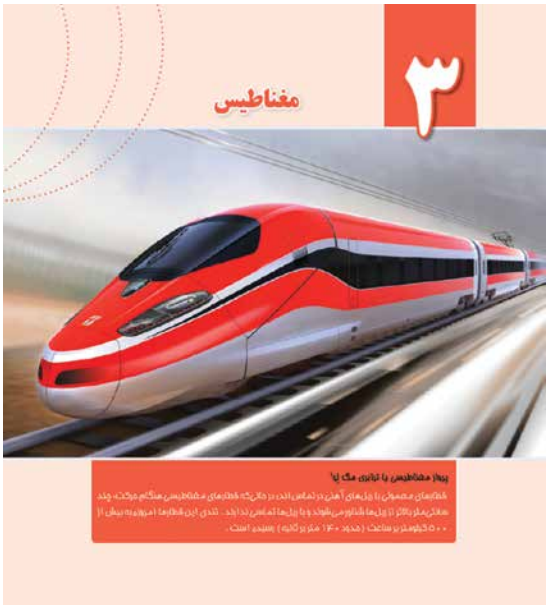
فصل سوم

مغناطیس

هدف‌های فصل

- آشنایی با مفهوم خاصیت مغناطیسی و میدان مغناطیسی، رسم و تعیین جهت خطوط میدان مغناطیسی
- آشنایی با مفهوم میدان مغناطیسی در اطراف کرهٔ زمین و پدیده‌های مربوط به آن.
- تعریف میدان مغناطیسی با استفاده از نیروی وارد بر ذرهٔ باردار متحرک در میدان مغناطیسی و حل مسئله‌های مربوط به آن
- آشنایی با نیروی وارد بر سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی و حل مسئله‌های مربوط به آن
- بررسی آثار مغناطیسی ناشی از جریان الکتریکی در خط راست، پیچه و سیم‌لوله و حل مسئله‌های مربوط به پیچه و سیم‌لوله
- آشنایی با نیروی بین سیم‌های موازی حامل جریان و تعیین جهت آن
- بررسی خاصیت مغناطیسی مواد و طبقه‌بندی و شناخت کاربردهای آن

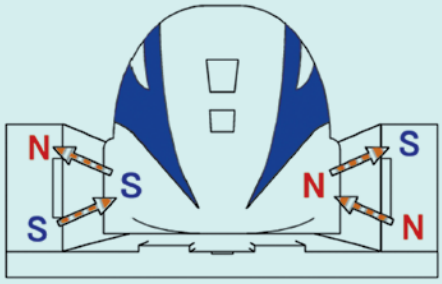


دانستنی برای معلم

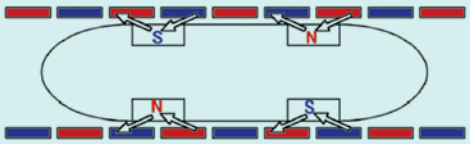
قطارهای مغناطیسی

قطارهای مغناطیسی که به اختصار به آنها Maglev می‌گویند (megnetic levitation) وسایل حمل‌ونقل سریع‌تر، آرام‌تر، نرم‌تر و با بازدهی بهتر انرژی نسبت به قطارهای معمولی هستند. دو نوع از این قطارها که در ژاپن و آلمان استفاده می‌شوند برای از بین بردن اصطکاک لغزشی، واگن‌ها در اثر نیروی رانش مغناطیسی روی بالشتکی از هوا قرار گرفته‌اند. در نوع ژاپنی برای ایجاد نیروی رانشی بر آهنرباهای قرار گرفته در زیر پایه‌های قطار از آهنرباهای الکتریکی ابررسانا استفاده می‌شود که در امتداد ریل موجود در کف دالان هدایت‌کنندهٔ قطار قرار گرفته‌اند. این نیرو قطار را بین ۱ تا ۱۰ سانتی‌متر بالاتر از ریل نگه می‌دارد.

واگن‌هایی که به این طریق از سطح زمین فاصله گرفته‌اند، با نیروی الکترومغناطیسی به جلو رانده می‌شوند. برای اعمال این نیروی جلوبر آهنرباهای الکتریکی دیگری در امتداد دیواره‌های واگن‌ها و دیواره‌های جانبی دالان تعبیه شده‌اند. این آهنرباها



الف



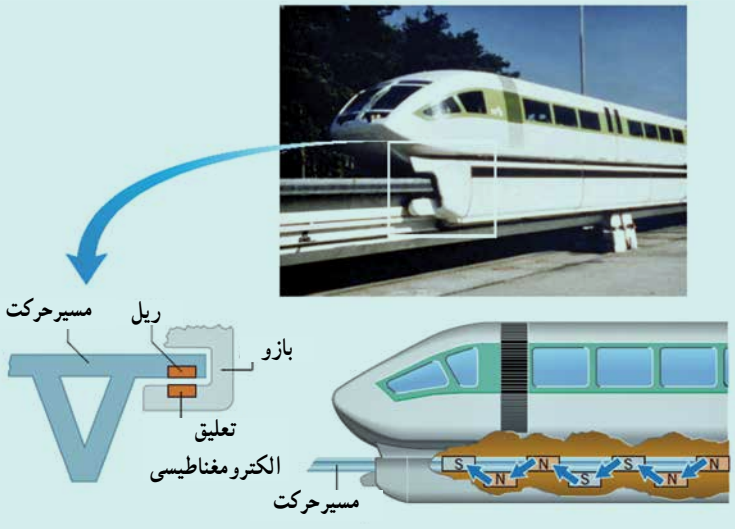
ب

هم باعث ثبات و هم هدایت قطار در طول سفر می‌شوند. جریان برقراری در سیم‌لوله‌های موجود در دیوارهٔ دالان راهبر قابل تغییر است. وقتی هم‌قدرت و هم‌جهت میدان آهنرباهای الکتریکی قابل تغییر باشد هم بتوانند به عنوان جلوبر عمل کنند و هم به عنوان ترمز. برای جلو راندن قطار جهت میدان‌های مغناطیسی در دیواره‌های راهبر متناوباً تغییر می‌کند تا بتواند آهنرباهای روی دیوارهٔ قطار را به جلو براند. در شکل الف واگن نسبت به دیواره‌ها در وضعیتی است که نیروهای رباشی و رانشی برآیندی رو به جلو دارند. وقتی واگن کمی جلوتر بیاید تا هر دو جفت N و S مقابل هم باشند نیروها مؤلفهٔ افقی نخواهند داشت ولی واگن به خاطر سرعتی که داشته از این وضعیت رد می‌شود و در همین لحظه قطب‌های آهنرباهای دیواره تغییر می‌کند

در غیر این صورت نیروها مؤلفهٔ افقی به سوی عقب پیدا می‌کرد اما با تغییر قطب‌ها باز هم نیروها مؤلفهٔ افقی رو به جلو خواهند داشت.

