۳

مغناطیس و القای الکترومغناطیسی

وقتی کارت بانکی درون دستگاه کارت‌خوان «کشیده» می‌شود، اطلاعات رمزینه شده در نوار مغناطیسی پشت کارت، به مرکز اطلاعات بانک ارسال می‌شود. چرا به جای ثابت نگه داشتن کارت در شکاف دستگاه کارت خوان، لازم است آن را بکشیم؟ پاسخ در همین فصل.

شکل ۳ــ۱ سنگ آهنربای طبیعی. تالس که اغلب از او به عنوان پدر علم یونان یاد می‌شود، مادهٔ کانی مگنتیت Fe_3O_4 را که ویژگی آهنربایی دارد می‌شناخت.

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 فنّاوری دیجیتال به میزان زیادی جایگزین ضبط مغناطیسی به شیوه‌های سنتی شده‌است، با وجود این، ذخیرهٔ اطلاعات به‌صورت 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)، بهرهٔ فراوانی از مغناطیس و آثار آن می‌برد.

۳ــ۱ مغناطیس و قطب‌های مغناطیسی

آثار مغناطیسی دست‌کم 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 دائمی‌خوانده می‌شود (شکل ۳ــ۱). چینی‌های باستان نیز با ویژگی‌های مغناطیسی برخی از سنگ‌های آهنربایی آشنایی داشتند و از آنها در ساخت قطب‌نما برای جهت‌یابی استفاده می‌کردند (شکل ۳ــ۲).

شکل ۳ــ۲ از گذشته‌های دور، برای جهت‌یابی در دریانوردی از قطب‌نما استفاده می‌شده است.

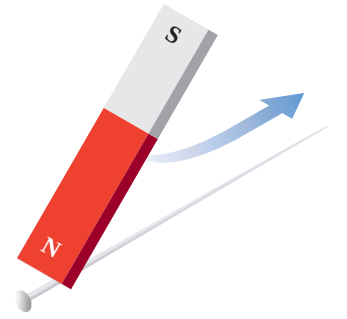
در علوم هشتم دیدید که هرگاه آهنربایی را درون ظرف محتوی برادهٔ آهن فرو ببریم، براده‌های آهن به مقدار زیادی جذب ناحیه‌های خاصی از آهنربا می‌شوند. این ناحیه‌ها را قطب‌های مغناطیسی یا قطب‌های آهنربا می‌نامند (شکل ۳ــ۳).

شکل ۳ــ۳ در آهنربا، دو ناحیه وجود دارد که خاصیت مغناطیسی درآنجا بسیار بیشتر از قسمت‌های دیگر است.

پرسش ۳ــ۱

فرض کنید دو میلهٔ 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 وسیلهٔ 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 ۳ــ۴). 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.



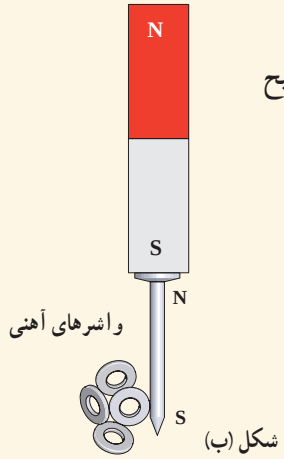
شکل ۳ــ۴ وقتی یکی از قطب‌های یک آهنربای دائمی را چندین بار و در یک جهت به یک سوزن ته‌گرد بکشید، سوزن برای مدتی دارای خاصیت مغناطیسی می‌شود.

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 حالی‌که هیچ گواه تجربی بر وجود تک قطبی مغناطیسی وجود ندارد؛ قطب‌های مغناطیسی همواره به‌صورت زوج ظاهر می‌شوند.

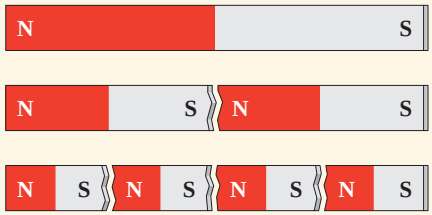
پرسش ۳ــ۲

۱ــ دریافت خود را از شکل الف بیان کنید.

۲ــ در علوم هشتم با پدیدهٔ القای مغناطیسی آشنا شدید. با توجه به شکل ب این پدیده را توضیح دهید و بیان کنید چرا در پدیدهٔ القای مغناطیسی همواره جذب وجود دارد؟

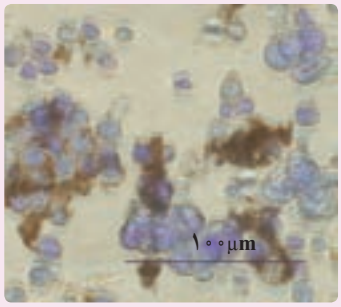


شکل (ب)



شکل (الف)

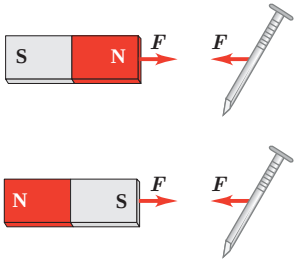
فنّاوری و کاربرد: نانو ذرّه‌های مغناطیسی برای درمان



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 ذرّه‌های یک مادهٔ مغناطیسی استفاده می‌شود که به بدن تزریق می‌شوند. این ذرّه‌ها با مادهٔ شیمیایی خاصی پوشیده شده‌اند که به‌طور هدفمند به یاخته‌های سرطانی متصل می‌شوند. سپس با استفاده از یک آهنربا در بیرون از بدن بیمار، این ذرّه‌ها (که در شکل به رنگ قهوه‌ای نشان داده شده است) بیرون «رانده» می‌شوند و یاخته‌های سرطانی را با خود می‌برند.

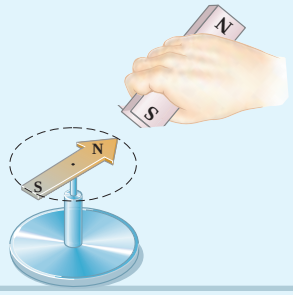
۳ــ۲ میدان مغناطیسی

هرگاه آهنربایی را به یک میخ آهنی نزدیک کنید می‌بینید که میخ به طرف آهنربا حرکت می‌کند و به سمت آن جذب می‌شود (شکل ۳ــ۵). مشابه آنچه دربارهٔ 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.



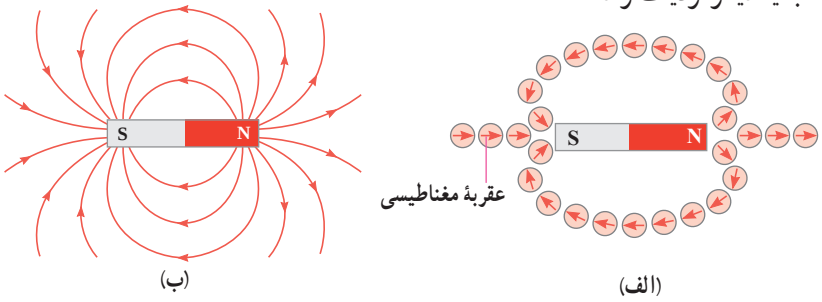
شکل ۳ــ۵ در فضای اطراف آهنربا میدان مغناطیسی وجود دارد به طوری که هر جسم آهنی مانند میخ را به سوی خود جذب می‌کند.

فعالیت ۳ــ۱



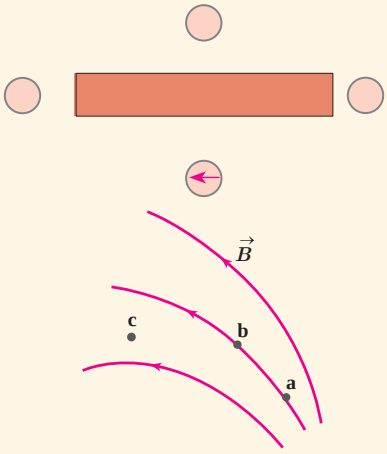
یکی از قطب‌های یک آهنربای میله‌ای را به یک عقربهٔ مغناطیسی نزدیک کنید (شکل روبه‌رو). آنچه را می‌بینید توضیح دهید. با دور کردن آهنربا از قطب‌نما چه اتفاقی می‌افتد؟ دلیل آن را شرح دهید. درصورتی‌که قطب‌نما در اختیار ندارید، یک سوزن ته‌گرد مغناطیسی شده را روی سطح آب، درون ظرفی شناور سازید. به این ترتیب،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

به کمک عقربهٔ مغناطیسی می‌توان جهت میدان مغناطیسی را در هر نقطه از فضای اطراف یک آهنربا تعیین کرد (شکل ۳ــ۶ الف). بنا به تعریف، بردار میدان مغناطیسی در هر نقطه از فضای پیرامون یک آهنربا در جهتی است که وقتی عقربهٔ 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 ۳ــ۶ ب خط‌های میدان مغناطیسی را در اطراف یک آهنربای میله‌ای نشان می‌دهد. این خط‌ها از آهنربا می‌گذرند و هریک از آنها یک حلقهٔ بسته را تشکیل می‌دهند. افزون بر اینها، خط‌های میدان مغناطیسی در نزدیکی قطب‌ها به یکدیگر نزدیک‌ترند.



