آزمایش فرومغناطیس در یک مدل آهنربایی

آزمایش شماره شش (بخش دوم) – آزمایشگاه فیزیک حالت جامد

گروه ۲: پارسا رنگریز – عرفان ریاضی – ابراهیم خالقیان

۷ اردیبهشت ۱۴۰۱

چکیده

در این آزمایش جهت‌گیری سوزن‌های مغناطیسی که متناظر با رشد حوزه‌های مغناطیس شونده خودبخودی است، مورد بررسی قرار می‌گیرد و نیز ایجاد منحنی پسماند مغناطیسی با استفاده از چاپگر.

مقدمه

فرومغناطیس‌ها رده‌ای مواد مغناطیسی هستند که وجه مشخصه چنین موادی این است که می‌توانند مغناطش دائم داشته باشند و عموما حضورشان تاثیر زیادی در میدان مغناطیسی دارد. پاسخ این مواد طبق رابطه زیر به میدان‌های مغناطیسی غیرخطی است، یعنی μ وابسته به H است.

$$B = K_m \mu_0 H$$

در این آزمایش از شبکه‌ای از سوزن‌های مغناطیسی کوچک بعنوان مدل فرومغناطیسی استفاده می‌شود. اندرکنش مغناطیسی سبب می‌گردد که سوزن‌های موازی، نواحی وسیعی را پوشانده و شکلی همانند حوزه‌های مغناطیسی اتفاقی پدید آید. در این آزمایش میدان مغناطیسی همگن H با استفاده از یک جفت سیم‌پیچ هلمهولتز و جریانی از نوع دلتا با فرکانس بسیار کم $f = 0.02\ Hz$ بوجود می‌آید. به عبارت دیگر پلاریته میدان هر ۲۵ ثانیه تغییر می‌کند. مدل آهنربایی در بین دو سیم‌پیچ قرار می‌گیرد تا شار مغناطیسی ϕ طبق رابطه زیر اندازه‌گیری شود:

$$\phi = B.A$$

که A سطح مقطع هسته سیم‌پیچ است. هنگامی که پلاریته مغناطیسی معکوس گردد، ولتاژهای القایی U در سیم‌پیچ‌ها بر اساس رابطه زیر ایجاد می‌گردد:

$$U = -\frac{d\phi}{dt} = -A\frac{dB}{dt}$$

ولتاژ القایی شامل دو مولفه است: یک مولفه U_H که توسط میدان H القا می‌گردد.

$$U_H = \mu_0 A \frac{dH}{dt}$$

و یک مولفه U که به علت برگشت مغناطیسی سوزن‌ها ایجاد می‌شود

$$U = U_H + U_M$$

از آن‌جا که تنها اندازه‌گیری مولفه U_M برای رسم منحنی پس‌ماند لازم است، مولفه U_H را با سری کردن سیم‌پیچ دیگری با سیم‌پیچ‌های تخت با سطح مقطع یکسان خنثی می‌کنیم. این سیم‌پیچ متعادل‌کننده، سیم پیچی ۵۰۰ دوری است که ولتاژ القا شده در آن برابر $-U_H$

است. از آن‌جا که ولتآژ القایی U_M متناسب با تغییر شار مغناطیسی است؛ لذا اگر از U_M انتگرال بگیریم، ولتاژی متناسب با تغییرات $B(t)$ بدست می‌آید:

$$B(t) - B(t_0) = \int_{t_0}^{t} U_M dt$$

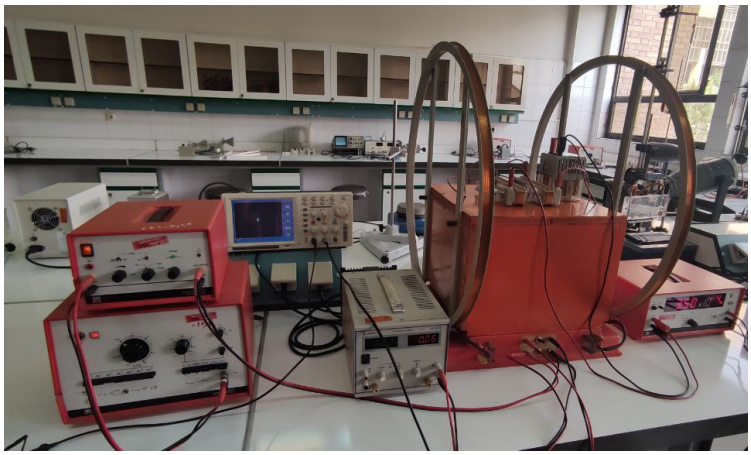
میکروولت‌متر وظیفه تقویت اولیه و انتگرال‌گیری ولتاژ القایی را برعهده دارد و می‌توان از خروجی آنالوگ آن ولتاژی متناسب با B را بدست آورد.