در این قطارها اصطکاک لغزشی سطوح تماس حذف شده و با طراحی شکل واگن‌ها اصطکاک هوا نیز به کمترین حد ممکن رسیده است. بنابراین قطارها می‌توانند با سرعتی حدود ۵۰۰ km/h حرکت کنند.

در نوع آلمانی که سرعتی در حدود ۴۰۰ km/h دارد مطابق شکل ب نیازی به دالان نیست و کابین قطار توسط بازوهای جانبی روی یک ریل راهبر به شکل $\overline{\vee}$ سوار می‌شود و با برقراری جریان در آهنرباهای الکتریکی موجود روی ریل و بازو و رباش بین آنها نیروی وزن کابین را خنثی می‌کند و قطار حدود ۱cm بالاتر از ریل قرار می‌گیرد. در این مدل نیز برای به جلو راندن قطار به مجموعهٔ آهنرباهای الکتریکی دیگری نیاز است که رباش و رانش‌های دو به دوی آنها می‌تواند هم تأمین‌کنندهٔ نیروی جلوبر و هم نیروی ترمز در صورت لزوم باشد.



راهنمای تدریس : افزون بر کاربردی که در شروع فصل به آن پرداختیم کاربردهای دیگری از آهنربا و مغناطیس در زندگی و فناوری وجود دارد که می‌توانید به برخی از آنها اشاره کنید و برخی را نیز می‌توانید به‌صورت فعالیت‌های فردی یا گروهی به دانش‌آموزان واگذار کنید. کاربرد آهنربا و مغناطیس در خودروها و در تصفیه آب از جمله فعالیت‌های پیشنهادی به دانش‌آموزان می‌تواند باشد.

کاربرد مغناطیس و آهنربا در جنبه‌های مختلف زندگی بشر، رشته‌ی روزافزون دارد. فراتر از یک قرن، ضبط صدا و تصویر روی محیط‌هایی انجام می‌گرفت که مغناطیس در آنها نقش اصلی داشت. اگرچه فناوری دیجیتال به میزان زیادی جایگزین ضبط مغناطیسی به شیوه‌های سنتی 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، بخچال‌ها، 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.

۳ـ۱ 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 دائمی خوانده می‌شود (شکل ۳ـ۱). چینی‌های باستان نیز با ویژگی‌های مغناطیسی برخی از سنگ‌های آهنربایی آشنایی داشتند و از آنها در ساخت قطب‌نما برای جهت‌یابی استفاده می‌کردند (شکل ۳ـ۲).

در علوم هشتم دیدید که هرگاه آهنربایی را درون ظرف محتوی براده آهن فرو ببریم، براده‌های آهن به مقدار زیادی جذب ناحیه‌های خاصی از آهنربا می‌شوند. این ناحیه‌ها را قطب‌های مغناطیسی یا قطب‌های آهنربا می‌نامند (شکل ۳ـ۳).

پرسش ۳ـ۱

فرض کنید دو میلهٔ کاملاً مشابه، یکی از جنس آهن و دیگری آهنربا در اختیار دارید. بااگفت‌وگو 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 ته گرد کشیده شود، سوزن نیز برای مدتی آهنربا می‌شود (شکل ۳ـ۴). 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.

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

۸۲

پرسش ۳ــ۱

این پرسش به‌صورت فعالیت ساده‌ای در مجموعه فیلم‌های مرتبط با آزمایش‌های فیزیک ۲ انجام شده است که می‌توانید آن را در سایت گروه فیزیک مشاهده کنید.

از آنجا که خاصیت مغناطیسی در وسط یک میلهٔ آهنربایی به حداقل ممکن می‌رسد می‌توان به سادگی میلهٔ آهنربایی و میلهٔ معمولی را از آن تشخیص داد. یکی از میله‌ها را به‌طور افقی در دست خود نگه می‌داریم و میلهٔ دیگری را به دو سر و وسط آن نزدیک می‌کنیم. اگر میله فقط از دو سر آن آویزان شود، و از وسط آن رها شود، نشان می دهد که میلهٔ افقی آهنرباست.

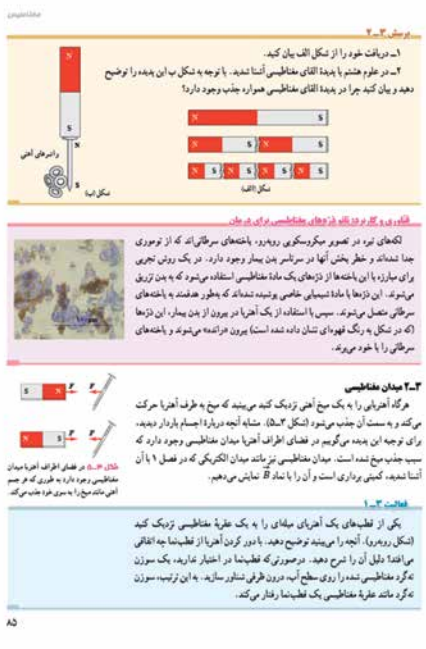
توجه

در شکل ۳ــ۴ باید توجه کنید که قسمتی از سوزن که پس از کشیده شدن آهنربا، از آن جدا می‌شود، قطب مخالف آهنربا در آن القا می‌شود.

پرسش ۳ــ۲

از آنجا که پدیدهٔ القای الکترومغناطیسی در علوم سال هشتم به دانش‌آموزان آموزش داده شده است، لذا در این پرسش صرفاً جهت یادآوری مروری بر این پدیده شده است.

در پرسش ۱، دانش‌آموزان باید به پدیدهٔ القای الکترومغناطیسی اشاره کنند و دلیل وصل شدن میخ و واشرهای آهنی را ناشی از این پدیده بدانند.



۳ــ۲ میدان مغناطیسی

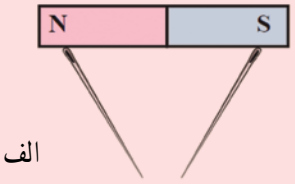
راهنمای تدریس : از آنجا که دانش‌آموزان در فصل اوّل به اندازهٔ کافی با مفهوم میدان الکتریکی و خطوط وابسته به آنها آشنا شده‌اند این بخش را با مشابهت‌سازی می‌توانید دنبال کنید.

