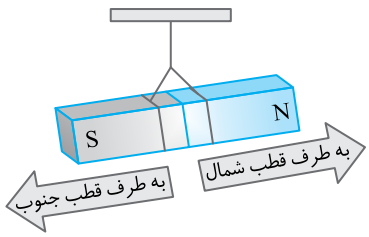
۳ میدان مغناطیسی و نیروهای مغناطیسی

نمی‌دانم تاکنون به نوار سفیدی که دور تا دور در یخچال قرار گرفته است و در یخچال را بدون قفل و بست، به بدنه می‌چسباند، دقت کرده‌اید یـا نـه؟ اما من به یاد دارم که در دوران دبسـتان، در محله‌ی مـا یک تعمیرکار یخچال بود که این نوار سـفیدرنگ را از در یخچال‌های کهنه و بلااسـتفاده جدا می‌کرد و از درون آن یک تیغه‌ی سـیاه‌رنگ بیرون می‌کشید، آن را به تکه‌های کوچک تقسیم می‌کرد و به ما می‌فروخت و لذت ما بازی کردن با این تکه‌های عجیب بود، زیرا هم‌دیگر را جذب می‌کردند و اگر آن‌ها را به حالتی خلاف حالت رباییش به هم نزدیک می‌کردیم، یک‌دیگر را می‌راندند. روی یک میز یک قطعه را قرار می‌دادیم و دیگری را به آن نزدیک می‌کردیم و از دور شدن قطعه‌ی روی میز یا نزدیک شدن آن خیلی کِیف می‌کردیم. این بازی کودکانه، اولین آشنایی ما با خاصیت رباییش و رانش آهن‌ربا بود.

آهن‌ربا – قطب‌های آهن‌ربا

سنگ طبیعی آهن (Fe_3O_4، مگنتیت)، دارای خاصیتی است که می‌تواند ذرات آهن، نیکل و کبالت را برباید. به همین علت آن را آهن‌ربا گویند.

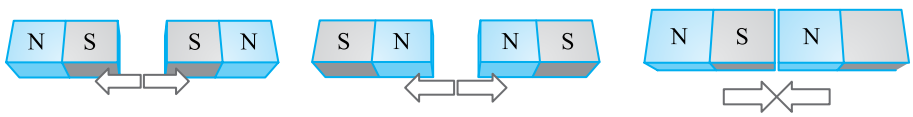
شناخت آهن‌ربا (مغناطیس) به حدود ۲۵۰۰ سال پیش باز می‌گردد.



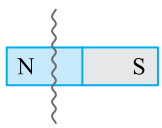
قطب‌هـای آهن‌ربا: در هر آهن‌ربا دو مکان وجـود دارد که خاصیت آهن‌ربایی در آن‌ها از جاهای دیگر آهن‌ربا قوی‌تر است. این مکان‌ها را قطب‌های آهن‌ربا گویند.

اگر یک آهن‌ربا را مطابق شـکل بیاویزیم، به گونه‌ای که بتواند آزادانه بچرخد، در راسـتای شمال و جنوب زمین قرار می‌گیرد. سـمت رو به شـمال را **قطب شـمال‌یاب یا N** و سمت رو به جنوب را **قطب جنوب‌یاب یا S** گویند.

قطب‌های همنام یک‌دیگر را می‌رانند و قطب‌های ناهمنام یک‌دیگر را می‌ربایند.



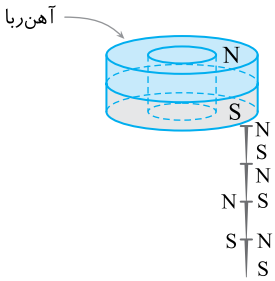
پرسش: اگر آهن‌ربای شکل روبه‌رو را از ناحیه‌ای که نشان داده‌ایم، ببریم، دو قطعه‌ی حاصل چگونه خواهند بود؟



پاسخ: دو قطعه‌ی حاصل مطابق شکل هر کدام یک آهن‌ربای کامل با قطب‌های N و S خواهند بود و اگر تقسیم کردن را ادامه دهیم، همواره دو آهن‌ربای کامل حاصل می‌شود و هرگز یک قطب تنها یا به عبارت بهتر **تک‌قطبی مغناطیسی** ایجاد نمی‌شود. بنابراین اگر تقسیمات را تا مولکول و اتم ماده ادامه دهیم، آن مولکول (یا اتم) دارای دو قطب N و S بوده و یک آهن‌ربای کامل است که به آن **دوقطبی مغناطیسی** می‌گویند و آن را با یک فلش $\overset{S}{\longrightarrow}\overset{N}{}$ نمایش می‌دهند.



القای مغناطیسی

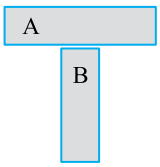


در دوران کودکی ما، ظرفی برای نگهداری سـوزن ته‌گرد درسـت شـده بود که در درب آن یک سوراخ بزرگ بود اما وقتی ظرف را وارونه می‌کردیم، سوزن‌ها از آن بیرون نمی‌ریختند، بلکه به دور تا دور سوراخ می‌چسبیدند. چرا که یک آهن‌ربا در دهانه‌ی سوراخ جاسازی شده بود. اما کار ما چه بود؟ ما درب را باز می‌کردیم و سـوزن‌ها را بیرون می‌ریختیم و مطابق شـکل سوزن ته‌گردها را به آهن‌ربا به دنبال هم وصل می‌کردیم و شخصی که می‌توانست تعداد سوزن بیش‌تری را به آهن‌ربا بچسباند، برنده‌ی بازی ساده‌ی ما بود. اما علت این پدیده چیست؟

بـا نزدیـک کردن سـوزن‌های آهنی به آهن‌ربا هر کدام از این سـوزن‌ها خـود آهن‌ربایی در جهت آهن‌ربای اصلی می‌شـوند. در واقع خاصیت مغناطیسی در سوزن‌ها القا می‌شود. این پدیده را **القای مغناطیسی** می‌گویند.

