به لطف خدا آلاء رایگان هست و همیشه رایگان خواهد ماند . . .

آلاء

موسسه آموزش عالی مجازی - دبیرستان دانشگاه صنعتی شریف

امام علی (علیه السلام) فرمودند: زکات دانش، آموزش به کسانی که شایسته آنند و کوشش در عمل به آن است. نهج الفصاحه، ح ۷۸۱

Sanatisharif.ir

فیزیک ۳

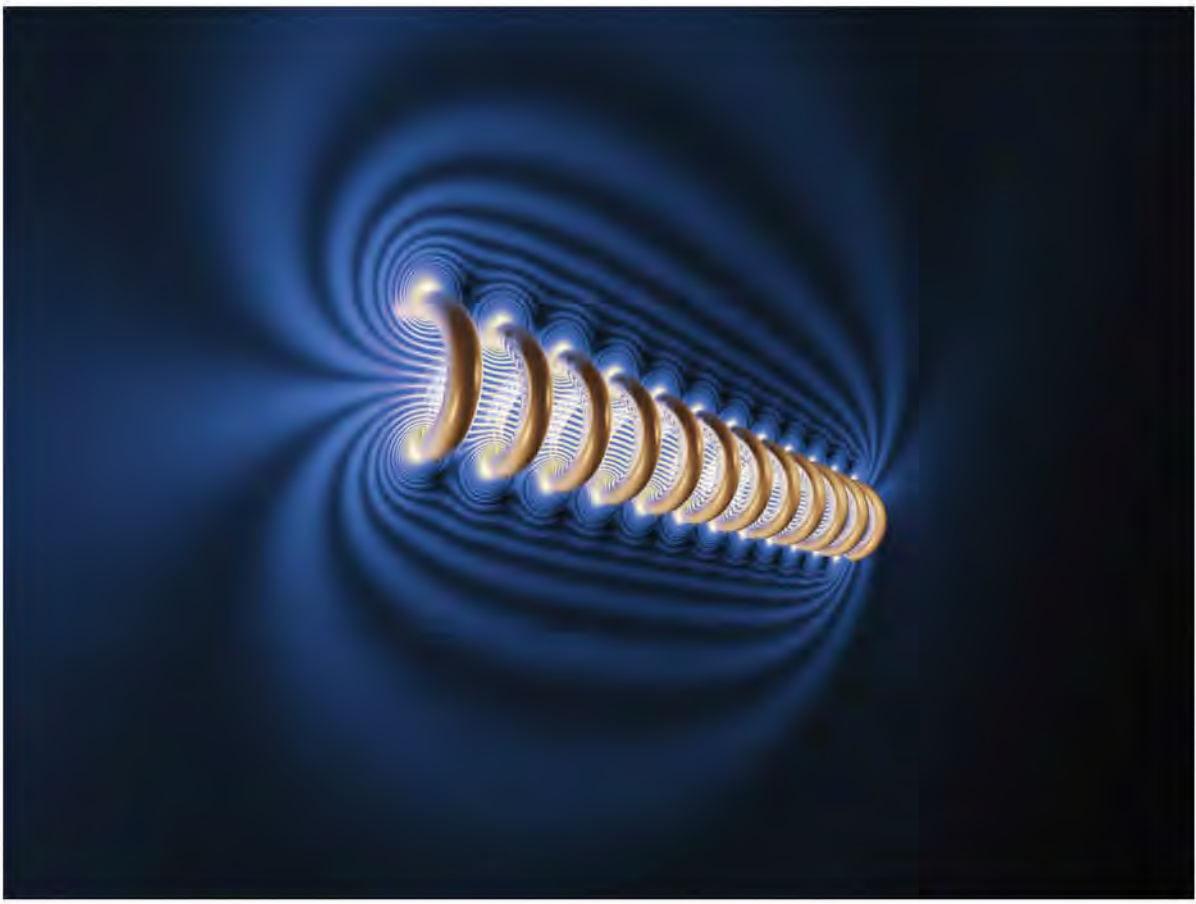
سوم دبیرستان

مغناطیس

حمید فدائی فرد

Fadaifard.ir

Sanatisharif.ir



۱۰ نیرو و میدان مغناطیسی

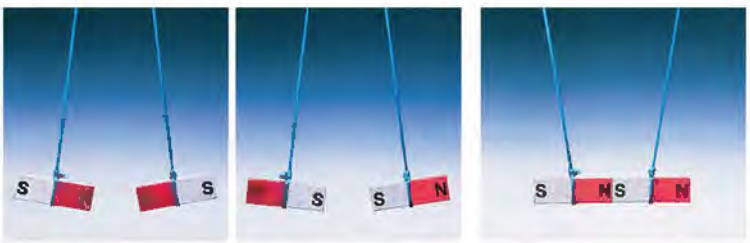
۱۰-۱. مفاهیم اولّیه و تعاریف

قطب‌های آهن‌ربا: در هر آهن‌ربا، به هر شکلی که باشد، دو ناحیه وجود دارد که خاصیت آهن‌ربایی در آن‌ها، بیش‌تر از قسمت‌های دیگر است. این ناحیه‌ها را قطب آهن‌ربا می‌نامند.

هر آهن‌ربا دارای دو قطب است. قطبی از آهن‌ربا که تقریباً در جهت شمال جغرافیایی قرار می‌گیرد، قطب N و قطبی که تمایل دارد در جهت جنوب جغرافیایی قرار گیرد، قطب S نامیده می‌شود.

قطب‌های هم‌نام یکدیگر را می‌رانند و قطب‌های نا هم نام یکدیگر را جذب می‌کنند.

شکل ۱۰-۱: قطب‌های آهن‌ربای میله‌ای.



شکل ۱۰-۲: قطب‌های هم‌نام آهن‌ربا یکدیگر را دفع و قطب‌های ناهم‌نام آن، یکدیگر را جذب می‌کنند.

Sanatisharif.ir
محری طرح توسعه عدالت آموزشی
www.sanatisharif.ir

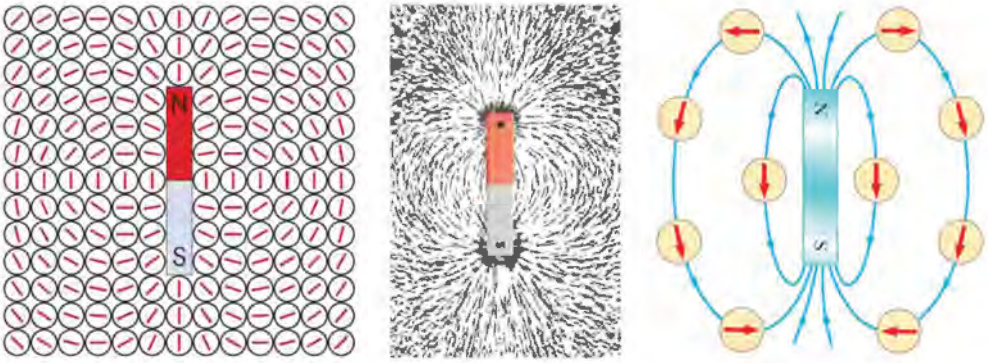
میدان مغناطیسی: در اطراف آهن‌ربا و وسیله‌های مشابه آن، خاصیتی وجود دارد که به آن میدان مغناطیسی گفته می‌شود. میدان مغناطیسی نیز مانند میدان الکتریکی، یک کمیت برداری است و آن را معمولاً با $\vec{B}$ نمایش می‌دهند.

شکل ۱۰-۳: عقربه‌ی مغناطیسی برای تعیین جهت بردار میدان مغناطیسی استفاده می‌شود.

جهت میدان مغناطیسی در هر نقطه، در جهتی است که عقربه‌ی مغناطیسی در آن جهت قرار می‌گیرد و همان‌گونه که در شکل ۱۰-۳ مشاهده می‌شود، نوک پیکان میدان مغناطیسی، جهت N را نمایش می‌دهد.

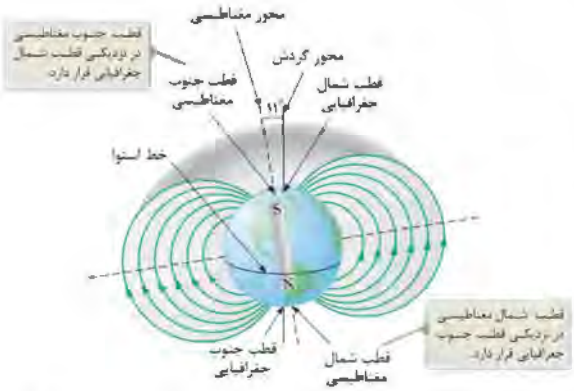
خطوط میدان مغناطیسی در اطراف یک آهن‌ربا در شکل ۱۰-۴ نشان داده شده است. در مورد این خطوط می‌دانیم:

- این خط‌ها از آهن‌ربا می‌گذرند و هریک از آنها یک حقه‌ی بسته را تشکیل می‌دهد.
- خط‌های مغناطیسی در نزدیکی قطب‌ها به یکدیگر نزدیک‌تر هستند.
- جهت خطوط میدان مغناطیسی، همواره از قطب N به قطب S است. به عبارت دیگر خطوط میدان مغناطیسی از قطب N خارج و به قطب S داخل می‌شوند.



شکل ۱۰ - ۴: خطوط میدان مغناطیسی در اطراف یک آهنربای میله‌ای.

