si adopera l'intensità I della corrente diventa

$$I = \frac{E}{\infty} = 0,$$

così la scarica indotta più non passa ed abbiamo la fine del 3° periodo istesso.

L'applicazione della legge di Ohm a questi fenomeni delle scintille e delle scariche d'induzione parmi collegare in un certo modo i fenomeni e le leggi delle scariche indotte a quelle delle correnti voltaiche. Ed inoltre siccome le scariche d'induzione sono collegate in ispecial modo, per l'esistenza del primo periodo notato da me e per molti altri fenomeni ancora, alle leggi termiche delle scariche dei condensatori, così queste vengono in una certa maniera collegate con le leggi delle correnti voltaiche.

Vero è però che sebbene una relazione esiste fra le scariche dei condensatori e quelle dei rocchetti, pure sembra a prima vista che fra questi due ordini di fenomeni passi una enorme differenza. Ed infatti è noto che la scarica d'un condensatore, quando dà luogo ad una scintilla nel circuito oltre quella contro lo scaricatore (1), detta scarica è sempre composta della medesima quantità di elettricità (poste le altre cose eguali) qualunque sia la lunghezza della prima scintilla che in detta scarica si forma. Invece nelle scariche del

(1) Vedi Villari J. c.

rocchetto, escluso il caso di scintille piccole (1° periodo), la quantità di elettrico che le forma decresce proporzionalmente al crescere della lunghezza della scintilla, e più rapidamente ancora. Per cui può dirsi che mentre la scarica dei condensatori è indipendente dalla resistenza del circuito esterno, quella del rocchetto vi è in intima dipendenza. Tuttavia, comunque grande possa sembrare codesta differenza fra le due specie di scariche, pure essa a tutto rigore è più apparente che reale.

Ed invero non è punto esatto, ciò che si ritiene generalmente dai fisici, che la quantità di elettricità che forma la scarica di un condensatore, sia indipendente dalla resistenza dell'arco scaricatore e dalla lunghezza delle scintille che nell'arco medesimo possono formarsi. Io ho dimostrato infatti in una lunga Memoria sulle scintille dei condensatori (1), che se la quantità di elettricità che forma la scarica di un condensatore è costante, qualunque sia la lunghezza di una scintilla che in essa si formi, ciò avviene essenzialmente ed unicamente a cagione di una seconda scintilla, che nell'atto della scarica si produce contro lo scaricatore, che s'adopera per chiudere il circuito. Seconda scintilla non per anco stata presa in considerazione dai fisici, ma che è della massima importanza nello studio delle scariche dei condensatori medesimi.

Ora dalle mie citate ricerche risulta dimostrato, con due metodi diversi, che quando la scarica di un condensatore dà luogo ad una prima scintilla in un punto qualunque dell'arco congiuntivo, e ad una seconda contro lo scaricatore col quale si chiude il circuito, avviene sempre e costantemente, che quando la prima delle due scintille s'allunga od accorcia, la seconda viceversa si accorcia o si allunga di una egual quantità, supposti simili gli estremi degli elettrodi dai quali le due scintille scoccano. Da ciò se ne traggono fra le altre le due conclusioni seguenti:

1° La somma delle lunghezze delle due indicate scintille è costante:

(1) Villari, *Ricerche termiche ecc. Acc. d. Lincei*, Roma 1879.

2° La somma delle resistenze incontrate dalle due scintille nell'aria è costante.

E per quest'ultimo principio possiamo dire, che nel caso che la scarica d'un condensatore formi una o più scintille di varia lunghezza, per la compensazione che vi apporta quella contro lo scaricatore, si ha sempre che la resistenza totale incontrata da esse nell'aria è costante, e quindi la scarica deve sempre essere formata da una stessa quantità di elettricità, supposto tutte le altre cose uguali.

