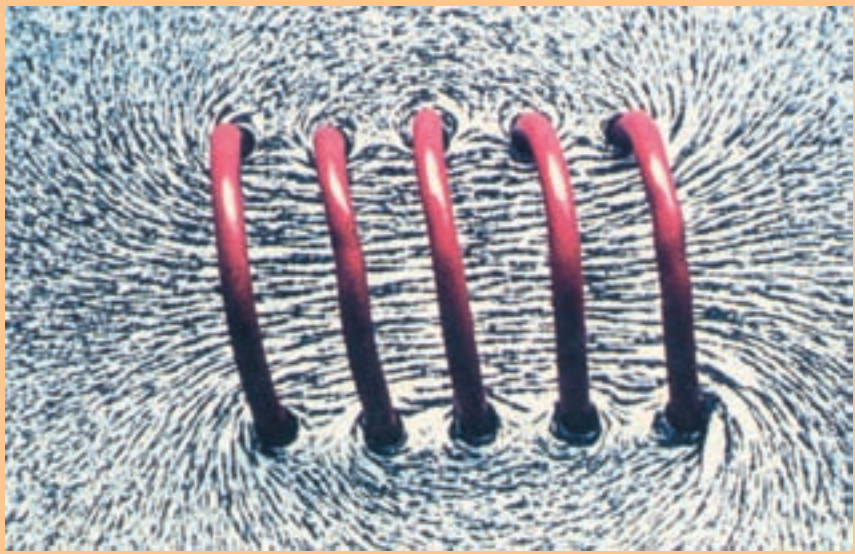
۳



می‌دانیم آهنرباهای دائم در فضای اطراف خود میدان مغناطیسی ایجاد می‌کنند. در این فصل خواهیم دید جریان الکتریکی نیز می‌تواند میدان مغناطیسی تولید کند. شکل بالا یک سیملوله‌ی حامل جریان را نشان می‌دهد که در فضای اطراف خود میدان مغناطیسی ایجاد کرده است و این میدان باعث جهت‌گیری براده‌های آهن در راستای خط‌های میدان مغناطیسی شده است.

فصل ۳

مغناطیس

اگر تاکنون با یک اسباب بازی مغناطیسی بازی کرده باشید، یا یک قطب‌نما را به‌کار برده باشید و یا آهنربایی را مثلاً برای نگه‌داشتن یک برگه‌ی کاغذ روی بدنه‌ی یخچال مورد استفاده قرار داده باشید، احتمالاً از مشاهده‌ی پدیده‌های مربوط به شگفت آمده‌اید. آهنرباها برای بسیاری از ما جذابیت خاصی دارند.

شب هنگام نور شمالگان (شفق قطبی) در نیم‌کره‌ی شمالی به صورت پرده‌ای نورانی در آسمان دیده می‌شود. ضخامت این پرده‌ی خمیده می‌تواند به ارتفاع چند کیلومتر و به طول چندین هزار کیلومتر باشد.

آهنربایی را در دست خود نگه دارید و نزدیک یک جسم آهنی یا فولادی بایستید، آیا احساس نمی‌کنید که دست شما به‌طرف آن جسم کشیده می‌شود. در هر یک از دستان خود یک آهنربا نگه‌دارید، حتی وقتی هم که دو آهنربا با هم در تماس نیستند، وجود نیروی مغناطیسی را احساس می‌کنید. اگر یک ماده‌ی غیرمغناطیسی مثل شیشه نیز بین دو آهنربا باشد، باز هم این نیرو وجود دارد. دو آهنربا حتی در خلأ هم به یک‌دیگر نیرو وارد می‌کنند. زمین نیز خود یک آهنربای عظیم است، که اثرهای ناشی از آن در پدیده‌های متفاوت دیده می‌شود.

در این فصل خواهیم دید که جریان‌های الکتریکی نیز اثرهای مغناطیسی دارند. از اثرهای مغناطیسی سیم‌های حامل جریان و مواد مغناطیسی در بسیاری از ماشین‌ها و دستگاه‌هایی که زندگی روزانه‌ی ما را ساده‌تر می‌کنند، استفاده می‌شود.

۳ــ۱ــ آهنربا

یونانیان باستان، بیش از ۲۵۰۰ سال پیش با پدیده‌ی آهنربایی آشنا بودند. تالس که اغلب از او به‌عنوان پدر علم یونان یاد می‌شود، ماده‌ی کانی مگنتیت (Fe_3O_4) را که آهن را می‌رباید می‌شناخت. همان‌گونه که می‌دانید، ماده‌های دارای این ویژگی را آهنربا می‌نامند. چینی‌های باستان نیز با ویژگی‌های مغناطیسی برخی از سنگ‌های آهنربا آشنایی داشتند و تکه‌هایی از این سنگ‌ها را به‌صورت قطب‌نماهای ساده در دریانوردی به‌کار می‌بردند.

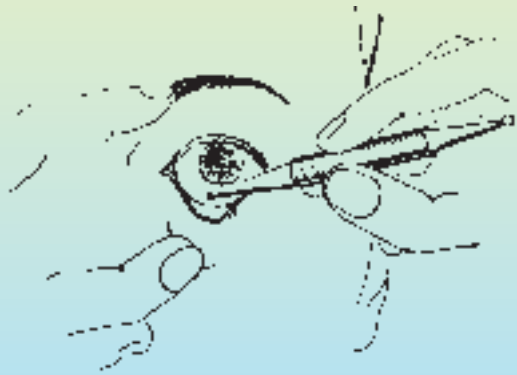
فعالیت ۳ــ۱

در گروه خود آن‌چه را که درباره‌ی آهنرباها و کاربردهای آن‌ها می‌دانید، به‌بحث بگذارید و نتیجه را به کلاس گزارش دهید.

آهنرباها را با توجه به نوع کاربردی که دارند، به شکل‌های مختلف (میله‌ای، نعلی‌شکل، تیغه‌ای و ...) می‌سازند.

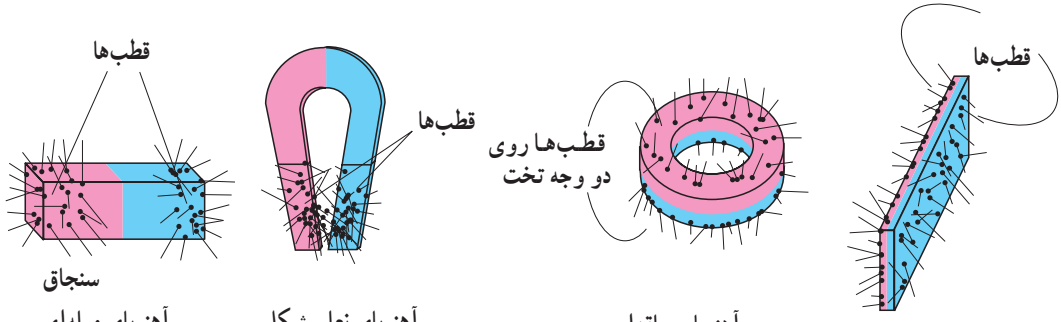
فناوری

یکی از موارد استفاده از آهنربا در پزشکی در شکل ۳ــ۱ نمایش داده شده است. همان‌گونه که شکل نشان می‌دهد از یک آهنربای میله‌ای خاص که قطب‌های آن به صورت گرد و هموار درآمده است برای بیرون آوردن تراشه‌های آهن و فولاد از درون چشم استفاده شده است. این روش بیرون آوردن قطعه‌های آهنی یا فولادی از برخی نواحی دیگر بدن نیز در بعضی از عمل‌های جراحی انجام می‌شود.