میدان مغناطیسی زمین: زمین یک آهن‌ربای عظیم و طرح خط‌های میدان مغناطیسی آن مانند آهن‌ربای میله‌ای بزرگی است که در نزدیکی مرکز زمین قرار دارد. قطب‌های مغناطیسی و جغرافیایی بر هم منطبق نیستند. بنابراین عقربه‌ی مغناطیسی در جهت شمال واقعی جغرافیایی قرار نمی‌گیرد. یعنی عقربه‌ی مغناطیسی تا حدودی از شمال جغرافیایی انحراف دارد. این انحراف وابسته به مکان را میل مغناطیسی می‌نامند.



شکل ۱۰ - ۵: میدان مغناطیسی زمین و خطوط میدان اطراف آن.

شواهد زمین شناختی نشان می‌دهد که جهت این میدان در بازه‌های زمانی نا منظم از ده هزار تا یک میلیون سال به طور کامل وارون می‌شود.

Sanatisharif.ir
محری طرح توسعه عدالت آموزشی

خاصیت مغناطیسی مواد

آزمایش و نظریه‌های فیزیک نشان می‌دهد که تک قطبی مغناطیسی وجود ندارد. یعنی اگر یک آهن‌ربا را دو یا چند قطعه بشکنیم، هر قطعه نیز خود یک آهن‌ربا است و یک قطب N و S دارد. بنابراین می‌توان با تکرار این آزمایش نتیجه گرفت ذرّات تشکیل دهنده‌ی آهن‌رباها یعنی اتم یا مولکول‌ها نیز دارای قطب‌های N و S هستند.

شکل ۱-۷: شکستن یک آهن‌ربای میله‌ای باعث می‌شود که هر بخش یک آهن‌ربای میله‌ای جدید باشد.

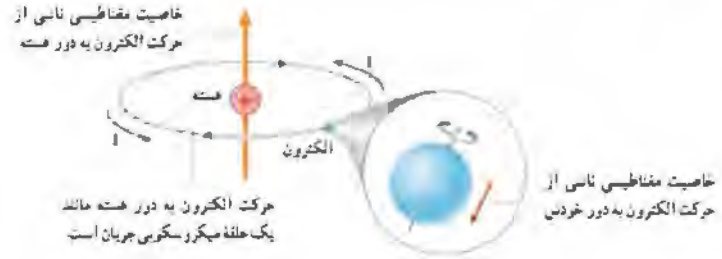
منشأ خاصیت مغناطیسی برخی از مواد ناشی از دو حرکت الکترون در اتم است:

۱. چرخش الکترون به دور هسته.

۲. گردش الکترون به دور خودش (اسپین).

بنابراین هر الکترون چرخان درون اتم، یک آهنربای بسیار ریز است. به طوری که اگر اتم، یک زوج الکترون داشته باشد، که در یک جهت بچرخند، آهنربای قوی‌تری را به وجود می‌آورند. اما اگر این زوج در جهت‌های مخالف یکدیگر بچرخند، بر خلاف هم عمل و خاصیت مغناطیسی یکدیگر را خنثی می‌کنند. به همین دلیل است که برخی مواد خاصیت مغناطیسی دارند و برخی دیگر خواص مغناطیسی ندارند.

شکل ۱ - ۷: چرخش الکترون به دور هسته و به دور خودش، منشأ خاصیت مغناطیسی اتم است. سهم خاصیت مغناطیسی ناشی از حرکت الکترون‌ها به دور هسته، بسیار بیشتر از سهم ناشی از حرکت الکترون‌ها به دور خودشان است.



این آهن‌رباهای کوچک را دو قطبی مغناطیسی و خطی را که دو قطب یک دو قطبی مغناطیسی را به هم وصل می‌کند، محور مغناطیسی آن می‌نامند. یک دو قطبی مغناطیسی را با یک پیکان نمایش می‌دهیم.

موادی را که اتم‌ها یا مولکول‌های سازنده‌ی آن‌ها خاصیّت مغناطیسی دارند، مواد مغناطیسی می‌نامند. نحوه‌ی سمت‌گیری دو قطبی‌های مغناطیسی در مواد مغناطیسی مختلف، متفاوت است. در این‌جا به بررسی دو نوع از این مواد می‌پردازیم.

الف) مواد پارامغناطیسی:

۱. در این مواد، دو قطبی‌ها دارای سمت‌گیری کاتوره‌ای هستند و در نتیجه این مواد دارای خاصیّت مغناطیسی نیستند، مگر آن‌که تحت تأثیر میدان خارجی بسیار قوی قرار گیرند.

۲. هرچه میدان خارجی قوی‌تر باشد، تعداد دو قطبی‌هایی که در جهت میدان قرار می‌گیرند، بیشتر و در نتیجه خاصیت مغناطیسی ماده بیشتر می‌شود.

۳. با حذف میدان خارجی، خاصیّت مغناطیسی به سرعت از بین می‌رود.

۴. اورانیم، پلاتین، آلومینیم، سدیم، اکسیژن و اکسید نیتروژن نمونه‌هایی از این مواد هستند.

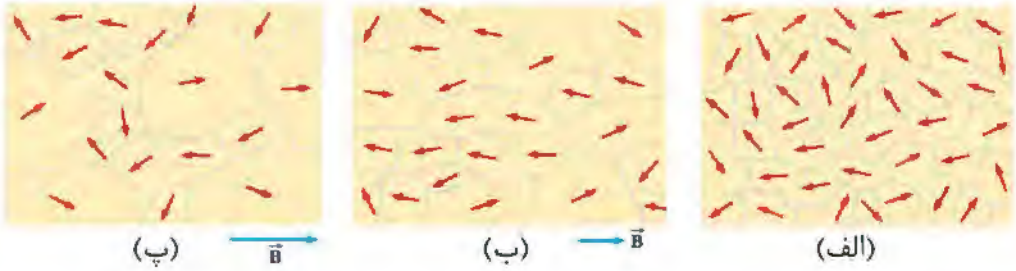
شکل ۱ - ۸: سمت‌گیری کاتوره‌ای دوقطبی‌های مغناطیسی در غیاب میدان مغناطیسی خارجی.

Sanatisharif.ir

ب) مواد فرو مغناطیس:

۱. در این مواد دو قطبی‌های مجاور همگی با یکدیگر هم‌جهت هستند و تشکیل حوزه‌هایی هم جهت می‌دهند، ولی سمت‌گیری دوقطبی‌های مغناطیسی هر بخش (حوزه‌ی مغناطیسی) با بخش‌های مجاور آن تفاوت دارد.

۲. هنگامی‌که میدان خارجی وجود ندارد، معمولاً دو قطبی‌های حوزه‌هایی مغناطیسی به گونه‌ای توزیع شده‌اند که خاصیت مغناطیسی مشاهده نمی‌شود. امّا اگر این مواد را داخل یک میدان مغناطیسی خارجی قرار دهیم، حوزه‌هایی که با میدان خارجی هم سو هستند حجم‌شان زیاد می‌شود و حوزه‌هایی که سمت‌گیری آن‌ها نسبت به میدان مناسب نیست، کوچک می‌شوند. یعنی مرز بین حوزه‌ها جابه‌جا می‌شود و ماده خاصیّت مغناطیسی پیدا می‌کند.



شکل ۱۰ – ۹: الف) ماده‌ی فرومغناطیس در نبود میدان مغناطیسی خارجی ($\vec{B}=0$). ب) ماده‌ی فرومغناطیس در حضور میدان مغناطیسی خارجی ضعیف. پ) ماده‌ی فرومغناطیس در حضور میدان مغناطیسی خارجی قوی.

۳. مواد فرو مغناطی را می‌توان به دو گره تقسیم کرد:

- **فرومغناطیس نرم:** موادی مانند آهن، کبالت و نیکل که حجم حوزه‌های آن‌ها به سهولت تغییر می‌کند، یعنی به سادگی آهن‌ربا می‌شوند و به سادگی این خاصیّت را از دست می‌دهند، مواد فرو مغناطیس نرم نامیده می‌شوند.
- **فرومغناطیس سخت:** موادی مانند فولاد و آلیاژهایی از آهن، کبالت و نیکل که به سختی آهن‌ربا می‌شوند و به سختی نیز خاصیّت آهن‌ربایی را از دست می‌دهند، فرومغناطیس سخت نامیده می‌شوند. از این مواد معمولاً برای ساخت آهن‌رباهای دائمی استفاده می‌شود.

مثال ۱

توضیح دهید چگونه یک آهن‌ربا، سوزن آهنی را از طریق القای مغناطیسی جذب می‌کند؟

Sanatisharif.ir
محری طرح توسعه عدالت آموزشی

۱۰-۲. اثرات میدان مغناطیسی

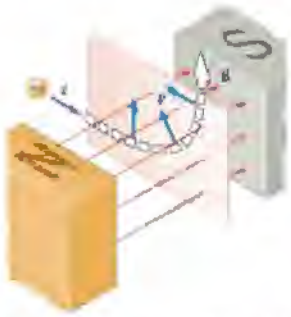
میدان مغناطیسی، بر بار الکتریکی متحرّک و سیم حامل جریان نیرو وارد می‌کند که در ادامه به بررسی این نیروها می‌پردازیم.

۱. نیروی وارد بر بار الکتریکی متحرک:

هرگاه بار الکتریکی q، با سرعت $\vec{V}$ درون میدان مغناطیسی $\vec{B}$ حرکت نماید، از طرف میدان مغناطیسی نیروی $\vec{F}$ بر بار وارد می‌شود و در این‌صورت می‌توان نوشت:

$$\vec{F} = q\vec{V} \times \vec{B} \qquad (۱-۱۰)$$

در این رابطه، q بر حسب کولن ($\mathbf{C}$)، V بر حسب متر بر ثانیه، F بر حسب نیوتون ($\mathbf{N}$) و بزرگی میدان مغناطیسی بر حسب تِسلا ($\mathbf{T}$) است.



