COSTANTI MAGNETICHE DI AMALGAME DI BISMUTO¹⁾.

TULLIO GNESOTTO E MARIA BINGHINOTTO.

In un precedente studio ²⁾ sulle costanti magnetiche di leghe debolmente magnetiche abbiamo trovato per coefficiente di magnetizzazione del mercurio $K = (-0,191 \pm 0,001) \cdot 10^{-6}$. Il numero fu ricavato da misure eseguite col metodo di Curie-Meslin, prendendo come corpo di confronto l'acqua e assumendo per questa $K = -0,79 \cdot 10^{-6}$.

Dalle misure di Quincke ³⁾ si deduce per il coefficiente di magnetizzazione del mercurio puro: $K = -0,190 \cdot 10^{-6}$, che corrisponde a $k = -2,58 \cdot 10^{-6}$ ($d = 13,56$). St. Meyer ⁵⁾ trovò $k = -2,1 \cdot 10^{-6}$ e quindi $K = -0,151 \cdot 10^{-6}$; dicemmo già ⁶⁾ perchè questo dato è da ritenersi in valore assoluto troppo piccolo.

Contemporaneamente a noi Honda ⁷⁾ trovò, col metodo originale di Curie, $K = -0,193 \cdot 10^{-6}$ per il mercurio puro, che non indicava traccia alcuna di ferro, e verificò la costanza di questo coefficiente al variare della temperatura fino ai 357° (il che è in accordo colla legge di Curie per i corpi diamagnetici).

Riassumiamo nella seguente tabella i dati relativi al mercurio.

*Coefficienti di magnetizzazione del mercurio
e suscettività magnetiche calcolati assumendo per densità
del mercurio a 15° : 13.56.*

		$K \cdot 10^6$	$k \cdot 10^6$
Quincke	⁸⁾	- 0,190	- 2,6
Meyer	⁹⁾	0,151	2,1
Meslin	¹⁰⁾	0,185	2,5
Honda	¹¹⁾	0,193	2,6
Gnesotto e Binghinotto	¹²⁾	0,191	2,6

Noi abbiamo preso il mercurio come corpo di confronto per determinare i coefficienti di magnetizzazione, a temperatura ambiente, di un gruppo di amalgame di bismuto a diverse concentrazioni ed a pag. 345 diamo i risultati delle nostre misurazioni.

L'accordo dei risultati di Quincke e di Honda coi nostri, ed il fatto che a parità di volume il mercurio assume in un campo magnetico un momento magnetico triplo di quello dell'acqua, ci persuade dell'opportunità della scelta del mercurio come corpo di riferimento e ci permette di dar maggior peso alle cifre significative dei numeri che danno le misure relative delle costanti misurate, specialmente per le amalgame ricche di mercurio.

La scelta del mercurio si presenta anche assai opportuna e per la purezza con cui esso si può ottenere e, specialmente nel nostro caso, perchè il bismuto e le sue amalgame hanno densità dell'ordine di grandezza di quella del mercurio stesso; viene portata adunque al magnetometro una massa avente pressochè lo stesso peso, oltrechè lo stesso volume.

Noi teniamo come valore di riferimento per il coefficiente di magnetizzazione del mercurio

$$K = -(0,191 \pm 0,001) 10^{-6},$$

il dato da noi trovato. L'Honda assume invece: $K = -0,19 \cdot 10^{-6}$ ma le cure da noi avute nelle misure ci permettono di dar peso alla terza cifra decimale.

Nel lavoro sopra citato abbiamo illustrato¹³⁾ in tutti i suoi particolari la portata della semplificazione introdotta dal Messlin al metodo di Curie, le modificazioni da noi fatte al magnetometro ed il procedimento seguito nelle misurazioni e nel calcolo delle costanti magnetiche, tenendo conto di tutte le correzioni.

Le costanti magnetiche, ricordiamolo, vengono calcolate determinando la forza esercitata su una massa di sostanza, di determinato volume, nel punto di mezzo dello spazio intrapolare di un campo creato eccitando uno dei due nuclei coassiali di un elettromagnete di Faraday. Noi risaliamo alla forza misurando la somma w dei due spostamenti impulsivi che su-

bisce la massa, sostenuta da una bifilare lungo l'asse dell'elettromagnete, quando si ecciti l'uno e poi l'altro dei due nuclei.

