فصل پنجم

مغناطیس و الکترومغناطیس

هدف‌های رفتاری

در پایان این فصل، از هنرجو انتظار می‌رود :

۱ــ میدان الکتریکی و میدان مغناطیسی بار الکتریکی الکترون را شرح دهد.

۲ــ مولکول مغناطیسی را شرح دهد.

۳ــ اجسام مغناطیسی را نام ببرد.

۴ــ روش‌های ساختن یک مغناطیس و از بین بردن خاصیت مغناطیسی یک آهن‌ربا را شرح دهد.

۵ ــ خطوط میدان و میدان مغناطیسی را تعریف کند.

۶ ــ پوشش مغناطیسی را شرح دهد.

۷ــ الکترومغناطیس را تعریف کند.

۸ ــ اثر الکترومغناطیس را در یک سیم بیان کند.

۹ــ چگونگی تعیین جهت میدان در یک سیم و بوبین را بیان کند.

۱۰ــ اثر الکترومغناطیس در دو سیم جریان‌دار را شرح دهد.

۱۱ــ اثر الکترومغناطیس را در یک حلقه شرح دهد.

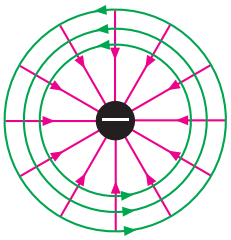
۱۲ــ اثر الکترومغناطیس را در بوبین شرح دهد و دلیل قوی‌تر شدن میدان مغناطیسی بوبین با هسته‌ی مغناطیسی را توضیح دهد.

۱۳ــ کاربردهای مغناطیس را نام ببرد و ساختمان ساده‌ی هر یک از وسایلی را که با مغناطیس کار می‌کنند، به‌طور مختصر توضیح دهد.

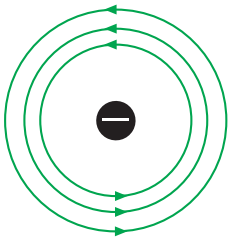
۱ــ۵ــ سنگ آهن مغناطیسی

در حدود دو هزار سال پیش یونانیان قدیم سنگ آهن مغناطیسی را کشف کردند. چون این سنگ‌ها آهن را جذب کردند و در ناحیه‌ی مگنز یا در آسیای صغیر پیدا شده بود، آن‌ها را مغناطیس خواندند. بعدها کشف شد که اگر این سنگ را به‌وسیله‌ی یک نخ آویزان کنند، به خودی خود جنوب و شمال را مشخص می‌کند. به همین دلیل، آن را سنگ راهنما یا آهن‌ربا نامیدند. پس آهن‌ربا در اصل یک مغناطیس طبیعی است.

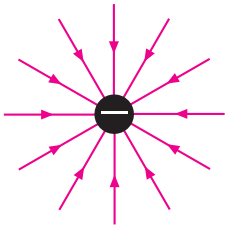
شکل ۱ــ۵ ــ سنگ آهن طبیعی



میدان الکترومغناطیس



میدان مغناطیسی



میدان الکتریسیته‌ی ساکن

شکل ۲ــ۵ــ میدان الکترومغناطیسی

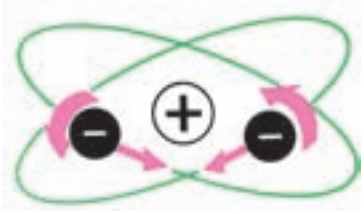
۲ــ۵ــ میدان الکترومغناطیسی

نیروهای الکتریکی و مغناطیسی به یک‌دیگر مربوط‌اند ولی کاملاً با هم تفاوت دارند. نیروهای مغناطیسی و نیروهای الکترواستاتیک تا هنگامی که حرکتی وجود نداشته باشد، بر یک‌دیگر بی‌اثرند ولی در صورتی که میدان نیروی هر یک از آن‌ها متحرک باشد، اثرات متقابل برهم می‌گذارند. چون الکترون کوچک‌ترین جزء هر اتم است، برای تشریح رابطه‌ی بین الکتریسیته و مغناطیس نظریه‌ای به‌وجود آمده است که به آن نظریه‌ی **الکترومغناطیس** می‌گویند.

می‌دانیم که الکترون دارای بار منفی است. این بار خطوط نیروی الکتریکی‌ای تولید می‌کند که از تمام جهات به الکترون وارد می‌شوند. بار گردنده نیز به علت حرکت وضعی، دراطراف خود میدان مغناطیسی تولید می‌کند. این میدان به صورت دوایر هم مرکز در دور الکترون نشان داده می‌شود. در هر نقطه، خطوط نیروی الکتریکی و خطوط نیروی مغناطیسی بر یک‌دیگر عمودند. به ترکیب این دو میدان، **میدان الکترومغناطیسی** می‌گویند.

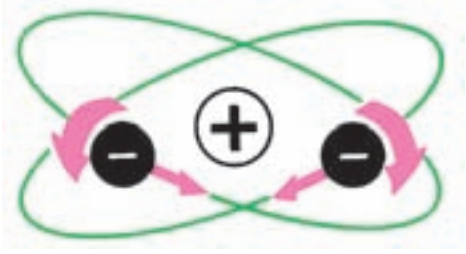
۳ــ۵ــ مولکول مغناطیسی

عناصر آهن، نیکل، کبالت و کادمیم تنها انواع فلزات مغناطیسی طبیعی هستند ولی چون همه‌ی عناصر الکترون دارند، این سؤال پیش می‌آید که چرا همه‌ی اجسام خاصیت مغناطیسی (آهن‌ربایی) ندارند. پاسخ این است که هر جفت الکترون درمدارها دارای گردش وضعی مخالف یک‌دیگرند. لذا میدان‌های مغناطیسی مخالف هم ایجاد می‌کنند که یک‌دیگر را خنثیٰ می‌سازند. ممکن است این فکر پیش آید که فقط اجسامی که تعداد الکترون‌هایشان فرد است، خاصیت مغناطیسی دارند. پاسخ این است که اگر این اتم‌ها می‌توانستند به‌صورت مجزا باشند، این فکر درست بود ولی هنگامی که اتم‌ها با یک‌دیگر ترکیب می‌شوند تا مولکول تشکیل دهند، خود را به صورتی درمی‌آورند که ۸ الکترون والانس داشته باشند و در نتیجه‌ی چرخش‌های وضعی الکترون‌ها در اغلب اجسام، میدان مغناطیسی هم‌دیگر را خنثیٰ می‌کنند. در شکل ۳ــ۵ با حرکت وضعی جفت الکترون‌ها اثر مغناطیسی آن‌ها خنثیٰ می‌شود.



شکل ۳ــ۵ــ اتم غیرمغناطیس

بنا به دلایلی، این حالت در فلزات گفته شده در بالا وجود ندارد. هنگامی که اتم‌های این فلزات با یک‌دیگر ترکیب می‌شوند، به صورت یون درمی‌آیند و الکترون‌های والانسشان را طوری به اشتراک می‌گذارند که بسیاری از میدان‌های مغناطیسی حاصل از چرخش‌های وضعی الکترون‌ها یک‌دیگر را خنثیٰ نمی‌کنند، بلکه به هم اضافه می‌شوند. این عمل باعث به‌وجود آمدن ذرات مغناطیسی در فلز می‌شود. به ذرات مغناطیسی، **مولکول‌های مغناطیسی** نیز می‌گویند. مولکول‌های مغناطیسی عیناً مانند مغناطیس‌های کوچک عمل می‌کنند. اگر چه آهن، نیکل و کبالت تنها اجسام مغناطیسی طبیعی هستند ولی با به‌کارگیری روش‌های مخصوص می‌توان ترکیباتی ساخت و به آن‌ها خاصیت آهن‌ربایی داد. در شکل ۴ــ۵ در مولکول‌های مغناطیسی حرکت وضعی الکترون‌ها طوری است که میدان‌های مغناطیسی یک‌دیگر را خنثیٰ نمی‌کنند ؛ بنابراین، مولکول خاصیت مغناطیسی دارد.



شکل ۴ــ۵ ــ اتم مغناطیسی

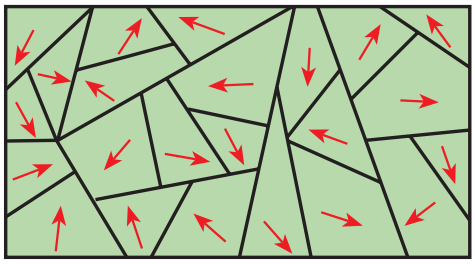
۴ــ۵ــ خواص مغناطیسی اجسام

اجسام در طبیعت از نظر خواص مغناطیسی به دو دسته تقسیم می‌شوند : الف ــ اجسام مغناطیسی، ب ــ اجسام غیرمغناطیسی.

اجسام مغناطیسی: اجسامی که خواص آهن‌ربایی از خود نشان می‌دهند، دارای خاصیت مغناطیسی یا آهن‌ربایی هستند.

از جمله‌ی این مواد آهن و آلیاژهای آهن هستند که به آن‌ها **موادِ فرّومغناطیسی** می‌گویند. فرّو در یونانی به معنی آهن است.

