

ATTI
DELLA
REALE ACCADEMIA DEI LINCEI

ANNO CCCIII.

1906

SERIE QUINTA

RENDICONTI

Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali.

VOLUME XV.

2° SEMESTRE.



ROMA
TIPOGRAFIA DELLA R. ACCADEMIA DEI LINCEI

PROPRIETÀ DEL CAV. V. SALVIUCCI

1906

Chimico-fisica. — *Sulla velocità di diffusione degli elettroliti.*

Nota di G. BRUNI e B. L. VANZETTI ⁽¹⁾, presentata dal Socio G. KOERNER.

Buscaglioni e Purgotti pubblicarono, circa un anno fa, un lavoro assai esteso ⁽²⁾ sull'argomento indicato nel titolo; essi espongono i risultati di numerosissime serie di esperienze e giungono ad alcune interessanti conclusioni. Poichè la pubblicazione ora citata è poco accessibile al pubblico, riassumeremo qui brevemente i metodi da essi seguiti ed i risultati principali.

Gli autori, seguendo quanto fu già fatto da molti sperimentatori precedenti, studiarono la velocità di diffusione in gelatina. Esperienze qualitative furono eseguite dal Buscaglioni, mediante un apparecchio da lui chiamato *tachionoscopio*; noi ci occupiamo però principalmente delle misure quantitative eseguite dal Purgotti mediante il *tachionometro*. Questo apparecchio, che è una modificazione del *cinetometro* di Pringsheim ⁽³⁾, è in sostanza costituito da un cilindro di gelatina, le cui estremità vengono messe a contatto con due soluzioni saline capaci di dare un precipitato (p. es. AgNO_3 e NaCl). Dalla posizione in cui si forma tale precipitato nel tubo di gelatina, si deduce la velocità relativa di diffusione delle due soluzioni. Essi giungono anzitutto alla conclusione, che nella soluzione gli ioni di un sale diffondono affatto indipendentemente l'uno dall'altro, e in appoggio a tale ipotesi essi portano specialmente il fatto che quando le due soluzioni danno luogo, reagendo, a due sali entrambi insolubili (p. es. Ag_2SO_4 e BaCl_2), i due setti, anzichè formarsi uniti, si depositano ben distinti ad una certa distanza l'uno dall'altro.

Essi concludono poi che la velocità di diffusione dei singoli ioni è inversamente proporzionale alla radice quadrata del loro peso relativo, ciò che equivarrebbe ad una estensione della legge di Bunsen sulla diffusibilità dei gas, alle soluzioni diluite.

Un'altra osservazione degna di esser notata è quella che soluzioni di uno stesso sale aventi concentrazioni diverse diffondono con velocità pressochè eguali, talchè lasciando diffondere p. es. da un lato la soluzione di AgNO_3 e dall'altro soluzioni di HCl di varia concentrazione (da triplo-normale a decinormale) il punto d'incontro non varia.

Infine essi fanno interessanti considerazioni sullo spostamento che può subire il setto di precipitato, dopo formatosi, a seconda della varia concentrazione e pressione osmotica delle due soluzioni.

⁽¹⁾ Lavoro eseguito nel Laboratorio di Chimica generale della R. Scuola super. di agricoltura di Milano, 1906.

⁽²⁾ Atti del R. Ist. Botan. di Pavia. Nuova serie, vol. XI (1905).

⁽³⁾ Zeitschr. f. physik. Chem., 17, 462 (1895).

Diciamo subito che a risultati concordanti con queste ultime considerazioni giunsero recentemente Bechhold e Ziegler (1); questi autori non citano affatto il lavoro di B. e P., rimasto loro evidentemente sconosciuto.

Il lavoro di B. e P. attrasse subito la nostra attenzione, soprattutto per le prime tre conclusioni, le quali appaiono stare in contraddizione con talune vedute finora generalmente ammesse.

