L'EFFETTO CORBINO NEL BISMUTO FUSO.

Nota del PROF. T. COLLODI.

1. — I due fenomeni galvanomagnetici di seconda specie, l'effetto Hall e l'effetto Corbino che sembrano costituire una manifestazione della struttura dei metalli, non si inquadrano, com'è ben noto, nella teoria elettronica generale; affinché la teoria possa prevedere le variazioni di grandezza e si segno che si osservano passando da un metallo all'altro, è sembrato necessario ammettere anche l'esistenza di elettroni, o, in generale, di centri positivi, mobili nell'interno del metallo, e concepire gli effetti galvanomagnetici che si osservano in un certo metallo, come la differenza tra l'effetto del campo sui centri positivi e negativi.

Effettivamente, se si esaminano i risultati ottenuti nella misura degli effetti galvanomagnetici nei vari metalli sinora studiati, disponendoli sopra una scala in ordine alla grandezza e al segno dell'effetto, si osserva che quasi tutti prendono posto in vicinanza dello zero, alcuni di qua, altri di là: e solo pochissimi se ne discostano notevolmente, in un senso o nell'altro: cosa, questa, che sembra confermare l'idea di un effetto differenziale sulle due correnti di elettroni.

Tuttavia i risultati ottenuti sviluppando questa ipotesi, notevolissimi dal punto di vista puramente matematico, lo sono meno da quello fisico, poichè l'ipotesi è fatta apposta per spiegare il fenomeno osservato, nè, ad aumentarne il valore probatorio concorrono altri fatti sperimentali, a cui l'ipotesi stessa possa collegarsi.

Comunque stiano le cose, la spiegazione dei due effetti sopra ricordati deve essere fondamentalmente la stessa, poichè presumibilmente, siamo di fronte a due differenti manifestazioni dello stesso fatto.

Risulta infatti ¹⁾ che per tutti i metalli studiati *il segno* dei due effetti è il medesimo; le differenze quantitative tra i due coefficienti sono inevitabili per essere l'un fenomeno misurato da una differenza di potenziale, l'altro da una intensità di corrente, dimodochè occorre nel paragonare i due, tener conto della conducibilità del materiale. È noto che il professor Corbino ²⁾ ha dedotto teoricamente una relazione tra i due coefficienti, R ed E e la conducibilità c , della forma semplice

$$E = Rc$$

e che questa relazione è risultata perfettamente verificata, per il Bismuto, alle temperature di 20° e — 79° dalle esperienze del Trabacchi ³⁾. Infine si può osservare che, se si elencano i vari materiali finora studiati in ordine di effetto Hall o di effetto Corbino crescente o decrescente *in valore assoluto*, (come si suol fare) i due elenchi differiscono notevolmente tra loro, nè le cose migliorano tenendo conto della conducibilità del materiale; ma se si tien conto della *grandezza e del segno* dei due coefficienti, l'ordine con cui i vari metalli si susseguono è quasi identico.

Le due tabelle seguenti mostrano i metalli studiati da Adams e Chapman disposti in ordine decrescente di effetto galvanomagnetico:

¹⁾ Adams e Chapman, *Ph. Mag.* 28, 692, 1914.

²⁾ Corbino, *Atti Acc. Lincei*, genn. 1919.

³⁾ Trabacchi, *Atti Acc. Lincei*, nov. 1919.

In valore assoluto		In valore e segno	
Eff. Hall	Eff. Corbino	Eff. Hall	Eff. Corbino
1. Bismuto	Bismuto	+	+
2. Antimonio	Antimonio	1. Antimonio	Antimonio
3. Ferro	Nichelio	2. Ferro	Ferro
4. Nichelio	Ferro	3. Cobalto	Cobalto
5. Cobalto	Argento	4. Cadmio	Cadmio
6. Argento	Rame	5. Zinco	Zinco
		6. Piombo	?
		—	—
7. Oro	Cobalto	7. Stagno	?
8. Cadmio	Oro	8. Platino	Platino
9. Rame	Alluminio	9. Alluminio	Alluminio
10. Alluminio	Cadmio	10. Rame	Oro
11. Zinco	Zinco	11. Oro	Rame
12. Platino	Platino	12. Argento	Argento
13. Piombo	?	13. Nichelio	Nichelio
14. Stagno	?	14. Bismuto	Bismuto

L'ordine con cui i vari metalli si susseguono nella seconda tabella è il medesimo: L'unica eccezione è rappresentata dai due metalli Rame, Oro, per i quali tuttavia si può osservare che i coefficienti dell'effetto Hall differiscono pochissimo tra loro (Rame — 0,05, Oro — 0,06).

