

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

RENDICONTI

DELLE SEDUTE

DELLA REALE ACCADEMIA DEI LINCEI

Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali.

MEMORIE E NOTE

DI SOCI O PRESENTATE DA SOCI

Comunicazioni pervenute all'Accademia sino al 21 ottobre 1906.

Fisica. — *L'isteresi magnetica del ferro per correnti di alta frequenza.* Nota preventiva del Corrispondente A. BATTELLI e di L. MAGRI.

1. Il metodo che più di ogni altro si presta per descrivere con sufficiente esattezza i cicli di magnetizzazione del ferro in campi molto rapidamente variabili, è certamente quello del tubo di Braun.

Già nella seduta della Società Italiana di Fisica tenuta il 7 settembre 1902, riferimmo ⁽¹⁾ i risultati di alcune esperienze tentate da noi in questo modo per il tracciamento delle curve di magnetizzazione del ferro sottoposto al campo di scariche oscillatorie.

Nel frattempo anche altri fisici si sono occupati dell'argomento che si presenta del più alto interesse.

Così il Varley ⁽²⁾, senza descrivere tutto il ciclo, eseguì alcune misure sulla magnetizzazione massima subita da fasci di fili di ferro posti in solenoidi attraversati da scariche elettriche. La disposizione da lui usata era la seguente.

Il circuito di scarica del condensatore era formato da tre rocchetti posti in serie. Due di questi rocchetti erano a lato di un tubo di Braun disposti in modo che, a seconda di come venivano stabilite le comunicazioni, la loro

⁽¹⁾ N. C. Verbali della Società Italiana di Fisica, pag. CLXXVII, serie V, vol. II, 1902.

⁽²⁾ Ph. Mg. (6), v. 3, pag. 500, 1902.

azione sopra il fascio catodico potesse essere o nulla, o la somma delle azioni di ambedue. In questo ultimo caso la deviazione subita dal fascio catodico dava la misura della intensità massima del campo; collegando invece i due rocchetti in modo che la loro azione nel fascio catodico fosse nulla e introducendo in uno di essi il nucleo di fili di ferro, la deviazione della macchia fosforescente dava la misura del massimo momento magnetico acquistato dal ferro. Quando il nucleo non era introdotto in nessuno di questi due rocchetti, veniva posto nel terzo, e così la scarica del condensatore avveniva sempre nelle medesime condizioni,

Il Varley eseguì numerose esperienze, facendo variare la capacità del condensatore e l'autoinduzione del circuito mediante l'aggiunta di rocchetti sussidiari, in modo da ottenere variazioni del periodo di oscillazione del campo o della sua intensità, e trovò che la magnetizzazione nel ferro è tanto maggiore quanto più piccolo è il diametro del filo e quanto più piccola è la frequenza.

Il Corbino ⁽¹⁾ giovandosi delle correnti rapidamente oscillanti del Duddell, rese sinusoidali nel modo da lui indicato, fece descrivere al fascio catodico di un tubo di Braun le curve d'isteresi presentate dal ferro. Egli dispose due corti rocchettini (uno con molte spire, l'altro con poche spire) a lato del tubo di Braun e ad angolo retto tra di loro; quando questi rocchetti venivano attraversati dalla corrente alternata, i loro campi si componevano in modo da dar luogo ad uno spostamento rettilineo della macchia fosforescente; se nel rocchetto a poche spire veniva introdotto il ferro (in fili di 0.25 mm. di diametro), il fascio catodico descriveva il ciclo che poteva venire fotografato.

Dal confronto fra i cicli ottenuti a bassissima frequenza (4 alternanze per secondo), con quelli ottenuti con frequenze crescenti fino a 20000 alternanze per secondo, apparisce come l'area di isteresi aumenti col crescere della frequenza, per quanto da una certa frequenza in là, l'aumento progredisca meno rapidamente; mentre la permeabilità magnetica risente poco l'azione della frequenza. Il Corbino ritiene che le correnti di Foucault non abbiano nel suo caso una grande importanza.

In questi ultimi tempi il Madelung ⁽²⁾, in un suo studio sulla magnetizzazione con correnti rapidamente alternate e sul detector Marconi, ha osservato, giovandosi egli pure del tubo di Braun, diversi cicli di magnetizzazione con campi ottenuti da scariche talora oscillatorie e talora aperiodiche. Disgraziatamente, in seguito a ragionamenti in cui non lo possiamo seguire, non ha voluto mettere in conto o cercare di eliminare l'azione delle correnti di Foucault, nemmeno in via approssimata, così che non è possibile

⁽¹⁾ Atti della Ass. El. It. vol. 7, pag. 606, 1903.

