ATTI

DELLA

REALE ACCADEMIA DEI LINCEI

ANNO CCCIV.

1907

SERIE QUINTA

RENDICONTI

Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali.

VOLUME XVI.

1° SEMESTRE.

ROMA

TIPOGRAFIA DELLA R. ACCADEMIA DEI LINCEI

PROPRIETÀ DEL CAV. V. SALVIUCCI

1907

che a prima giunta urta col buon senso, se si guardi bene, va d'accordo con le tre diverse ipotesi che si son messe avanti sulla loro natura.

Si accorda, o almeno non è in contrasto coll'opinione di Tammann, che essi siano specie di emulsioni, e con quella di Quincke che essi contengano minutissimi cristallini; perchè queste particelle o liquide o solide, sciogliendosi, potrebbero benissimo accrescere la viscosità del solvente più che non facciano, fin che rimangono in sospensione.

Ma si spiega bene anche nel concetto del Lehmann, che si tratti cioè di veri e proprî cristalli liquidi, cioè di liquidi le cui particelle scorrano le une rispetto alle altre, mantenendo un certo ordinamento. E in vero se si ammette quest'ordinamento delle particelle, e anche conseguentemente dei loro moti, è logico pensare che gli strati in cui esse sono schierate possano scorrere l'uno sull'altro più facilmente che se l'ordinamento non ci fosse.

Dunque le misure di viscosità in fondo non ci dicono nulla di concludente almeno da sole. Spero che diranno di più dell'esperienze in cui l'azione meccanica sia combinata con opportune osservazioni ottiche.

Fisica. — *Sulla resistenza elettrica dei metalli fra temperature molto alte e molto basse* (1). Nota del dott. Guido Niccolai, presentata dal Corrispondente A. Battelli.

§ 1. Arndtsen (2) e poi il Matthiessen e Bose (3) furono i primi a studiare l'influenza della temperatura sulla conducibilità elettrica dei metalli. Matthiessen e Bose estesero le ricerche a un certo numero di metalli puri fra 0° e 100°, e calcolarono anche i coefficienti α di temperatura in questo stesso intervallo. Dai loro valori risulta anzitutto che la resistenza aumenta colla temperatura, ed in oltre, come già aveva osservato Arndtsen (4), che i valori di α per tutti i metalli puri (eccettuato quello del ferro che ha un valore molto maggiore), sono compresi fra 0,00403 e 0,00327.

Il Clausius (5) osservò che la media di tutti questi valori (eccettuato il ferro) era prossimamente uguale a 0,00366, e cioè a quello stesso numero che esprime il coefficiente di dilatazione dei gas. Egli appunto per questo credette di poter concludere che la resistenza elettrica dei metalli puri fosse proporzionale alla temperatura assoluta, in modo che la formula:

$$R_t = R_0 (1 + 0{,}00366 \, . \, t)$$

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

(2) Pogg. Ann. 1858, CIV, pag. 650.

(3) Pogg. Ann. 1862, CXV, pag. 355.

(4) Pogg. Ann. 1858, CIV, 1.

(5) Pogg. Ann. 1858, CIV, pag. 650.

ne rappresentasse con sufficiente approssimazione la variazione in funzione della temperatura.

Però lo stesso Clausius si accorse che i dati di Matthiessen e Bose non erano sufficienti per trarre una conseguenza di tal genere, sia perchè il numero dei metalli studiati era troppo piccolo, sia anche perchè l'intervallo di temperatura utilizzato era troppo ristretto, e la concordanza nei resultati troppo imperfetta. D'altra parte però egli pensava che la sua osservazione non fosse priva d'interesse, e si riprometteva che servisse di incitamento a fare delle nuove ricerche.

§ 2. Ed infatti diversi sperimentatori in seguito si sono occupati a questo riguardo, aumentando così non solo il numero dei metalli studiati, ma migliorando le condizioni di esperienza, ed utilizzando intervalli di temperatura maggiori.

