

آزمایش شماره ۱۲

نیروی مغناطیسی و اثر مغناطیسی جریان



هدف آزمایش

- (۱) مشاهده خطوط میدان مغناطیسی آهن ربا
- (۲) مشاهده خطوط میدان مغناطیسی رسانای حامل جریان
- (۳) تحقیق قانون دست راست
- (۴) مشاهده نیروی وارد بر سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی
- (۵) مشاهده نیروی بین دو رسانای موازی
- (۶) مشاهده نیروی بین دو سیملوله

وسایل مورد نیاز

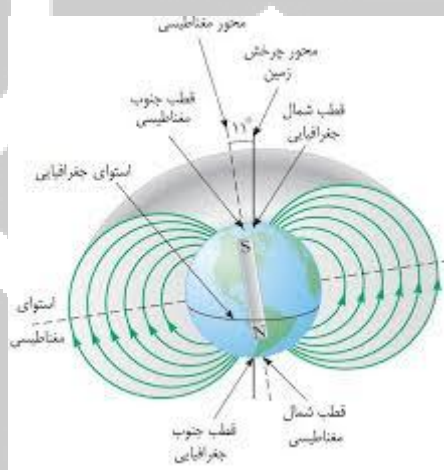
آهنربای تیغه‌ای، آهنربای نعلی‌شکل، براده آهن، صفحات غیرآهنی، سیم‌پیچ‌های مختلف، گالوانومتر، سیم مستقیم، هسته آهنی، کلید، عقربه مغناطیسی، باتری، سیم‌های رابط

تئوری آزمایش

(۱) میدان مغناطیسی ناشی از جریان الکتریکی

علم مغناطیس هنگامی بوجود آمد که فیلسوفان یونانی مشاهده کردند بعضی سنگ‌های موجود در طبیعت می‌توانند تکه‌های آهن را به خود جذب کنند و آنها را مگنتیت یا آهن ربا نام نهادند. هر آهن ربا در اطراف خود

یک میدان مغناطیسی تولید می‌کند و دارای دو قطب شمال N و جنوب S است. دو قطب مخالف یکدیگر را جذب و دو قطب مشابه یکدیگر را دفع می‌کنند. عقربه قطب نما به این دلیل رو به شمال می‌ایستد که زمین شبیه یک آهن ربا رفتار می‌کند به طوری که قطب شمال جغرافیایی زمین به قطب جنوب مغناطیسی آن بسیار نزدیک است. به شکل (۱) مراجعه کنید. محور مغناطیسی زمین کاملاً موازی محور جغرافیایی زمین (محور چرخش)



آن نیست. لذا عقربه قطب نما از امتداد شمال - جنوب جغرافیایی انحرافی دارد که از نقطه‌ای به نقطه دیگر تغییر می‌کند و زاویه انحراف مغناطیسی نامیده می‌شود.

علوم الکتریسیته و مغناطیس در طی قرن‌ها به طور جداگانه گسترش یافتند، تا اینکه در سال ۱۸۲۰ هانس کریستین دانشمند دانمارکی رابطه‌ای بین آنها یافت. او متوجه شد که جریان الکتریکی در یک سیم می‌تواند عقربه قطب نمای مغناطیسی را منحرف کند. به عبارت دیگر جریان الکتریکی می‌تواند میدان مغناطیسی تولید کند. اکنون می‌دانیم نه تنها هر سیم حامل جریان، بلکه هر بار الکتریکی در حال حرکت نیز می‌تواند در اطراف خود یک میدان مغناطیسی بوجود بیاورد که به قانون بیوساوار معروف است و به صورت زیر داده می‌شود.

$$\vec{B} = \frac{q}{c} \vec{v} \times \vec{E} \quad (۱)$$

به طوری که q اندازه‌ی بار الکتریکی، v سرعت آن، E میدان الکتریکی و B میدان مغناطیسی است. به طور مشابه، میدان مغناطیسی هر سیم حامل جریان از قانون بیوساوار عبارت است از:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3} \quad (۲)$$

که در آن I جریان الکتریکی، $d\vec{l}$ یک عنصر کوچک طول روی سیم و در جهت جریان، μ_0 ثابت تراوایی، B میدان مغناطیسی در نقطه p به فاصله r از المان $d\vec{l}$ ، و r برداری است که از عنصر جریان تا نقطه p رسم می‌شود.

