

LA CONDUCIBILITÀ FOTOELETTRICA DEI LIQUIDI CATTIVI CONDUTTORI.

Nota di SEB. TIMPANARO.

Prima d'iniziare le ricerche che costituiscono l'oggetto di questa nota, avevo studiato la dispersione fotoelettrica in alcuni liquidi cattivi conduttori, riattaccandomi ai lavori di Stramp ⁽¹⁾ e di La Rosa e Cavallaro ⁽²⁾ e pervenendo a conclusioni in buon accordo con quelle del La Rosa.

Senonchè, accanto al fenomeno superficiale della dispersione, avevo osservato nei liquidi fotoelettrici un fenomeno di volume consistente in un aumento di conducibilità elettrica; e pensai, in armonia con la teoria elettronica della conducibilità, che i due fenomeni fossero intimamente legati. E quando, per consiglio del Righi, studiai di proposito la conducibilità fotoelettrica dei liquidi cattivi conduttori, mi persuasi sempre più, per le ragioni che esporrò, che il fenomeno si dovesse a un effetto Hallwachs interno. Accettai cioè l'ipotesi fatta dall'Amaduzzi per spiegare l'effetto May-Smith, cioè l'aumento di conducibilità sotto l'azione della luce, nel selenio cristallino ⁽³⁾.

Ricerche anteriori.

Sull'aumento della conducibilità elettrica dei liquidi cattivi conduttori sotto l'azione dei raggi ultravioletti, non c'è che lo studio di Szivessy e Schäfer sull'olio di paraffina ⁽⁴⁾, sul quale, del resto, Goldmann e Kalandik ⁽⁵⁾ hanno emesso dei dubbi.

I due fisici tedeschi intrapresero la loro ricerca fondandosi sul fatto che, dal momento che i dielettrici liquidi presentano un aumento della loro conducibilità elettrica sotto l'azione dei raggi di Röntgen ⁽⁶⁾ e dei raggi del radio ⁽⁷⁾ e, dal momento che i raggi X sono, come ha detto poi il Righi ⁽⁸⁾ — e come è stato ampiamente dimostrato dalle ricerche più re-

centi sull'ottica dei raggi stessi —, raggi ultra-ultra-violetti, era da aspettarsi che l'esposizione alla luce ultra-violetta dovesse elevare la conducibilità elettrica dei liquidi poco conduttori; e sono venuti alle seguenti conclusioni:

1. — L'olio di paraffina è soggetto a un aumento di conducibilità elettrica sotto l'azione dei raggi ultra-violetti;

2. — L'intensità della corrente di ionizzazione, per piccole differenze di potenziale, è a queste proporzionale; per differenze di potenziale più grandi, cresce più lentamente, tendendo a un valore di saturazione;

3. — Per piccole distanze delle piastrine tra le quali è messo il liquido e che sono in comunicazione rispettivamente con l'elettrometro e col polo isolato d'una batteria d'accumulatori, ci si avvicina allo stato di saturazione per potenziali minori che per maggiori distanze, ma non si raggiunge mai una saturazione completa;

4. — La corrente di ionizzazione determinata dall'illuminazione cresce dapprima con la durata dell'illuminazione e raggiunge un valore finale massimo;

5. — La conducibilità fotoelettrica dell'olio di paraffina presenta il fenomeno dell'isteresi (il quale era stato messo in piena luce dal Righi, che Szivessy e Schäfer non citano, per l'aumento di conducibilità determinato dai raggi del radio);

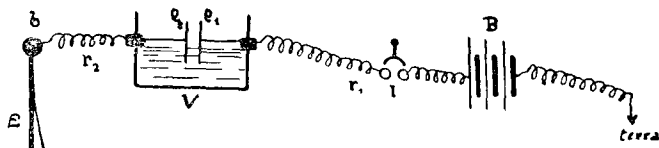
6. — L'intensità della corrente di ionizzazione determinata dai raggi ultra-violetti è indipendente dalla direzione della corrente.

Insomma, i due fisici tedeschi arrivano — e lo riconoscono — a conclusioni del tutto identiche a quelle a cui erano pervenuti Curie, Righi e Jaffé, per l'azione dei raggi del radio.