شکل ۳ــ۶ (الف) تعیین جهت میدان مغناطیسی به کمک عقربهٔ مغناطیسی. (ب) خط‌های میدان‌مغناطیسی در هر نقطه در جهت عقربهٔ مغناطیسی‌اند و از قطب N خارج و به قطب S وارد می‌شوند.

پرسش ۳ــ۳



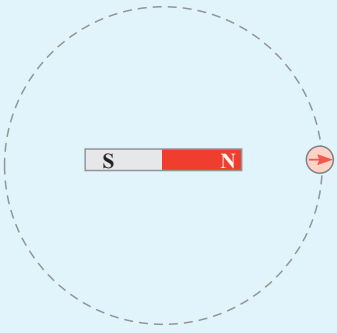
۱ــ شکل روبه‌رو، یک آهنربای میله‌ای و تعدادی عقربهٔ مغناطیسی را نشان می‌دهد.

(الف) کدام سر آهنربا قطب N و کدام سر قطب S است؟

(ب) جهت‌گیری عقربه‌های مغناطیسی را در دیگر مکان‌های روی شکل تعیین کنید.

۲ــ 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 ۳ــ۲



یک آهنربای میله‌ای را روی سطح افقی میزی قرار دهید. یک قطب‌نما یا عقربهٔ 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.

آزمایش ۳ـ۱

هدف: مشاهدهٔ طرح خط‌های میدان مغناطیسی با استفاده از برادهٔ آهن

وسیله‌های مورد نیاز : آهنربای میله‌ای (دو عدد)، برادهٔ آهن، یک ورقهٔ شیشه‌ای یا مقوایی، نمک پاش (یا وسیلهٔ دیگری برای پاشیدن برادهٔ آهن) و دوربین برای عکس گرفتن از نتیجهٔ آزمایش (اختیاری)

شرح آزمایش :

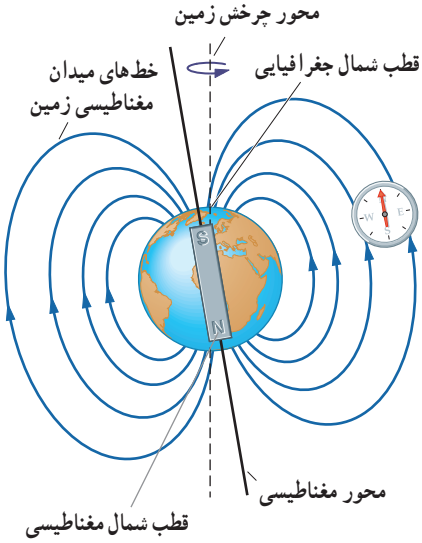
- یکی از آهنرباهای میله‌ای را روی میز قرار دهید و صفحهٔ شیشه‌ای (یا مقوایی) را روی آن بگذارید.
- به کمک نمک پاش، کمی برادهٔ آهن را به طور یکنواخت روی شیشه (مقوا) بپاشید.
- چند ضربهٔ آرام به صفحهٔ شیشه‌ای بزنید تا برادهای آهن در راستای خط‌های میدان مغناطیسی قرار گیرند. طرحی که روی صفحهٔ شیشه‌ای پدیدار می‌شود، نقشه‌ای از خط‌های میدان مغناطیسی یک آهنربای میله‌ای است (شکل الف).
- مراحل بالا را برای دو آهنربای میله‌ای که به‌ترتیب : قطب‌های ناهمنام و قطب‌های همنام آنها به یکدیگر نزدیک‌اند انجام دهید (شکل‌های ب و پ).

(الف)

(ب)

(پ)

میدان مغناطیسی زمین : زمین مانند یک آهنربای بسیار بزرگ رفتار می‌کند و طرح خط‌های میدان مغناطیسی آن مانند طرح خط‌های آهنربای میله‌ای بزرگی است که در نزدیکی مرکز زمین قرار دارد و قطب شمال آن در نزدیکی قطب جنوب جغرافیایی زمین است (شکل ۳ـ۷). نشان دادن خط‌های میدان مغناطیسی زمین به صورت خط‌های میدان یک آهنربای میله‌ای، تنها یک مدل ساده از ساختار پیچیده و ناشناختهٔ عوامل ایجاد میدان مغناطیسی زمین است. شواهد زمین‌شناختی نشان می‌دهند که جهت این میدان در بازه‌های زمانی نامنظّم از ده هزار تا یک‌میلیون سال به‌طور کامل وارون می‌شود. قطب‌های مغناطیسی زمین بر قطب‌های جغرافیایی آن منطبق نیستند. در واقع، قطب‌های مغناطیسی و جغرافیایی زمین فاصلهٔ نسبتاً زیادی از یکدیگر دارند؛ مثلاً قطب جنوب مغناطیسی تقریباً در فاصلهٔ ۱۸۰۰ کیلومتری قطب شمال جغرافیایی قرار دارد. این بدان معناست که عقربهٔ مغناطیسی قطب‌نما درجهت شمال واقعی جغرافیایی قرار نمی‌گیرد و تا حدودی از شمال جغرافیایی انحراف دارد.



شکل ۳ـ۷ طرح ساده‌ای از میدان مغناطیسی زمین. عقربهٔ مغناطیسی قطب‌نما در هر نقطه در امتداد خط‌های این میدان قرار می‌گیرد.

فعالیت ۳ــ۳

وقتی یک سوزن مغناطیسی شده یا یک عقربهٔ 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.

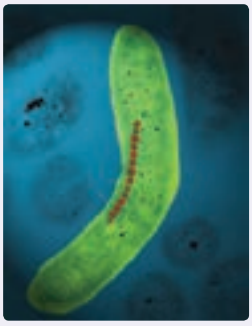
برای یافتن شیب مغناطیسی محلی که در آن زندگی می‌کنید درست به وسط یک سوزن مغناطیسی شده یا عقربهٔ مغناطیسی بزرگ، نخی را ببندید و آن را آویزان کنید. پس از تعادل، به کمک نقاله، زاویه‌ای را اندازه بگیرید که امتداد سوزن یا عقربهٔ مغناطیسی با راستای افق می‌سازد. عدد به‌دست آمده، شیب مغناطیسی محل زندگی شماست[۱]. چنانچه در آزمایشگاه مدرسه شیب‌سنج مغناطیسی موجود باشد می‌توانید از آن نیز استفاده کنید.

خوب است بدانید: جهت‌یابی 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.

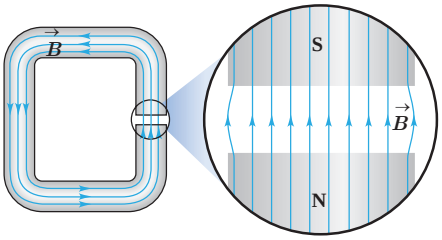
در سال ۱۹۷۵ میلادی، دانشمندان مؤسسهٔ فنّاوری ماساچوست (MIT) هنگام بررسی باکتری‌های موجود در لجن ته باتلاق‌ها، متوجه شدند که این باکتری‌ها دارای قسمت‌هایی کوچک در بدن خود هستند که خاصیت مغناطیسی دارند. این قسمت‌ها به صورت زنجیری در یک خط قرار دارند؛ در نتیجه یک عقربهٔ مغناطیسی کوچک را تشکیل می‌دهند (شکل 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 نیمکرهٔ جنوبی زمین، برای رسیدن به تهِ آبگیر در خلاف جهت خط‌های میدان مغناطیسی زمین قرار می‌گیرند.