Prima di iniziare questa seconda serie di misure fu da noi introdotta qualche lieve modificazione allo strumento ¹⁴⁾.

Ci premeva di renderlo ancor più sensibile specialmente per apprezzare le differenze fra le suscettività magnetiche delle amalgame liquide a temperatura ordinaria, per loro natura assai diluite e che hanno quindi costanti magnetiche poco diverse dal mercurio.

Aumentammo un po' la lunghezza della bifilare, che da centimetri 36 circa fu portata a centimetri 38. I fili di alluminio, del diametro di millimetri 0,1, furono mantenuti alla distanza di millimetri 0,6. Le letture a riflessione furono fatte con un buon cannocchiale la cui scala, divisa in millimetri, si potè tenere alla distanza di centimetri 215 dallo specchio. Alla deviazione di $\frac{1}{10}$ di divisione, ben leggibile sulla scala, corrisponde circa $\frac{1}{3000}$ di dine. La sensibilità fu così triplicata ¹⁵⁾.

Ci occorsero grandi cautele nel condur le misure affinchè riuscissero più precise di fronte alla aumentata sensibilità.

Per evitare che il sistema fosse azionato da cause esteriori, correnti d'aria, perturbazioni termiche, la custodia di protezione fu accuratamente stuccata, la scala del cannocchiale fu illuminata a distanza per mezzo di luce riflessa da uno specchio sferico girevole al comando dell'osservatore; furono tolte le riflessioni nocive della lastra di vetro che chiudeva la custodia dalla parte del cannocchiale, sostituendola con una parete opaca munita di finestra ricoperta di un sottile foglio di celluloido ben teso.

Lo smorzamento fu maggiormente curato in questa serie di osservazioni. Al disco orizzontale di rame fu sostituito un cilindro cavo di sottile lamiera di rame, ad asse verticale, che pesca parzialmente in olio di vaselina contenuto in un'ampia bacinella.

Le letture si fecero sempre ad intervalli di tempo non minori di un'ora, così divenne inutile il dispositivo da noi usato nelle prime misure ¹⁶⁾ per arrestare il sistema dopo fatta

una lettura; non si voleva disturbare l'assetto elastico dei fili e si attendeva sempre, prima di fare una determinazione, che il sistema fosse stato in riposo perfetto per un tempo non breve.

Affinchè la corrente degli accumulatori circolante negli avvolgimenti avesse sempre lo stesso valore di 7,5 ampères, senza obbligarci ad inutili regolazioni nel circuito dell'elettromagnete, essa prima delle osservazioni, veniva ridotta a quel valore in un circuito di resistenza eguale a quella comune ai due singoli avvolgimenti dell'elettromagnete di Faraday. Va da sè che alla fine di ogni misurazione si smagnetizzavano i nuclei col solito metodo delle correnti alternate decrescenti.

Particolari cure si ebbero per mantenere orizzontale il giogo del sostegno della provetta, il cui estremo inferiore riesce fra i poli dell'elettromagnete. Ai cavalieri mobili, che appesi all'estremo del giogo servivano da contrappesi, fu sostituito uno speciale dispositivo rigidamente collegato al giogo stesso; delle piccole piastrine rettangolari di piombo venivano fatte scorrere dolcemente su di un piatto di ottone fissato con una staffa saldata all'estremo del giogo. Si poteva così variare il momento intorno al punto di sospensione del giogo, così da portare il baricentro della massa magnetica sull'asse delle espansioni polari.

Per meglio evitare le accidentali rotture dei fili di sospensione e far sì che entrambi fossero soggetti alla stessa tensione, adottammo un opportuno morsetto di congiunzione fra il giogo del sistema mobile, ed il doppio filo.

Date le modificazioni introdotte nel sistema, dovemmo nuovamente misurare con accuratezza il valore di a , cioè la semidistanza dei due punti nei quali sono minimi (nulle le forze attrattive) i due campi creati per l'eccitare l'uno o l'altro nucleo dell'elettromagnete ¹⁶). In questa nuova serie si ebbe, in parti di scala: $a = 103,3$.

Per la provetta di vetro fu determinato il valore di w , che risultò eguale a 3,8 divisioni di scala.