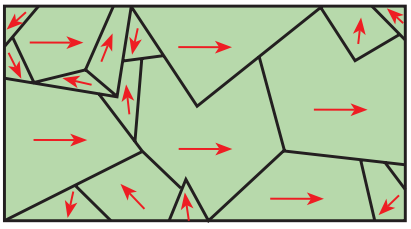
اجسام مغناطیسی مولکول‌های مغناطیسی دارند. پس ظاهراً باید همیشه مانند مغناطیس عمل کنند ولی چنین نیست. این بدان علت است که در شرایط عادی، مولکول‌های مغناطیسی به‌طور پراکنده و نامرتب در جسم قرار دارند و در نتیجه، میدان‌های مغناطیسی مولکول‌ها یک‌دیگر را خنثیٰ می‌کنند ؛ بنابراین، فلز خاصیت مغناطیسی ندارد. در شکل ۵ ــ۵ مولکول‌های مغناطیسی یک فلز مغناطیس نشده را مشاهده می‌کنید.



شکل ۵ ــ۵ــ فلز مغناطیس نشده

اگر همه‌ی مولکول‌های مغناطیسی به‌طور هم‌جهت قرار بگیرند، میدان‌های مغناطیسی آن‌ها با یک‌دیگر جمع شده و در این صورت فلز مغناطیس می‌شود. اگر فقط بعضی از مولکول‌ها هم‌جهت باشند، میدان مغناطیسی ضعیفی تولید می‌شود. بنابراین، میزان مغناطیس شدن یک جسم مغناطیسی را می‌توان کم و زیاد کرد.

شکل ۶ ــ۵ مولکول‌های مغناطیسی منظم شده در یک فلز مغناطیس شده را نشان می‌دهد.



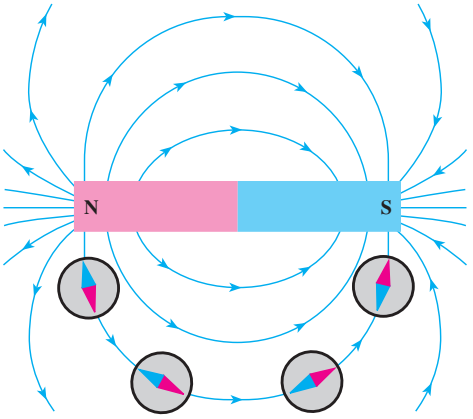
شکل ۶ ــ۵ــ فلز تقریباً مغناطیس شده

اجسام غیرمغناطیسی: برخی از اجسام تقریباً خاصیت مغناطیسی ندارند. این اجسام را **اجسام غیرمغناطیسی** می‌نامند ؛ مانند روی و چوب. اجسام غیرمغناطیسی به دو گروه پارامغناطیس و دیامغناطیس تقسیم می‌شوند.

هرگاه چند ماده‌ی غیرمغناطیسی را به یک آهن‌ربای بسیار قوی نزدیک کنیم، برخی از آن‌ها به‌آرامی جذب و برخی دیگر به‌آرامی دفع می‌شوند. البته این جذب و دفع‌ها ممکن است آن‌قدر ضعیف و کند باشد که به چشم دیده نشود. موادی که فقط به مقدار خیلی جزئی جذب آهن‌ربا می‌شوند، به مواد پارامغناطیس موسوم‌اند ؛ مانند چوب، اکسیژن، آلومینیم و پلاتین. موادی که فقط به مقدار خیلی جزئی از آهن‌ربا دفع می‌شوند، مواد دیامغناطیس نامیده می‌شوند ؛ مانند روی، نمک، طلا و جیوه.

۵ــ۵ــ میدان مغناطیسی

با توجه به جذب و دفع قطب‌های مغناطیسی، می‌توان چنین نتیجه گرفت که نیروهای خارج شده از قطب‌های مغناطیسی باعث این اثر می‌شوند. البته این رویداد فقط در قطب‌ها اتفاق نمی‌افتد، بلکه نیروی مغناطیسی مغناطیس را در یک میدان دربرمی‌گیرند. این پدیده را طبق شکل ۷ــ۵ می‌توان هنگام حرکت قطب‌نما در اطراف یک آهن‌ربا مشاهده کرد. در هر موقعیت، در دور آهن‌ربا یک انتهای عقربه‌ی قطب‌نما در جهت قطب مخالف آهن‌ربا قرار می‌گیرد.

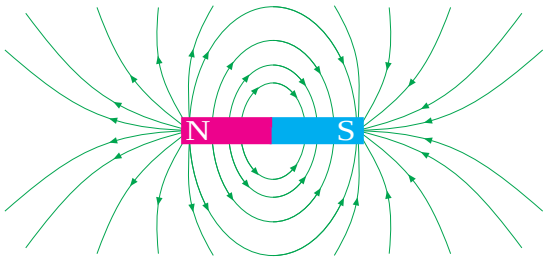


شکل ۷ــ۵ــ میدان مغناطیسی آهن‌ربا

هم‌چنین، با قرار دادن قطب‌نما در فاصله‌های دورتر از آهن‌ربا می‌توان مشاهده کرد که این میدان مغناطیسی دورتر از آهن‌ربا نیز وجود دارد. چنان‌چه قطب‌نما را به آرامی از آهن‌ربا دور کنیم، به نقطه‌ای خواهیم رسید که عقربه‌ی قطب‌نما دیگر تحت تأثیر میدان مغناطیسی آهن‌ربا نیست و دوباره به طرف قطب شمال زمین جذب می‌شود. فضایی را که در آن آهن‌ربا بر اجسام مغناطیسی دیگر اثر می‌گذارد، **میدان مغناطیسی** می‌گویند.

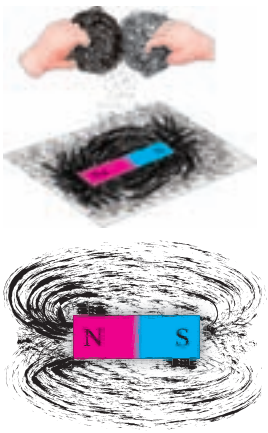
۶ــ۵ــ خطوط نیرو (فلو ــ شار)

میدان مغناطیسی یک آهن‌ربا از خطوط نیرویی تشکیل شده است که بنا به قرارداد، از قطب N بیرون می‌آیند، در فضا امتداد می‌یابند و به قطب S وارد می‌شوند. این خطوط نیرو یک‌دیگر را قطع نمی‌کنند و مرتباً از آهن‌ربا دور می‌شوند. هر چه خطوط نیرو به یک‌دیگر نزدیک‌تر و تعدادشان بیش‌تر باشد، میدان مغناطیسی قوی‌تر است. خطوط نیرو یا شار مغناطیسی را با φ (فی) نشان می‌دهند.



شکل ۸ــ۵ــ نمودار خطوط نیروی مغناطیسی

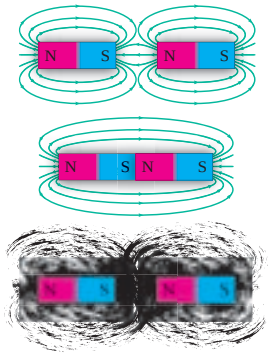
وجود خطوط نیرو با پاشیدن براده‌های آهن بر یک سطح صاف و قرار دادن آهن ربایی در زیر آن معلوم می‌شود. براده‌های آهن به طور مرتب در طول خطوط نیرو قرار می‌گیرند و جهت‌گیری میدان را نشان می‌دهند. به این خطوط نیرو **فلو** نیز می‌گویند.



شکل ۹ــ۵ــ براده‌های ریز آهن نشانگر خطوط قوای مغناطیسی

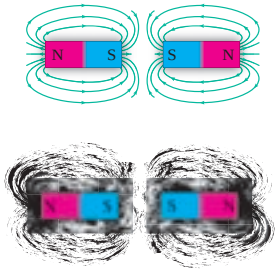
۷ــ۵ــ اثر متقابل میدان‌های مغناطیسی

هنگامی که دو مغناطیس در مجاورت هم قرار گیرند، میدان‌های مغناطیس آن‌ها بر یک‌دیگر اثر می‌کنند. اگر خطوط نیرو هر دو در یک جهت باشند، یک‌دیگر را جذب می‌کنند و به هم می‌رسند. به همین دلیل است که قطب‌های ناهمنام یک‌دیگر را جذب می‌کنند.



شکل ۱۰ــ۵ ــ نیروهای جاذبه بین دو قطب غیرهمنام

اگر خطوط نیرو در جهت‌های مخالف باشند، نمی‌توانند با هم ترکیب شوند و چون نمی‌توانند یک‌دیگر را قطع کنند، نیروهای مخالف بر یک‌دیگر وارد می‌کنند. به همین دلیل است که قطب‌های همنام یک‌دیگر را دفع می‌کنند. این اثر متقابل خطوط نیرو را به‌وسیله‌ی براده‌های آهن نیز می‌توان نشان داد.