(الف)



(ب)

میدان مغناطیسی یکنواخت : هرگاه در نقاط مختلف ناحیه‌ای از فضا جهت و اندازهٔ میدان مغناطیسی یکسان باشد، در این صورت میدان مغناطیسی را در آن ناحیه یکنواخت می‌گویند. ایجاد میدان مغناطیسی یکنواخت در ناحیهٔ بزرگی از فضا بسیار دشوار و در عمل امکان‌ناپذیر است. با این وجود، می‌توان در ناحیهٔ کوچکی از فضا، مانند ناحیهٔ بین قطب‌های یک آهنربای C شکل[۲]، میدان مغناطیسی یکنواخت ایجاد کرد (شکل ۳ــ۸).



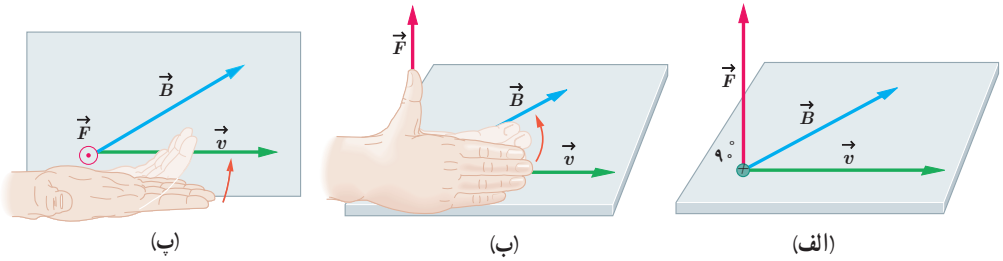
شکل ۳ــ۸ میدان مغناطیسی در فضای بین قطب‌های یک آهنربای C شکل با تقریب خوبی یکنواخت است.

۱ــ می‌توانید به سایت www.magnetic-declination.com بروید و درستی شیب مغناطیسی (magnetic inclination) به دست آمده در فعالیت ۳ــ۳ را بررسی کنید. یا با نصب برنامهٔ inclination meter روی گوشی تلفن همراه خود، شیب مغناطیسی را در محل زندگی خود اندازه بگیرید. شیب مغناطیسی در ایران از حدود 40° تا حدود 60° از مناطق جنوبی تا مناطق شمال غربی متغیر است.

۲ــ C ــ Shaped Magnet

۳ــ۳ نیروی مغناطیسی وارد بر ذرّهٔ باردار متحرک در میدان مغناطیسی

آزمایش نشان می‌دهد که اگر ذرّهٔ 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 نیرویی وارد خواهد شد که مطابق شکل ۳ــ۹ الف بر راستای سرعت و میدان مغناطیسی عمود است. این نیرو را نیروی مغناطیسی می‌نامند و جهت آن، مطابق شکل ۳ــ۹ ب و پ به کمک قاعدهٔ دست راست تعیین می‌شود. اگر دست راست خود را طوری نگه داریم که انگشتان باز شدهٔ ما در جهت $\vec{v}$ باشد ــ به گونه‌ای که وقتی آنها را روی زاویهٔ کوچک‌تری که $\vec{v}$ با $\vec{B}$ می‌سازد، و در جهت چرخش طبیعی انگشتان خم کنیم در جهت $\vec{B}$ قرار گیرد ــ انگشت شست ما در جهت نیروی وارد بر ذرّهٔ باردار، مثبت خواهد بود. توجه کنید که نیروی وارد بر بار منفی، در خلاف جهت نیروی وارد بر بار مثبت است.



شکل ۳ــ۹ (الف) بر ذرّهٔ 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 قاعدهٔ دست راست تعیین می‌شود.

اندازهٔ نیروی مغناطیسی وارد بر بار الکتریکی در حال حرکت از رابطهٔ زیر به دست می‌آید :

$$F=|q|vB\sin\theta \qquad (۱ــ۳)$$

در این رابطه $|q|$ بزرگی بار الکتریکی، v تندی (اندازه سرعت) بار الکتریکی، B اندازهٔ میدان مغناطیسی و θ زاویهٔ بین جهت حرکت بار الکتریکی (بردار $\vec{v}$) با جهت میدان مغناطیسی (بردار $\vec{B}$) است (شکل ۳ــ۱۰).

رابطهٔ ۳ــ۱ نشان می‌دهد وقتی بار الکتریکی q عمود بر راستای میدان مغناطیسی حرکت کند ($\sin\theta=\sin ۹۰^\circ=۱$)، اندازهٔ نیروی مغناطیسی وارد بر بار الکتریکی، بیشینه می‌شود ($F=F_{max}$). بنا به رابطهٔ ۳ــ۱، یکای SI میدان مغناطیسی معادل است با :

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

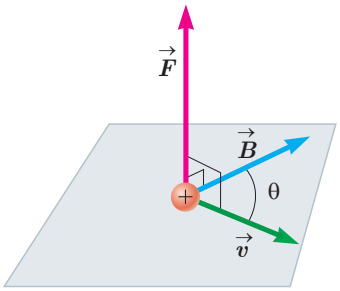
این یکا به احترام نیکُلا تسلا دانشمند و مخترع نامی، تسلا نامیده می‌شود و به اختصار با نماد T نشان داده می‌شود. به این ترتیب می‌توان نوشت :

$$۱\text{T}=۱\frac{\text{N}}{\text{C.m/s}}=۱\frac{\text{N}}{\text{A.m}} \qquad (۲ــ۳)$$

نیکُلا تسلا (۱۹۴۳ــ۱۸۵۶)

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 اوّلین بار در صندلی 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 به‌طرف بیرون (برون‌سو)
⊗ نماد بردار عمود بر صفحه به‌طرف درون (درون‌سو)



شکل ۳ــ۱۰ 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.

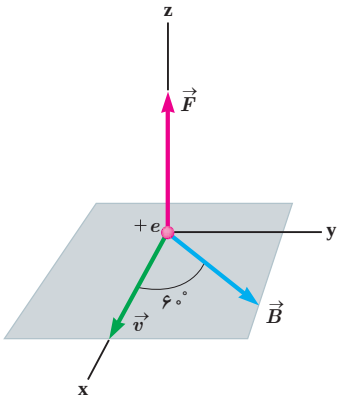
تسلا یکای بزرگی است و در برخی موارد از یکای قدیمی(غیر SI) و کوچک‌تری به نام گاوس (با نماد G) استفاده می‌کنند به طوری‌که داریم $1\,T=10^4\,G$. اندازهٔ میدان مغناطیسی زمین در نزدیکی سطح زمین در قطب‌ها بیشترین (۰/۶۵ G) و در استوا کمترین (۰/۲۵ G) است. بزرگی میدان مغناطیسی در نزدیکی آهنرباهای میله‌ای کوچک حدود ۰/۰۱ تا ۰/۱ تسلا است. همچنین بزرگ‌ترین میدان مغناطیسی مداوم[۱] که امروزه در آزمایشگاه تولید شده، حدود ۴۵ تسلا است.

کارل فریدریش گاوس (۱۸۵۵ــ۱۷۷۷)

گاوس، ریاضی‌دان، فیزیک‌دان و ستاره‌شناس آلمانی است که مدتی مدیر رصدخانهٔ گوتینگن بوده است. گاوس یکی از ریاضی‌دان‌های بزرگ و برجسته‌ترین کارش در نظریهٔ اعداد است. او به انجام محاسبه‌های بی‌اندازه بغرنج علاقه‌مند بود. وی همچنین روش‌های تازه‌ای برای محاسبه در مکانیک سماوی به‌دست آورد. گاوس روی پدیده‌های الکتریکی و مغناطیسی نیز فعالیت زیادی کرد و قانونی به نام وی در مبحث الکتریسیته وجود دارد.

مثال ۳ــ۱

ذرّه‌ای با بار $q=-4/0\,nC$ و با تندی $v=20\,m/s$ در جهتی حرکت می‌کند که با میدان مغناطیسی یکنواخت $B=120\,G$ زاویهٔ $\theta=60^\circ$ می‌سازد (شکل روبه‌رو). اندازهٔ نیروی مغناطیسی وارد بر این ذرّه را حساب کنید.