شکل ۱۰-۱۰: نیروی وارد بر ذره‌ی باردار متحرک در میدان مغناطیسی.

مثال ۲

بار الکتریکی $-۲\mu C$ با سرعت $\vec{V} = ۲\times۱۰^{۲}\,\boldsymbol{i}\ \frac{m}{s}$ داخل میدان مغناطیسی یکنواخت $\vec{B} = ۱۰^{۲}\boldsymbol{i} - ۱۰^{-۳}\boldsymbol{j}$ در حرکت است. اندازه و جهت نیروی وارد بر این بار را تعیین کنید.

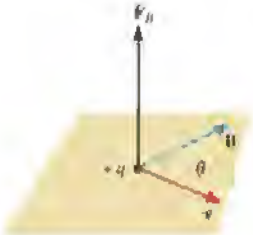
رابطه‌ی بالا یک رابطه‌ی برداری است و برای تعیین اندازه‌ی نیروی مغناطیسی وارد بر بار الکتریکی متحرک، با توجّه به تعریف ضرب برداری خواهیم داشت:

$$F = |q| V B \sin\theta \qquad (۲-۱۰)$$

در این رابطه، θ زاویه‌ی بردارهای سرعت ($\vec{V}$) و میدان مغناطیسی ($\vec{B}$) است.

با توجّه به ویژگی ضرب برداری، نتیجه می‌شود که بردار $\vec{F}$ بر صفحه‌ای که از بردارهای $\vec{V}$ و $\vec{B}$ می‌گذرد عمود است و جهت آن به کمک قاعده‌ی دست راست، تعیین می‌شود.

شکل ۱۰-۱۱: قانون دست راست برای تعیین جهت نیروی وارد به سیم حامل جریان الکتریکی.



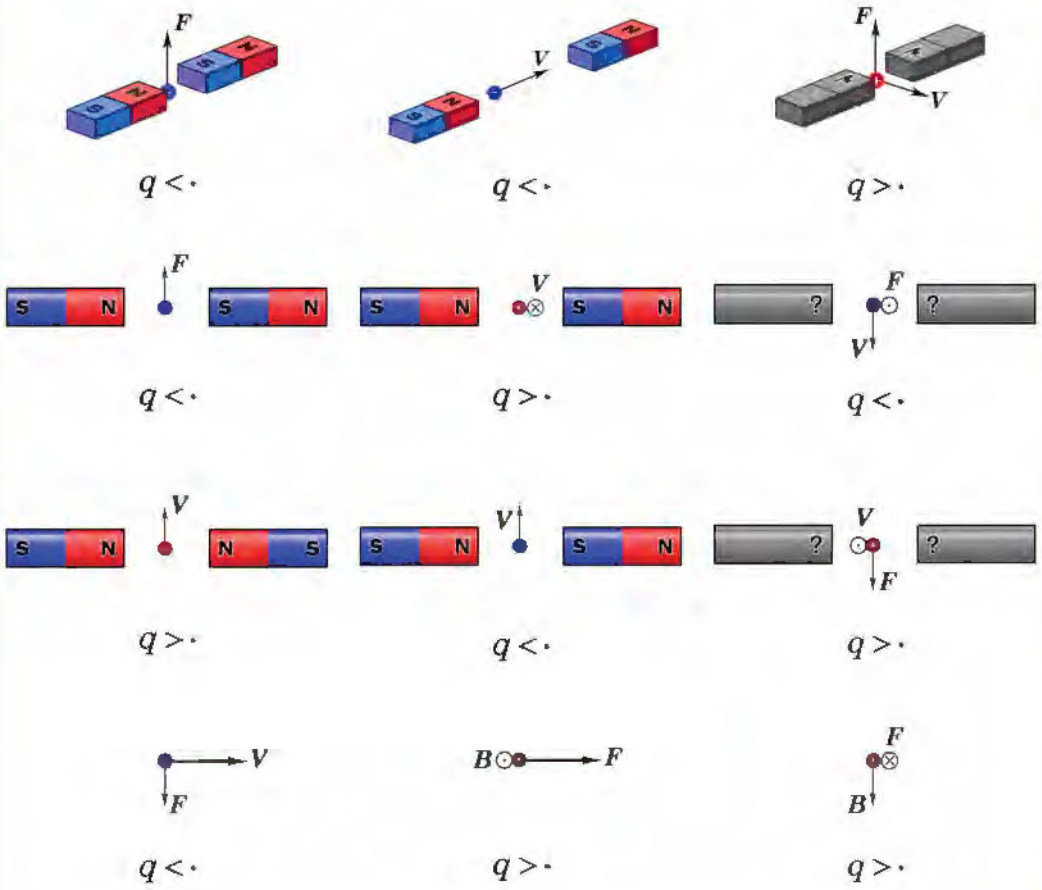
شکل ۱۰-۱۲: نیروی مغناطیسی وارد بر سیم حامل جریان، بر صفحه‌ای که از بردارهای $\vec{V}$ و $\vec{B}$ می‌گذرد، عمود است.

Sanatisharif.ir

نکته: اگر بار الکتریکی متحرّک داخل میدان منفی باشد (مانند الکترون)، در این‌صورت نیروی وارد بر بار متحرّک، در خلاف جهتی است که از قانون دست راست تعیین می‌شود. بنابراین می‌توان جهت به‌دست آمده را قرینه کرد و یا از قانون دست چپ برای تعیین جه نیروی وارد بر ذره استفاده کرد.

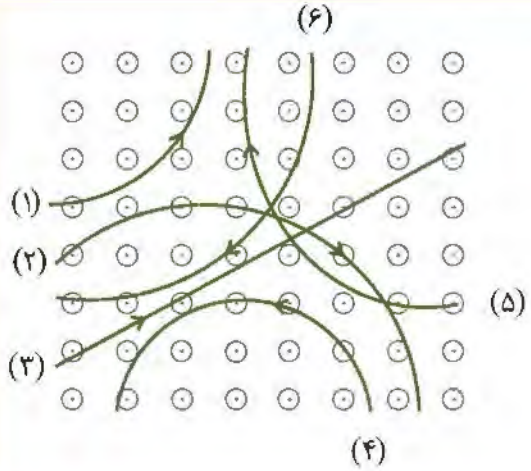
مثال ۳

در هر کدام از حالت‌های زیر دو بردار از بردارهای میدان الکتریکی ($\vec{B}$)، سرعت ذره‌ی باردار ($\vec{V}$) و جهت نیروی وارد بر ذره ($\vec{F}$) رسم شده است. با توجه به نوع بار ذره جهت بردار سوم را تعیین کنید.



مثال ۴

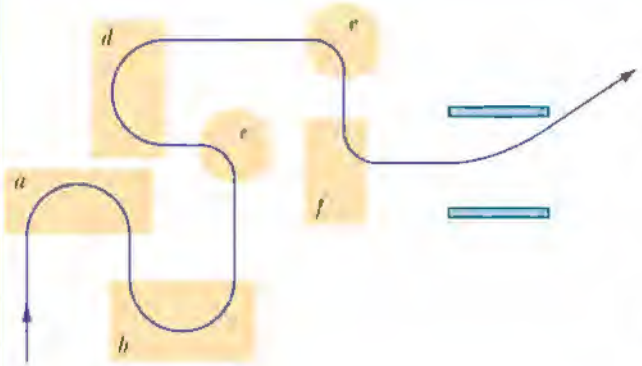
در شکل مقابل، مسیر چند ذرّه داخل یک میدان مغناطیسی رسم شده است. نوع بار الکتریکی هر کدام از ذرّات را تعیین کنید.



Sanatisharif.ir

مثال ۵

شکل مقابل، مسیر ذرّه‌ای را داخل شش ناحیه با میدان مغناطیسی یکنواخت نشان می‌دهد. ذرّه پس از گذر از آخرین ناحیه، از بین دو صفحه‌ی موازی دارای بار الکتریکی (یک خازن) می‌گذرد و به سمت صفحه‌ی بالا که پتانسیل بیشتری دارد، منحرف می‌شود.



الف) نوع بار ذره را تعیین کنید.

ب) جهت میدان مغناطیسی در هر یک از ناحیه‌ها را تعیین کنید.

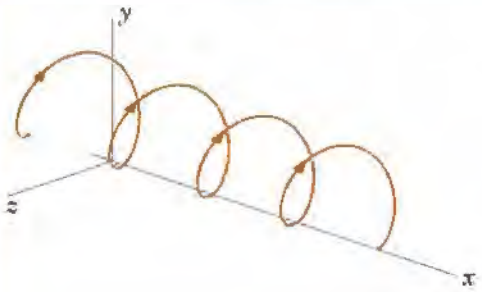
نکته: یادآوری چند نکته در اینجا حائز اهمیّت است:

- برای نمایش بردارهای برون‌سو (بردار عمود بر صفحه و به سمت بیرون) از نماد ⊙، و برای نمایش بردارهای درون سو (بردار عمود بر صفحه و به سمت دخل صفحه) از نماد ⊗ استفاده می‌شود.
- جهت حرکت ذرّه در میدان مغناطیسی، نشان دهنده‌ی جهت بردار سرعت ($\vec{V}$) است و جهت انحراف ذرّه‌ی باردار، جهت بردار نیرو ($\vec{F}$) را نشان می‌دهد.