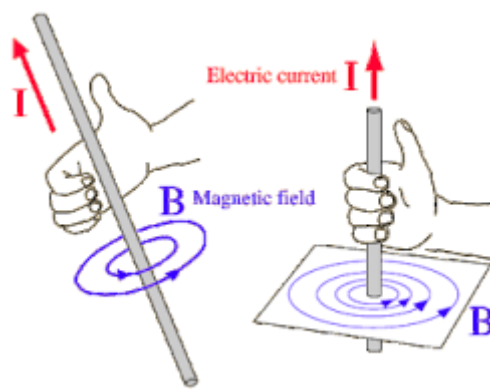
اگر سیم حامل جریان، یک سیم مستقیم بلند باشد مقدار میدان مغناطیسی به فاصله r از سیم برابر است با:

$$B = \frac{\mu \cdot I}{2\pi r} \quad (3)$$

به علاوه، خطوط میدان مغناطیسی دایره‌هایی هم مرکزند که در صفحات قائم بر سیم قرار دارند و مرکز آنها محل تلاقی سیم حامل جریان با این صفحات است. بنابراین اگر انگشت شست جهت جریان در سیم را نشان دهد چهار انگشت دست راست جهت خطوط میدان مغناطیسی را نشان می‌دهند. اگر سیم حامل جریان به صورت یک حلقه دایره‌ای به شعاع a باشد میدان مغناطیسی در مرکز حلقه برابر است با:

$$B = \frac{\mu \cdot I}{2a} \quad (4)$$

همچنین، خطوط میدان مغناطیسی در مرکز دایره بر صفحه حلقه عمودند. به طوری که اگر چهار انگشت دست راست، جهت جریان در حلقه را نشان دهند انگشت شست، جهت خطوط میدان مغناطیسی را تعیین می‌کند.



شکل ۱

هرگاه سیم بلندی را به طور تنگاتنگ به دور استوانه‌ای بپیچیم سیملوله ساخته ایم. اگر طول سیملوله بسیار بزرگتر از قطر آن باشد میدان مغناطیسی در خارج آن صفر است. میدان مغناطیسی در داخل سیملوله یکنواخت و در راستای محور استوانه است و برابر است با:

$$B = \mu \cdot nI \quad (5)$$

که n تعداد دورها در واحد طول سیملوله است. جهت میدان مغناطیسی از قانون دست راست تعیین می‌شود به طوری که اگر چهار انگشت دست راست خود را در جهت جریان سیملوله قرار دهیم انگشت شست جهت میدان مغناطیسی را نشان می‌دهد.

۲) نیروی مغناطیسی وارد بر سیم حامل جریان

هنگامی که یک بار الکتریکی q با سرعت v درون میدان مغناطیسی B حرکت می‌کند نیروی مغناطیسی F_B به آن وارد می‌شود که برابر است با:

$$F_B = q\vec{v} \times \vec{B} \quad (۶)$$

این نیرو همواره بر صفحه شامل v و B عمود است. به علاوه اندازه این نیرو به زاویه بین v و B بستگی دارد. هرگاه بار در راستای میدان مغناطیسی حرکت کند نیرویی به آن وارد نمی‌شود. اما اگر عمود بر میدان مغناطیسی حرکت کند نیروی مغناطیسی وارد بر آن بیشینه است.

اگر یک سیم رسانای حامل جریان الکتریکی درون میدان مغناطیسی قرار گیرد نیروی مغناطیسی بر بارهای متحرک رسانا وارد می‌شود که مجموعه آنها بر خود رسانا اثر می‌کند. اگر سیم حامل جریان الکتریکی I باشد نیروی وارد بر عنصر کوچکی به طول $d\vec{l}$ از سیم از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$d\vec{F}_B = I d\vec{l} \times \vec{B} \quad (۷)$$

این نیرو بر صفحه شامل $d\vec{l}$ و B عمود است. به طوری که اگر چهار انگشت دست راست را از $d\vec{l}$ به سمت $\vec{B}$ بچرخانیم انگشت شست جهت نیروی وارده را نشان می‌دهد. نیروی وارد بر کل سیم از انتگرال گیری روی $d\vec{F}_B$ به دست می‌آید و برابر است با:

$$\vec{F}_B = \int I d\vec{l} \times \vec{B} \quad (۸)$$

اگر سیم مستقیم و میدان مغناطیسی یکنواخت باشد خواهیم داشت:

$$\vec{F}_B = I \vec{L} \times \vec{B} \quad (۹)$$

که $\vec{L}$ برداری است که اندازه آن طول سیم است که در داخل میدان مغناطیسی قرار گرفته و جهت آن در جهت جریان است.