شکل ۳ــ۱

قطب‌های آهنربا: در آهنربا ــ به‌هر شکلی که باشد ــ دو ناحیه وجود دارد که خاصیّت آهنربایی در آن‌ها بیش از قسمت‌های دیگر است. این ناحیه‌ها را قطب‌های آهنربا می‌نامند. قطب‌های آهنرباهای به شکل‌های مختلف را در شکل ۳ــ۲ مشاهده می‌کنید. تجمع سنجاق‌های کوچک مکان قطب‌های آهنربا را نشان می‌دهد.



شکل ۳ــ۲

فعالیت ۳ـ۲

به کمک براده‌های آهن یا چند سنجاق، قطب‌های هر یک از آهنرباهایی را که در اختیار دارید، تعیین کنید.

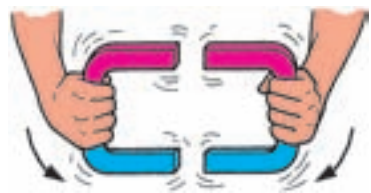
پیش از این دیده‌اید که عقربه‌ی مغناطیسی همواره در جهت معینی می‌ایستد، به‌گونه‌ای که یک قطب معین آن مطابق شکل ۳ـ۳ تقریباً به‌طرف شمال و قطب دیگر آن به‌طرف جنوب قرار می‌گیرد. قطبی را که به‌سوی شمال تمایل دارد (یا به عبارت دیگر شمال‌گرا است) قطب N و قطب جنوب‌گرا را قطب S می‌نامند (شکل ۳ـ۳). قطب‌های همنام آهنرباها یک‌دیگر را می‌رانند و قطب‌های غیرهمنام یک‌دیگر را می‌ربایند.

شکل ۳ـ۳ـ قطب‌نماهایی که ملّاحان در دریا و کوهنوردان به هنگام مه غلیظ برای تعیین جهت حرکت به‌کار می‌برند، در واقع یک آهنربای میله‌ای نازک است که بر روی پایه‌ای سوار است و می‌تواند آزادانه بر روی آن بچرخد، و جهت تقریبی شمال را نشان دهد. قطب‌نما را عقربه‌ی مغناطیسی هم می‌نامند.

فعالیت ۳ـ۳

آزمایشی که اثر قطب‌های آهنربا را بر یک‌دیگر نشان دهد طراحی کنید و انجام دهید.

اگر دو آهنربای نعلی‌شکل را مطابق شکل ۳ـ۴ در دو دست خود نگه‌دارید و سعی کنید آن‌ها را طوری به هم نزدیک کنید که قطب‌های همنام به یک‌دیگر نزدیک شوند، به‌خوبی می‌توانید نیروی رانش بین قطب‌های همنام را احساس کنید.



شکل ۳ـ ۴

القای خاصیّت مغناطیسی: دیدیم که آهنرباها قطعه‌هایی از جنس آهن را می‌ربایند. علاوه‌بر آهن، ماده‌هایی نظیر نیکل، کبالت و آلیاژهایی که از این سه فلز تشکیل شده‌اند نیز جذب آهنربا می‌شوند. با انجام‌دادن آزمایش ۳ــ۱ درمی‌یابید که قطعه‌ی آهنی ربوده شده توسط آهنربا، خود خاصیت آهنربایی پیدا کرده است.

آزمایش ۳ــ۱

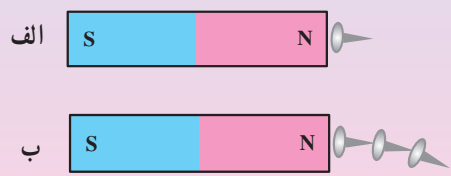
وسیله‌های آزمایش: یک آهنربای میله‌ای، تعدادی میخ آهنی، مقداری براده‌ی آهن (یا سنجاق کوچک).

۱ــ به کمک براده‌های آهن تحقیق کنید که میخ‌ها خاصیت آهنربایی ندارد.

۲ــ آهنربا را مطابق شکل ۳ــ ۵ الف به یک انتهای میخ نزدیک کنید. بار دیگر خاصیّت آهنربایی میخ را به کمک براده‌های آهن تحقیق کنید.

۳ــ مانند شکل ۳ــ ۵ ب میخ‌های دیگری را با استفاده از ربایش مغناطیسی ایجاد شده پشت سر یک‌دیگر قرار دهید و هر بار وجود یا نبود خاصیّت آهنربایی در آخرین میخ را بررسی کنید.

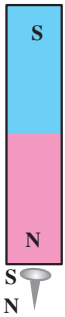
۴ــ آهنربای میله‌ای را از میخ‌ها دور کنید و بار دیگر خاصیت آهنربایی میخ‌ها را بررسی کنید.



شکل ۳ــ ۵

نتیجه‌ی آزمایش ۳ــ۱ را می‌توانیم به شرح زیر توجیه کنیم :

وقتی که آهنربا در نزدیکی میخ قرار می‌گیرد، در میخ خاصیت مغناطیسی القا می‌شود. اگر قطب N آهنربا را نزدیک به یک سر میخ بیاوریم، مطابق شکل ۳ــ۶ خاصیت آهنربایی طوری القا می‌شود که آن سر، قطب S و سر دورتر قطب N شود. ربایش بین دو قطب غیرهمنام (N در آهنربا و S در میخ) سبب ربوده شدن میخ به سمت آهنربا می‌شود.



شکل ۳ــ۶

این پدیده را **القای خاصیّت مغناطیسی** می‌نامند. همان‌طور که با انجام‌دادن آزمایش ۳ــ۱ نشان داده‌اید، با دور کردن آهنربای اصلی، خاصیّت آهنربایی القا شده نیز از بین می‌رود. علاوه بر این، خاصیت آهنربایی که در اثر القا در یک قطعه آهن، نیکل یا کبالت ایجاد می‌شود، همواره به‌صورتی است که قطعه‌ی یاد شده جذب آهنربای اصلی می‌شود.

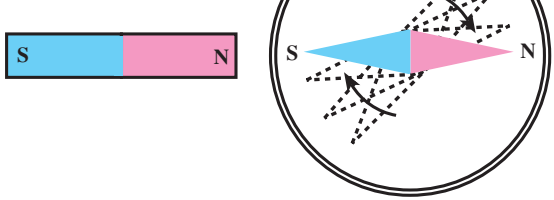
فعالیت ۳ــ۴

فرض کنید دو میله‌ی کاملاً مشابه یکی از جنس آهن و دیگری آهنربا در اختیار دارید. با بحث در گروه خود، روشی را پیشنهاد کنید که با استفاده از آن بتوانید بدون استفاده از هیچ وسیله‌ی دیگری، میله‌ای را که از جنس آهنرباست مشخص کنید.

۳ــ۲ــ میدان مغناطیسی

در فصل دوم با مفهوم میدان الکتریکی آشنا شدید. در آنجا دیدید که در فضای اطراف هر جسمی که بارالکتریکی دارد خاصیتی ایجاد می‌شود که می‌تواند بر هر جسم باردار دیگری که در آن فضا قرارگیرد نیرو وارد کند. هم‌چنین دیدیم که برای توصیف این خاصیت از یک کمیت برداری به نام میدان الکتریکی با نماد $\vec{E}$ استفاده می‌شود.

در فضای اطراف یک آهنربا نیز خاصیتی وجود دارد که در اثر آن در قطعه‌های آهنی خاصیت آهنربایی القا می‌شود و بر قطب‌های آهنرباهای دیگر نیرویی وارد می‌شود. برای مثال هرگاه یکی از قطب‌های آهنربای میله‌ای را به یک عقربه‌ی مغناطیسی که در راستای تقریبی شمال و جنوب جغرافیایی بر روی پایه‌ای قرار دارد، نزدیک کنیم، می‌بینیم که عقربه‌ی مغناطیسی می‌چرخد (شکل ۳ــ۷).



