

مغناطیسی



پرواز مغناطیسی یا ترابری مگ لُوا

قطارهای معمولی با ریل‌های آهنی در تماس اند؛ در حالی که قطارهای مغناطیسی هنگام حرکت، چند سانتی‌متر بالاتر از ریل‌ها شناور می‌شوند و با ریل‌ها تماسی ندارند. تندی این قطارها امروزه به بیش از ۵۰۰ کیلومتر بر ساعت (حدود ۱۴۰ متر بر ثانیه) رسیده است.

کاربرد مغناطیس و آهنربا در جنبه‌های مختلف زندگی بشر، رشدی روزافزون دارد. فراتر از یک قرن، ضبط صدا و تصویر روی محیط‌هایی انجام می‌گرفت که مغناطیس در آنها نقش اصلی داشت. اگرچه فناوری دیجیتال به میزان زیادی جایگزین ضبط مغناطیسی به شیوه‌های سنتی شده است، با وجود این، ذخیره اطلاعات به صورت صفر و یک، هنوز هم در بیشتر روش‌ها به محیط‌های مغناطیسی وابسته است. مغناطیس و آهنرباها همچنین در بلندگوها، گوشی‌های تلفن همراه، رایانه‌ها، کارت‌های بانکی، موتورهای الکتریکی، یخچال‌ها، و اغلب سامانه‌های هشدار و ایمنی کاربرد دارد. پزشکی امروز نیز در تشخیص بیماری‌ها به کمک دستگاه‌هایی از قبیل ام‌آرآی (MRI)، بهره فراوانی از مغناطیس و آثار آن می‌برد.



شکل ۳-۱ سنگ آهنربای طبیعی. تالس که اغلب از او به عنوان پدر علم یونان یاد می‌شود، ماده کانی مگنتیت Fe_3O_4 را که ویژگی آهنربایی دارد می‌شناخت.

۳-۱ مغناطیس و قطب‌های مغناطیسی

آثار مغناطیسی دست کم ۲۵۰۰ سال پیش در تکه‌هایی از سنگ آهن مغناطیسی شده در نزدیکی شهر باستانی مگنسیا (که نام امروزی آن مانیسا و در غرب ترکیه واقع است) مشاهده شد. این تکه‌ها نمونه‌هایی هستند از چیزی که امروزه آهنربای دائمی خوانده می‌شود (شکل ۳-۱). چینی‌های باستان نیز با ویژگی‌های مغناطیسی برخی از سنگ‌های آهنربایی آشنایی داشتند و از آنها در ساخت قطب‌نما برای جهت‌یابی استفاده می‌کردند (شکل ۳-۲).



شکل ۳-۲ از گذشته‌های دور، برای جهت‌یابی در دریانوردی از قطب‌نما استفاده می‌شده است.

در علوم هشتم دیدید که هرگاه آهنربایی را درون ظرف محتوی براده آهن فرو ببریم، براده‌های آهن به مقدار زیادی جذب ناحیه‌های خاصی از آهنربا می‌شوند. این ناحیه‌ها را قطب‌های مغناطیسی یا قطب‌های آهنربا می‌نامند (شکل ۳-۳).

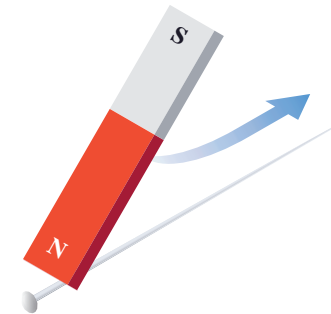


شکل ۳-۳ در آهنربا، دو ناحیه وجود دارد که خاصیت مغناطیسی در آنجا بسیار بیشتر از قسمت‌های دیگر است.

پرسش ۳-۱

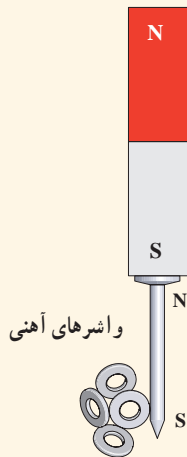
فرض کنید دو میله کاملاً مشابه، یکی از جنس آهن و دیگری آهنربا در اختیار دارید. باگفت‌وگو در گروه خود، روشی را پیشنهاد کنید که با استفاده از آن و بدون استفاده از هیچ وسیله دیگر، بتوان میله‌ای را که از جنس آهنرباست مشخص کرد.

هنگامی که یک آهنربای دائمی برای چندین بار و در یک جهت به یک سوزن خیاطی یا سوزن ته‌گرد کشیده شود، سوزن نیز برای مدتی آهنربا می‌شود (شکل ۳-۴). اگر این سوزن را به آرامی روی سطح آب درون ظرفی شناور کنیم، یا آن را توسط ریسمانی از وسط آن بیاویزیم که بتواند آزادانه بچرخد، یک سر آن تقریباً به سوی شمال جغرافیایی قرار می‌گیرد. این سر را قطب شمال یا قطب N و سر دیگر را قطب جنوب یا قطب S می‌نامند.



شکل ۳-۴ وقتی یکی از قطب‌های یک آهنربای دائمی را چندین بار و در یک جهت به یک سوزن ته‌گرد بکشید، سوزن برای مدتی دارای خاصیت مغناطیسی می‌شود.

ممکن است مفهوم قطب‌های مغناطیسی به نظر، مشابه مفهوم بارهای الکتریکی باشد و قطب‌های شمال و جنوب، مشابه بارهای مثبت و منفی به نظر بیاید؛ ولی این مشابهت می‌تواند گمراه کننده باشد. بارهای مثبت و منفی مجزا وجود دارند، در حالی که هیچ گواهی تجربی بر وجود تک قطبی مغناطیسی وجود ندارد؛ قطب‌های مغناطیسی همواره به صورت زوج ظاهر می‌شوند.

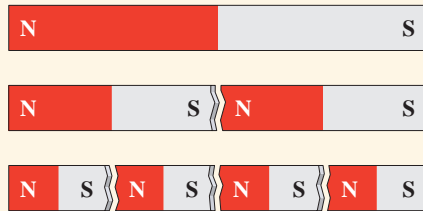


شکل (ب)

۱- دریافت خود را از شکل الف بیان کنید.

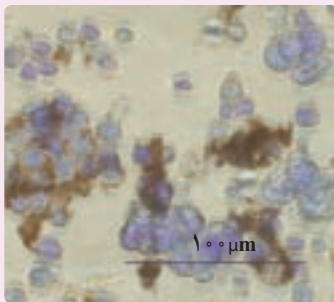
۲- در علوم هشتم با پدیده القای مغناطیسی آشنا شدید. با توجه به شکل ب این پدیده را توضیح

دهید و بیان کنید چرا در پدیده القای مغناطیسی همواره جذب وجود دارد؟



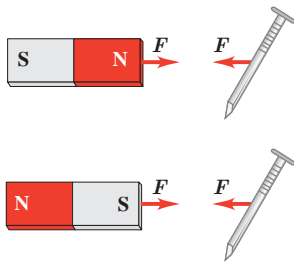
شکل (الف)

فناوری و کاربرد: نانو ذره‌های مغناطیسی برای درمان



لکه‌های تیره در تصویر میکروسکوپی روبه‌رو، یاخته‌های سرطانی‌اند که از توموری جدا شده‌اند و خطر پخش آنها در سرتاسر بدن بیمار وجود دارد. در یک روش تجربی برای مبارزه با این یاخته‌ها از ذره‌های یک ماده مغناطیسی استفاده می‌شود که به بدن تزریق می‌شوند. این ذره‌ها با ماده شیمیایی خاصی پوشیده شده‌اند که به‌طور هدفمند به یاخته‌های سرطانی متصل می‌شوند. سپس با استفاده از یک آهنربا در بیرون از بدن بیمار، این ذره‌ها (که در شکل به رنگ قهوه‌ای نشان داده شده است) بیرون «رانده» می‌شوند و یاخته‌های سرطانی را با خود می‌برند.

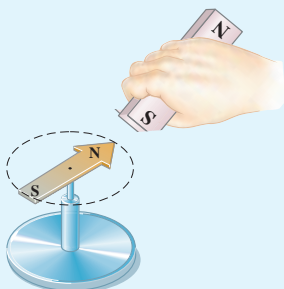
۲-۳ میدان مغناطیسی



شکل ۳-۵ در فضای اطراف آهنربا میدان مغناطیسی وجود دارد به طوری که هر جسم آهنی مانند میخ را به سوی خود جذب می‌کند.

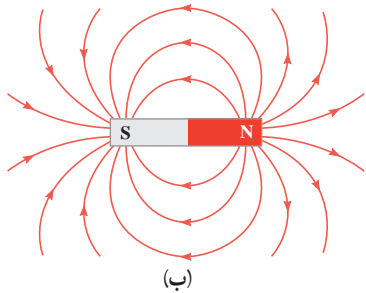
هرگاه آهنربایی را به یک میخ آهنی نزدیک کنید می‌بینید که میخ به طرف آهنربا حرکت می‌کند و به سمت آن جذب می‌شود (شکل ۳-۵). مشابه آنچه درباره اجسام باردار دیدید، برای توجیه این پدیده می‌گوییم در فضای اطراف آهنربا میدان مغناطیسی وجود دارد که سبب جذب میخ شده است. میدان مغناطیسی نیز مانند میدان الکتریکی که در فصل ۱ با آن آشنا شدید، کمیتی برداری است و آن را با نماد \vec{B} نمایش می‌دهیم.

فعالیت ۱-۳

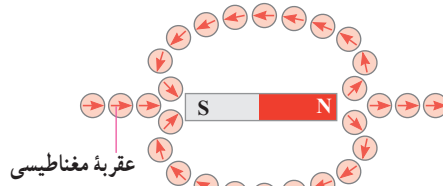


یکی از قطب‌های یک آهنربای میله‌ای را به یک عقربه مغناطیسی نزدیک کنید (شکل روبه‌رو). آنچه را می‌بینید توضیح دهید. با دور کردن آهنربا از قطب‌نما چه اتفاقی می‌افتد؟ دلیل آن را شرح دهید. در صورتی که قطب‌نما در اختیار ندارید، یک سوزن ته‌گرد مغناطیسی شده را روی سطح آب، درون ظرفی شناور سازید. به این ترتیب، سوزن ته‌گرد مانند عقربه مغناطیسی یک قطب‌نما رفتار می‌کند.

به کمک عقربه مغناطیسی می‌توان جهت میدان مغناطیسی را در هر نقطه از فضای اطراف یک آهنربا تعیین کرد (شکل ۳-۶ الف). بنا به تعریف، بردار میدان مغناطیسی در هر نقطه از فضای پیرامون یک آهنربا در جهتی است که وقتی عقربه مغناطیسی در آن نقطه قرار می‌گیرد، قطب N عقربه، آن جهت را نشان می‌دهد. با تعیین جهت میدان مغناطیسی در هر نقطه از فضای اطراف آهنربا، می‌توان همان‌گونه که برای میدان الکتریکی انجام دادیم، خط‌های میدان مغناطیسی را رسم کنیم. شکل ۳-۶ ب خط‌های میدان مغناطیسی را در اطراف یک آهنربای میله‌ای نشان می‌دهد. این خط‌ها از آهنربا می‌گذرند و هریک از آنها یک حلقه بسته را تشکیل می‌دهند. افزون بر اینها، خط‌های میدان مغناطیسی در نزدیکی قطب‌ها به یکدیگر نزدیک‌ترند.



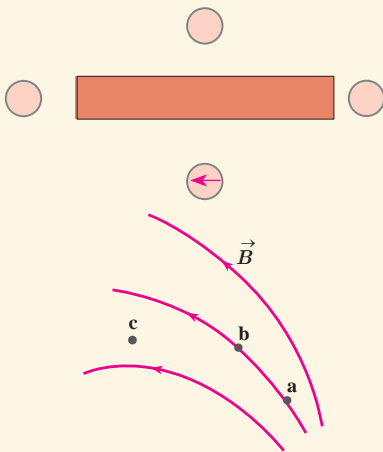
(ب)



(الف)

شکل ۳-۶ الف تعیین جهت میدان مغناطیسی به کمک عقربه مغناطیسی.
(ب) خط‌های میدان مغناطیسی در هر نقطه در جهت عقربه مغناطیسی اند و از قطب N خارج و به قطب S وارد می‌شوند. (در این شکل خط‌های درون آهنربا نشان داده نشده است.)

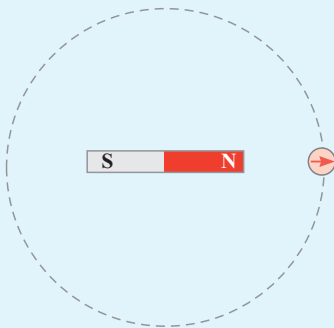
پرسش ۳-۳



۱- شکل روبه‌رو، یک آهنربای میله‌ای و تعدادی عقربه مغناطیسی را نشان می‌دهد. (الف) کدام سر آهنربا قطب N و کدام سر قطب S است؟
(ب) جهت‌گیری عقربه‌های مغناطیسی را در دیگر مکان‌های روی شکل تعیین کنید.

۲- شکل روبه‌رو، خط‌های میدان مغناطیسی در ناحیه‌ای از فضا را نشان می‌دهد. بردار میدان مغناطیسی را در هر یک از نقطه‌های روی شکل رسم کنید. به اندازه و جهت بردار میدان در هر نقطه توجه کنید.