۳) نیروی بین دو رسانای حامل جریان

دو سیم بلند موازی حامل جریان به یکدیگر نیرو وارد می‌کنند. دو سیم حامل جریان‌های I_1 و I_2 که به فاصله d از یکدیگر قرار گرفته اند در شکل (۲) نشان داده شده اند. هر سیم حامل جریان در اطراف خود یک میدان مغناطیسی تولید می‌کند. سیم دیگر در داخل این میدان مغناطیسی قرار گرفته است و از آنجا که حامل جریان الکتریکی است به آن نیروی مغناطیسی وارد می‌شود. میدان مغناطیسی که سیم اول در هر نقطه از سیم دوم تولید می‌کند از رابطه (۳) به دست می‌آید و برابر است با:

$$B_1 = \frac{\mu \cdot I_1}{2\pi d} \quad (10)$$

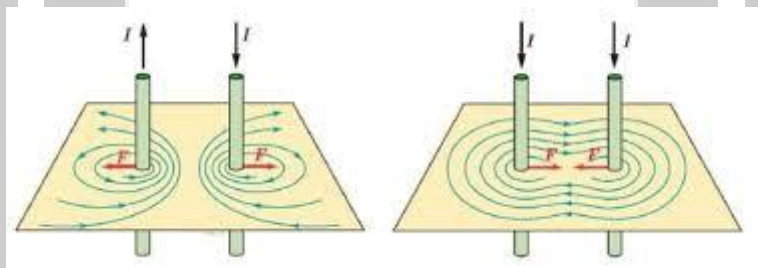
از قانون دست راست درمی یابیم که جهت میدان مغناطیسی در محل سیم دوم به سمت پایین است. حال سیم دوم در داخل این میدان مغناطیسی نیرویی را تجربه می کند که از رابطه (۹) به دست می آید و برابر است با:

$$\vec{F}_{12} = I_2 \vec{L} \times \vec{B}_1 \quad (11)$$

$\vec{F}_{12}$ نیرویی است که از طرف سیم اول به سیم دوم وارد می شود. از آنجا که میدان مغناطیسی بر سیم حامل جریان عمود است، با جایگذاری رابطه (۱۰) در رابطه (۱۱) داریم:

$$F_{12} = \frac{\mu \cdot L I_1 I_2}{2\pi d} \quad (12)$$

با به کار بردن قانون دست راست برای ضرب خارجی جهت نیروی $\vec{F}_{12}$ به دست می آید که همان طور که در شکل (۲) نشان داده شده است به سمت سیم اول است. اگر جهت جریان در سیم ها پاد موازی باشد جهت نیرو برعکس حالت قبل است. بنابراین می توان گفت جریان های موازی یکدیگر را جذب و جریان های پادموازی یکدیگر را دفع می کنند.