Questi risultati semplici ed evidenti, mettono il fenomeno delle scariche dei condensatori sotto la sua vera luce, e rendono possibile d'apprezzare e stabilir meglio le analogie fra le scariche dei condensatori e quelle dei rocchetti di induzione. Per lo che io cercai di sperimentare con le scariche d'induzione in condizioni analoghe a quelle nelle quali si verificano le scariche dei condensatori; e perciò introdussi nel circuito del rocchetto indotto due de' miei soliti termometri a scintilla, con elettrodi mobili terminati internamente con palline di platino di circa 2^{ma} di diametro. I due termometri erano ripieni di azoto secco, e la distanza somma degli elettrodi, internamente ai due termometri, nelle varie esperienze fu tenuta costante, modificandola in ciascun termometro sempre d'egual quantità, ma in senso inverso. Quindi per entro ai due palloni facevo passare la scarica, la quale traversando degli strati d'aria d'una grossezza somma costante incontrava sempre la medesima resistenza, come appunto accade per le scariche dei condensatori. Le esperienze le ho riputate tre o più volte per ciascuna lunghezza di scintilla nei due palloni, ed in ciascuno di essi ho misurato il calorico svolto, e le medie di ogni serie di misure le ho trascritte nello specchio seguente; ho fatto inoltre alcune misure galvanometriche, che sono anch'esse riportate nello stesso specchio. In queste esperienze il rocchetto era attivato da quattordici elementi Bunsen, medio modello, disposti in due serie.

TABELLA V. — *Azoto*

N. d' Ordine	Pallone A.		Pallone E.		Rapporti		Somme		Galvano- metro
	Lunghezza di scintilla L	Calore C	Lunghezza di scintilla L _e	Calore C _e	L : C	L _e : C _e	L+L _e	C+C _e	
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
1	101,8	16,8	0	0,0	6,1		101,8	16,8	
2	96,8	14,4	5	1,0	6,7	5			3,4
3	91,8	14,2	10	3,0	6,5	3,3		17,2	
4	86,8	13,3	15	4,0	6,5	3,8		17,3	
5	81,8	13,6	20	5,3	6,5	3,8		17,9	
6	76,8	12,3	25	7,0	6,2	3,3		19,3	
7	71,8	11,1	30	8,5	6,5	3,5		19,6	
8	66,8	9,3?	35	9,6?					3,5
9	61,8	8,1	40	11,5	7,6	3,7		19,6	
10	56,8	8,0	45	12,5	7,1	3,6		20,5	
11	51,8	6,6	50	16,0	7,8	3,1		21,5	
12	46,8	5,6?	55	18,5?		3,0			3,3

Nella tabella qui sopra riportata sono trascritti i risultati ottenuti con due termometri A ed E. Nel primo la scintilla di 101^{mm},8 si è mano mano diminuita di 5^{mm} per volta fino a 6,8: e nel secondo si è d'altrettanto accresciuta, da 0 a 55^{mm}. Il calore nel primo, colonna II, è andato continuamente scemando, mentre nel secondo, colonna IV, s'è continuamente accresciuto. Nelle colonne V e VI ho trascritto i rapporti L : C ed L_e : C_e, fra la lunghezza L della scintilla ed il calorico C svolto nel primo pallone e fra i valori analoghi L_e e C_e relativi al secondo pallone. Nella colonna VII è riportata la somma della lunghezza delle scintille nei due palloni che fu costantemente 108^{mm},8; nella VIII sono indicate le somme dei calori C + C_e svolte nei due palloni contemporaneamente: e da ultimo nella IX colonna sono indicate le deviazioni galvanometriche prodotte dalla scarica indotta.

L'esame dei numeri precedenti ci mostra, che le deviazioni galvanometriche osservate in diversi momenti dell'esperienza sono state costanti, colonna IX. e perciò la corrente è rimasta sempre della medesima intensità in tutto il corso

dell'esperienze medesime, cosa d'altronde naturalissima, imperocchè in esse la lunghezza somma delle scintille e la resistenza del circuito sono rimaste sempre invariate.