Così il Benoit [1] ha studiato la variazione della resistenza elettrica di un certo numero di metalli da 0° fino a temperature altissime, ed ha trovato che essa cresce sempre gradatamente; ma ora più, ora meno di quello che vorrebbe l'ipotesi emessa da Clausius. Egli ha in oltre calcolato i valori dei coefficienti α e β della formula

$$R_t = R_0 (1 + \alpha t + \beta t^2)$$

colla quale ha rappresentato la variazione della resistenza colla temperatura. I valori assoluti da lui trovati non si possono peraltro confrontare con quelli degli sperimentatori più recenti, come Dewar e Fleming [2] da una parte, e Jäeger e Diesselhorst [3] dall'altra, in causa della diversa purezza dei prodotti su cui è stato rispettivamente sperimentato.

Altre ricerche ad alte temperature sono state eseguite da H. Le-Chatelier [4] sopra il rame, il platino e l'argento; dal prof. Battelli [5] sopra il nichel; dal Morris [6] per il ferro, e finalmente da Phylip. Harrison. [7] per il nichel, il ferro, ed il rame, e tutti questi sperimentatori hanno trovato che la resistenza cresce enormemente colla temperatura.

§ 3. Anche a basse temperature furono eseguite delle ricerche di tal genere, ed i primi fisici che si occuparono di ciò sono il Cailletet ed il Bouty [8] i quali misurarono la resisistenza elettrica specifica del mercurio,

(1) C. R. CXXVI, 1873, pag. 342.
(2) Journ. de Phys. 1894, pag. 378 e Phil. Mag. 1894 (36), pag. 271.
(3) Abh d. Physikalisch-Techinischen Reichsanstalt 3, 269, 1900.
(4) C. R. 1890, CXI, pag. 454.
(5) Nuovo Cimento, 1893, III (34), pag. 125.
(6) Phil. Mag. 1897, (44), pag. 213.
(7) Phil. Mag. 1902, III, pag. 177.
(8) Journal de Phys. 1885.

dell'argento, dell'antimonio, dello stagno e del rame a — 100° circa, e quasi contemporaneamente il Wroblewscki [1] misurò quella del rame elettrolitico alla temperatura dell'azoto e dell'ossigeno liquidi.

Finalmente Dewar e Fleming [2] hanno eseguito una serie di investigazioni su un certo numero di metalli puri, leghe e corpi non metallici a sei o sette temperature comprese nell'intervallo fra + 100° e — 197°. Essi ottennero queste basse temperature evaporando ossigeno liquido sotto pressioni ridotte di venticinque o trenta millimetri di mercurio.

§ 4. I resultati però dei varî sperimentatori, sia per condizioni diverse d'esperienze, sia perchè i loro varî studi sono stati fatti su campioni differenti, sono talora molto discordi, per modo che le curve rappresentanti le resistenze elettriche specifiche dei metalli, tracciate ad alte ed a basse temperature rispettivamente da sperimentatori diversi, non possono raccordarsi fra loro.

Manca quindi uno studio completo del fenomeno, perchè da nessuno sperimentatore sono state eseguite delle ricerche che si spingano da temperature molto basse a temperature molto alte, facendo determinazioni ad intervalli abbastanza brevi da poter seguire la variazione vera della resistenza.

Lo studio appunto della variazione della resistenza elettrica specifica di alcuni metalli puri e di alcune leghe col variare continuo della temperatura, è scopo del presente lavoro.

Descrizione generale del metodo.

§ 5. Per misurare la resistenza elettrica dei metalli puri e delle leghe da me cimentati, mi sono servito di un eccellente ponte di Wheatstone, col quale potevo raggiungere direttamente, e con molta precisione il millesimo di ohm, e di un galvanometro Magnus di grandissima sensibilità.

I campioni presi in istudio, tirati in fili del diametro di $^1/_2$ mm. circa, e della lunghezza press'a poco di 8^m, venivano avvolti sopra un opportuno sostegno isolante, che portava anche l'apparecchio destinato a produrre il riscaldamento.

La figura n. 1 mostra schematicamente com'è costituito questo sostegno.