2. — È noto che, se si prescinde dal Tellurio pel quale l'effetto Corbino non è stato, che io sappia, misurato, il metallo che dà luogo ad effetti galvanomagnetici spiccatissimi, è il Bismuto, cioè il materiale più diamagnetico che si conosca;

l'Antimonio occupa il secondo posto per la grandezza assoluta sia dei coefficienti R ed E, sia della suscettività magnetica.

D'altronde la suscettività magnetica del Bismuto, contrariamente a quella di tutti gli altri corpi diamagnetici, varia con la temperatura, e diminuisce col crescere di essa; anche il coefficiente dell'effetto Hall diminuisce a temperature elevate, ma le due variazioni avvengono con leggi diversissime.

Infatti risulta dalle esperienze del Curie ¹⁾ che il coefficiente di magnetizzazione del Bismuto, via via che la temperatura monta, diminuisce lentamente e linearmente, fino a ridursi a circa $\frac{7}{10}$ del suo valore iniziale, verso la temperatura di fusione (270°); con la fusione, il coefficiente cade bruscamente ad un valore 25 volte più piccolo, cioè uguale, come ordine di grandezza, a quello di quasi di tutti gli altri corpi diamagnetici, e, come tutti questi, è ora indipendente dalla temperatura.

Il coefficiente dell'effetto Hall, invece, ²⁾ decresce rapidamente a partire dalla temperatura ordinaria, e si riduce a $\frac{1}{6}$ del valore iniziale una diecina di gradi prima della fusione; di qui in poi, fino alla fusione, continua a decrescere, ma con rapidità assai maggiore; e al punto di fusione assume, nel solido un volume uguale ad $\frac{1}{20}$ del valore iniziale.

Per queste considerazioni mi è sembrato interessante studiare l'altro effetto galvanomagnetico, cioè l'effetto Corbino, nel Bismuto a temperature via via più elevate, fino alla temperatura di fusione e finalmente nel metallo fuso.

3. — Per questo studio ho adoprato un dispositivo a doppia bilancia di induzione che è poi lo stesso di quello ideato dal Prof. Puccianti e già descritto su questo giornale ³⁾.

Mi limiterò dunque a ricordare che esso consiste (fig. 1) in due grossi rocchetti per la produzione del campo, nell'in-

¹⁾ Curie, *Ann. de Chim. et de Phys.*, 5, 289, 1895.

²⁾ Rausch v. Treubenberg, *Ann. des Ph.*, 17, 78, 1905.

³⁾ Puccianti, *Nuovo Cimento*, 15, 249, 1918.

terno dei quali sono collocati due altri rocchetti di moltissime spire di filo di rame, costituenti, insieme con un solenoide neutro, il circuito indotto, collegato ad un galvanometro corazzato Siemens, di alta sensibilità (1 divisione = circa 10^{-10} amp.); questi due circuiti costituiscono una prima bilancia di induzione, che ha lo scopo di rendere insensibile il sensibilissimo galvanometro alle inevitabili variazioni della corrente del campo. Nell'interno di una delle bobine indotte è posto il disco di Bismuto a cui viene guidata la corrente di una bat-

Fig. 1.

teria di accumulatori, attraverso ad una resistenza variabile e un invertitore; una piccola frazione di questa corrente viene derivata dal circuito e condotta, attraverso ad un reostato di precisione Hartmann e Braun, ad alcune spire concatenate col solenoide neutro sopra rammentato, per compensare l'induzione della corrente principale sul circuito indotto. Si ha così una seconda bilancia di induzione, con la quale è possibile ottenere che il galvanometro rimanga in quiete lanciando, o interrompendo, o anche invertendo la corrente nel disco.

Se allora si eccita il campo, l'equilibrio è turbato, e si può ristabilirlo, facendo variare la resistenza inserita nel ramo derivato, per mezzo del reostato di precisione.

Dalle resistenze occorrenti per equilibrare il galvanometro per due valori uguali e opposti della corrente del campo, è facile dedurre una misura relativa dell'effetto Corbino; il quale può anche, più semplicemente, ritenersi misurato dalla deviazione impulsiva del galvanometro all'inversione della corrente nel disco.

Il disco era collocato (fig. 2) in fondo ad un tubo di rame costituente un elettrodo; il tubo era chiuso da un dischetto di mica, mantenuto a posto da un tappo a vite di ottone; un grosso filo di rame costituiva l'altro elettrodo, ed era guidato nel centro del disco da due diaframmi di rame, isolati con mica. e forati per dar passaggio ad una coppia termoelettrica. In cima al tubo era saldato « a forte » un pezzo di grossa lamiera, pure di rame, che veniva fortemente riscaldato con una lampada a gas, da soffieria, e comunicava gradatamente il calore a tutto il tubo e finalmente al disco di Bismuto.