فعالیت ۳-۲

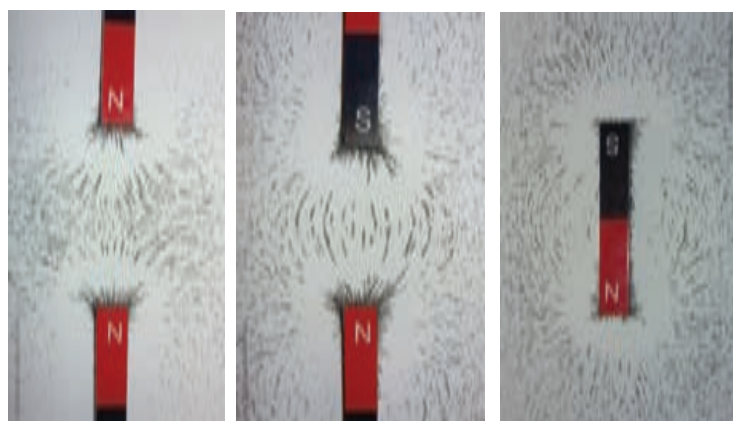


یک آهنربای میله‌ای را روی سطح افقی میزی قرار دهید. یک قطب‌نما یا عقربه مغناطیسی را مقابل یکی از قطب‌های آهنربا قرار دهید. روی مسیری دایره‌ای شکل دور آهنربا، عقربه را به آرامی حرکت دهید (شکل روبه‌رو). بررسی کنید پس از یک دور حرکت، عقربه چند درجه می‌چرخد.

هدف: مشاهده طرغ فطهای میدان مغناطیسی با استفاده از براده آهن

وسیله‌های مورد نیاز: آهنربای میله‌ای (دو عدد)، براده آهن، یک ورقه شیشه‌ای یا مقوایی، نمک پاش (یا وسیله دیگری برای پاشیدن براده آهن) و دوربین برای عکس گرفتن از نتیجه آزمایش (اختیاری)
شرح آزمایش:

- یکی از آهنرباهای میله‌ای را روی میز قرار دهید و صفحه شیشه‌ای (یا مقوایی) را روی آن بگذارید.
- به کمک نمک پاش، کمی براده آهن را به طور یکنواخت روی شیشه (مقوا) بپاشید.



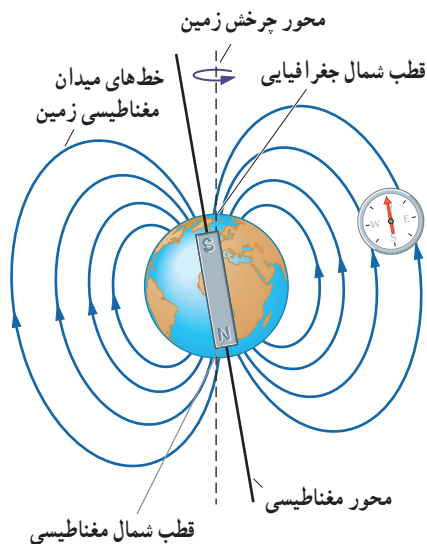
(ب)

(ب)

(الف)

• چند ضربه آرام به صفحه شیشه‌ای بزنید تا براده‌های آهن در راستای خط‌های میدان مغناطیسی قرار گیرند. طرغی که روی صفحه شیشه‌ای پدیدار می‌شود، نقشه‌ای از خط‌های میدان مغناطیسی یک آهنربای میله‌ای است (شکل الف).

• مراحل بالا را برای دو آهنربای میله‌ای که به ترتیب: قطب‌های ناهمنام و قطب‌های همنام آنها به یکدیگر نزدیک‌اند انجام دهید (شکل‌های ب و پ).



شکل ۳-۷ طرغ ساده‌ای از میدان مغناطیسی زمین. عقربه مغناطیسی قطب‌نما در هر نقطه در امتداد خط‌های این میدان قرار می‌گیرد.

میدان مغناطیسی زمین: زمین مانند یک آهنربای بسیار بزرگ رفتار می‌کند و طرغ خط‌های میدان مغناطیسی آن مانند طرغ خط‌های آهنربای میله‌ای بزرگی است که در نزدیکی مرکز زمین قرار دارد و قطب شمال آن در نزدیکی قطب جنوب جغرافیایی زمین است (شکل ۳-۷). نشان دادن خط‌های میدان مغناطیسی زمین به صورت خط‌های میدان یک آهنربای میله‌ای، تنها یک مدل ساده از ساختار پیچیده و ناشناخته عوامل ایجاد میدان مغناطیسی زمین است. شواهد زمین‌شناختی نشان می‌دهند که جهت این میدان در بازه‌های زمانی نامنظم از ده هزار تا یک میلیون سال به طور کامل وارون می‌شود. قطب‌های مغناطیسی زمین بر قطب‌های جغرافیایی آن منطبق نیستند. در واقع، قطب‌های مغناطیسی و جغرافیایی زمین فاصله نسبتاً زیادی از یکدیگر دارند؛ مثلاً قطب جنوب مغناطیسی تقریباً در فاصله ۱۸۰۰ کیلومتری قطب شمال جغرافیایی قرار دارد. این بدان معناست که عقربه مغناطیسی قطب‌نما در جهت شمال واقعی جغرافیایی قرار نمی‌گیرد و تا حدودی از شمال جغرافیایی انحراف دارد.

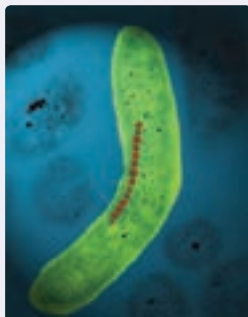
فعالیت ۳-۳

وقتی یک سوزن مغناطیسی شده یا یک عقربه مغناطیسی را از وسط آن آویزان می‌کنیم در بیشتر نقاط زمین، به طور افقی قرار نمی‌گیرد و امتداد آن با سطح افقی زمین زاویه می‌سازد. به این زاویه، **شیب مغناطیسی** گفته می‌شود. برای یافتن شیب مغناطیسی محلی که در آن زندگی می‌کنید درست به وسط یک سوزن مغناطیسی شده یا عقربه مغناطیسی بزرگ، نخ را ببندید و آن را آویزان کنید. پس از تعادل، به کمک نقاله، زاویه‌ای را اندازه بگیرید که امتداد سوزن یا عقربه مغناطیسی با راستای افق می‌سازد. عدد به دست آمده، شیب مغناطیسی محل زندگی شماست^۱. چنانچه در آزمایشگاه مدرسه شیب‌سنج مغناطیسی موجود باشد می‌توانید از آن نیز استفاده کنید.

خوب است بدانید: جهت یابی مغناطیسی در جانداران

بسیاری از موجودات زنده از میدان مغناطیسی زمین برای جهت‌یابی استفاده می‌کنند. خرچنگ خاردار کارائیب در برابر میدان‌های مغناطیسی بسیار حساس است (شکل الف). این جاندار یک قطب‌نمای مغناطیسی درونی دارد که تشخیص شمال، جنوب، شرق و غرب را برایش امکان‌پذیر می‌کند. این خرچنگ همچنین می‌تواند تفاوت اندک در میدان مغناطیسی زمین از مکانی به مکان دیگر را حس کند و از این تفاوت، در یافتن مسیر خود بهره بگیرد.

در سال ۱۹۷۵ میلادی دانشمندان مؤسسه فناوری ماساچوست (MIT) هنگام بررسی باکتری‌های موجود در لجن ته باتلاق‌ها، متوجه شدند که این باکتری‌ها دارای قسمت‌هایی کوچک در بدن خود هستند که خاصیت مغناطیسی دارند. این قسمت‌ها به صورت زنجیری در یک خط قرار دارند؛ در نتیجه یک عقربه مغناطیسی کوچک را تشکیل می‌دهند (شکل ب). باکتری‌ها به کمک این مغناطیس داخلی می‌توانند از میدان مغناطیسی زمین بهره بگیرند و به طرف مواد غذایی در ته آبگیر هدایت شوند. جالب اینکه باکتری‌های مربوط به نیمکره جنوبی زمین، برای رسیدن به ته آبگیر در خلاف جهت خط‌های میدان مغناطیسی زمین قرار می‌گیرند.

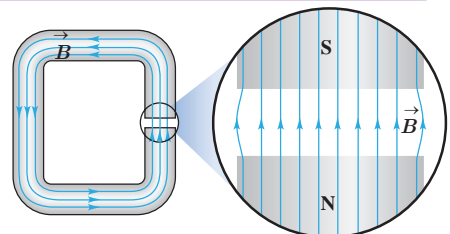


(ب)



(الف)

میدان مغناطیسی یکنواخت: هرگاه در نقاط مختلف ناحیه‌ای از فضا جهت و اندازه میدان مغناطیسی یکسان باشد، در این صورت میدان مغناطیسی را در آن ناحیه یکنواخت می‌گویند. ایجاد میدان مغناطیسی یکنواخت در ناحیه بزرگی از فضا بسیار دشوار و در عمل امکان‌ناپذیر است. با این وجود، می‌توان در ناحیه کوچکی از فضا، مانند ناحیه بین قطب‌های یک آهنربای C شکل^۲، میدان مغناطیسی یکنواخت ایجاد کرد (شکل ۳-۸).



شکل ۳-۸ میدان مغناطیسی در فضای بین قطب‌های یک آهنربای C شکل با تقریب خوبی یکنواخت است.

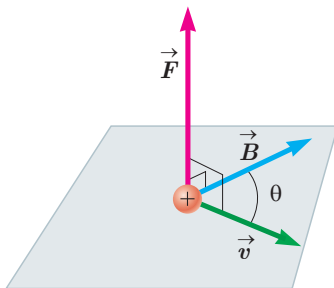
۱- می‌توانید به سایت www.magnetic-declination.com بروید و درستی شیب مغناطیسی (magnetic inclination) به دست آمده در فعالیت ۳-۳ را بررسی کنید. یا با نصب برنامه inclination meter روی گوشی تلفن همراه خود، شیب مغناطیسی را در محل زندگی خود اندازه بگیرید. شیب مغناطیسی در ایران از حدود 4° تا حدود 6° از مناطق جنوبی تا مناطق شمال غربی متغیر است.



نیکیلا تسلا (۱۸۵۶-۱۹۴۳)

تسلا در کرواسی به دنیا آمد. او بعدها به امریکا مهاجرت و مدتی با ادیسون همکاری کرد. ادیسون همواره با جریان مستقیم (dc) کار می‌کرد، با این وجود، وی کارکردن با جریان متناوب (ac) با ولتاژهای بسیار بالا را عملی ساخت. تسلا از اینکه جریان متناوب برای اولین بار در سندی الکتریکی به منظور اعدام مورد استفاده قرار گرفت شدیداً ناراحت بود. وی همچنین طراح تولید برق در آبشار نیاگارا بود. به پاس خدمات وی، یکای SI میدان مغناطیسی را با تسلا نشان می‌دهند.

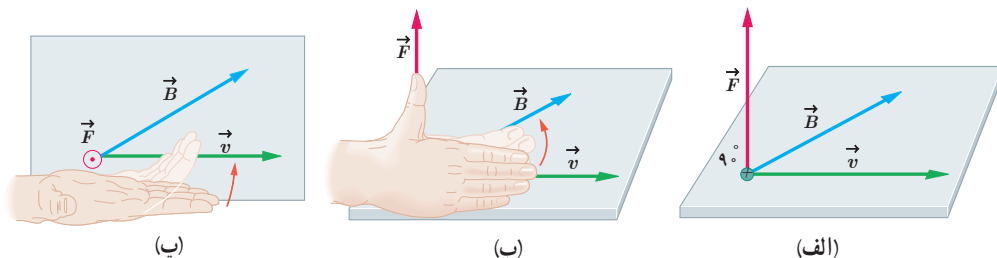
⊙ نماد بردار عمود بر صفحه به طرف بیرون (برون سو)
 ⊗ نماد بردار عمود بر صفحه به طرف درون (درون سو)



شکل ۳-۱ نیروی \vec{F} بر هر دو بردار \vec{v} و \vec{B} عمود است. به عبارت دیگر، نیروی مغناطیسی بر صفحه‌ای که توسط سرعت و میدان مغناطیسی تشکیل می‌شود عمود است.

۳-۳ نیروی مغناطیسی وارد بر ذره باردار متحرک در میدان مغناطیسی

آزمایش نشان می‌دهد که اگر ذره باردار q با سرعت \vec{v} در میدان مغناطیسی \vec{B} حرکت کند (به شرط آنکه جهت حرکت آن با میدان مغناطیسی موازی نباشد) بر آن نیروی وارد خواهد شد که مطابق شکل ۳-۹ الف بر راستای سرعت و میدان مغناطیسی عمود است. این نیرو را نیروی مغناطیسی می‌نامند و جهت آن، مطابق شکل ۳-۹ ب و پ به کمک قاعده دست راست تعیین می‌شود. اگر دست راست خود را طوری نگه داریم که انگشتان باز شده ما در جهت \vec{v} باشد - به گونه‌ای که وقتی آنها را روی زاویه کوچک تری که \vec{v} با \vec{B} می‌سازد، و در جهت چرخش طبیعی انگشتان خم کنیم در جهت \vec{B} قرار گیرد - انگشت شست ما در جهت نیروی وارد بر ذره باردار مثبت خواهد بود. توجه کنید که نیروی وارد بر بار منفی، در خلاف جهت نیروی وارد بر بار مثبت است.