Le presenti esperienze confermano, in massima, cote sti risultati; ma mettono inoltre in luce un nuovo elemento importante del fenomeno, del quale è data una nuova teoria.

Disposizione sperimentale.

Il liquido è messo in un piccolo bicchiere di vetro V , isolato, nel quale pescano due elettrodi di rame e_1, e_2 di forma ellittica i cui due assi sono rispettivamente di mm. $7\frac{1}{2}$ e di mm. 3. La piastrina e_1 può essere messa in comunicazione col polo isolato d'una batteria B di piccoli accumulatori per mezzo di un filo di rame isolato r_1 , che penetra nel bicchiere attraverso un tappo d'ebanite. Un interruttore a mercurio I permette d'interrompere la comunicazione con la batteria. L'elettrodo e_2 è in comunicazione, per mezzo del filo isolato r_2 , che attraversa un altro tappo d'ebanite, con l'elettroscopio E . L'elettrodo e_2 è fisso, l'elettrodo e_1 si può allontanare o avvicinare a piacere all'altro. Una doppia graduazione in uno dei fili e in uno degli elettrodi, consente di va-



lutare la distanza degli elettrodi stessi e l'altezza della massa liquida compresa tra essi. L'elettroscopio è a una foglia d'oro gli spostamenti della quale si leggono per mezzo d'un microscopio munito di scala oculare. Toccando il bottone b con la mano, l'elettroscopio si può mettere a terra, mentre la piastrina e_1 può essere messa a terra toccando l'interruttore I .

La luce eccitatrice è fornita da una lampada Heraeus di quarzo fuso a vapori di mercurio, messa 12 cm. al disopra del liquido.

Per far pescare più o meno gli elettrodi nel liquido, mettevamo nel bicchiere una quantità di liquido più o meno grande.

Metodo di misura.

Tarato l'elettroscopio, misuravo il tempo occorrente perchè la foglia d'oro passasse dal potenziale v_0 al potenziale maggiore v in corrispondenza del potenziale V applicato alla piastrina e_1 , o in altri termini, il tempo occorrente al passaggio della foglia dalla divisione d_0 alla divisione d , sia prima dell'illuminazione, sia durante l'illuminazione e dopo. Indicando con t la durata dello spostamento prima dell'illuminazione, con t' la durata dello spostamento stesso dopo il tempo T d'illuminazione e a lampada accesa, con t'' la durata dello spostamento dopo lo stesso tempo T e a lampada spenta (vedremo subito il perchè di questa distinzione), è chiaro che il rapporto $\frac{t - t'}{t}$ può servire per valutare la variazione di conducibilità del liquido (o corrente fotoelettrica) in corrispondenza del potenziale applicato v e della durata T d'illuminazione e sotto l'azione dei raggi; e il rapporto $\frac{t - t''}{t}$ per valutare la corrente fotoelettrica immediatamente dopo. Anzi questi due rapporti, se sostituiamo a t , t' e t'' i loro inversi, ci daranno l'intensità media, nell'intervallo $d_0 d$, in unità arbitrarie, delle due correnti fotoelettriche.

Variazione della conducibilità con la durata dell'illuminazione.

Se, essendo l'elettroscopio scarico, si stabilisce la comunicazione tra la piastrina e_1 e il polo isolato della batteria e si misura, prima di accendere la lampada a mercurio, il tempo t occorrente perchè l'elettroscopio si sposti dalla divisione d_0 alla divisione d e si fa la stessa misura sotto l'azione della lampada immediatamente dopo che essa è stata accesa, si ottiene un tempo $t_1' > t$. Si ha cioè una diminuzione *apparente* della conducibilità del liquido. Questa è la circostanza sfuggita ai due fisici tedeschi.

La diminuzione della conducibilità è apparente, perchè se si spegne la lampada, si ottiene per la durata corrispondente allo stesso spostamento un tempo $t_1'' < t$. E se la lampada si tiene accesa, la foglia dell'elettroscopio, arrivata ad una certa divisione d_1 , compresa tra d_0 e d , avanza lentamente, facendo un oscillio che ricorda quello dell'orologio del Righi ⁽⁹⁾ e che è dovuto alle variazioni d'intensità della luce eccitatrice.