AA' è una canna di vetro del diametro di 5^{mm}, svasata inferiormente in modo da sorreggere il dischetto metallico D su cui è poggiato un altro dischetto D' di grosso cartone di amianto di un diametro alquanto maggiore del primo.

(1) C. R. 1885.
(2) Loc. cit.

Coassialmente alla canna AA′, ed appoggiata sopra il dischetto d'amianto, vi ha una seconda canna di vetro B di due centimetri e mezzo di diametro su cui è avvolta una fitta spirale di filo di ferro sottile le cui spire sono isolate fra loro per mezzo di un filo d'amianto.

Questa spirale percorsa da una corrente elettrica la cui intensità viene opportunamente regolata con un reostato, costituisce l'apparecchio riscaldatore.

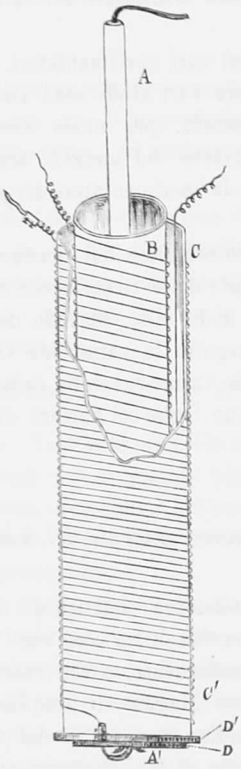

Fig. 1.

Finalmente sulla canna di vetro CC′ lunga 17 cm. e del diametro di 3.^{cm} 5, ricoperta con un massiccio cartone d'amianto di qualità eccellente, è avvolto accuratamente a spirale il filo in esame.

Due spire consecutive qualunque sono poi impedite di venirsi a toccare in qualche punto da un filo di amianto interposto fra esse.

La canna di vetro AA′ (come si vede in sezione nella figura 2) passa attraverso ad un tappo di sughero TT che serve a chiudere la bocca di un vaso di Dewar D_1 D_1 entro il quale viene immerso il sostegno col filo in

istudio. Questo recipiente di Dewar costruito in vetro di Jena ha forma cilindrica ed è profondo 22 cm. ed ha 5 cm. di diametro.

Il tappo TT, foggiato come si vede nella fig. 2, era tanto nella sua faccia inferiore, quanto lateralmente, dove veniva in contatto colle pareti di vetro del recipiente di Dewar, guarnito con del cartone abbastanza massiccio di amianto.

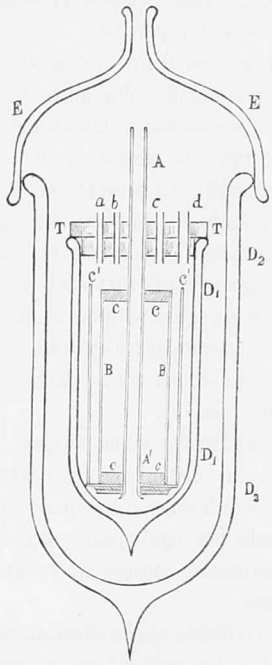

Fig. 2.

Oltre poi ad essere attraversato dalla canna di vetro AA' il tappo era attraversato da altri 3 tubicini di vetro *a*, *b*, *c* e da un tubetto di quarzo *d*. Di questi *a* serviva a tenere isolato uno dei grossi reofori di rame che faceva capo ad uno degli estremi del circuito del filo in istudio, mentre l'altro reoforo passava per entro la canna di vetro AA'.

I due tubetti *b* e *c* erano destinati ad isolare i due reofori della spirale di riscaldamento; il tubicino di quarzo *d* teneva isolate le due coppie termoelettriche di cui mi sono servito per misurare la temperatura alla quale facevo le mie determinazioni.