پاسخ : با توجه به فرض‌های مسئله داریم :

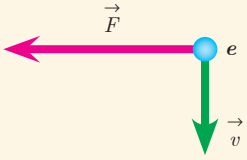
$$|q|=+4/0\times10^{-9}\,C\ ,\ v=20\,m/s\ ,$$
$$B=120\times10^{-4}\,T\ \text{و}\ \theta=60^\circ$$

با قرار دادن داده‌های بالا در رابطهٔ ۳ــ۱ داریم :

$$F=|q|vB\sin\theta$$
$$=(4/0\times10^{-9}\,C)(20\,m/s)(120\times10^{-4}\,T)\sin60^\circ\approx8/3\times10^{-6}\,N$$

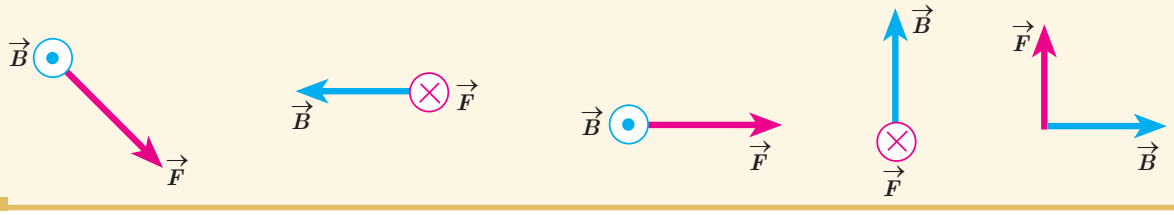
پرسش ۳ــ۴

۱ــ الکترونی عمود بر میدان مغناطیسی یکنواختی در حرکت است. با توجه به شکل، جهت میدان $\vec{B}$ کدام است؟



☐ بالا ☐ راست ☐ درون‌سو ☐ برون‌سو

۲ــ 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 هریک از حالت‌های نشان داده شده جهت سرعت الکترون را تعیین کنید.

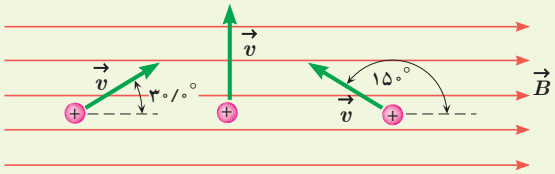


۱ــ Strongest Continous Magnetic Field

تمرین ۳ــ۱

۱ــ بر پروتونی که با زاویهٔ $\theta=۳۰^\circ$ نسبت به میدان مغناطیسی یکنواختی به اندازهٔ $B=۳۲۰\,G$ در حرکت است نیرویی به‌اندازهٔ $F=۵/۱۲\times۱۰^{-۱۴}N$ وارد می‌شود. تندی پروتون چند کیلومتر بر ثانیه است؟

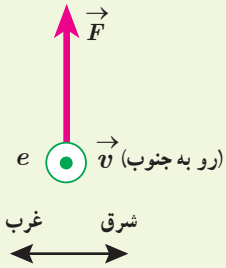
۲ــ سه ذرّه، هر کدام با بار $q=۶/۱۵\,\mu C$ و تندی $v=۴۶\,m/s$، در میدان مغناطیسی یکنواختی به‌اندازهٔ $B=۰/۱۶۵T$ در حرکت‌اند (شکل روبه‌رو). اندازهٔ نیروی وارد بر هر ذرّه را حساب کنید.



۳ــ الکترونی با تندی $۲/۴\times۱۰^{۵}m/s$ 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.

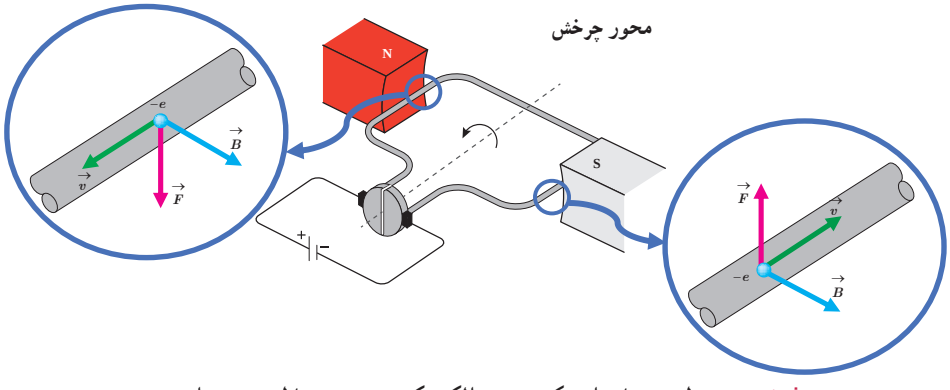
الف) اگر جهت این نیروی بیشینه، رو به بالا و اندازهٔ آن برابر $۶/۸\times۱۰^{-۱۴}N$ باشد، اندازه و جهت میدان مغناطیسی را تعیین کنید.

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



۳ــ۴ 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 ۳ــ۱۱ 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؟ 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.



شکل ۳ــ۱۱ طرحی ساده از یک موتور الکتریکی. نیروی مغناطیسی F وارد بر الکترون‌هایی که با سرعت سوق v درون رسانا حرکت می‌کنند حلقه را می‌چرخاند.

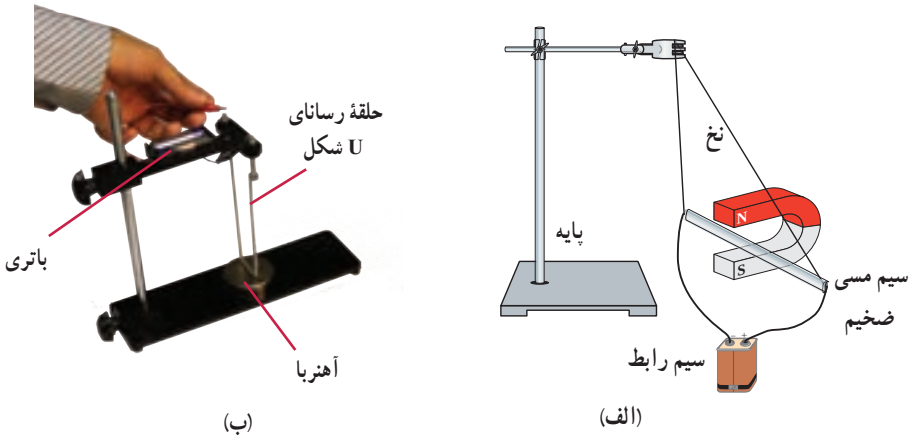
آزمایش ۳ــ۲

هدف: بررسی نیروی وارد بر سیم حامل جریان

وسیله‌های مورد نیاز : آهنربای نعلی شکل، سیم مسی ضخیم، سیم رابط، پایه، نخ و باتری

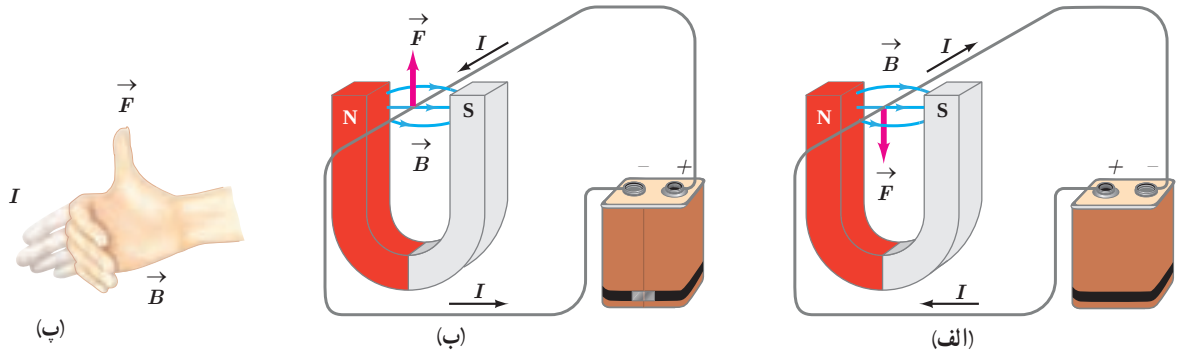
شرح آزمایش :

- 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.
- نتیجهٔ آزمایش را به کلاس گزارش دهید.



