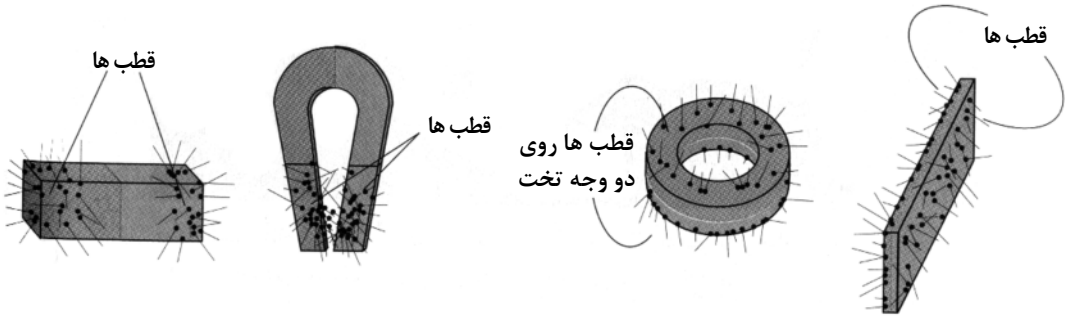
فصل سوم

مغناطیس

بیش از ۲۵۰۰ سال پیش، خاصیتی در نوعی سنگ معدن آهن به‌نام مگنتیت (Fe_3O_4) شناخته شد که برای اولین‌بار در محلی به‌نام ماگنزیا کشف گردید. یونانیان باستان با پدیده‌ی آهنربایی آشنا بودند. آهنربایی خاصیتی است که در آهن – کبالت – نیکل و بعضی از آلیاژهای آن‌ها به‌وجود می‌آید.

قطب‌های آهنربا

در هر آهنربا، محل‌هایی وجود دارد که خاصیت آهنربایی در این ناحیه‌ها از سایر ناحیه‌های آن بیش‌تر است. به این مکان‌ها قطب‌های آهنربا گفته می‌شود؛ به‌طوری که اگر آهنربایی را به براده‌های آهن نزدیک کنیم، بیش‌ترین براده‌ی آهن در این نقاط جذب آهنربا می‌شود.



آهنربای تیغه‌ای　　آهنربای حلقه‌ای　　آهنربای نعلی‌شکل　　آهنربای میله‌ای

- به خطی که دو قطب یک دو قطبی مغناطیسی را به‌هم وصل می‌کند محور مغناطیسی گوییم.

خط خنثی

خاصیت آهنربایی در وسط یک میله یا تیغه‌ی آهنربا از همه‌ی نقاط دیگر کم‌تر است. به این ناحیه خط خنثی گفته می‌شود. در واقع اثر مغناطیسی در خط خنثی ظاهر نمی‌شود. این به آن معنی است که اگر آهنربایی را از خط خنثی به یک تیغه فولادی نزدیک کنیم آن را جذب نمی‌کند.

به‌طور نمونه دو تیغه مفروض است که هر دو ظاهری مشابه دارند، یکی از آن‌ها آهنربا و دیگری آهن است و هیچ وسیله‌ی دیگری وجود ندارد. به‌کمک خاصیت خط خنثی امکان تشخیص آن دو از هم وجود دارد. هر کدام از میله‌ها که وسط دیگری را جذب کند، آهنربا و دیگری بدون خاصیت آهنربایی است.

نکته: قطب‌های هم‌نام آهن‌ربا یکدیگر را دفع و قطب‌های ناهم‌نام آن‌ها یکدیگر را جذب می‌کنند.

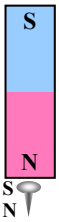
روش تعیین قطب‌های یک آهنربا

I) هرگاه آهنربای میله‌ای را از گرانیگاه آن با یک نخ بدون تابی آویزان کنیم به‌طوری‌که بتواند آزادانه بچرخد، بعد از چند نوسان در راستای تقریبی شمال و جنوب زمین می‌ایستد. قطبی که در سمت شمال زمین قرار می‌گیرد N و دیگری را S می‌نامند.

II) هم‌چنین می‌توان از قطب‌های معلوم آهنربای دیگری استفاده نمود. در این روش از خاصیت دافعه میان قطب‌های همنام استفاده می‌شود و نباید از خاصیت جاذبه میان قطب‌های ناهمنام استفاده کرد، زیرا یک تکه آهن نیز می‌تواند جذب آهن‌ربا شود.

نکته: از آن‌جایی که آهنربا به‌حالت معلق در راستای شمال و جنوب زمین می‌ایستد، می‌توان نتیجه گرفت که زمین نیز خود یک آهنربا است و قطب‌های مغناطیسی آن در خلاف جهت قطب‌های جغرافیایی زمین است. یعنی قطب شمال مغناطیسی زمین تقریباً در جنوب جغرافیای زمین قرار دارد و بالعکس.

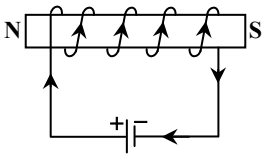
روش‌های ساختن آهنربا



I) خاصیت آهنربایی در نوعی از سنگ معدن آهن به‌نام مگنتیت وجود دارد.

II) القای خاصیت مغناطیسی: هرگاه میله آهنی را به یک آهنربا نزدیک کنیم، میله تحت تأثیر میدان مغناطیسی آهنربا قرار گرفته و سپس جذب آهنربا می‌شود، در این حالت گفته می‌شود که میله بنا به خاصیت القا آهنربا شده است.

III) بهترین روش برای ایجاد آهنربا استفاده از خاصیت مغناطیسی جریان الکتریسیته پیوسته است. در این روش سیم‌پیچی که شامل چندین حلقه است را توسط یک کلید و یک آمپرسنج به باتری وصل می‌کنیم. تیغه‌ی فولادی را برای زمان کوتاهی در داخل آن قرار می‌دهیم و جریان را برای لحظه‌ی کوتاهی در مدار برقرار می‌کنیم. همین مدت زمان کوتاه کافی است تا تیغه‌ی فولادی برای زمان طولانی تبدیل به آهنربا شود. نباید جریان را برای زمان طولانی از سیم‌پیچ عبور داد، زیرا که موجب گرم شدن سیم‌پیچ و صدمه دیدن آهنربا می‌شود.



برای پیدا کردن جهت قطب‌های مغناطیس به‌وجود آمده، چهار انگشت دست راست را در جهت چرخش جریان در سیم‌پیچ قرار می‌دهیم. شصت دست راست، جهت قطب N به‌وجود آمده را مشخص می‌کند. (جلوتر به آن می‌پردازیم.)

روش‌های از بین بردن خاصیت آهنربایی

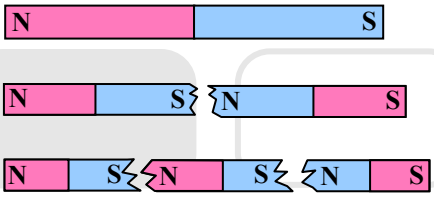
۱- ضربه زدن و چکش کاری باعث کاهش خاصیت آهنربایی می‌شود.

۲- حرارت دادن و گرمایش

۳- قراردادن آهنربا در راستای مشرق و مغرب

۴- قراردادن آهنربا در سیم‌پیچی که از آن جریان متناوب برق شهر عبور می‌کند.

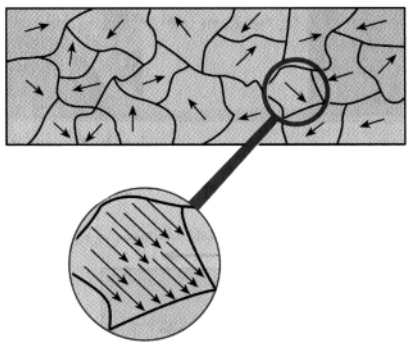
نکته: هرگاه یک آهنربای میله‌ای را از وسط به دو نیمه تقسیم کنیم، هر نیمه خود آهنربای کاملی است که دارای دو قطب N و S می‌باشد. با تکرار عمل تقسیم، هر بار به نیمه‌های کوچک‌تری که هر یک آهنربای کاملی می‌باشند می‌رسیم، در صورتی‌که عمل تقسیم را بی‌نهایت بار تکرار کنیم به کوچک‌ترین آهنرباها که همان مولکول‌ها یا اتم‌های جسم مغناطیس است، خواهیم رسید. هریک از این ذرات را دو قطبی‌های مغناطیسی می‌نامند.