Il decremento logaritmico delle oscillazioni risultò 0,2. Anche per il caso più sfavorevole si può usare la formola (29) di pag. 415 nella Nota citata ³), per il calcolo della forza nel punto di mezzo del campo; essa infatti risulta dalla sostitu-

zione del fattore $(4 - \lambda)$ all'espressione $2 \left(1 + e^{-\frac{\lambda}{2}} \right)$ nella formola che segue la (13) nell'appendice della nota stessa; basta sviluppare in serie $e^{-\frac{\lambda}{2}}$ per accertarsene ed osservare inoltre che nel calcolo dei rapporti dei coefficienti di magnetizzazione il fattore $(4 - \lambda)$ compare tanto al numeratore che al denominatore.

Il rapporto r_1 dei coefficienti di magnetizzazione nell'aria fu calcolato dunque con la formola 33 di pag. 420²), nel calcolo invece del coefficiente di magnetizzazione nel vuoto usammo la formola:

$$K = 10^{-6} \left\{ -0,194 + \frac{0,027}{\rho} \right\},$$

ρ essendo la densità del corpo in esame, $-0,194 \cdot 10^{-6}$ il coefficiente di magnetizzazione del mercurio nell'aria, $0,027 \cdot 10^{-6}$ il coefficiente di magnetizzazione dell'aria rispetto al vuoto che viene ora generalmente adottato¹⁷⁾.

Calcolato l'ordine di grandezza degli errori relativi ci risultò che esso è 0,0015 per le amalgame ricche di bismuto e 0,003 per le amalgame liquide.

Particolare cura si ebbe appunto nello studio di quest'ultime. Ci occorreva apprezzare con precisione variazioni, che ammontano, come vedremo, ad $\frac{1}{100}$ circa del coefficiente. Di qua la necessità di conoscere con grande esattezza la indicazione del magnetometro quando vi si porta il mercurio e che le costanti strumentali non mutino durante tutta la serie di osservazioni.

Frequenti controlli furono fatti portando al magnetometro il bismuto che naturalmente, per la grande sua suscettività, meglio si presta a questo scopo.

Il mercurio, ottenuto puro per distillazione nel vuoto, fu portato al magnetometro al principio ed alla fine delle osservazioni, diede indicazioni che differiscono fra loro a meno di $\frac{1}{600}$, con esso furono fatte verifiche per provare che varia-

zioni, anche non lievi, di peso p , e quindi di volume della sostanza messa nella provetta, non portarono variazioni nella determinazione dei rapporti r , fra i coefficienti di magnetizzazione nell'aria, e quindi di K ; occorre però conoscere bene il peso della massa; ad esempio: aggiungendo gr. 0,5 circa di mercurio a gr. 13,6 circa esistenti nella provetta, la somma w delle deviazioni aumentò proporzionalmente in guisa che, fatto il calcolo del rapporto dei due coefficienti, si ottenne 1,001.

Il bismuto che ci servì in queste ricerche, ci fu fornito come purissimo dalla casa Kahlbaum di Berlino; furono portati al magnetometro due campioni ciascuno più volte, il coefficiente di magnetizzazione del primo campione risultò: $(-1,475 \pm 0,002) \cdot 10^{-6}$ (media di 12 determinazioni), quello del secondo $(-1,444 \pm 0,002) \cdot 10^{-6}$ (media di 10 determinazioni).

Nelle precedenti nostre misurazioni per un campione di bismuto della casa Suchardt di Goerlitz ci risultò: $K = -1,046 \cdot 10^{-6}$, ma dichiarammo allora che avevamo trovato lievi tracce di ferro nel bismuto fornitoci e che noi non ci eravamo proposti di dare un valore assoluto di quel coefficiente ¹⁸⁾.

Ora invece il risultato ottenuto su bismuto Kahlbaum (più puro) si accorda meglio tanto con le vecchie misure di von Ettingshausen quanto con quelle degli sperimentatori più recenti, come può vedersi esaminando la seguente tabella nella quale trovano posto i dati nostri e quelli, che sono a nostra conoscenza, degli altri sperimentatori, o dati direttamente nelle loro memorie, o calcolati prendendo la densità del bismuto a 15° eguale a 9,82.

Costanti magnetiche del bismuto solido.