شکل ۳-۹ الف) بر ذره باردار q که با سرعت \vec{v} در میدان مغناطیسی \vec{B} حرکت می‌کند، نیروی مغناطیسی \vec{F} وارد می‌شود. ب) و پ) جهت این نیرو به کمک قاعده دست راست تعیین می‌شود.

اندازه نیروی مغناطیسی وارد بر بار الکتریکی در حال حرکت از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$F = |q|vB\sin\theta \quad (۱-۳)$$

در این رابطه $|q|$ ، بزرگی بار الکتریکی، v تندی (اندازه سرعت) بار الکتریکی، B اندازه میدان مغناطیسی و θ زاویه بین جهت حرکت بار الکتریکی (بردار \vec{v}) با جهت میدان مغناطیسی (بردار \vec{B}) است (شکل ۳-۱۰).

رابطه ۳-۱ نشان می‌دهد وقتی بار الکتریکی q عمود بر راستای میدان مغناطیسی حرکت کند ($\sin\theta = \sin 90^\circ = 1$)، اندازه نیروی مغناطیسی وارد بر بار الکتریکی، بیشینه می‌شود ($F = F_{\max}$). بنا به رابطه ۳-۱، یکای SI میدان مغناطیسی معادل است با:

$$\text{یکای SI میدان مغناطیسی} = \frac{\text{N}}{\text{C.m/s}} = \frac{\text{N}}{\text{A.m}}$$

این یکا به احترام نیکیلا تسلا دانشمند و مخترع نامی، تسلا نامیده می‌شود و به اختصار با نماد T نشان داده می‌شود. به این ترتیب می‌توان نوشت:

$$1\text{T} = 1 \frac{\text{N}}{\text{C.m/s}} = 1 \frac{\text{N}}{\text{A.m}} \quad (۲-۳)$$

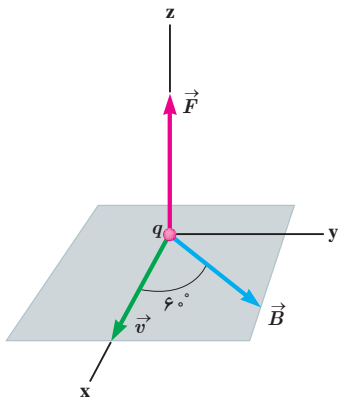
تسلا یکای بزرگی است و در برخی موارد از یکای قدیمی (غیر SI) و کوچک تری به نام گاوس (با نماد G) استفاده می کنند به طوری که داریم $1\text{T} = 10^4\text{G}$. اندازه میدان مغناطیسی زمین در نزدیکی سطح زمین در قطب ها بیشترین (G/۶۵) و در استوا کمترین (G/۲۵) است. بزرگی میدان مغناطیسی در نزدیکی آهنرباهای میله ای کوچک حدود ۰/۱ تا ۰/۱ تسلا است. همچنین بزرگ ترین میدان مغناطیسی مداوم^۱ که امروزه در آزمایشگاه تولید شده، حدود ۴۵ تسلا است.



کارل فریدریش گاوس (۱۸۵۵-۱۷۷۷)

گاوس، ریاضی دان، فیزیک دان و ستاره شناس آلمانی است که مدتی مدیر رصدخانه گوتینگن بوده است. گاوس یکی از ریاضی دان های بزرگ و برجسته ترین کارش در نظریه اعداد است. او به انجام محاسبه های بی اندازه بفرنج علاقه مند بود. وی همچنین روش های تازه ای برای محاسبه در مکانیک سماوی به دست آورد. گاوس روی پدیده های الکتریکی و مغناطیسی نیز فعالیت زیادی کرد و قانونی به نام وی در مبحث الکتریسته وجود دارد.

مثال ۳-۱



ذره ای با بار $q = +4/0\text{nC}$ و با تندی $v = 2/0\text{m/s}$ در جهتی حرکت می کند که با میدان مغناطیسی یکنواخت $B = 12/0\text{G}$ زاویه $\theta = 6^\circ$ می سازد (شکل روبه رو). اندازه نیروی مغناطیسی وارد بر این ذره را حساب کنید.

پاسخ: با توجه به فرض های مسئله داریم:

$$|q| = +4/0 \times 10^{-9}\text{C}, \quad v = 2/0\text{m/s},$$

$$B = 12/0 \times 10^{-4}\text{T} \quad \text{و} \quad \theta = 6^\circ$$

با قرار دادن داده های بالا در رابطه ۳-۱ داریم:

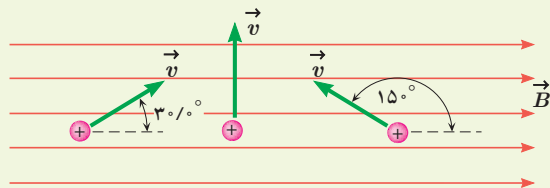
$$F = |q|vB \sin\theta$$

$$= (4/0 \times 10^{-9}\text{C})(2/0\text{m/s})(12/0 \times 10^{-4}\text{T}) \sin 6^\circ \approx 8/3 \times 10^{-10}\text{N}$$

تمرین ۳-۱

۱- پروتونی که با زاویه $\theta = 3^\circ$ نسبت به میدان مغناطیسی یکنواختی به اندازه $B = 32/0\text{G}$ در حرکت است نیروی به اندازه

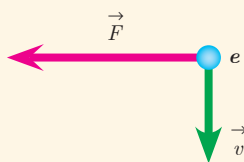
$F = 5/12 \times 10^{-14}\text{N}$ وارد می شود. تندی پروتون چند کیلومتر بر ثانیه است؟



۲- سه ذره، هر کدام با بار $q = 6/15\text{ }\mu\text{C}$ و تندی $v = 46\text{ m/s}$ در میدان مغناطیسی یکنواختی به اندازه $B = 0/165\text{T}$ در حرکت اند (شکل روبه رو). اندازه نیروی وارد بر هر ذره را حساب کنید.

۳- پروتونی که با زاویه $\theta = 15^\circ$ نسبت به میدان مغناطیسی یکنواختی به اندازه $B = 0/165\text{T}$ در حرکت است نیروی به اندازه $F = 5/12 \times 10^{-14}\text{N}$ وارد می شود. تندی پروتون چند کیلومتر بر ثانیه است؟

پرسش ۳-۴

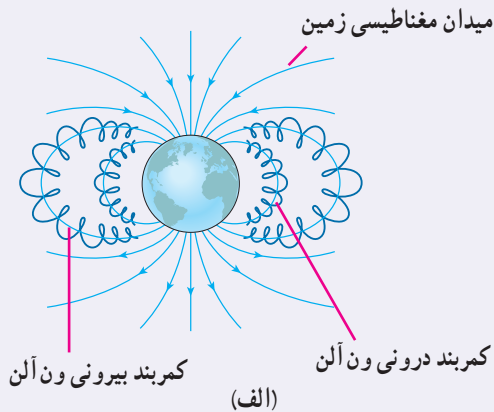


الکترونی عمود بر میدان مغناطیسی یکنواختی در حرکت است. با توجه به شکل،

جهت میدان \vec{B} کدام است؟

بالا راست درون سو برون سو

خوب است بدانید: کمربندهای تابشی ون آلن



در بیرون از جو زمین، ذره‌های باردار بسیاری با تندی‌های بسیار زیادی در حرکت‌اند. این ذره‌های سریع را که معمولاً از جنس پروتون، هستهٔ اتم هلیوم (ذرهٔ آلفا) و الکترون هستند پرتوهای کیهانی می‌نامند. این پرتوها افزون بر فضاوردان، برای سامانه‌های الکترونیکی واقع در فضا نیز خطرناک‌اند. خوشبختانه بیشتر این پرتوهای باردار توسط میدان مغناطیسی زمین منحرف می‌شوند و مانع از آسیب‌رسانی به موجودات و سامانه‌های روی زمین می‌شود. ذرات بارداری که در میدان مغناطیسی زمین به دام می‌افتند، کمربندهای تابشی ون آلن را تشکیل می‌دهند (شکل الف).



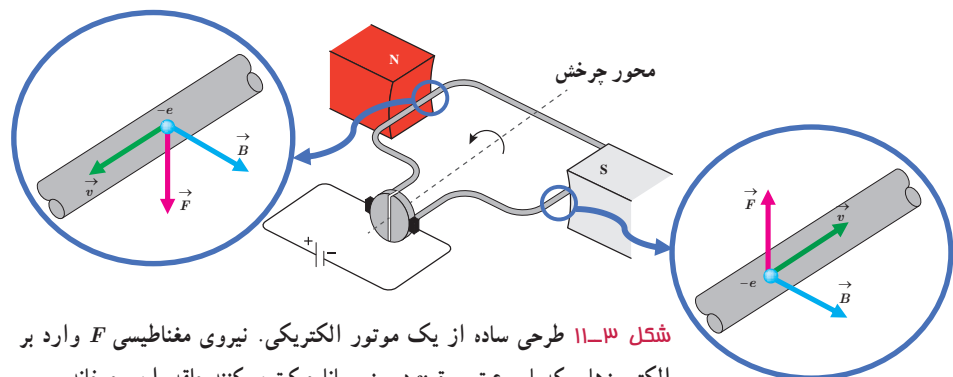
(ب) تصویری خیره‌کننده از شفق قطبی در نیمکرهٔ شمالی. در نیمکرهٔ جنوبی این پدیده شفق جنوبی نامیده می‌شود.

این کمربندها در سال ۱۹۵۸ میلادی و بر اساس داده‌های گردآوری شده توسط ماهوارهٔ اکسپلور I کشف شده و به نام جیمز ون آلن (۱۹۱۴ - ۲۰۰۶) یکی از کاشفان آن، نام‌گذاری شدند. فضاوردان در فاصله‌های ایمن بسیار پایین‌تر از این کمربندهای تابشی دور زمین می‌گردند.

هرگاه توفان‌های خورشیدی، ذره‌های باردار را به صورت فوران‌های عظیمی پرتاب کنند، بسیاری از آنها از نزدیکی زمین می‌گذرند و در کمربند ون آلن به دام می‌افتند. شفق قطبی (نورهای شمالی) پدیدهٔ زیبایی است که بر اثر برخورد ذره‌های باردار موجود در کمربند ون آلن با مولکول‌های جو زمین به وجود می‌آید (شکل ب).

۴-۳ نیروی مغناطیسی وارد بر سیم حامل جریان

موتورهای الکتریکی ابزارهایی هستند که انرژی الکتریکی را به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کنند و اساس کار بسیاری از دستگاه‌ها نظیر جاروی برقی، متهٔ برقی، آسیاب برقی، ماشین لباسشویی، پنکه و... را تشکیل می‌دهند. شکل ۳-۱۱ طرحی ساده از اجزای اصلی یک موتور الکتریکی را نشان می‌دهد که در علوم سال هشتم با نحوهٔ ساختن آن آشنا شدید. چه چیز باعث می‌شود یک موتور الکتریکی کار کند؟



شکل ۳-۱۱ طرحی ساده از یک موتور الکتریکی. نیروی مغناطیسی F وارد بر الکترون‌هایی که با سرعت سوق v درون رسانا حرکت می‌کنند حلقه را می‌چرخاند.

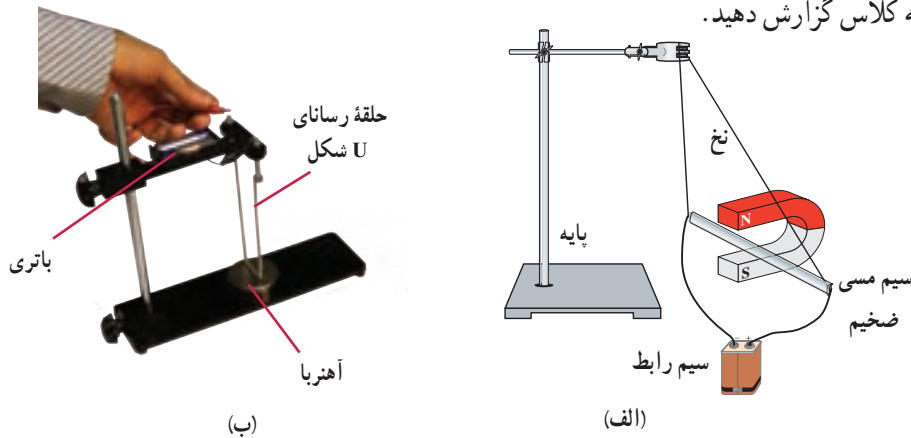
در هر موتور الکتریکی، سیم‌هایی وجود دارند که حامل جریان‌اند (یعنی بارهای الکتریکی در آنها در حرکت‌اند) و آهنرباهایی نیز وجود دارند که بر بارهای متحرک نیرو وارد می‌کنند. از این رو، بر هر سیم حامل جریان، نیروی مغناطیسی وارد می‌شود و این نیروها حلقه را می‌چرخاند.