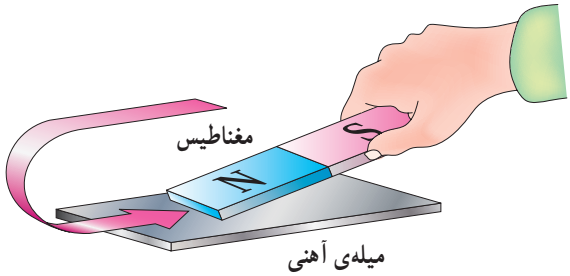


شکل ۱۱ــ۵ ــ نیروهای دافعه بین دو قطب همنام

۸ ــ۵ ــ روش‌های به‌وجودآوردن خاصیت مغناطیسی آهن‌ربا (آهن‌رباهای مصنوعی)

جسم آهنی (فرومغناطیسی) را می‌توان با منظم کردن مولکول‌های مغناطیسی‌اش مغناطیسی کرد. بهترین راه انجام این عمل، وارد کردن نیروی مغناطیسی است. این نیرو بر میدان مغناطیسی هر مولکول اثر کرده و همه‌ی آن‌ها را در یک جهت منظم می‌کند. ساخت آهن‌رباهای مصنوعی به دو روش امکان‌پذیر است : ۱)مالش مغناطیسی، ۲) جریان الکتریکی.

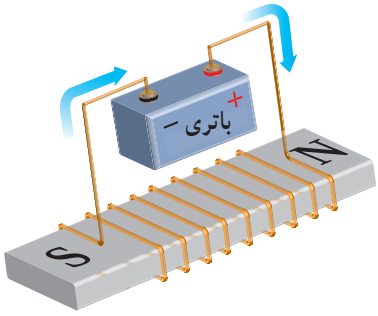
۱ــ مالش مغناطیسی: هنگامی که جسم مغناطیس شده به سطح یک آهن مغناطیس نشده (طبق شکل ۱۲ــ۵) مالش داده شود، میدان مغناطیسی، مولکول‌های آهن را مرتب می‌کند و آهن مغناطیس می‌شود.



شکل ۱۲ــ۵ ــ مغناطیس کردن فلز در اثر مالش مغناطیس

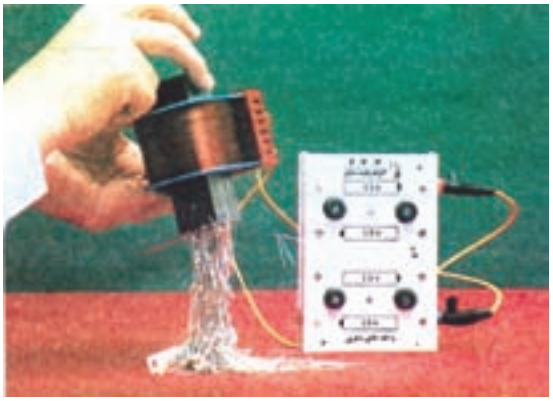
۲ــ جریان الکتریکی: اگر سیمی را به دور یک قطعه آهن مغناطیس نشده بپیچیم و دو سر آن را به یک منبع ولتاژ DC وصل کنیم، جریان الکتریکی میدان مغناطیسی تولید می‌کند و باعث منظم شدن مولکول‌های مغناطیسی آهن می‌شود. شکل ۱۳ــ۵ چگونگی تولید قطعه‌ی مغناطیسی به‌وسیله‌ی جریان الکتریکی DC[1] را نمایش می‌دهد.

اگر یک جسم مغناطیس شده خاصیت مغناطیسی خود را برای مدت طولانی حفظ کند، به آن **مغناطیس دائمی** می‌گویند و اگر خاصیت مغناطیسی خود را به سرعت از دست بدهد، **مغناطیس موقتی** نام دارد. آهن سخت و فولاد مغناطیس‌های دائمی خوبی هستند. آهن نرم برای مغناطیس‌های موقتی به‌کار برده می‌شود.



الف)

۱ــ DC: Direct Current



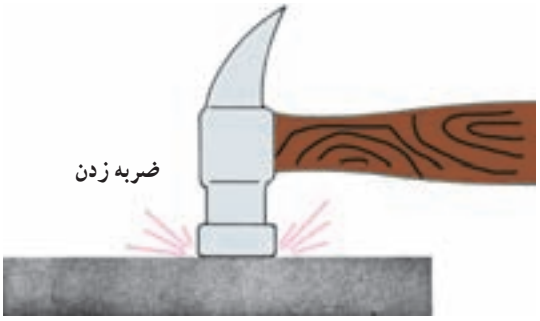
ب)

شکل ۱۳ ــ۵ــ کاربرد جریان DC برای تولید مغناطیس

۹ ــ۵ــ روش‌های از بین بردن خاصیت مغناطیسی آهن‌ربا

برای از بین بردن خاصیت مغناطیسی یک آهن‌ربا باید مولکول‌های مغناطیسی آن را دوباره به صورت نامرتب درآوریم تا میدان‌هایشان در خلاف جهت یک‌دیگر قرار گیرد. این عمل به سه روش انجام می‌گیرد : ۱ــ ضربه‌ی سخت، ۲ــ گرما، ۳ــ جریان الکتریکی متناوب.

۱ــ ضربه‌ی سخت: اگر به یک آهن‌ربا ضربه‌ی سختی وارد کنیم، نیروی وارد شده مولکول‌ها را به شدت تکان می‌دهد و باعث به هم خوردن نظم و ترتیب آن‌ها می‌شود. گاهی اوقات لازم است ضربه را چند بار وارد کنیم.

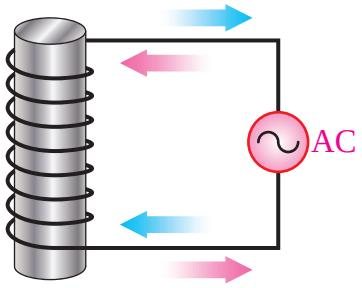


شکل ۱۴ــ۵ــ خنثی کردن اثر مغناطیسی آهن‌ربا با زدن ضربه

۲ــ گرما: اگر آهن‌ربا را گرم کنیم، انرژی حرارتی باعث نوسان مولکول‌های مغناطیسی می‌شود و ترتیبشان را به هم می‌زند.

شکل ۱۵ــ۵ــ خنثی کردن اثر مغناطیسی یک آهن‌ربا به‌وسیله‌ی گرما

۳ــ جریان الکتریکی متناوب (AC): اگر مغناطیس را در میدانی مغناطیسی قرار دهیم که جهت آن به سرعت تغییر می‌کند، نظم مولکول‌ها به هم می‌خورد ؛ زیرا مولکول‌ها می‌خواهند از میدان پیروی کنند. میدان مغناطیسی متغیر را می‌توان به‌وسیله‌ی یک جریان متناوب تولید کرد. این مطلب را در آینده توضیح خواهیم داد.

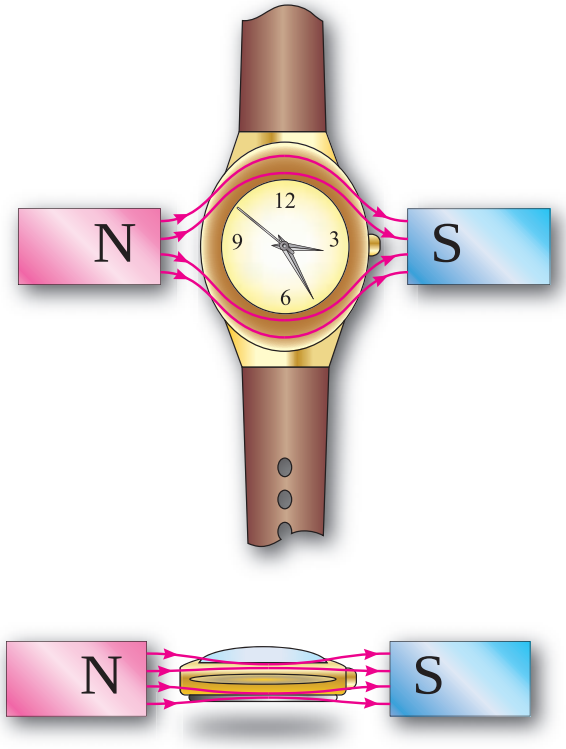


شکل ۱۶ــ۵ــ خنثی کردن اثر مغناطیسی توسط جریان متناوب (AC)

۱۰ــ۵ــ پوشش مغناطیسی

خطوط نیروی مغناطیسی می‌توانند از اجسام ــ حتی آن‌هایی که خواص مغناطیسی نیز ندارند ــ بگذرند. البته بعضی از اجسام در مقابل عبور خطوط نیرو (فلو) مقاومت می‌کنند. به این خاصیت (مقاومت در برابر عبور خطوط نیرو) **رلوکتانس** می‌گویند. اجسام مغناطیسی در مقابل عبور خطوط نیرو رلوکتانس خیلی کمی دارند. درنتیجه، خطوط فلو به وسیله‌ی یک جسم مغناطیسی حتی با طی کردن مسیری طولانی جذب می‌شوند. این خاصیت باعث می‌شود که بتوانیم اجسام را به‌وسیله‌ی پوششی از ماده‌ی مغناطیسی در مقابل خطوط فلو محافظت کنیم. از این

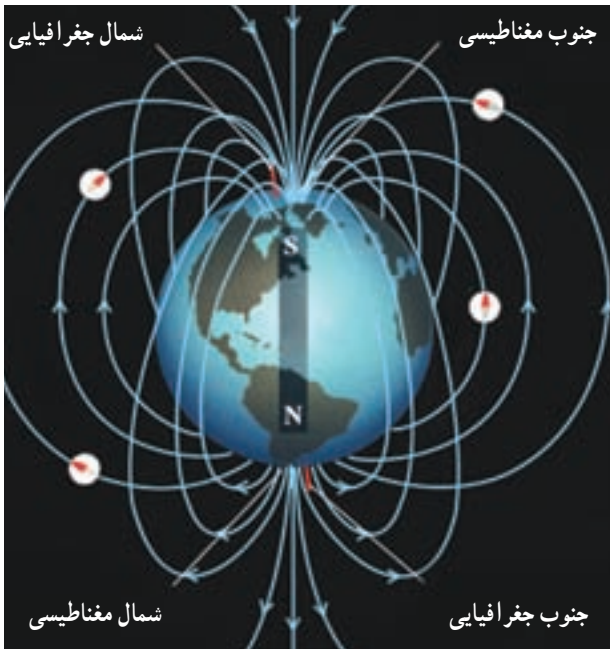
روش برای ساختن ساعت‌های ضدمغناطیس استفاده می‌کنند.