⁽²⁾ Ann. d. Phys. (5) vol. 17, pag. 861, 1905.

giovarci per il caso nostro del materiale sperimentale da lui raccolto. L'unica cosa che si vede chiaramente dalle curve da lui disegnate, è che la magnetizzazione non è in fase con l'induzione, ma non si vede nulla riguardo alla permeabilità magnetica e all'isteresi del ferro.

Concludendo, dalle ricerche eseguite finora sulla magnetizzazione del ferro in campi così rapidamente variabili risulterebbe, secondo il Varley, un valore di μ molto minore che a bassa frequenza; secondo il Corbino invece un valore poco minore di quello che si ha con campi lentamente variabili. Dalle nostre misure del periodo di scarica ⁽¹⁾ peraltro apparirebbe come μ sia in maniera essenziale dipendente dalla intensità del campo più che dalla rapidità con cui questo varia, e come i valori che esso può raggiungere siano piuttosto quelli indicati dal Corbino che quelli indicati dal Varley.

2. Le esperienze che noi abbiamo da molto tempo istituito e grandemente variate, ci hanno condotto a risultati più sicuri e importanti. Li riferiamo qui brevemente.

Per il tracciamento delle curve di isteresi del ferro, abbiamo disposto:

- 1) Di un tubo di Braun.
- 2) Di una potente macchina elettrostatica per mettere in azione il tubo di Braun.
- 3) Di un alternatore capace di dare correnti di alta frequenza (10.000 alternanze per secondo) con una intensità ragguardevole.
- 4) Di un'ottima macchina fotografica per fissare stabilmente la immagine delle curve.

La macchina elettrostatica destinata ad alimentare il tubo di Braun fu costruita nel nostro laboratorio, ed è una grande macchina di Toepler a 52 dischi girevoli, del diametro ciascuno di 40 cm. La macchina può essere mossa con una velocità di quasi 20 giri al secondo ed è suscettibile di dare correnti costanti di qualche milliampère.

L'alternatore, del modello ideato dal Lamme ⁽²⁾, fu costruito dall'ing. Giorgio Santarelli di Firenze. È un ottimo apparecchio e può dare correnti a 110 volta, 8 e 10 ampère e 10000 alternanze per secondo.

Ecco come abbiamo disposte le cose per il tracciamento dei cicli di isteresi.

Il polo negativo della macchina a 52 dischi è unito al catodo del tubo di Braun, il positivo all'anodo e a terra. Perpendicolarmente all'asse del tubo di Braun abbiamo disposto quattro rocchetti R' R'' R''' R^{IV} collegati in serie tra loro; R' ed R''' sono disposti in modo che la loro azione deviatrice sul fascio catodico sia nulla, R^{IV} ed R'' sono invece collegati in ma-

⁽¹⁾ Rend. R. Acc. dei Lincei, vol. XV, 2° sem. 1906, pag. 397.

⁽²⁾ Trans. of Ann. Inst. of Elec. Eng. 21, pag. 405 (1904).

niera che la loro azione si sommi e la macchia catodica per una corrente alternata descriva un segmento rettilineo orizzontale. Facendo passare la corrente in tutti e quattro i rocchetti così collegati avremo dunque l'azione di R'' e di R^{iv} , ma se in R' metteremo il fascio di fili di ferro, noteremo subito il ciclo di magnetizzazione. Nelle fotografie che noi abbiamo ottenuto di questi cicli e che qui riportiamo, sulle ascisse abbiamo dunque l'induzione e sulle ordinate la magnetizzazione.

Per poter tracciare su di ogni fotografia gli assi coordinati abbiamo stabilito le comunicazioni, giovandoci di un commutatore a 6 bicchierini di mercurio, in modo da poter far passare la corrente solo in R' ed R'' oppure in tutti e quattro i rocchetti in serie.

Lasciando il ferro e facendo passare la corrente in tutti e quattro i rocchetti si aveva dunque il ciclo; escludendo i rocchetti R'' ed R^{iv} si aveva l'asse delle ordinate, togliendo il ferro e facendo passare la corrente in tutti e quattro i rocchetti, la macchia disegnava l'asse delle ascisse.