پرسش پیشنهادی

نیروی مغناطیسی وارد بر عقربه مغناطیسی از طرف زمین، بزرگ‌تر، کوچک‌تر یا مساوی با نیروی مغناطیسی‌ای است که از طرف عقربهٔ مغناطیسی بر زمین وارد می‌شود؟

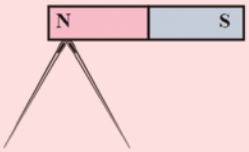
جواب : مساوی است.

پرسش پیشنهادی : الف) بگویید که چرا دو سوزن که به دو سر یک آهنربا آویزان باشند به یکدیگر متمایل می‌شوند؟



الف

ب) چرا انتهای دو سوزن که به یک قطب یک آهنربا آویزان باشند، یکدیگر را دفع می‌کنند؟

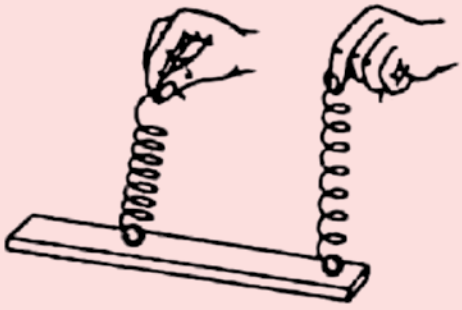


ب

پاسخ : الف) در اثر خاصیت القای مغناطیسی دو سر سوزن‌ها، قطب‌های مخالف می‌شوند و به طرف یکدیگر می‌آیند.

ب) دو انتهای سوزن‌ها قطب‌های همنام شده و یکدیگر را دفع می‌کنند.

فعالیت پیشنهادی

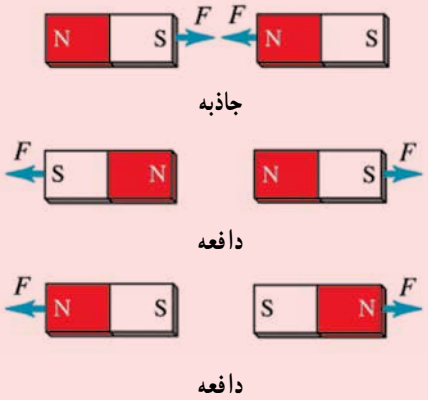


یک گوی آهنی را به یک طرف فنر مارپیچی وصل کنید. این گوی را به نقطه‌ای از سطح یک آهنربا تماس دهید و سپس با کشیدن فنر آن را جدا کنید. افزایش طول فنر به هنگام جدا کردن نشانهٔ نیروی لازم برای غلبه بر نیروی جاذبهٔ وارد بر گوی در نقطهٔ تماس با آهنربا است. گوی را در نقطه‌های دیگر (مثلاً در وسط آهنربا) قرار دهید مشاهده‌های خود را بیان کنید.

پاسخ : نیروی جاذبه در وسط آهنربا ضعیف و در دو سر آن قوی است زیرا افزایش طول فنر به هنگام جدا کردن گوی آهنی از آهنربا بیشتر است.

پرسش پیشنهادی

به شکل زیر به دقت نگاه کنید و آنچه را درک می‌کنید به‌صورت یک نقشهٔ مفهومی بنویسید.

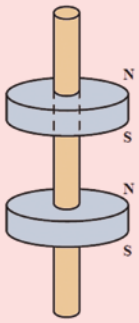


فعالیت پیشنهادی

چند آهنربای حلقه‌ای را مطابق شکل به گونه‌ای قرار داده‌ایم که شناور بمانند و به یکدیگر نچسبند :

۱ اگر قطب شمال آهنربای بالایی قسمت بالای آن باشد، قطب‌های مغناطیسی بقیه آهنرباها را مشخص کنید.

پاسخ :



شکل ۵

۲ با قرار دادن آهنرباهای حلقه‌ای، در داخل یک نی پلاستیکی فعالیت را انجام دهید.

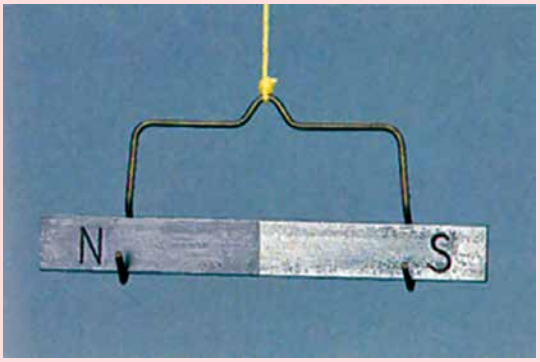
۳ نی و آهنرباهای داخل آن را در دستان خود به‌صورت افقی بگیرید چرا با حرکت دادن یکی از آهنرباها خواهید دید که بقیه آنها هم جابه‌جا می‌شوند؟

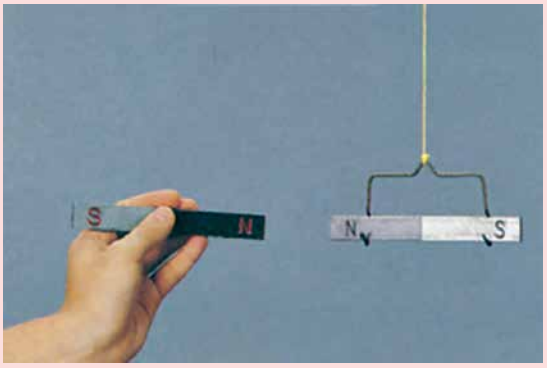
پاسخ : به دلیل نیروی دافعهٔ مغناطیسی بین قطب‌های همنام آهنرباها.

فعالیت پیشنهادی

هدف : برقراری رابطه بین مفاهیم نیروی مغناطیسی و قانون سوم نیوتون

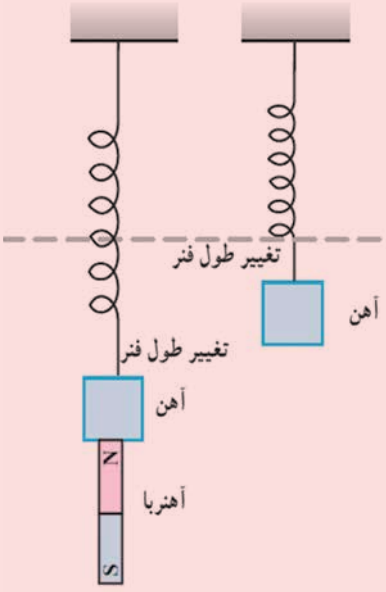
دو آهنربای میله‌ای را از وسط با دو تکه نخ آویزان می‌کنیم. بسته به قرار گرفتن قطب‌های ناهمنام و همنام در مجاور یکدیگر در دو حالتِ جذب و دفع، شکل آزمایش را بر روی کاغذ بکشید و جهت نیروهای مغناطیسی را با توجه به قانون سوم نیوتون رسم کنید.