- نحوه‌ی سمت‌گیری دو قطبی‌های مغناطیسی کوچک در مواد مختلف متفاوت است و به همین دلیل مواد از نظر ویژگی‌های مغناطیسی با هم تفاوت دارند و به دو دسته‌ی مواد فرومغناطیسی و مواد پارامغناطیسی تقسیم می‌شوند که در ادامه به بررسی آن‌ها می‌پردازیم.

حوزه‌ی مغناطیسی

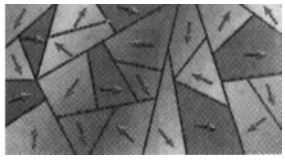
دو قطبی‌های مغناطیسی را با علامت پیکان نشان می‌دهند که نوک پیکان نشان دهنده قطب N است $(S \longrightarrow N)$. ناحیه‌ای که در آن تمام دو قطبی‌های مغناطیسی با یکدیگر همسو می‌باشند را حوزه‌ی مغناطیسی می گویند. درون یک حوزه‌ی مغناطیسی دو قطبی‌های مغناطیسی هم خط شده و مانند یک آهنربای بسیار کوچک عمل می‌کنند.



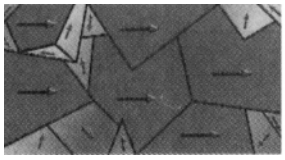
مواد فرومغناطیس

در این مواد دو قطبی‌های مغناطیسی به‌طور ذاتی تمایل دارند تا با یکدیگر همسو شوند، در آن‌ها تعدادی حوزه‌ی مغناطیسی وجود دارد که با قرار گرفتن در یک میدان مغناطیسی در هم ادغام شده و حوزه‌های بزرگ‌تر با تعداد کمتر به‌وجود می‌آید. آهن، نیکل و کبالت جزء این دسته می‌باشند. درون هر حوزه دو قطبی‌ها به‌طور کامل هم خط شده‌اند ولی سمت‌گیری دو قطبی‌های هر حوزه با حوزه دیگر متفاوت است. این‌گونه مواد را می‌توان با قرار دادن در یک میدان مغناطیسی آهنربا کرد. مواد فرومغناطیس به دو دسته‌ی مواد فرومغناطیس نرم و مواد فرومغناطیس سخت تقسیم می‌شود که در جلوتر به آن می‌پردازیم.

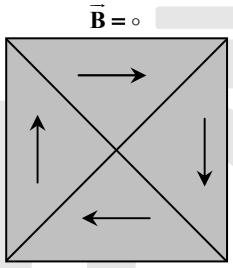
- حوزه‌هایی که با میدان همسو می‌باشند رشد می‌کنند و حجم آن‌ها افزایش می‌یابد و حوزه‌هایی که سمت‌گیری آن‌ها نسبت به میدان مناسب نیست کوچک می‌شوند.



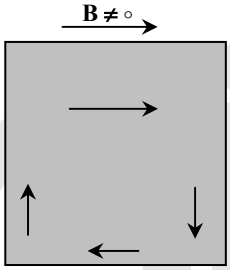
الف) ماده‌ی فرومغناطیسی آهنربا نیست



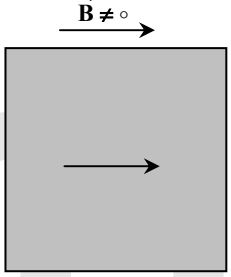
ب) ماده‌ی فرومغناطیسی آهنربا است.



الف) در غیاب میدان خارجی



ب) در حضور میدان خارجی ضعیف



پ)در حضور میدان خارجی قوی

مغناطیس اشباع

هرچه میدان مغناطیسی خارجی که دو قطبی مغناطیسی در آن قرار می‌گیرد قوی‌تر باشد، حجم حوزه‌های مغناطیسی با سمت‌گیری نامناسب کمتر شده و در نهایت به صفر میل می‌کند و همه حجم ماده را حوزه‌ی مغناطیسی با سمت‌گیری مناسب (همسو با میدان) اشغال خواهد کرد.

این حالت ماده در مجموع بیش‌ترین خاصیت آهنربایی را دارد که به آن مغناطیس اشباع گفته می‌شود و اگر در میدان قوی‌تر قرار گیرد خاصیت مغناطیسی ماده افزایش نمی‌یابد.

I) ماده‌ی فرومغناطیس نرم:

در برخی از مواد فرومغناطیس مانند آهن، نیکل و کبالت در صورتی‌که خالص باشند، حجم حوزه‌ها به آسانی تغییر می‌کند و در نتیجه به آسانی آهنربا می‌شوند و از طرفی نیز به راحتی خاصیت آهنربایی خود را از دست می‌دهند، این مواد را فرومغناطیس نرم می‌نامند.

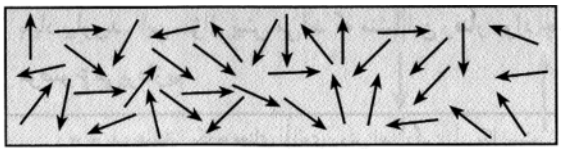
از این مواد در هسته سیم‌لوله‌ها استفاده می‌شود. مواد فرومغناطیس نرم با حذف میدان مغناطیسی خارجی خاصیت آهنربایی خود را از دست می‌دهند و به همین خاطر از آن‌ها برای ساخت آهنرباهای الکتریکی و غیردائمی استفاده می‌شود.

II) ماده‌ی فرومغناطیس سخت:

برخی دیگر از مواد مانند فولاد (آهن به اضافه‌ی دو درصد کربن) و ترکیباتی از آهن، نیکل و کبالت خالص که در حضور میدان مغناطیسی خارجی به سختی جهت‌گیری حوزه‌هایشان تغییر می‌کند را فرومغناطیس سخت می‌گویند. این مواد با حذف میدان خارجی نیز خاصیت مغناطیسی خود را حفظ می‌کنند و برای ساختن آهن‌رباهای دائمی مناسب هستند.

ماده‌ی پارامغناطیسی

در این مواد دو قطبی‌های مغناطیسی به‌صورت کاتوره‌ای در کنار هم قرار گرفته‌اند و دارای سمت‌گیری مشخص و منظمی نمی‌باشند. اما اگر این مواد در مجاورت آهنرباهای قوی قرار گیرند، تا حدودی دوقطبی‌ها با یکدیگر همسو می‌شوند و با دور شدن از میدان مغناطیسی قوی به‌سرعت به وضعیت کاتوره‌ای که در غیاب میدان داشته‌اند بر می‌گردند. فلزات قلیایی، قلیایی خاکی، اکسیژن، پلاتین، آلومینیوم، منگنز و اکسید ازت جزء این دسته از مواد می‌باشند.



مثال: کدام گزینه نادرست است؟

۱) بارهای الکتریکی متحرک میدان مغناطیسی را پدید می‌آورند.

۲) میدان مغناطیسی در خارج آهن‌ربا، قوی‌تر از داخل آن است.

۳) در مواد پارامغناطیسی دو قطبی‌های مغناطیسی دارای سمت‌گیری مشخص و منظمی نیستند.

۴) با نصف کردن آهن‌ربا نمی‌توان قطب N آهن‌ربا را جدا کرد.

پاسخ: گزینه ۲

خطوط میدان مغناطیسی داخل آهن‌ربا متراکم‌تر و به هم فشرده‌تر هستند، لذا میدان مغناطیسی داخل آهن‌ربا قوی‌تر از خارج آن می‌باشد. بارهای الکتریکی متحرک هم میدان الکتریکی و هم میدان مغناطیسی در فضای اطراف خود ایجاد می‌کنند.

مثال: کدام گزاره درباره‌ی مواد مغناطیسی نادرست است؟

۱) ماده‌ی فرومغناطیسی نرم به سختی خاصیت آهنربایی را از دست می‌دهد.

۲) مواد پارامغناطیس در میدان‌های مغناطیسی قوی آهن‌ربا می‌شوند.

۳) مواد فرومغناطیس نرم به سهولت آهن‌ربا شده و به سهولت هم این خاصیت را از دست می‌دهند.

۴) در یک ماده فرومغناطیسی سخت بعد از حذف میدان، خاصیت مغناطیسی باقی می‌ماند.

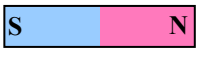
پاسخ: گزینه ۱

میدان مغناطیسی

هر آهنربا در فضای اطراف خود خاصیتی به‌وجود می‌آورد که به علت وجود این خاصیت بر مواد مغناطیسی و آهنرباهای دیگر، نیروی مغناطیسی وارد می‌کند. خاصیتی که هر آهنربا در اطراف خود به‌وجود می‌آورد میدان مغناطیسی نامیده می‌شود.