Infine di contro allo schermo fosforescente millimetrato del tubo ponemmo un'ottima macchina fotografica.

Il nostro scopo era quello di avere un confronto fra i cicli di isteresi ottenuti in questa maniera a bassa frequenza e i cicli ottenuti invece ad alta frequenza. Per ciò, oltre all'alternatore a cui abbiamo accennato, disponemmo anche di un alternatore ordinario a bassa frequenza capace di dare una corrente di una diecina di ampères efficaci con una differenza di potenziale di circa 40 volta.

Con lo stesso nucleo e nelle identiche condizioni di circuito, si fotografavano successivamente due cicli, uno ottenuto con correnti alternate di 10000 alternanze per secondo, l'altro con correnti alternate di 50 alternanze per secondo; un amperometro a filo caldo da noi appositamente costruito, ci misurava la intensità efficace, che noi mantenevamo la stessa in tutti e due i cicli tra i quali si voleva eseguire il confronto.

Un segnale elettrico comandato dall'alternatore a bassa frequenza, un altro segnale collegato con l'alternatore ad alta frequenza in modo che facesse un segno ad ogni giro di questo, ed infine un terzo segnale comandato da un pendolo che batteva il secondo, scrivevano sopra un rullo girante; in modo che potevamo avere una misura esatta del numero di alternanze delle correnti che ci servivano per la magnetizzazione dei fasci di fili di ferro.

Con la frequenza di 10000 alternanze per secondo, l'aumento di autoinduzione del circuito apportato dal ferro, e sopra tutto l'aumento di resistenza, acquistavano una grandissima importanza, e nei rocchetti non si potevano ottenere che correnti di piccolissima intensità.

Per compensare l'effetto dell'autoinduzione costruimmo un grande condensatore a carta paraffinata e a capacità variabile, e chiudemmo il circuito

su questo condensatore variandone la capacità fino ad avere il massimo possibile di intensità della corrente.

Provammo dapprima ad introdurre nei rocchetti quegli stessi fasci di filo di ferro immersi nella paraffina che ci avevano servito nel precedente lavoro ⁽¹⁾; ma quasi sempre, con la frequenza di 10000 alternanze e con l'intensità del campo che si poteva raggiungere nei rocchetti, l'energia calorifica sviluppata per l'isteresi e per le correnti di Foucault era tale che in pochi secondi fondeva e bolliva la paraffina.

Per questo abbiamo poi abbandonato i nuclei contenenti molto filo di ferro, e abbiamo piuttosto preferito usare dei nuclei in cui si trovassero pochi

N. 1.

50 alternanze per secondo

N. 2.

10.000 alternanze per secondo

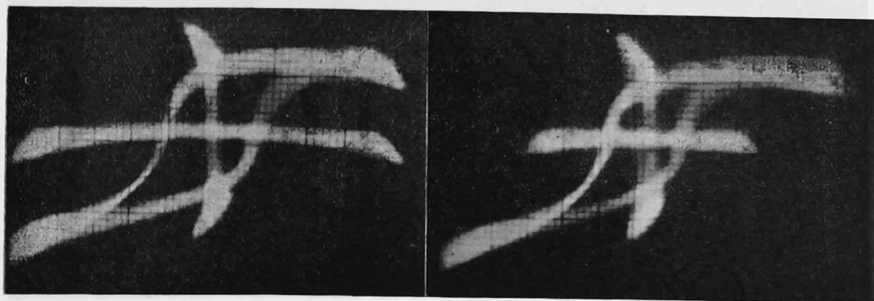


FIG. 1. — Fili di acciaio del diametro di cm. 0,005.

fili lontani fra loro, in modo da essere sicuri che non si potessero stabilire correnti parassite fra filo e filo.

3. Tra le molte esperienze che abbiamo eseguito riportiamo qui i risultati ottenuti con i tre nuclei seguenti:

Fascio A. — Fili di acciaio, diametro cm. 0,005, lunghezza del fascio cm. 50, peso complessivo del filo di acciaio gr. 6,8.

Fascio B. — Fili di ferro, diametro cm. 0,01, lunghezza del fascio cm. 50, peso complessivo gr. 6,8.