نکته: میدان مغناطیسی ـ به خلاف میدان الکتریکی ـ بر بار الکتریکی ساکن و همچنین باری که در راستای میدان مغناطیسی حرکت می‌کند ($\theta = 0^\circ$ یا 180°) نیرویی وارد نمی‌نماید.

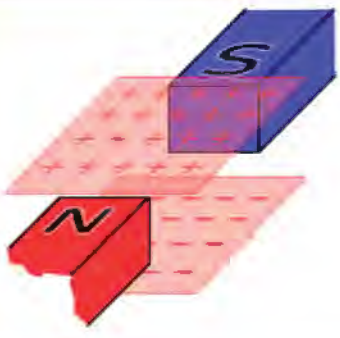
مثال ۶

شکل مقابل، مسیر حرکت یک الکترون درون میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی را نشان می‌دهد. جهت این دو میدان را تعیین کنید.



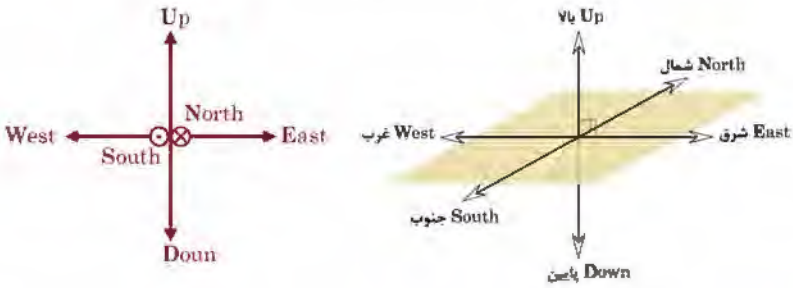
مثال ۷

بار الکتریکی q را با چه سرعتی و در چه جهتی درون دو میدان الکتریکی و مغناطیسی عمود بر هم پرتاب کنیم تا بدون انحراف، بر روی خط راست با سرعت ثابت حرکت نماید؟ (از وزن ذرّه‌ی باردار می‌توان چشم پوشی کرد.)



Sanatisharif.ir

نکته: هنگام رسم بردارهای $\vec{V}$، $\vec{B}$ و $\vec{F}$ باید مراقب بود جهت بالا و جهت شمال یـا ... یکـدیگر اشتباه رسم نشوند! برای جلوگیری از این اشتباه مناسب از شکل‌های مقابل استفاده شود.



شکل ۱-۱۳: جهت‌های شش‌گانه جغرافیایی.

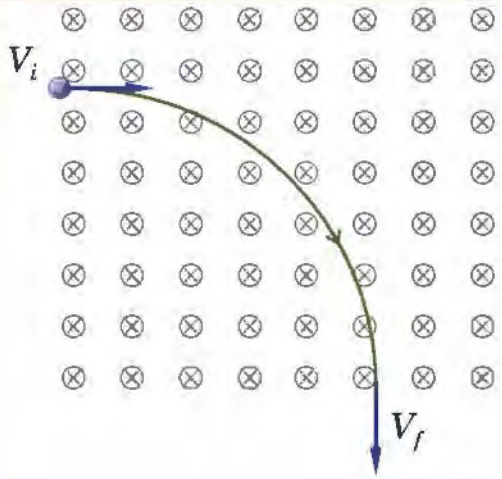
مثال ۸

ذره‌ای به جرم $0/5g$ دارای بار الکتریکی $-50nC$ با سرعت $2/5\times10^{5}\ \frac{m}{s}$ در سطح افقی به‌طرف مغرب در حرکت است. کم‌ترین اندازه‌ی میدان مغناطیسی چه‌قدر و در کدام جهت باشد تا ذرّه بر مسیر مستقیم به حرکت خود ادامه دهد؟

نکته: از آن‌جا که نیروی مغناطیسی همواره بر سرعت ذره‌ی باردار و در نتیجه بر مسیر حرکت ذره عمودی است، بنابراین کار انجام شده توسط میدان مغناطیسی بر روی ذره‌ی متحرک باردار، صفر است و انرژی ذره تغییر نمی‌کند.

مثال ۹

مطابق شکل ذرّه‌ای با بار الکتریکی $-10\mu C$ با سرعت $2\times10^{5}\ \frac{m}{s}$ وارد میدان مغناطیسی یکنواختی به بزرگی 5×10^{-3} تسلا شده و پس از طی مسیر نشان داده شده، با سرعت V_f از آن خارج می‌شود. V_f را تعیین کنید.



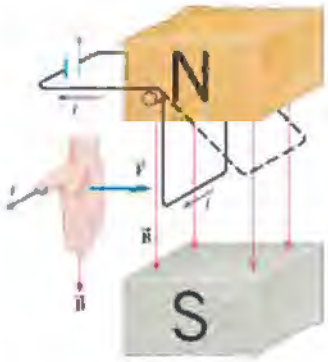
Sanatisharif.ir

۲. نیروی وارد بر سیم حال جریان

هنگامی‌که سیم مستقیم و نازکی به طول l که حامل جریان الکتریکی I است، درون میدان مغناطیسی $\vec{B}$ قرار می‌گیرد، از طرف میدان به آن نیروی $\vec{F}$ وارد می‌شود و در این حالت داریم:

$$\vec{F} = I\vec{l} \times \vec{B} \qquad (۳-۱۰)$$

در این رابطه، l بر حسب متر (m)، I بر حسب آمپر (A)، میدان مغناطیسی بر حسب تسلا (T) و نیروی F بر حسب نیوتون (N) است.



شکل ۱۰-۱۴: نیروی وارد بر سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی

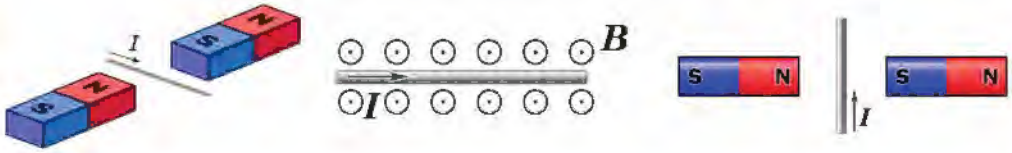
در اینجا نیز معمولا اندازه‌ی نیروی وارد بر سیم حامل جریان مد نظر است و لذا رابطه‌ی بالا به صورت زیر استفاده می‌شود:

$$F = BIl\sin\theta \qquad (۴-۱۰)$$

که در آن، θ زاویه‌ی میان امتداد سیم حامل جریان و میدان مغناطیسی است. مجدداً برای تعیین راستا و جهت وجهت نیروی وارد بر سیم، یاد آور می‌شویم که نیروی $\vec{F}$ بر صفحه‌ی گذرنده از بردار $\vec{B}$ و راستای سیم عمود است و جهت آن از قانون دست راست تعیین می‌شود.

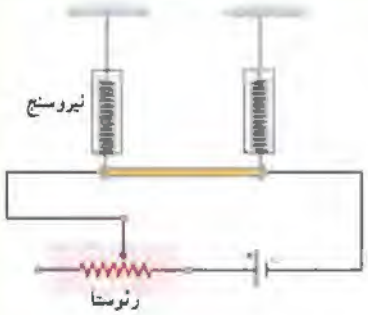
مثال ۱۰

در هر کدام از شکل های زیر جهت نیروی وارد بر سیم حامل جریان را تعیین کنید.



مثال ۱۱

مطابق شکل، سیم حامل جریانی به طول $1m$ توسط دو نیرو سنج، به طور افقی و در راستای شرق به غرب قرار دارد. میدان مغناطیسی زمین افقی و یکنواخت و رو به شمال است و بزرگی آن $0/05mT$ می‌باشد اگر جرم هر متر از سیم $8g$ باشد،



الف) چه جریانی و در چه جهتی از سیم بگذرد تا نیروسنج ها عدد صفر را نشان دهند؟

ب) اگر جریان ۲۰۰۰ آمپر ودر جهت شرق به غرب از سیم بگذرد، نیرو سنج ها چه عددی را نشان می‌دهند؟

Sanatisharif.ir
محری طرح توسعه عدالت آموزشی

مثال ۱۲

مطابق شکل یک آهن‌ربای نعلی شکل روی کفه‌ی یک ترازوی حساس قرار دارد.

الف) با رسم نیروهای وارد بر سیم، توضیح دهید با بستن کلید k، عددی را که ترازو نشان می‌دهد، کم‌تر می‌شود یا بیش‌تر؟

ب) اگر جهت قطب‌های آهنربا یا جهت قطب‌های باتری را تغییر دهیم، چه اتفاقی می‌افتد؟

مثال ۱۳

در مثال ۱۲، $10\,cm$ از سیم افقی در میدان مغناطیسی یکنواخت حاصل از آهن‌ربا به بزرگی $0/2\,T$ قرار دارد و قبل از بستن کلید، ترازو $2/0\,N$ را نشان می‌دهد. اگر کلید را ببندیم و جریان $5\,A$ از سیم عبور کند، ترازو چند نیوتون را نشان می‌دهد؟

نکته: اگر سیم حامل جریان در راستای میدان مغناطیسی قرار داشته باشد، $\theta = 0$ یا $\theta = 180^\circ$ است و از طرف میدان نیرویی بر سیم وارد نمی‌شود.