Se si scarica l'elettroscopio e si stabilisce di nuovo la comunicazione con la batteria B, il tempo impiegato per lo spostamento assume valori via via decrescenti fino a che raggiunge un valore finale t' notevolmente minore di t . Ma anche dopo raggiunto questo valore finale t' , se si spegne la lampada, si trova un valore t'' alquanto minore di t' ; e a parità di circostanze, la differenza tra t'' e t' è tanto più piccola quanto più piccola è la distanza degli elettrodi, e quindi la superficie della massa di liquido compresa tra gli elettrodi esposta all'azione della luce ultra-violetta.

L'idea che si presenta spontanea alla mente è che in primo tempo si abbia un effetto superficiale che maschera l'effetto May-Smith e che, a poco a poco, diventando l'effetto Hallwachs più profondo, l'aumento di conducibilità si riveli chiaramente. La differenza tra t'' e t' è dovuta al fatto che la dispersione fotoelettrica risulta, secondo l'ipotesi ovvia fatta dal La Rosa, non solo dall'effetto Hallwachs ma anche dall'effetto Lenard (apporto di cariche negative), che però ci sembra più opportuno chiamare effetto Branly-Lenard ⁽¹⁰⁾.

Per dare un'idea dell'entità dei risultati ottenuti, riferirò adesso alcuni dati numerici, riservandomi di riferirne altri in seguito. I dati numerici (ai quali non intendiamo dare che un valore approssimato) si riferiscono tutti all'olio di ricino; ma, salvo differenze quantitative, l'andamento del fenomeno è identico in tutti i liquidi che ho sottoposti all'esperienza (olio di vasellina, olio d'oliva, toluolo, xilolo). Tutti questi liquidi furono preferiti agli altri per la loro piccolissima con-

ducibilità naturale, non avendo trovato opportuno di adottare il laborioso metodo di purificazione perfezionato da Jaffé (¹¹).

Per l'intelligenza delle tabelle, occorre tener presente che i potenziali che corrispondono alle varie divisioni dell'elettroscopio sono dati dal quadro seguente:

Divisioni	Volta	Divisioni	Volta
18	0	58	77,8
25,5	16	60	78,7
27,5	30	63	80,6
28,5	32	65	82,5
30	35	67	84
31	37	70	87
32,5	40	72	89,5
35	45	75	91,5
39	53	77	94
41	56	80	99
42,5	58	85	102
45	62	90	104
46	63	91	106
48	65	95	108
50	67,8	100	112
52	70,5	104	120
54	72		
56	75,2		

I.

D (distanza degli elettrodi) = mm. 4

P (profondità degli elettrodi contata a partire dalla superficie libera del liquido) = mm. 5

V (potenziale positivo in volta, applicato alla piastrina e_1) = 120.

Tempo impiegato dalla foglia dell'elettroscopio per passare dalla divisione 40 alla divisione 100 :

Prima dell'illuminazione:	28''
Sotto la luce ultravioletta (immediatamente dopo accesa la lampada)	7'
Dopo 12'	48''
» 17'	36''
» 30'	19''
» 45'	15''
» 1 $\frac{1}{2}$, 45'	11''

Subito dopo spenta la lampada, dopo l'ultima misura: 7''.

II.

D = mm. 6 ; P = mm. 5 ; V = 65

Dalla divisione 20 alla 24 :

Prima dell'illuminazione : 40''.

Sotto la luce :

Dopo 15'	24''
» 30'	18'' $\frac{2}{5}$
» 45'	14''
» 1 $\frac{1}{2}$, 30'	13''.

Spenta la lampada, dopo l'ultima misura: 9''.

III.

$D = \text{mm. } 2$; $P = \text{mm. } 5$; $V = 62$

Dalla divisione 30 alla 40 :

Dopo 40'	8''
» 60''	8''
Spegnendo	6''.

Dai dati precedenti risulta non solo che l'effetto della dispersione fotoelettrica tende sempre più a diventare trascurabile, specialmente se la distanza degli elettrodi è piccola, ma che esso è tanto più sensibile quanto più è piccola l'intensità della corrente che attraversa il liquido. Anzi con una sorgente di elettricità che dia una corrente d'intensità assai più piccola (per esempio una pila Zamboni di 100 elementi circolari di 5 cm. di diametro), sotto l'azione immediata della lampada, la foglia dell'elettroscopio rimane stazionaria in prossimità dello zero della scala, anche se la lampada resta accesa fino a che il liquido non raggiunga la conducibilità massima. E se allora si spegne la lampada, la foglia si allontana immediatamente dalla posizione di equilibrio.