Quanto alla prima di dette conclusioni, e cioè all'ammissione della indipendente migrazione, noteremo che la sua possibilità fu sempre recisamente negata dai più autorevoli cultori della elettrochimica. W. Nernst si esprime p. es. nel modo seguente (2): « Nun verlangt aber das Grundgesetz der Elektrostatik dass im Innern eines Leiters freie Elektrizität nicht bestehen kann; auf Elektrolyte angewendet sagt dasselbe aus, dass die Ionen im Innern der Lösung stets in äquivalentem Verhältniss vorhanden sein müssen. Eine Diffusion welche dies Verhältniss ändern würde ist unmöglich... ».

Quanto al secondo punto, e cioè alla legge emessa da B. e P., secondo la quale la velocità sarebbe inversamente proporzionale alla radice quadrata del peso degli ioni, osserviamo anzitutto che essa sta in disaccordo con quanto ci è noto intorno alla velocità di migrazione degli ioni nella elettrolisi, la quale grandezza è certamente una funzione del coefficiente di diffusione degli ioni stessi. Nernst dedusse anzi, nel lavoro sopracitato, una relazione quantitativa abbastanza semplice. Ora, p. es., nella serie dei metalli alcalini la velocità di migrazione va crescendo col crescere del peso atomico (Li-33.4; Cs-68) anzichè decrescere come farebbe prevedere la legge di B. e P.; lo stesso accade anche in altre serie di elementi (F-46,6; Cl 65,4).

Infine, per ciò che riguarda la indipendenza della velocità di diffusione dalla concentrazione, è chiaro che essa poteva apparire *a priori* poco verosimile.

Le esperienze di autori precedenti nelle loro misure si riferirono prevalentemente alla quantità di sale che diffonde in un tempo determinato; essi trovarono confermata abbastanza esattamente la legge di Fick, che nella forma datale da Stephan si esprime con la equazione:

$$a = cq \sqrt{\frac{k\theta}{\pi}},$$

dove sono: a la quantità diffusa, c la concentrazione, q la sezione del vaso, k il coefficiente di diffusibilità e θ il tempo. Questa equazione non ci dice nulla circa le vie percorse da un elettrolita in un dato tempo; su questo soggetto abbiamo esperienze di Voigtländer (3) e di Chabry (4), secondo le quali lo spazio percorso è proporzionale alla radice quadrata del tempo.

(1) Annalen der Physik [4], 20, 900 (1906).

(2) Zeitschr. f. physik. Chem., 2, 619 (1888).

(3) Zeitschr. f. physik. Chem., 3, 324 (1889).

(4) Journ. de phys. [2], 7, 115 (1888).

Noi abbiamo quindi creduto non inutile di intraprendere alcune esperienze su questo soggetto, per tentare di chiarire taluni dei dubbi sovra esposti; noi seguimmo sempre sostanzialmente il metodo di B. e P. e dobbiamo anzi ringraziare il collega Purgotti di aver messo assai gentilmente a nostra disposizione gli apparecchi stessi usati da lui.

Anzitutto abbiamo ripetute alcune delle esperienze di Purgotti, per renderci conto del modo di operare e del grado di esattezza che si può raggiungere col metodo. Dobbiamo dire che, nei casi da noi sperimentati, siamo sempre giunti a risultati concordanti con quelli di Purgotti, sia quanto alla posizione in cui si forma il setto, sia quanto allo spostamento ed agli accrescimenti di detto diaframma dopo la sua formazione.

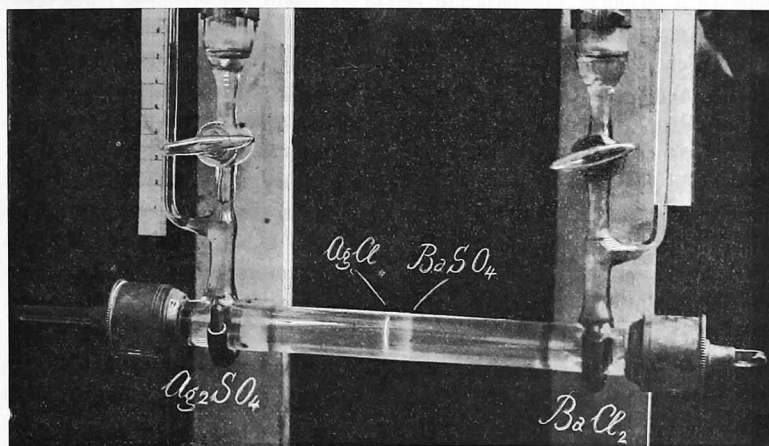


FIG. 1.