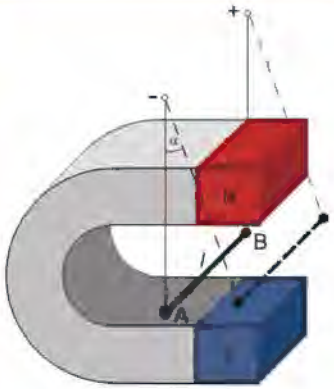
نکته: یکای میدان مغناطیسی (تسلا: T) از روی رابطه‌ی $F = BIl\sin\theta$ به صورت زیر تعریف می‌شود: یک تسلا، بزرگی میدان مغناطیسی است که در آن بر یک متر از سیمی که حامل جریان الکتریکی به شدت یک آمپر است و در راستای عمودبر میدان قرار دارد، نیرویی به بزرگی یک نیوتن وارد شود.

نکته: میدانی که بزرگی آن $1\,T$ باشد، میدانی بسیار بسیار قوی است و میدان‌های مغناطیسی معمولی، از این مقدار بسیار کوچک‌تر هستند. لذا معمولاً برای بیان بزرگی میدان مغناطیسی، از واحد فرعی دیگری به نام گاوس استفاده می‌شود و در این‌صورت بنا به قرارداد، داریم:

$$1G = 10^{-4}T \qquad (۵-۱۰)$$

Sanatisharif.ir

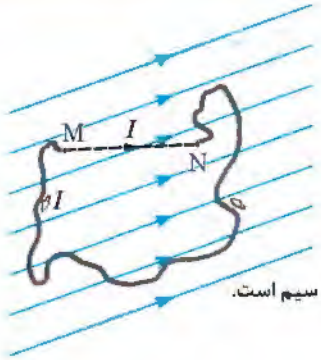
مثال ۱۴



مطابق شکل، سیمی به طول $5\,cm$ و جرم $5\,g$ توسط دو قطعه سیم رسانای نازک آویزان شده است و جریان افقی $10\,A$ از آن می‌گذرد و در این حالت، به اندازه‌ی 14° از وضع تعادل (راستای قائم) منحرف شده، مجدداً به تعادل می‌رسد. بزرگی میدان مغناطیسی چند گاوس است؟

$\tan 14^\circ = 0/25$

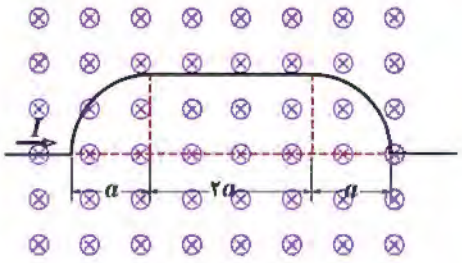
نکته: به کمک رابطه‌ی ۱۰-۳ می‌توان نشان داد، اگر میدان مغناطیسی یکنواخت باشد، نیروی وارد بر سیم MN در میدان مغناطیسی با نیروی وارد بر سیم فرضی مستقیمی که نقاط M و N را به هم متّصل می‌کند، و همان جریان از آن می‌گذرد، برابر است.



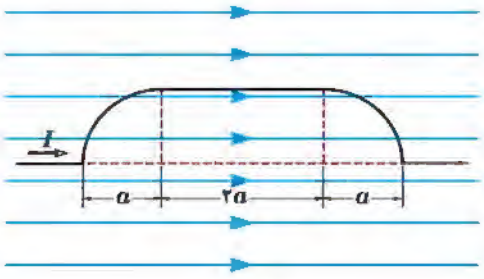
شکل ۱۰-۱۵: نیروی وارد بر سیم حامل جریا در میدان یکنواخت، مستقل از نحوه‌ی قرار گیری سیم است.

مثال ۱۵

در هر کدام از شکل‌های زیر، جریان الکتریکی $I = 2\,A$ در جهت نشان داده شده از سیم می‌گذرد. اگر بزرگی میدان مغناطیسی $B = 100\,G$ باشد، نیروی وارد بر سیمِ حامل جریان، چند نیوتون است؟ $a = 10\,cm$



(الف)



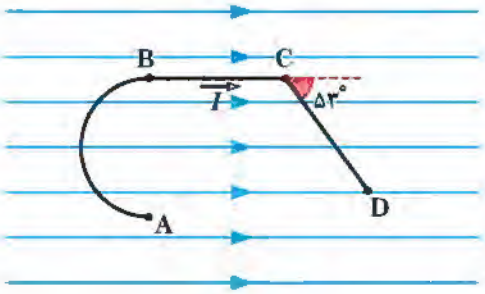
(ب)

Sanatisharif.ir

مثال ۱۶

در هر کدام از شکل های زیر، جریان الکتریکی $I=۲/۵\,A$ در جهت نشان داده شده از سیم می‌گذرد. اگر بزرگی میدان مغناطیسی $B=۰/۰۵\,T$ باشد، نیروی وارد بر سیمِ حامل جریان، چند نیوتون است؟

$\cos ۵۳^\circ = ۰/۶$, $BC=CD=۱۰\,cm$, $AB=۱۰\pi\,cm$ کمان

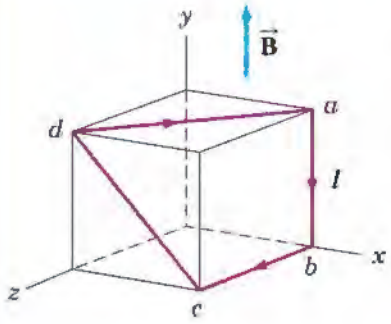


(ب)

(الف)

مثال ۱۷

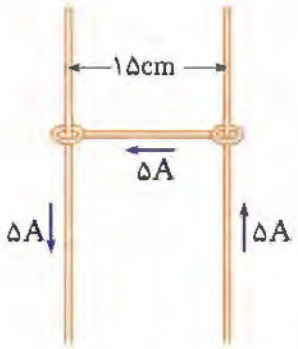
در شکل مقابل، طول هر ضلع مکعب $۴۰\,cm$ است و از چهار سیم راست ab، bc، cd و da جریان الکتریکی $۴\,A$ در جهت نشان داده شده می‌گذرد. میدان مغناطیسی یکنواخت به بزرگی $۲۰۰\,G$ در جهت مثبت محور y وجود دارد. اندازه و جهت نیروی وارد بر هرکدام از سیم‌ها را تعیین کنید.



Sanatisharif.ir

مثال ۱۸

مطابق شکل، یک سیم رسانا به طول $15\,cm$ می‌تواند آزادانه بین دو سیم رسانای نازک عمودی حرکت کند. هنگامی‌که جریان الکتریکی به $5\,A$ می‌رسد، سیم با سرعت ثابت $1\,\frac{cm}{s}$ به طرف بالا حرکت می‌کند. اگر جرم واحد طول سیم $1\,\frac{g}{cm}$ باشد، بزرگی و جهت میدان مغناطیسی در محل انجام آزمایش را تعیین کنید.

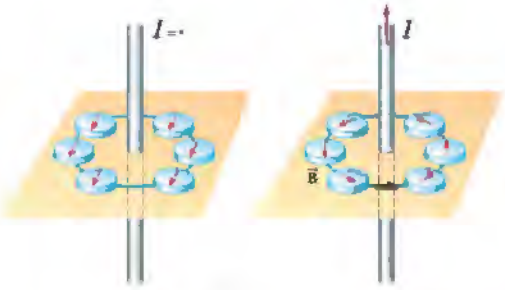


۱۰-۳. ایجاد میدان مغناطیسی

آزمایش‌هایی شبیه آزمایش اورستد نشان می‌دهد که عبور جریان الکتریکی از یک سیم رسانا، در اطراف آن یک میدان مغناطیسی ایجاد می‌کند. در اینجا به بررسی میدان الکتریکی در اطراف سیم مستقیم، پیچه‌ی مسطح و سیملوله می‌پردازیم:

۱. میدان مغناطیسی اطراف سیم مستقیم

هنگامی که از سیم مستقیمی جریان I می‌گذرد، در اطراف آن یک میدان مغناطیسی ایجاد می‌شود. آزمایش نشان می‌دهد این میدان، به جریان الکتریکی عبور کرده از سیم رابطه‌ی مستقیم و فاصله تا سیم رابطه‌ی معکوس دارد. بزرگی آن را می‌توان از رابطه‌ی زیر به دست آورد:



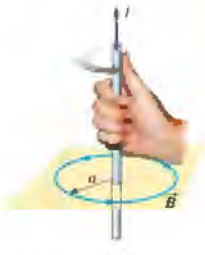
شکل ۱-۱۷: میدان مغناطیسی اطراف سیم راست حامل جریان.

$$B=\frac{\mu_0}{2\pi}\frac{I}{r} \qquad (۶-۱۰)$$

در این رابطه، I برحسب آمپر (A)، r برحسب متر (m) است و μ_0 ضریب تراوایی مغناطیسی خلاء نام دارد و مقدار آن $\mu_0=4\pi\times10^{-7}\,\frac{Tm}{A}$ است.

برای تعیین جهت خطوط میدان مغناطیسی، از قانون دست راست ۲ استفاده می‌شود. برای این منظور انگشت شست را بر روی سیم و در جهت جریان قرار می‌دهیم. جهت بسته شدن انگشتان دست، جهت خطوط میدان مغناطیسی را نشان می‌دهد.

الف



ب

شکل ۱-۱۷: الف) میدان مغناطیسی اطراف سیم راست حامل جریان. ب) قانون دست راست ۲ برای تعیین جهت میدان مغناطیسی.