آزمایش ۲-۳

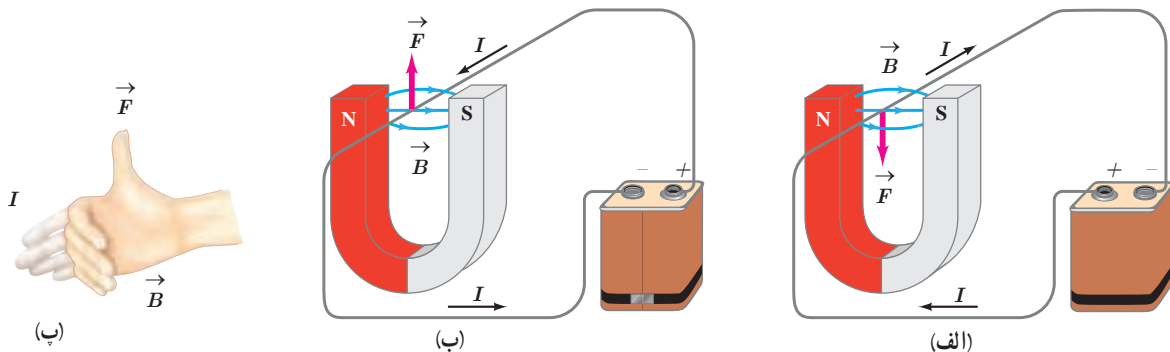
هدف: بررسی نیروی وارد بر سیم حامل جریان

وسایله‌های مورد نیاز: آهنربای نعلی شکل، سیم مسی ضخیم، سیم رابط، پایه، نخ و باتری
شرح آزمایش:

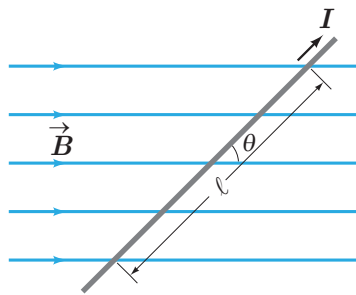
- مداری مطابق شکل الف ببندید تا جریان از سیم مسی بگذرد. آنچه را که مشاهده می‌کنید، در گروه خود به بحث بگذارید.
- در صورتی که وسیله‌ای مشابه شکل ب را در آزمایشگاه مدرسه در اختیار دارید می‌توانید از آن استفاده کنید.
- مدار را قطع کنید و جهت جریان را تغییر داده و مراحل بالا را دوباره انجام دهید.
- نتیجه آزمایش را به کلاس گزارش دهید.



اورستد (فیزیک‌دان دانمارکی) با انجام آزمایش‌هایی شبیه آزمایش ۲-۳ و اندازه‌گیری نیرویی که بر سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی وارد می‌شود، نشان داد:
نیرویی که در میدان مغناطیسی بر سیم حامل جریان الکتریکی وارد می‌شود، بر راستای سیم و نیز بر راستای میدان مغناطیسی عمود است. جهت نیروی وارد بر سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی را می‌توان با استفاده از قاعده دست راست تعیین کرد (شکل ۱۲-۳).



شکل ۱۲-۳ (الف) نیروی مغناطیسی وارد بر سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی؛ (ب) نیروی مغناطیسی وارد بر سیم در حالی که جهت جریان وارونه شده است. (پ) قاعده دست راست برای تعیین جهت نیروی مغناطیسی وارد بر سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی شکل (ب).



شکل ۳-۱۳ سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی. نیروی مغناطیسی وارد بر سیم درون سو (عمود بر صفحه کتاب و به طرف داخل) است.

عامل‌های مؤثر بر نیروی مغناطیسی وارد بر سیم راست رسانای حامل جریان: آزمایش‌هایی مشابه آزمایش ۲-۳ نشان می‌دهند که نیروی مغناطیسی وارد بر یک سیم رسانای حامل جریان در میدان مغناطیسی یکنواخت، به عامل‌های مختلفی بستگی دارد که این عامل‌ها در رابطه زیر بیان شده‌اند:

$$F = I\ell B \sin\theta \quad (3-3)$$

در این رابطه ℓ طول بخشی از سیم رساناست که در میدان مغناطیسی یکنواخت B قرار دارد. زاویه‌ای را که امتداد سیم با خطوط میدان مغناطیسی می‌سازد با θ نشان داده‌ایم (شکل ۳-۱۳).

پرسش ۳-۵

اگر در شکل ۳-۱۳ سیم حامل جریان در امتداد میدان مغناطیسی قرار گیرد، نیروی مغناطیسی وارد بر آن چقدر خواهد بود؟ در چه حالتی بزرگی این نیرو بیشینه می‌شود؟

مثال ۳-۲

یک سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی یکنواختی به بزرگی $G = 40^\circ$ در راستای قرار دارد که با جهت میدان زاویه 3° می‌سازد. اگر جریان عبوری از سیم 5 A باشد، بزرگی نیروی مغناطیسی وارد بر 1 m از این سیم را حساب کنید.

پاسخ: با توجه به فرض‌های مسئله داریم:

$$B = 400 \times 10^{-4} \text{ T}, \quad \theta = 3^\circ, \quad I = 5\text{ A} \quad \text{و} \quad \ell = 1\text{ m}$$

با قرار دادن داده‌های بالا در رابطه ۳-۳ داریم:

$$F = I\ell B \sin\theta = (5\text{ A})(1\text{ m})(400 \times 10^{-4} \text{ T}) \sin 3^\circ = 0.1\text{ N}$$

تمرین ۳-۲

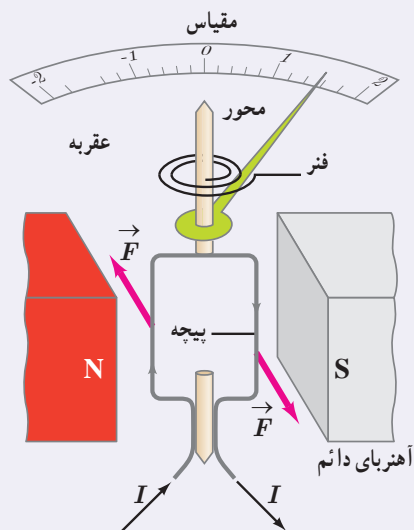
سیم مستقیمی به طول $2/4\text{ m}$ حامل جریان $2/5\text{ A}$ از شرق به غرب است. اندازه میدان مغناطیسی زمین در محل این سیم 45° و جهت آن از جنوب به شمال است. اندازه و جهت نیروی مغناطیسی وارد بر این سیم را تعیین کنید.

$$\vec{B} \quad (\text{میدان مغناطیسی زمین به طرف شمال}) \quad \otimes \quad \leftarrow I = 2/5\text{ A}$$

فعالیت ۳-۴

آزمایشی را طراحی کنید که به کمک آن بتوان نیروی مغناطیسی وارد بر سیم حامل جریان الکتریکی درون میدان مغناطیسی را اندازه‌گیری کرد. در صورت لزوم، برای اجرای این آزمایش می‌توانید از ترازوهای دیجیتال (رقمی) با دقت 0.1 g استفاده کنید.

خوب است بدانید: طرز کار گالوانومتر



طرحی ساده از یک گالوانومتر. برای سادگی، تنها یک حلقه از پیچه نشان داده شده است.

گالوانومتر وسیله‌ای است که با آن می‌توان جریان‌های الکتریکی بسیار کوچک از مرتبه میکروآمپر را اندازه گرفت. با استفاده از مطالبی که تاکنون فرا گرفته‌ایم، می‌توان ساز و کار گالوانومتر عقربه‌ای را مورد بررسی قرار داد.

هر گالوانومتر قابی دارد که دور آن سیمی پیچیده شده است. این پیچه در میدان مغناطیسی آهنربای دائمی قرار دارد. وقتی جریان از پیچه می‌گذرد، میدان مغناطیسی با وارد کردن نیرو به سیم‌های حامل جریان، گشتاوری ایجاد می‌کند که پیچه را می‌چرخاند (شکل روبه‌رو) و عقربه متصل به پیچه منحرف می‌شود. هر قدر جریان بزرگ‌تر شود، چرخش پیچه و انحراف عقربه بیشتر خواهد شد. اگر جهت جریان وارون شود، جهت چرخش پیچه و انحراف عقربه نیز وارون خواهد شد. با قطع جریان، فنر ظریف نشان داده شده در شکل، پیچه و عقربه را به حالت اولیه خود بر می‌گرداند. صفحه گالوانومتر که عقربه در مقابل آن می‌چرخد را بر حسب یکای میکروآمپر مدرج می‌کنند.

۳-۵ میدان مغناطیسی حاصل از جریان الکتریکی

تا اینجا بی‌بردییم که در فضای اطراف آهنرباهای دائمی میدان مغناطیسی وجود دارد. در ادامه این فصل با چشمه‌های دیگر ایجاد میدان مغناطیسی آشنا خواهیم شد.

اورستد دانشمند دانمارکی، در سال ۱۸۲۰ میلادی ضمن انجام برخی آزمایش‌های الکتریسیته، مشاهده کرد که عقربه مغناطیسی در کنار سیم حامل جریان الکتریکی منحرف می‌شود (شکل ۳-۱۴). او با انجام دادن آزمایش‌های بیشتر کشف کرد که عبور جریان الکتریکی از یک سیم رسانا، در اطراف آن یک میدان مغناطیسی به وجود می‌آورد. این کشف اورستد گام مهمی در راه درک رابطه بین الکتریسیته و مغناطیس بود که به گسترش مبحث الکترومغناطیس انجامید. در این بخش، به بررسی میدان مغناطیسی حاصل از جریان الکتریکی در سیم‌ها می‌پردازیم.



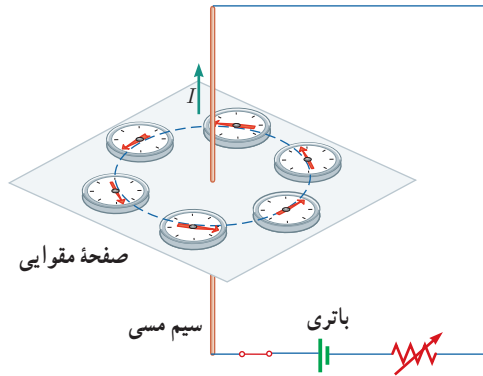
هانس کریستیان اورستد (۱۸۵۱-۱۷۷۷) فیزیک‌دان و شیمی‌دان مشهور دانمارکی است که تأثیر بسیار بزرگی در تاریخ فیزیک گذاشته است. کشفیات وی در زمینه الکتریسیته و مغناطیس، اولین گام در شکل‌گیری نظریه الکترومغناطیس بود. اورستد که معمولاً در کلاس‌هایش به انجام آزمایش هم می‌پرداخت، در یکی از روزهای سال ۱۸۲۰ میلادی، در حالی که مشغول آموزش الکتریسیته و تولید جریان با پیل الکتریکی بود، متوجه انحراف جهت عقربه قطب‌نمایی شد که در کنار سیم حامل جریان قرار داشت. در ابتدا تصور کرد که ممکن است جریان هوای پیرامون سیم حامل جریان سبب انحراف عقربه شده است، اما با انجام آزمایش‌هایی دقیق‌تر، به ارتباط مستقیم الکتریسیته و مغناطیس پی برد. به دنبال این کشف مهم، دانشمندان دیگری همچون آمپر، فاراده، هانری، ماکسول و هرتز تحقیقات در الکترومغناطیس را ادامه دادند. اورستد در حوزه فلسفه هم مطالعاتی داشت و همچنین یکی از دوستان نزدیک داستان‌نویس مشهور کودکان، هانس کریستیان آندرسن بود.



شکل ۳-۱۴ میدان مغناطیسی اطراف سیم حامل جریان را می‌توان با قرار دادن تعدادی عقربه مغناطیسی پیرامون آن نشان داد.

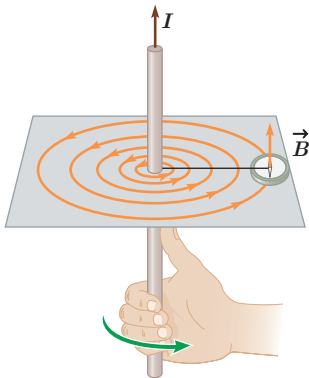
هدف: بررسی آثار مغناطیسی جریان الکتریکی (آزمایش اورستد)

وسایله‌های مورد نیاز: باتری، سیم مسی نسبتاً ضخیم، صفحه مقوایی، عقربه مغناطیسی (قطب‌نما)، رثوستا و سیم رابط
شرح آزمایش:



- سیم مسی را از صفحه مقوایی بگذرانید و با آن مداری مطابق شکل روبه‌رو تشکیل دهید.
- قبل از برقراری جریان الکتریکی، عقربه مغناطیسی را در مجاورت سیم، روی مقوا قرار دهید و به راستای قرار گرفتن آن توجه کنید.
- با وصل کردن مدار، جریان الکتریکی را از سیم مسی عبور دهید و به جهت‌گیری عقربه مغناطیسی توجه کنید.
- عقربه مغناطیسی را در نقطه‌های مختلف روی مقوا قرار دهید و جهت آن را بررسی کنید.

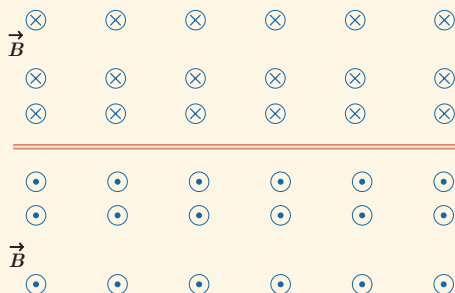
- با توجه به جهت‌گیری عقربه در نقاط مختلف صفحه مقوایی، چند خط میدان مغناطیسی را رسم کنید.
- این آزمایش را بار دیگر با جریانی در جهت مخالف تکرار کنید.
- به کمک چند باتری دیگر یا تغییر مقاومت رثوستا، تحقیق کنید که افزایش یا کاهش جریان چه تأثیری در نتیجه آزمایش دارد؟
- نتیجه این آزمایش را در گروه خود بحث کنید و آن را به کلاس گزارش دهید.