Specialmente ci preoccupammo di ripetere le ricerche con le soluzioni suscettibili di dare due diversi precipitati. Operammo con due soluzioni 0,06-normali di Ag_2SO_4 e BaCl_2 e con un cilindro di gelatina, al 5 %, lungo 10 centimetri. Il primo a formarsi era il setto di AgCl , il quale si depositava dopo 48 ore, a cm. 3,5 dalla estremità contenente Ag_2SO_4 e andava quindi lentamente allontanandosi da detta estremità. Il setto di BaSO_4 , cristallino, si formava assai più tardi (5 giorni dal principio dell'esperienza) a cm. 5,4 dalla estremità suddetta, verso la quale andava poco a poco ingrossando. I due setti rimasero però sempre nettamente distinti; anche dopo 20 giorni, pure essendo aumentati entrambi di spessore, si osservava il distacco netto di circa 5 millimetri. Riproduciamo nella fig. 1 una fotografia dell'apparecchio alla fine di tale esperienza.

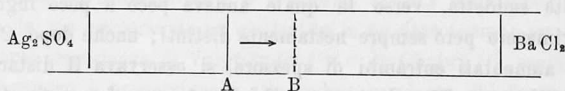
Risultati analoghi abbiamo ottenuto in un'altra esperienza fatta con un tubo lungo 20 centimetri.

Il fatto osservato da Purgotti è quindi sperimentalmente confermato e resta solo da vedere quale sia la sua interpretazione esatta. Abbiamo già detto in parte le ragioni per cui crediamo che l'ipotesi, esposta da B. e P., della indipendente migrazione degli ioni, sia difficilmente accettabile. Bisognerebbe infatti ammettere che in differenti sezioni della colonna liquida, in cui avviene la diffusione, esistessero, in quantità abbastanza considerevole, cariche elettropositive, o elettronegative in eccesso.

Dobbiamo per altro convenire che il trovare una spiegazione del tutto soddisfacente non è cosa facile. L'ipotesi più ovvia che si presenta, sarebbe quella di una idrolisi dei due sali diffondentisi, o di almeno uno di essi. Dimostreremo in seguito che la scomposizione idrolitica può effettivamente condurre a fenomeni esteriormente identici a quelli sopraccennati; nel caso speciale, ora trattato, delle soluzioni di Ag_2SO_4 e BaCl_2 , si ha da fare però con sali che, per quanto si sa finora, tale scomposizione idrolitica non presentano, almeno in misura apprezzabile.

Un'altra ipotesi che abbiamo presa in considerazione è quella che si tratti di fenomeni di sovrasaturazione. È nota la ingegnosa spiegazione, data da Ostwald (1), della formazione di cerchi concentrici e staccati di precipitato, che si ottengono, come osservò Liesegang (2), facendo cadere una goccia di soluzione di AgNO_3 su una lastra di gelatina già imbevuta di bicromato potassico. Morse e Pierce emisero, a spiegazione di questo fenomeno, una ipotesi assai plausibile (3): si sa che per ogni sale, p. es. BaSO_4 , esiste un determinato valore $C_{\text{Ba}} \times C_{\text{SO}_4} = K$ detto *prodotto di solubilità*, il quale indica il limite *metastabile* e cioè quelle condizioni di concentrazione dei suoi ioni per cui la soluzione è soprassatura ed il sale precipita, qualora siano presenti tracce di esso allo stato solido, mentre in assenza di questo la soluzione rimane omogenea; M. e P. suppongono ora che esista un altro valore, che si potrebbe chiamare *prodotto di instabilità* $C'_{\text{Ba}} \times C'_{\text{SO}_4} = K'$, il quale indica i limiti massimi di soprassaturazione del liquido e cioè il momento in cui l'equilibrio metastabile diventando *instabile* in senso ristretto, il sale deve precipitare anche senza l'intervento della fase solida.