وسایل آزمایش

چاپگر، مولد تابع D، تقویت‌کننده $۳۰W-AC/DC$، زوج سیم پیچ حلقوی بزرگ، مدل آهنربایی، میکروولت‌متر، جفت سیم‌پیچ سطح، سیم‌پیچ ۵۰۰ دور، سوزن آهنربایی، سیم رابط، منبع تغذیه با ولتاژ تنظیم شده صفر تا ۱۵ ولت

روش آزمایش

شکل ۲ دستگاه‌های آزمایش را نشان می‌دهد. دستگاه آزمایش را مطابق شکل سوار کنید. مولد تابع را به تقویت‌کننده AC/DC وصل نموده و خروجی تقویت‌کننده را به سیم‌پیچ‌های هلمهولتز متصل نمایید (از اتصال H سیم‌پیچ استفاده کنید). منبع تغذیه تنظیم شده را به سیم‌پیچ‌های هلمهولتز وصل کنید و از اتصال E سیم‌پیچ استفاده شود.



شکل ۲: دستگاه آزمایش مدل پسماند فرومغناطیسی

دو عدد سیم‌پیچ تخت را در صفحه تصویر قرار داده و به بوبین ۵۰۰ دور وصل نمایید، ولی مدل فرومغناطیس را در بین سیم‌پیچ‌ها قرار ندهید.

خنثی نمودن مولفه افقی میدان مغناطیس زمین

در حالتی‌که مولد و تقویت‌کننده آن خاموش‌اند، سوئیچ H_E را روشن کرده و ولتاژ منبع تغذیه (جریان I) را زیاد کنید تا قطب‌نما که در مرکز مدل قرار داده‌ایم در هر وضعیتی، ساکن بماند و به طرف وضع و جهت خاصی متمایل نشود.

خنثی کردن U_H

مولد تابع را در وضعیت موج مثلثی (دلتا) روی فرکانس $f = 0.5\ Hz$ قرار دهید. تقویت کننده AC/DC را روی وضعیت DC و ضریب تقویت $x10$ را انتخاب کنید. دامنه AC را روی ماکزیمم مقدارش قرار دهید. کلید تضعیف‌کننده را تا هنگامی که دیود قرمز بالای سوکت‌های خروجی روشن نشود، زیاد کنید. (در این مرحله چراغ دیود سبز در حالت فلش زدن قرار می‌گیرد.)

تنظیم انحراف میکروولت‌متر

میکروولت‌متر را در حالت ریست قرار دهید و میدان مغناطیسی H را قطع کنید، سپس میکروولت‌متر را روی VS قرار دهید. اگر مداد بر روی چاپگر در راستای y حرکتی داشت، می‌توان با صفر کردن میکرو ولت‌متر توسط دکمه‌های آفست آن را از حرکت باز داشت.

خنثی کردن خاصیت مغناطیسی مدل

بدون تغییر وضعیت بوبین‌های تخت (فاصله ۴/۵ سانتی‌متر) و یا سیم‌پیچ متعادل‌کننده (۵۰۰ دوری) مدل آهن‌ربایی را از پهلو در داخل بوبین‌های تخت جا دهید. مولد تابع را در حالت سینوسی قرار داده و با استفاده از کلید H میدان آهن‌ربایی را برقرار کنید.
فرکنس خروجی مولد تابع را به تدریج تا ده هرتز افزایش دهید تا سوزن‌های مغناطیسی شروع به چرخش نمایند. در این هنگام، میدان مغناطیسی را به وسیله کلید قطع نمایید. بدین ترتیب نظم سوزن‌های مغناطیسی بهم خورده و حوزه‌های مغناطیسی شکل می‌گیرد که جهت‌گیری مغناطیسی آن‌ها به صورت آماری خواهد بود و خاصیت مدل آهن‌ربایی از بین می‌رود.