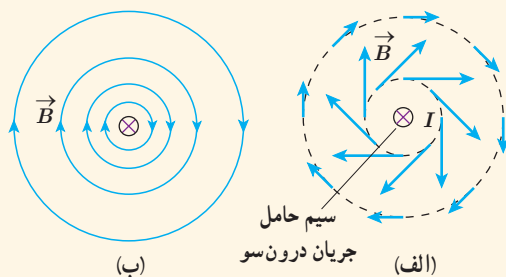
با انجام این آزمایش می‌بینید که خط‌های میدان مغناطیسی حاصل از یک سیم حامل جریان، مطابق شکل ۳-۱۵ به صورت دایره‌های هم‌مرکز در اطراف سیم حامل جریان هستند. جهت خط‌های میدان مغناطیسی سیم مستقیم حامل جریان را می‌توان به کمک عقربه مغناطیسی تعیین کرد. علاوه بر آن، با استفاده از قاعده دست راست نیز می‌توان جهت را تعیین کرد؛ مطابق این قاعده، اگر سیم را در دست راست خود بگیرید به گونه‌ای که انگشت شست در جهت جریان الکتریکی باشد، جهت خم شدن چهار انگشت دست شما جهت خط‌های میدان مغناطیسی را در اطراف سیم نشان می‌دهد.

شکل ۳-۱۵ قاعده دست راست برای تعیین جهت \vec{B} اطراف سیم بلند مستقیم حامل جریان.

پوشش ۳-۶

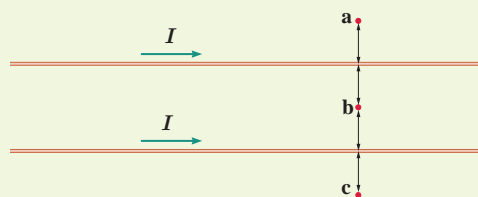


شکل روبه‌رو، جهت میدان مغناطیسی در اطراف یک سیم افقی و مستقیم حامل جریان را نشان می‌دهد. در ناحیه بالای سیم، جهت میدان مغناطیسی درون‌سو و در ناحیه پایین آن برون‌سو است. جهت جریان را در سیم تعیین کنید.



دریافت خود را از شکل‌های الف و ب بیان کنید. در بیان خود، به چگونگی تغییر جهت و اندازه میدان \vec{B} در اطراف سیم حامل جریان اشاره کنید.

تمرین ۳-۳



جهت میدان مغناطیسی برآیند (خالص) را ناشی از سیم‌های موازی و بلند حامل جریان را در هر یک از نقطه‌های a، b و c پیدا کنید. نقطه b در فاصله مساوی از دو سیم قرار دارد.

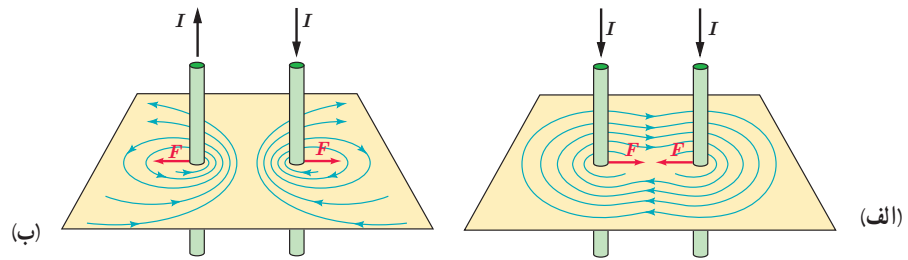
فناوری و کاربرد: میدان‌های مغناطیسی بدن



تمام یاخته‌های زنده بدن انسان به‌طور الکتریکی فعال‌اند. جریان‌های الکتریکی ضعیف در بدن، میدان‌های مغناطیسی ضعیف ولی قابل اندازه‌گیری تولید می‌کنند. اندازه میدان‌های حاصل از عضله‌های اسکلتی کوچک‌تر از 10^{-10} T ، یعنی در حدود یک میلیونیم میدان مغناطیسی زمین است. میدان‌های مغناطیسی حاصل از مغز بسیار ضعیف‌تر و در حدود 10^{-12} T هستند و برای اندازه‌گیری آنها باید مغناطیس‌سنج‌های بسیار حساس به کار برد. در حال حاضر، چنین مغناطیس‌سنج‌هایی به نام اسکویید^۱ ساخته شده‌اند. شکل روبه‌رو یک دستگاه اسکویید را نشان می‌دهد که در حال اندازه‌گیری میدان مغناطیسی تولید شده در مغز است.

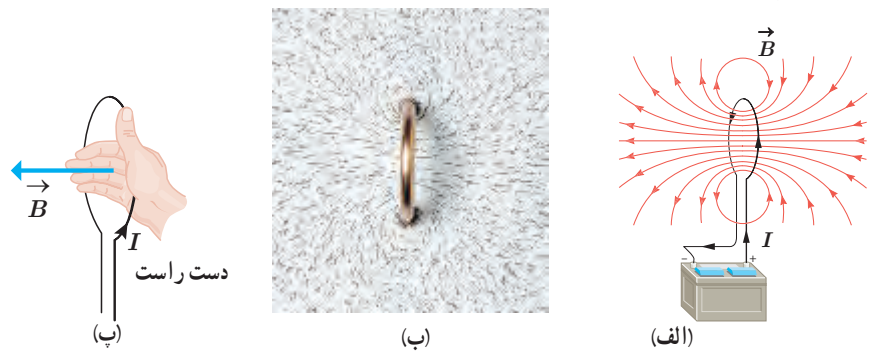
نیروی بین سیم‌های موازی حامل جریان: در آزمایش اورستد، دیدیم که در فضای اطراف هر سیم حامل جریان، میدان مغناطیسی وجود دارد. همچنین در بخش ۳-۴ با نیروی مغناطیسی وارد بر سیم حامل جریان آشنا شدیم. حال فرض کنید برای تولید میدان مغناطیسی به جای آهنربا، از یک سیم حامل جریان استفاده کنیم. اگر سیم حامل جریان دیگری را در نزدیکی این سیم قرار دهیم، آیا نیرویی بر آن وارد می‌شود؟ آزمایش نشان می‌دهد که پاسخ این پرسش مثبت است. به طوری که اگر جریان‌ها در یک جهت از دو سیم موازی بگذرند، نیروی بین آنها رابشی است (شکل ۳-۱۶ الف). همچنین اگر جریان‌ها در دو جهت مخالف از دو سیم موازی بگذرند، نیروی بین آنها رانشی است (شکل ۳-۱۶ ب).

۱- SQUID (Superconducting Quantum Interference Device)



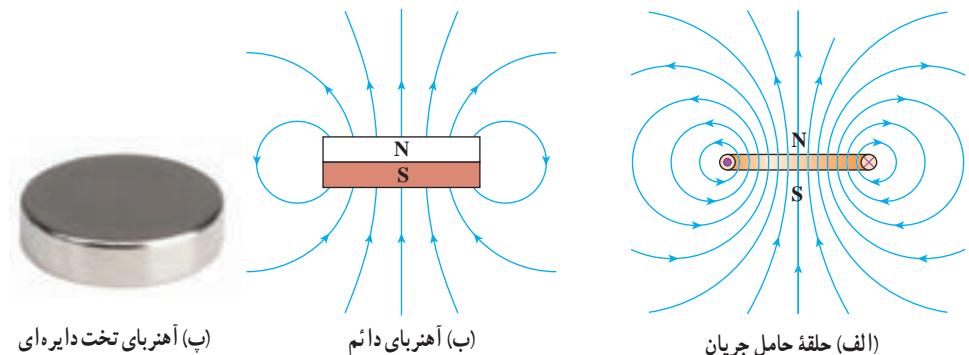
شکل ۳-۱۶ برآیند میدان مغناطیسی حاصل از دو سیم حامل جریان و نیروی بین آنها. (الف) برای جریان‌های همسو، ربایشی است و (ب) برای جریان‌های ناهمسو، رانشی است.

میدان مغناطیسی ناشی از یک حلقه دایره‌ای حامل جریان: شکل ۳-۱۷ الف خط‌های میدان مغناطیسی را در اطراف یک حلقه رسانای دایره‌ای نشان می‌دهد که حامل جریان I است. همان‌طور که دیده می‌شود خط‌های میدان مغناطیسی در ناحیه داخلی حلقه به یکدیگر نزدیک‌ترند؛ یعنی، میدان در این ناحیه قوی‌تر است. افزون بر این، در نقطه‌های روی محور حلقه، میدان موازی محور است. جهت خط‌های میدان مغناطیسی حلقه را می‌توان با قاعده دست راست به روش نشان داده شده در شکل ۳-۱۷ پ تعیین کرد.

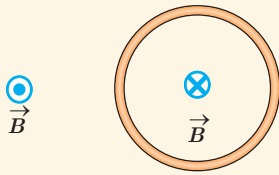


شکل ۳-۱۷ (الف) خط‌های میدان مغناطیسی در اطراف یک حلقه حامل جریان. (ب) طرح خط‌های میدان مغناطیسی یک حلقه حامل جریان با استفاده از برآه‌آهن. (پ) استفاده از قاعده دست راست برای تعیین جهت \vec{B} یک حلقه حامل جریان.

بررسی و مقایسه میدان مغناطیسی یک حلقه حامل جریان و یک آهنربای تخت دایره‌ای شکل، نشان می‌دهد که میدان مغناطیسی آنها درست مانند یکدیگر است (شکل ۳-۱۸). به همین دلیل، هر حلقه حامل جریان را به عنوان یک دو قطبی مغناطیسی در نظر می‌گیرند.



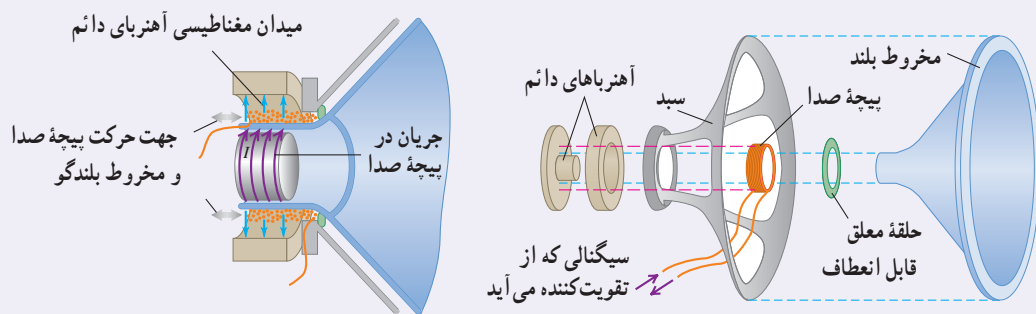
شکل ۳-۱۸ حلقه حامل جریان دو قطب دارد و میدان مغناطیسی آن مانند یک آهنربای دائم تخت دایره‌ای شکل است.



شکل روبه‌رو، یک حلقه حامل جریان را نشان می‌دهد که جهت خط‌های میدان مغناطیسی درون و بیرون آن نشان داده شده است. جهت جریان را در این حلقه تعیین کنید.

خوب است بدانید: طرز کار بلندگو

یک کاربرد متداول نیروهای مغناطیسی وارد بر سیم حامل جریان در بلندگوها یافت می‌شود (شکل زیر). میدان مغناطیسی که توسط آهنربای دائمی تولید می‌شود نیرویی بر پیچه صدا وارد می‌کند که با جریانی که از پیچه می‌گذرد متناسب است؛ جهت این نیرو بسته به جهت جریان، به طرف راست یا به طرف چپ است. جریانی که از تقویت‌کننده می‌آید هم از نظر جهت و هم از نظر بزرگی نوسان می‌کند. پیچه و مخروط بلندگو که به آن متصل است با دامنه‌ای متناسب با دامنه جریان در پیچه، نوسان می‌کند. با افزایش جریان تقویت‌کننده، دامنه‌های نوسان و موج صوتی حاصل از حرکت مخروط افزایش می‌یابد.



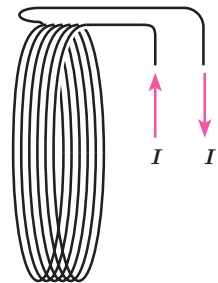
اجزای یک بلندگو. آهنربای دائمی میدان مغناطیسی‌ای تولید می‌کند که نیروهایی بر جریانهایی که از پیچه صدا می‌گذرد وارد می‌کند؛ برای جریان I که در شکل نشان داده شده است نیرو به طرف راست است. اگر جریان الکتریکی در پیچه صدا نوسان کند، مخروط بلندگو که متصل به پیچه صداست با همان نوسان می‌کند.

استفاده از یک تک حلقه برای تولید میدانی با اندازه مطلوب ممکن است نیازمند آن‌چنان جریانی بزرگی باشد که از بیشینه جریان مجاز سیم حلقه فراتر باشد. در چنین شرایطی به جای تک حلقه، از پیچه‌ها برای تولید میدان مغناطیسی استفاده می‌شود (شکل ۳-۱۹).