Ci sembra che mediante questa ipotesi possa darsi una spiegazione abbastanza soddisfacente del fenomeno che ci occupa. Si può ammettere che, dal momento in cui le due soluzioni si incontrano in A, il prodotto di insta-



(1) Lehrb. d. allg. Ch., II, 2, 778.

(2) Zeitschr. f. physik. Chem. 23, 685 (1897).

(3) Zeitschr. f. physik. Chem. 45, 589 (1903).

bilità del AgCl essendo minore, sia oltrepassato facilmente e si formi, di conseguenza, il setto relativo, mentre la soluzione rimane *metastabile* rispetto a BaSO_4 . Questo sale rimasto disciolto, diffondendo ora nel senso indicato dalla freccia, va incontrando concentrazioni sempre maggiori dell'ione Ba^{++} , che avanza in senso inverso; ad un certo punto il valore di C_{Ba} diverrà tale da superare il prodotto di insabilità ed in tal punto B, si formerà il precipitato, il quale va poi ingrossandosi, come si disse, verso il setto di AgCl .

Ci proponiamo di fare altre ricerche per decidere definitivamente tale questione.

Abbiamo poi eseguite alcune esperienze sulla velocità di diffusione del CuSO_4 , le quali sono istruttive in vari sensi; sia circa l'influenza della idrolisi sul modo di diffondere dei sali, sia riguardo al verificarsi, o meno, della legge generale enunciata da Buscaglioni e Purgotti.

Se si lascia diffondere nel modo solito una soluzione di solfato di rame, si può seguire assai bene coll'occhio l'avanzare della soluzione azzurra; noi abbiamo però notato che innanzi a questa soluzione rameica (la cui posizione si può leggere assai nettamente sulla scala del *tachionometro*) si trova sempre uno strato, il cui spessore va crescendo e che, pure essendo incolore, si può osservare assai bene per la sua maggiore trasparenza e per il diverso potere rifrangente. La spiegazione si presentava assai evidente, data la natura del sale facilmente idrolizzabile; si tratta cioè dell'acido solforico libero, che procede più rapidamente del sale non idrolizzato. Per convincerci anche maggiormente di questo, facemmo avvenire la diffusione a traverso gelatina contenente fenoltaleina leggermente arrossata; si osservò che la decolorazione di questa precedeva il fronte della soluzione azzurra di tanto quanto corrispondeva allo strato suaccennato. Questo costituisce anzi un'esperienza semplice e convincente per dimostrare ad un uditorio il fenomeno dell'idrolisi. (Se si ricorrerà per ciò ad una soluzione di *cloruro ferrico*, il fenomeno sarà ancora più appariscente).

Per dare un'idea del suo andamento, riportiamo alcuni dati relativi alla velocità di diffusione di una soluzione normale di solfato di rame (a 17°):

Ore	Fronte della soluz. azzurra mm.	Fronte dell' H ₂ SO ₄ mm.	Differenza mm.
1	3,3	5,5	2,2
3	6,5	8,5	2,0
8	11,0	14,0	3,0
11	13,5	17,0	3,5
25	21,5	26,0	4,5
33	25,0	30,0	5,0
49	30,0	35,5	5,5
59	33,0	39,0	6,0
74	37,0	44,0	7,0
83	39,5	47,0	7,5
96	42,5	50,0	7,5
117	46,0	54,0	8,0
122	47,5	56,0	8,5
131	50,0	58,5	8,5
146	53,0	62,0	9,0
168	57,0	66,0	9,0
195	62,0	71,0	9,0

Avvertiamo che mentre le misure della posizione della fronte azzurra si possono fare assai esattamente, quelle della fronte acida sono sempre approssimative, potendosi per esse avere errori di lettura fino a 1 millimetro.