Le osservazioni relative al pallone A ci mostrano inoltre che col decrescere della distanza degli elettrodi in esso (colonna II) il calorico C svolto va scemando nella medesima proporzione, in maniera che il rapporto $L : C$, fra la lunghezza della scintilla ed il calorico suddetto, è costante (colonna V). Una osservazione consimile può farsi rispetto al termometro E; ed infatti noi scorgiamo del pari che il rapporto $L : C$, fra le lunghezze delle scintille in esso termometro ed il calore che vi si svolge è costante (colonna VI). Cosicchè può per le due serie di esperienze precedenti, stabilirsi la legge seguente:

Il calorico svolto dalla scintilla d'induzione è, coeteris paribus, in ragione diretta della sua lunghezza.

La quale legge è la stessa che io dimostrai verificarsi nelle scintille delle scariche dei condensatori; e perciò, per ragioni affatto analoghe a quelle esposte nella mia precedente Memoria, noi qui possiamo enunciare i due seguenti corollari relativi alla scintilla d'induzione, considerata nelle condizioni qui sopra esposte.

a) *La temperatura della scintilla elettrica d'induzione nei vari suoi punti è costante ed indipendente dalla sua lunghezza.*

b) *La resistenza opposta dai gassi alla scintilla d'un induttore, è proporzionale alla grossezza dello strato gassoso percorso dalla scintilla istessa.*

Dalla colonna VIII ove, come si disse, sono riportate le somme dei calori svolti nei due palloni A ed E, si vede che esse sono quasi costanti. Ed ho detto *quasi* imperocchè i due palloni e le due scintille in essi non essendo eguali, le loro indicazioni non potevano avere i medesimi valori, ; per una stessa lunghezza di scintilla, e perciò la somma dei calori svolti doveva risentirsi sempre di quello dei due che dava indicazioni più cospicue.

Per ottenere nei due palloni risultati che meglio fra

loro potevano confrontarsi, io rifeci le precedenti ricerche, avendo avuto cura di sperimentare con scintille eguali successivamente in ciascuno di essi: e ciò ottenni facendo nelle diverse esperienze variare in senso inverso la distanza degli elettrodi in ciascun pallone da 0^{mm} a 55^{mm}; ed i risultati sono trascritti nella tabella seguente, che è in tutto e per tutto simile alla precedente. Siccome però il pallone E, era più sensibile di quello A, e tale che le sue indicazioni erano di valore doppio, così nella colonna VII vi sono trascritte le somme $C + \frac{1}{2} C_1$ del calorico C svolto in A, e della metà $\frac{1}{2} C_1$ svolto nel termometro E, onde non fare in dette somme predominare le indicazioni dell'uno sull'altro.

TABELLA VI. — Azoto.

Termometro A.		Termometro E		Rapporti		Somme dei calori	Somma delle scintille	Devia- zioni galvano- metriche
Lunghezza di scintilla L	Calore C	Lunghezza di scintilla L ₁	Calore C ₁	L : C	L ₁ : C ₁	$C + \frac{1}{2} C_1$	L + L ₁	
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
0 ^{mm}	0	55 ^{mm}	23,0	5,8	2,4	11,5	55 ^{mm}	
5	0,8	50	21,6	6,2	2,3	11,5	»	
10	1,7	45	21,2		2,4	12,3	»	
15	3,0	40	18,4	5,0	2,1	12,2	»	
20	4,0	35	17,0	5,0	2,1	12,5	»	
25	5,1	30	14,8	4,9	2,0	12,5	»	3,8
30	6,8	25	11,0	4,4	2,3	12,3	»	
35	7,8	20	8,0	4,5	2,5	11,8	»	
40	9,2	15	5,4	4,3	2,8	11,9	»	
45	11,5	10	3,6	3,9	2,7	13,3	»	
50	12,0	5	1,6	4,2	3,0	12,8	»	
55	12,8	0	0,0			12,8	»	3,6
				media 2,4				
						media 12,3		