اندازه میدان مغناطیسی در مرکز حلقه‌ای به شعاع R که حامل جریانی است از رابطه $B = \mu_0 I / 2R$ به دست می‌آید. که در آن μ_0 تراوایی مغناطیسی خلأ و برابر $4\pi \times 10^{-7} \text{ T}\cdot\text{m/A}$ است. اگر به جای یک تک حلقه، پیچه‌ای شامل N حلقه نزدیک به هم و با شعاع یکسان R داشته باشیم، آنگاه اندازه میدان مغناطیسی در مرکز این پیچه، که معمولاً به آن پیچه مسطح نیز گفته می‌شود، از رابطه زیر به دست می‌آید:

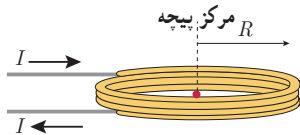
$$B = \frac{\mu_0 NI}{2R} \quad (5-3)$$

دلیل آنکه برای تولید میدان‌های مغناطیسی قوی به جای تک حلقه از پیچه‌ای از حلقه‌ها استفاده می‌شود همین ضرب N در رابطه ۵-۳ است.



شکل ۳-۱۹ پیچه

مثال ۳-۳



از پیچه مسطحی به شعاع $6/28 \text{ cm}$ که از 2000 دور سیم نازک درست شده است، جریان 20 mA می‌گذرد (شکل روبه‌رو). اندازه میدان مغناطیسی را در مرکز پیچه به دست آورید.

پاسخ: با توجه به داده‌های مسئله داریم:

$$R = 6/28 \times 10^{-2} \text{ m}, \quad N = 2000, \quad I = 20 \times 10^{-3} \text{ A}, \quad B = ?$$

با جایگذاری این داده‌ها در رابطه ۳-۵ داریم:

$$B = \frac{\mu_0 NI}{2R} = \frac{(4\pi \times 10^{-7} \text{ T.m/A})(2000)(20 \times 10^{-3} \text{ A})}{2(6/28 \times 10^{-2} \text{ m})} = 4/0 \times 10^{-4} \text{ T} = 4/0 \text{ G}$$

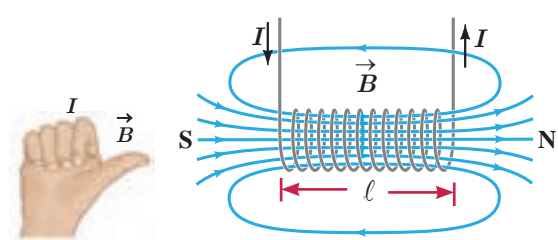
تمرین ۳-۴

اندازه میدان مغناطیسی دور سر انسان حدود $3 \times 10^{-8} \text{ G}$ اندازه‌گیری شده است. اگرچه جریان‌هایی که این میدان را به وجود می‌آورند بسیار پیچیده‌اند، ولی با در نظر گرفتن این جریان‌ها به صورت تک حلقه‌ای دایره‌ای به قطر 16 cm (پهنای یک سر نوعی) می‌توان مرتبه بزرگی میدان مغناطیسی را تخمین زد. جریان لازم برای ایجاد این میدان در مرکز حلقه چقدر است؟

میدان مغناطیسی حاصل از سیملوله حامل جریان: سیملوله، سیم درازی است که به صورت مارپیچی بلند، پیچیده شده است. با عبور جریان الکتریکی از سیملوله، در فضای اطراف آن میدان مغناطیسی به وجود می‌آید. طرح خط‌های میدان مغناطیسی یک سیملوله حامل جریان الکتریکی در شکل ۳-۲ و پ نشان داده شده است. همان‌گونه که دیده می‌شود، خط‌های میدان داخل سیملوله بسیار متراکم‌تر از خط‌های میدان در خارج آن است و این نشانگر بزرگ‌تر بودن میدان در داخل سیملوله است. افزون بر این، خط‌های میدان در داخل سیملوله، به‌ویژه در نقطه‌های نسبتاً دور از لبه‌های آن تقریباً موازی و هم‌فاصله‌اند و این، نشانگر یکنواخت بودن میدان مغناطیسی درون سیملوله است. جهت میدان مغناطیسی سیملوله، به کمک قاعده دست راست که در شکل نشان داده شده است تعیین می‌شود (شکل ۳-۲ ب).



(ب)



(ب)

(الف)

شکل ۳-۲ (الف) میدان مغناطیسی یک سیملوله حامل جریان. (ب) تعیین جهت میدان به کمک قاعده دست راست. (پ) طرح خط‌های میدان مغناطیسی سیملوله با استفاده از براده آهن.

اگر قطر حلقه‌های سیملوله در مقایسه با طول آن، بسیار کوچک و حلقه‌های آن، خیلی به هم نزدیک باشند، به این سیملوله، **سیملوله آرمانی** گفته می‌شود. میدان مغناطیسی داخل یک سیملوله آرمانی در نقطه‌های دور از لبه‌ها یکنواخت است و اندازه آن از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$B = \frac{\mu_0 NI}{\ell} \quad (\text{سیملوله آرمانی}) \quad (6-3)$$

در این رابطه، I جریان عبوری، ℓ طول سیملوله و N تعداد دورهای سیملوله است.

مثال ۳-۴

سیملوله‌ای آرمانی به طول ۱۵cm دارای ۶۰۰ حلقه سیم نزدیک به هم است. اگر جریان ۸۰۰mA از سیملوله بگذرد، بزرگی میدان مغناطیسی را در نقطه‌ای درون سیملوله و دور از لبه‌های آن پیدا کنید.

پاسخ: با توجه به داده‌های مسئله داریم:

$$\ell = 15\text{cm} = 0.15\text{m}, \quad N = 600, \quad I = 800\text{mA} = 800 \times 10^{-3}\text{A}, \quad B = ?$$

به این ترتیب داریم:

$$B = \frac{\mu_0 NI}{\ell} = \frac{(4\pi \times 10^{-7}\text{T}\cdot\text{m}/\text{A})(600)(800 \times 10^{-3}\text{A})}{0.15\text{m}} \approx 4/0 \times 10^{-3}\text{T} = 4\text{G}$$

تمرین ۳-۵

سیملوله‌ای آرمانی به طول ۴۰cm چنان طراحی شده است که جریان بیشینه‌ای به شدت ۱/۲A می‌تواند از آن بگذرد. با عبور این جریان از سیملوله، اندازه میدان مغناطیسی درون آن و دور از لبه‌ها ۲۷G می‌شود. تعداد دورهای سیملوله چقدر باید باشد؟

فعالیت ۳-۵

آزمایشی را طراحی و اجرا کنید که به کمک آن بتوان با استفاده از براده آهن، طرح خط‌های میدان مغناطیسی را در اطراف یک سیم بلند (شکل الف)، یک حلقه دایره‌ای (شکل ب) و یک سیملوله حامل جریان (شکل پ) ایجاد کرد.



(پ)

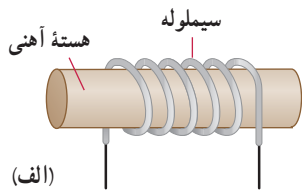


(ب)



(الف)

مغناطیس



(الف)



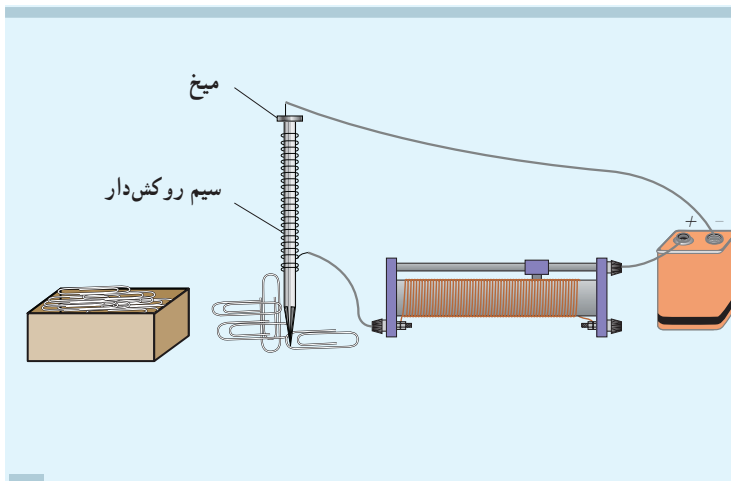
(ب)

شکل ۳-۲۱ (الف) سیملوله با هسته آهنی.

(ب) آهنربای الکتریکی صنعتی

سیملوله با هسته آهنی — آهنربای الکتریکی : شکل ۳-۲۱ الف سیملوله‌ای با یک هسته آهنی را نشان می‌دهد. وقتی جریانی در سیملوله برقرار می‌شود، میدان مغناطیسی سیملوله، در هسته آهنی خاصیت مغناطیسی القا می‌کند و هسته آهنی، آهنربا می‌شود. این آهنربا را آهنربای الکتریکی می‌نامند. آهنربای الکتریکی صنعتی (شکل ۳-۲۱ ب) شامل پیچ‌های حامل جریان است که تعداد دور سیم زیادی دارد و میدان مغناطیسی حاصل از آن قادر است مقدار زیادی میله‌های فولادی و دیگر قراضه‌های آهن را بلند کند. هر چه تعداد دورهای سیملوله و جریانی که از آن می‌گذرد بیشتر باشد، آهنربای الکتریکی قوی‌تر خواهد بود. وجود هسته آهنی باعث تقویت میدان مغناطیسی سیملوله می‌شود. میدان مغناطیسی سیملوله بدون هسته آهنی به قدری ضعیف است که در عمل کاربردهای کمی دارد.

فعالیت ۳-۶



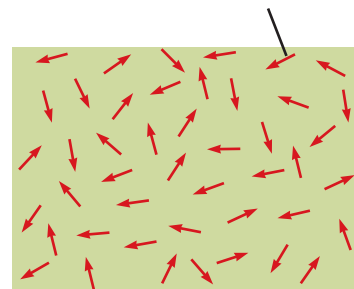
قسمتی از سیم نازک روکش‌داری را دور میخ آهنی نسبتاً بلندی ببچید و مداری مطابق شکل تشکیل دهید. با تغییر مقاومت رئوستا، جریان عبوری از مدار را تغییر دهید. (الف) بررسی کنید برای جریان‌های متفاوت، آهنربای الکتریکی چه تعداد گیره فلزی را می‌تواند بلند کند. (ب) اگر تعداد دورهای سیم دو برابر شود، نتیجه کار چه تفاوتی خواهد داشت؟

۳-۶ ویژگی‌های مغناطیسی مواد

رفتار آهنرباهای دائمی، نوارهای مغناطیسی پشت کارت‌های بانکی و دیسک‌های رایانه‌ای به‌طور مستقیم به ویژگی‌های مغناطیسی مواد بستگی دارد. هنگامی که اطلاعاتی روی نوار مغناطیسی پشت کارت‌های بانکی یا یک دیسک رایانه‌ای ذخیره می‌شود آرایه‌ای از هزاران هزار آهنربای دائمی میکروسکوپی روی نوار مغناطیسی پشت کارت یا دیسک ایجاد می‌شود. در این بخش، برخی ویژگی‌های مغناطیسی مواد را بررسی می‌کنیم.

موادی را که اتم‌ها یا مولکول‌های سازنده آنها خاصیت مغناطیسی داشته باشند، مواد مغناطیسی می‌نامند. در واقع می‌توان گفت کوچک‌ترین ذره‌های تشکیل‌دهنده این مواد (اتم‌ها یا مولکول‌ها) مانند دوقطبی مغناطیسی رفتار می‌کنند. در این کتاب، دوقطبی‌های مغناطیسی را با یک پیکان کوچک نشان داده‌ایم که می‌توانند جهت‌گیری‌های متفاوتی داشته باشند و هر کدام از آنها وابسته به یک اتم یا مولکول‌اند. در ادامه به بررسی برخی از مواد مغناطیسی می‌پردازیم.

هر ذره سازنده مواد پارامغناطیسی یک آهنربای میکروسکوپی است.



شکل ۳-۲۲ سمت‌گیری کاتوره‌ای دوقطبی‌های مغناطیسی در یک ماده پارامغناطیسی در نبود میدان مغناطیسی

مواد پارامغناطیسی: اتم‌های مواد پارامغناطیسی، خاصیت مغناطیسی دارند اما دوقطبی‌های مغناطیسی وابسته به آنها، به‌طور کاتوره‌ای سمت‌گیری کرده‌اند و میدان مغناطیسی خالصی ایجاد نمی‌کنند (شکل ۳-۲۲). با قرار دادن مواد پارامغناطیسی درون میدان مغناطیسی خارجی قوی (مثلاً نزدیک یک آهنربای قوی)، دوقطبی‌های مغناطیسی آنها، مانند عقربه قطب‌نما در نزدیکی آهنربا رفتار می‌کنند و به مقدار مختصری در راستای خط‌های میدان مغناطیسی منظم می‌شوند. با دور کردن آهنربا از این مواد، دوقطبی‌های مغناطیسی آنها، دوباره به‌طور کاتوره‌ای سمت‌گیری می‌کنند.

به این ترتیب، می‌توان گفت مواد پارامغناطیسی در حضور میدان‌های مغناطیسی قوی، خاصیت مغناطیسی ضعیف و موقت پیدا می‌کنند. اورانیم، پلاتین، آلومینیم، سدیم، اکسیژن و اکسید نیتروژن از جمله مواد پارامغناطیسی‌اند.