میدان مغناطیسی را در هر نقطه با برداری با نماد $\vec{B}$ نشان می‌دهند، واحد آن در SI برحسب تسلا (T) است و واحد کوچک‌تری به‌نام گاوس نیز دارد.

$1G = 10^{-4}T$



ویژگی‌های خطوط میدان مغناطیسی

۱) خطوط بسته‌ای هستند که خارج آهن‌ربا از قطب N خارج شده و وارد قطب S می‌شوند و در داخل آهن‌ربا از S به N وارد می‌شوند.

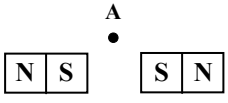
۲) تراکم خطوط میدان مغناطیسی معرف بزرگی میدان مغناطیسی در هر ناحیه است. هرچه تراکم این خطوط در نقطه‌ای بیش‌تر باشد، میدان در آن‌جا قوی‌تر است.

۳) میدان $(\vec{B})$ در هر نقطه مماس بر خط میدان مغناطیسی در آن نقطه است و با آن هم‌جهت است.

۴) خطوط میدان همدیگر را قطع نمی‌کنند و بر هم مماس نمی‌شوند. بنابراین در هر نقطه از فضا تنها یک میدان مغناطیسی وجود دارد و از هر نقطه تنها یک خط میدان مغناطیسی می‌گذرد.

تذکر: گرما باعث می‌شود که ارتعاش مولکول‌ها افزایش یافته و در نتیجه دوقطبی‌های مغناطیسی که قبلاً مطابق حوزه‌های مغناطیسی جهت‌گیری کرده‌اند، سریع‌تر وضعیت خود را از دست داده و به وضعیت قبل از آهن‌ربا شدن بازگردند و حوزه‌های مغناطیسی منظم از بین بروند. در نتیجه باعث کاهش خاصیت آهن ربایی می‌شود.

مثال: جهت میدان مغناطیسی در نقطه‌ی A که فقط حاصل اثر دو آهن‌ربای مشابه می‌باشد، کدام است؟

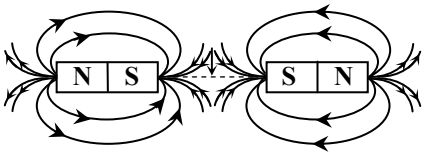


۱) ↓ ۲) ↑

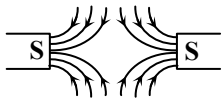
۳) ← ۴) →

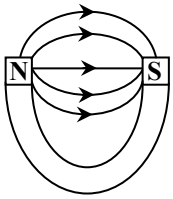
پاسخ: گزینه ۱

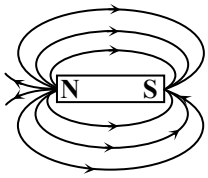
با توجه به خطوط میدان رسم شده گزینه‌ی ۱ پاسخ صحیح است.

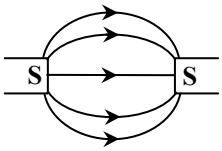


مثال: در کدام گزینه خطوط میدان مغناطیسی نادرست نشان داده شده است؟

۱) 

۲) 

۳) 

۴) 

پاسخ: گزینه ۴

نیروی الکترومغناطیسی وارد بر بار الکتریکی متحرک در میدان مغناطیسی

میدان مغناطیسی تنها می‌تواند بر ذره‌ی باردار الکتریکی متحرک نیرو وارد کند و بر ذره‌ی باردار الکتریکی ساکن نیرویی وارد نمی‌سازد. در حالی‌که میدان الکتریکی هم بر ذره‌ی باردار ساکن و هم بر ذره‌ی باردار متحرک می‌تواند نیرو وارد کند. بزرگی نیروی الکترومغناطیسی که از طرف میدان مغناطیسی به ذره‌ی باردار متحرک وارد می‌شود از رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید:

$$F = |q|.V.B.\sin\alpha$$

q: بار الکتریکی (C)

V: بزرگی سرعت ذره $(\frac{m}{s})$

B: بزرگی میدان مغناطیسی (T)

$\sin\alpha$: سینوس زاویه‌ای که بین بردار سرعت ذره و میدان وجود دارد.

چند تذکر مهم

۱- نیرویی که از طرف میدان مغناطیسی بر ذره‌ی باردار متحرک وارد می‌شود را می‌توان به کمک ضرب خارجی دو بردار به‌صورت زیر محاسبه کرد:

$$\vec{F} = q\vec{V} \times \vec{B}$$

بنابراین نیروی الکترومغناطیسی بر راستای میدان مغناطیسی و نیز بر راستای حرکت ذره عمود است در حالی‌که نیرویی که از اطراف میدان الکتریکی بر ذره‌ی باردار الکتریکی وارد می‌شود هم‌راستا با میدان الکتریکی است.

۲- اگر ذره‌ی باردار منفی باشد نیروی وارد بر آن در خلاف جهت نیروی وارد بر ذره‌ی باردار مثبتی است که در همان جهت حرکت می‌کند.

۳- اگر بار الکتریکی به موازات میدان مغناطیسی حرکت کند یعنی زاویه‌ی بین بردار سرعت ذره و بردار میدان صفر و یا ۱۸۰° باشد، از طرف میدان مغناطیسی نیرویی به آن وارد نمی‌شود.

۴- میدان مغناطیسی بر بار الکتریکی ساکن نیرویی وارد نمی‌کند.

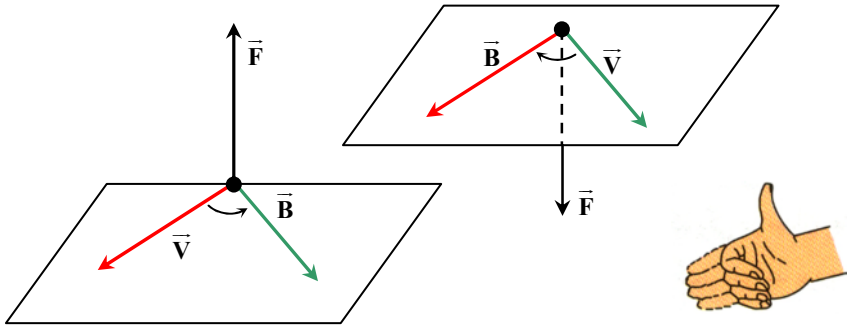
۵- از آن‌جایی که نیروی الکترومغناطیسی وارد بر ذره‌ی باردار متحرک در میدان بر سرعت ذره عمود است، اندازه‌ی سرعت ذره را تغییر نمی‌دهد اما باعث می‌شود جهت سرعت ذره تغییر کند.

قانون دست راست

الف) چهار انگشت دست راست را در جهت حرکت بار مثبت قرار می‌دهیم.

ب) کف دست راست را در جهت میدان مغناطیسی می‌گذاریم طوری‌که میدان از کف دست خارج شود (در جهت چهار انگشت خم شده).

ج) شست دست راست جهت نیروی وارد بر ذره را مشخص می‌کند.



توجه: در صورتی‌که بار ذره منفی باشد نتیجه‌ی به‌دست آمده را ۱۸۰° تغییر می‌دهیم.

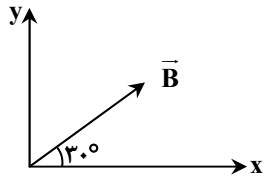
مثال: میدان مغناطیسی یکنواختی در راستای قائم و جهت آن به سمت بالا و بزرگی آن برابر ۰/۲ تسلا است. ذره‌ای با بار الکتریکی مثبت $5\,\mu C$ با سرعت $4\times10^{5}\,\frac{m}{s}$ در راستای قائم از بالا به سمت پایین وارد این میدان می‌شود، نیروی وارد بر این ذره از طرف میدان کدام است؟

۱) ۰/۴ نیوتون به سمت شمال ۲) ۰/۴ نیوتون به سمت جنوب ۳) نیرویی بر ذره وارد نمی‌شود. ۴) ۴۰ نیوتون به سمت شمال

پاسخ: گزینه ۳

$$F=|q|VBSin\theta=|q|VBSin180^\circ=0$$

مثال: یک ذره‌ی باردار با بار $q=-100\,\mu C$ با سرعت $V=100\,\frac{m}{s}$ در جهت مثبت محور y در حرکت است و میدان مغناطیسی یکنواخت ۰/۵ تسلا مطابق شکل بر آن اثر می‌کند. اندازه و جهت نیروی وارد بر آن کدام است؟



۱) $\frac{\sqrt{3}}{4}\times10^{-2}N$ ، برون‌سو ۲) $\frac{\sqrt{3}}{4}\times10^{-2}N$ ، درون‌سو

۳) $\frac{1}{4}\times10^{-2}N$ ، درون‌سو ۴) $\frac{1}{4}\times10^{-2}N$ ، برون‌سو

پاسخ: گزینه ۱

$$F=|q|VBSin\theta\Rightarrow F=100\times10^{-6}\times100\times0/5\times Sin60=\frac{\sqrt{3}}{4}\times10^{-2}N$$

با توجه به قانون دست راست و منفی بودن بار ذره، جهت نیرو برون‌سو است.