L'esame di quest'ultima tabella conduce a risultati analoghi a quelli ricavati dalla tabella V indicati più sopra. Così noi osserviamo che la somma delle due scintille essendo rimasta sempre costantemente eguale a 55^{mm} le somme dei calori $C + \frac{1}{2} C_1$ svolte nei due palloni fu del pari costante

ed eguale a 12,3 in media: nel mentre che le deviazioni galvanometriche, colonna IX, e perciò l'intensità della corrente indotta rimasero sempre le medesime. Si rileva inoltre che i diversi rapporti $L:C$ ed $L_1:C_1$, fra le lunghezze delle scintille L ed L_1 ed i calori C e C_1 , svolti nei due palloni, furono pochissimo diversi dalle medie e devono ritenersi come costanti, specialmente se non si tien conto delle due o tre prime osservazioni, relative al termometro A, e corrispondenti alle piccolissime ed incerte sue indicazioni. Dai quali risultati, che confermano quelli indicati più sopra e ricavati dalla penultima tabella, noi possiamo con sicurezza stabilire le seguenti leggi.

1° *Quando la scarica indotta produce due scintille di lunghezza somma costante (qualunque sieno le rispettive lunghezze) la quantità di elettricità che costituisce la scarica è costante.*

2° *La resistenza totale incontrata dalle due scintille di lunghezza somma costante è costante.*

3° *Il calorico totale svolto dalle due scintille di lunghezza somma costante, è invariabile, qualunque sieno le lunghezze relative delle due scintille.*

Le quali leggi sono perfettamente analoghe a quelle state ritrovate da me per la scarica dei condensatori, quando esse producono del pari due scintille, una cioè nell'arco congiuntivo interrotto in un punto qualunque, ed una seconda contro lo scaricatore che serve a chiudere il circuito. — Le leggi adunque della scarica dei condensatori sono analoghe interamente a quelle degli induttori, e queste scariche si comportano in alcuni rapporti come le correnti delle pile.

Per ultimare questo studio sulle scintille indotte bisogna ricercare la legge con la quale cresce il calorico svolto da esse al crescere della corrente che le produce; ed io già mi sono occupato di questa quistione, e ne ho discusso nella mia breve Nota anticipata, presentata il 18 Maggio 1879 all'Acc. d. S. di Bologna. In questo anno inoltre ho molto esteso le mie ricerche in proposito e credo meglio, per non allungar troppo questo scritto, di trattare a parte questa qui-

stione interessante, relativa alle scintille indotte: e perciò senza più qui passo a ricordare in breve le cose principali esposte in questa memoria.

Riassunto:

Il calorico, svolto dalle scintille d'induzione che hanno luogo nei gassi, si manifesta seguendo tre fasi o periodi diversi che sono i seguenti:

1° Il calorico svolto da scintille brevi è quasi proporzionale alla loro lunghezza.

2° Il calorico svolto da scintille di media lunghezza è quasi costante ed indipendente dalla lunghezza stessa.

3° Il calorico svolto da scintille lunghissime decresce rapidamente fino a 0 col crescere di detta lunghezza.

Questi tre periodi sono, naturalmente in relazione con l'intensità della corrente che forma la scintilla indotta; ed avendo io studiato e misurato codesta intensità, ho trovato che essa analogamente al calore, dà luogo ai tre periodi seguenti:

1° L'intensità della corrente indotta per brevi scintille è quasi costante ed indipendente dalla loro lunghezza.

2° L'intensità della corrente indotta per scintille di media lunghezza è presso a poco in ragione inversa della loro lunghezza.

3° L'intensità dell'indotta, per scintille lunghissime decresce rapidamente sino a 0° col crescere della loro lunghezza.

Questi tre periodi, relativi al calore ed alla intensità delle correnti, che si succedono e corrispondono completamente, non sono fra loro separati e distinti in maniera affatto assoluta, ma si succedono e si sostituiscono lentamente l'uno all'altro.