Fascio C. — Fili di ferro, diametro cm. 0,03, lunghezza del fascio cm. 50, peso complessivo gr. 6,8.

Nelle figure qui annesse sono riprodotti i cicli.

I cicli 1, 2 (fig. 1) sono stati ottenuti col fascio A, il ciclo 1 con una corrente alternata di 50 periodi per secondo, il ciclo 2 con una corrente alternata di 10000 alternanze per secondo.

⁽¹⁾ Rend. R. Accad. dei Lincei, vol. XV, 2° sem. 1906, pag. 397.

Come si vede chiaramente, con un fascio di fili così sottili (diametro cm. 0,005) e bene isolati l'uno dall'altro, l'aspetto delle curve di magnetizzazione è lo stesso sia per correnti di bassa frequenza che per quelle di alta frequenza; in tutti e due i casi si raggiunge la saturazione magnetica. Inoltre sappiamo già che le correnti di Foucault — quando esistono — tendono a fare assumere alle curve la forma ellittica. Questa tendenza qui non si riscontra affatto, perchè invece le due curve presentano alle estremità due becchi ad angolo molto acuto, caratteristici dei cicli di isteresi; qui dunque le correnti di Foucault non presentano alcuna importanza.

N. 3.
50 alternanze per secondo

N. 4.
10.000 alternanze per secondo

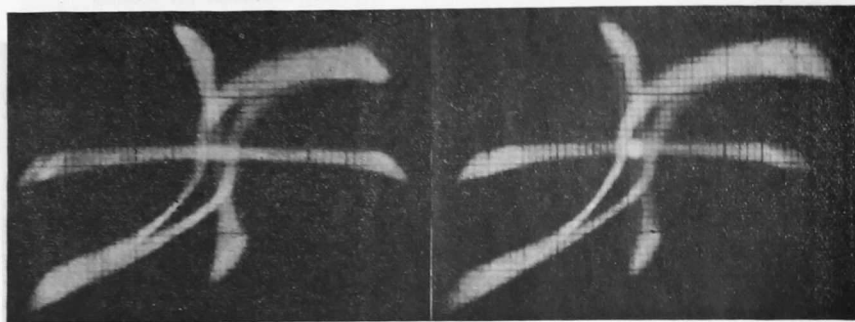


FIG. — 2. Fili di ferro del diametro di cm. 0,01.

La permeabilità magnetica allora non dà nessun accenno di diminuzione e l'area di isteresi è leggermente minore con la frequenza elevata che con la bassa frequenza.

Confermano pienamente questo fatto i due cicli n. 3 e n. 4 (fig. 2) che sono stati ottenuti col fascio B; il n. 3 a bassa frequenza, il n. 4 ad alta frequenza. Come si vede, il ferro di cui è costituito questo fascio è assai meno duro magneticamente del filo sottilissimo di acciaio che costituisce il fascio A; l'area di isteresi è in questo caso assai minore. Con la frequenza di 10000 alternanze per secondo le correnti di Foucault sono ancora trascurabili, tanto che non abbiamo affatto diminuzione apparente di permeabilità magnetica col crescere della frequenza, nè aumento dell'area.

Questo risultato relativo all'area è in disaccordo con quanto aveva trovato il Corbino.

La causa di questa discordanza deve essere ricercata appunto nelle correnti di Foucault che in fili di 0,25 mm. di diametro, come quelli che usava il Corbino, hanno con frequenza elevata un'azione sensibile.

Col fascio C (fig. 3 nn. 5 e 6), che è costituito di fili di ferro dolce dello spessore di cm. 0,03, a bassa frequenza abbiamo un'area di isteresi minima, perchè il materiale è molto dolce, a ad alta frequenza abbiamo un aumento notevole dell'area di isteresi, dovuto dunque esclusivamente alle

N. 5.
50 alternanze per secondo

N. 6.
10.000 alternanze per secondo

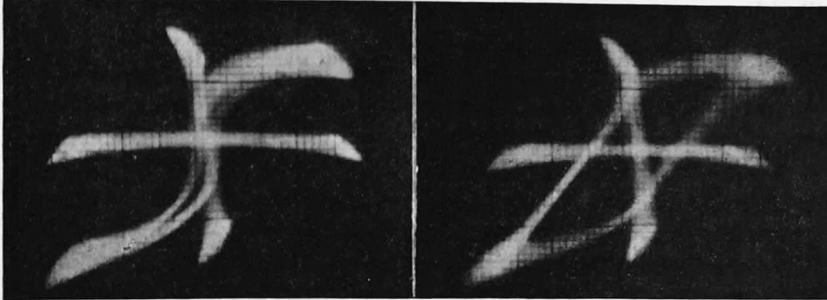


FIG. 3. — Fili di ferro del diametro di cm. 0,03.