شکل ۱۷ــ۵ ــ پوشش مغناطیسی

۱۱ــ۵ ــ میدان مغناطیسی زمین

زمین جرمی چرخنده است (حرکت وضعی دارد) و در اطراف خود میدان مغناطیسی تولید می‌کند. در واقع، در مرکز آن مغناطیسی قرار گرفته که قطب S آن در نزدیکی قطب شمال جغرافیایی و قطب N آن در نزدیکی قطب جنوب جغرافیایی است.



شکل ۱۸ــ۵ــ میدان مغناطیسی زمین

برای هنرجویان علاقه‌مند

امروزه مغناطیس، حضوری چشم‌گیر در تشخیص پزشکی ایفا می‌کند. در ارتباط با اثر میدان مغناطیسی بر روی موجودات زنده به‌ویژه انسان گزارش تهیه و به کلاس ارائه دهید.

شکل ۱۹ــ۵ ــ دستگاه تصویربرداری MRI

۱۲ــ۵ــ میدان مغناطیسی ناشی از سیم حامل جریان

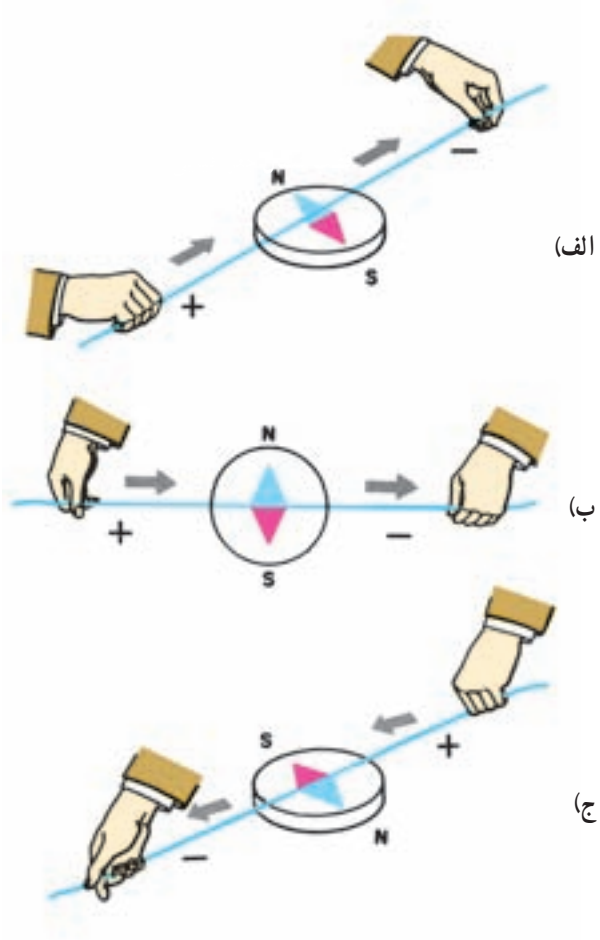
چون الکترون‌ها به علت حرکت وضعی در اطراف خود میدان مغناطیسی تولید می‌کنند، چنین به نظر می‌آید که انباشتن الکترون‌های اضافی در جسم می‌تواند میدان مغناطیسی تولید کند ولی الکترون‌ها با چرخش‌های وضعی مخالف هم آثار مغناطیسی یک‌دیگر را خنثیٰ می‌کنند. در نتیجه، الکتریسیته‌ی ساکن دارای میدان مغناطیسی نیست ولی هنگامی که با اعمال ولتاژی به دو سر سیم‌ها جریان الکتریکی در آن برقرار می‌شود، الکترون‌های جهت گرفته نمی‌توانند با چرخش‌های وضعی مخالفت کنند و اثر مغناطیسی یک دیگر را خنثیٰ نمایند. بر عکس، چون همه در یک جهت حرکت می‌کنند، میدان‌های مغناطیسی آن‌ها با هم جمع می‌شوند. در سال ۱۸۱۹، **هانس کریستین اُرستد** کشف کرد که سیم حامل جریان در اطراف خود میدان مغناطیسی تولید می‌کند که این میدان بر عقربه‌ی قطب‌نما اثر می‌گذارد.

چون میدان مغناطیس به‌دور یک الکترون حلقه‌ای را به‌وجود می‌آورد، میدان‌های مغناطیسی اطراف الکترون‌های جهت گرفته در یک سیم با یک‌دیگر تشکیل حلقه‌هایی به دور سیم می‌دهند. هر یک از این حلقه‌ها را یک خط نیرو یا یک **ماکسول** و 10^8 خط نیرو را یک **وبر (wb)** می‌نامند.

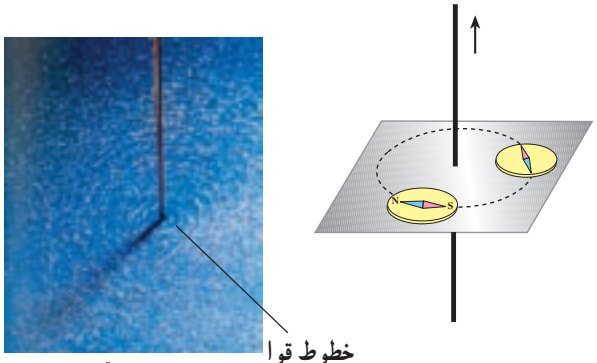
طبق شکل ۲۰ــ۵ چنان‌چه موقعیت سیم را تغییر دهیم، عقربه‌ی قطب‌نما با جهت خطوط نیرو منطبق می‌شود. عقربه‌ی قطب‌نما همیشه عمود بر سیم حامل جریان قرار می‌گیرد. وقتی جهت جریان را تغییر دهیم، عقربه‌ی قطب‌نما تغییر جهت می‌دهد.

اثر الکترومغناطیس بر یک سیم: جهت میدان مغناطیسی همواره به جهت جریانی که از سیم می‌گذرد، بستگی دارد. برای تعیین جهت میدان مغناطیسی، می‌توان از قطب‌نما و قانون دست راست استفاده کرد. طبق شکل ۲۱ــ۵ چنان‌چه قطب‌نما را در اطراف سیم حرکت دهیم، همیشه قطب N عقربه‌ی قطب‌نما جهت میدان مغناطیسی را نشان می‌دهد.

وقتی موقعیت سیم را تغییر دهیم، عقربه قطب‌نما نیز متناسب با آن می‌چرخد.

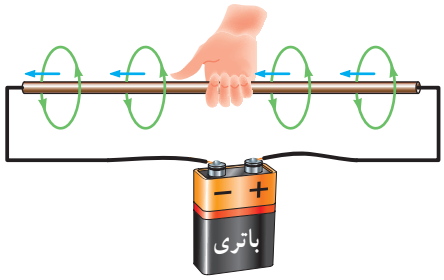


شکل ۲۰ــ۵ ــ میدان مغناطیسی ناشی از سیم حامل جریان



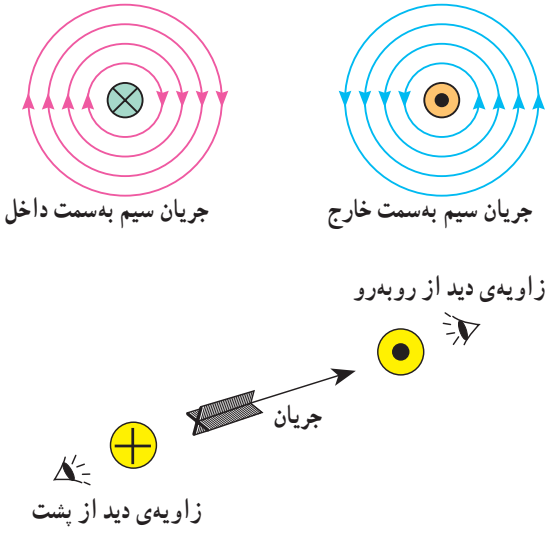
شکل ۲۱ــ۵ ــ تعیین جهت میدان مغناطیسی اطراف سیم با استفاده از قطب‌نما

برای تعیین جهت میدان مغناطیسی می‌توان از قانون دست راست نیز استفاده کرد. چنان‌چه طبق شکل ۲۲ــ۵ انگشت‌های دست راست را به دور سیم بپیچیم، به‌طوری که انگشت شست در جهت جریان قرار بگیرد، بسته‌شدن بقیه‌ی انگشتان جهت میدان مغناطیسی را نشان می‌دهد.