فعالیت ۳-۷



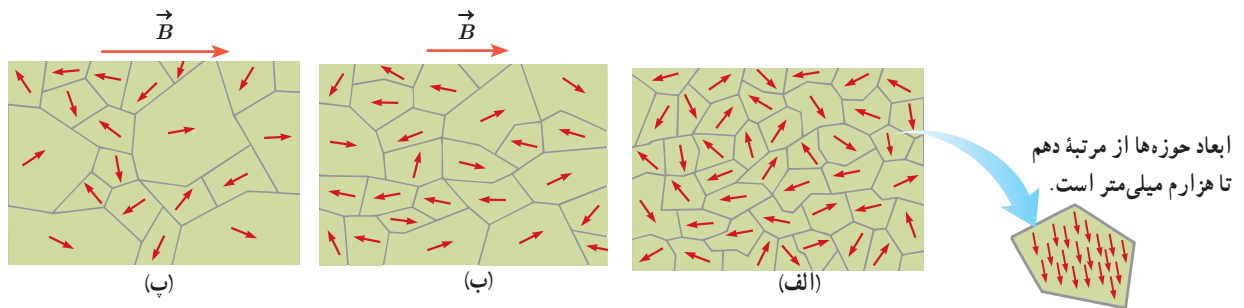
یک لوله آزمایش را تا نزدیکی لبه آن از الکل طبی (اتانول ۹۶ درجه) پر کنید. در لوله را ببندید و آن را به‌طور افقی قرار دهید. مطابق شکل، یک آهنربای نتودیمیم را بالای حباب هوای درون لوله بگیرید و به آرامی آهنربا را حرکت دهید. دلیل آنچه را مشاهده می‌کنید در گروه خود به‌گفت‌وگو بگذارید.

مواد دیامغناطیسی: اتم‌های مواد دیامغناطیسی، نظیر مس، نقره، سرب و بیسموت، به‌طور ذاتی فاقد خاصیت مغناطیسی‌اند. به عبارت دیگر، هیچ‌یک از اتم‌های این مواد، دارای دوقطبی مغناطیسی خالصی نیستند. با وجود این، حضور میدان مغناطیسی خارجی، می‌تواند سبب القای دوقطبی‌های مغناطیسی در خلاف سوی میدان خارجی، در مواد دیامغناطیسی شود. در فصل بعد با دلایل این موضوع، با تفصیل بیشتری آشنا خواهید شد.

مواد فرومغناطیسی: نوع دیگری از مواد به نام مواد فرومغناطیسی وجود دارد که اتم‌های آنها به‌طور ذاتی دارای دوقطبی مغناطیسی هستند. آهن، نیکل، کبالت و بسیاری از آلیاژهای دارای این عناصر فرومغناطیسی‌اند. برهم‌کنش‌های قوی بین دوقطبی‌های مغناطیسی در این مواد موجب می‌شود که این دوقطبی‌ها، حتی در نبود میدان خارجی، در ناحیه‌هایی که حوزه‌های مغناطیسی نامیده می‌شود، همسو شوند. نمونه‌ای از ساختار حوزه‌ها در مواد فرومغناطیسی در شکل ۳-۲۳ الف نشان داده شده است. درون هر حوزه تقریباً از مرتبه 10^{11} اتم وجود دارد که دوقطبی‌های مغناطیسی وابسته به آنها هم‌جهت‌اند.

مواد فرومغناطیسی را می‌توان با قرار دادن در یک میدان مغناطیسی، آهنربا کرد. اثر میدان مغناطیسی خارجی بر حوزه‌های مغناطیسی باعث می‌شود که دوقطبی‌های مغناطیسی هر حوزه تحت تأثیر میدان مغناطیسی قرار گیرند و جهت آنها به جهت میدان خارجی متمایل شود. به این ترتیب، حوزه‌هایی که نسبت به میدان همسو هستند، رشد می‌کنند و حجمشان زیاد می‌شود. از سوی دیگر حجم حوزه‌هایی

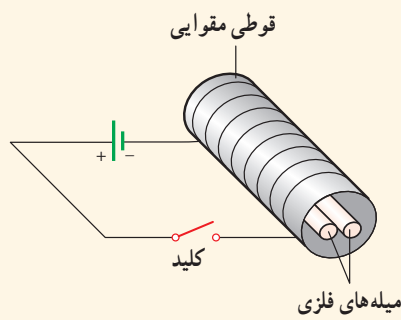
که سمت گیری آنها در راستای میدان نیست، کم می شود. در این فرایند، مرز بین بیشتر حوزه‌ها جابه‌جا می شود، و ماده خاصیت آهنربایی پیدا می کند. شکل ۳-۲۳ ب یک ماده فرومغناطیسی را در یک میدان مغناطیسی خارجی ضعیف و شکل ۳-۲۳ پ در یک میدان مغناطیسی خارجی قوی تر نشان می دهد.



شکل ۳-۲۳ (الف) ماده فرومغناطیسی در نبود میدان مغناطیسی خارجی. (ب) ماده فرومغناطیسی در حضور میدان مغناطیسی خارجی ضعیف. (پ) ماده فرومغناطیسی در حضور میدان مغناطیسی خارجی قوی.

حوزه‌های مغناطیسی برخی از مواد فرومغناطیسی، در حضور میدان مغناطیسی خارجی به سهولت تغییر می کند و ماده به سادگی آهنربا می شود و با حذف میدان خارجی نیز، خاصیت آهنربایی خود را به آسانی از دست می دهد. این مواد را مواد فرومغناطیسی نرم می نامند. از این مواد در ساخت هسته پیچ‌ها و سیملوله‌ها استفاده می شود. مواد فرومغناطیسی نرم برای ساختن آهنرباهای الکتریکی (آهنرباهای غیردائم) نیز مناسب اند (چرا؟). برخی مواد دیگر مانند فولاد (آهن به اضافه ۲ درصد کربن)، آلیاژهای آهن، کبالت و نیکل به سختی آهنربا می شوند؛ یعنی در حضور میدان مغناطیسی خارجی، حجم حوزه‌ها در آنها به سختی تغییر می کند. این مواد را مواد فرومغناطیسی سخت می نامند. در این مواد، سمت گیری دو قطبی‌های مغناطیسی حوزه‌ها پس از حذف میدان خارجی، تا مدت زمان زیادی، تقریباً بدون تغییر باقی می ماند. به عبارت دیگر، پس از حذف میدان خارجی، ماده فرومغناطیسی سخت، خاصیت آهنربایی خود را تا اندازه قابل توجهی حفظ می کند. به همین دلیل، این مواد برای ساختن آهنرباهای دائمی مناسب اند. برای خاصیت آهنربایی هر ماده فرومغناطیسی، مقدار اشباع یا بیشینه‌ای وجود دارد. این وضعیت هنگامی به وجود می آید که ماده فرومغناطیسی در یک میدان مغناطیسی بسیار قوی قرار گیرد؛ به طوری که درصد بالایی از دو قطبی‌های مغناطیسی حوزه‌ها به موازات یکدیگر هم خط شوند. به عبارت دیگر، حجم حوزه‌هایی که با میدان مغناطیسی خارجی همسو هستند، به بیشترین مقدار خود برسد.

پرسش ۳-۹



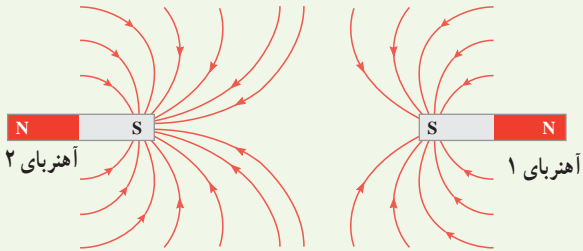
دو میله فلزی بلند مطابق شکل روبه‌رو درون سیملوله‌ای که دور یک قوطی مقوایی پیچیده شده است قرار دارند. با بستن کلید و عبور جریان از این سیملوله، مشاهده می شود که دو میله از یکدیگر دور می شوند. وقتی کلید باز و جریان در مدار قطع می شود، میله‌ها به محل اولیه باز می گردند.

الف) چرا با عبور جریان از پیچه، میله‌ها از یکدیگر دور می شوند؟

ب) با دلیل توضیح دهید میله‌های فلزی از نظر مغناطیسی در کدام دسته قرار می گیرند.

۲ الف) آهنربای میله‌ای با قطب‌های نامشخص در اختیار داریم. دست کم دو روش را برای تعیین قطب‌های این آهنربا بیان کنید.

ب) خط‌های میدان مغناطیسی بین دو آهنربا در شکل زیر نشان داده شده است. اندازه میدان مغناطیسی را در نزدیکی قطب‌های آهنرباها با هم مقایسه کنید.



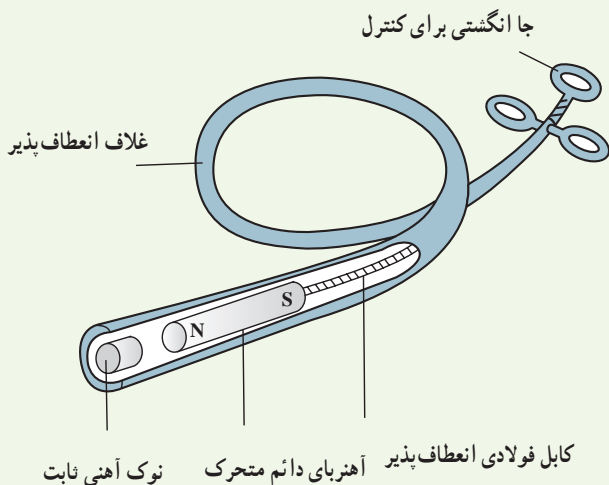
۴ کودکی یک قطعه کوچک آهنی را بلعیده است. پزشک می‌خواهد آن را با دستگاه شکل زیر بیرون بیاورد.

الف) هنگامی که آهنربای دائمی به نوک ثابت آهنی نزدیک می‌شود چه اتفاقی می‌افتد؟

ب) ساختن نوک ثابت آهن چه مزیتی دارد؟

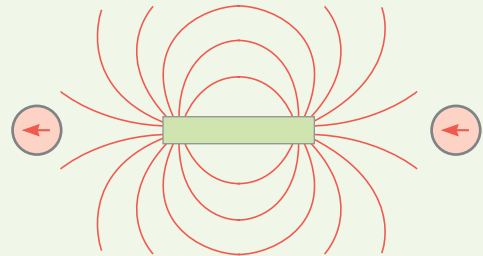
پ) این وسیله را باید به درون گلولی کودک وارد و به سوی فلز بلعیده شده هدایت کرد؛ چرا غلاف باید انعطاف‌پذیر باشد؟

ت) پزشک می‌خواهد یک گیره آهنی کاغذ و یک واشر آلومینیومی را از گلولی کودک بیرون بیاورد؛ کدام یک را می‌توان بیرون آورد؟ چرا؟



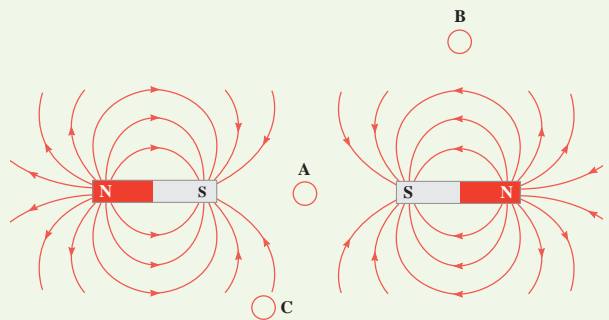
۱-۲ و ۲-۲ مغناطیس و قطب‌های مغناطیسی و میدان مغناطیسی

۱ با توجه به جهت‌گیری عقربه‌های مغناطیسی در شکل زیر، قطب‌های آهنربای میله‌ای و جهت خط‌های میدان مغناطیسی را تعیین کنید.



۲ شکل زیر، خط‌های میدان مغناطیسی را در نزدیکی دو آهنربای میله‌ای نشان می‌دهد.

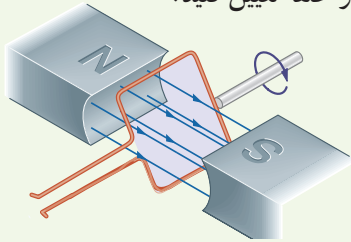
الف) درباره میدان مغناطیسی در نقطه A چه می‌توان گفت؟
ب) با رسم شکل نشان دهید عقربه قطب‌نما در نقطه‌های B و C به ترتیب در کدام جهت قرار می‌گیرد؟



پ) اگر مانند شکل زیر یکی از آهنرباها را بچرخانیم تا جای قطب‌های آن عوض شود، خط‌های میدان مغناطیسی را در ناحیه نقطه چین رسم کنید.



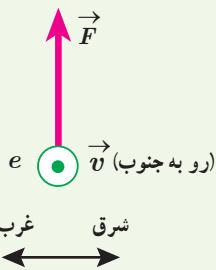
۸ حلقهٔ رسانای مستطیل شکلی که حامل جریان I است، مطابق شکل درون میدان مغناطیسی یکنواخت می‌چرخد. جهت جریان را در حلقه تعیین کنید.



۹ پروتونی با تندی $4/4 \times 10^6 \text{ m/s}$ درون میدان مغناطیسی یکنواختی به اندازه 18 mT در حرکت است. جهت حرکت پروتون با جهت \vec{B} ، زاویه 6° می‌سازد. (الف) اندازهٔ نیروی وارد بر این پروتون را محاسبه کنید.

(ب) اگر تنها این نیرو بر پروتون وارد شود، شتاب پروتون را حساب کنید. (بار الکتریکی پروتون $1/6 \times 10^{-19} \text{ C}$ و جرم آن را $1/7 \times 10^{-27} \text{ kg}$ در نظر بگیرید).