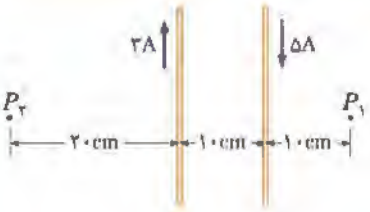
Sanatisharif.ir

مثال ۱۹

با استدلال کافی توضیح دهید کدام باتری را در مدار شکل روبه‌رو قرار دهیم تا پس از وصل کردن کلید، عقربه‌ی قطب‌نما که روی سیم قرار دارد، در خلاف جهت عقربه‌های ساعت بچرخد؟

مثال ۲۰

مطابق شکل، دو سیم نازک بسیار بلند حامل جریان میدان مغناطیسی برایند را در نقاط P_1، P_2 و M (وسط فاصله‌ی میان دو سیم) تعیین کنید.



مثال ۲۱

دو سیم راست و موازی به فاصله‌ی $d = 50\text{cm}$ از هم قرار دارند و جریان‌های $I_1 = 4\text{A}$ و $I_2 = 6\text{A}$ از آن‌ها می‌گذرد. در هر کدام از حالت های زیر، مکانی را تعیین کنید که میدان مغناطیسی حاصل از جریان دو سیم، صفر باشد:

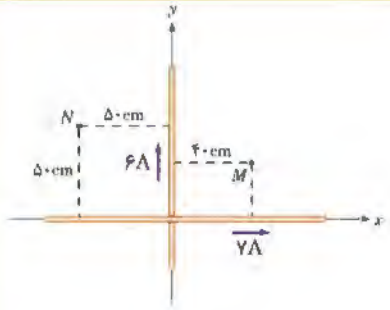
الف) جریان‌ها هم جهت باشد.

ب) جریان‌ها غیر هم جهت باشد.

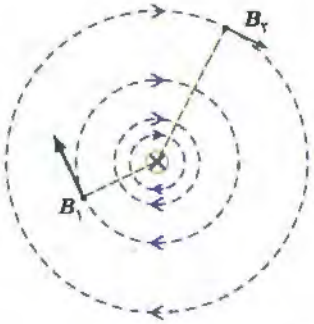
Sanatisharif.ir

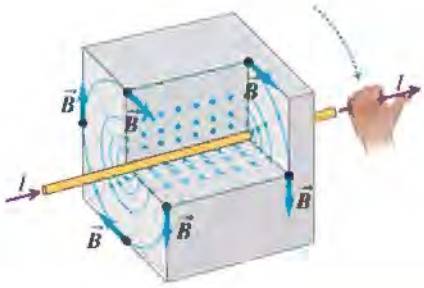
مثال ۲۲

در هر کدام از شکل‌های زیر، میدان مغناطیسی را در نقاط M و N تعیین کنید.



نکته: خطوط میدان مغناطیسی در اطراف سیم حامل جریان، به صورت دایره‌های متحدالمرکز است. از آنجا که میدان مغناطیسی در هر نقطه باید بر این خطوط مماس باشد، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که میدان مغناطیسی در هر نقطه، بر شعاع حامل آن نقطه عمود است و جهت آن با استفاده از قانون دست راست تعیین می‌شود.

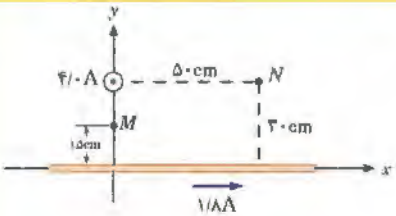




شکل ۱۰-۱۷: میدان مغناطیسی اطراف سیم راست حامل جریان.

مثال ۲۲

در هر کدام از شکل‌های زیر، میدان مغناطیسی را در نقاط M و N تعیین کنید.

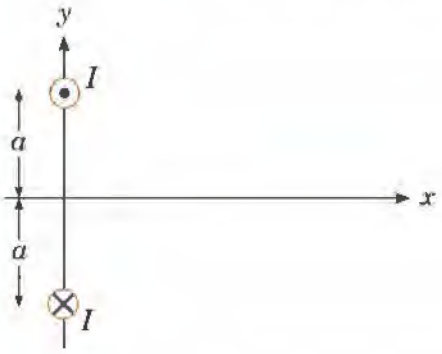


Sanatisharif.ir

مثال ۲۳

در شکل زیر، سیم‌های عمود بر صفحه و حامل جریان‌های مساویِ هستند.

الف) میدان مغناطیسی را در نقطه‌ی M (روی محور x)، بر حسب بردارهای یکه بنویسید.

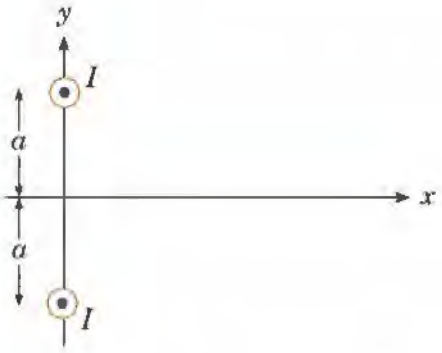


ب) نمودار تغییرات میدان مغناطیسی برحسب فاصله تا مبداء مختصات را رسم کنید.

مثال ۲۴

در شکل زیر، سیم‌های عمود بر صفحه و حامل جریان‌های مساویِ هستند.

الف) میدان مغناطیسی را در نقطه‌ی M (روی محور x)، بر حسب بردارهای یکه بنویسید.



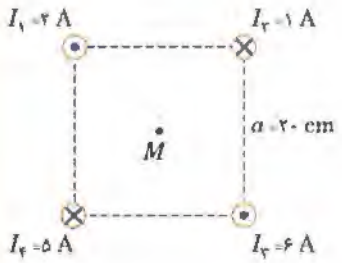
ب) در چه فاصله‌ای از مبداء مختصات (برحسب a) میدان مغناطیسی بیشینه است؟

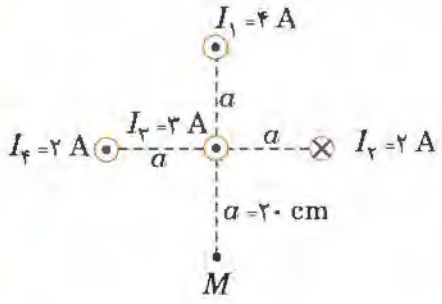
پ) نمودار تغییرات میدان مغناطیسی برحسب فاصله تا مبداء مختصات را برای آن رسم کنید.

Sanatisharif.ir

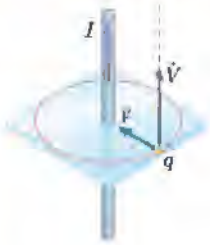
مثال ۲۵

در هر کدام از شکل های زیر، میدان مغناطیسی را در نقطه‌ی M تعیین کنید.





مثال ۲۶



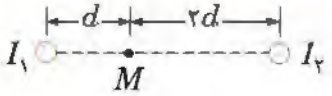
مطابق شکل ذره‌ی دارای بار الکتریکی با سرعت $۴\times۱۰^{۶}\ \frac{m}{s}$ در فاصله‌ی ۲۰ سانتی‌متری یک سیم راست بسیار بلند که جریان $۲A$ از آن می‌گذرد، پرتاب می‌شود.

الف) نوع بار الکتریکی ذره را تعیین کنید.

ب) اگر $|q| = ۱/۶\times۱۰^{-۱۹}\ C$ باشد، بزرگی نیروی وارد بر ذره را تعیین کنید.

پ) مسیر الکترون را به طور تقریبی رسم کنید.

مثال ۲۷



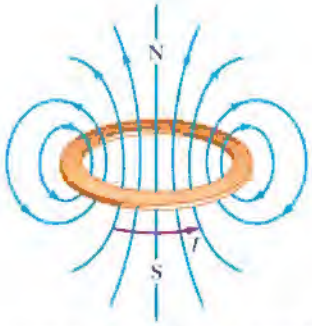
دو سیم حامل جریان‌های I_1 و I_2، در نقطه‌ی M، میدان خالصی برابر $\vec{B}$ ایجاد می‌کنند. اگر جریان I_2 قطع شود، میدان مغناطیسی در همان نقطه $-۲\vec{B}$ می‌شود. نسبت $\frac{I_2}{I_1}$ را بیابید.

Sanatisharif.ir

۲- میدان مغناطیسی پیچه

پیچه‌های مسطح از چند دور سیم نازک به شکل حلقه تشکیل شده که به هم فشرده‌اند و به‌صورت یک حلقه‌ی مسطح درآمده‌اند. خطی که از مرکز این حلقه می‌گذرد و عمود بر سطح آن است، محور پیچه نامیده می‌شود.

بزرگی میدان مغناطیسی پیچه‌ی مسطحی به شعاع R که N دور دارد و جریان الکتریکی I از آن می‌گذرد، در مرکز پیچه از رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید.



شکل ۱۰-۱۸: خطوط میدان مغناطیسی اطراف پیچه‌ی مسطح حامل جریان.

$$B = \frac{\mu_0}{2}\frac{NI}{R} \qquad (۷-۱۰)$$

در این رابطه، I برحسب آمپر (A)، R برحسب متر (m) است و B برحسب تسلا (T) است.

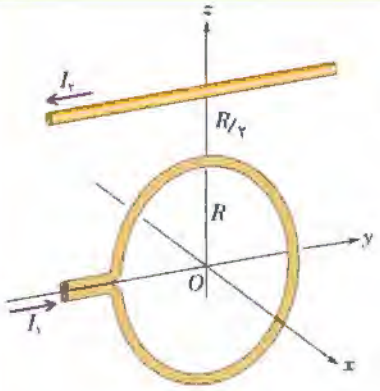
در اینجا نیز برای تعیین جهت میدان مغناطیسی در اطراف پیچه‌ی مسطح، از قانون دست راست ۲ استفاده می‌شود.