Il tutto poi veniva immerso in un secondo vaso di Dewar $D_2 D_2$, di vetro ordinario, esso pure a forma cilindrica e pareti argentate, profondo 35 cm. e di 10 cm. di diametro. La bocca di questo secondo Dewar veniva chiusa da un apposito coperchio EE di vetro a doppia parete e portante superiormente, come mostra la fig. 2, un'apertura attraverso la quale potevo far passare tutti i fili che mi occorrevano per il mio dispositivo. In questo modo ho raggiunto perfettamente il mio scopo che era quello di mantenere per un tempo sufficientemente lungo tutta quanta la massa del filo bene isolata elettricamente e ad una stessa temperatura.

Infatti con un po' di pratica sono giunto a regolare l'intensità della corrente, che doveva circolare nel filo dell'apparecchio riscaldatore, in modo da avere una variazione di temperatura lentissima non solo, ma anche una distribuzione uniforme per tutto il recipiente di Dewar. Dalla tavola infatti che si trova riportata nel seguito del presente lavoro, possiamo facilmente vedere come ciò appunto sia stato molto bene ottenuto.

Infatti finchè la differenza fra temperatura ambiente e quella dell'interno del recipiente non superava gli 80° o 90° non si apprezzava differenza alcuna fra la parte superiore e quella inferiore del Dewar stesso. Nel caso più sfavorevole poi, e cioè quando fra l'interno e l'ambiente avevo il massimo dislivello termico, la differenza fra la parte più alta e quella più bassa del recipiente non superava mai 1°.

Le due coppie termo-elettriche erano formate con fili di rame e constantana del diamettro di due decimi di millimetro, ed erano chiuse in circuito con un galvanometro di Thomson nel quale producevano una deviazione di una divisione della scala per ogni quinto di grado. Come temperatura del filo in istudio ad un determinato istante ho assunto la media delle temperature lette ai suoi estremi.

Ho inoltre curato e verificato anche direttamente coll'esperienza, che fra il campione in istudio ed i due reofori che servivano a congiungerlo coi morsetti del Ponte, non si producessero delle correnti termo-elettriche che avrebbero disturbato le mie determinazioni.

La lunghezza dei campioni presi in esame l'ho determinata quando i fili stessi erano tesi sotto uno sforzo costante di 1 Kg. Il diametro l'ho determinato direttamente per mezzo di una vite di Palmer facendo delle misure in moltissimi tratti, per accertarmi anche che i fili stessi fossero ben uniformi per tutta la loro lunghezza, e l'ho poi ritrovato anche in funzione del peso specifico e della lunghezza.

La fig. n. 3 dà una rappresentazione schematica della disposizione completa per le misure. G è il galvanometro a cui facevano capo le due coppie termo-elettriche che avevano una delle due saldature rispettivamente in una provetta di mercurio immersa in un bagno B di ghiaccio fondente; T è un permutatore che mi permetteva di chiudere sul galvanometro G la prima o

la seconda coppia termo-elettrica; G′ è il galvanometro per la misura delle resistenze.

§ 6. *Andamento delle esperienze.* — I metalli puri da me studiati sono: 1) *l'alluminio*; 2) *l'argento*; 3) *il ferro*; 4) *il magnesio*; 5) *il nikel*; 6) *l'oro*; 7) *il piombo*; 8) *il platino*; 9) *il rame*. Per ciascun campione di filo ho cominciato a misurarne la resistenza nell'aria alla temperatura ambiente; indi disposto entro il Dewar, nel modo già indicato, il sostegno su cui era

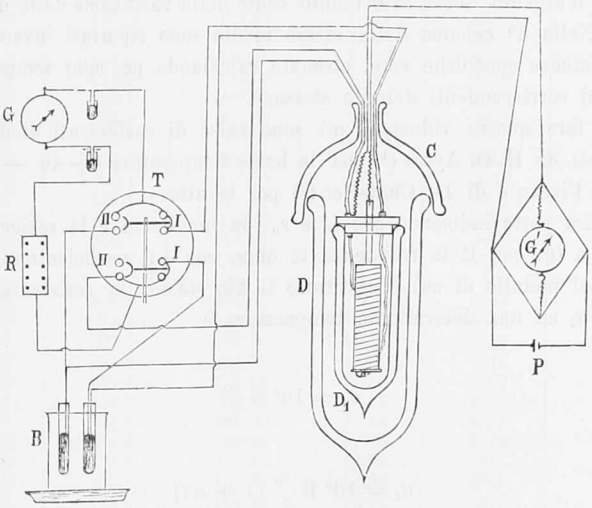

Fig. 3.

avvolto, per mezzo dell'apparecchio riscaldatore l'ho lentissimamente riscaldato fino a 400° facendo una determinazione di 25° in 25°.