نکتـــه: القای مغناطیسی همواره به گونه‌ای خواهد بود که قطعه‌های آهنی جذب آهن‌ربای اصلی می‌شوند.

پرسش: فرض کنید دو میله‌ی کاملاً مشابه یکی آهن‌ربا و دیگری از جنس آهن در اختیار دارید. چگونه بدون هیچ وسیله‌ی اضافی می‌توان آهن‌ربا را مشخص کرد؟



پاسخ: میله‌ی آهن‌ربا دارای دو قطب است و خاصیت مغناطیسی در قطب‌ها بیش‌تر است و اگر آهن‌ربا را از قطبین به میله‌ی آهنی نزدیک کنیم، ربایش قوی خواهد بود، از این رو دو میله را مطابق شکل روبه‌رو قرار می‌دهیم. اگر ربایش قوی باشد، میله‌ی B آهن‌ربا و میله‌ی A آهن است و اگر ربایش ضعیف باشد، میله‌ی B آهن و میله‌ی A آهن‌ربا است.

میدان مغناطیسی

در فضای اطراف هر آهن‌ربا، خاصیتی وجود دارد که می‌تواند بر اجسـام مغناطیسـی دیگر نیرو وارد کند. این خاصیت فضا را **میدان مغناطیسـی** گویند.[1] میدان مغناطیسی کمیتی برداری است و آن را با حرف $\vec{B}$ نمایش می‌دهند. اگر یک عقربه‌ی مغناطیسی را در مجاورت یک آهن‌ربا قرار دهیم، عقربه‌ی مغناطیسـی جهت معینی را به نمایش می‌گذارد. راسـتای میدان مغناطیسی هم‌راسـتا با عقربه‌ی مغناطیسی است و جهت میدان مغناطیسی **جهتی است که قطب N عقربه نشان می‌دهد.**

خط‌های میدان مغناطیسی

برای نمایش میدان مغناطیسی در ناحیه‌ای از فضا از خطوطی به نام خطوط میدان استفاده می‌کنیم که این خطوط با ویژگی‌های زیر رسم می‌شوند:

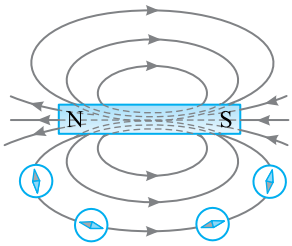
۱) خط‌های میدان از قطب N آهن‌ربا خارج و به قطب S آن وارد می‌شوند. این خط‌ها از آهن‌ربا می‌گذرند و سوی آن‌ها درون آهن‌ربا از قطب S به قطب N است.

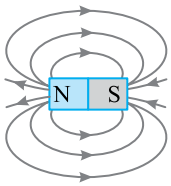
۲) بردار میدان مغناطیسـی در هر نقطـه مماس بر خط میدان در آن نقطه و جهت آن در سوی خط میدان است.

۳) تراکم این خط‌ها بیانگر بزرگی میدان مغناطیسـی اسـت و در ناحیه‌ای که میدان قوی‌تر است، خطوط متراکم‌تر رسم می‌شوند.

۴) خط‌های میدان خط‌های بسته‌ای هستند.

۵) خط‌های میدان یک‌دیگر را قطع نمی‌کنند.

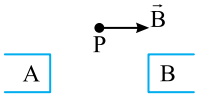




پرسش: بسته بودن خط‌های میدان مغناطیسی نشانگر چیست؟

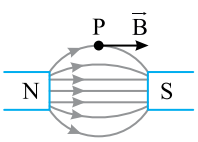
پاسخ: بسته بودن خط‌های میدان مغناطیسی بیان دیگری از این واقعیت است که در طبیعت تک‌قطبی مغناطیسی وجود ندارد.

تست ۱: در شـکل روبه‌رو، در نقطه‌ی P روی عمود منصف خط واصل دو آهن‌ربا، بردار میدان مغناطیسـی رسم شده است. مکان‌های A و B به ترتیب کدام قطب آهن‌ربا هستند؟



۱) N ، S
۲) S ، N
۳) S ، S
۴) N ، N

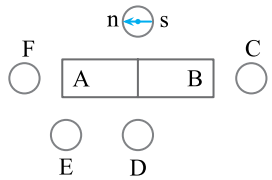
پاسخ: با توجه به شـکل روبه‌رو و این که بردار میدان مغناطیسـی بر خط‌های میدان مماس و جهت آن در جهت خطوط میدان است، مشخص می‌شود که مکان A، قطب N و مکان B، قطب S است.



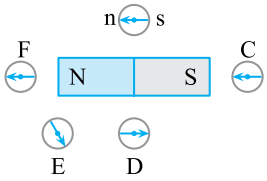
بنابراین گزینه‌ی (۲) درست است.

۱- در ادامه خواهیم گفت که میدان مغناطیسی بر سیم‌های حامل جریان نیز نیرو وارد می‌کند.

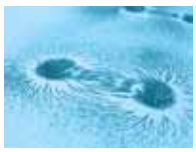
پرسش: در شکل روبه‌رو یک آهن‌ربا با تعدادی عقربه‌ی مغناطیسی نشان داده شده است. مکان‌های A و B کدام قطب آهن‌ربا بوده و جهت‌گیری عقربه‌ها را در دیگر عقربه‌های مغناطیسی نمایش دهید.