شکل ۳ــ۷ــ اثر آهنربا بر عقربه‌ی مغناطیسی‌ای که در نزدیکی آن قرار دارد.

در این وضع اگر آهنربا را دور کنیم، عقربه دوباره در راستای تقریبی شمال و جنوب محل قرار می‌گیرد. این آزمایش وجود خاصیّتی را در محیط اطراف یک آهنربا نشان می‌دهد. خاصیّتی را که در اطراف آهنربا ایجاد می‌شود و به‌موجب آن به عقربه‌ی مغناطیسی نیرو وارد می‌شود میدان مغناطیسی می‌نامند. میدان مغناطیسی را با نماد $\vec{B}$ نمایش می‌دهند.

میدان مغناطیسی کمیّتی برداری است و مانند هر کمیّت برداری دیگری دارای جهت و بزرگی است. در ادامه‌ی بحث، نخست جهت این بردار و سپس بزرگی و یکای آن را تعریف می‌کنیم.

جهت میدان مغناطیسی: دیدیم هنگامی که یک عقربه‌ی مغناطیسی را در میدان مغناطیسی یک آهنربا قرار می‌دهیم، عقربه می‌چرخد و در جهت معینی می‌ایستد. اگر آهنربا را در امتداد جدیدی قرار دهیم، عقربه‌ی مغناطیسی نیز خواهد چرخید و در جهت دیگری قرار خواهد گرفت. میدان مغناطیسی در هر نقطه بنا به تعریف هم‌راستای عقربه‌ی مغناطیسی است که در آن نقطه به حال تعادل درآمده باشد و سوی آن از S عقربه به N آن است. به این ترتیب، می‌توانیم بگوییم :

هنگامی که آهنربا در نزدیکی عقربه‌ی مغناطیسی قرار می‌گیرد، عقربه می‌چرخد تا در امتداد میدان‌مغناطیسی آهنربا قرار گیرد و قطب N آن سوی میدان مغناطیسی را نشان می‌دهد.

خط‌های میدان مغناطیسی: در فصل اول دیدیم که میدان الکتریکی را با خط‌های میدان الکتریکی نمایش می‌دهند. میدان مغناطیسی را نیز می‌توان توسط خط‌های میدان مغناطیسی نمایش داد. این خط‌ها طوری رسم می‌شوند که راستای میدان مغناطیسی در هر نقطه مماس بر خط میدان در آن نقطه باشد. خط میدان مغناطیسی در هر نقطه همسو با میدان مغناطیسی در آن نقطه است. علاوه بر این تراکم این خط‌ها در هر ناحیه از فضا نشانگر بزرگی میدان مغناطیسی در آن ناحیه است.

آزمایش ۳ـ۲

وسیله‌های آزمایش: یک آهنربای میله‌ای، یک عقربه‌ی مغناطیسی، مداد و کاغذ.

۱ـ آهنربای میله‌ای را روی کاغذ قرار دهید.

۲ـ عقربه‌ی مغناطیسی را مطابق شکل ۳ـ۸ الف نزدیک قطب N آهنربا قرار دهید و با مداد در نقطه‌ای که قطب N عقربه به آن سمت ایستاده یک نقطه بگذارید.

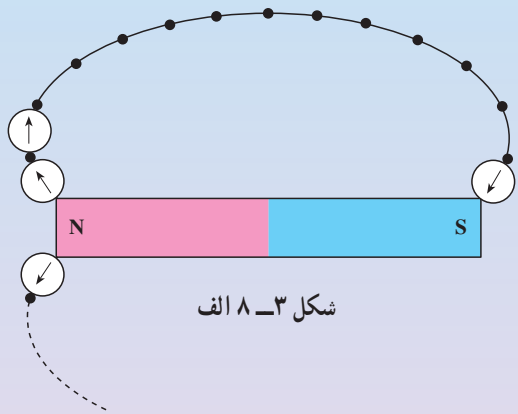
۳ـ عقربه را جابه‌جا کنید به‌طوری که قطب S آن روی نقطه‌ای که علامت

زده‌اید قرار گیرد. بار دیگر با مداد در مکان قطب N عقربه نقطه‌ای بگذارید.

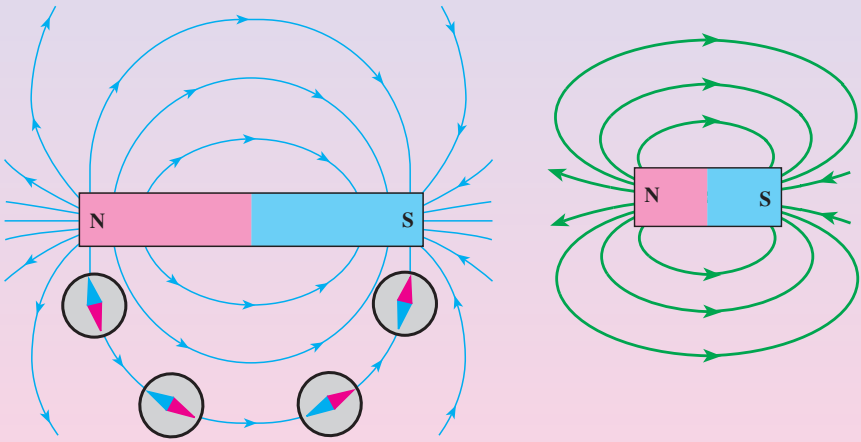
۴ــ این کار را آن‌قدر ادامه دهید تا بار دیگر عقربه به آهنربای میله‌ای برسد.

۵ــ این نقطه‌ها را به هم وصل کنید. روی منحنی حاصل، جهتی را که قطب N عقربه در آن می‌ایستد، با رسم پیکان مشخص کنید.

۶ ــ مرحله‌های ۲ تا ۴ را چند بار تکرار کنید. هر بار از نقطه‌ای نزدیک نقطه‌ی شروع قبلی آغاز کنید تا آنکه شکلی مانند شکل ۳ــ ۸ ب به‌دست آورید.



شکل ۳ــ ۸ الف



شکل ۳ــ ۸ ب

با استفاده از مقداری براده‌ی آهن می‌توان طرحی از خط‌های میدان مغناطیسی یک آهنربا تهیه کرد. برای این کار آزمایش ۳ــ۳ را انجام دهید.

آزمایش ۳ـ۳

وسیله‌های آزمایش: آهنربای میله‌ای، آهنربای نعلی‌شکل، براده‌ی آهن، یک صفحه‌ی شیشه‌ای یا مقوایی، یک نمک‌پاش (یا وسیله‌ی دیگری برای پاشیدن براده‌ی آهن).

۱ــ آهنربای میله‌ای را روی میز قرار دهید و صفحه‌ی شیشه‌ای (یا مقوایی) را روی آن بگذارید.

۲ــ به کمک نمک‌پاش براده‌های آهن را به‌طور یکنواخت به‌ضخامت خیلی کم روی شیشه بپاشید.

۳ــ چند ضربه‌ی آرام به صفحه‌ی شیشه‌ای بزنید تا براده‌های آهن در راستای خط‌های میدان مغناطیسی قرار گیرند. طرحی که روی صفحه‌ی شیشه‌ای پدیدار می‌شود، نقشه‌ای از خط‌های میدان مغناطیسی یک آهنربای میله‌ای است.

پرسش ۳ـ۱

با استفاده از خاصیت القای مغناطیسی، توضیح دهید که چرا براده‌های آهن در آزمایش ۳ـ۳ در راستای خط‌های میدان مغناطیسی می‌ایستند.