AUTORE	K. 10 ⁶	k. 10 ⁶	OSSERVAZIONI
Weber W. ¹⁹⁾	— 1,67	— 16,4	misure relative al ferro
Christie ²⁰⁾	— 1,488	— 14,6	misure assolute
von Toepler ²¹⁾	— 1,54	— 15,1	misure relative al ferro
Becquerel H. ²²⁾	— 1,69	— 16,6	misure relative all'acqua
von Ettingshausen ²³⁾			misure assolute
I.° metodo	— 1,382	— 13,57	medie di 7 misure
II.° metodo	— 1,425	— 13,99	(1.° campione) media di 5 misure
	— 1,481	— 14,54	(2.° campione) media di 5 misure
	— 1,373	— 14,11	(3.° campione) media di 5 misure
	— 1,437	— 13,48	media di 2 misure
III.° metodo	— 1,56	— 15,3	
IV.° metodo	— 1,33	— 13,1	(1.° campione)
	— 1,39	— 13,6	(2.° campione)
Curie ²⁴⁾			misure assolute
	— 1,30	— 12,8	bismuto del commercio
	— 1,04	— 10,2	» »
	— 1,25	— 12,3	» »
	— 1,22	— 12,0	» »
	— 1,35	— 13,3	bismuto elettrolitico
Fleming e Dewar ²⁵⁾	— 1,425	— 14,0	misure assolute

Costanti magnetiche del bismuto solido.

AUTORE	K. 10 ⁶	k. 10 ⁶	OSSERVAZIONI
Lombardi ²⁶⁾	— 1,22	— 12,0	misure assolute
	— 1,35	— 13,3	bismuto del commercio
	— 1,44	— 14,1	» » »
			bismuto puro
Wills ²⁷⁾	— 1,26	— 12,41	misure assolute
Meslin ²⁸⁾	— 1,39	— 13,6	misure relative all'acqua
	— 1,42	— 13,9	bismuto cristallizzato
			bismuto dopo fusione
Honda ²⁹⁾	— 1,380	— 13,24	misure assolute
	— 1,458	— 14,32	bismuto in sbarre
			bismuto elettrolitico
Gnesotto e Binghamotto	— 1,475	— 14,48	misure relative al mercurio
	— 1,444	— 14,18	(1.° campione) bismuto in sbarre
			(2.° campione) » »

Le amalgame liquide furono preparate con ogni cura: Il primo amalgama al 0,5 % fu ottenuto a freddo, riducendo in polvere mediante raschiatura con vetro, il bismuto necessario; si ottenne $K = (-0,1895 \pm 0,0005) \cdot 10^{-6}$.

L'amalgama al 0,8 % fu preparato da un amalgama a più alta concentrazione, ottenuto a caldo in atmosfera d'idrogeno, facendolo poi filtrare attraverso pelle di camoscio, la quale, per lavaggio, era stata prima attraversata a lungo da mercurio purissimo. La concentrazione fu determinata coll'analisi chimica, facendo sublimare in atmosfera d'anidride carbonica il mercurio contenuto in 4 gr. circa di amalgama.

Si ottenne per il w relativo a questo amalgama $w = 26,71$. Calcolato il coefficiente di magnetizzazione si ebbe

$$K = (-0,183 \pm 0,0005) \cdot 10^{-6}.$$

Poichè il coefficiente di magnetizzazione riuscì assai inferiore a quello del mercurio, più di quanto era lecito aspettarsi, preparammo a freddo un secondo amalgama alla stessa concentrazione eseguendo la seguente esperienza: fu portato dapprima al magnetometro 1 cm.³ di mercurio puro e fu determinata la somma w che risultò eguale a 27,8 divisioni di scala, in accordo ai valori ottenuti precedentemente. Senza toccare la provetta, che rimase al magnetometro, aggiungemmo al mercurio in essa contenuto gr 0,1093 di bismuto in guisa che, quando questo fosse tutto sciolto, si ottenesse un amalgama al 0,8%. Gettato il bismuto sul mercurio lasciammo che lentamente si sciogliesse. Misurammo successivamente la somma delle deviazioni.