فعالیت پیشنهادی

هدف : تشخیص نیروی گرانش و نیروی مغناطیسی و مقایسهٔ آنها



الف) مطابق شکل فنری را از یک طرف آویزان کنید. طول آن را اندازه بگیرید.

ب) قطعه‌ای آهنی را به انتهای آن بیاویزید و تغییر طول فنر را اندازه بگیرید.

پ) چه عاملی باعث تغییر طول فنر می‌شود؟

ت) یک آهنربای میله‌ای را از زیر، به تدریج به قطعهٔ آهنِ آویخته به فنر، نزدیک کنید. مشاهدات خود را بیان کنید.

ث) آهنربا را در دورترین فاصله‌ای قرار دهید که منجر به جذب قطعهٔ آهنی می‌شود و تغییر طول فنر را اندازه بگیرید.

ج) چه عاملی باعث افزایش تغییر طول فنر نسبت به حالت قبل شده است؟

پاسخ : پ) نیروی گرانش که از طرف زمین بر قطعهٔ آهنی وارد می‌شود.

ت) آهن به تدریج پایین کشیده می‌شود و جذب آهنربا می‌گردد، افزایش طول فنر را مشاهده می‌کنیم.

ج) نیروی مغناطیسی که علاوه‌بر نیروی گرانشی بر قطعهٔ آهنی وارد می‌شود.

فعالیت پیشنهادی

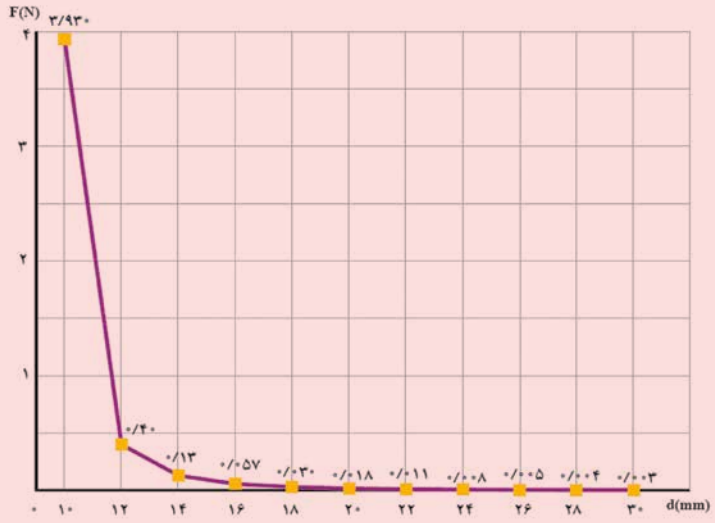
فعالیت پیشنهادی

نیروی دافعه بین دو قطب همنام دو آهنربا بر اساس فاصلهٔ آنها از یکدیگر اندازه‌گیری شده و در جدول زیر ثبت شده است.

نمودار نیروی مغناطیسی بر حسب فاصلهٔ دو قطب همنام دو آهنربا را رسم کنید (برای رسم نمودار می‌توانید از نرم‌افزار Excel استفاده کنیم)

جدول (۱)

فاصله d(mm)	نیرو F(N)
۱۰	۳/۹۳۰
۱۲	۰/۴۰
۱۴	۰/۱۳
۱۶	۰/۰۵۷
۱۸	۰/۰۳۰
۲۰	۰/۰۱۸
۲۲	۰/۰۱۱
۲۴	۰/۰۰۸
۲۶	۰/۰۰۵
۲۸	۰/۰۰۴
۳۰	۰/۰۰۳



پاسخ :

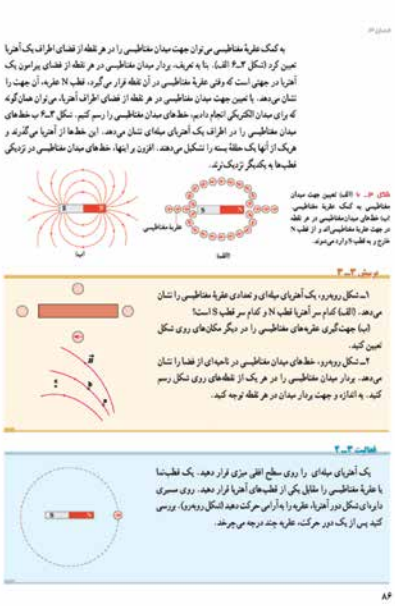
سپس از دانش‌آموزان می‌خواهیم تا نمودار نیروی مغناطیسی برحسب عکس مجذور فاصلهٔ دو قطب همنام دو آهنربا را رسم کنند و با توجه به شکل، نمودار F برحسب $\frac{۱}{d^۲}$ بیان کنند که آیا نمودار خط راست است؟ نتیجه را با نیروی بین دو بار الکتریکی برحسب مجذور گروه از یکدیگر (قانون کولن) مقایسه کنند.

برای مشاهدهٔ نحوهٔ انجام فعالیت ۳ـ۱ و همچنین فعالیت پیشنهادی مرتبط با شکل ۳ـ۶ می‌توانید به فیلم مرتبط با آزمایش‌های فیزیک ۲ مراجعه کنید (سایت گروه فیزیک).

پرسش ۳ــ۳

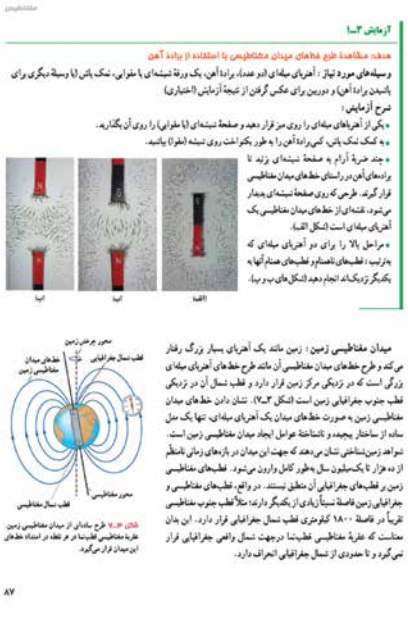
۱ــ با توجه به شکل ۳ــ۶ الف،دانش‌آموزان به سادگی می‌توانند جهت عقربه‌های مغناطیسی را در پرسش ۱ تعیین کنند.