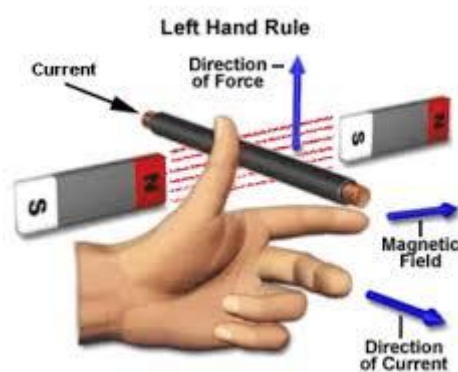
شکل ۲

روش آزمایش

(۱) مشاهده خطوط میدان مغناطیسی

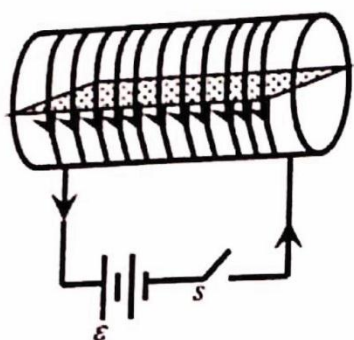
با استفاده از قطب نما، قطب های N و S آهن رباهای تیغه ای و نعلی شکل را تعیین کرده و علامت گذاری کنید. سپس براده های آهن را بر روی یک صفحه غیرآهنی بریزید و آهن ربا را در زیر آن قرار دهید. برای مشاهده بهتر خطوط میدان مغناطیسی ضربه های کوچکی به صفحه بزنید و شکل خطوط میدان مغناطیسی را ملاحظه کنید. این عمل را برای آهن ربای تیغه ای و نعلی شکل انجام دهید و با حرکت دادن قطب نما در مجاورت آهن ربا جهت خطوط میدان مغناطیسی را تعیین کنید.

۲) تحقیق قانون دست راست

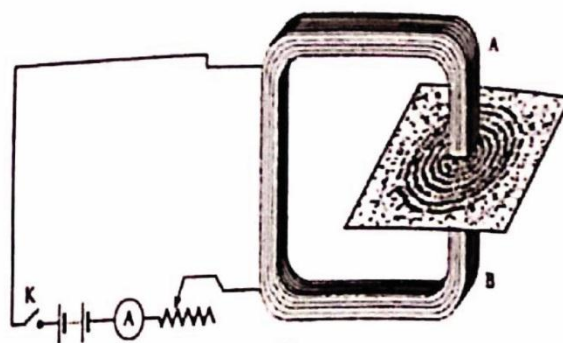


(۳)

برای مشاهده خطوط میدان مغناطیسی یک سیم مستقیم، آن را مطابق شکل (۳-الف) از داخل یک صفحه سوراخ دار رد کرده و به میله‌های نگهدارنده متصل نمایید. دو سر سیم را توسط یک کلید فشاری به منبع تغذیه ولتاژ مستقیم وصل کنید. با توجه به جهت جریان در سیم و با استفاده از قانون دست راست جهت میدان مغناطیسی ایجاد شده را تعیین کنید. سپس براده‌های آهن را بر روی یک مقوا بریزید و ضربه‌های کوچکی به آن بزنید و خطوط میدان مغناطیسی حاصل را مشاهده و به کمک قطب نما قانون دست راست را تحقیق کنید. جهت جریان در سیم را تغییر دهید و مشاهدات خود را یادداشت نمایید. برای مشاهده خطوط میدان مغناطیسی یک سیملوله مدار شکل (۳-ب) را ببندید و با انجام عملیاتی مشابه با آزمون قبل، قانون دست راست را برای سیملوله تحقیق کنید.



(ب)

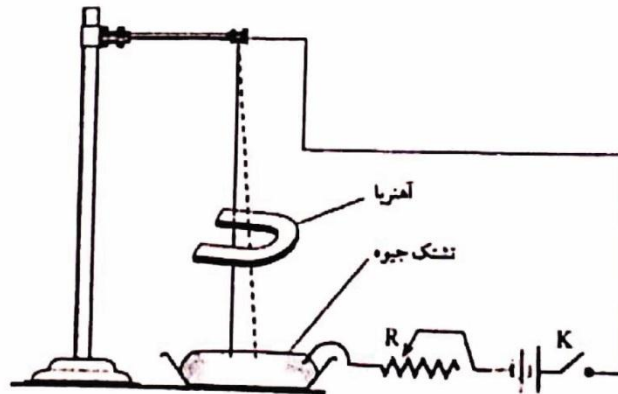


(الف)

۴) مشاهده نیروی میدان مغناطیسی وارد بر سیم حامل جریان

دو نوار رسانا که به وسیله یک سیم رسانای نازک به یکدیگر متصل هستند مطابق شکل (۴) طوری بر روی پایه نصب کنید که میله بین دو قطب آهن ربای نعلی شکل قرار بگیرد. دو نوار را از طریق یک رئوسا و یک آمپر متر و یک کلید فشاری به منبع تغذیه وصل نمایید. با نظر استاد مربوطه و بوسیله رئوسا جریان

مناسبی از مدار بگذرانید. توجه کنید که جریان به مدت کم از مدار عبور کند. موقعی که از مدار جریان می‌گذرد جهت نیروی وارد بر میله را مشاهده و نتیجه را یادداشت نمایید. آزمایش را با معکوس کردن جهت جریان و جهت میدان تکرار کرده و نتایج را یادداشت نمایید.