ثبت منحنی پسماند مغناطیسی شامل مغناطیس شوندگی اولیه

مطابق شکل (۲) خروجی میکروولت‌متر را به سر y چاپگر و خروجی سیم‌پیچ مدل را به سر x چاپگر وصل نمایید. میکروولت‌متر را در حالت VS قرار داده و در حالی که مولد تابع در وضعیت موج دلتا است، منحنی پسماند در فرکانس‌های مختلف را مشاهده نمایید. به مقیاس‌های صفحه چاپگر توجه و تخمینی از مساحت پشماند بدست آورید. وقتی تصویر چاپگر به حالت اشباع درآمد با بردن کلید VS به سمت ریست میکروولت و بازگردان آن تصویر مجددا ظاهر می‌شود.

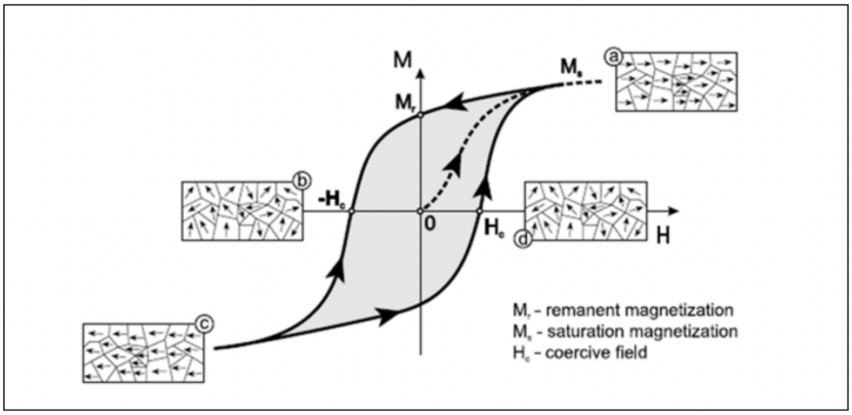
نتیجه‌گیری

شکل ۳: تصویری از نمودار پسماند بر روی نمایشگر

۱) با توجه به نموداری که در شکل ۳ قابل مشاهده است، یک منحنی پسماند قابل مشاهده است. این منحنی خاصیت مغناطیسی دستگاه را نشان می‌دهد و بر پایه مغناطشی است که با میدان مغناطیسی رابطه خطی دارد و به شکل پایین است:

$$H = \frac{B}{\mu_0} - M$$

در این شرایط اگر شکلی شماتیک از منحنی پسماند را به طور دقیق بررسی کنیم، همانند شکل ۴ خواهیم داشت



شکل ۴: شماتیکی از نمودار پسماند

نقاط مهم این نمودار سه قسم است: مغناطش پسماند که با M_r نمایش داده‌ایم، مغناطش اشباع که با M_S مشخص شده است و همچنین میدان پسماند که با H_S اندازه‌گیری می‌شود که این موارد در گزارش آزمایش بخش ۳: پسماند هسته آهنی، توضیح داده شده است.

۲) نقص موجود در شبکه می‌تواند به تغییرات مغناطیسی و نیز خواص حوزه‌های مغناطیسی اثرگذار باشد؛ بدین صورت که در جهت‌گیری حوزه‌ها سختی ایجاد کند و در این صورت مغناطش کاهش یابد.

۳) با توجه به اینکه در یکی از بخش‌های بالا میدان مغناطیسی زمین را خنثی کردیم و به حالت معلق رسیدن قطب‌نما رسیدیم، بنابراین می‌توان میدان مغناطیسی زمین را ارزیابی کرد.

۴) از خطاهای آزمایش می‌توان به تماما خنثی نکردن میدان مغناطیسی زمین در بین حلقه‌ها اشاره کرد. همچنین به دلیل موازی نبودن دقیق و همینطور ساختار بزرگ‌مقیاس ممکن است خطاهایی رخ دهد که رفع آن سخت باشد. دستگاه نمایشگر منحنی پسماند ممکن است خطایی بر سیستم ایجاد کند و بدین صورت بهتر است که سیم‌ها به طرز مناسبی در اتصالات قرار گیرند.