شکل ۲۲ــ۵ــ تعیین جهت میدان مغناطیسی با استفاده از قانون دست راست

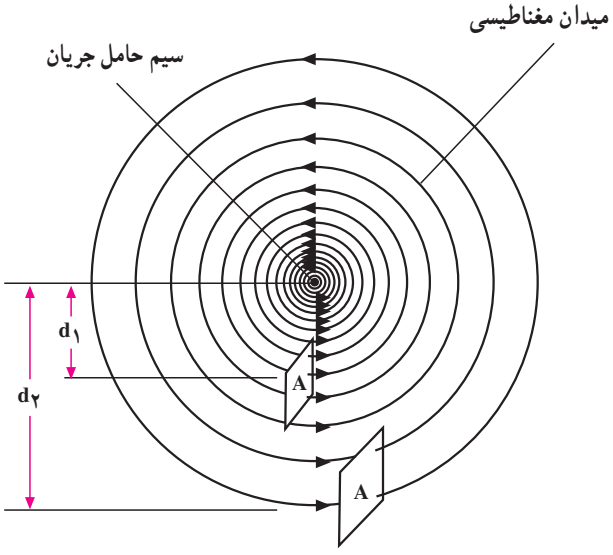
طبق شکل ۲۳ــ ۵ از این پس برای تعیین جهت میدان مغناطیسی اطراف سیم حامل جریان، مقطع سیم را ــ که دایره است ــ نشان می‌دهیم. در صورتی که جهت جریان در مقطع سیم از طرف ناظر به طرف صفحه‌ی کاغذ باشد، با علامت (×) و اگر از طرف مقطع سیم به طرف ناظر باشد، با علامت (.) نمایش داده می‌شود. طبق قانون دست راست در مورد (×) جهت میدان موافق عقربه‌ی ساعت و در مورد (.) مخالف حرکت عقربه‌ی ساعت خواهد بود.



شکل ۲۳ــ۵ــ جهت میدان مغناطیسی

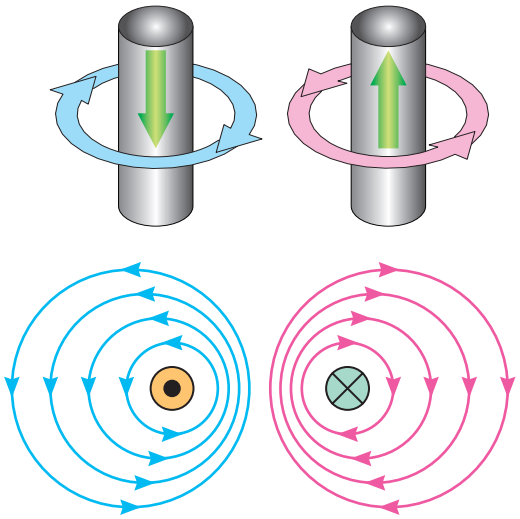
چگالی (تراکم) خطوط نیرو: هر چه جریانی که از سیم می‌گذرد بیش‌تر شود، میدان مغناطیسی حاصل قوی‌تر خواهد بود. همان طور که در میدان مغناطیسی آهن‌ربا دیدید، خطوط نیرو در نزدیکی آهن‌ربا به هم نزدیک‌ترند. این خطوط نیرو در نزدیکی سیم نیز به هم نزدیک‌ترند و هر چه بیش‌تر از سیم دور شوند، از یک‌دیگر فاصله می‌گیرند. در نتیجه، میدان در نزدیکی سیم قوی‌تر می‌شود و هر چه از مرکز سیم دورتر می‌شویم، تراکم خطوط ضعیف‌تر می‌شود.

برای مشخص کردن شدت میدان مغناطیسی در هر نقطه از اطراف سیم حامل جریان، چگالی میدان مغناطیسی را تعریف می‌کنند. بنا به تعریف، **چگالی میدان** عبارت است از تعداد خطوط نیرویی که از واحد سطح عبور می‌کند. طبق شکل ۲۴ــ۵ تعداد خطوط نیرو در واحد سطح با فاصله‌ی آن تا مرکز سیم، نسبت عکس و با شدت جریان عبوری، نسبت مستقیم دارد.



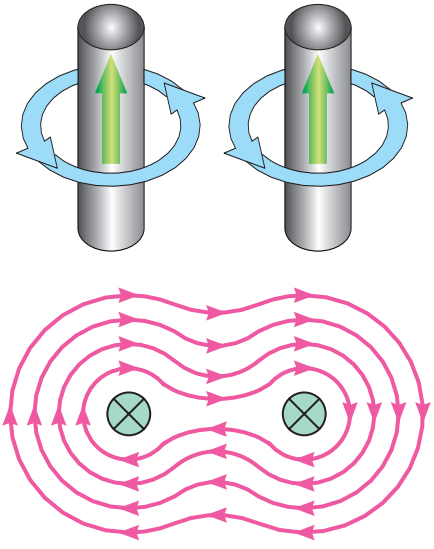
شکل ۲۴ــ۵ ــ تراکم خطوط نیرو اطراف سیم حامل جریان

اثر متقابل میدان‌های مغناطیسی بر یک‌دیگر: اگر دو سیم را که جریان‌هایی در جهت‌های عکس یک‌دیگر از آن‌ها می‌گذرند به هم نزدیک کنیم، میدان‌های مغناطیسی آن‌ها یک‌دیگر را دفع می‌کنند؛ زیرا جهت خطوط نیرویشان عکس یک‌دیگر است. چون خطوط نیرو نمی‌توانند یک‌دیگر را قطع کنند، میدان‌ها باعث دور شدن سیم‌ها از هم می‌شوند.



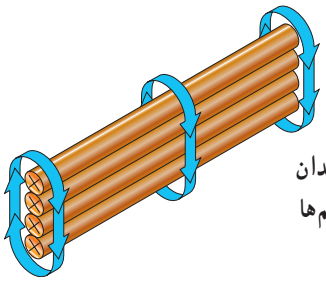
شکل ۲۵ــ۵ ــ نیروی دافعه بین دو سیم جریان‌دار غیر هم جهت

هنگامی که دو سیم را که جریان‌های هم‌جهت دارند به یک‌دیگر نزدیک کنیم، میدان‌های مغناطیسی آن‌ها به هم ملحق می‌شوند. در نتیجه، سیم‌ها به یک‌دیگر نزدیک می‌شوند و میدان مغناطیسی قوی‌تری تولید می‌کنند.



شکل ۲۶ــ۵ــ نیروی جاذبه بین دو سیم جریان‌دار هم‌جهت

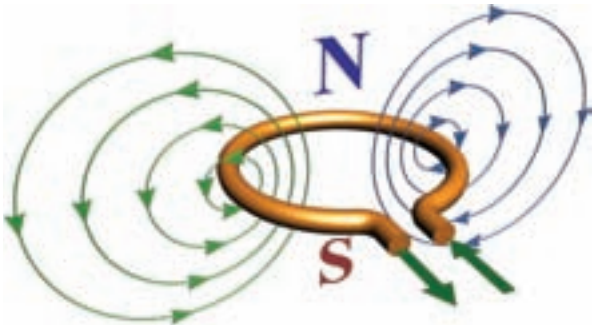
چنان‌چه سه یا چهار سیم را طوری کنار هم قرار دهیم که جهت جریان در همه‌ی آن‌ها یکسان باشد، میدان مغناطیسی قوی‌تر خواهد شد.



شکل ۲۷ــ۵ ــ قوی‌تر کردن میدان مغناطیسی از طریق افزایش سیم‌ها

اثر الکترومغناطیسی در یک حلقه: اگر سیمی را به‌صورت حلقه درآوریم و از آن جریان الکتریکی عبور دهیم، خطوط نیروی مغناطیسی اطراف سیم همه طوری مرتب خواهند شد که از یک طرف به حلقه وارد و از طرف دیگر خارج می‌شوند. در مرکز حلقه، خطوط نیرو متمرکز می‌شوند و یک میدان مغناطیسی به‌وجود می‌آورند.

در نتیجه‌ی این عمل قطب‌های مغناطیسی به‌وجود می‌آیند. به‌طوری‌که قطب شمال در طرفی از حلقه قرار دارد که خطوط نیرو از آن خارج می‌شوند و قطب جنوب در طرفی از حلقه قرار دارد که خطوط نیرو به آن وارد می‌شوند.