L'effetto della dispersione è inoltre meno sensibile per una maggiore profondità degli elettrodi che non per una minore, anzi per una profondità piccolissima e una conveniente distanza degli elettrodi stessi, l'effetto superficiale può mascherare completamente l'aumento di conducibilità.

Qui è opportuno riferire i dati d'una esperienza in cui l'effetto Branly-Lenard è, diciamo così, sottolineato da un oscillio persistente della foglia d'oro tra la divisione 35 e la 36.

IV.

$D = P = \text{mm. } 1.5$ - $V = 59$

Intervallo di spostamento della foglia d'oro: 20 — 35

Prima dell'illuminazione: 35''

Dopo 30' di illuminazione :

Sotto la luce : 19' (valore finale)

Spegnendo : 10''

L'effetto della dispersione, che pure è così sensibile nelle presenti esperienze, a Szivessy e a Schäfer è sfuggito perchè essi illuminavano addirittura un punto del liquido e adoperavano elettrodi notevolmente più grandi dei miei. E non è loro sfuggito l'aumento di conducibilità, perchè essi tenevano la lampada non a 12 cm. di distanza dal liquido ma solo a 3 cm. $1\frac{1}{2}$, venendo così ad accentuare troppo l'influenza della temperatura.

La conducibilità fotoelettrica e il senso della corrente.

Se il liquido ha acquistato un certo aumento di conducibilità sotto l'azione dei raggi ultravioletti, a lampada spenta l'intensità della corrente che lo attraversa risulta indipendente dal senso della corrente stessa; ma, sotto la azione immediata della lampada, si nota una differenza che non è altro, evidentemente, che un altro effetto della dispersione superficiale. Questa differenza però persiste solo per un certo tempo, cioè fino a che l'effetto Branly-Lenard ha il sopravvento sull'effetto Hallwachs interno.

Ecco alcuni dati numerici:

V.

D = mm. 10 ; P = mm. 2.

a) V = 64. Intervallo percorso dalla foglia: 20 — 30

Tempo impiegato: Prima dell'illuminazione: $8'' \frac{2}{5}$.

Sotto la luce: 11''

Spegnendo: 7''

b) V = — 64. Intervallo 20 — 30.

Tempo impiegato: Prima dell'illuminazione $8'' \frac{2}{5}$.

Sotto la luce: 16''

Spegnendo: 7''

La conducibilità fotoelettrica e la legge di Ohm.

Jaffé, negli studi citati, aveva sostenuto che si può rappresentare la relazione tra la corrente i e il campo e , per il caso dei liquidi sottoposti ai raggi del radio, con una relazione della forma seguente:

$$i = f(e) + ce$$

dove $f(e)$ resta costante a partire da un certo valore di e e rappresenta una corrente saturabile come quelle che si hanno nei gas ionizzati, mentre il termine ce rappresenta una corrente che segue la legge di Ohm, dovuta, secondo Jaffé, all'esistenza nel liquido di ioni elettrolitici.

In successivi lavori ⁽¹²⁾, il Jaffé ha poi applicato al caso dei liquidi dielettrici l'ipotesi della ionizzazione per colonne fatta dal Langevin e confermata sperimentalmente dal Moulin ⁽¹³⁾ per spiegare la ionizzazione dei gas per effetto dei raggi α : ipotesi secondo la quale, com'è noto, i ioni prodotti dai raggi α non sono ripartiti uniformemente nel volume del gas, ma sono, almeno inizialmente, distribuiti in colonne lungo le traiettorie dei raggi stessi.

Queste due ipotesi di Jaffé, e specialmente l'ultima, concordano assai bene con le presenti esperienze e con l'ipotesi dell'effetto Hallwachs interno.

Intanto sappiamo che la conducibilità dei liquidi assume, dopo una certa durata d'illuminazione, un valore costante; e, come vedremo subito, è vero che essa non diviene mai indipendente dal potenziale, ma, per differenze di potenziale via via crescenti, gli aumenti di conducibilità sono sempre più piccoli.