پاسخ: با توجه به جهت‌گیری عقربه‌ی مغناطیسی بالای آهن‌ربا، باید مکان A قطب S آهن‌ربا باشد که قطب N عقربه به سوی آن است و مکان B، قطب N آهن‌ربا باشد. در این صورت عقربه‌ها در مکان‌های دیگر نیز به شکل روبه‌رو خواهند بود.



پرسش: آیا می‌توانید آزمایش ساده‌ای برای مشاهده‌ی طرح خط‌های میدان مغناطیسی طراحی کنید؟



پاسخ: یک آهن‌ربای میله‌ای را روی یک سطح افقی مانند میز قرار می‌دهیم. یک صفحه‌ی مقوایی ترجیحاً با رنگ سفید را روی آهن‌ربا می‌گذاریم. مقداری براده‌ی آهن را روی مقوا می‌ریزیم. سپس ضربه‌های ملایمی به مقوا وارد می‌کنیم تا این که براده‌های آهن شکل منظمی پیدا کنند.

پرسش: چرا باید ضربه‌های ملایمی به مقوا وارد کنیم؟

پاسخ: با این ضربه‌ها براده‌ها کمی از سطح مقوا جدا شده و می‌توانند آزادانه تحت تأثیر میدان مغناطیسی بچرخند و در راستای خطوط میدان قرار گیرند. زیرا وقتی روی سطح مقوا قرار دارند، اصطکاک مانع چرخش آن‌ها در جهت میدان مغناطیسی آهن‌ربا می‌شود.

پرسش: علت چرخش براده‌های آهن چیست؟

پاسخ: براده‌های آهن در اثر القای مغناطیسی، آهن‌ربا شده و شبیه یک عقربه‌ی مغناطیسی در میدان آهن‌ربا چرخیده و در راستای میدان قرار می‌گیرند. به این ترتیب این براده‌ها می‌توانند طرح خط‌های میدان را به نمایش بگذارند.

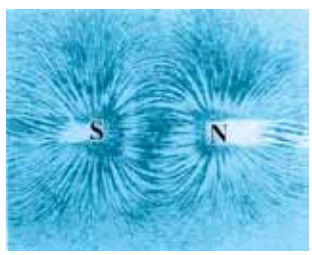
پرسش: اگر آزمایش بیان شده را در دو حالت زیر انجام دهیم، طرح خط‌های میدان که توسط براده‌ها به نمایش گذارده می‌شود، چگونه است؟

الف) N S N S

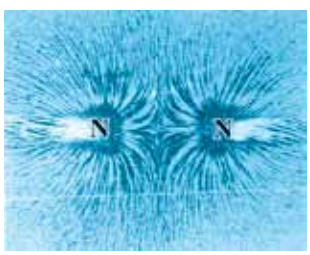
ب) N S S N

پاسخ:

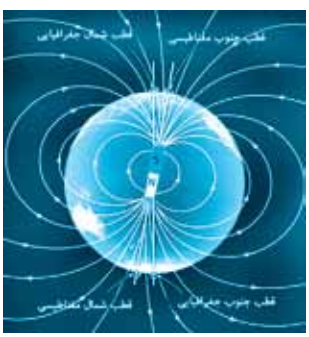
الف)



ب)



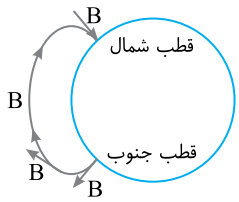
میدان مغناطیسی زمین



زمین یک آهن‌ربای بزرگ است که قطب S آن در شمال و قطب N آن در جنوب قرار دارد. قطب‌های مغناطیسی زمین دقیقاً در محل قطب‌های جغرافیایی آن قرار ندارند و فاصله‌ی نسبتاً زیادی حدود ۱۸۰۰km بین قطب S مغناطیسی زمین و قطب شمال جغرافیایی زمین وجود دارد. زاویه‌ی بین امتداد محور مغناطیسی و محور زمین در هر مکان را زاویه‌ی **میل مغناطیسی** گویند. مقدار زاویه‌ی میل مغناطیسی به محل اندازه‌گیری بستگی دارد. شواهد زمین‌شناختی نشان می‌دهد که جهت این میدان در بازه‌های زمانی نامنظم 10^4 تا 10^8 سال به‌طور کامل وارونه می‌شود.

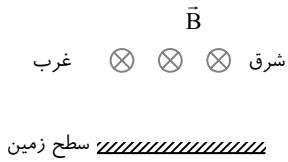
روشی برای رسم میدان مغناطیسی زمین در حل مسائل

اگر فقط یکی از خط‌های میدان مغناطیسی زمین را رسم کنیم مشاهده می‌کنیم که بردار میدان مغناطیسی زمین نزدیک استوا، موازی سطح زمین و نزدیک قطب‌ها، عمود بر سطح زمین است.