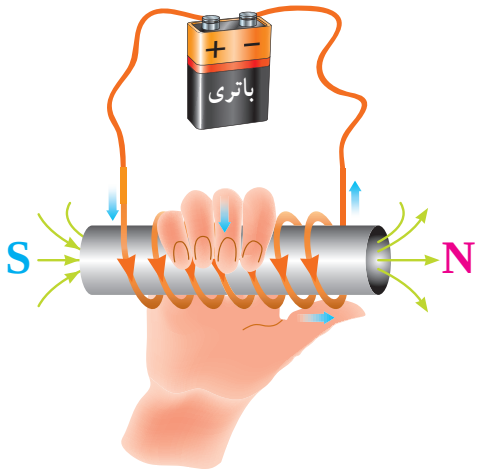


شکل ۲۸ــ۵ــ میدان مغناطیسی حاصل در یک حلقه

چگالی میدان مغناطیسی در مرکز حلقه بیش‌تر است. هم‌چنین هر قدر شدت جریان عبوری بیش‌تر باشد، تراکم خطوط نیرو قوی‌تر خواهد بود.

اثر الکترومغناطیس در یک بوبین: اگر سیمی در یک جهت به صورت حلقوی پیچیده شود، یک بوبین تشکیل می‌دهد. اگر از این بوبین جریانی عبور کند، میدان‌های مغناطیسی حلقه‌ها به یک‌دیگر اضافه می‌شوند و میدان مغناطیسی بوبین قوی‌تر می‌شود. هر چه تعداد حلقه‌ها بیش‌تر باشد و حلقه‌ها به صورت فشرده کنار هم پیچیده شوند، میدان‌های مغناطیسی بیش‌تری به یک‌دیگر اضافه می‌شوند و در نتیجه، میدان مغناطیسی بوبین قوی‌تر خواهد بود.

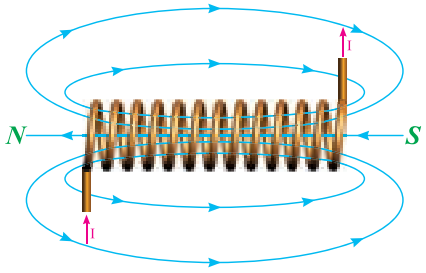
برای تعیین قطب‌های یک بوبین از قانون دست راست استفاده می‌شود. طبق شکل ۲۹ــ۵ چنان‌چه انگشت‌هایتان را در جهت جریان و حلقه‌های بوبین به دور بوبین حلقه کنید انگشت شست در جهت قطب N قرار می‌گیرد.



شکل ۲۹ــ ۵ ــ تعیین دو قطب یک بوبین با قانون دست راست

چگالی خطوط نیرو درمرکز بوبین به عوامل زیر بستگی دارد :

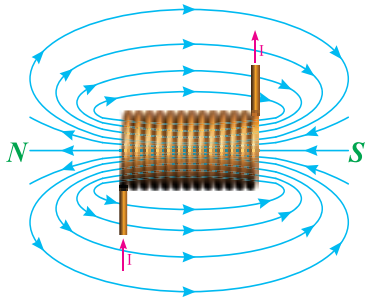
۱ــ هر چه تعداد حلقه‌های بوبین بیش‌تر باشد، میدان مغناطیسی حلقه‌ها با هم جمع می‌شوند و میدان مغناطیسی قوی‌تری خواهیم داشت. بنابراین، تراکم خطوط نیرو با تعداد حلقه‌های بوبین (N) نسبت مستقیم دارد.



شکل ۳۰ــ۵ ــ اثر تعداد حلقه‌ها بر چگالی میدان

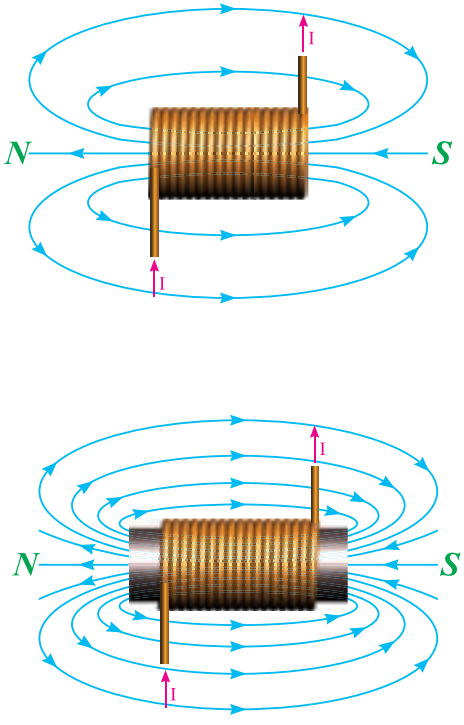
۲ــ هر چه شدت جریان عبوری از بوبین نیز بیش‌تر باشد، میدان مغناطیسی قوی‌تر می‌شود ؛ بنابراین، چگالی میدان مغناطیسی (تراکم خطوط نیرو) با شدت جریان (I) نسبت مستقیم دارد.

۳ــ اگر حلقه‌های بوبین به صورت خیلی فشرده کنار هم پیچیده شده باشند، میدان‌های بیش‌تری به یک‌دیگر اضافه می‌شوند که این عمل باعث قوی‌تر شدن میدان مغناطیسی می‌شود. به عبارت دیگر، چگالی میدان مغناطیسی با طول بوبین (L) نسبت عکس دارد.



شکل ۳۱ــ۵ ــ اثر فشردگی سیم‌ها بر چگالی میدان

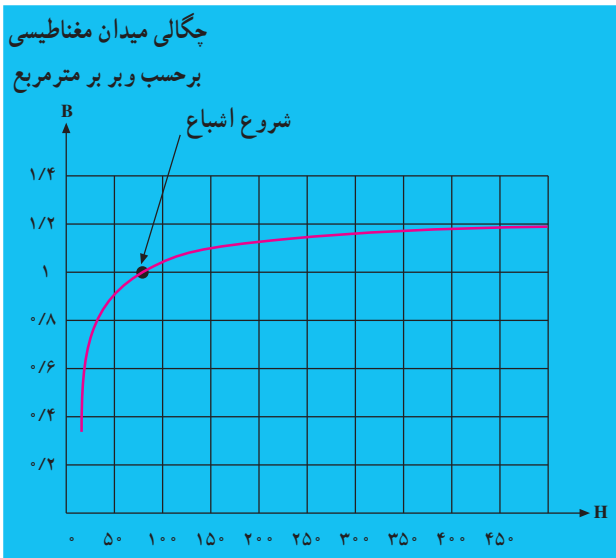
۴ــ چنان‌چه هسته‌ی آهنی را در داخل بوبین قرار دهیم، میدان مغناطیسی بوبین قوی‌تر می‌شود. آهن نرم جسم مغناطیسی است که رلوکتانس کمی دارد و باعث می‌شود که خطوط نیرو بیش‌تر در مقایسه با هوا در آن متمرکز شود. هر چه خطوط نیرو در هسته بیش‌تر متمرکز شوند، میدان مغناطیسی قوی‌تر است.



شکل ۳۲ــ۵ ــ اثر هسته‌ی آهنی بر چگالی میدان

برای هنرجویان علاقه‌مند

منحنی مشخصه‌ی مواد فرومغناطیسی: در یک بوبین با هسته‌ی آهنی که طول بوبین ثابت است، افزایش تعداد حلقه‌ها یا شدت جریان (یا هر دو) باعث افزایش نیروی محرکه‌ی مغناطیسی و نهایتاً افزایش تراکم خطوط نیرو خواهد شد. این امر تا جایی ادامه خواهد یافت که همه‌ی مولکول‌های مغناطیسی هسته منظم شوند و پس از آن، هر چه شدت جریان زیاد شود، تراکم خطوط نیرو ثابت خواهد ماند. نقطه‌ی آغاز این حالت را **نقطه‌ی اشباع مغناطیسی** می‌نامند؛ زیرا مولکول مغناطیسی دیگری باقی نمانده است که منظم شود. تغییرات تراکم خطوط نیرو برحسب شدت میدان مغناطیسی، منحنی مشخصه‌ی هسته‌ی بوبین نامیده می‌شود. در شکل ۳۳ــ ۵ منحنی مشخصه‌ی یک ماده‌ی فرومغناطیسی را مشاهده می‌کنید.



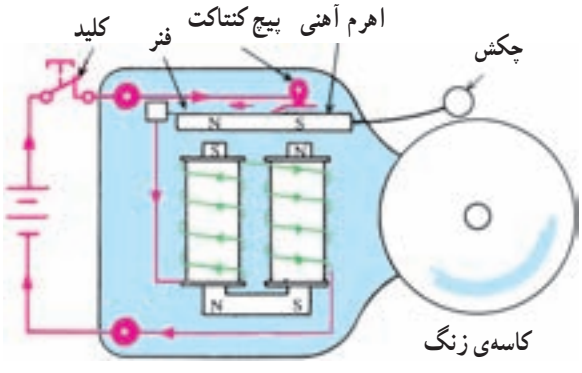
شکل ۳۳ــ۵ ــ منحنی مشخصه‌ی یک ماده‌ی فرومغناطیسی

۱۳ــ۵ ــ کاربرد مغناطیس

مصرف‌کننده‌های الکتریکی از قبیل لامپ روشنایی و بخاری برقی توسط عبور جریان الکتریکی فعال می‌شوند و کار مفید انجام می‌دهند اما مصرف‌کننده‌های دیگری وجود دارند که عبور جریان از آن‌ها باعث خاصیت مغناطیسی می‌شود و نیروی حاصل از مغناطیس تولید کار می‌کند. در این‌جا به شرح چند وسیله‌ی الکتریکی که با خاصیت مغناطیسی کار می‌کنند، می‌پردازیم.