مثال: ذره‌ی بارداری با زاویه‌ی ۳۰° نسبت به یک میدان مغناطیسی وارد آن شده و به آن نیروی f وارد می‌شود. زاویه‌ی بین راستای میدان و سرعت ذره چند درجه تغییر کند تا بدون تغییر جهت نیرو، اندازه‌ی آن $\sqrt{2}$ برابر حالت اول شود؟

۱) ۱۵ ۲) ۳۰ ۳) ۱۰۵ ۴) گزینه‌های ۱ و ۳

پاسخ: گزینه ۴

$$\left.\begin{matrix}F'=|q|VBSin\alpha\\F=|q|VBSin\theta\end{matrix}\right\}\Rightarrow\frac{F'}{F}=\frac{Sin\alpha}{Sin\theta}\Rightarrow\sqrt{2}=\frac{Sin\alpha}{Sin30}$$

$$\Rightarrow Sin\alpha=\frac{\sqrt{2}}{2}\Rightarrow\alpha=45^\circ\text{ یا }135^\circ\Rightarrow\left\{\begin{matrix}45^\circ-30^\circ=15^\circ\\135^\circ-30^\circ=105^\circ\end{matrix}\right\}$$

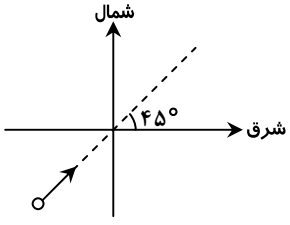
مثال: یک باریکه‌ی پروتون با سرعت نصف سرعت نور از جنوب‌غربی به سمت شمال‌شرقی تحت زاویه‌ی ۴۵° در حال حرکت است. اگر میدان مغناطیسی زمین G ۰/۲ باشد، بر هر پروتون از طرف میدان مغناطیسی زمین نیروی چند نیوتون و در چه جهتی وارد می‌شود؟

$(e=1/6\times10^{-19}C\ ,\ \text{سرعت نور}=3\times10^{8}\,\frac{m}{s})$

۱) $2/4\sqrt{2}\times10^{-16}$ ، قائم رو به بالا ۲) $2/4\sqrt{2}\times10^{-16}$ ، قائم رو به پایین

۳) $2/4\times10^{-16}$ ، قائم رو به بالا ۴) $2/4\times10^{-16}$ ، قائم رو به پایین

پاسخ: گزینه ۱



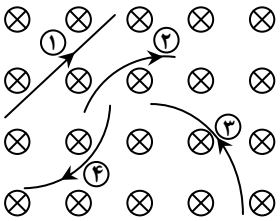
با توجه به این‌که میدان مغناطیسی زمین از جنوب به‌سوی شمال است می‌توان نوشت:

$$F=|q|VBSin\alpha$$

$$\Rightarrow F=1/6\times10^{-19}\times\frac{1}{2}\times3\times10^{8}\times2\times10^{-5}\times Sin45=2/4\sqrt{2}\times10^{-16}N$$

با توجه به قانون دست راست درمی‌یابیم که نیروی وارد بر ذره در راستای قائم و رو به بالا است.

مثال: چهار ذره، مطابق شکل زیر در هنگام عبور از میدان مغناطیسی درون‌سویی مسیرهای زیر را می‌پیمایند. نوع بار ذره‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ به‌ترتیب از راست به چپ کدام است؟



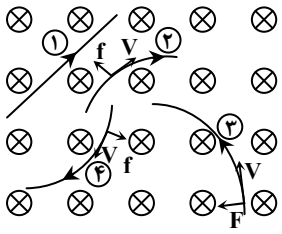
۱) مثبت – خنثی – مثبت – منفی

۲) مثبت – منفی – مثبت – منفی

۳) خنثی – مثبت – منفی – مثبت

۴) خنثی – منفی – مثبت – منفی

پاسخ: گزینه ۴



با توجه به قانون دست راست:

ذره‌ی ۱: بدون انحراف، لذا خنثی است.

ذره‌ی ۲ و ۴: جهت نیروهای وارد بر آن‌ها خلاف جهت

نیروی به‌دست آمده از قانون دست راست است، لذا بار آن‌ها منفی است.

ذره‌ی ۳: نیروی وارد بر آن مطابق قانون دست راست است، لذا بار آن مثبت است.

نیروی الکترومغناطیسی وارد بر سیم حامل جریان الکتریکی واقع در میدان مغناطیسی

نیروی الکترومغناطیسی وارد بر سیم حامل جریان نتیجه‌ی نیروی وارد بر بارهای الکتریکی متحرک در میدان مغناطیسی است، زیرا جریان الکتریکی حاصل از شارش بار الکتریکی در رسانا است. برآیند نیروهای وارد بر بارهای الکتریکی متحرک در سیم بر سیم وارد می‌شود و برای محاسبه‌ی آن می‌توان نوشت:

$$\left.\begin{array}{l} F = |q| V B \sin\alpha \\ q = It \\ V = \dfrac{L}{t} \end{array}\right\} \Rightarrow F = ILB\sin\alpha$$

قانون دست راست برای تعیین جهت نیروی میدان مغناطیسی وارد بر سیم حامل جریان الکتریکی

الف) چهار انگشت دست راست را در جهت جریان در سیم قرار می‌دهیم.

ب) کف دست راست را در جهت میدان مغناطیسی قرار می‌دهیم.

ج) شست دست راست جهت نیروی وارد بر سیم را نشان می‌دهد.

مثال: سیمی عمود بر میدان مغناطیسی $\vec{B} = ۰/۴\vec{i} + ۰/۳\vec{j}$ تسلا قرار دارد، اگر از سیم شدت جریان ۵ آمپر عبور کند، نیروی وارد بر ۱۰ سانتی‌متر آن چند نیوتون خواهد بود؟

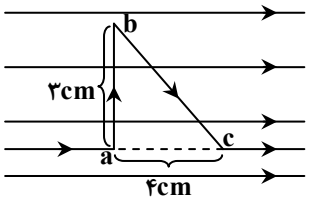
۱) ۰/۴ ۲) ۱/۵ ۳) ۰/۲۵ ۴) ۳/۵

پاسخ: گزینه ۳

$$\vec{B} = ۰/۴\vec{i} + ۰/۳\vec{j} \Rightarrow |B| = \sqrt{۰/۳^۲ + ۰/۴^۲} = ۰/۵\,T$$

$$F = ILB\sin\alpha \Rightarrow F = ۰/۵ \times ۵ \times \frac{۱۰}{۱۰۰}\sin۹۰ = ۰/۲۵\,N$$

مثال: مطابق شکل زیر، سیم abc حامل جریان الکتریکی است و در یک میدان مغناطیسی یکنواخت $\vec{B}$ قرار دارد. اندازه‌ی نیروی الکترومغناطیسی وارد بر قطعه سیم ab، چند برابر اندازه‌ی نیروی الکترومغناطیسی وارد بر قطعه سیم bc است؟