۲ــ همان‌طور که اشاره کردیم چون دانش‌آموزان در فصل ۱ به اندازهٔ کافی با مفهوم میدان، خطوط میدان و ویژگی‌های آن آشنا شدند به سادگی می‌توانند به این پرسش پاسخ دهند. در این پرسش تنها سه خط از خطوط میدان رسم شده است و خط عبوری از نقطه c رسم نشده است (نکته‌ای که باید دوباره به دانش‌آموزان گوشزد شود). با توجه به فاصلهٔ خطوط از یکدیگر، اندازهٔ میدان به ترتیب بزرگی در نقطه‌های a، b و c است. به همین دلیل هنگام رسم بردار میدان $\vec{B}$، که باید بر خطوط مماس باشد، باید به اندازهٔ بردار $\vec{B}$ هم توجه کنند.



فعالیت ۳ــ۲

این فعالیت نیز به‌صورت فیلم‌های مرتبط با آزمایش‌های فیزیک ۲ در سایت گروه فیزیک موجود است که می‌توانید مشاهده کنید. در ضمن این فعالیت در کلاس درس نیز باید توسط دانش‌آموزان انجام شود و پس از انجام آن نتیجه را گزارش کنند. (پاسخ نهایی فعالیت : ۷۲۰ درجه).



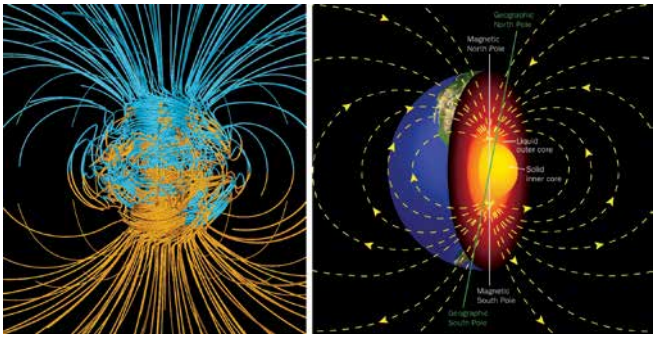
آزمایش ۳ــ۱

علاوه بر روشی که در آزمایش آمده است به روش دیگری که در مجموعه فیلم‌های مرتبط با آزمایش‌های فیزیک ۲ در سایت گروه فیزیک موجود است می‌توانید این آزمایش را به کمک دانش‌آموزان دنبال کنید.

میدان مغناطیسی زمین

در شکل ۳ــ۷ تنها مدل بسیار ساده از طرح خطوط میدان مغناطیسی در اطراف کرهٔ زمین نشان داده شده است. لازم است در این قسمت به این نکتهٔ مهم اشاره شود که در مشابهت‌سازی و ومدل‌سازی میدان مغناطیسی زمین با یک آهنربای میله‌ای، بسیار ساده ساده‌سازی شده است.

شکل‌های زیر مدل‌سازی کامل‌تری از خطوط میدان مغناطیسی در اطراف کرهٔ زمین را نشان می‌دهد.



توضیح در خصوص چند زاویهٔ مغناطیسی

زاویهٔ میل مغناطیس (**magnetic declination angle**) همان‌طور که در کتاب درسی نیز اشاره شده است چون محور مغناطیسی زمین با محور جغرافیایی آن (محور چرخش زمین) به‌طور کامل موازی نیست، در نتیجه خواندهٔ یک قطب‌نما تا حدودی از شمال جغرافیایی انحراف دارد. این انحراف که با مکان تغییر می‌کند **زاویه میل** مغناطیسی نامیده می‌شود. در برخی منابع برای این زاویه از عبارت **وردش مغناطیسی** (**magnetic variation**) نیز استفاده شده است.

همچنین میدان مغناطیسی در بشتر نقاط روی سطح زمین افقی نیست، زاویه آن به سمت بالا یا پایین را **شیب مغناطیسی** (**magnetic inclination angle**) می‌نامند.

در خصوص عبارت **زاویهٔ انحراف مغناطیسی** (**magnetic deviation angle**) نیز لازم به ذکر است که این عبارت تنها برای شرایطی به کار می‌رود که قطب‌نما در محلی استفاده شود که مقداری فلز در آنجا وجود داشته باشد (مانند کشتی). به دلیل برهمکنش میدان مغناطیسی زمین با فلز به کار رفته در کشتی، اندکی خطا یا انحراف در جهت‌گیری عقربه مغناطیسی و در نتیجه عددی که برای میل مغناطیسی گزارش می‌شود به وجود می‌آید.

آزمایش پیشنهادی

هدف : مشاهدهٔ راستای میدان مغناطیسی در فضای سه بعدی

برای مشاهدهٔ میدان مغناطیسی در فضای سه‌بعدی می‌توان از آهنربای میله‌ای که در محفظه‌ای پر شده از محلول گلیسیرین حاوی برادهٔ آهن است استفاده کرد. با قرار گرفتن آهنربای میله‌ای در این فضا با نگاه کردن به محفظه از جهت‌های مختلف خط‌های میدان مغناطیسی توسط براده‌های آهن در یک فضای سه‌بعدی نشان داده می‌شود.

براده‌های آهن بر روی منحنی‌هایی قرار می‌گیرند که این منحنی‌ها، خطوط میدان مغناطیسی هستند.

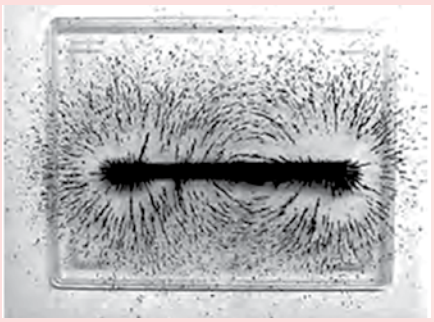
میدان مغناطیسی آهنربای میله‌ای در سه‌بعد