میدان مغناطیسی یکنواخت: اگر خط‌های میدان مغناطیسی در ناحیه‌ای از فضا با یک‌دیگر موازی و هم‌فاصله باشند، بردار میدان مغناطیسی در همه‌ی نقطه‌های آن ناحیه، بزرگی و جهت ثابتی دارد. یک چنین میدان مغناطیسی‌ای را میدان مغناطیسی یکنواخت می‌نامند.

خط‌های میدان مغناطیسی مربوط به آهنرباها را که در وضعیت‌های مختلف به کمک براده‌های آهن به‌دست آمده است، در شکل ۳ــ ۹ مشاهده می‌کنید.

(الف) آهنربای میله‌ای

(ب) دو آهنربای میله‌ای که قطب‌های همنامشان نزدیک یک‌دیگر است.

(پ) دو آهنربای میله‌ای که قطب‌های غیرهمنامشان نزدیک یک‌دیگر است.

شکل ۳ــ۹ــ خط‌های میدان مغناطیسی آهنرباها در وضعیت‌های مختلف

۳ــ۳ــ تعریف میدان مغناطیسی با استفاده از نیروی وارد بر سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی

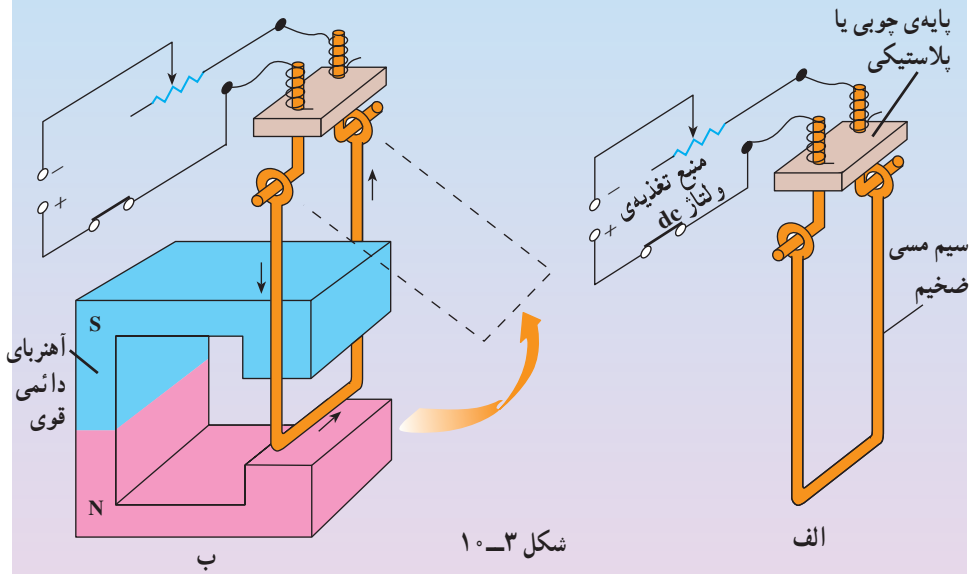
دیدیم که هرگاه یک عقربه‌ی مغناطیسی یا هر آهنربای دیگری در میدان مغناطیسی قرار می‌گیرد، بر آن نیرو وارد می‌شود. در ادامه خواهیم دید که بر سیم‌های حامل جریان الکتریکی نیز در میدان مغناطیسی نیرو وارد می‌شود، بزرگی میدان مغناطیسی و یکای آن را می‌توان با استفاده از این اثر تعریف کرد. برای مشاهده‌ی این نیرو آزمایش زیر را انجام دهید.

آزمایش ۳ــ۴

وسیله‌های آزمایش: یک آهنربای نعلی‌شکل قوی، سیم مسی ضخیم، سیم رابط، رئوستا و منبع تغذیه.

۱ــ مداری مطابق شکل ۳ــ۱۰ الف ببندید.

۲ــ آهنربای نعلی‌شکل را مطابق شکل ۳ ــ۱۰ ب در اطراف سیم مسی قرار دهید.



الف ب

شکل ۳ــ۱۰

۳ــ کلید را ببندید تا جریان از سیم مسی بگذرد. آنچه را که مشاهده می‌کنید، بنویسید.

۴ــ این آزمایش را چند بار تکرار کنید و هر بار آهنربا را در وضعیّت جدیدی در اطراف سیم‌مسی قرار دهید و با بستن کلید مشاهده‌های خود را یادداشت کنید.

۵ــ نتیجه‌ی آزمایش را به کلاس گزارش دهید.

۶ــ این آزمایش را با یک آهنربای دیگر تکرار کنید.

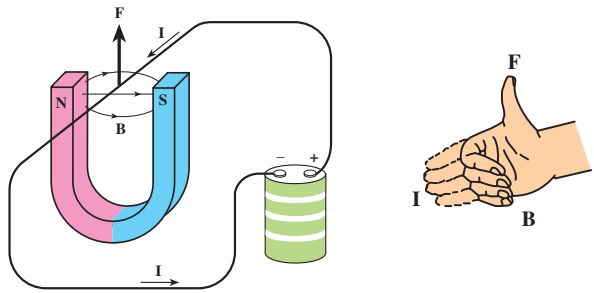
۷ــ جهت و بزرگی شدت جریان را تغییر دهید و آزمایش‌های بالا را تکرار کنید.

اورستد (فیزیکدان دانمارکی) با انجام آزمایش‌هایی مشابه آزمایش ۳ــ۴ و اندازه‌گیری دقیق نیرویی که بر سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی وارد می‌شود، نشان داد که :

نیرویی که در میدان مغناطیسی بر سیم حامل جریان الکتریکی وارد می‌شود، بر راستای جریان و نیز بر میدان مغناطیسی عمود است.

جهت نیروی وارد بر سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی را می‌توان از قاعده‌ای به نام قاعده‌ی دست راست به این صورت پیش‌بینی کرد :

اگر دست راست خود را باز نگه دارید و چهار انگشت را مطابق شکل ۳ــ۱۱ در جهت جریان بگیرید به‌طوری که اگر انگشتان خود را خم کنید، در جهت میدان مغناطیسی قرار گیرد ــ دراین‌صورت، انگشت شست شما جهت نیروی وارد بر سیم حامل جریان را نشان خواهد داد.



شکل ۳ــ۱۱ــ قاعده‌ی دست راست برای تعیین جهت نیروی $\vec{F}$ وارد بر سیم حامل جریان الکتریکی I درمیدان مغناطیسی $\vec{B}$

عامل‌های مؤثر بر نیروی وارد بر سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی: بزرگی نیروی $\vec{F}$ که در میدان مغناطیسی بر سیم حامل جریان الکتریکی وارد می‌شود، به عامل‌های زیر بستگی دارد :

۱ــ *جریانی که از سیم می‌گذرد (I)* ؛ هرچه جریان بیش‌تر باشد، نیروی وارد بر سیم از سوی میدان مغناطیسی بیش‌تر خواهد بود.

$$F \propto I$$

۲ــ *طول قسمتی از سیم که در میدان مغناطیسی قرار می‌گیرد (l)* ؛ هرچه طول بیش‌تری از سیم در میدان قرار گیرد، نیروی وارد بر آن بزرگ‌تر خواهد بود.

$$F \propto l$$

۳ــ *میدان مغناطیسی ($\vec{B}$)* ؛ نیروی وارد بر سیم حامل جریان در میدان‌های مغناطیسی