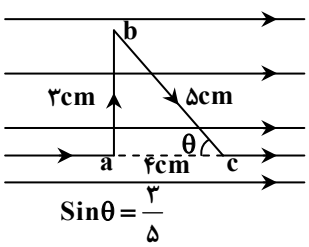
۱) $\frac{۳}{۵}$

۲) $\frac{۴}{۵}$

۳) ۱

۴) ۲

پاسخ: گزینه ۳



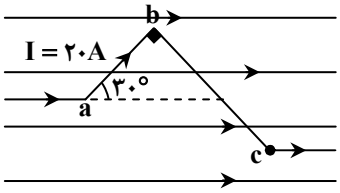
$$F_{ab} = IL_{ab}B\sin۹۰ = I \times ۳ \times ۱۰^{-۲} \times B$$

$$F_{bc} = IL_{bc}\sin\theta = I \times ۵ \times \sin\theta \times ۱۰^{-۲} \times B$$

$$\Rightarrow F_{bc} = I \times ۵ \times \frac{۳}{۵} \times ۱۰^{-۲} \times B = ۳ \times ۱۰^{-۲} IB$$

$$\Rightarrow \frac{F_{ab}}{F_{bc}} = ۱$$

مثال: در شکل زیر، اندازه‌ی برآیند نیروهایی‌که از طرف میدان مغناطیسی یکنواخت به اندازه‌ی $0/1\ T$ برسیم حامل جریان abc وارد می‌شود، چند نیوتون و جهت آن به کدام سمت است؟ $(ab = 20cm, bc = 40cm)$



۱) $0/2(2\sqrt{3}-1)$ درون‌سو

۲) $0/2(2\sqrt{3}-1)$، برون‌سو

۳) $0/4(\sqrt{3}-1)$، درون‌سو

۴) $0/4(\sqrt{3}-1)$، برون‌سو

پاسخ: گزینه ۲

$$F_{ab} = IL_{ab}BSin30^\circ = 20\times20\times10^{-2}\times0/1\times\frac{1}{2} = 0/2N$$

$$F_{bc} = IL_{bc}BSin120^\circ = 20\times40\times10^{-2}\times0/1\times\frac{\sqrt{3}}{2} = 0/4\sqrt{3}\ N$$

با توجه به قانون دست راست واضح است که نیروی وارد بر سیم ab درون‌سو و نیروی وارد بر سیم bc برون‌سو است و می‌توان نوشت:

$$F_T = F_{bc} - F_{ab} = 0/2(2\sqrt{3}-1)$$

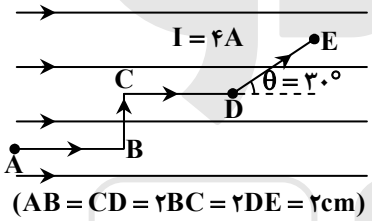
مثال: یک سیم حامل جریان ۲/۵ آمپر در میدان مغناطیسی به بزرگی $2nT$ در راستایی‌که با جهت میدان زاویه‌ی 30° می‌سازد قرار دارد. نیروی مغناطیسی وارد بر واحد طول سیم از طرف میدان چند میکرونیوتون است؟

۱) 25×10^{-10} ۲) 25×10^{-4} ۳) $2/5\times10^{-10}$ ۴) $2/5\times10^{-4}$

پاسخ: گزینه ۲

$$F = ILBSin\alpha \Rightarrow F = 2/5\times1\times2\times10^{-9}\times Sin30^\circ = 25\times10^{-4}\mu N$$

مثال: در شکل زیر برآیند نیروی الکترومغناطیسی وارد بر سیم ABCDE در میدان مغناطیسی یکنواخت به بزرگی ۵ گاوس چند نیوتون و در کدام جهت است؟



$(AB = CD = 2BC = 2DE = 2cm)$

۱) 10^{-5} و درون‌سو

۲) 3×10^{-5} و درون‌سو

۳) 3×10^{-5} و برون‌سو

۴) 10^{-5} و برون‌سو

پاسخ: گزینه ۲

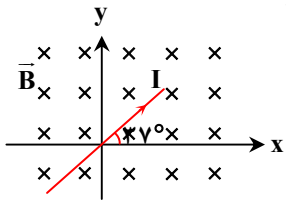
$$F_{ABCDE} = F_{AB} + F_{BC} + F_{CD} + F_{DE}$$

$$\Rightarrow F_{ABCDE} = F_{BC} + F_{DE} = IL_{BC}BSin90 + IL_{DE}BSin30$$

$$\Rightarrow F_{ABCDE} = 4\times5\times10^{-4}(10^{-2} + \frac{1}{2}\times10^{-2}) = 3\times10^{-5}N$$

با توجه به قانون دست راست درون‌سو بودن نیروی وارد بر سیم مبرهن است.

مثال: مطابق شکل سیم راست و بلندی حامل جریان 2A در میدان مغناطیسی یکنواخت درون‌سو به بزرگی $0/5T$ قرار گرفته است. نیروی الکترومغناطیسی وارد بر 50cm از سیم چند نیوتون و زاویه‌ی آن با جهت مثبت محور x ها چند درجه است؟



۱) $0/5$ ، 143°

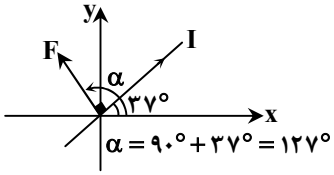
۲) $0/3$ ، 127°

۳) $0/5$ ، 127°

۴) $0/3$ ، 143°

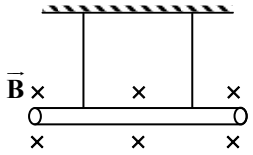
پاسخ: گزینه ۳

با توجه به قانون دست راست و عمود بودن نیرو بر جریان می‌توان نوشت:



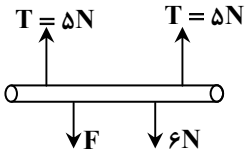
$$F = ILBSin\alpha = 2\times\frac{1}{2}\times\frac{1}{2}\times Sin90 = 0/5N$$

مثال: میله‌ی یکنواختی با طول ۱m و وزن ۶N، توسط دو رشته سیم نازک و سبکی آویزان است و به‌صورت عمود در میدان مغناطیسی یکنواختی با بزرگی ۰/۵T قرار دارد. اندازه و جهت جریان چگونه باشد تا نیروی کشش هر یک از سیم‌ها ۵N گردد؟



۱) ۸ آمپر، به سوی چپ
۲) ۲۰ آمپر، به سوی چپ
۳) ۸ آمپر، به‌سوی راست
۴) ۲۰ آمپر، به سوی راست

پاسخ: گزینه ۱



برای در تعادل بودن میله می‌بایست نیروی F برابر ۴ نیوتون و رو به پایین باشد:

$$F = ILBSin۹۰ \Rightarrow ۴ = I \times ۱ \times \frac{۱}{۲} \Rightarrow I = ۸A$$

با توجه به قانون دست راست جریان می‌بایست به‌سوی چپ جاری شود.

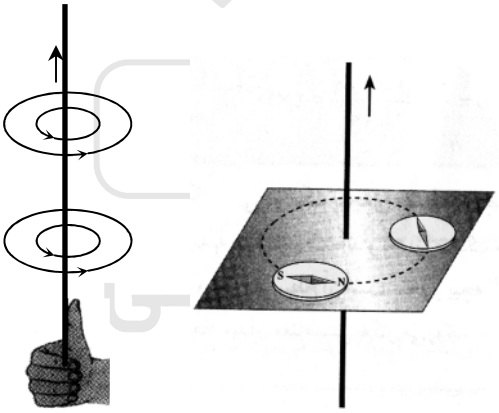
آثار مغناطیسی ناشی از جریان الکتریکی

این موضوع اولین بار توسط اورستد مطرح شد که در اطراف سیم حامل جریان الکتریکی میدان مغناطیسی ایجاد می‌شود به‌طوری که اگر عقربه‌ی مغناطیسی را اطراف سیم حامل جریان قرار دهیم منحرف می‌شود. با انجام این آزمایش می‌توان مفاهیم زیر را نتیجه گرفت:

۱) با عبور جریان از هر سیم در اطراف آن میدان مغناطیسی به‌وجود می‌آید.
۲) بزرگی میدان مغناطیسی در هر نقطه متناسب با بزرگی جریانی است که از سیم عبور می‌کند.
۳) با فاصله گرفتن از سیم حامل جریان، میدان مغناطیسی ضعیف‌تر می‌شود.
۴) جهت میدان مغناطیسی به‌وجود آمده با تغییر جهت جریان در سیم تغییر می‌کند.

- میدان مغناطیسی ناشی از جریان الکتریکی در یک رسانا به پیکربندی سیم حامل جریان بستگی دارد. در ادامه بدون ذکر چگونگی محاسبات میدان مغناطیسی ناشی از جریان در چند سیم با پیکربندی‌های مختلف ارائه می‌شود.