correnti di Foucault, quantunque esse non siano però ancora tanto rilevanti da far apparire una minore permeabilità magnetica nel ferro e da cambiare

N. 7.
50 alternanze per secondo

N. 8.
10.000 alternanze per secondo

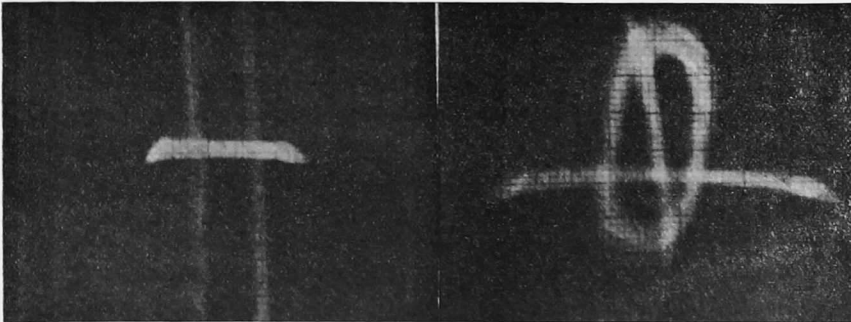


FIG. 4. — Nucleo massiccio di acciaio.

la forma a becco acuto degli estremi del ciclo, ma soltanto ad aprirne maggiormente l'angolo.

I cicli nn. 7 e 8 (fig. 4) ottenuti con un nucleo massiccio di acciaio, ci mostrano molto evidentemente l'effetto di queste correnti di Foucault.

La curva di isteresi ad alta frequenza è precisamente quella che il breve calcolo teorico da noi precedentemente esposto dimostra dover avvenire in questi casi, e cioè un'ellisse; del ciclo a bassa frequenza vediamo solo una parte, perchè il momento magnetico del nucleo in queste condizioni è così grande che il fascio catodico esce dallo schermo.

Osservando il ciclo n. 8 si vede anche come la magnetizzazione permanente, che aveva il cilindro di acciaio, sia rimasta inalterata per tutto il ciclo.

I fili adoperati in queste esperienze furono scelti sottili e molto lunghi, (50 cm.) per essere in ottime condizioni per lo studio dell'isteresi; e la intensità massima del campo a cui è stato sottoposto il ferro è stata di 65 unità c. g. s.

Abbiamo sempre avuto cura che i cicli di confronto fossero eseguiti con la medesima intensità del campo.

Inoltre, come si è detto, abbiamo tracciato anche l'asse delle ascisse e delle ordinate, ma dalla lunghezza di questi non si può dedurre l'intensità della magnetizzazione massima o della grandezza massima dell'induzione; poichè l'aggiungere o togliere il ferro, o i rocchetti R' e R''' dal circuito, cambiava notevolmente, e in special modo per l'alta frequenza, le condizioni del circuito stesso.

4. Le nostre esperienze ci portano a concludere:

1° Che se si elimina assolutamente l'azione delle correnti di Foucault, la permeabilità del ferro è (almeno fino a 10000 alternanze per secondo) indipendente dalla frequenza.

2° Che in queste condizioni l'area di isteresi accenna se mai a diminuire leggermente col crescere della frequenza, ma in nessun caso ad aumentare.

3° Che gli aumenti e le modificazioni dei cicli trovati da altri sperimentatori, sono effetto delle correnti di Foucault.

Chimica. — *Sul potere rotatorio del quarzo alla temperatura dell'aria liquida.* — *A proposito di una recente Memoria del dott. Ugo Panichi.* Nota di M. G. LEVI, presentata dal Socio R. NASINI.

In un esteso ed interessante lavoro pubblicato recentemente nelle Memorie dell'Accademia dei Lincei⁽¹⁾, il dott. Ugo Panichi si è occupato del problema generale della variazione delle proprietà ottiche dei cristalli col

(¹) Memorie della R. Acc. dei Lincei, ser. 5^a, vol. VI, 1906.