مختلف یکسان نیست. نیرویی که در میدان مغناطیسی یک آهنربای قوی‌تر بر سیم حامل جریان وارد می‌شود، بزرگ‌تر است. با استفاده از این واقعیت، می‌توانیم بزرگی میدان مغناطیسی را تعریف کنیم. اندازه‌ی میدان مغناطیسی را با B نمایش می‌دهند :

$$F \propto B$$

۴ــ *سینوس زاویه‌ای که جریان با میدان مغناطیسی می‌سازد* $(\sin\alpha)$؛ نیروی وارد بر سیم حامل جریان در یک میدان مغناطیسی با سینوس زاویه‌ی بین راستای میدان و راستای جریان متناسب است.

$$F \propto \sin\alpha$$

تناسب‌های بالا را می‌توان با استفاده از ضریب تناسب k، به‌صورت زیر خلاصه کرد.

$$F = kBlI\sin\alpha \qquad (۱ــ۳)$$

با انتخاب یکای مناسب برای میدان مغناطیسی، می‌توان ضریب تناسب k را برابر یک گرفت. در نتیجه داریم

$$F = BlI\sin\alpha \qquad (۲ــ۳)$$

اگرجریان I و میدان B بر هم عمود باشند، داریم :

$$\sin\alpha = 1$$

در نتیجه، نیروی وارد بر سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی عمود بر آن به‌قرار زیر است :

$$F = BlI \qquad (۳ــ۳)$$

این بیش‌ترین نیرویی است که میدان مغناطیسی B می‌تواند بر طول l از سیم حامل جریان I وارد کند. بنابراین، می‌توانیم اندازه‌ی میدان مغناطیسی B را با رابطه‌ی زیر تعریف کنیم.

$$B = \frac{F_{\text{بیشینه}}}{Il} \qquad (۴ــ۳)$$

یعنی بزرگی میدان مغناطیسی در هر نقطه، برابر است با نیرویی که بر یک متر از طول سیم حامل جریانی به شدت یک آمپر که در راستای عمود بر میدان قرار گرفته باشد وارد می‌شود.

یکای میدان مغناطیسی، تسلا: رابطه‌ی ۳ــ۴ را برای تعریف یکای میدان مغناطیسی به‌کار می‌بریم. یکای میدان مغناطیسی در SI تسلا نام دارد و با نماد T نشان داده می‌شود.

بنا به تعریف، **یک تسلا بزرگی میدان مغناطیسی است که در آن بر یک متر از سیمی که حامل جریان الکتریکی به شدت یک آمپر است و در راستای عمود بر میدان قرار دارد**

نیرویی به بزرگی یک نیوتون وارد شود. در نتیجه، می‌توانیم بنویسیم :

$$۱ \text{ تسلا} = \frac{\text{نیوتون } ۱}{(\text{متر } ۱) \times (\text{آمپر } ۱)}$$

تسلا یکای بزرگی است. در کاربردهای عملی از یکای کوچکتری استفاده می‌کنند که **گاؤس** نام دارد و با نماد G نمایش داده می‌شود.

$$۱T = ۱۰^{۴} G$$

مثال ۳ـ۱

یک سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی به بزرگی ۰/۰۴mT در راستایی که با جهت میدان زاویه‌ی ۳۰° می‌سازد، قرار دارد. اگر شدت جریانی که از سیم می‌گذرد ۵ آمپر باشد، نیروی مغناطیسی وارد بر یک متر از این سیم را محاسبه کنید.

حل: بزرگی نیروی مغناطیسی برابر است با :

$$F = IlB\sin\alpha$$

$$F = ۵ \times ۱ \times ۴ \times ۱۰^{-۵} \sin ۳۰^{\circ}$$

$$F = ۱۰ \times ۱۰^{-۵} N = ۰/۱mN$$

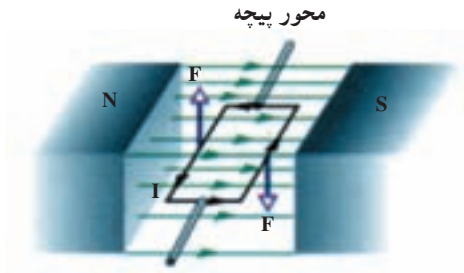
تمرین ۳ـ۱

سیم افقی مستقیم حامل جریانی در یک میدان مغناطیسی یکنواخت افقی که جهت آن از شمال به جنوب است، قرار دارد. جهت نیروی مغناطیسی وارد بر سیم را تعیین کنید ؛ (الف) اگر سیم در راستای شمال ــ جنوب و جریان آن از شمال به جنوب باشد. (ب) اگر سیم در راستای شرق ــ غرب و جریان آن از غرب به شرق باشد.

فعالیت ۳ـ۵

آزمایشی را طراحی کنید که به کمک آن بتوان نیروی وارد بر سیم حامل جریان الکتریکی را اندازه‌گیری کرد.

طرز کار گالوانومتر: گالوانومتر وسیله‌ای است که با آن جریان‌های الکتریکی بسیار کوچک را اندازه می‌گیرند. امروزه وسیله‌های اندازه‌گیری کمیت‌های الکتریکی (یعنی شدت جریان، اختلاف پتانسیل، مقاومت و ...) معمولاً عقربه‌ای یا رقمی (دیجیتالی) هستند. تشریح سازوکار وسیله‌های رقمی به مطالب موجود در این کتاب مربوط نمی‌شود. ولی با استفاده از مطالبی که فراگرفته‌ایم، می‌توانیم سازوکار گالوانومتر عقربه‌ای را مورد بررسی قرار دهیم. برای این کار، ابتدا ببینیم اگر یک سیم حامل جریان به شکل یک قاب مطابق شکل ۳ــ۱۲ در یک میدان مغناطیسی یکنواخت قرار گیرد، چه نیروهایی بر آن وارد می‌شود. چنین سیمی را یک پیچه می‌نامند.



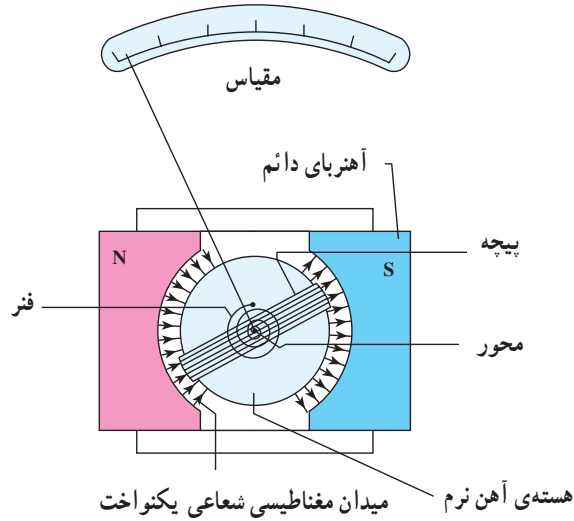
شکل ۳ــ ۱۲ــ پیچه‌ی حامل جریان در میدان مغناطیسی

هنگامی که جریان از پیچه می‌گذرد، از طرف میدان بر اضلاع آن نیرو وارد می‌شود و در نتیجه پیچه مطابق شکل ۳ــ۱۲ حول محورش می‌چرخد.

هر گالوانومتر دارای یک قاب است که به دور آن سیم پیچیده شده است، این قاب در یک میدان مغناطیسی دائم و قوی قرار گرفته است. وقتی جریان از این پیچه می‌گذرد، از سوی میدان مغناطیسی به قاب نیرو وارد می‌شود و آن را می‌چرخاند (شکل ۳ــ۱۳ را ببینید) و عقربه‌ی متصل به قاب را منحرف می‌کند. هرقدر اندازه‌ی شدت جریان بیش‌تر باشد، میزان چرخش پیچه و انحراف عقربه بیش‌تر خواهد شد.