Noi abbiamo fatto adunque due serie di esperienze, lasciando diffondere prima soluzioni normali di CuSO₄ e BaCl₂ e poi CuSO₄ con K₄Fe(CN)₆ pure normali. Nel primo caso, com'era prevedibile per quanto sinora s'è detto, si osservò la formazione del precipitato BaSO₄ sulla fronte dello strato di acido solforico e cioè sempre ad alcuni millimetri di distanza dal fronte azzurro del sale di rame; col prussiato giallo invece il setto di ferrocianuro ramico si forma esattamente in quest'ultimo punto. Sarebbe stato interessante eseguire esperienze anche con CuSO₄ e ferrocianuro di Bario, perchè si avrebbe avuto, verosimilmente, la formazione di due setti di precipitati distinti e staccati tra loro, come pel caso di Ag₂SO₄ e BaCl₂; il ferrocianuro di bario è però troppo poco solubile per poter servire a questo scopo.

Ed ecco ora i dati delle due serie di esperienze in discorso:

Fronte del rame		Posizione del precipitato	
mm. da sinistra		osservata	calcol. secondo B. e P.
Cu SO ₄ con Ba Cl ₂			
I	2,8	4,45	5,44
II	3,4	4,55	
III	3,3	4,6	
IV	3,5	4,1	
Cu SO ₄ con K ₄ Fe(CN) ₆			
V	3,9	3,9	6,45
VI	4,0	4,0	
VII	3,85	3,85	

Per mostrare con maggior evidenza il procedere del fenomeno, riportiamo schematicamente nella fig. 2 le posizioni delle fronti delle due soluzioni e del setto nella esperienza VII, come furono osservate ad intervalli di 24 ore.

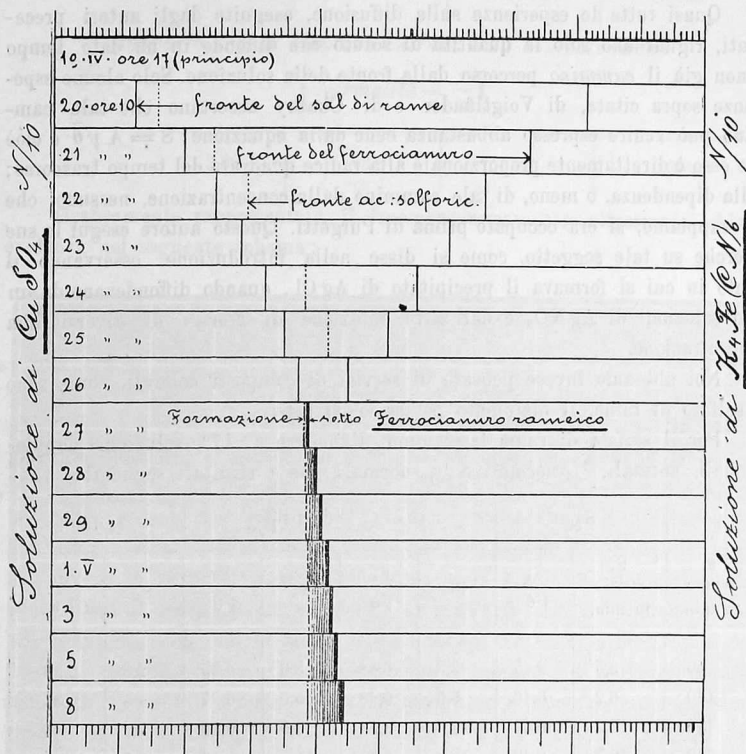


FIG. 2.

Dalla tabella riportata si vede poi che la posizione in cui si formano entrambi i precipitati non è in accordo con l'ipotesi formulata da B. e P., che la velocità di diffusione sia inversamente proporzionale alla radice quadrata del peso degli ioni, perchè detti precipitati, invece di formarsi dalla parte dell'ione più pesante, si formano dalla parte opposta.