۱ــ زنگ الکترو مغناطیسی DC: در زنگ الکترومغناطیسی از عمل میدان مغناطیسی برای به نوسان درآوردن یک اهرم استفاده می‌کنند. این اهرم به چکشی متصل است که پی‌درپی به کاسه‌ی زنگ می‌خورد. هنگامی که شستی بسته می‌شود، باتری جریان الکتریکی را از طریق اتصال پیچی به یک فنر می‌فرستد ولی قبل از این‌که جریان به قطب منفی باتری باز گردد، توسط یک تکه سیم از بوبین‌های الکترومغناطیسی می‌گذرد. الکترومغناطیس‌ها پس از دریافت انرژی اهرم را به پایین جذب می‌کنند و باعث برخورد چکش با کاسه‌ی زنگ می‌شوند.

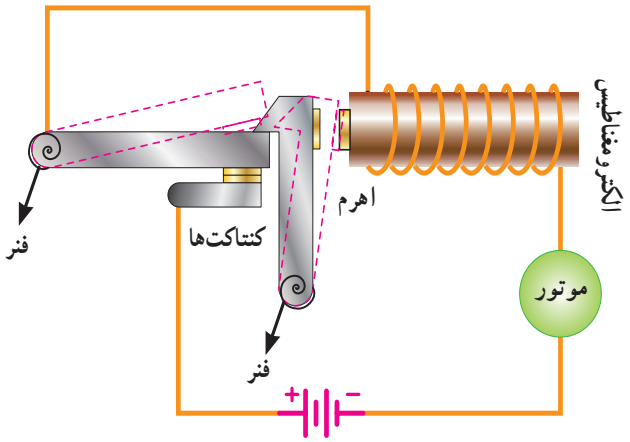
هنگامی که اهرم به طرف پایین نوسان می‌کند، فنر از اتصال پیچی جدا می‌شود. این عمل مدار را باز می‌کند. در نتیجه، جریان از حرکت باز می‌ایستد، الکترومغناطیس‌ها انرژی خود را از دست می‌دهند و دیگر اهرم را جذب نمی‌کنند. فنر اهرم را دوباره به محل قبلی‌اش برمی‌گرداند و به همین دلیل، اتصال فنری و پیچ دوباره باعث بسته شدن مدار می‌شوند. در نتیجه، این عمل تکرار می‌گردد.



شکل ۳۴ــ۵ ــ زنگ الکترومغناطیسی DC

الکترومغناطیس‌ها انرژی دریافت می‌کنند و آن را به سرعت از دست می‌دهند و باعث نوسان اهرم به بالا و پایین می‌شوند. چکش نیز نوسان می‌کند و به‌طور مداوم به کاسه‌ی زنگ می‌خورد.

۲ــ کلید مغناطیسی قطع مدار: کلید قطع مدار برای این منظور در مدارها به‌کار می‌رود تا مانند فیوز از مدار در مقابل اتصال کوتاه یا اضافه بار محافظت کند. با این تفاوت که فیوز می‌سوزد اما کلید قطع مدار جریان را قطع می‌کند که البته می‌توان آن را دوباره وصل کرد. طبق شکل ۳۵ــ۵ مسیر جریان از باتری شروع می‌شود و از کنتاکت‌هایی که توسط یک اهرم بسته شده‌اند می‌گذرد. پس از آن، جریان از طریق یک الکترومغناطیس به موتور می‌رود و دوباره به باتری باز می‌گردد. تا هنگامی که جریان خیلی زیادی عبور نکند، میدان ایجاد شده توسط الکترومغناطیس آن‌قدر قوی نیست که بتواند اهرم را جذب کند ولی اگر جریان خیلی زیادی عبور کند ــ مثلاً هنگامی که موتور ترمز می‌کند یا اتصال کوتاه می‌شود ــ میدان الکترومغناطیسی خیلی قوی می‌شود و اهرم را به طرف خود می‌کشد. این عمل به فنر امکان می‌دهد که بازوی اتصال را قطع و کنتاکت‌ها را باز کند. درنتیجه، مدار قطع می‌شود، الکترومغناطیس انرژی‌اش را از دست می‌دهد و اهرم به حالت اول برمی‌گردد. در این حالت، بازوی اتصال توسط فنر خارج نگاه‌داشته شده است. هنگامی که مشکل برطرف شود، بازوی اتصال مدار را می‌توان به حالت اول درآورد و از آن مجدداً استفاده کرد.



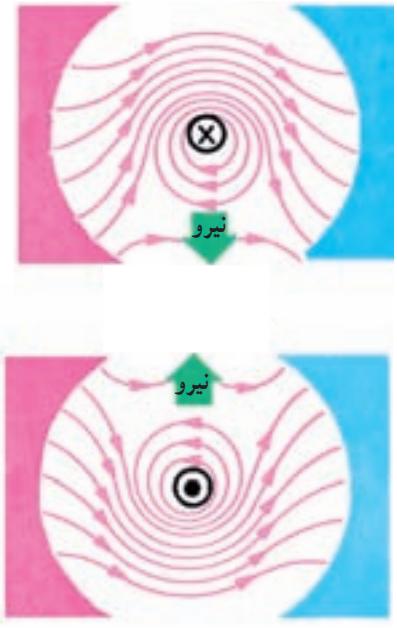
شکل ۳۵ــ۵ ــ کلید مغناطیسی قطع مدار

به الکترومغناطیسی که اهرم را به کار می‌اندازد تا کنتاکت‌ها را قطع و وصل کند، **رله** می‌گویند.

تحقیق کنید

در مورد رله‌های به‌کار رفته در صنعت برق تحقیق کرده و نتیجه را به کلاس گزارش دهید.

۳ــ موتور الکتریکی ساده: اگر یک سیم حامل جریان را در داخل یک میدان مغناطیسی قرار دهیم، میدان مغناطیسی اثری مخالف بر سیم حامل جریان وارد می‌کند. سیم حامل جریان در اطراف خود میدان مغناطیسی ایجاد می‌کند. این میدان شکل خطوط نیرویی را که بین دو قطب مغناطیسی وجود دارد، تغییر می‌دهد. خطوط نیروی تغییر شکل داده سعی دارند خود را به وضعیت قبل از ورود سیم حامل جریان درآورند. در نتیجه، نیروی دافعه‌ای بر سیم وارد می‌کنند. بدین ترتیب، سیم به محلی رانده می‌شود که خطوط نیرو از بقیه‌ی جاها ضعیف‌ترند. جهت نیروی دافعه به جهت جریان و جهت خطوط نیرو بستگی دارد. در صورتی که هر کدام از کمیت‌ها تغییرجهت پیدا کنند، جهت نیروی دافعه نیز تغییر خواهد کرد امّا اگر جهت هر دو کمیت با هم عوض شود، جهت نیرو تغییر نخواهد کرد.

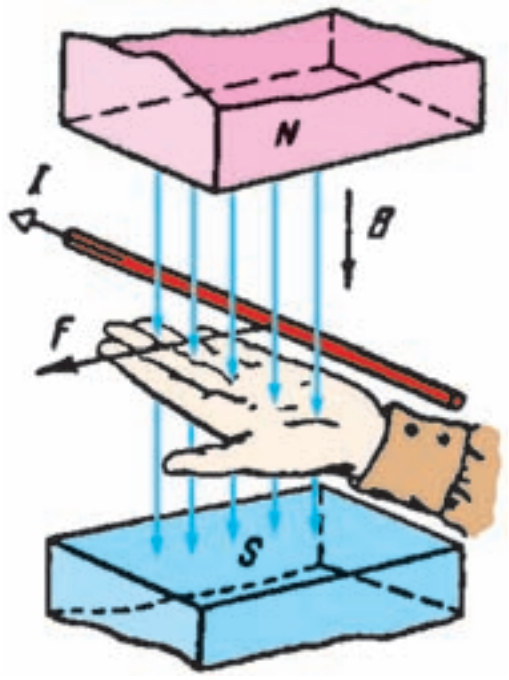


شکل ۳۶ــ۵ ــ اثرمیدان مغناطیسی بر سیم حامل جریان

جهت نیروی دافعه را به سهولت می‌توان از قانون دست چپ پیدا کرد.

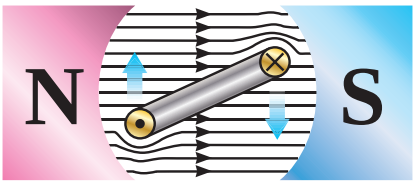
قانون دست چپ

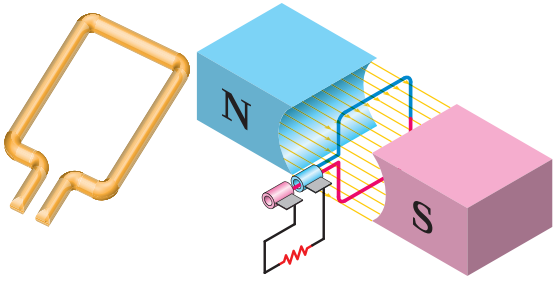
اگر دست چپ را طوری باز کنیم که خطوط نیرو به کف دست بریزند (B) و جهت جریان در سیم حامل جریان (I) در جهت سایر انگشتان باشد، جهت نیروی وارد شده (F) در جهت انگشت شست خواهد بود.