L'aumento di conducibilità è inoltre maggiore per maggiori distanze degli elettrodi; e anche (entro certi limiti, per quanto in misura minore), per maggiori profondità degli elettrodi stessi, giacchè la luce penetra per una certa profondità nella massa del liquido, ma, naturalmente, con un'intensità decrescente con la profondità.

Tutto quello che si è adesso asserito risulta dai dati seguenti :

VI.

$$D = \text{mm. } 7,5 \quad ; \quad P = \text{mm. } 3 \quad ; \quad V = 22 .$$

Nella prima colonna è indicato l' intervallo di spostamento della foglia d' oro, nella seconda il tempo corrispondente.

Prima dell' illuminazione :

20 — 30	5'' $\frac{3}{5}$
— — 35	11'' $\frac{3}{5}$
» — 40	24''
» — 42	52'' .

Arrivata alla divisione 42, la foglia non avanza più in modo apprezzabile.

Immediatamente dopo l' illuminazione, a lampada accesa :

20 — 30	6'' $\frac{1}{5}$
» 35	20'' $\frac{1}{5}$
» 37	35''
» 40	6'

Dopo 10 minuti :

20 — 30	6''
» — 35	11'' $\frac{2}{5}$
» — 40	36''

Dopo 40 minuti :

20 — 30	3'' $\frac{1}{5}$
» — 35	7'' $\frac{2}{5}$
» — 40	13'' $\frac{2}{5}$
» — 42	45''

Dopo un' ora :

20 — 30	3'' $\frac{4}{5}$
» — 35	6'' $\frac{3}{5}$
» — 40	11'' $\frac{2}{5}$
» — 42	25''

Dopo un' ora e 52' :

20 — 30	3'' $\frac{3}{5}$
» — 35	6'' $\frac{2}{5}$
» — 40	4'' $\frac{2}{5}$
» — 42	23'' $\frac{2}{5}$

Subito dopo spenta la lampada :

20 — 42	12'' $\frac{2}{5}$
» — 45	28''

Con gli elettrodi a distanza di mm. 5 :

20 — 42	16''
---------	------

A distanza di mm. 2,5 :

20 — 42	9''
---------	-----

A distanza di mm. 1 :

20 — 42	3''
---------	-----

Sotto la luce, sempre con gli elettrodi a distanza di 1 mm. :

20 — 42	3''
---------	-----

Ancora sotto la luce, dopo 8 minuti :

20 — 50	9'' $\frac{2}{5}$
---------	-------------------

Il fenomeno dell' isteresi.

La più bella conferma dell' ipotesi dell' effetto Hallwachs interno è data dal fenomeno dell' isteresi, cioè dal fatto che i liquidi sottoposti ai raggi ultravioletti riprendono la conducibilità primitiva dopo un tempo più lungo di quello impiegato per l' aumento.

Il Righi ha dato dell' isteresi la spiegazione più naturale dicendo che, dal momento che i ioni liquidi hanno una mobilità minore dei ioni gassosi, i ioni generati nei liquidi dall' urto dei raggi β del radio non si ricombinano se non con grande lentezza dopo che è stato allontanato il radio.

Questa ipotesi si può adottare per spiegare l' isteresi nei liquidi sottoposti ai raggi ultravioletti.

Per l' isteresi dell' olio di paraffina, Szivessy e Schäfer hanno confermato, come si è detto, un risultato di Jaffé, che cioè l' isteresi è più grande per piccoli che non per grandi campi. Le presenti esperienze hanno dimostrato inoltre che, a parità di differenza di potenziale e di distanza degli elettrodi, l' isteresi è più grande per maggiori profondità degli elettrodi stessi nel liquido, come è naturale se si ammette l' effetto Hallwachs interno: e che se gli elettrodi toccano appena il liquido, l' isteresi è piccolissima.

Ma la più brillante conferma dell' effetto Hallwachs interno è data dalla seguente esperienza suggeritami dal Righi. Se rimescoliamo un liquido che presenti un' isteresi rilevante, con una siringa da penna stilografica, il liquido perde quasi immediatamente l' isteresi.