شکل‌های مقابل، خطوط میدان مغناطیسی در اطراف پیچه و نحوه‌ی تعیین خطوط میدان را نشان می‌دهد.

شکل ۱۰-۱۹: الف) میدان مغناطیسی اطراف پیچه‌ی مسطح حامل جریان. ب) قانون دست راست برای تعیین جهت جریان.

مثال ۲۷

در شکل مقابل، یک سیم نازک بسیار بلند و یک پیچه‌ی مسطح نشان داده شده است که جریان‌های I_1 و I_2 از آنها می‌گذرد.



الف) اگر بزرگی میدان مغناطیسی برایند در مرکز حلقه (نقطه‌ی O) صفر باشد، چه رابطه‌ای بین جریان I_1 و I_2 بر قرار است؟

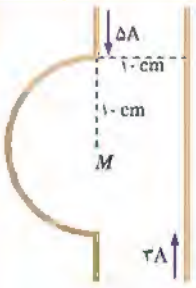
ب) اگر $I_1 = 3\,A$ و $R = 10\,cm$ باشد، میدان مغناطیسی ناشی از پیچه را در مرکز آن برحسب بردارهای یکه بنویسید.

Sanatisharif.ir
محری طرح توسعه عدالت آموزشی

نکته: در رابطه‌ی ۷-۱۰، N می‌تواند عددی کسری باشد. مثلاً اگر پیچه‌ای به‌صورت یک نیم دایره است. مقدار N را برابر با $\frac{۱}{۲}$ در نظر می‌گیریم.

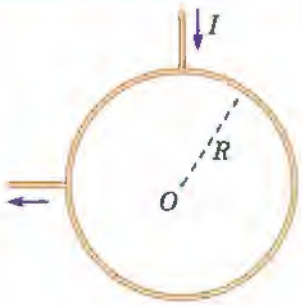
مثال ۲۸

میدان مغناطیسی را در نقطه‌ی M تعیین کنید. $(\pi = ۳)$



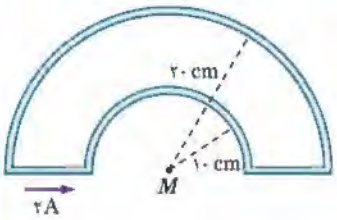
مثال ۲۹

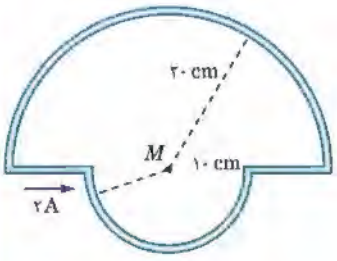
مطابق شکل، سیم رسانای یکنواختی به طول L به صورت دایره‌ای به شعاع R در آمده و جریان الکتریکی از آن می‌گذرد. میدان مغناطیسی را در مرکز دایره (نقطه‌ی O) به دست آورید.



مثال ۳۰

در هر کدام از شکل‌های زیر، میدان مغناطیسی را در نقطه‌ی M به دست آورید.



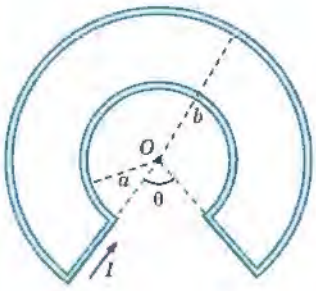


Sanatisharif.ir

مثال ۳۱

در مدار شکل زیر، نشان دهید میدان مغناطیسی در نقطه‌ی O از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$B=\frac{\mu_0 I}{4\pi}\frac{b-a}{ab}(2\pi-\theta)$$



نکته: اگر سیم نازکی به طول L را به‌صورت یک پیچه‌ی مسطح در آوریم. در این‌صورت تعداد دورهای پیچه از رابطه‌ی زیر تعیین می‌شود:

$$N=\frac{L}{2\pi R} \qquad (۸-۱۰)$$

مثال ۳۲

سیم رسانایی به طول $250\,cm$ را به‌صورت پیچه‌ی مسطحی به شعاع $5\,cm$ در می‌آوریم و از آن جریان $2A$ عبور می‌دهیم. میدان مغناطیسی این پیچه را در مرکز آن تعیین کنید.

نکته: با توجه به دو رابطه‌ی ۱۰-۷ و ۱۰-۸ می‌توان میدان مغناطیسی در مرکز پیچه از رابطه‌ی زیر به‌دست آورد:

$$B=\frac{\mu_0}{4}\frac{LI}{\pi R^2}=\frac{\mu_0}{4}\frac{LI}{A} \qquad (۹-۱۰)$$

مثال ۳۳

از سیمی به طول $10\,m$ پیچه‌ی مسطحی به مساحت قاعده‌ی $31/4\,cm^2$ می‌سازیم و از آن جریان الکتریکی $3A$ عبور می‌دهیم. میدان مغناطیسی در مرکز پیچه چند گاوس است؟ $(\pi=3/14)$

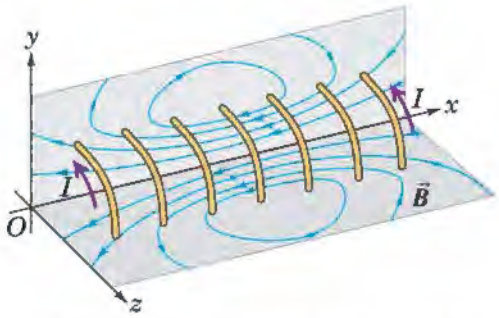
Sanatisharif.ir
محری طرح توسعه عدالت آموزشی
www.sanatisharif.ir

مثال ۳۴

در مدل اتمی بوهر برای اتم هیدروژن، الکترون در یک مسیر دایره‌ای به شعاع $0/53\ \text{Å}$ به دور هسته می‌چرخد و در هر ثانیه $6/6\times10^{15}$ دور می‌زند. میدان مغناطیسی ناشی از این حرکت در هسته چه‌قدر است؟

۳- میدان مغناطیسی سیملوله

سیملوله از چند دور سیم تشکیل شده است که شبیه یک فنر پیچیده شده است. اگر جریان الکتریکی از سیملوله عبور کند، در فضای اطراف و درون سیملوله میدان مغناطیسی ایجاد می‌شود.



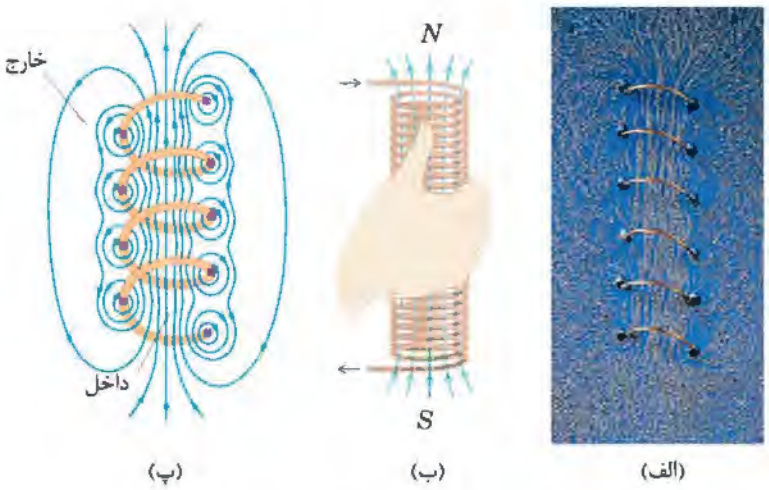
شکل ۱۰-۲۰: خطوط میدان مغناطیسی اطراف سیملوله‌ی حامل جریان.

میدان مغناطیسی درون سیملوله، یکنواخت است و اندازه‌ی آن از از رابطه‌ی زیر تعیین می‌شود:

$$B=\mu_{\circ}nI=\frac{\mu_{\circ}NI}{l} \qquad (۱۰-۱۰)$$

در این رابطه، n تعداد دور سیملوله در واحد طول، N، تعداد دور سیملوله و l طول سیملوله، برحسب متر (m) و I جریان الکتریکی عبور کرده از سیملوله بر حسب آمپر (A) است.

در اینجا نیز برای تعیین جهت میدان مغناطیسی، از قانون دست راست ۲ استفاده می‌شود. برای این منظور، دست راست را به گونه‌ای روی سیملوله قرار می‌دهیم که جهت بسته شدن انگشتان در جهت جریان قرار داشته باشد. در اینصورت انگشت شست، جهت میدان مغناطیسی درون سیملوله را نشان می‌دهد و به کمک آن می‌توان قطب‌های N و S ایجاد شده توسط جریان را تعیین کرد.



(پ) (ب) (الف)

شکل ۱۰-۲۱: الف) خطوط میدان مغناطیسی اطراف سیملوله‌ی حامل جریان. ب) قانون دست راست ۲ برای تعیین جهت میدان مغناطیسی درون سیملوله‌ی حامل جریان الکتریکی. پ) میدان الکتریکی درون سیملوله را می‌توان یکنواخت در نظر گرفت.