آزمایش پیشنهادی

روشی برای ثبت کردن طرح خط‌های میدان مغناطیسی روی کاغذ

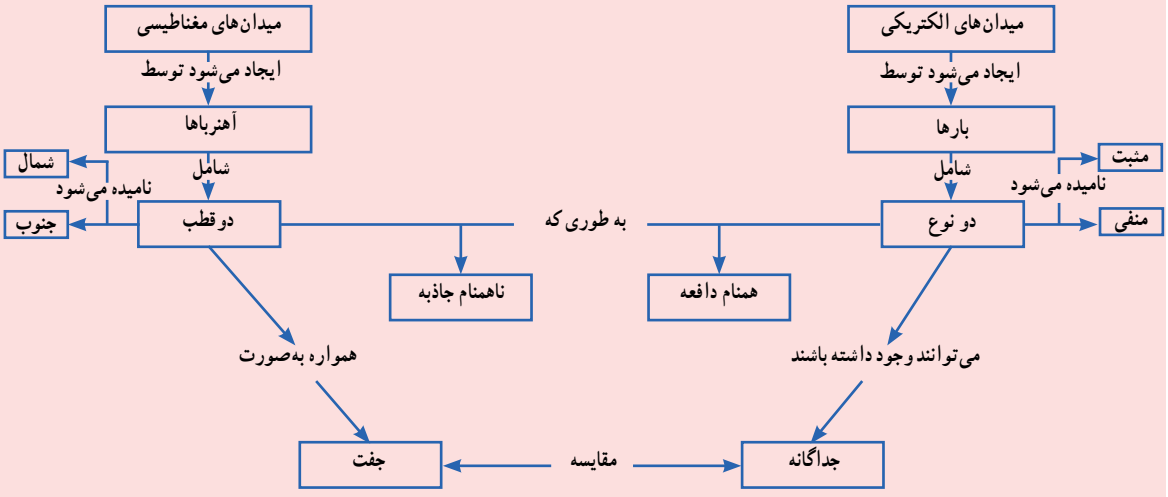
وسایل لازم : آهنربای میله‌ای ــ کاغذ یا مقوا ــ سینی پلاستیکی ــ موم یا شمع ــ نمک‌پاش و برادهٔ آهن

روش کار : کاغذ را موم‌اندود می‌کنیم، آهنربا را روی سینی و کاغذ را روی آن می‌گذاریم و روی آن براده می‌پاشیم تا شکل میدان مغناطیسی مشخص شود. به آرامی آهنربا را از زیر کاغذ خارج می‌کنیم و سینی را در محل گرم قرار می‌دهیم تا موم نرم شود و براده‌ها به آن بچسبد. بعد از سرد شدن طرح میدان روی کاغذ ثابت می‌ماند.



فعالیت پیشنهادی

نقشهٔ مفهومی زیر را به‌صورت یک متن سادهٔ فیزیکی بنویسید به طوری که این متن برای دانش‌آموزی که با این موضوع آشنایی ندارد، قابل فهم باشد.



فعالیت ۳ــ۳

این فعالیت با روش ساده و هوشمندانه‌ای در مجموعه فیلم‌های مرتبط با آزمایش‌های فیزیک ۲ انجام شده است و در سایت گروه فیزیک موجود است.

شکل‌های زیر چند نمونه شیب‌سنج را نشان می‌دهد که ممکن است در آزمایشگاه مدرسه شما نیز یک نمونه از آنها موجود باشد.

دانستنی برای معلم

میدان مغناطیسی زمین

نخستین‌بار سر ویلیام گیلبرت عنوان کرد که زمین آهنربای بزرگی است که قطب و استوای مغناطیسی دارد. در آن زمان تصور می شد که میدان مغناطیسی زمین ناشی از آهنربای بزرگ درون آن است. می‌دانیم، بخش درونی زمین به‌طور عمده از نیکل و آهن مذاب تشکیل شده که دمای آن دست کم حدود ۲۲۰۰ درجهٔ سلسیوس است و می‌تواند آزادانه از طریق هم‌رفت حرکت کند. در نتیجه ، این فرضیه که بخش درونی زمین به‌طور دائم مغناطیسی شده باشد، بعید است. از سوی دیگر، میدان مغناطیسی زمین کاملاً مانا نیست. قطب شمال مغناطیسی اکنون در شمال کانادا قرار دارد، ولی در طول سال‌ها دیده شده که این قطب به آهستگی حرکت می کند. علاوه‌بر این، خاصیت مغناطیسی مشاهده شده در صخره‌های آهن‌دار در پوستهٔ زمین نشان می‌دهد که گاهی جهت میدان مغناطیسی زمین به‌طور کامل وارون شده است. زمین و حداقل سه سیاره از چهار سیارهٔ منظومهٔ غول‌پیکر شمسی، دارای میدان مغناطیسی هستند. برای اینکه سیاره بتواند میدان مغناطیسی داشته باشد، لازم است دارای مرکز رسانای الکتریسیته باشد و به سرعت بچرخد؛ به طوری که مایع در آنها به چرخش درآید. کرهٔ ماه و کرهٔ مریخ مرکز مایع ندارند، بنابراین فاقد میدان مغناطیسی هستند.

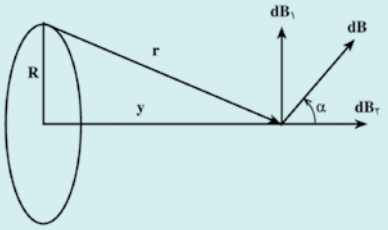
همهٔ شواهد این باور را تأیید می کنند که میداان مغناطیسی زمین به جای اینکه از آهنربای دائمی سرچشمه گرفته باشد، می‌تواند از جریان‌های الکتریکی که به دور هستهٔ نیکل ــ آهنی این سیاره می‌چرخند، به وجود آمده باشد. جریان الکتریکی در داخل زمین می‌تواند درست به‌گونهٔ جریانی که در یک پیچه برقرار است، میدان مغناطیسی ایجاد کند. اگر به دلیلی جهت این جریان الکتریکی تغییر کند، جهت میدان مغناطیسی نیز وارون خواهد شد.

دانستنی برای معلم

اندازه‌گیری میدان مغناطیسی زمین

یکی از روش‌های اندازه‌گیری میدان مغناطیسی زمین، اندازه‌گیری برآیند میدان زمین با میدان حاصل از یک سیم‌پیچ حامل جریان است. با کمک یک روش سادهٔ تجربی و استفاده از یک قطب‌نما و یک سیم‌پیچ، اندازهٔ میدان مغناطیسی زمین را می‌توان حساب کرد. هرگاه از حلقه‌ای شامل N دور سیم، جریان I عبور کند، میدان مغناطیسی در فاصلهٔ y از مرکز حلقه شکل زیر با کمک قانون بیوساوار به‌دست می‌آید :

$$B=\int dB_{۲}=\int dB\cos\alpha=\frac{\mu IR}{۴\mu r^{۳}}\int dI\Rightarrow B=\frac{\mu IR^{۲}}{۲r^{۳}}$$