Ecco alcuni dati in proposito :

VII.

$$D = P = \text{mm. } 2,5 ; V = 59 .$$

Prima dell' illuminazione :

$$20 - 35 \qquad 36''$$

Dopo un' ora d' illuminazione, a lampada spenta :

$$20 - 35 \qquad 8'' \frac{2}{5}$$

20 minuti dopo : 14''

35 » » 19'' $\frac{2}{5}$

Un' ora » 30''

» e 23' » 36''

VIII.

$$D = P = \text{mm. } 1,5 ; V = 59 .$$

Prima dell' illuminazione :

$$20 - 35 \qquad 35''$$

Dopo 30' di luce, a lampada spenta :

$$20 - 35 \qquad 10''$$

$$20' \text{ dopo} \qquad 23''$$

$$34' \quad \gg \qquad 30''$$

$$55' \quad \gg \qquad 35''$$

IX.

$$P = D = \text{mm. } 5 ; V = 70 .$$

Intervallo di spostamento 20 — 45.

Prima dell' illuminazione, 33".

Dopo un' ora d' illuminazione, a lampada spenta 5"

Tre ore e mezzo dopo 15".

Rimescolando il liquido con la siringa 33" $\frac{2}{3}$.

X.

$$D = \text{mm. } 12,5 ; P = \text{cm. } 1 ; V = 54.$$

Intervallo di spostamento : 20 — 35.

Prima dell' illuminazione : 1' 15" $\frac{2}{3}$.

Dopo 45' d' illuminazione, a lampada spenta : 6".

15' dopo : 9" $\frac{3}{8}$; 30' dopo : 11" $\frac{2}{3}$; 45' dopo : 40".

Agitando il liquido : 1' 16".

La carica residua.

I raggi ultravioletti determinano nei liquidi cattivi conduttori una carica residua, la quale è tanto più rilevante quanto maggiormente pescano gli elettrodi nel liquido, ciò che, se si ammette la teoria maxwelliana dei dielettrici stratificati, prova che l'aumento di conducibilità provocato dai raggi ultravioletti è diverso per i vari strati del liquido e precisamente che decresce con la profondità, conformemente all' ipotesi dell' effetto Hallwachs interno.

Questa carica residua persiste a lungo e non si riesce a eliminarla del tutto nemmeno se si mettono a terra le due piastrine ; ma sparisce immediatamente agitando il liquido con la siringa.

Bologna, Istituto di Fisica della R. Università
Maggio 1920.

Indice bibliografico.

(¹) L. Stramp. — Contributo allo studio del fenomeno fotoelettrico presentato dai dielettrici liquidi. — Académie Royale de Belgique. *Bulletin de la classe des Sciences*, 1914, n. 1.

(²) M. La Rosa e V. Cavallaro. — Ricerche di fotoelettricità sopra alcuni liquidi. Perdita apparente di elettricità positiva provocata dai raggi ultravioletti. — *Nuovo Cimento*, Luglio 1913, p. 39.

(³) L. Amaduzzi. — L'effetto Hallwachs nel selenio cristallino. — *Rendiconto dell' Accademia delle Scienze di Bologna*, 16 Gennaio 1910 ;

Idem. — Gli elettroni nei metalli — Bologna, Zanichelli, 1912, p. 38 ;

Chr. Ries. — La causa della sensibilità alla luce del selenio. — *Physikalische Zeitschrift*, 1911, pagg. 480 e 522 ;

L. Amaduzzi. — L'effetto Hallwachs interno nel selenio. — *ib.*, 1912, p. 165.

(⁴) G. Szivessy e K. Schüfer. — L'aumento di conducibilità elettrica dei dielettrici liquidi mediante l'illuminazione con la luce ultravioletta. — *Annalen der Physik*, 35 (1911) pp. 511 - 23.

(⁵) A. Goidmann e S. Kalandyk. — Ricerche di fotoelettricità sui dielettrici solidi. — *Annalen der Physik*, 36 (1911) p. 589.

(⁶) J. J. Thomson. — Dispersione dell'elettricità provocata dai raggi di Röntgen. Effetti prodotti da questi raggi sui dielettrici che attraversano. — *Journal de Physique*, 1896, p. 165 ;

Idem. — L'effetto dei raggi Röntgen sugli isolanti liquidi e solidi. — *Nature*, 29 Aprile 1897, p. 606.