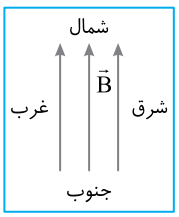
در مسائلی که بزرگی میدان مغناطیسی زمین داده می‌شود عموماً آن را موازی سطح زمین می‌گیریم و طریقه‌ی رسم آن بستگی به نوع دید ناظر دارد.
به رسم‌های زیر توجه کنید:

الف) از دید ناظری که روی زمین (رو به شمال) ایستاده سمت چپ او غرب و سمت راست او شرق است. روبه‌روی او یعنی پشت صفحه‌ی کاغذ، شمال و پشت سر او جنوب است، پس نمی‌توان شمال و جنوب را در صفحه‌ی کاغذ نوشت. میدان مغناطیسی زمین که از جنوب به شمال است در این رسم درونسو رسم می‌شود. (شکل ۱)



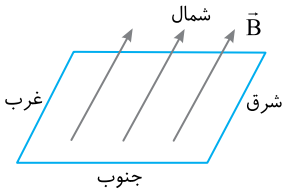
شکل (۱)

ب) از دید ناظری که از بالای سطح زمین، به زمین می‌نگرد چهار جهت جغرافیایی مشاهده و در صفحه‌ی کاغذ، نوشته می‌شود. در این حالت بردار B کاملاً از جنوب به شمال مشاهده و رسم می‌شود. (شکل ۲)



شکل (۲)

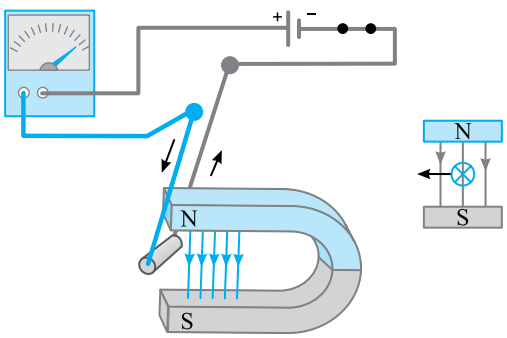
پ) می‌توانیم شکل را سه‌بعدی رسم کنیم. (شکل ۳)



شکل (۳)

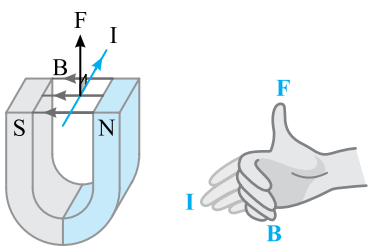
نیروی مغناطیسی وارد بر رسانای حامل جریان

هرگاه یک سیم رسانای حامل جریان در یک میدان مغناطیسی قرار گیرد، توسط میدان بر آن نیرو وارد می‌شود. آزمایش نشان می‌دهد که این نیرو همواره بر راستای میدان و سیم حامل جریان عمود است.



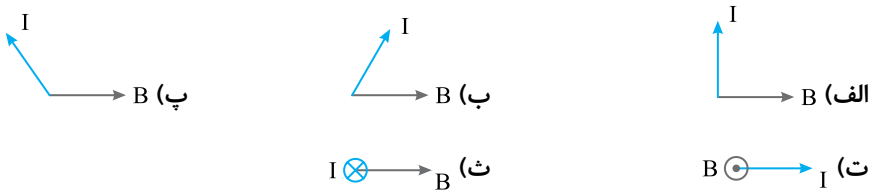
قاعده‌ی دست راست

چهار انگشت دست راست را در حالی که باز است در جهت جریان به گونه‌ای قرار می‌دهیم که با خم کردن چهار انگشت، انگشت‌ها در جهت میدان قرار گیرند. در این صورت انگشت شست جهت نیروی وارد بر سیم را نشان می‌دهد.

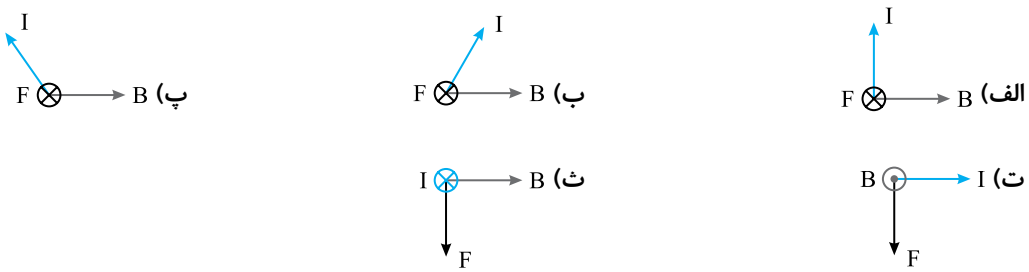


نکته‌ای درباره‌ی رسم جریان یا بردارهای میدان و نیرو:
در رسم جریان یا بردارهای میدان مغناطیسی و نیرو، اگر عمود بر صفحه و رو به داخل باشند، آن‌ها را با علامت ⊗ نمایش داده و درونسو گویند و اگر عمود بر صفحه و رو به بیرون باشند، آن‌ها را با علامت ⊙ نمایش داده و برونسو گویند.

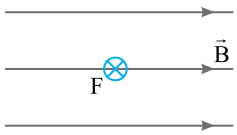
مسأله ۱ در هر یک از شکل‌های داده شده، جهت نیروی وارد بر سیم را مشخص کنید.



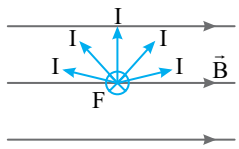
راه‌حل: با توجه به قاعده‌ی دست راست:



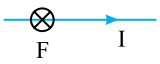
مسأله ۲ به یک سیم در میدان مغناطیسی B نیروی F درونسو وارد می‌شود. راستای سیم و سوی جریان چگونه می‌تواند باشد؟



راه‌حل: بر تمام سیم‌هایی که در شکل روبه‌رو نشان داده شده است، نیروی درونسو وارد می‌شود و لزوماً نباید سیم I بر میدان B عمود باشد.