Noteremo a questo proposito, che nelle stesse esperienze di Purgotti, accanto a fatti che stanno in accordo coi calcoli dedotti da questa ipotesi, ve ne sono alcuni che concordano meno bene ed alcuni infine che si trovano in aperta contraddizione, poichè la formazione del joduro di argento avviene p. es. dalla parte dell'argento (108) anzichè da quella del iodio (127). Ci pare che in complesso si debba dire che i fatti, che parlano in favore della ipotesi di B. e P., non sono abbastanza numerosi per poter stabilire una legge, tanto meno poi, in presenza di eccezioni relativamente frequenti.

Riportiamo finalmente i risultati di alcune delle esperienze da noi eseguite per controllare la osservazione di Purgotti sul fatto che la velocità di diffusione è almeno sul principio del fenomeno indipendente dalla concentrazione.

Quasi tutte le esperienze sulla diffusione, eseguite dagli autori precedenti, riguardano solo la quantità di soluto che diffonde in un dato tempo e non già il cammino percorso dalla fronte della soluzione. Solo alcune esperienze sopra citate, di Voigtländer e di Chabry accertano che tale cammino può venire espresso abbastanza bene dalla equazione: $S = A \sqrt{\theta}$ e cioè che esso è direttamente proporzionale alla radice quadrata del tempo trascorso; della dipendenza, o meno, di tale cammino dalla concentrazione, nessuno, che noi sappiamo, si era occupato prima di Purgotti. Questo autore eseguì le sue ricerche su tale soggetto, come si disse nella introduzione, osservando il punto in cui si formava il precipitato di AgCl, quando diffondevano da un lato soluzioni di AgNO₃ e dall'altro soluzione di cloruri di diversissima concentrazione.

Noi abbiamo invece pensato di servizi di composti colorati, come sono il solfato di rame, il bicromato potassico ed altri.

Per il solfato di rame lasciammo diffondere a 17° soluzioni doppio-normali, normali, 1/5-normali e 1/10-normali, con i risultati seguenti:

θ tempo in min.	2N		N		N/5		N/10	
	S_1 spazio in mm.	$\frac{S_1}{\sqrt{\theta}}$	S_2	$\frac{S_2}{\sqrt{\theta}}$	S_3	$\frac{S_3}{\sqrt{\theta}}$	S_4	$\frac{S_4}{\sqrt{\theta}}$
60	3,5	0,45	3,3	0,43	3,0	0,39	2,8	0,36
180	6,2	0,46	6,5	0,48	5,0	0,37	4,5	0,34
480	10,9	0,49	11,0	0,50	8,5	0,39	7,5	0,34
660	12,7	0,49	13,0	0,51	11,0	0,43	8,5	0,33
1500	20,5	0,51	20,7	0,53	17,0	0,44	14,5	0,37
2046	23,5	0,52	24,0	0,53	19,0	0,42	17,5	0,39
2970	28,0	0,51	28,0	0,51	25,0	0,46	22,0	0,40
3570	31,0	0,52	31,5	0,53	27,0	0,45	24,0	0,40
4425	36,0	0,54	37,2	0,56	31,0	0,47	28,0	0,42
4980	38,5	0,54	38,3	0,54	32,0	0,45	29,0	0,41
5790	41,5	0,55	41,8	0,55	35,0	0,46	32,0	0,42
6450	43,5	0,54	44,3	0,55	37,0	0,46	33,0	0,41
7320	47,0	0,55	46,3	0,54	39,0	0,46	35,0	0,41
7845	49,0	0,54	48,7	0,54	41,0	0,45	37,0	0,41
8775	52,0	0,56	51,5	0,55	43,0	0,46	39,0	0,42
10095	57,7	0,57	55,5	0,55	47,0	0,47	42,0	0,42
10710	58,5	0,56	56,5	0,54	48,0	0,46	43,0	0,41
11640	61,5	0,57	60,0	0,55	50,0	0,46	45,0	0,41