(⁷) P. Curie. — Conducibilità dei dielettrici liquidi sotto l'influenza dei raggi del radio e dei raggi di Röntgen. — *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences di Parigi*, 1902, 134, p. 420 ;

A. Righi. — Sulla diminuzione di resistenza prodotta nei cattivi conduttori dai raggi del radio. — *Rendiconti dell'Accademia dei Lincei*, 1905, 2.^o semestre, p. 207 ;

G. Jaffé. — La conducibilità elettrica dell'etere di petrolio sotto l'azione del radio. — *Journal de Physique*, 1906, p. 263 ;

Idem. — La ionizzazione dei dielettrici liquidi per l'azione dei raggi del radio. — *Annalen der Physik*, 25 (1908) p. 257 ;

B. Hodgson. — Conducibilità dei dielettrici sotto l'azione dei raggi del radio — *Philosophical Magazine*, 48 (1909) pp. 252-58 ;

T. Bialobjeski. — Ricerche sulla ionizzazione dei dielettrici solidi e liquidi. *Le Radium*, 1910, pp. 48 e 76 ;

T. Bialobjeski. — La ionizzazione dei carburi d' idrogeno liquidi. — *Le Radium*, 1911, p. 293.

(⁸) A. Righi. — La natura dei raggi X. — *Scientia*, volume **XV**, 1914.

(⁹) Idem. — Il Radio. — Bologna, Zanichelli, 1914, p. 58.

(¹⁰) E. Branly. — Note sulla dispersione delle due elettricità per l'azione dei raggi più rifrangibili. — *Comptes Rendus* di Parigi, **110** (1890), pagine 751 e 898 ; **114** (1892), p. 68 ; **120** (1895), p. 829 ;

P. Lenard. — Azione delle radiazioni ultraviolette sui gas. — *Annalen der Physik.*, t. I, n. 3 (1900), pp. 486 - 507 ;

Idem. — Dispersione dell'elettricità nell' aria attraversata dai raggi ultravioletti. — *Annalen der Physik.*, t. III, n. 10, 1900, pp. 298 - 220 ;

J. J. Thomson. — Sulla ionizzazione dei gas provocata dalla luce ultravioletta ecc. — *Proceedings of the Cambridge Phil. Society*, **14** (1908), p. 417 ;

E. Bloch. — La ionizzazione dell' aria prodotta dalla luce ultravioletta. — *Le Radium.*, 1908, p. 240 ; e *Comptes Rendus* di Parigi, **146**, 1908, p. 892 ;

L. e E. Bloch. — La ionizzazione dell' aria prodotta dalla lampada di quarzo a mercurio., *ib.* **155**, 1912, p. 1076 ;

A. Righi. — Quarta nota sul fenomeno fotoelettrico. — *Rendiconti Lincei*, 3 Giugno 1888, p. 691 ; e n. 6 della 3.^a memoria. *Nuovo Cimento*, **26** (1889), p. 144 ;

A. Stoletow. — Nota dei *Comptes Rendus* 4 Giugno 1888, p. 1593 ;

J. Elster e H. Geitel. — Sulla pretesa dispersione di elettricità positiva prodotta dalla luce. — *Wied. Ann.*, t. 57, p. 24, 1896.

Per altre indicazioni vedere il trattato sulla fotoelettricità di A. L. Hugues (capitolo 2.^o) e la monografia di E. v. Schweidler, in Graetz, *Handbuch der Elektrizität* ecc. III, 1, p. 143.

(¹¹) G. Jaffé. — La conducibilità elettrica dell' esano puro. *Annalen der Physik*, 1909, t. XXVIII, pp. 326-369.

(¹²) Idem. — La ionizzazione dei dielettrici liquidi sottoposti alla emanazione del radio. — *Le Radium*, 1913, p. 126 ;

Idem. — Teoria della ionizzazione per colonne. — *Annalen der Physik*, 11-12 (1913) p. 303 ;

Idem. — La curva di saturazione relativa alla ionizzazione per raggi α . *Physikalische Zeitschrift*, XV (1914) p. 353.

(¹³) M. Moulin. — La ionizzazione dei gas sotto l' azione dei raggi α e l' ipotesi della ricombinazione iniziale. *Le Radium*, 1908, p. 136.