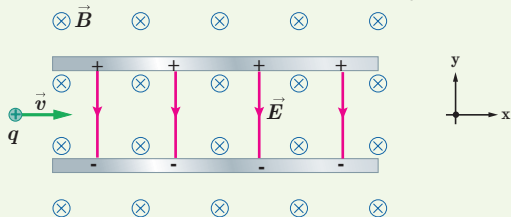
۱۰ الکترونی با تندی $2/4 \times 10^5 \text{ m/s}$ درون میدان مغناطیسی یکنواختی در حرکت است. اندازهٔ نیرویی که از طرف میدان مغناطیسی بر این الکترون وارد می‌شود، هنگامی بیشینه است که الکترون به سمت جنوب حرکت کند.



(الف) اگر جهت این نیروی بیشینه، روبه بالا و اندازهٔ آن برابر $6/8 \times 10^{-14} \text{ N}$ باشد، اندازه و جهت میدان مغناطیسی را تعیین کنید.

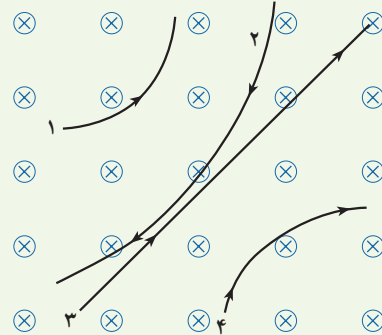
(ب) اندازهٔ میدان الکتریکی چقدر باشد تا همین نیرو را ایجاد کند؟

۱۱ ذرهٔ باردار مثبتی با جرم ناچیز و با سرعت v در امتداد محور x وارد فضایی می‌شود که میدان‌های یکنواخت \vec{E} و \vec{B} وجود دارد (شکل زیر). اندازهٔ این میدان‌ها برابر $E = 45 \text{ N/C}$ و $B = 18 \text{ T}$ است. تندی ذره چقدر باشد تا در همان امتداد محور x به حرکت خود ادامه دهد؟

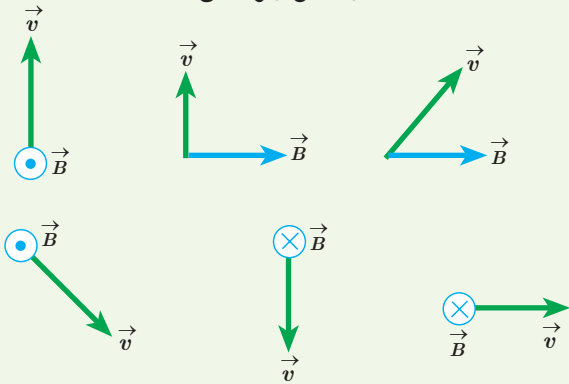


۳-۳ نیروی مغناطیسی وارد بر ذره باردار متحرک در میدان مغناطیسی

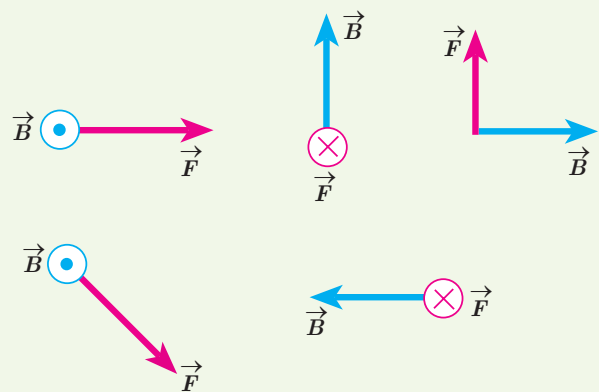
۵ چهار ذره هنگام عبور از میدان مغناطیسی درون سو مسیرهایی مطابق شکل زیر می‌پیمایند. دربارهٔ نوع بار هر ذره چه می‌توان گفت؟



۶ جهت نیروی مغناطیسی وارد بر بار مثبت را در هر یک از حالت‌های نشان داده در شکل زیر تعیین کنید.

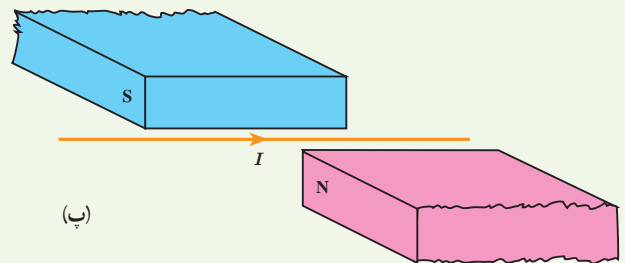
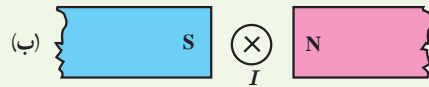
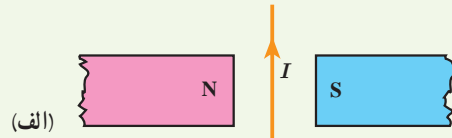
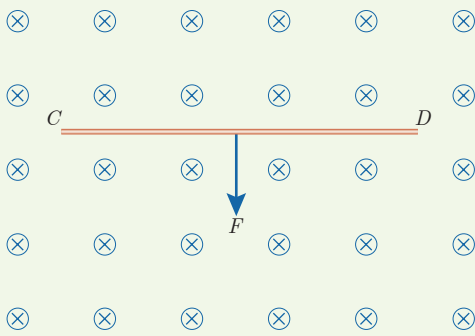


۷ نیروی مغناطیسی \vec{F} وارد بر الکترونی که در میدان مغناطیسی \vec{B} در حرکت است، در شکل زیر، نشان داده شده است. فرض کنید راستای حرکت الکترون بر میدان مغناطیسی عمود است؛ در هر یک از حالت‌های نشان داده شده جهت سرعت الکترون را تعیین کنید.

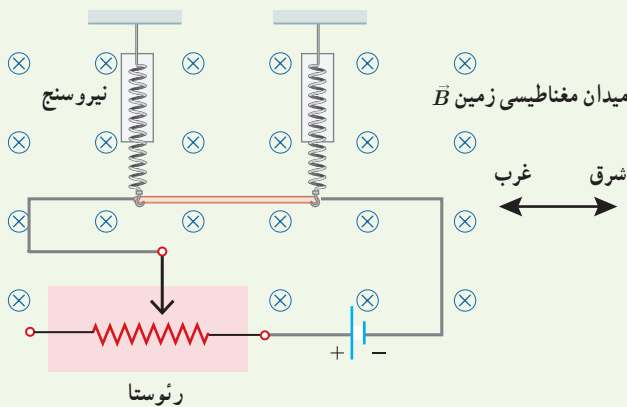


۴-۳ نیروی مغناطیسی وارد بر سیم حامل جریان

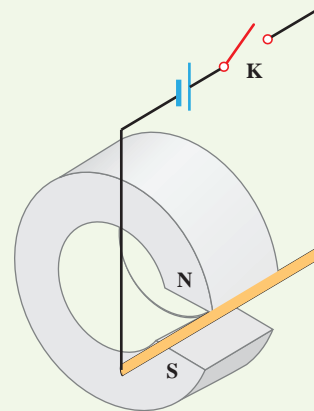
۱۲ جهت نیروی الکترومغناطیسی وارد بر سیم حامل جریان را در هر یک از شکل‌های الف، ب و پ با استفاده از قاعده دست راست بیابید.



۱۵ یک سیم حامل جریان $1/6$ آمپر مطابق شکل زیر با دو نیروسنج فنری که به دو انتهای آن بسته شده‌اند، به طور افقی و در راستای غرب - شرق قرار دارد. میدان مغناطیسی زمین را یکنواخت، به طرف شمال و اندازه 5 mT بگیرد. الف) اندازه نیروی مغناطیسی وارد بر هر متر این سیم را پیدا کنید. ب) اگر بخواهیم نیروسنج‌ها عدد صفر را نشان دهند، چه جریانی و در چه جهتی باید از سیم عبور کند؟ جرم هر متر از طول این سیم 8 g است ($g = 9.8 \text{ N/kg}$).

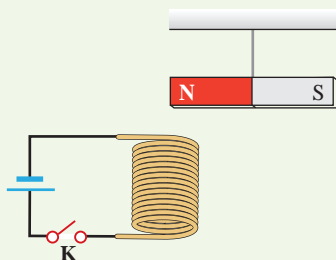


۱۳ یک میله رسانا به پایانه‌های یک باتری وصل شده و مطابق شکل در فضای بین قطب‌های یک آهنربای C شکل آویزان شده است و می‌تواند آزادانه نوسان کند. با بستن کلید K، چه اتفاقی برای میله رسانا رخ می‌دهد؟ توضیح دهید.



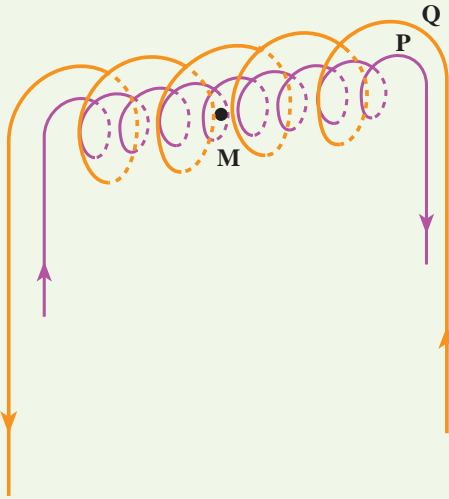
۵-۳ میدان مغناطیسی حاصل از جریان الکتریکی

۱۶ یک آهنربای میله‌ای مطابق شکل زیر، بالای سیملوله‌ای آویزان شده است. توضیح دهید با بستن کلید K چه تغییری در وضعیت آهنربا رخ می‌دهد.



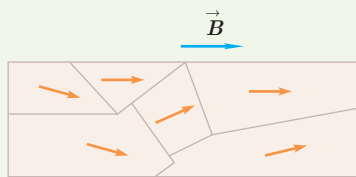
۱۴ سیم رسانای CD به طول 2 m مطابق شکل زیر عمود بر میدان مغناطیسی درون سو با اندازه 5 T قرار گرفته است؛ اگر اندازه نیروی مغناطیسی وارد بر سیم برابر 1 N باشد، جهت و

۲۱ در شکل زیر دو سیملوله P و Q هم محورند و طول برابر دارند. تعداد دور سیملوله P برابر 200° و تعداد دور سیملوله Q برابر 300° است. اگر جریان ۱A از سیملوله Q عبور کند، از سیملوله P چه جریانی باید عبور کند تا برابند میدان مغناطیسی ناشی از دو سیملوله در نقطه M (روی محور دو سیملوله) صفر شود؟



۳-۶ ویژگی‌های مغناطیسی مواد

۲۲ شکل الف حوزه‌های مغناطیسی ماده فرومغناطیسی را درون میدان خارجی \vec{B} نشان می‌دهد. شکل ب همان ماده را پس از حذف میدان \vec{B} نشان می‌دهد. نوع ماده فرومغناطیسی را با ذکر دلیل تعیین کنید.

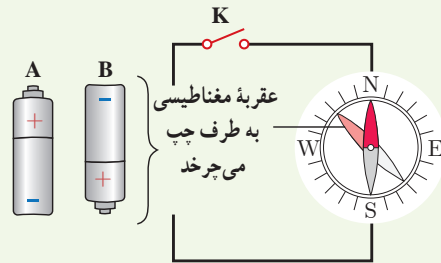


(الف)

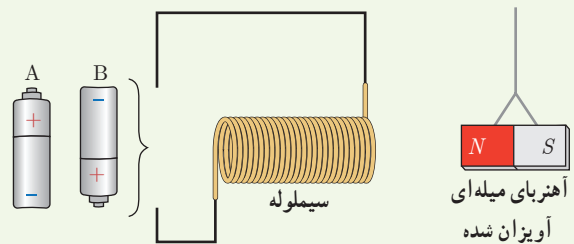


(ب)

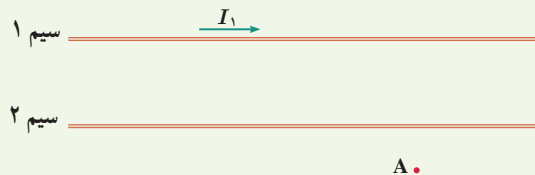
۱۷ کدام باتری را در مدار شکل زیر قرار دهیم تا پس از بستن کلید K، عقربه قطب‌نما که روی سیم قرار دارد، در خلاف جهت حرکت عقربه‌های ساعت شروع به چرخش کند؟ دلیل انتخاب خود را توضیح دهید.



۱۸ کدام باتری را در مدار شکل زیر قرار دهیم تا آهنربای میله‌ای آویزان شده به طرف سیملوله جذب شود؟ دلیل انتخاب خود را توضیح دهید.



۱۹ شکل زیر، دو سیم موازی و بلند حامل جریان را نشان می‌دهد. اگر میدان مغناطیسی برآیند حاصل از این سیم‌ها در نقطه A صفر باشد، جهت جریان آن را در سیم ۲ پیدا کنید.



۲۰ سیملوله‌ای شامل 250° حلقه است که دور یک لوله پلاستیکی توخالی به طول 14° متر پیچیده شده است. اگر جریان گذرنده از سیملوله $8A$ باشد، اندازه میدان مغناطیسی درون سیملوله را حساب کنید.

۲۳ با توجه به آنچه در بخش ویژگی‌های مغناطیسی مواد دیدید، نقشه مفهومی زیر را کامل کنید.