اگر جریانی در جهت وارون شارش کند، جهت چرخش پیچه و انحراف وارون خواهد شد. با قطع جریان، فنر ظریفی که در پشت پیچه قرار دارد، پیچه و عقربه را به حالت اولیه‌ی خود برمی‌گرداند. صفحه‌ی گالوانومتر که عقربه در مقابل آن می‌چرخد را بر حسب آمپر مدرج می‌کنند، به این ترتیب که در مقابل هر زاویه، بزرگی شدت

جریانی که عقربه را به اندازه‌ی آن زاویه منحرف می‌کند، ثبت می‌کنند.



شکل ۳ــ۱۳

فنّاوری

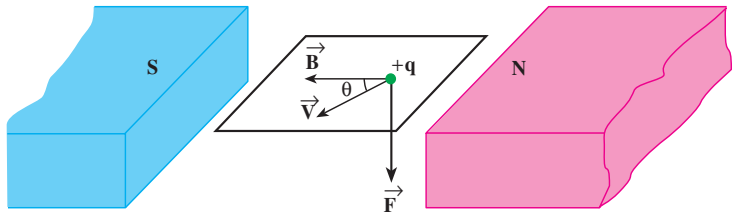
موتور الکتریکی: موتورهای الکتریکی ابزارهایی هستند که انرژی الکتریکی را به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کنند. این موتورها در انجام کارهای مختلف روزانه مورد استفاده قرار می‌گیرند، و اساس کار بسیاری از دستگاه‌ها نظیر جاروی‌برقی، مته‌ی برقی، آسیاب برقی، ماشین لباس‌شویی، پنکه و ... را تشکیل می‌دهند.

ساختمان موتور الکتریکی مانند ساختمان گالوانومتر است، از این‌نظر که در موتور الکتریکی نیز عبور جریان از یک قاب (به نام روتور) واقع در میدان مغناطیسی، باعث چرخش پیچه می‌شود. چرخش قطعات در دستگاه‌های بالا از این حرکت پیچه ناشی می‌شود.

۳ــ۴ــ نیروی وارد بر ذره‌ی باردار متحرک در میدان مغناطیسی

در بخش گذشته دیدیم که در میدان مغناطیسی، نیرویی بر سیم حامل جریان الکتریکی وارد می‌شود. هرگاه جریان صفر شود، نیروی وارد بر سیم نیز صفر می‌شود. در فصل دوم دیدیم که جریان در یک رسانا به‌طور متوسط به معنای توقف شارش بارهای الکتریکی است. پس نتیجه می‌گیریم که نیروی وارد بر سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی، درواقع بر بارهایی وارد می‌شود که در سیم درحال حرکت‌اند.

آزمایش نشان می‌دهد که اگر ذره‌ی باردار q با سرعت $\vec{v}$ در میدان مغناطیسی $\vec{B}$ حرکت کند (به‌شرط آن‌که جهت حرکت آن موازی با میدان نباشد) بر آن نیرویی وارد خواهد شد که مطابق شکل ۳ــ۱۴ بر راستای $\vec{v}$ و میدان مغناطیسی $\vec{B}$ عمود است. این نیرو را **نیروی الکترومغناطیسی** می‌نامند.



شکل ۳ــ۱۴ــ ذره‌ی با بار مثبت q که در میدان مغناطیسی $\vec{B}$ با سرعت $\vec{v}$ حرکت می‌کند.

آزمایش نشان می‌دهد که بزرگی نیرویی که در میدان مغناطیسی بر بار الکتریکی q که با سرعت $\vec{v}$ در حرکت است وارد می‌شود، به عامل‌های زیر بستگی دارد.

۱ــ بار الکتریکی (q)؛ هرچه بار الکتریکی q بزرگ‌تر باشد، نیروی وارد بر آن از سوی میدان مغناطیسی بزرگ‌تر خواهد بود.

$$F \propto q$$

۲ــ سرعت حرکت بار الکتریکی ($\vec{v}$)؛ هرچه سرعت حرکت بار الکتریکی در میدان مغناطیسی بیش‌تر باشد، نیرویی که از سوی میدان مغناطیسی بر آن وارد می‌شود، بزرگ‌تر خواهد بود.

$$F \propto v$$

۳ــ میدان مغناطیسی ($\vec{B}$)؛ هرچه میدان مغناطیسی قوی‌تر باشد، نیرویی که بر بار وارد

می‌شود، بیش‌تر خواهد بود.

$$F \propto B$$

۴ــ سینوس زاویه‌ی θ که جهت حرکت بار الکتریکی (یعنی بردار $\vec{v}$) با میدان مغناطیسی می‌سازد؛ نیروی وارد بر بار الکتریکی متحرک در میدان مغناطیسی با سینوس این زاویه متناسب است (شکل ۳ــ۱۴).

$$F \propto \sin\theta$$

تناسب‌های بالا را می‌توان در رابطه‌ی زیر خلاصه کرد.

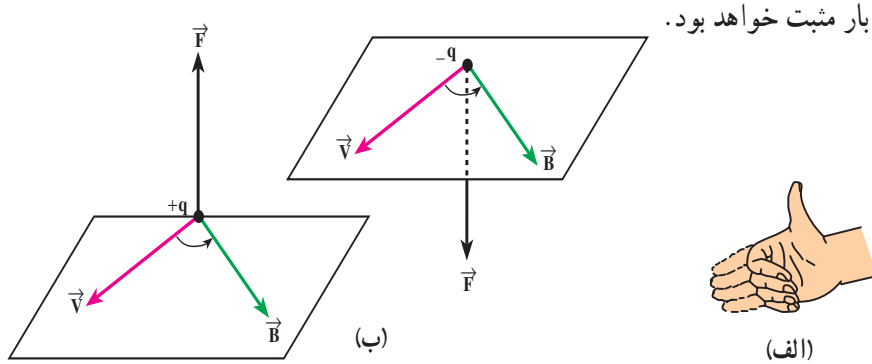
$$F = kqvB\sin\theta \qquad (۵ــ۳)$$

که در آن k ضریب تناسب است. اگر F برحسب نیوتون و q برحسب کولن و v برحسب m/s و B برحسب تسلا باشد، ضریب تناسب یک خواهد شد. در نتیجه، داریم :

$$F = qvB\sin\theta \qquad (۶ــ۳)$$

جهت نیروی وارد بر بار متحرک: سوی نیروی مغناطیسی وارد بر بارالکتریکی مثبت که در میدان مغناطیسی $\vec{B}$ با سرعت $\vec{v}$ حرکت می‌کند نیز توسط قاعده‌ی دست راست به ترتیب زیر تعیین می‌شود.

اگر دست راست خود را طوری نگه داریم که انگشتان باز شده‌ی ما در راستای $\vec{v}$ (یعنی درجهت حرکت بارالکتریکی) باشد ــ به‌گونه‌ای که وقتی آن‌ها را روی زاویه‌ی کوچک‌تری که $\vec{v}$ با $\vec{B}$ می‌سازد مطابق شکل ۳ــ۱۵ الف خم کنیم در جهت B قرار گیرد ــ انگشت شست ما در جهت نیروی وارد بر بار خواهد بود. نیروی وارد بر بار منفی مانند شکل ۳ــ ۱۵ ب در خلاف جهت نیروی وارد بر بار مثبت خواهد بود.