Dopo ore 16 era $w = 27,2$;	Dopo giorni 8 era $w = 26,6$
» » 20 » $w = 27,1$;	» » 12 » $w = 26,7$
» » 24 » $w = 27,0$;	» » 14 » $w = 26,6$
» » 62 » $w = 26,9$;	» » 16 » $w = 26,7$
» » 188 » $w = 26,6$.	» » 17 » $w = 26,7$
	» » 18 » $w = 26,7$
	» » 20 » $w = 26,7$

Quando si fecero le prime misure si vedeva ancora galleggiare alla superficie del mercurio parte del bismuto introdotto.

Il valore di w così ottenuto è in perfetto accordo con quello avuto nella precedente determinazione relativa all'amalgama al 0,8 % di cui sopra abbiamo parlato.

Fu poi introdotto senza toccare la provetta, il bismuto necessario per avere un amalgama al 1,2%; dopo 6 giorni si misurò w ad esso relativo e si ottenne $K = (-0,192 \pm 0,0005) \cdot 10^{-6}$.

Per studiare meglio l'andamento del fenomeno per amalgame di percentuale inferiore al 0,8 se ne preparò uno al 0,7 % e si ottenne per esso $K = (-0,185 \pm 0,0005) \cdot 10^{-6}$, valore che è in accordo con quello relativo alle due amalgame al 0,5 ed al 0,8 %.

È manifesto così che il bismuto allo stato di soluzione ha una costante di magnetizzazione assai prossima allo zero. È

ben noto che il bismuto nella fase liquida ha un coefficiente di magnetizzazione che è una frazione assai piccola di quello che ha allo stato solido. Curie ³⁰⁾ trovò a 273° K = - 0,04 . 10⁻⁶, Honda ³¹⁾ K = - 0,06 . 10⁻⁶ circa. Nelle tabelle: Landolt-Börnstein ³²⁾ sta scritto invece per il dato di Honda: K = - 0,01 . 10⁻⁶.

Su questa diminuzione del valore assoluto delle costanti magnetiche del bismuto allo stato di soluzione, si ritornerà dopo aver riferito sulle misure già da noi iniziate sui suoi sali.

Dell'amalgama all'1 % di bismuto furono preparati due campioni, uno ottenuto a caldo in atmosfera d'idrogeno, l'altro a freddo; per il primo si ebbe $w = 57,5$ div. di scala per il secondo $w = 27,45$ div. di scala; il coefficiente così ottenuto è:

$$K = (- 0,189 \pm 0,0005) \cdot 10^{-6}.$$

È chiaro che quest'amalgama non è più saturo, parte del bismuto è in sospensione, di qua l'aumento di K rispetto a quello del precedente.

Le rimanenti amalgame dall'1,5 % all'80 % di bismuto furono preparate a caldo in atmosfera di idrogeno; a temperatura ambiente esse sono miscugli di masse in fase diversa; i risultati rivelano il progrediente contributo del diamagnetismo del bismuto solido che va predominando al crescere della concentrazione.

Nella tabella seguente diamo il riassunto dei dati ottenuti.

*Tabella dei coefficienti di magnetizzazione
delle amalgame di bismuto.*

(La temperatura media a cui furono fatte le misure è di 15°).

Numero d'ordine	Percentuale di bismuto	K . 10 ⁶
1	0	— 0,191
2	0,5	— 0,1895
3	0,7	— 0,185
4	0,8	— 0,183
5	1,0	— 0,189
6	1,2	— 0,192
7	1,5	— 0,197
8	10,0	— 0,312
9	30,0	— 0,624
10	50,0	— 0,933
11	80,0	— 1,240
12	100,0	— 1,460

La fig. 1 mostra come variano in funzione della percentuale di bismuto i coefficienti di magnetizzazione delle amalgame a bassa concentrazione, nell'intorno dell'amalgama saturo a temperatura ambiente.

Fig. 1.

Nella fig. 2 sono riportati invece i dati relativi alle amalgame a concentrazioni maggiori.

Fig. 2.

Istituto di Fisica Sperimentale
della R. Università di Padova.

CITAZIONI.

¹⁾ *Atti del Reale Istituto Veneto di scienze, lettere ed arti*, Anno accademico 1912-913, Tomo LXXII, Parte seconda, pag 1515.

²⁾ Gnesotto e Binghinotto: « Costanti magnetiche di leghe debolmente magnetiche, *Nuovo Cimento*, Ser. V., T. 20 (1910), pag. 384-441.