Giunto a 400°, regolando opportunamente l'intensità della corrente nel circuito di ferro, ho fatto in modo che il filo in istudio si raffreddasse con molta lentezza fino a ritornare alla temperatura ordinaria, facendo anche in questo caso le misure di resistenza ogni 25 gradi. Così per le basse temperature ho operato tanto quando il sistema lentamente si raffreddava come quando tornava nuovamente a scaldarsi, facendo le determinazioni negli stessi intervalli di temperatura.

Risultati.

In questa prima Nota do soltanto la relazione delle esperienze fatte per l'argento; i resultati relativi agli altri otto metalli saranno riferiti in una prossima Nota.

Dovendo togliere dalla resistenza letta sul Ponte quella dei conduttori che stabiliscono le comunicazioni fra questo ed il filo in istudio, ho calcolato, lettura per lettura, la resistenza di questi reofori tenendo conto che una parte di essi si trovava alla temperatura ambiente, ed una parte molto approssimatamente alla temperatura che era a quell'istante entro il recipiente di Dewar.

Nella 4ª colonna della tavola seguente sono riportati i valori in unità elettromagnetiche assolute della formula $R \frac{s_0}{l_0} 10^9$ alle varie temperature del campione d'argento, senza aver tenuto conto della variazione delle dimensioni del filo. Nella 5ª colonna della stessa tavola sono riportati invece i valori delle resistenze specifiche vere, ottenute calcolando per ogni temperatura le dimensioni corrispondenti del filo stesso.

Per fare queste riduzioni mi sono valso di coefficienti di dilatazione determinati da H. D. Ayres [1] per le basse temperature (+ 40 — 187) e di quelli di Fizeau e di Le Chatelier [2] per le alte.

D'altra parte indicando con l_0 e s_0, la lunghezza e la sezione del filo misurato a 0°, con R la resistenza in ohm, con α il coefficiente di dilazione lineare del metallo di cui è costituito il filo stesso, la resistenza elettrica specifica σ_t ad una determinata temperatura è

$$\sigma_t = 10^9 \, R \frac{s_0}{l_0}$$

oppure

$$\sigma_t = 10^9 \, R \frac{s_0}{l_0} (1 + \alpha t)$$

a seconda che si trascurano o no le variazioni delle dimensioni del filo.

Quindi per ottenere i valori della 5ª colonna della seguente tavola, che rappresentano la resistenza specifica alle varie temperature, basta moltiplicare i valori corrispondenti della 4ª colonna per il binomio di dilatazione.

Il filo d'argento aveva la lunghezza di cm. 580,1 ed il diametro di cm. 0,46.

(1) Physical Review 1905, pag. 38.
(2) Tabelle del Landolt.

Argento *di Kalhbaum*

Lunghezza a 0° cm.: 850,1. Diametro cm: 0,046.