شکل (۴)

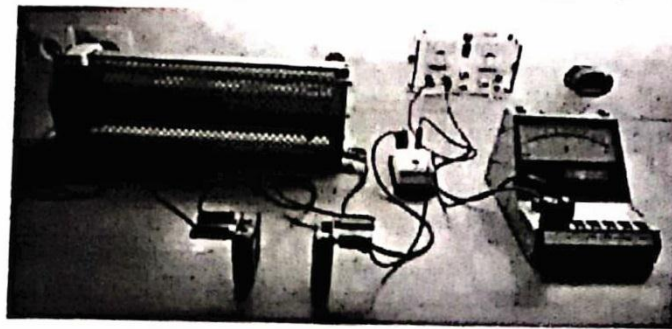
۵) نیروی بین دو سیم موازی حامل جریان

دو سیم موازی را به دو گیره متصل کنید و آنها را طوری به یکدیگر متصل کنید که جریان آن دو، یک بار هم جهت و بار دیگر مختلف جهت باشد. سر دیگر سیم‌ها را توسط یک کلید فشاری و یک آمپر متر و یک رئوستا به منبع تغذیه ولتاژ مستقیم وصل کنید. به وسیله رئوستا جریان مناسبی از مدار بگذرانید. نتیجه آزمایش را هنگام فشردن کلید در هر دو حالت (جریان موازی و پادموازی) یادداشت کنید.

۶) نیروی بین دو سیم‌لوله حامل جریان

در داخل دو سیم‌لوله هسته آهنی قرار دهید و یکی از آنها را بر روی ارابه بگذارید و آنها را مطابق شکل (۵) توسط سیم رابط به یکدیگر وصل کنید. دو انتهای دیگر سیم‌لوله‌ها را توسط یک کلید فشاری، یک رئوستا و یک آمپر متر به منبع تغذیه جریان مستقیم وصل کنید. به وسیله رئوستا جریان مناسبی از مدار بگذرانید و نتیجه آزمایش را یادداشت کنید. اتصال سیم‌لوله ثابت را تغییر دهید تا جریان آن معکوس شود. نتیجه آزمایش را یادداشت کنید.

دانشگاه بوعلی سینا



شکل (۵)

محاسبات، بررسی نتایج، پرسش‌ها

- ۱) در آزمایش (۱) خطوط میدان مغناطیسی را برای هر دو آهن ربا در گزارش کار خود به طور تقریبی رسم کنید.
- ۲) در آزمایش (۲) آیا قانون دست راست معتبر است؟
- ۳) در آزمایش (۲) معکوس کردن جهت جریان در سیم مستقیم چه اثری بر انحراف عقربه قطب نما دارد؟
- ۴) در آزمایش (۲) خطوط میدان مغناطیسی سیم مستقیم را در گزارش کار خود رسم کنید.
- ۵) در آزمایش (۲) خطوط میدان مغناطیسی سیملوله را در گزارش کار خود رسم کنید.
- ۶) در آزمایش (۲) معکوس کردن جهت جریان در سیملوله چه اثری بر انحراف عقربه قطب نما دارد؟
- ۷) نتیجه آزمایش (۳) و دلیل آن را توضیح دهید.
- ۸) در آزمایش (۳) رابطه بین جهت نیروی مغناطیسی با جهت جریان و جهت میدان مغناطیسی چگونه است؟
- ۹) در آزمایش (۳) نتیجه تغییر جهت جریان و جهت میدان مغناطیسی چیست؟
- ۱۰) نتیجه آزمایش (۴) و دلیل آن را توضیح دهید.
- ۱۱) نتیجه آزمایش (۵) و دلیل آن را توضیح دهید.
- ۱۲) در آزمایش (۵) با تغییر جهت جریان نتیجه آزمایش چه تغییری می‌کند؟