اورستد (فیزیک‌دان دانمارکی) با انجام آزمایش‌هایی شبیه آزمایش ۳ــ۲ 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 قاعدهٔ دست راست تعیین کرد (شکل ۳ــ۱۲).



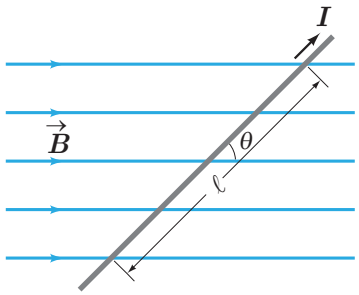
شکل ۳ــ۱۲ (الف) نیروی مغناطیسی وارد بر سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی؛ (ب) نیروی مغناطیسی وارد بر سیم در حالی که جهت جریان وارونه شده است. (پ) قاعدهٔ دست راست برای تعیین جهت نیروی مغناطیسی وارد بر سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی شکل (ب).

عامل‌های مؤثر بر نیروی مغناطیسی وارد بر سیم راست رسانای حامل جریان :

آزمایش‌هایی مشابه آزمایش ۳ــ۲ 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 رابطهٔ زیر بیان شده‌اند :

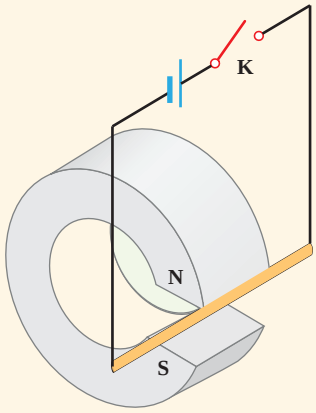
$$F = I\ell B\sin\theta \qquad (۳ــ۳)$$

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 ۳ــ۱۳).



شکل ۳ــ۱۳ سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی. نیروی مغناطیسی وارد بر سیم درون‌سو (عمود بر صفحهٔ کتاب و به طرف داخل) است.

پرسش ۳ــ۵



۱ــ اگر در شکل ۳ــ۱۳ 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؟

۲ــ یک میلهٔ 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 میلهٔ رسانا رخ می‌دهد؟ توضیح دهید.

مثال ۳ــ۲

یک سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی یکنواختی به بزرگی ۴۰۰G در راستایی قرار دارد که با جهت میدان زاویهٔ 30° می‌سازد. اگر جریان عبوری از سیم ۵/۰A باشد، بزرگی نیروی مغناطیسی وارد بر ۱/۰m از این سیم را حساب کنید.

پاسخ : با توجه به فرض‌های مسئله داریم :

$$B = ۴۰۰\times۱۰^{-۴}\,\mathrm{T}\ ،\ \theta = ۳۰^\circ\ ،\ I = ۵/۰\,\mathrm{A}\ \text{و}\ \ell = ۱/۰\,\mathrm{m}$$

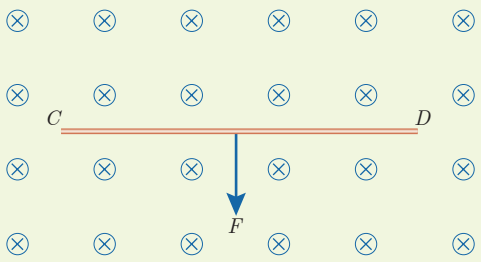
با قرار دادن داده‌های بالا در رابطهٔ ۳ــ۳ داریم :

$$F = I\ell B\sin\theta = (۵/۰\,\mathrm{A})(۱/۰\,\mathrm{m})(۴۰۰\times۱۰^{-۴}\,\mathrm{T})\sin ۳۰^\circ = ۰/۱۰\,\mathrm{N}$$

تمرین ۳ــ۲

۱ــ سیم مستقیمی به طول ۲/۴m حامل جریان ۲/۵A از شرق به غرب است. اندازهٔ میدان مغناطیسی زمین در محل این سیم ۰/۴۵G و جهت آن از جنوب به شمال است. اندازه و جهت نیروی مغناطیسی وارد بر این سیم را تعیین کنید.

۲ــ سیم رسانای CD به طول ۲m مطابق شکل روبه‌رو عمود بر میدان مغناطیسی درون‌سو با اندازهٔ ۰/۵T قرار گرفته است؛ اگر اندازهٔ نیروی مغناطیسی وارد بر سیم برابر ۱N باشد، جهت و مقدار جریان عبوری از سیم را تعیین کنید.



فعالیت ۳ــ۴

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 ۰/۰۱g استفاده کنید.

۳ــ۵ میدان مغناطیسی حاصل از جریان الکتریکی

تا اینجا پی بردیم که در فضای اطراف آهنرباهای دائمی میدان مغناطیسی وجود دارد. در ادامهٔ 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 عقربهٔ مغناطیسی در کنار سیم حامل جریان الکتریکی منحرف می‌شود (شکل ۳ــ۱۴). او با انجام دادن آزمایش‌های بیشتر کشف کرد که عبور جریان الکتریکی از یک سیم رسانا، در اطراف آن یک میدان مغناطیسی به‌وجود می‌آورد. این کشف اورستد گام مهمی در راه درک رابطهٔ 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.

شکل ۳ــ۱۴ میدان مغناطیسی اطراف سیم حامل جریان را می‌توان با قرار دادن تعدادی عقربهٔ مغناطیسی پیرامون آن نشان داد.

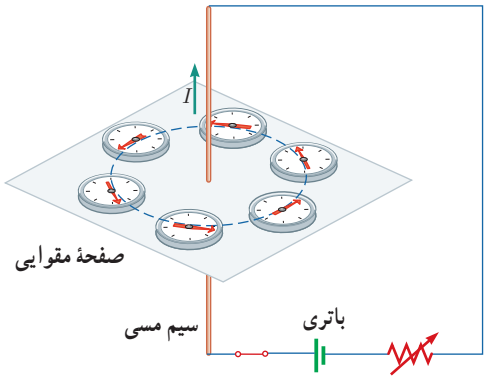
هانس کریستیان اورستد (۱۷۷۷–۱۸۵۱)
فیزیک‌دان و شیمی‌دان مشهور دانمارکی است که تأثیر بسیار بزرگی در تاریخ فیزیک گذاشته است. کشفیات وی در زمینهٔ الکتریسیته و مغناطیس، اولین گام در شکل‌گیری نظریهٔ الکترومغناطیس بود. اورستد که معمولاً در کلاس‌هایش به انجام آزمایش هم می‌پرداخت، در یکی از روزهای سال ۱۸۲۰ میلادی، در حالی که مشغول آموزش الکتریسیته و تولید جریان با پیل الکتریکی بود، متوجه انحراف جهت عقربهٔ 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 حوزهٔ فلسفه هم مطالعاتی داشت و همچنین یکی از دوستان نزدیک داستان‌نویس مشهور کودکان، هانس کریستیان آندرسن بود.

آزمایش ۳ــ۳

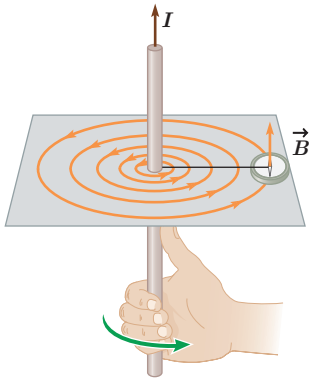
هدف: بررسی آثار مغناطیسی جریان الکتریکی (آزمایش اورستد)

وسیله‌های مورد نیاز : باتری، سیم مسی نسبتاً ضخیم، صفحهٔ مقوایی، عقربهٔ مغناطیسی (قطب‌نما)، رئوستا و سیم رابط

شرح آزمایش :



- سیم مسی را از صفحهٔ مقوایی بگذرانید و با آن مداری مطابق شکل روبه‌رو تشکیل دهید.
- قبل از برقراری جریان الکتریکی، عقربهٔ مغناطیسی را درمجاورت سیم، روی مقوا قرار دهید و به راستای قرارگرفتن آن توجه کنید.
- با وصل‌کردن مدار، جریان الکتریکی را از سیم مسی عبور دهید و به جهت‌گیری عقربهٔ مغناطیسی توجه کنید.
- عقربهٔ مغناطیسی را در نقطه‌های مختلف روی مقوا قرار دهید و جهت آن را بررسی کنید.
- با توجه به جهت گیری عقربه در نقاط مختلف صفحهٔ مقوّایی، 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 رئوستا، تحقیق کنید که افزایش یا کاهش جریان چه تأثیری در نتیجهٔ آزمایش دارد؟
- نتیجهٔ این آزمایش را در گروه خود بحث کنید و آن را به کلاس گزارش دهید.