Per ottenere un perfetto contatto tra il Bismuto e gli elettrodi di rame, dopo aver tentato dapprima con scarso successo di ravvivare quest'ultimo metallo con bismuto fuso in presenza di un riducente, trovai conveniente ricorrere ad un deposito elettrolitico, mediante sottonitrato in soluzione nitrica, con eccesso di sale insoluto; usando una densità di corrente abbastanza piccola, si riesce ad ottenere, in capo a qualche ora, un deposito di Bismuto chiaro e aderente.

La determinazione della temperatura, era fatta come ho accennato, mediante una coppia termoelettrica rame-platino, un estremo della quale era mantenuto nel ghiaccio pesto, e un galvanometro a circuito mobile.

L'altro estremo della coppia fu posto o in un bagno di paraffina sovrastante al disco di Bismuto, o nel disco stesso con la protezione di un sottile tubicino di quarzo, o, finalmente nell'interno del disco, in contatto immediato col metallo.

Quest'ultima disposizione è la migliore per ottenere che la coppia segua fedelmente le variazioni di temperatura — del resto assai lente — del disco.

Fig. 2.

Naturalmente in questo caso era opportuno interrompere la comunicazione della coppia col galvanometro allorché si mandava la corrente nel disco, e non si poteva dunque ese-

guire contemporaneamente la misura dell'effetto galvanomagnetico e la determinazione della temperatura.

D'altronde si cercava di mantenere quest'ultima presso che invariata, per un certo tempo, regolando la pressione del gas e dell'aria nella fiamma, e sempre si deduceva la temperatura della media di due letture fatte prima e dopo la misura dell'effetto.

Occorre anche dire che, appena la temperatura cominciava ad aumentare, l'equilibrio nelle due bilance era subito turbato e, a temperature un po' elevate diveniva oltremodo penoso ristabilirlo e mantenerlo, a causa di piccole deformazioni dei vari circuiti, non eliminabili neppure con una montatura solida e oltremodo rigida.

Questa difficoltà, aggiunta alle altre proprie del dispositivo, necessariamente complesso, ha reso almeno per ora impossibile l'uso di un commutatore rotante, che fu altra volta aggiunto alla doppia bilancia di induzione ¹⁾, e che aumenta grandemente la sensibilità del metodo. Talchè io potevo apprezzare con sicurezza soltanto un effetto galvanomagnetico che non fosse inferiore a $\frac{1}{25}$ dell'effetto stesso, nel Bismuto, a temperatura ordinaria.

4. — In una prima serie di misure fatta a scopo di orientamento, ho dovuto interrompere l'esperienza appena ottenuto il Bismuto fuso, poichè in tale condizione quando il campo magnetico è eccitato, il metallo diviene sede di un prevedibile effetto elettrodinamico di prima specie, pel quale si pone in rapida rotazione finchè, per effetto della forza centrifuga, si forma un vortice e il metallo perde il contatto con l'elettrodo centrale, interrompendo la corrente. Si ha un così curioso interruttore, di frequenza notevole, ma in questo caso del tutto inopportuno. L'inconveniente si toglie con facilità, serrando il disco di Bismuto tra due diaframmi di mica tenuti fermi

¹⁾ Puccianti, *Nuovo Cimento*, 16, 97.

da armature di rame; allora, se il movimento rotatorio perdura (nè manifestamente è possibile eliminarlo) si impedisce almeno la formazione del vortice, e l'interruzione della corrente.

5. — Ho eseguito allora molte serie di misure dell'effetto in studio, a temperature via via crescenti fino alla fusione, ed oltre, cercando, in ciascuna serie, di mantenere rigorosamente costante sia il campo magnetico come la corrente del disco. Nelle varie serie ho usato diverse intensità di campo, da 600 a 1200 u. a. circa, e una corrente primaria variabile di solito da 40 a 60 ampère e, qualche volta anche più intensa (circa 80 amp.). I risultati sono sempre stati concordanti, e mostrano con chiarezza qual'è l'andamento generale del fenomeno, come si può vedere della tabella che segue, scelta tra le numerose serie eseguite.

Intensità della corrente primaria 45 amp.	
temperatura	effetto Corbino in misura relativa
15°	24
35°	18
55	14
90	9, 5
128	5, 5
162	3, 5
205	2
243	1
270 solido	0
270 liquido	0
292	0
308	0

Coi numeri di questa tabella si è costruita la curva della figura 3.

L'una e l'altra dimostrano che « l'effetto Corbino, nel Bismuto, in campi di media intensità decresce rapidamente col salire della temperatura, fino a ridursi a zero — ossia al

Fig. 3.

disotto del minimo valore apprezzabile con la sensibilità avanti indicata — al punto di fusione; e rimane costantemente nullo nel metallo fuso ».

***

Rivolgo i più sentiti ringraziamenti al Prof. Puccianti per il validissimo aiuto di consigli e di mezzi fornitomi.