شکل ۳ــ ۱۵ــ (الف) قاعده‌ی دست راست برای تعیین جهت نیروی وارد بر بار متحرک در میدان مغناطیسی، (ب) جهت نیروی وارد بر بار الکتریکی متحرک مثبت و منفی، در میدان مغناطیسی

پرسش ۳ـ۲

اگر بار الکتریکی موازی با $\vec{B}$ حرکت کند، نیروی مغناطیسی وارد بر آن چه‌قدر است؟

مثال ۳ـ۲

ذره‌ای با بار ۴ میکروکولن و با سرعت $۲\times۱۰^{۳}\ m/s$ در راستایی که با میدان مغناطیسی یکنواخت $۱۰۰G$ زاویه‌ی ۳۰° می‌سازد، در حرکت است. بزرگی نیروی وارد بر این ذره را محاسبه کنید.

حل: نیروی وارد بر بارمتحرک در میدان مغناطیسی از رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید.

$$F = qvB\sin\theta$$
$$= ۴\times۱۰^{-۶}\times۲\times۱۰^{۳}\times۱۰^{-۲}\sin ۳۰^{\circ}$$
$$= ۴\times۱۰^{-۵}N$$

فناوری

دستگاه اندازه‌گیری سرعت شارش خون: سرعت شارش خون را می‌توان توسط روشی که به صورت طرح‌وار در شکل ۳ــ۱۶ نشان داده شده است اندازه گرفت. اساس این روش آن است که یون‌های موجود در خون همراه با حرکت خون در رگ، در آن را شارش می‌کنند. قطب‌های آهنربا را مطابق شکل به گونه‌ای در اطراف دست قرار می‌دهند که میدان مغناطیسی آن در راستای عمود بر راستای سرخ‌رگ دست باشد. با حرکت یک یون مثبت در میدان مغناطیسی عمودی، نیرویی بر آن وارد می‌شود که آن‌را به یک سمت می‌راند. تجمع بارهای مثبت در یک طرف رگ باعث می‌شود که بین دو طرف رگ یک اختلاف پتانسیل ایجاد شود. این اختلاف پتانسیل را می‌توان با نصب الکترودهایی بر روی پوست در دو طرف رگ اندازه‌گیری کرد. هرچه سرعت شارش خون بیش‌تر باشد، نیروی وارد بر یون‌های مثبت موجود در آن بیش‌تر خواهد بود، در نتیجه تعداد بیش‌تری از یون‌ها در کنار رگ انباشته می‌شوند و اختلاف

پتانسیلی که ولت‌متر نشان می‌دهد بیش‌تر می‌شود.

شکل ۳ــ۱۶

۳ــ۵ــ آثار مغناطیسی ناشی از جریان الکتریکی

اورستد ضمن انجام دادن برخی آزمایش‌های الکتریسیته برای جمعی از دانشجویان خود، مشاهده کرد که عقربه‌ی مغناطیسی موجود در کنار سیم حامل جریان الکتریکی منحرف می‌شود. او با انجام دادن آزمایش‌های بیش‌تر کشف کرد که عبور جریان الکتریکی از یک سیم، در اطراف آن یک میدان مغناطیسی به‌وجود می‌آورد. این کشف اورستد نخستین گام در راه درک رابطه‌ی 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.

آزمایش ۳ــ۵ (آزمایش اورستد)

وسیله‌های آزمایش: منبع تغذیه، سیم مسی نسبتاً ضخیم، رئوستا، آمپرسنج، صفحه‌ی مقوایی، عقربه‌ی مغناطیسی، کلید قطع و وصل و سیم رابط.

۱ــ سیم مسی را از صفحه‌ی مقوایی عبور دهید و با آن مداری مطابق شکل ۳ــ۱۷ ترتیب دهید.

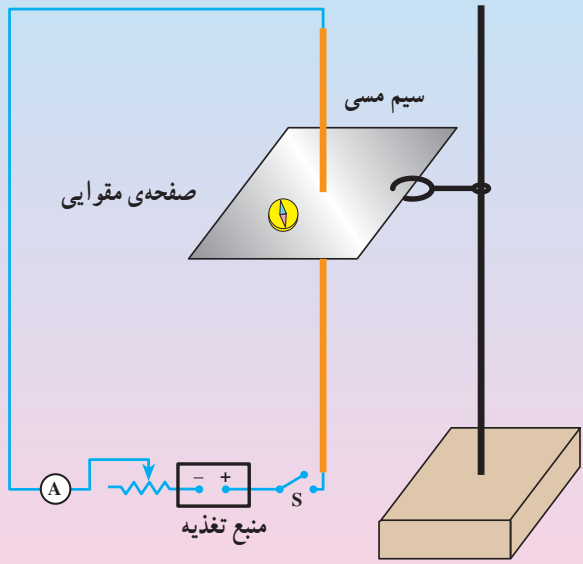
۲ــ قبل از بستن کلید و برقراری جریان الکتریکی، عقربه‌ی مغناطیسی را درمجاورت سیم، روی مقوا قرار دهید و به راستای قرارگرفتن آن توجه کنید.

۳ــ با وصل کردن کلید و تنظیم رئوستا، جریان مناسبی را از مدار عبور دهید. آنگاه به سمت‌گیری عقربه‌ی مغناطیسی توجه کنید.

۴ ــ عقربه‌ی مغناطیسی را در نقطه‌های مختلف روی مقوا قرار دهید و سمت‌گیری آن را بررسی کنید.

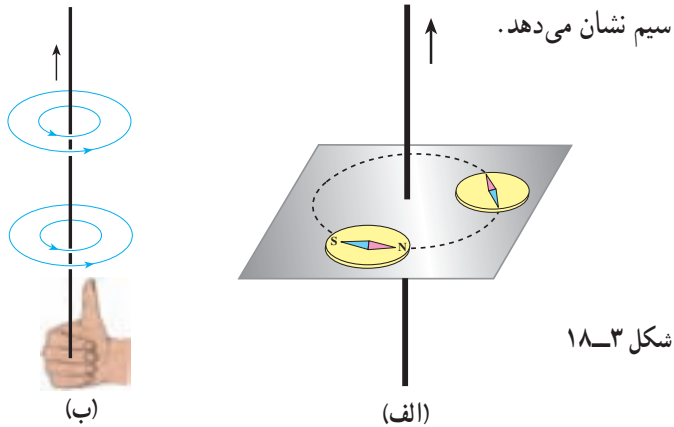
۵ ــ چند خط میدان مغناطیسی را به روش آزمایش ۳ــ۲ رسم کنید.

۶ــ نتیجه‌ی این آزمایش را در گروه خود بحث کنید و به کلاس گزارش دهید.
۷ــ این آزمایش را بار دیگر با جریانی در جهت مخالف تکرار کنید.
۸ ــ تحقیق کنید که افزایش شدت جریان چه تأثیری در نتیجه‌ی آزمایش دارد؟



شکل ۳ــ۱۷

با انجام دادن این آزمایش می‌بینید که خط‌های میدان مغناطیسی حاصل از یک سیم حامل جریان، مطابق شکل۳ــ ۱۸ــ الف به‌صورت دایره‌های هم‌مرکزی در اطراف سیم حامل جریان خواهند بود. جهت خط‌های میدان مغناطیسی سیم حامل جریان را می‌توان به کمک عقربه‌ی مغناطیسی تعیین کرد. علاوه بر آن با استفاده از قاعده‌ی دست راست نیز می‌شود این جهت را تعیین کرد ؛ بنابراین قاعده، اگر سیم را مطابق شکل ۳ــ۱۸ــ ب در دست راست خود بگیرید ــ به گونه‌ای که انگشت شست در جهت جریان الکتریکی باشد ــ جهت خم‌شدن چهار انگشت دست شما جهت خط‌های میدان مغناطیسی را در اطراف سیم نشان می‌دهد.