تست ۲: مطابق شکل، یک سیم حامل جریان در یک میدان مغناطیسی قرار دارد و از طرف میدان نیرویی درونسو بر آن وارد می‌شود. کدام گزینه جهت میدان مغناطیسی را درست نشان می‌دهد؟



۱) ↓ ۲) ↘

۳) ↙ ۴) هر سه مورد

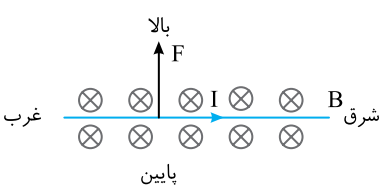
پاسخ: با توجه به قاعده‌ی دست راست، تمام بردارهای رو به پایین میدان که با سیم حامل جریان، زاویه‌ی بین صفر تا 180° می‌سازند، بر سیم نیروی درونسو وارد می‌کنند. بنابراین گزینه‌ی (۴) درست است.

تست ۳: از یک سیم راست و افقی جریان I در جهت شرق می‌گذرد. نیرویی که توسط میدان مغناطیسی زمین بر سیم وارد می‌شود، به کدام جهت است؟

۱) شمال ۲) جنوب

۳) بالا ۴) پایین

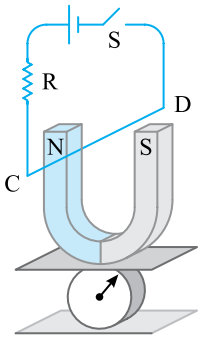
پاسخ: جهت میدان مغناطیسی زمین از جنوب به شمال است. اگر دست راست را باز کنیم و چهار انگشت را در سوی شرق (در جهت جریان) قرار دهیم به گونه‌ای که کف دست رو به شمال باشد (در جهت $\vec{B}$)، انگشت شست رو به بالا خواهد بود. اگر بخواهیم شکل رسم کنیم، جهت میدان را درونسو یعنی رو به شمال نشان می‌دهیم.



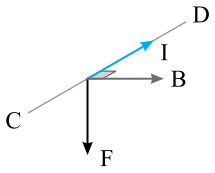
بنابراین گزینه‌ی (۳) درست است.

نکته: شما می‌توانید روبه‌روی خود را شمال، پشت سر خود را جنوب، سمت راست را شرق و سمت چپ را غرب در نظر بگیرید.

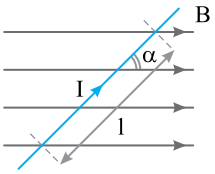
مسأله ۳ در شکل روبه‌رو، یک آهن‌ربای نعلی‌شکل روی یک نیروسنج قرار دارد و نیروسنج وزن آهن‌ربا را W نشان می‌دهد. با وصل کلید S، در عددی که نیروسنج نشان می‌دهد، چه تغییری حاصل می‌شود؟



راه‌حل: با وصل کلید S ، جریان از C به D برقرار شده و بنا به قاعده‌ی دست راست، نیرویی که توسط میدان مغناطیسی آهن‌ربا بر سیم حامل جریان وارد می‌شود، رو به پایین خواهد بود. بنا به قانون سوم نیوتون، سیم بر آهن‌ربا همان نیرو را رو به بالا وارد می‌کند و نیروسنج مقدار $W-F$ را نشان می‌دهد که از وزن آهن‌ربا کم‌تر است.



عامل‌های مؤثر بر نیروی مغناطیسی وارد بر رسانای حامل جریان



نیرویی که توسط میدان بر سیم حامل جریان وارد می‌شود، از رابطه‌ی مقابل پیروی می‌کند: $F=IlB\sin\alpha$

که در آن l بخشی از سیم حامل جریان است که در میدان مغناطیسی قرار دارد، I جریان گذرنده از سیم، B میدان مغناطیسی خارجی است که سیم در آن قرار دارد و α زاویه‌ی بین جهت جریان و میدان مغناطیسی است.

نکته: اگر سیم حامل جریان در راستای میدان قرار گیرد $(\alpha=0$ یا $\alpha=\pi)$، نیرویی بر سیم وارد نمی‌شود.

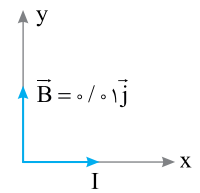
نکته: بیشینه نیروی وارد بر سیم هنگامی است که سیم عمود بر خط‌های میدان مغناطیسی قرار دارد: $\alpha=\frac{\pi}{2}\Rightarrow F_{max}=IlB$

در این صورت $B=\frac{F_{max}}{Il}$ است و می‌توان به کمک آن یکای میدان مغناطیسی را تعریف کرد. یکای میدان مغناطیسی در SI تسلا (T) نام دارد.

تعریف یکای میدان مغناطیسی: یک تسلا، بزرگی میدان مغناطیسی است که هرگاه سیمی به طول یک متر، حامل جریان ۱A عمود بر میدان در آن قرار گیرد، بر سیم نیرویی برابر یک نیوتون وارد شود.

یکای فرعی گاؤس، یکای دیگر میدان مغناطیسی است که در مسائل عملی کاربرد دارد: $1G=10^{-4}T$

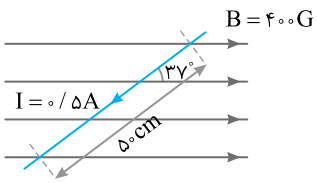
مسأله ۴ یک سیم راست در امتداد محور xها قرار دارد و از آن جریان ۲A در جهت مثبت محور xها می‌گذرد. ۲ متر از طول سیم در میدان مغناطیسی یکنواخت $B=0/01\vec{j}$ قرار دارد (یکاها در SI). بزرگی نیروی وارد بر سیم را بیابید.