Temp. letta colla I coppia	Temp. letta colla II coppia	Media delle temp.	Resistenza in Ohm	$R \frac{s_0}{l_0} 10^9$	Resistenza specifica vera
12,0°	12,0°	12,00°	0,806	1575	1576
25,0	25,0	25,00	0,845	1653	1654
49,8	49,8	49,80	0,919	1797	1798
74,7	74,7	74,70	0,994	1943	1945
101,0	101,0	101,00	1,074	2100	2104
125,0	125,1	125,05	1,147	2242	2247
150,4	150,5	150,45	1,222	2389	2395
174,8	175,0	174,90	1,294	2530	2538
199,9	200,1	200,00	1,369	2677	2687
225,2	225,4	225,30	1,443	2821	2833
250,8	251,1	250,95	1,515	2962	2976
274,2	274,6	274,40	1,585	3098	3114
300,0	300,4	300,20	1,657	3240	3259
325,7	326,1	325,90	1,729	3381	3402
351,2	351,7	351,45	1,794	3508	3531
375,4	376,1	375,57	1,863	3642	3668
400,2	401,0	400,60	1,929	3771	3800
400,0	400,8	400,40	1,929	3771	—
374,8	375,4	375,10	1,861	3642	—
327,1	327,7	327,40	1,734	3390	—
300,8	301,2	301,00	1,661	3248	—
275,3	275,7	275,50	1,586	3100	—
250,0	250,5	250,25	1,514	2960	—
225,7	226,1	225,90	1,448	2831	—
200,2	200,4	200,30	1,370	2678	—
173,2	173,3	173,25	1,286	2515	—
150,0	150,1	150,05	1,220	2385	—
124,9	125,0	124,95	1,147	2242	—
100,1	100,1	100,10	1,071	2094	—
75,0	75,0	75,00	0,996	1947	—
50,2	50,2	50,20	0,923	1804	—
25,7	25,7	26,70	0,846	1655	—
+ 11,0	+ 11,0	+ 11,00	0,802	1569	1569
+ 0,2	+ 0,2	+ 0,20	0,771	1507	1507
— 25,1	— 25,1	— 25,10	0,691	1351	1350
— 49,9	— 49,9	— 49,90	0,624	1221	1220
— 75,7	— 75,6	— 75,65	0,550	1075	1073
— 100,2	— 100,1	— 100,15	0,468	915	913
— 124,8	— 124,6	— 124,70	0,393	768	766
— 151,3	— 151,0	— 151,15	0,327	641	639
— 175,0	— 174,6	— 174,80	0,254	497	495
— 189,0	— 189,0	— 189,00	0,214	419	417
— 188,8	— 188,8	— 188,80	0,216	422	—
— 175,2	— 174,8	— 175,00	0,255	498	—
— 150,0	— 149,7	— 149,85	0,326	639	—
— 122,7	— 122,5	— 122,60	0,397	777	—
— 100,0	— 100,0	— 100,00	0,469	917	—
— 76,2	— 76,2	— 76,20	0,543	1061	—
— 50,6	— 50,6	— 50,60	0,619	1211	—
— 25,1	— 25,1	— 25,10	0,689	1342	—

Come si vede dunque la differenza fra la resistenza elettrica specifica del nostro campione d'argento ed il valore approssimato $R \frac{s_0}{l_0} . 10^9$ è molto piccola, poichè nel caso più sfavorevole, e cioè alla temperatura di 400° è sempre minore dell'uno per cento.

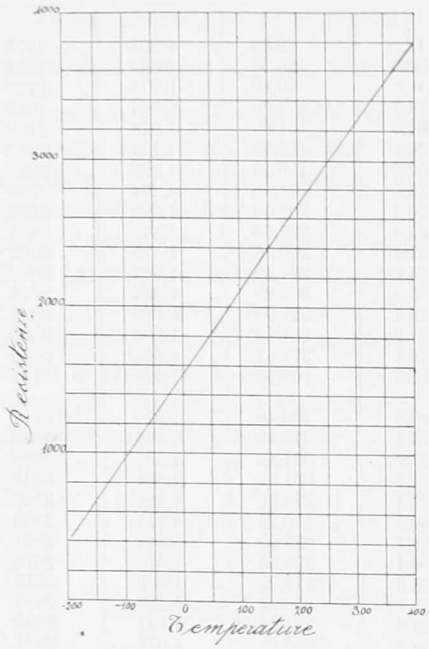

Fig. 4.

Quindi come prima approssimazione in tali ricerche possiamo addirittura trascurare le variazioni delle dimensioni del filo.

Ed io appunto per tutti gli altri metalli, di cui darò relazione in una prossima Nota, non ne ho affatto tenuto conto.

La figura n. 4 riproduce la curva rappresentatrice la variazione della resistenza elettrica specifica dell'argento in funzione della temperatura.