اندازهٔ شدت میدان مغناطیسی حلقه برابر است با :

$$H=\frac{B}{\mu_{۰}}=\frac{IR^{۲}}{۲(R^{۲}+y^{۲})^{۳/۲}}\qquad(۱)$$

اگر N حلقه داشته باشیم، رابطهٔ ۱ به‌صورت زیر درمی‌آید :

$$H=\frac{NIR^{۲}}{۲(R^{۲}+y^{۲})^{۳/۲}}\qquad(۲)$$

در دستگاه گاوسی، رابطهٔ ۲ به‌صورت زیر در می‌آید :

$$H=\frac{۲\mu IR^{۲}N}{(R^{۲}+y^{۲})^{۳/۲}}\qquad(۳)$$

در این سیستم R و y برحسب سانتی‌متر، I برحسب آمپر و H برحسب گاوس است. جهت H با کمک قانون دست راست به‌دست می‌آید. یعنی اگر جریان در جهت انگشت شست دست راست باشد، جهت میدان در امتداد بسته شدن چهار انگشت دست راست خواهد بود. از آنجا که میدان مغناطیسی زمین در هر نقطه، به دو مؤلفهٔ افقی و قائم قابل تجزیه است، عقربهٔ مغناطیسی تحت‌تأثیر مؤلفهٔ افقی منحرف می‌شود. حال اگر از سیم پیچ جریان عبور کند، عقربهٔ مغناطیسی تحت تأثیر دو میدان که هر دو افقی هستند، قرار می‌گیرد. بدیهی است که در این حالت، عقربه در امتداد برآیند این دو میدان قرار می‌گیرد.

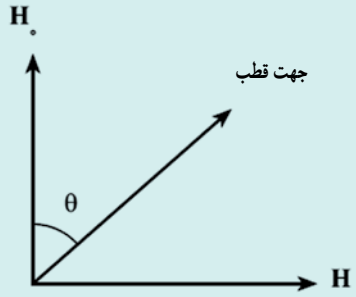
اگر عقربهٔ مغناطیسی را طوری قرار دهیم که جهت میدان مغناطیسی زمین عمود بر میدان حاصل از سیم‌پیچ آن باشد، آن‌گاه طبق شکل پایین می‌توان نوشت :

$$tg\theta=\frac{H}{H_{۰}}\qquad(۴)$$

با اندازه‌گیری θ و معلوم بودن مقدار H می‌توان $H_{\circ}$ را از رابطهٔ ۴ به‌دست آورد. چون میدان H را با عبور جریان از سیم‌پیچ تولید می‌کنیم، از رابطه‌های ۳ و ۴ داریم :

$$H = H_{\circ} tg\,\theta \Rightarrow \frac{2\mu N I R^{2}}{(R^{2}+y^{2})^{3/2}} = H_{\circ} tg\,\theta \qquad (۵)$$

$$\Rightarrow I = \frac{(R^{2}+y^{2})^{3/2}}{2\pi N I R^{2}} H_{\circ} tg\,\theta$$



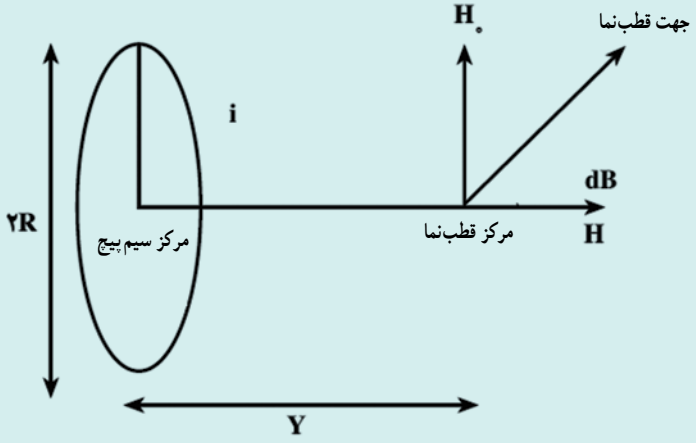
که می‌توان رابطهٔ ۵ را به‌صورت زیر نوشت :

$$I = m tg\theta \qquad (۶)$$

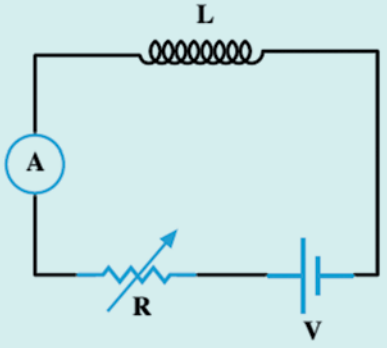
حال می‌توان نمودار I را برحسب $tg\theta$ رسم کرد. شیب‌خط حاصل یعنی m را اندازه گرفت و $H_{\circ}$ (شدت میدان مغناطیسی زمین) را به‌دست آورد :

$$H_{\circ} = \frac{2\pi N R^{2} m}{(R^{2}+y^{2})^{3/2}} \qquad (۷)$$

نحوهٔ انجام آزمایش : ابتدا قطب‌نما را روی میز آن‌قدر جابه‌جا کنید که قطب شمال آن تقریباً در راستای شمال ــ جنوب جغرافیایی قرار گیرد (برای این کار می‌توان آزمایش را روی زمین انجام داد تا از اثرات احتمالی میدان‌های میز آهنی بر قطب نما جلوگیری شود). سپس سیم‌پیچ را آن‌قدر حرکت دهید تا محور عمود بر سیم‌پیچ، بر قطب‌نما عمود باشد. شکل‌های (۱) و (۲) مدار آزمایش و نحوهٔ قرار گرفتن میدان‌ها را نشان می‌دهند.



شکل (۲)



شکل (۱)

در حالتی که جریان صفر است، باید جهت قطب‌نما در همان راستای شمال و جنوب باقی بماند. حال دامنهٔ آمپرمتر را روی ۱۰ آمپر قرار دهید و با تغییر درجهٔ منبع تغذیه و رئوستا، جریان‌های متفاوت را برقرار سازید و میزان انحراف عقربه را بخوانید و در جدول (۱) یادداشت کنید. برای اندازه‌گیری دقیق‌تر در هر مرحله، مقدار ۰/۱ آمپر به جریان‌های قبلی اضافه کنید. پس از اینکه برای هشت جریان اندازه‌گیری شده زاویهٔ θ را خواندید، برای کاهش خطای آزمایش، دوباره همان جریان‌ها را به وجود آورید و میزان انحراف را اندازه بگیرید (این کار را دو بار انجام دهید). سپس از θها میانگین بگیرید و نمودار I را برحسب $tg\theta$ رسم کنید و شیب آن را اندازه بگیرید.