میدان مغناطیسی در اطراف سیم راست حامل جریان الکتریکی



بزرگی این میدان مغناطیسی به دو عامل بستگی دارد:
الف) با شدت جریانی که از سیم عبور می‌کند رابطه مستقیم دارد.
ب) با فاصله از سیم راست رابطه عکس دارد.

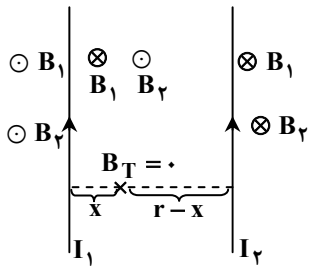
$$B = \frac{\mu_{\circ} I}{۲\pi r} = ۲ \times ۱۰^{-۷} \frac{I}{r}$$

$\mu_{\circ} = ۴\pi \times ۱۰^{-۷}$: ضریب گذردهی مغناطیسی خلأ $(\frac{T.m}{A})$

به‌منظور پیدا کردن جهت میدان مغناطیسی در اطراف سیم حامل جریان الکتریکی ابتدا شست دست راست را در جهت جریان در سیم قرار می‌دهیم چرخش چهار انگشت دست راست جهت میدان مغناطیسی را مشخص می‌کند.

تذکر: بردار و یا کمیت نرده‌ای جهت دار مثل جریان الکتریکی را اگر بر صفحه کاغذ عمود و برون‌سو (رو به خارج کاغذ) باشد با نماد ⊙ و اگر درون‌سو (رو به داخل کاغذ) باشد با نماد ⊗ نشان می‌دهیم.

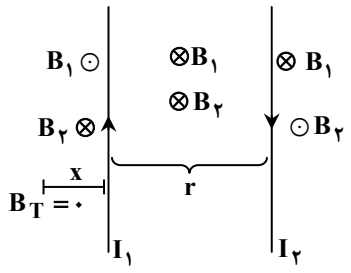
نکته: اگر از دو سیم موازی جریان‌های هم‌سو عبور کند دو سیم یکدیگر را می‌ربایند و برآیند میدان مغناطیسی حاصل از این دو سیم می‌تواند در نقطه‌ای در بین فاصله دو سیم و نزدیک سیمی که از آن جریان کم‌تری عبور می‌کند صفر شود.



$$B_T = ۰ \Rightarrow \frac{I_۱}{x} = \frac{I_۲}{r-x}$$

نکته: اگر از دو سیم موازی جریان‌هایی در خلاف سوی هم عبور کنند، دو سیم یکدیگر را دفع می‌کنند و برآیند میدان مغناطیسی حاصل از دو سیم می‌تواند در خارج از فاصله دو سیم و نزدیک سیمی که از آن جریان کم‌تری عبور می‌کند صفر شود.

اگر $I_1 < I_2$ باشد:



$$B_T = ۰ \Rightarrow \frac{I_1}{x} = \frac{I_2}{r+x}$$

مثال: بزرگی میدان مغناطیسی حاصل از جریان الکتریکی به‌شدت ۲/۵ آمپر که از سیم دراز و مستقیمی عبور می‌کند در فاصله‌ی ۵ سانتی‌متری از سیم برابر چند گاوس است؟ $(\mu_\circ = ۴\pi \times ۱۰^{-۷} \frac{T.m}{A})$

۱) $۱۰^{-۱}$ ۲) $۱۰^{-۲}$ ۳) $۱۰^{-۴}$ ۴) $۱۰^{-۵}$

پاسخ: گزینه ۱

$$B = \frac{\mu_\circ}{۲\pi} \times \frac{I}{r} = ۲ \times ۱۰^{-۷} \times \frac{۲/۵}{۵ \times ۱۰^{-۲}} = ۱۰^{-۵} T = ۱۰^{-۱} G$$

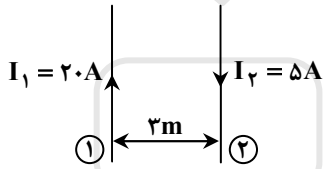
مثال: بزرگی میدان مغناطیسی در فاصله‌ی r از سیم مستقیمی که از آن شدت جریان I می‌گذرد برابر B_1 است. اگر شدت جریان نصف شود، بزرگی میدان در فاصله‌ی ۲r از سیم چند برابر حالت اول می‌شود؟

۱) $\frac{۱}{۲}$ ۲) $\frac{۱}{۸}$ ۳) $\frac{۱}{۱۶}$ ۴) $\frac{۱}{۴}$

پاسخ: گزینه ۴

$$B = ۲ \times ۱۰^{-۷} \frac{I}{r} \Rightarrow \frac{B_۲}{B_۱} = \frac{I_۲}{I_۱} \times \frac{r_۱}{r_۲} = \frac{\frac{۱}{۲}I}{I} \times \frac{r}{۲r} = \frac{۱}{۴}$$

مثال: در شکل روبه‌رو سیم‌های موازی و بلند (۱) و (۲) در یک صفحه قرار دارند. میدان مغناطیسی حاصل در چند متری سیم (۱) صفر است؟



۱) ۱
۲) ۲/۲
۳) ۲/۴
۴) ۴

پاسخ: گزینه ۴

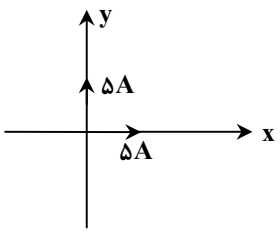
چون جریان دو سیم خلاف جهت هم است، بنابراین میدان در خارج دو سیم و نزدیک به سیم با جریان کوچک‌تر صفر می‌شود:

$$B_۱ = B_۲ \Rightarrow \frac{I_۱}{r_۱} = \frac{I_۲}{r_۲} \Rightarrow \frac{۲۰}{۳+x} = \frac{۵}{x} \Rightarrow ۴x = ۳ + x$$

x فاصله از جریان کم‌تر است، لذا:

$$\Rightarrow x = ۱m \text{ و } x + ۳ = ۴m$$

مثال: دو سیم راست و بلند بر محورهای مختصات x و y منطبق‌اند ولی یکدیگر را قطع نمی‌کنند میدان مغناطیسی حاصل از این دو سیم در نقطه‌ی (۱۰cm و ۱۰cm) M چند تسلا است؟



۱) صفر
۲) $۱۰^{-۵}$
۳) ۲×۱۰^{-۵}
۴) $\sqrt{۲} \times ۱۰^{-۵}$

پاسخ: گزینه ۱

با توجه به قانون دست راست واضح است که میدان حاصل از دو جریان در جهت‌های x و y در نقطه‌ی M در خلاف جهت هم هستند و با توجه به یکسان بودن اندازه‌ی شان، برآیند آن دو صفر است.

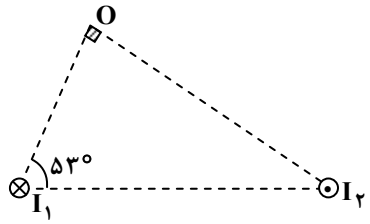
مثال: دو سیم حامل جریان‌های $I_1 = ۳۰A$ و $I_2 = ۴۰A$ مطابق شکل عمود بر صفحه‌ی کاغذ و به موازات هم قرار دارند. بزرگی شدت میدان مغناطیسی حاصل از این دو سیم در نقطه‌ی O چند گاوس و جهت آن کدام است؟ $(AB = ۱۰cm, Cos۳۷° = ۰/۸)$

۱) $\downarrow, \sqrt{۲}$

۲) $\uparrow, \sqrt{۲}$

۳) $\downarrow, \frac{\sqrt{۲}}{۲}$

۴) $\uparrow, \frac{\sqrt{۲}}{۲}$

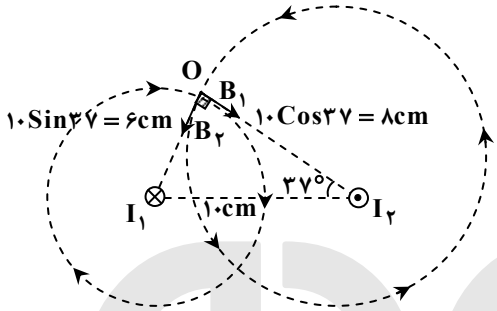


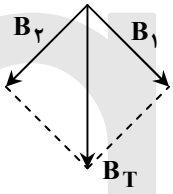
پاسخ: گزینه ۱

$$B_2 = \frac{\mu_\circ}{۲\pi} \times \frac{I_2}{r_2} = ۲\times۱۰^{-۷} \times \frac{۴۰}{۸\times۱۰^{-۲}} = ۱۰^{-۴}T = ۱G$$

$$B_1 = \frac{\mu_\circ}{۲\pi} \times \frac{I_1}{r_1} = ۲\times۱۰^{-۷} \times \frac{۳۰}{۶\times۱۰^{-۲}} = ۱۰^{-۴}T = ۱G$$

$$B_T = \sqrt{B_1^۲ + B_2^۲} = \sqrt{۲}G$$



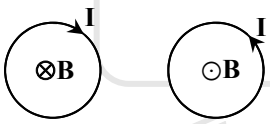


میدان مغناطیسی در مرکز پیچه (حلقه) حامل جریان الکتریکی

میدان مغناطیسی ناشی از عبور جریان الکتریکی در یک پیچه‌ی مسطح، یعنی یک حلقه که از N دور سیم نازک درست شده است در مرکز پیچه بر سطح پیچه عمود است.