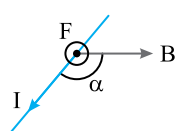


راه‌حل: مطابق شکل جریان در جهت محور xها و میدان در جهت محور yها بوده و بر هم عمود هستند:

$$\begin{cases} F=IlB\sin\alpha \\ \alpha=\frac{\pi}{2}\Rightarrow\sin\alpha=1 \end{cases}\Rightarrow F=2\times2\times0/01=0/04\ N$$

مسأله ۵ در شکل روبه‌رو، نیروی وارد بر سیم حامل جریان چند نیوتون و در چه جهتی است؟ $(\sin37^\circ=0/6,\cos37^\circ=0/8)$

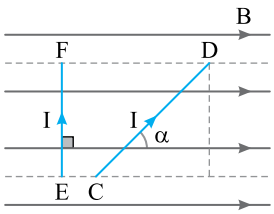




راه‌حل: بنا به قاعده‌ی دست راست، نیروی وارد بر سیم برونسو بوده و اندازه‌ی آن برابر است با:

$$F=IlB\sin\alpha=0/5\times0/5\times400\times10^{-4}\times\sin(\pi-37^\circ)\Rightarrow F=10^{-2}\sin37^\circ$$

$$\Rightarrow F=6\times10^{-3}\ N$$



مسأله ۶ **در شکل روبه‌رو نیروی وارد بر دو سیم EF و CD که دارای جریان یکسان و در میدان مغناطیسی یکنواخت B هستند را با هم مقایسه کنید.**

راه‌حل: نیروی وارد بر سیم EF برابر است با:

$$F_{EF}=I\times(EF)\times B\times\sin 90^\circ \Rightarrow F_{EF}=I\times(EF)\times B$$

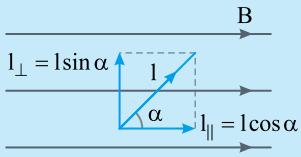
نیروی وارد بر سیم CD برابر است با:

$$F_{CD}=I\times(CD)\times B\times\sin\alpha=I\times B\times(CD)\times\sin\alpha$$

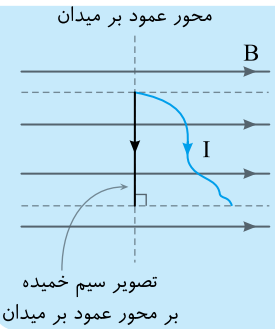
با توجه به شکل، $CD\times\sin\alpha$ برابر EF است، بنابراین: $F_{CD}=I\times B\times(EF)$

در این صورت نیروی وارد بر سیم CD برابر نیروی وارد بر سیم EF است.

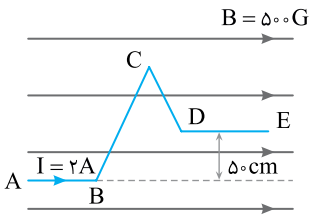
نتیجه نیروی وارد بر سیم حامل جریان به طول l برابر نیروی وارد بر تصویر سیم بر راستای عمود بر میدان است. یعنی سیم را به دو مؤلفه یکی موازی میدان و دیگری عمود بر میدان تجزیه می‌کنیم. بر مؤلفه‌ی موازی میدان نیرویی وارد نمی‌شود و نیروی وارد بر مؤلفه‌ی عمود بر میدان $(l_\perp)$، همان نیروی وارد بر سیم است.



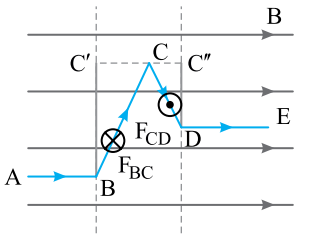
نتیجه اگر یک سیم شکسته یا سیم خمیده‌ی حامل جریان مطابق شکل در یک میدان مغناطیسی قرار بگیرد، کافی است آن را بر محور عمود بر میدان تصویر کرده، نیروی وارد بر این تصویر را به‌دست بیاوریم.



مسأله ۷ **در شکل روبه‌رو، برآیند نیروی وارد بر سیم ABCDE چند نیوتون است؟**



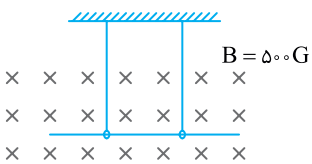
راه‌حل: سیم‌های AB و DE موازی میدان مغناطیسی B هستند و نیروی وارد بر آن‌ها صفر است. تصویر سیم‌های BC و CD بر راستای عمود بر میدان، به ترتیب برابر BC' و $C''D$ است. در این صورت:

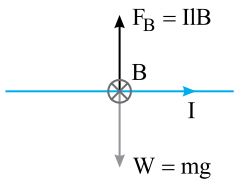


$$\begin{cases} \text{درون‌سو } F_{BC}=I\times(BC')\times B \\ \text{برون‌سو } F_{CD}=I\times(C''D)\times B \end{cases} \Rightarrow \sum F=F_{BC}-F_{CD}=I\times B\times(\underbrace{BC'-C''D}_{0/5\,m})$$

$$\Rightarrow \sum F=2\times 5\times 10^{-2}\times 0/5 \Rightarrow \sum F=0/05\ N$$

مسأله ۸ **یک سیم حامل جریان به جرم ۱۰ گرم و طول ۲ متر در یک میدان مغناطیسی یکنواخت ۵۰۰ گاؤسی مطابق شکل از دو ریسمان آویزان است. جریان سیم چند آمپر و در کدام جهت باشد تا کشش هر ریسمان صفر شود؟** $\left(g=10\frac{N}{kg}\right)$



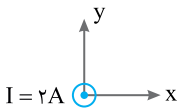


راه‌حل: برای آن که کشش ریسمان‌ها صفر شود، باید نیرویی که میدان مغناطیسی بر سیم وارد می‌کند، برابر نیروی وزن سیم و رو به بالا باشد، پس بنا به قاعده‌ی دست راست، باید جریان از چپ به راست باشد و مقدار آن برابر است با:

$$F_B=W\Rightarrow I\times 2\times 500\times 10^{-4}=0/01\times 10\Rightarrow I=2\ A$$