شکل ۳۷ــ۵ ــ قانون دست چپ

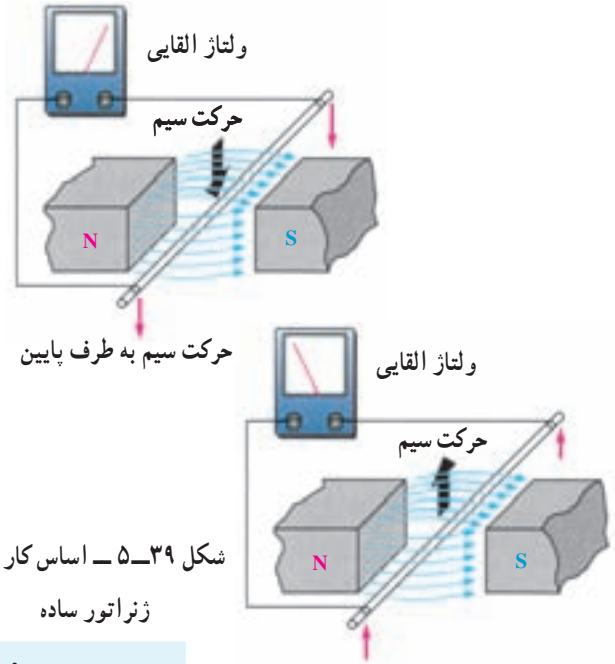
اگر طبق شکل ۳۸ــ۵ سیم را به صورت کلاف درآوریم و آن را درون میدان مغناطیسی قرار دهیم، وقتی از کلاف جریان عبور کند اثر متقابل میدان‌های مغناطیسی باعث می‌شود که یک سمت آن به طرف بالا و سمت دیگر به طرف پایین حرکت کند ؛ به عبارت دیگر، به کلاف جفت نیرو وارد می‌شود و تولید گشتاور می‌کند. این فرآیند، اساس کار موتورهای الکتریکی است که در درس ماشین‌های الکتریکی به‌طور مفصل درباره‌ی آن توضیح خواهیم داد.





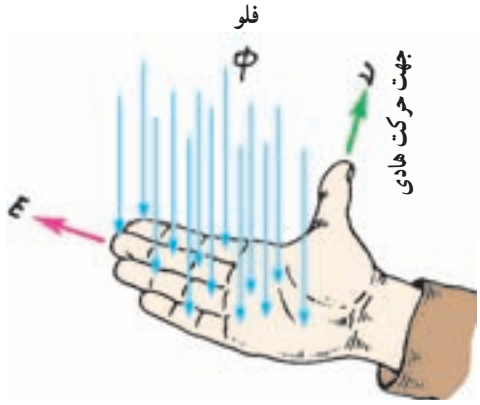
شکل ۳۸ــ۵ ــ تولید گشتاور در موتور الکتریکی

۴ــ ژنراتور ساده: طبق شکل ۳۹ــ۵ اگر یک هادی را در داخل میدان مغناطیسی آهن‌ربا حرکت دهیم، انرژی مغناطیسی آهن‌ربا باعث حرکت الکترون‌ها در یک جهت و تجمع آن‌ها در یک طرف هادی می‌شود. این روند را **تولید نیروی محرکه‌ی القایی** می‌گویند. حال اگر به دو سر سیم میلی‌ولت متری را وصل کنیم، مشاهده می‌شود که با حرکت سیم به طرف پایین، عقربه‌ی میلی ولت‌متر در یک جهت و با حرکت سیم به طرف بالا عقربه در جهت مخالف حرکت می‌کند. نتیجه می‌گیریم که با تغییر جهت حرکت سیم، جهت نیروی محرکه‌ی القایی تغییر می‌کند. این مطلب در مورد تغییر جهت خطوط نیرو نیز صادق است.



شکل ۳۹ــ۵ ــ اساس کار یک ژنراتور ساده

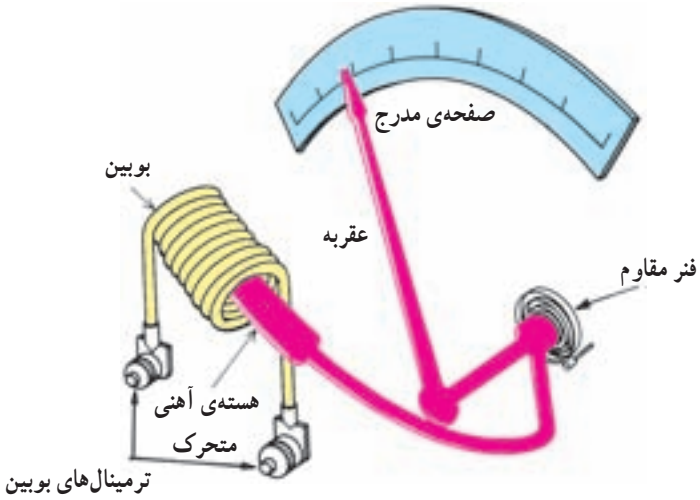
برای به‌دست آوردن جهت نیروی محرکه‌ی القایی از قانون دست راست استفاده می‌شود. طبق شکل ۴۰ــ۵ اگر کف دست راست را طوری باز کنیم که خطوط نیرو به کف دست بریزند، درصورتی‌که جهت حرکت سیم در جهت انگشت شست باشد، جهت نیروی محرکه‌ی القایی در جهت سایر انگشتان خواهد بود.



شکل ۴۰ــ۵ ــ قانون دست راست

۵ ــ دستگاه اندازه‌گیری الکتریکی: در دستگاه‌های اندازه‌گیری بسیار ساده برای اندازه‌گیری جریان عبوری از یک سیم‌پیچ (بوبین) و یک هسته‌ی متحرک استفاده می‌کنند. هرگاه جریانی از بوبین بگذرد، میدان مغناطیسی‌ای ایجاد می‌کند که هسته را به‌طرف خود جذب می‌کند. انتهای دیگر هسته به فنری متصل است که سعی دارد آن را به عقب بکشد. مسافتی را که هسته طی می‌کند، به شدت میدان مغناطیسی بستگی دارد.

شدت میدان مغناطیسی به‌وسیله‌ی مقدار جریانی که از بوبین می‌گذرد تعیین می‌شود. در نتیجه، هر چه جریان بیش‌تر باشد، هسته بیش‌تر به داخل بوبین کشیده می‌شود. در روی محور گردنده یک عقربه سوار شده است که در طول یک صفحه‌ی مدرج برای نشان دادن مقدار جریان اندازه‌گیری شده منحرف می‌شود.



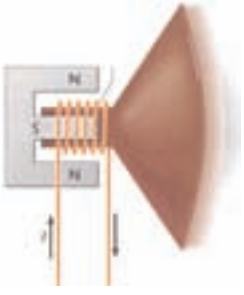
شکل ۴۱ــ۵ ــ دستگاه اندازه‌گیری الکتریکی

۶ــ آهن‌ربای صنعتی: از کاربردهای دیگر مغناطیس می‌توان آهن‌ربای صنعتی را نام برد. شکل ۴۲ــ۵ یک نمونه آهن‌ربای صنعتی را نشان می‌دهد.

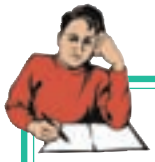
شکل ۴۲ــ۵

تحقیق کنید

در مورد ساختمان بلندگو و طرز کار آن تحقیق کرده و به کلاس گزارش دهید.



شکل ۴۳ــ۵



پرسش

۱ــ ذرات یا مولکول‌های مغناطیسی را تعریف کنید.
۲ ــ میدان الکترومغناطیسی چیست؟
۳ ــ خطوط فلو را تعریف کنید.
۴ــ تفاوت بین مغناطیس‌های دائمی و موقتی چیست؟
۵ ــ جهت میدان مغناطیسی اطراف یک هادیِ حامل جریان را کدام قانون تعیین می‌کند؟
۶ ــ بوبین یا سلونوئید چیست؟ در مورد میدان مغناطیسی چه عملی را انجام می‌دهد؟
۷ ــ قانون دست راست را برای سلونوئید بیان کنید.
۸ ــ چرا در الکترومغناطیس‌ها هسته به‌کار می‌برند؟ آیا هرگز از هسته‌های فولادی استفاده می‌کنند؟
۹ــ عوامل مؤثر در مقدار نیروی محرکه‌ی مغناطیسی چیست؟
۱۰ــ منظور از نقطه‌ی اشباع چیست؟
۱۱ــ قانون دست چپ در موتور را شرح دهید.
۱۲ــ تفاوت کلید قطع‌کننده‌ی مغناطیسی و فیوز چیست؟
۱۳ــ چگونه دستگاه اندازه‌گیری شدت جریان را اندازه می‌گیرد؟
۱۴ــ قانون دست راست در ژنراتور را شرح دهید.
۱۵ــ ساختمان زنگ اخبار الکترومغناطیسی DC را شرح دهید.