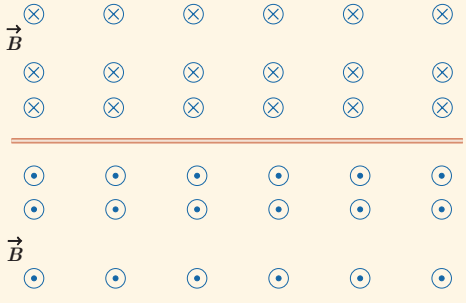


شکل ۳ــ۱۵ قاعدهٔ دست راست برای تعیین جهت $\vec{B}$ اطراف سیم بلند مستقیم حامل جریان

با انجام این آزمایش می‌بینید که خط‌های میدان مغناطیسی حاصل از یک سیم حامل جریان، مطابق شکل ۳ــ۱۵ به صورت دایره‌های هم‌مرکز در اطراف سیم حامل جریان هستند. جهت خط‌های میدان مغناطیسی سیم مستقیم حامل جریان را می‌توان به کمک عقربهٔ مغناطیسی تعیین کرد. علاوه بر آن، با استفاده از قاعدهٔ دست راست نیز می‌توان این جهت را تعیین کرد؛ مطابق این قاعده، اگر سیم را در دست راست خود بگیرید به‌گونه‌ای 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.

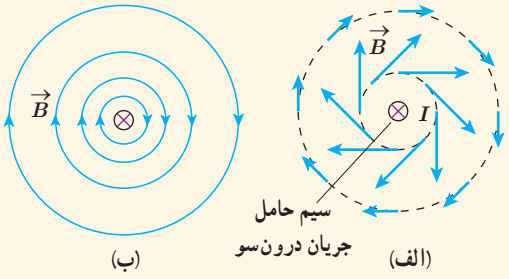
پرسش ۳ــ۶

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

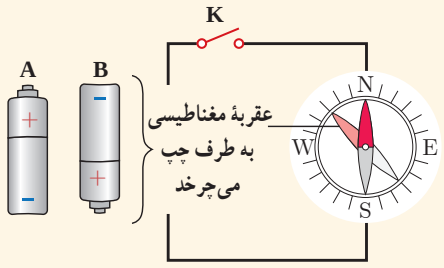


پرسش ۳ــ۷

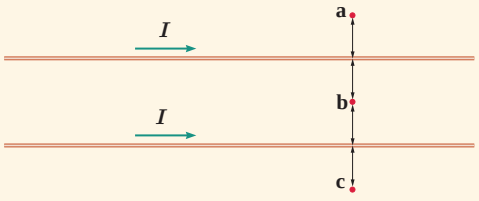
۱ــ دریافت خود را از شکل‌های الف و ب بیان کنید. در بیان خود، به چگونگی تغییر جهت و اندازهٔ میدان $\vec{B}$ در اطراف سیم حامل جریان اشاره کنید.



۲ــ کدام باتری را در مدار شکل روبه‌رو 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.



۳ــ جهت میدان مغناطیسی برایند (خالص) ناشی از سیم‌های موازی و بلند حامل جریان را در هر یک از نقطه‌های a، b و c پیدا کنید. نقطهٔ b در فاصلهٔ مساوی از دو سیم قرار دارد.

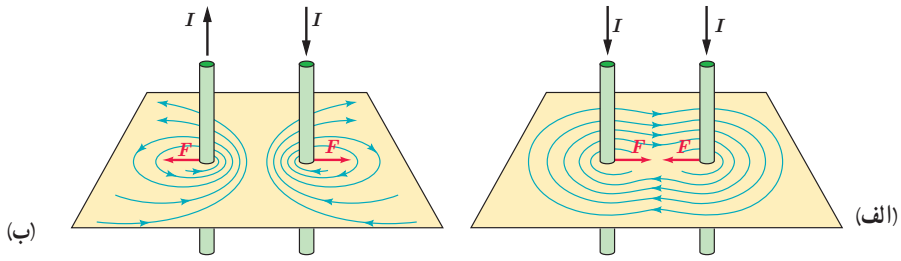


فنّاوری و کاربرد: میدان‌های مغناطیسی بدن

تمام یاخته‌های زندهٔ بدن انسان به‌طور الکتریکی فعال‌اند. جریان‌های الکتریکی ضعیف در بدن، میدان‌های مغناطیسی ضعیف ولی قابل اندازه‌گیری تولید می‌کنند. اندازهٔ 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 مغناطیس سنج‌هایی به نام اسکوییدِ[1] ساخته شده‌اند. شکل روبه‌رو یک دستگاه اسکوید را نشان می‌دهد که در حال اندازه‌گیری میدان مغناطیسی تولید شده در مغز است.

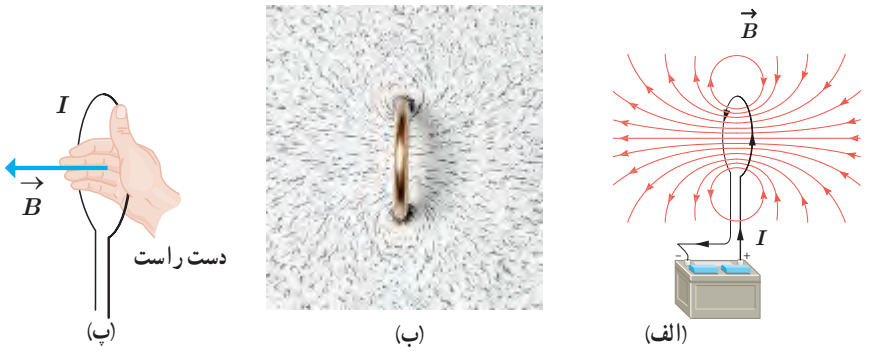
۱ــ SQUID (Superconducting Quantum Interference Device)

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 ۳ــ۴ 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 ربایشی است (شکل ۳ــ۱۶ الف). همچنین اگر جریان‌ها در دو جهت مخالف از دو سیم موازی بگذرند، نیروی بین آنها رانشی است (شکل ۳ــ۱۶ب).



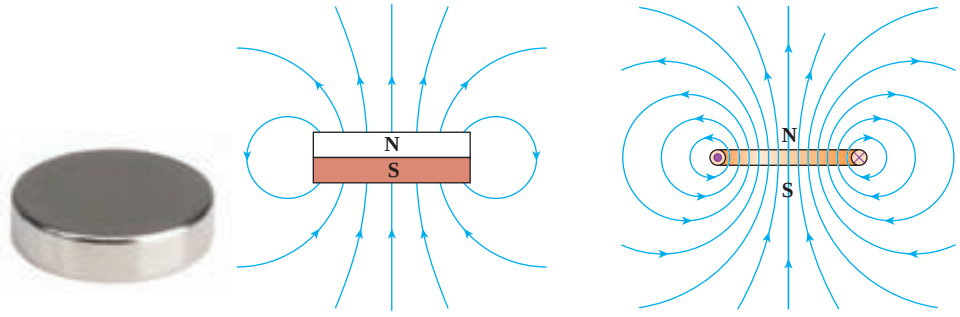
شکل ۳ــ۱۶ نیروی بین دو سیم موازی حامل جریان و رسم خطوط میدان مغناطیسی برایند آنها. الف) برای جریان‌های همسو، ربایشی است و (ب) برای جریان‌های ناهمسو، رانشی است.

میدان مغناطیسی ناشی از یک حلقهٔ دایره‌ای حامل جریان : شکل ۳ــ۱۷ الف خط‌های میدان مغناطیسی را در اطراف یک حلقهٔ رسانای دایره‌ای نشان می‌دهد که حامل جریان I است. همان‌طور که دیده می‌شود خط‌های میدان مغناطیسی در ناحیهٔ داخل حلقه به یکدیگر نزدیک‌ترند؛ یعنی، میدان در این ناحیه قوی‌تر است. افزون براین، در نقطه‌های روی محورحلقه، میدان موازی محور است. جهت خط‌های میدان مغناطیسی حلقه را می‌توان با قاعدهٔ دست راست به روش نشان داده شده در شکل ۳ــ۱۷ پ تعیین کرد.