حل چند مسأله‌ی خاص

مسأله ۹ **در شکل روبه‌رو سیم راست حامل جریان ۳A به طول ۵۰cm در میدان مغناطیسی یکنواخت $\vec{B}=۰/۰۳\vec{i}+۰/۰۴\vec{j}$ قرار دارد. بردار نیروی وارد بر آن را بر حسب $\vec{i}$ و $\vec{j}$ بیابید.**



راه‌حل: اندازه‌ی نیرویی که از طرف مؤلفه‌ی x میدان بر سیم حامل جریان وارد می‌شود را به‌دست می‌آوریم:

$$F=IlB\sin\alpha\Rightarrow F=۳\times۰/۵\times۰/۰۳\times\sin۹۰^\circ\Rightarrow F=۰/۰۴۵\ N$$

این نیرو بنا به قاعده‌ی دست راست در جهت محور yها است، یعنی $(\vec{F}_y=+۰/۰۴۵\vec{j})$. اندازه‌ی نیرویی که از طرف مؤلفه‌ی y میدان بر سیم حامل جریان وارد می‌شود را نیز به‌دست می‌آوریم:

$$F=IlB\sin\alpha\Rightarrow F=۳\times۰/۵\times۰/۰۴\Rightarrow F=۰/۰۶\ N$$

این نیرو بنا به قاعده‌ی دست راست در خلاف جهت محور xها است، یعنی $\vec{F}_x=-۰/۰۶\vec{i}$ است، بنابراین:

$$\vec{F}=-۰/۰۶\vec{i}+۰/۰۴۵\vec{j}(N)$$

مسأله ۱۰ **از یک سیم که بر محور z منطبق است، جریان $I=۵A$ در جهت منفی محور می‌گذرد. نیروی وارد بر ۱۰سانتی‌متر از سیم را در میدان‌های مغناطیسی بیان شده حساب کنید. (یکاها در SI)**

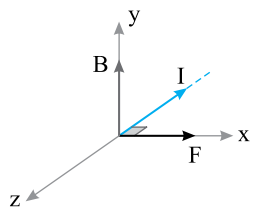
الف) $\vec{B}=۰/۵\vec{j}$ **ب)** $\vec{B}=۰/۵\vec{i}$ **پ)** $\vec{B}=۰/۴\vec{k}$ **($\vec{k}$ بردار یکه در امتداد محور zها است.)**

راه‌حل:

الف) نیروی وارد بر سیم برابر است با: $F=IlB\sin\alpha\Rightarrow F=۵\times۰/۱\times۰/۵\times\sin۹۰^\circ=۰/۲۵N$

این نیرو بنا به قاعده دست راست در جهت مثبت محور xها است (شکل الف)، بنابراین:

$$\vec{F}=۰/۲۵\vec{i}$$



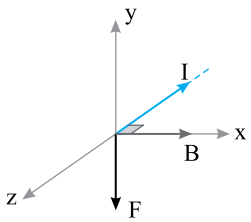
شکل (الف)

ب) $F=IlB\sin\alpha\Rightarrow F=۵\times۰/۱\times۰/۵=۰/۲۵N$

بنا به قانون دست راست این نیرو در جهت منفی محور yها است (شکل ب)، بنابراین:

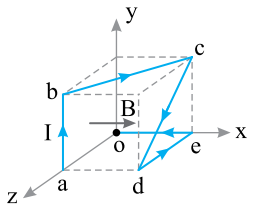
$$\vec{F}=-۰/۲۵\vec{j}$$

پ) سیم حامل جریان در راستای میدان مغناطیسی است و نیروی وارد بر آن صفر است.

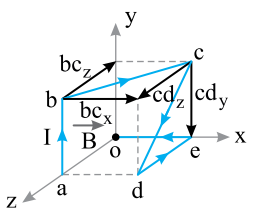


شکل (ب)

مسأله ۱۱ **هر ضلع مکعب شکل روبه‌رو ۱۰cm است و تمام مکعب در میدان یکنواختی به بزرگی ۰/۴T که در جهت محور x است، قرار دارد و از سیم abcdeo جریان ۲A در جهت نشان داده شده می‌گذرد. برآیند نیروی وارد بر سیم abcdeo را بیابید.**



راه‌حل: بر سیم eo که هم‌راستای میدان B است، نیرویی وارد نمی‌شود. سیم‌های bc و cd را تجزیه می‌کنیم. بنا به قاعده‌ی دست راست نیروی وارد بر مؤلفه‌ی bc_z و نیروی وارد بر مؤلفه‌ی cd_z در خلاف جهت هم هستند و یک‌دیگر را خنثی می‌کنند.



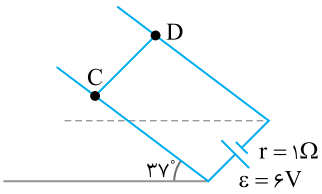
نیروی وارد بر مؤلفه‌ی cd_y و نیروی وارد بر سیم ab نیز بنا به قاعده‌ی دست راست در خلاف جهت هم هستند و یک‌دیگر را خنثی می‌کنند.

مؤلفه‌ی bc_x هم‌راستا با میدان مغناطیسی و نیروی وارد بر آن صفر است. بنابراین فقط نیروی وارد بر سیم de باقی می‌ماند:

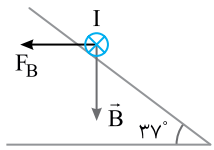
$$F=IlB\sin\alpha\Rightarrow F=۲\times۰/۱\times۰/۴\sin۹۰\Rightarrow F=۰/۰۸N$$

این نیرو بنا به قاعده‌ی دست راست، در خلاف جهت محور yها است، بنابراین $\vec{F}=-۰/۰۸\vec{j}$ است.