شکل ۳ــ۱۸

آزمایش نشان می‌دهد که بزرگی میدان مغناطیسی B در اطراف یک سیم نازک دراز مستقیم حامل جریان الکتریکی‌ای به شدت I در نقطه‌ای که فاصله‌ی عمودی آن از سیم برابر R است با I نسبت مستقیم و با R نسبت وارون دارد، یعنی

$$B \propto \frac{I}{R}$$

ضریب تناسب در SI برابر $\frac{\mu_0}{2\pi}$ است که در آن μ_0 تراوایی مغناطیسی خلأ نام دارد و برابر است با $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \frac{Tm}{A}$. در نتیجه، داریم :

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R} \qquad (۷_۳)$$

مثال ۳ـ۳

بزرگی میدان مغناطیسی حاصل از جریان الکتریکی‌ای به شدت ۲ آمپر را که از سیمی نازک، دراز و مستقیم می‌گذرد، در نقطه‌ای به فاصله‌ی الف) ۲ متر، ب) ۲ میلی‌متر از سیم حساب کنید.

حل: داریم

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R}$$

الف)
$$B = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 2}{2\pi \times 2} = 2 \times 10^{-7} T$$

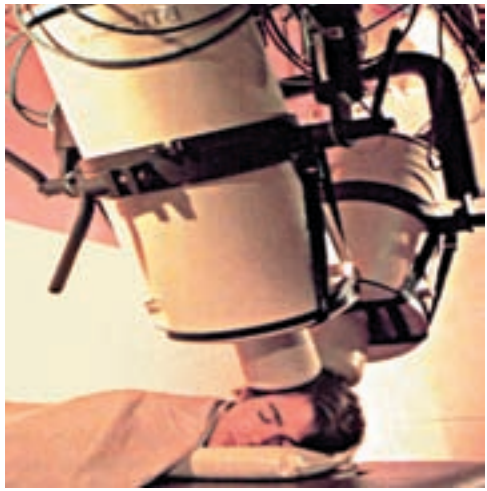
ب)
$$B = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 2}{2\pi \times 2 \times 10^{-3}} = 2 \times 10^{-4} T$$

میدان مغناطیسی ناشی از جریان الکتریکی در یک پیچه‌ی مسطح: پیچه‌ی مسطح از چند دور سیم نازک به شکل حلقه تشکیل شده که به هم فشرده شده‌اند و به‌صورت یک حلقه‌ی مسطح درآمده‌اند. خطی که از مرکز این حلقه می‌گذرد و عمود بر سطح آن است، محور پیچه نامیده می‌شود. پیچه‌ها در بسیاری از وسیله‌های برقی برای ایجاد میدان مغناطیسی به‌کار می‌روند.

مطالعه‌ی آزاد

مغناطو انسفالوگراف

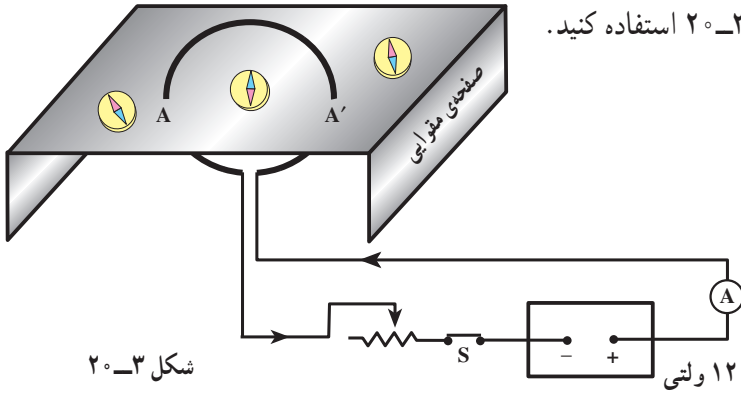
خون حاوی مقداری یون است. این یون‌ها همراه با حرکت خون در رگ، در آن شارش می‌کنند. شارش این یون‌ها درست مانند یک جریان الکتریکی ضعیف عمل می‌کند. این جریان‌ها در مغز و قلب انسان تولید میدان‌های مغناطیسی می‌کنند. این میدان‌های مغناطیسی ضعیف‌تر از آن‌اند که بتوان آن‌ها را با تجهیزات معمولی آشکار کرد. در دهه‌ی اخیر با دستگاهی به نام مغناطو انسفالوگراف امکان اندازه‌گیری این میدان‌ها فراهم شده است. (شکل ۳ــ۱۹). با این دستگاه می‌توان سرچشمه‌ی علامت‌های عصبی مغز را با دقتی حدود چند میلی‌متر تعیین کرد.



شکل ۳ــ ۱۹

فعالیت ۳ــ۶

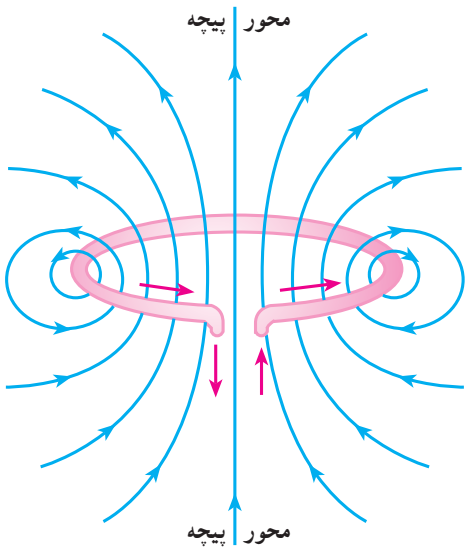
با استفاده از عقربه‌ی مغناطیسی و براده‌ی آهن خط‌های میدان مغناطیسی ناشی از عبور جریان الکتریکی از یک پیچه را تعیین کنید. برای این‌کار، می‌توانید از مداری مطابق شکل ۳ــ۲۰ استفاده کنید.



شکل ۳ــ۲۰

منبع تغذیه‌ی ۶ تا ۱۲ ولتی

خط‌های میدان مغناطیسی پیچه روی صفحه‌ای که از محور پیچه می‌گذرد، در شکل ۳ــ۲۱ نشان داده شده است. همان‌گونه که در این شکل دیده می‌شود، خط‌های میدان در ناحیه‌ی داخل پیچه به یک‌دیگر نزدیک‌ترند ؛ یعنی، میدان در این ناحیه قوی‌تر است.



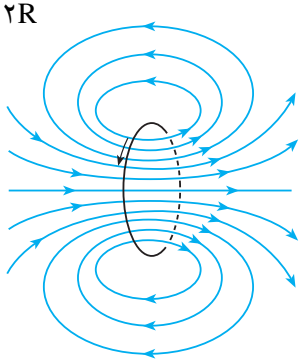
شکل ۳ــ ۲۱ــ نقشه‌ی خط‌های میدان مغناطیسی در صفحه‌ی عمود بر سطح پیچه که از محور پیچه می‌گذرد.

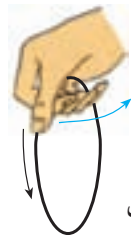
هم‌چنین در شکل ۳ــ۲۱ دیده می‌شود که در نقطه‌هایی که بر محور پیچه قرار دارند، میدان موازی با محور پیچه است.

جهت میدان مغناطیسی پیچه را در هر نقطه می‌توان با قاعده‌ی دست راست ــ به‌روشی که قبلاً توضیح داده شد ــ تعیین کرد (شکل ۳ــ۲۲).

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

$$B = \frac{\mu_{\circ} NI}{2R} \qquad (۸ــ۳)$$





شکل ۳ــ۲۲ــ استفاده از قاعده‌ی دست راست برای تعیین جهت میدان مغناطیسی پیچه