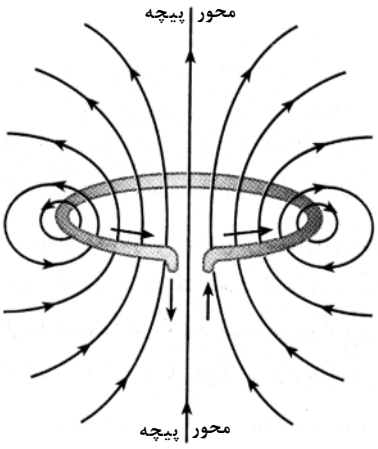
اگر شعاع پیچه برابر r و شدت جریان در آن I باشد، بزرگی میدان مغناطیسی حاصل از جریان در مرکز پیچه از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

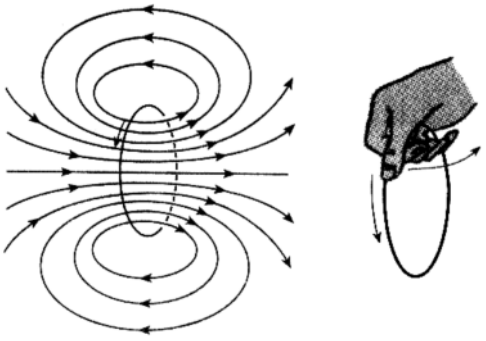
$$B = \frac{\mu_\circ NI}{۲r}$$



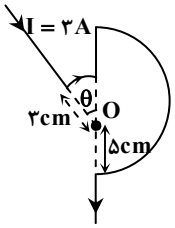
$$N = \frac{\text{طول سیم راست}}{\text{محیط هر حلقه}} = \frac{\ell}{۲\pi r} \text{ تعداد حلقه‌ها}$$

برای تعیین جهت میدان مغناطیسی می‌توان شست دست راست را در جهت چرخش جریان در حلقه قرار داد. چهار انگشت دست راست جهت میدان مغناطیسی را در مرکز حلقه نشان می‌دهد.





مثال: در شکل مقابل زاویه‌ی θ چند درجه باشد تا میدان مغناطیسی در مرکز پیچه (O) برابر ۰/۲۸ گاوس باشد؟ $(\pi \simeq ۳)$



۱) ۳۰
۲) ۴۵
۳) ۵۳
۴) ۶۰

پاسخ: گزینه ۴

حلقه‌ی ناقص را شماره‌ی (۱) و نیم حلقه را شماره‌ی (۲) می‌نامیم:

$$B_۱ + B_۲ = ۰/۲۸G = ۲/۸\times۱۰^{-۵}T$$

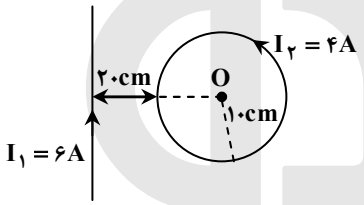
$$B_۲ = N_۲\frac{\mu_۰}{۲}\times\frac{I}{r_۲} = \frac{۶}{۲}\times۱۰^{-۷}\times\frac{۳}{۵\times۱۰^{-۲}} = ۱/۸\times۱۰^{-۵}T \Rightarrow B_۱ = ۲/۸\times۱۰^{-۵} - ۱/۸\times۱۰^{-۵} = ۱۰^{-۵}T$$

$$B_۱ = \frac{\mu_۰}{۲}\times N_۱\times\frac{I}{r_۱} = N_۱\times۶\times۱۰^{-۷}\times\frac{۳}{۳\times۱۰^{-۲}} = ۱۰^{-۵} \Rightarrow N_۱ = \frac{۱}{۶}$$ حلقه‌ی کامل

بنابراین زاویه‌ی θ برابر $\frac{۱}{۶}(۳۶۰^\circ)$ است:

$$\frac{۱}{۶}\times۳۶۰^\circ = ۶۰^\circ$$

مثال: با توجه به شکل مقابل میدان مغناطیسی حاصل از سیم و حلقه در نقطه‌ی O (مرکز حلقه) چند گاوس است؟ $(\pi \simeq ۳)$



۱) ۴×۱۰^{-۳}
۲) ۴×۱۰^{-۱}
۳) ۲×۱۰^{-۱}
۴) ۵×۱۰^{-۳}

پاسخ: گزینه ۳

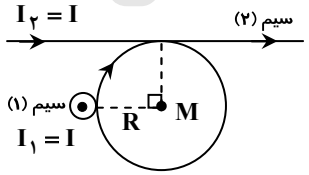
$B_۱ = \frac{\mu_۰}{۲\pi}\times\frac{I}{d} = ۲\times۱۰^{-۷}\times\frac{۶}{۳۰\times۱۰^{-۲}} = ۴\times۱۰^{-۶}T = ۴\times۱۰^{-۲}G$: میدان سیم راست در نقطه‌ی O

$B_۲ = \frac{\mu_۰ NI}{۲r} = \frac{۴\pi\times۱۰^{-۷}\times۱\times۴}{۲\times۱۰^{-۱}} = ۲۴\times۱۰^{-۶}T = ۲۴\times۱۰^{-۲}G$: میدان حلقه در نقطه‌ی O

با توجه به قانون دست راست میدان سیم راست در نقطه‌ی O درون‌سو و میدان حلقه در نقطه‌ی O برون‌سو است، بنابراین:

$$B_T = B_۲ - B_۱ = ۲۴\times۱۰^{-۲} - ۴\times۱۰^{-۲} = ۲\times۱۰^{-۱}G$$

مثال: اگر بزرگی میدان مغناطیسی حاصل از سیم (۱) در مرکز دایره (M) برحسب تسلا برابر $B_۱$ باشد، اندازه‌ی میدان مغناطیسی حاصل از حلقه و سیم (۱) در مرکز دایره چند $B_۱$ است؟ (سیم (۱)، مستقیم، عمود بر صفحه و جریان آن برون‌سو است.)

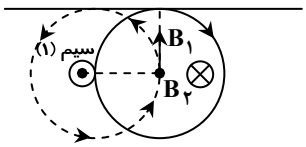


۱) $۱+\pi$
۲) $\pi-۱$
۳) $\sqrt{۱+\pi^۲}$
۴) $\sqrt{\pi^۲-۱}$

پاسخ: گزینه ۳

$$\left.\begin{array}{l} B_۱ = \frac{\mu_۰}{۲\pi}\times\frac{I}{R} : \text{میدان حاصل از سیم ۱ در مرکز حلقه} \\ B_۲ = \frac{\mu_۰}{۲}\times\frac{I}{R} : \text{میدان حاصل از پیچه در مرکز آن} \end{array}\right\} \Rightarrow B_۲ = \pi B_۱$$

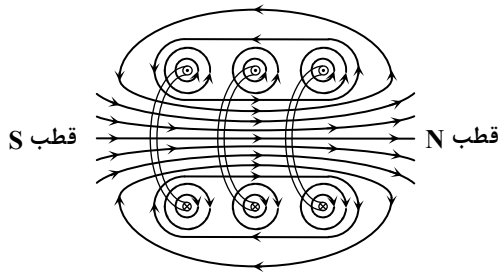
با توجه به قانون دست راست، میدان حاصل از سیم (۱) $(B_۱)$ رو به بالا و میدان حاصل از پیچه $(B_۲)$ درون‌سو است، لذا داریم:



$$B_T = \sqrt{B_۱^۲ + B_۲^۲} = \sqrt{B_۱^۲ + \pi^۲ B_۱^۲} = B_۱\sqrt{۱+\pi^۲}$$

میدان مغناطیسی حاصل از سیم‌لوله حامل جریان

سیم‌لوله از تعدادی دور سیم درست شده است که به دور یک استوانه پیچیده شده‌اند. اگر از سیم‌لوله جریان الکتریکی عبور کند، داخل و خارج سیم‌لوله میدان مغناطیسی ایجاد می‌شود.