*Soluzione ramica penetrata nella gelatina,
espressa in gr. di solfato di rame anidro = x.*

0,5644	0,3196	0,06996	0,0366
--------	--------	---------	--------

Rapporto tra la quantità entrata e la concentrazione

$$\left(\text{Normalità} = \frac{x}{c} \right)$$

2,82	3,2	3,5	3,66
------	-----	-----	------

Graficamente rappresentato, il fenomeno appare con altrettanto chiara evidenza nel seguente schema :

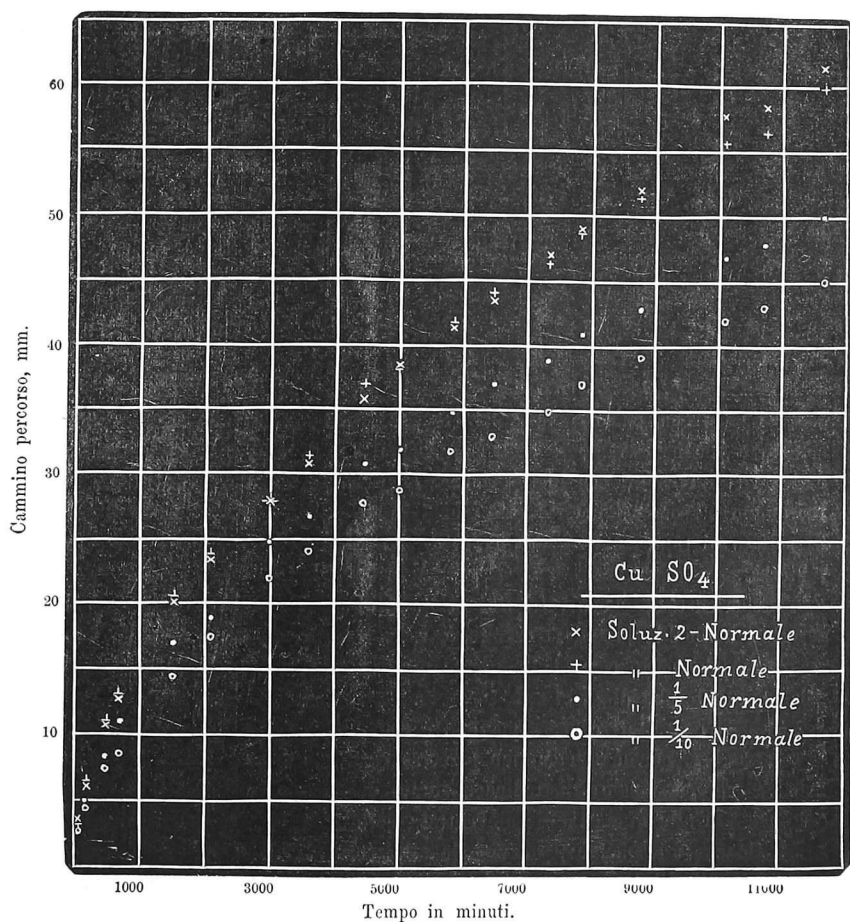


FIG. 3.

Per il bicromato potassico si lasciarono diffondere a 22° due soluzioni N/5 e N/10 con i risultati sotto riportati:

θ in min.	N/5		N/10	
	S_1	$\frac{S_1}{\sqrt{\theta}}$	S_2	$\frac{S_2}{\sqrt{\theta}}$
30	4,5	0,82	4,5	0,82
60	6,5	0,84	6,5	0,84
120	9,5	0,87	9,5	0,87
180	12,0	0,89	12,0	0,89
245	14,5	0,93	14,5	0,93
1080	32,0	0,97	31,0	0,94
2460	49,5	1,00	48,5	0,96
4110	67,5	1,00	66,0	1,00
5790	79,5	1,04	78,5	1,03
7350	90,5	1,06	90,0	1,05