Sanatisharif.ir

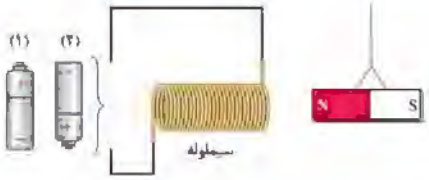
نکته: اگر یک میله‌ی آهنی (که به آن هسته‌ی سیملوله گفته می‌شود) درون سیملوله قرار گیرد، میدان مغناطیسی درون سیملوله تقویت می‌شود و در این‌صورت اگر ضریب هسته‌ی آهنی را با k نمایش دهیم، داریم:

$$B = k\mu_0 n I = k\frac{\mu_0 N I}{l} \qquad (۱۰-۱۱)$$

مثال ۳۵

با استدلال کافی مشخص کنید:

الف) کدام باتری را در مدار قرار دهیم تا آهنربای میله‌ای آویزان شده، به طرف سیملوله جذب شود؟



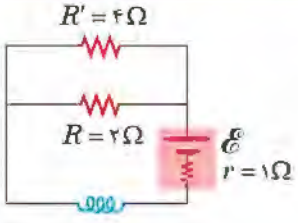
ب) اگر باتری دیگر را در مدار قرار دهیم، رفتار آهنربا را پیش‌بینی کنید.

مثال ۳۶

می‌خواهیم سیملوله‌ای بدون هسته‌ی آهنی بسازیم که وقتی جریان $2A$ از آن می‌گذرد، میدان مغناطیسی $120G$ داخل آن برقرار شود. در هر سانتی‌متر سیملوله چند دور سیم لازم است؟ $(\mu_0 = 12\times10^{-7}\ \frac{T.m}{A})$

مثال ۳۷

در شکل مقابل، توان مصرفی مقاومت R برابر $8W$ است. اگر سیملوله در هر متر ۳۰۰ دور حلقه داشته باشد، میدان مغناطیسی داخل سیملوله و روی محور آن چند تسلا است؟ $(\mu_0 = 4\pi\times10^{-7}\ \frac{T.m}{A})$



Sanatisharif.ir
محری طرح توسعه عدالت آموزشی
www.sanatisharif.ir

مثال ۳۸

میدان مغناطیسی یکنواخت درون سیملوله‌ای به طول $30\,cm$ که دارای ۳۰۰ حلقه است، چند برابر میدان مغناطیسی در مرکز پیچه‌ی مسطحی با تعداد ۴۰۰ حلقه و شعاع $20\,cm$ است؟ (جریان در هر دو یکسان است.)

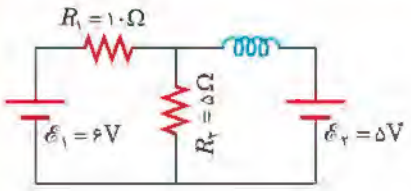
مثال ۳۹

پیچه‌ی مسطحی از سیمی به طول L و تعداد N دور تشکیل شده است که حامل جریان I می‌باشد. می‌خواهیم همان سیم را به‌صورت سیملوله‌ای به طول l در آوریم به نحوی که میدان مغناطیسی درون آن با میدان مغناطیسی در مرکز پیچه برابر باشد. اگر تعداد دورهای پیچه را با N' نشان دهیم، ثابت کنید:

$$N' = \frac{\pi l}{L} N^2$$

مثال ۴۰

در مدار مقابل، مقاومت سیملوله‌ی ایده‌آل، $10\,\Omega$ و در هر متر آن ۳۰۰۰ دور سیم پیچیده شده است. میدان مغناطیسی در مرکز سیملوله چند گاوس است؟



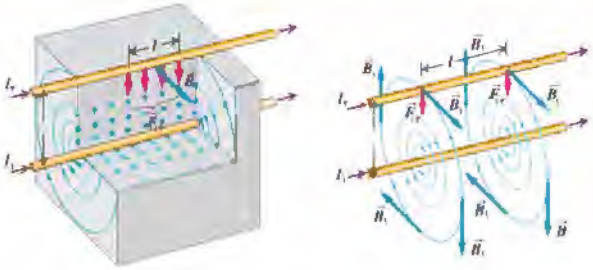
Sanatisharif.ir

مثال ۴۱

سیمی به طول $4/8\,m$ و قطر $1\,mm$ را که مقاومت ویژه‌ی آن $2\times10^{-6}\,\Omega m$ است، به شکل سیملوله در آورده و آن را به یک باتری با نیروی محرکه‌ی $24\,V$ و مقاومت درونی ناچیز می‌بندیم. اگر قطر حلقه‌های سیم‌پیچ $10\,cm$ و فاصله‌ی بین حلقه‌ها $5\,mm$ باشد، میدان مغناطیسی در وسط سیملوله را به‌دست آورید.

۱۰-۴. نیروی مغناطیسی بین سیم‌های حامل جریان

هنگامی‌که سیم‌های حامل جریان الکتریکی در کنار هم قرار می‌گیرند، به یکدیگر نیرو وارد می‌کنند؛ زیرا هر کدام از سیم‌های حامل جریان، در اطراف خود میدان مغناطیسی ایجاد می‌کنند و سیم حامل جریان دیگری در میدان مغناطیسی ایجاد شده قرار می‌گیرد.



شکل ۱۰-۲۲: نیروی بین دو سیم حامل جریان الکتریکی

اگر دو سیم نازک، مستقیم، بسیار بلند و موازی به فاصله‌ی d از یکدیگر قرار داشته باشند و جریان‌های I_1 و I_2 از آن‌ها عبور نماید، نیرویی که هرکدام از سیم‌ها بر طول l از سیم دیگر وارد می‌کند، از رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید:

$$F_{12}=F_{21}=\frac{\mu_0}{2\pi}\frac{I_1I_2}{d}l \qquad (10-12)$$

جهت این نیرو را می‌توان به به‌کار بردن قانون دست راست تعیین کرد و در اینصورت می‌توان مشاهده کرد:

- اگر جریان‌های دو سیم با یکدیگر هم‌جهت باشند، نیروی بین دو سیم جاذبه است.
- اگر جریان‌های دو سیم در خلاف جهت یکدیگر باشند، نیروی بین دو سیم دافعه است.

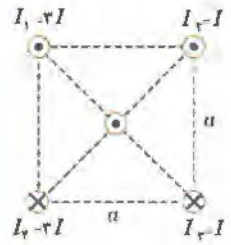
مثال ۴۲

به کمک رابطه‌های ۱۰- ۴ و ۱۰-۶، رابطه‌ی ۱۰-۱۲ را ثابت کنید.

Sanatisharif.ir
محری طرح توسعه عدالت آموزشی

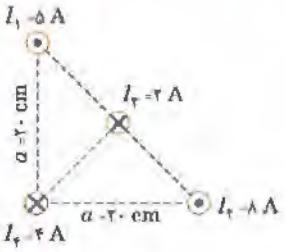
مثال ۴۳

شکل مقابل، سیم‌های بلند و موازی را نشان می‌دهد که بر صفحه‌ی کاغذ عمودند و جریان‌ها با جهت و اندازه‌ی مشخص شده از آنها می‌گذرد. جهت و نیروی مغناطیسی وارد بر سیمی که از مرکز مربع می‌گذرد را رسم کنید.



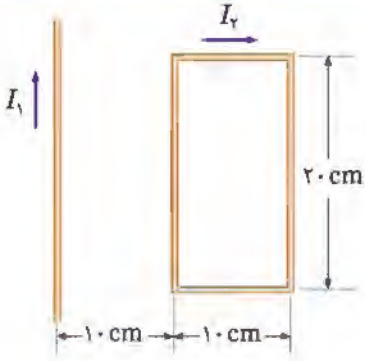
مثال ۴۴

در شکل زیر، چهار سیم نازک، مستقیم و بسیار بلند حامل جریان در کنار هم قرار گرفته‌اند. برایند نیروی وارد بر سیم هر متر از سیم ۳، چند برابر برایند نیروی وارد بر سیم ۴ است؟



مثال ۴۵

در شکل مقابل، از سیم راست و بلند، جریان $I_1 = 2A$ می‌گذرد. در مقابل سیم و در فاصله‌ی ۱۰cm از آن قاب مستطیلی شکلی به ابعاد ۱۰cm و ۲۰cm قرار دارد و از آن جریان $I_2 = 5A$ می‌گذرد. بزرگی و جهت نیروی برآیند وارد بر قاب در میدان مغناطیسی سیم حامل جریان را تعیین کنید.

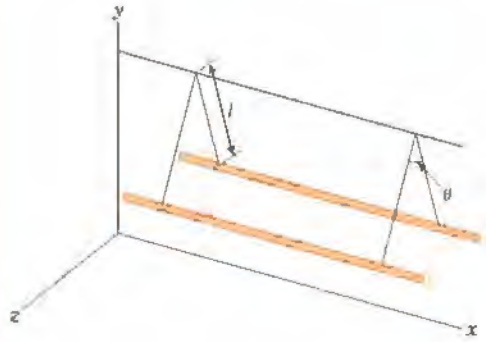


Sanatisharif.ir

مثال ۴۶

دو سیم راست و بلند، مطابق شکل آویخته شده‌اند. جرم واحد طول هر سیم μ است و از آن‌ها جریان‌های مساوی و غیر هم سوی I می‌گذرد.

الف) در حال تعادل زاویه‌ی میان دو سیم (θ) چه‌قدر است؟



ب) اگر $l = ۶\,\text{cm}$، $\mu = ۴۰\,\text{g/m}$ و $\theta = ۱۶^\circ$ باشد، بزرگی جریان الکتریکی عبوری از هر سیم را تعیین کنید.

Sanatisharif.ir