شکل ۳ــ۱۷ (الف) خط‌های میدان مغناطیسی در اطراف یک حلقهٔ حامل جریان. (ب) طرح خط‌های میدان مغناطیسی یک حلقهٔ حامل جریان با استفاده از برادهٔ آهن. (پ) استفاده از قاعدهٔ دست راست برای تعیین جهت $\vec{B}$ یک حلقهٔ حامل جریان.

بررسی و مقایسهٔ میدان مغناطیسی یک حلقهٔ حامل جریان و یک آهنربای تخت دایره‌ای شکل، نشان می‌دهد که میدان مغناطیسی آنها درست مانند یکدیگر است (شکل ۳ــ۱۸). به همین دلیل، هر حلقهٔ حامل جریان را به‌عنوان یک دو قطبی مغناطیسی در نظر می‌گیرند.

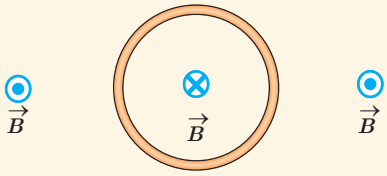


(پ) آهنربای تخت دایره‌ای (ب) آهنربای دائم (الف) حلقهٔ حامل جریان

شکل ۳ــ۱۸ حلقهٔ حامل جریان دو قطب دارد و میدان مغناطیسی آن مانند یک آهنربای دائم تختِ دایره‌ای شکل است.

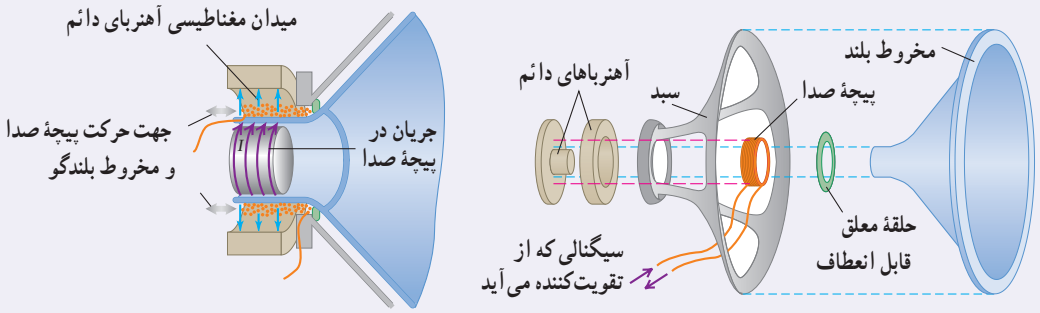
پرسش ۳ــ۸

شکل روبه‌رو، یک حلقهٔ 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.

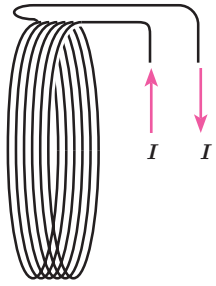


خوب است بدانید: طرز کار بلندگو

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 پیچهٔ 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 دامنهٔ 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 پیچهٔ صدا می‌گذرد وارد می‌کند؛ برای جریان I که در شکل نشان داده شده است نیرو به طرف راست است. اگر جریان الکتریکی در پیچهٔ صدا نوسان کند، مخروط بلندگو که متصل به پیچهٔ صداست با همان بسامد نوسان می‌کند.



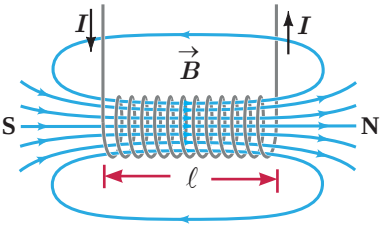
شکل ۳ــ۱۹ پیچه

استفاده از یک تک حلقه برای تولید میدانی با اندازهٔ مطلوب ممکن است نیازمند آن‌چنان جریان بزرگی باشد که از بیشینهٔ جریان مجاز سیمِ حلقه فراتر باشد. در چنین شرایطی به جای تک‌حلقه، از پیچه‌ها برای تولید میدان مغناطیسی استفاده می‌شود (شکل ۳ــ۱۹). از پیچه‌ها برای تولید میدان مغناطیسی در بسیاری از وسیله‌های برقی استفاده می‌شود.

میدان مغناطیسی حاصل از سیملولهٔ حامل جریان : سیملوله، سیم درازی است که به‌صورت مارپیچی بلند، پیچیده شده است. با عبور جریان الکتریکی از سیملوله، در فضای اطراف آن میدان مغناطیسی به‌وجود می‌آید. طرح خط‌های میدان مغناطیسی یک سیملولهٔ حامل جریان الکتریکی در شکل ۳ــ۲۰ الف 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 قاعدهٔ دست راست که در شکل نشان داده شده است تعیین می‌شود (شکل ۳ــ۲۰ ب).

(پ)

(ب)



(الف)

شکل ۳ــ۲۰ (الف) میدان مغناطیسی یک سیملولهٔ حامل جریان. (ب) تعیین جهت میدان به کمک قاعدهٔ دست راست. (پ) طرح خط‌های میدان مغناطیسی سیملوله با استفاده از برادهٔ آهن.

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

$$B = \frac{\mu_0 NI}{\ell} \qquad \text{(سیملولهٔ آرمانی)} \qquad (۳ــ۴)$$

در این رابطه، I جریان عبوری، l طول سیملوله، N تعداد دورهای سیملوله و μ_0 تراوایی مغناطیسی خلأ و برابر $۴\pi \times ۱۰^{-۷}\,\mathrm{T.m/A}$ است.

مثال ۳ــ۳

سیملوله‌ای آرمانی به طول $۱۵\mathrm{cm}$ دارای ۶۰۰ حلقهٔ سیم نزدیک به هم است. اگر جریان $۸۰۰\mathrm{mA}$ 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 :

$$\ell = ۱۵\mathrm{cm} = ۰/۱۵\mathrm{m}, \quad N = ۶۰۰, \quad I = ۸۰۰\mathrm{mA} = ۸۰۰\times ۱۰^{-۳}\mathrm{A}, \quad B = ?$$

به این ترتیب داریم :

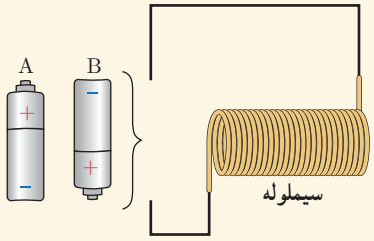
$$B = \frac{\mu_0 NI}{\ell} = \frac{(۴\pi \times ۱۰^{-۷}\,\mathrm{T.m/A})(۶۰۰)(۸۰۰\times ۱۰^{-۳}\,\mathrm{A})}{۰/۱۵\mathrm{m}} \approx ۴/۰\times ۱۰^{-۳}\,\mathrm{T} = ۴۰\mathrm{G}$$

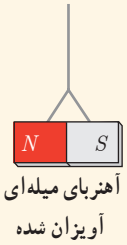
تمرین ۳ــ۳

سیملوله‌ای آرمانی به طول ۴۰/۰cm چنان طراحی شده است که جریان بیشینه‌ای به‌شدّت ۱/۲ A می‌تواند از آن بگذرد. با عبور این جریان از سیملوله، اندازهٔ میدان مغناطیسی درون آن و دور از لبه‌ها ۲۷۰ G می‌شود. تعداد دورهای سیملوله چقدر باید باشد؟

پرسش ۳ــ۹

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



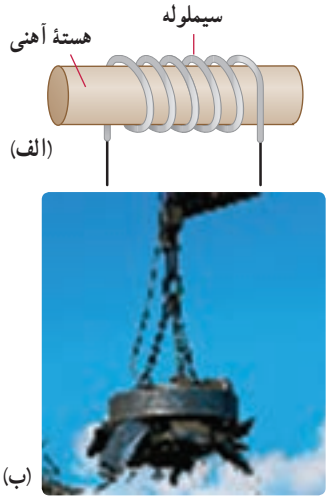


فعالیت ۳ــ۵

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

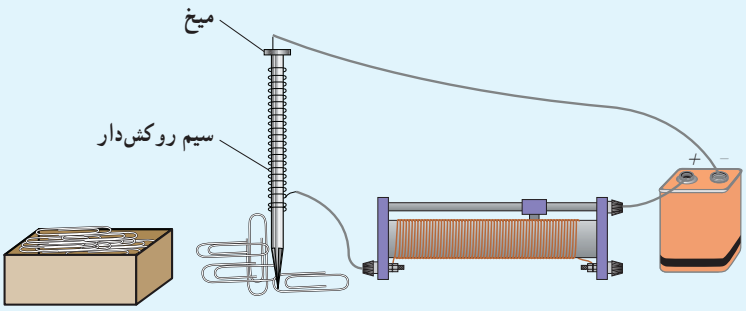
(الف) (ب) (پ)