میدان مغناطیسی یکنواخت: میدان مغناطیسی است که خطوط میدان با یکدیگر موازی و هم‌سو بوده و بزرگی میدان مغناطیسی در همه جای آن مقداری ثابت است.

ویژگی‌های میدان مغناطیسی در اطراف سیم‌لوله‌ی حامل جریان الکتریکی

۱) جهت میدان مغناطیسی در داخل سیم‌لوله در خلاف جهت میدان در خارج از آن است.

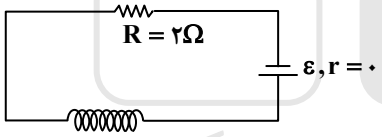
۲) میدان مغناطیسی در داخل سیم‌لوله قوی‌تر از خارج سیم‌لوله است زیرا خطوط میدان مغناطیسی در داخل سیم‌لوله بسیار متراکم‌تر از خطوط میدان مغناطیسی در خارج از آن است.

۳) اگر شعاع قاعده سیم‌لوله در مقایسه با طول سیم‌لوله کوچک باشد و نیز حلقه‌های آن خیلی به هم نزدیک باشند میدان مغناطیسی در داخل سیم‌لوله در نقاطی که از لبه‌ها دور هستند یکنواخت است و بزرگی آن درون سیم‌لوله از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$B = \frac{\mu_\circ NI}{L} \leftarrow \text{درون سیم‌لوله}$$

$L \leftarrow$ فاصله بین اولین حلقه تا آخرین حلقه (طول سیم‌لوله)

مثال: در شکل روبه‌رو توان مصرفی مقاومت R برابر ۸ وات است. اگر سیم‌لوله در هر متر ۳۰ دور حلقه داشته باشد، میدان مغناطیسی داخل سیم‌لوله و روی محور آن چند تسلا است؟ $(\mu_\circ = 4\pi \times 10^{-7}\ \frac{Tm}{A})$



۱) $2/4\pi \times 10^{+5}$

۲) $2/4\pi \times 10^{-5}$

۳) $9/6\pi \times 10^{-5}$

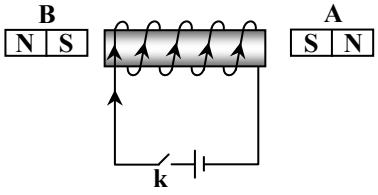
۴) $9/6\pi \times 10^{+5}$

پاسخ: گزینه ۲

$$P = RI^2 \Rightarrow 8 = 2I^2 \Rightarrow I = 2A$$

$$B = \frac{\mu_\circ NI}{L} \Rightarrow B = 4\pi \times 10^{-7} \times \frac{30 \times 2}{1} \Rightarrow B = 2/4\pi \times 10^{-5}\,T$$

مثال: در شکل زیر بعد از وصل کردن کلید k، چه نیرویی از طرف سیم‌لوله به‌ترتیب بر آهن‌رباهای A و B وارد می‌شود؟



۱) جاذبه – جاذبه

۲) جاذبه – دافعه

۳) دافعه – دافعه

۴) دافعه – جاذبه

پاسخ: گزینه ۴

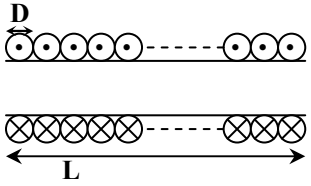
با بستن کلید با توجه به قانون دست راست، انتهای سمت راست سیم‌پیچ قطب S و انتهای سمت چپ سیم‌پیچ قطب N خواهد شد، لذا آهن‌ربای A دفع و B جذب می‌شود.

مثال: یک سیم‌لوله به‌طول یک متر از سیمی به قطر ۲mm ساخته شده است، اگر دورهای سیم بدون فاصله کنار هم پیچیده شده باشند، با عبور شدت جریان ۲۵A از سیم‌لوله اندازه‌ی میدان مغناطیسی در داخل آن چند واحد SI می‌شود؟

۱) $۵\pi\times۱۰^{-۳}$ ۲) $۲/۵\pi\times۱۰^{-۲}$ ۳) $\pi\times۱۰^{-۳}$ ۴) $۲\pi\times۱۰^{-۲}$

پاسخ: گزینه‌ی ۱

چون سیم‌ها بدون فاصله به هم پیچیده شده‌اند، برای طول سیم داریم:



$$B=\frac{\mu_{\circ}NI}{L},\ L=ND \quad \text{قطر سیم}$$

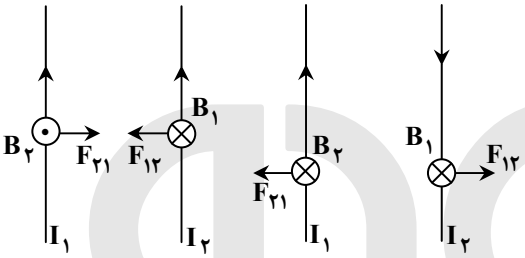
$$\Rightarrow B=\frac{\mu_{\circ}NI}{ND}=\frac{\mu_{\circ}I}{D}=\frac{۴\pi\times۱۰^{-۷}\times۲۵}{۲\times۱۰^{-۳}}=۵\pi\times۱۰^{-۳}\,T$$

تذکر: بار الکتریکی ساکن فقط در اطراف خود میدان الکتریکی به‌وجود می‌آورد اما بار الکتریکی متحرک علاوه بر آن، میدان مغناطیسی نیز به‌وجود می‌آورد.

نیروی بین سیم‌های موازی حامل جریان الکتریکی

الف) اگر از دو سیم جریان همسو عبور کند همدیگر را می‌ربایند.

ب) اگر از دو سیم جریان‌هایی غیرهمسو عبور کند همدیگر را می‌رانند.



$$F_{۱۲}=F_{۲۱}=\frac{\mu_{\circ}I_۱I_۲}{۲\pi d}L=۲\times۱۰^{-۷}\times\frac{I_۱I_۲L}{d}$$

فاصله دو سیم موازی (m)

طول مشترک دو سیم موازی (m)

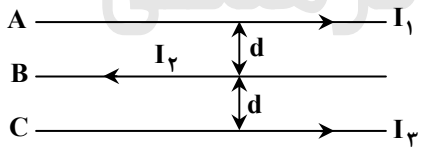
مثال: از دو سیم بلند و موازی A و B جریان‌های I_A و $I_B=۰/۶I_A$ عبور می‌کند. اندازه‌ی نیرویی که بر هر متر از سیم A از طرف سیم B وارد می‌شود، چند برابر اندازه‌ی نیرویی است که بر هر متر از سیم B از طرف سیم A وارد می‌شود؟

۱) ۰/۵ ۲) ۲ ۳) ۱ ۴) ۲/۵

پاسخ: گزینه ۳

اگر کمی حواستان را جمع کنید، متوجه می‌شوید که می‌بایست یادی از قانون سوم نیوتون بکنید، بنابراین گزینه‌ی ۳ پاسخ صحیح است.

مثال: در شکل زیر نیروی وارد بر واحد طول سیم C از طرف سیم A، $\frac{۲}{۳}$ نیروی وارد بر واحد طول سیم C از طرف سیم B است. نسبت $\frac{I_۱}{I_۲}$ کدام است؟



۱) $\frac{۳}{۴}$

۲) $\frac{۴}{۳}$

۳) $\frac{۳}{۲}$

۴) $\frac{۲}{۳}$

پاسخ: گزینه ۲

$$\left.\begin{aligned}F_{CA}&=\frac{\mu_{\circ}}{۲\pi}\times\frac{I_۳I_۱\times L}{d_{AC}}\\ F_{BC}&=\frac{\mu_{\circ}}{۲\pi}\times\frac{I_۲I_۳}{d_{BC}}\times L\end{aligned}\right\}\Rightarrow\frac{F_{CA}}{F_{BC}}=\frac{I_۱}{I_۲}\times\frac{d_{BC}}{d_{AC}}\Rightarrow\frac{۲}{۳}=\frac{I_۱}{I_۲}\times\frac{d}{۲d}\Rightarrow\frac{I_۱}{I_۲}=\frac{۴}{۳}$$