La interpretazione del succedersi dei periodi rispetto al calore si ricava da quelli relativi alla intensità della corrente indotta.

Ed invero avendo, con altre mie esperienze, dimostrato che il calorico svolto dalle scintille è proporzionale alla loro lunghezza ed alla quantità di elettricità che la forma ne se-

gue. che per piccole scintille indotte la corrente che le forma essendo quasi costante ed indipendente dalla loro lunghezza il calorico che esse scintille svolgono deve crescere quasi proporzionalmente alle dette lunghezze; ed abbiamo così il 1° periodo. Per lunghe scintille la intensità della corrente indotta essendo presso a poco inversa alla loro lunghezza, avviene che il calore da esse prodotto deve essere indipendente da detta lunghezza. e si manifesta così il 2° periodo.

Finalmente per scintille lunghissime l'intensità della corrente decrescendo rapidissimamente sino a 0°, avviene che anche il calorico che esse svolgono deve decrescere con eguale rapidità sino a 0° al crescere della lunghezza delle medesime scintille, e quindi abbiamo il 3° periodo più sopra notato.

I tre periodi poi che si manifestano nella intensità della corrente, si possono alla lor volta interpretare qualora si consideri il filo indotto come una pila d'un gran numero di elementi, e ad essa s'applichino le leggi e le formule di Ohm.

A completare lo studio delle proprietà termiche della scintilla indotta è necessario esaminarne una, formata sempre d'una quantità costante di elettricità. A tale scopo si facevano produrre dalla scarica indotta due scintille, ognuna delle quali scoccava in uno dei miei termometri a scintilla. Questi termometri avevano mobili i loro elettrodi, così che si potevano spostare variamente nelle diverse misure: e le esperienze furono condotte in modo che la somma delle distanze degli estremi dei suddetti elettrodi, e perciò la lunghezza somma delle scintille che da essi scoccavano rimaneva sempre e costantemente la medesima. In cotal maniera operando si constatò:

1° Che al variare della lunghezza di ciascuna delle due scintille (di lunghezza somma costante) l'intensità della corrente indotta rimaneva costante;

Quindi

2° La resistenza somma dei due strati d'aria (di spessore totale costante) percorso dalle due scintille è costante,

3° Il calore svolto da ciascuna delle due scintille, d'intensità costante, è proporzionale alla loro lunghezza.

E perciò

4° La temperatura di ciascuna di dette scintille è indipendente dalla loro rispettiva lunghezza.

5° La resistenza che ciascuna di esse incontra nell'aria è proporzionale alla grossezza dello strato che attraversa.

Questi risultati sono perfettamente simili a quelli che si riferiscono alla scintilla elettrica d'un condensatore, prodotta nell'arco congiuntivo interrotto in un dato suo punto, fatta astrazione però dalla scintilla che ha luogo contro lo scaricatore, che stabilisce le comunicazioni; imperocchè questa ha proprietà affatto diverse. Laonde può affermarsi esistervi completa analogia fra le proprietà della scintilla indotta e quella dei condensatori ordinari: le quali per tale analogia vengono in un certo qual modo messe in relazione coi fenomeni delle correnti della pila voltaica.

SULLA POLARIZZAZIONE ELETTRICA PRODOTTA DA DEPOSITI METALLICI;
RICERCHE DEL PROF. D. MACALUSO.

Scopo del lavoro.

Mentre la polarizzazione elettrica prodotta da depositi gassosi è stata oggetto dello studio di moltissimi fisici, quasi nulla si conosce relativamente alla polarizzazione prodotta sugli elettrodi da depositi solidi, e veramente dalla sovrapposizione sull'elettrodo negativo di uno strato sottilissimo di un metallo qualunque.

Il sig. Lippmann l'anno decorso ha pubblicato nel *Journal de Physique* (tom. 8, p. 48) su questo argomento un