سیملوله با هستهٔ آهنی ــ آهنربای الکتریکی : شکل۳ــ۲۱ الف سیملوله‌ای با یک هستهٔ آهنی را نشان می‌دهد. وقتی جریانی در سیملوله برقرار می‌شود، میدان مغناطیسی سیملوله، در هستهٔ آهنی خاصیت مغناطیسی القا می‌کند و هستهٔ آهنی، آهنربا می‌شود. این آهنربا را آهنربای الکتریکی می‌نامند. آهنربای الکتریکی صنعتی (شکل ۳ــ۲۱ 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 قُراضه‌های آهن را بلند کند. هر چه تعداد دورهای سیملوله و جریانی که از آن می‌گذرد بیشتر باشد، آهنربای الکتریکی قوی‌تر خواهد بود. وجود هستهٔ آهنی باعث تقویت میدان مغناطیسی سیملوله می‌شود. میدان مغناطیسی سیملولهٔ بدون هستهٔ آهنی به قدری ضعیف است که در عمل کاربردهای کمی دارد.



شکل ۳ــ۲۱ (الف) سیملوله با هستهٔ آهنی
(ب) آهنربای الکتریکی صنعتی

فعالیت ۳ـ۶



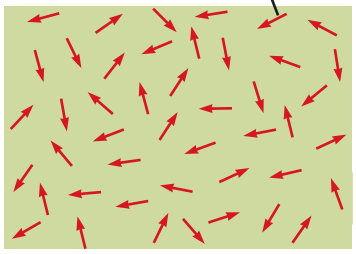
قسمتی از سیم نازک روکش‌داری را دور میخ آهنی نسبتاً بلندی بپیچید و مداری مطابق شکل تشکیل دهید. با تغییر مقاومت رئوستا، جریان عبوری از مدار را تغییر دهید. بررسی کنید برای جریان‌های متفاوت، آهنربای الکتریکی چه تعداد گیره فلزی را می‌تواند بلند کند. ب) اگر تعداد دورهای سیم دو برابر شود، نتیجهٔ کار چه تفاوتی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

۳ـ۶ ویژگی‌های مغناطیسی مواد

رفتار آهنرباهای دائمی، نوارهای مغناطیسیِ پشت کارت‌های بانکی و دیسک‌های رایانه‌ای به‌طور مستقیم به ویژگی‌های مغناطیسی مواد بستگی دارد.

موادی را که اتم‌ها یا مولکول‌های سازندهٔ آنها خاصیت مغناطیسی داشته باشند، مواد مغناطیسی می‌نامند. در واقع می‌توان گفت کوچک‌ترین ذرّه‌های تشکیل‌دهندهٔ 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 هرکدام از آنها وابسته به یک اتم یا مولکول‌اند. در ادامه به بررسی برخی از مواد مغناطیسی می‌پردازیم.

هر ذرهٔ سازندهٔ مواد پارامغناطیسی یک آهنربای میکروسکوپی است.



شکل ۳ـ۲۲ سمت‌گیری کاتوره‌ای دوقطبی‌های مغناطیسی در یک مادهٔ پارامغناطیسی در نبود میدان مغناطیسی

مواد پارامغناطیسی : اتم‌های مواد پارامغناطیسی، خاصیت مغناطیسی دارند اما دوقطبی‌های مغناطیسی وابستهٔ به آنها، به‌طور کاتوره‌ای سمت‌گیری کرده‌اند و میدان مغناطیسی خالصی ایجاد نمی‌کنند (شکل ۳ـ۲۲). با قرار دادن مواد پارامغناطیسی درون میدان مغناطیسی خارجی قوی (مثلاً نزدیک یک آهنربای قوی)، دو قطبی‌های مغناطیسی آنها، مانند عقربهٔ 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.

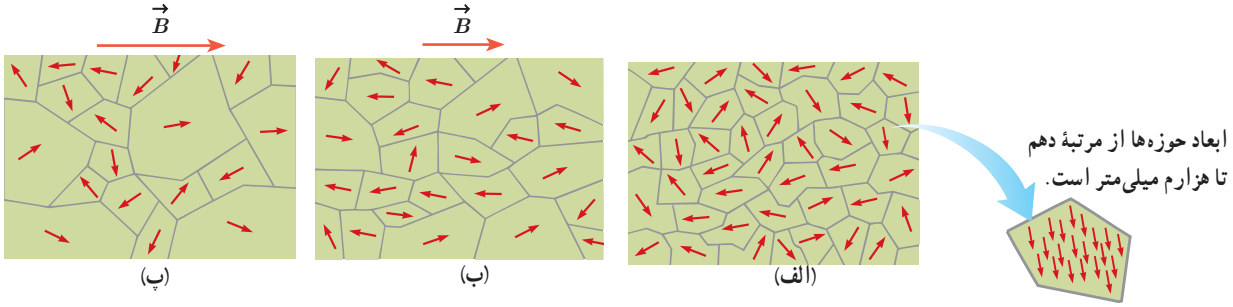
فعالیت ۳ـ۷

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

مواد دیامغناطیسی : اتم‌های مواد دیامغناطیسی، نظیر مس، نقره، سرب و بیسموت، به‌طور ذاتی فاقد خاصیت مغناطیسی‌اند. به عبارت دیگر، هیچ یک 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.

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 عنصرها 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 ۳ــ۲۳ الف نشان داده شده است.

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 تحت‌تأثیر 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 سمت‌گیری آنها در راستای میدان نیست، کم می‌شود. در این فرایند، مرز بین بیشتر حوزه‌ها جابه‌جا می‌شود، و ماده خاصیت آهنربایی پیدا می‌کند. شکل ۳ــ۲۳ ب یک مادهٔ فرومغناطیسی را در یک میدان مغناطیسی خارجی ضعیف و شکل ۳ــ۲۳ پ در یک میدان مغناطیسی خارجی قوی‌تر نشان می‌دهد.



شکل ۳ــ۲۳ (الف) مادهٔ فرومغناطیسی در نبود میدان مغناطیسی خارجی. (ب) مادهٔ فرومغناطیسی در حضور میدان مغناطیسی خارجی ضعیف. (پ) مادهٔ فرومغناطیس در حضور میدان مغناطیسی خارجی قوی.

حوزه‌های مغناطیسیِ برخی از مواد فرومغناطیسی، در حضور میدان مغناطیسی خارجی به سهولت تغییر می‌کند و ماده به‌سادگی آهنربا می‌شود و با حذف میدان خارجی نیز، خاصیت آهنربایی خود را به‌آسانی از دست می‌دهد. این مواد را مواد فرومغناطیسی نرم می‌نامند. از این مواد در ساخت هستهٔ پیچه‌ها و سیملوله‌ها استفاده می‌شود. مواد فرومغناطیسی نرم برای ساختن آهنرباهای الکتریکی (آهنرباهای غیردائم) نیز مناسب‌اند (چرا؟). برخی مواد دیگر مانند فولاد (آهن به اضافهٔ ۲ درصد کربن)، آلیاژهای آهن، کبالت و نیکل به سختی آهنربا می‌شوند؛ یعنی در حضور میدان مغناطیسی خارجی، حجم حوزه‌ها در آنها به سختی تغییر می‌کند. این مواد را مواد فرومغناطیسی سخت می‌نامند. در این مواد، سمت‌گیری دوقطبی‌های مغناطیسی حوزه‌ها پس از حذف میدان خارجی، تا مدت زمان زیادی، تقریباً بدون تغییر باقی می‌ماند. به همین دلیل، این مواد برای ساختن آهنرباهای دائمی مناسب‌اند.