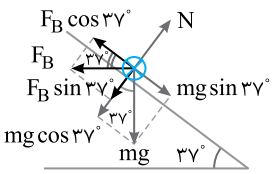
مسأله ۱۲ **در شکل روبه‌رو سیم رسانای CD که دارای مقاومت $5\,\Omega$ است، می‌تواند روی یک مدار U شکل بدون اصطکاک به پایین بلغزد. طول سیم $60\,cm$ است و مجموعه در یک میدان مغناطیسی یکنواخت قائم به بزرگی ۴۰۰ گاؤس قرار دارد. اگر سیم CD ساکن بماند، جرم سیم CD و جهت میدان مغناطیسی را معین کنید.** $(\sin 37^\circ = 0/6\ ,\ g = 10\frac{N}{kg})$



راه‌حل: بر سیم نیروی عمودی تکیه‌گاه (N)، نیروی وزن (mg) و نیروی میدان مغناطیسی (F_B) وارد می‌شود. مؤلفه‌ی $mg\sin\alpha$ می‌خواهد سیم را به پایین بلغزاند، بنابراین مؤلفه‌ای از F_B باید به موازات سطح شیبدار و رو به بالا باشد تا $mg\sin\alpha$ را خنثی کرده، سیم ساکن بماند. در این صورت نیروی F_B باید به سمت چپ باشد و بنا به قاعده‌ی دست راست جهت میدان باید رو به پایین باشد.



حال نیروهای وارد بر سیم را رسم می‌کنیم. با توجه به پایانه‌های باتری جریان از C به D و اگر سطح شیبدار را از کنار نگاه کنیم مطابق شکل روبه‌رو، جریان درونسو است. ابتدا جریان را حساب می‌کنیم:



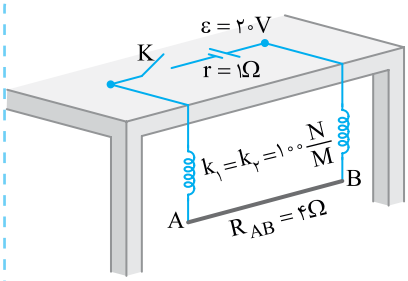
$$I=\frac{\varepsilon}{R+r}\Rightarrow I=\frac{6}{5+1}=1\,A$$

جسم ساکن است، بنابراین:

$$\sum\vec{F}=0\Rightarrow F_B\cos 37^\circ=mg\sin 37^\circ\Rightarrow (IlB)\cos 37^\circ=mg\sin 37^\circ$$

$$1\times 0/6\times 400\times 10^{-4}\times 0/8=m\times 10\times 0/6\Rightarrow m=3/2\times 10^{-3}\,kg$$

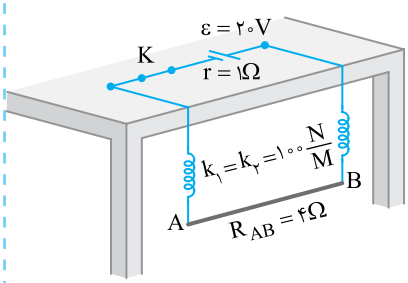
تست ۴: در شکل روبه‌رو مجموعه در یک میدان مغناطیسی قرار دارد و ساکن است. جرم میله‌ی رسانای AB، $20\,g$، مقاومت الکتریکی آن $4\,\Omega$ و طول آن $50\,cm$ و طول هر فنر $1\,mm$ افزایش یافته است. اگر کلید K بسته شود، بدون انحراف سیم AB طول هر فنر $0/5\,mm$ بیش‌تر می‌شود. حداقل مقدار میدان مغناطیسی و جهت آن کدام است؟



۱) $0/05\,T$، رو به چپ ۲) $0/25\,T$، رو به چپ

۳) $0/05\,T$، رو به راست ۴) $0/25\,T$، رو به راست

پاسخ: در ابتدا وزن سیم توسط فنرها تحمل می‌شود. بعد از وصل کلید، علاوه بر وزن سیم، نیروی مغناطیسی رو به پایین نیز به سیم وارد می‌شود که سبب افزایش بیش‌تر طول فنرها می‌شود. افزایش طول هر فنر ابتدا $1\,mm$ و پس از بسته شدن کلید $0/5\,mm$ است، از این رو:



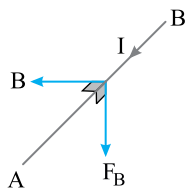
$$\begin{cases} mg=2k\Delta L_1 \\ F_B=2k\Delta L_2 \end{cases}\Rightarrow\frac{2k\Delta L_1}{2k\Delta L_2}=\frac{mg}{F_B}\Rightarrow\frac{1}{0/5}=\frac{0/02\times 10}{F_B}\Rightarrow F_B=0/1\,N$$

جریان مدار را حساب می‌کنیم:

$$I=\frac{\varepsilon}{R+r}\Rightarrow I=\frac{20}{4+1}\Rightarrow I=4\,A$$

حداقل مقدار میدان وقتی است که میدان بر سیم حامل جریان عمود باشد:

$$F=IlB\Rightarrow 0/1=4\times 0/5\times B\Rightarrow B=0/05\,T$$



نیروی وارد بر سیم توسط میدان رو به پایین است، بنابر قاعده‌ی دست راست، باید میدان رو به سمت چپ باشد.

بنابراین گزینه‌ی (۱) درست است.