³⁾ Quincke: « *Electrische Untersuchungen* », *Wied. Ann.*, Vol. 24 (1885), pag. 347.

⁴⁾ Honda: « *Die thermomagnetischen Eigenschaften der Elemente* », *Ann. de Phys.* Vol. 32 (1910), pag. 1047.

⁵⁾ St. Meyer: « *Ueber die magnetischen Eigenschaften der Elemente* », *Wied. Ann.* Vol. 68 (1899), pag. 327.

⁶⁾ Vedi ¹⁾ pag. 423.

⁷⁾ Vedi ⁴⁾ pag. 1046.

⁸⁾ Vedi ³⁾ pag. 387.

⁹⁾ Vedi ⁵⁾ pag. 327.

¹⁰⁾ Meslin: « *Sur le coefficient du bismuth et sur quelques points de repère dans l'échelle diamagnétique* », *Com. Ren.* T. 140 (1905) pag. 499-502, *Journ. de Phys.* T. IV (1905), pag. 587.

¹¹⁾ Vedi ⁴⁾ pag. 1046.

¹²⁾ Vedi ¹⁾ pag. 422.

¹³⁾ Vedi ²⁾ da pag. 385 a 422.

¹⁴⁾ Vedi ²⁾ da pag. 400 a 404.

- ¹⁸⁾ Vedi ¹⁾ pag. 418.
¹⁹⁾ Vedi ²⁾ pag. 411.
¹⁷⁾ Vedi ⁴⁾ pag. 1042 e Du Bois: « Propriétés magnétiques de la matière pondérable », *Rapp. Congrès de Phys.* Paris 1900. Vol. 2 pag. 460-508.
¹⁸⁾ Vedi ²⁾ pag. 423.
¹⁹⁾ Weber W.: « Ueber den Zusammenhang der Lehre vom Diamagnetismus mit der Lehre von dem Magnetismus und der Elektrizität ». W. Weber's Werke [Berlin 1893]. Vol. III.^o Parte I.^a pag. 577-578. Vedi anche: *Pogg. Ann.* Vol. 87 (1852) pag. 145.
²⁰⁾ Christie: « Einige diamagnetische Versuche ». *Pogg. Ann.* Vol. 103 (1858) pag. 609. Vedi anche: *Fort. der Phys.* (1858) pag. 506.
²¹⁾ von Toepler: « Messungen über diamagnetelektrische Inductionsströme. » *Pogg. Ann.* Vol. 160. (1877) pag. 25.
²²⁾ Becquerel H.: « Recherches experimentales sur la polarisation rotatoire magnétique ». *Ann. de chimie et phys.* Serie 5, 12, (1877) pag. 42.
²³⁾ von Ettingshausen: « Bestimmungen der diamagnetisirungszahl des metallischen Wismuths in absoluten Maasse ». *Wied. Ann.* Vol. 17 (1882) pag. 272-305. (Vedi anche tabella del Wills ²⁷⁾ pag. 433).
²⁴⁾ Curie: « Propriétés magnétiques des corps. *Ann. de chimie et phys.* Serie 7. Vol. 5 (1895) pag. 330.
²⁵⁾ Fleming e Dewar: « On the magnetic permeability of liquid oxygen and liquid air ». *Proc. Roy. Soc.* 60. (1896) pag. 283. « On the magnetic susceptibility of liquid oxygen ». *Proc. Roy. Soc.* 63, (1898) pag. 311.
²⁶⁾ Lombardi: « Ricerche sopra sostanze diamagnetiche e debolmente magnetiche ». *Memorie Acc. Torino*, T. 47 (1897) pag. 18.
²⁷⁾ Wills: « On the Susceptibility of Diamagnetic and Weakly Magnetic Substance ». *Phil. Mag.* Ser. 5 Vol. 45. (1898) pag. 432-447.
²⁸⁾ Vedi ¹⁰⁾ pag. 500.
²⁹⁾ Vedi ⁴⁾ pag. 1047,
³⁰⁾ Vedi ⁴⁾ pag. 331.
³¹⁾ Vedi ⁴⁾ diagramma di pag. 1056.
³²⁾ Tabelle Landolt-Börnstein. Berlino (1912) pag. 1245.
-