Quantità in gr. di $K_2Cr_2O_7$ penetrato nella gelatina = x

$$\text{Normalità} = \frac{x}{c}$$

0,135	0,073
6,75	7,3

Si vede che, entro certi limiti di concentrazione l'avanzarsi della soluzione può effettivamente dirsi indipendente dalla concentrazione stessa; così i risultati avuti con le soluzioni 2-N. e N. di $CuSO_4$ e con quelle di bicromato possono ritenersi praticamente eguali. Le due soluzioni più diluite di solfato di rame mostrano invece di procedere con notevole maggiore lentezza.

Esperienze fatte con altri sali colorati (di cobalto e di nichel) diedero risultati analoghi; in questi casi però, essendo il fronte delle soluzioni sfumato, anziché netto come nelle precedenti, riusciva meno facile leggerne la posizione nel tubo di gelatina.

I nostri risultati concordano inoltre con quelli, già citati, di Voigtländer e Chabry, poichè il cammino percorso risulta, con sufficiente approssimazione, proporzionale alla radice quadrata del tempo trascorso.

Quanto alla quantità di sale entrata nella gelatina, le nostre analisi mostrano che essa non è proporzionale alla concentrazione delle soluzioni, ma da quelle diluite ne entra relativamente di più: e ciò dev'essere dovuto

almeno in parte al crescere della ionizzazione con l'aumentare della diluizione. Infatti il grado di ionizzazione α delle soluzioni di solfato di rame va crescendo da 0,17 per le 2-N. fino a 0,34 per quelle N/10.

Riassumendo, i risultati principali delle nostre esperienze sono:

1. La formazione di due setti distinti, osservata da Buscaglioni e Purgotti, allorchè le due soluzioni diffondentisi possono dare due precipitati, è confermata.

2. L'interpretazione secondo cui questo fatto sarebbe determinato dalla migrazione indipendente degli ioni non appare accettabile.

3. La spiegazione del fatto suaccennato deve cercarsi piuttosto, con grande verisimiglianza, nei fenomeni di soprassaturazione.

4. Si è accertato che le esperienze di diffusione in gelatina si prestano assai bene a dimostrare la idrolisi di sali colorati.

5. La ipotesi secondo cui i singoli ioni procederebbero con velocità inversamente proporzionale alla radice quadrata del loro peso non è accettabile, essendosi trovati varî casi, che stanno con essa nettamente in contraddizione.

6. L'osservazione di B. e P. che la velocità di migrazione è pressochè indipendente dalla concentrazione è confermata.

7. Sono pure confermate le esperienze di B. e P, intorno allo spostamento che subiscono i setti formati nella gelatina.

Fisica. — *I potenziali esplosivi ad alte pressioni.* — *Legge di Pachen* ⁽¹⁾. Nota dei dott. L. CASSUTO e A. OCCHIALINI, presentata dal Corrispondente A. BATTELLI.

1. Secondo le moderne teorie sopra la scarica per scintilla dovrebbe esistere una notevole relazione fra il potenziale esplosivo, la pressione del gas e la lunghezza della scintilla supposta determinata in un campo uniforme.

Secondo il Townsend ⁽²⁾ la scarica nell'ipotesi suespressa sarebbe determinata simultaneamente dai joni positivi e da quelli negativi che urtando sopra le molecole neutre, provocherebbe la dissociazione di queste ultime; inoltre essa avverrebbe quando fra il numero α dei joni prodotti da un jone positivo mentre percorre un centimetro e quello β dei joni prodotti da un jone negativo nello stesso percorso passa la relazione

$$(1) \quad \alpha - \beta \varepsilon^{(\alpha-\beta)a} = 0$$

dove ε è la base dei logaritmi neperiani e a è la distanza fra le lastre che servono da elettrodi.

⁽¹⁾ Lavoro eseguito nell'Istituto di Fisica di Pisa diretto dal prof. A. Battelli.

⁽²⁾ Phil. Mag. 6, 598, 1903.