نتیجه‌های تجربی به‌دست آمده در آزمایشگاه : قطر داخلی سیم‌پیچ برابر ۴/۵ سانتی‌متر و قطر خارجی آن ۶/۵ سانتی‌متر است. بنابراین برای به‌دست آوردن قطر سیم‌پیچ، میانگین دو عدد را به‌دست می‌آوریم :

$$\text{قطر}\ \frac{۶/۵+۴/۵}{۲}=\frac{۱۱}{۲}=۵/۵\Rightarrow R=۲/۷۵\,\text{cm}$$

با توجه به شکل ۲ در صفحه قبل، فاصلهٔ مرکز حلقه تا قطب‌نما را در آزمایشی که برقرار شد، ۱۰/۴ سانتی‌متر گرفتیم و N هم برابر ۱۰۰۰ دور است. مقادیر به‌دست آمده را در جدول (۱) ثبت کرده‌ایم که در آن I برحسب میلی‌آمپر است. حال اگر نمودار I برحسب θ را رسم کنیم، شیب آن معرف m است. از طرف دیگر، برای به دست آوردن $H_\circ$ باید شیب‌خط یعنی همین m را داشته باشیم :

$$m=\frac{۱/۱۹-۰/۸۴}{۵۰-۳۵}=\frac{۰/۳۵}{۱۵}=۰/۰۲۳$$

و به این ترتیب میدان مغناطیسی محل مورد آزمایش در سیستم گاوسی به دست می‌آید :

$$H_\circ=\frac{۲\pi NR^۲m}{(R^۲+y^۲)^{۳/۲}}=\frac{۲\pi(۱۰۰۰)(۲/۷۵)^۲(۰/۰۲۳)}{\left((۲/۷۵)^۲+(۱۰/۴)^۲\right)^{۳/۲}}=۰/۸۷$$

جدول ۱

I	۱۰۴	۹۳	۵۰	۳۷	۳۵	۲۷/۲	۱۲	۱۶/۵	۱۰/۳
θ	۷۰	۶۰	۵۰	۴۰	۴۰	۳۰	۱۵	۲۰	۱۰
$tg\theta$	۲/۷۵	۱/۷۳	۱/۱۹	۰/۸۴	۰/۸۴	۰/۵۸	۰/۲۷	۰/۳۶	۰/۱۸

اندازه‌گیری میدان مغناطیسی در هر نقطه

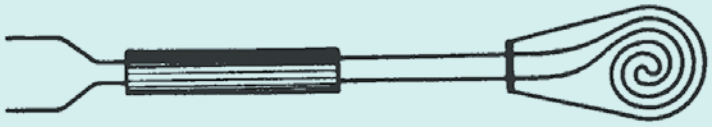
یکی از وسایل اندازه‌گیری میدان‌های مغناطیسی، سوزن مغناطیسی است که از رشتهٔ کشسانی آویزان است و اساس کار آن شبیه ترازوی پیچشی کولن است. برای اندازه‌گیری زاویه‌های پیچش رشته صفحهٔ مدرجی در بالا به آن نصب شده است و محل نوک‌های سوزن با کمک درجه‌ها روی استوانهٔ بیرونی معین می‌شود. در این دستگاه سوزن فقط وقتی در تعادل است که گشتاور نیروی حاصل از میدان برابر و مخالف گشتاور نیروی رشتهٔ پیچیده باشد. اگر سوزن در امتداد مغناطیسی سمت‌گیری کرده باشد ($\alpha = ۰$) یعنی گشتاور صفر و رشته نباید پیچیده باشد.

با پیچش رشته به اندازهٔ زاویهٔ معین، می‌توان برای هر سمت‌گیری سوزن به تعادل رسید. گشتاور نیروی وارد بر رشته با محاسبات یا درجه‌بندی اولیهٔ وسیله از روی زاویهٔ پیچش معین می‌شود. پس می‌توانیم بیشترین نیرو که به ازای $\alpha = ۹۰^\circ$ است را به‌دست آوریم. یعنی مکانی را تعیین کنیم که در آن راستای سوزن بر راستای میدان مغناطیسی عمود باشد.

ساخت این نوع مغناطیس‌سنج ایستا مشکل نیست ولی به اندازهٔ کافی حساس و دقیق نیستند. پس در بسیاری موارد بهتر این است که گشتاور نیروی وارد بر سوزن مغناطیسی با مشاهدهٔ نوسان‌های سوزن اندازه‌گیری شود.

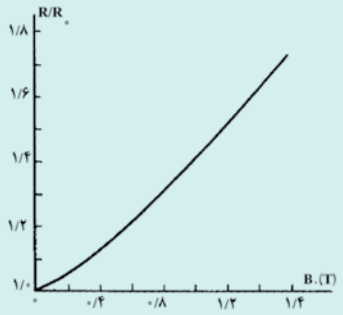
یک سوزن مغناطیسی که در میدان مغناطیسی از موضع تعادل خود تغییر مکان داده باشد، حول آن نقطه نوسان می‌کند. اگر جرم سوزن زیاد و در معرض اصطکاک ناچیز باشد قبل از توقف چندین نوسان می‌کند. بنابراین دورهٔ نوسان‌ها را می‌توان با دقت اندازه‌گیری کرد. محاسبات نشان می‌دهد که هرچه گشتاور نیروی وارد بر سوزن بزرگ‌تر، یعنی هرچه میدان قوی‌تر باشد دورهٔ نوسان‌ها کمتر است. پس با مقایسهٔ دوره‌های نوسان برای سوزنی در میدان‌های مختلف می‌توان به‌طور قابل اطمینانی مقادیر میدان‌های متفاوت را مقایسه کرد. این مغناطیس‌سنج‌های دینامیکی برای اندازه‌گیری میدان‌های ضعیفی نظیر میدان مغناطیسی زمین با موفقیت به‌کار رفته‌اند.

بزرگی میدان مغناطیسی را به کمک پدیده‌های دیگری هم می‌توان اندازه گرفت. مثلاً با توجه به اینکه مقاومت الکتریکی بیسموت بر اثر میدان تغییر می‌کند می‌توان مغناطیس‌سنج ساخت. مارپیچ مسطحی که از سیم بیسموت ساخته شده است در میدان مغناطیسی بررسی می‌شود و مقاومت آن در درون و خارج میدان اندازه‌گیری می‌شود. می‌توان از تغییر مقاومت سیم دربارهٔ بزرگی میدان داوری کرد. طبیعی است باید مارپیچ بیسموت را با قرار دادن در میدان‌هایی با بزرگی معلوم ابتدا مدرج کنیم. مارپیچ‌های بیسموت را برای اندازه‌گیری میدان‌های قوی که بزرگی آنها هزاران برابر میدان مغناطیسی زمین است به‌کار می‌برند.



مارپیچ بیسموت

مثال : در نمودار شکل زیر R مقاومت بیسموت در میدانی به بزرگی B و $R_{\circ}$ مقاومت آن در خارج میدان انتخاب شده است.



شکل (۹۷)

با استفاده از نمودار بزرگی میدانی را تعیین کنید که مقاومت مارپیچ بیسموت در آن ۲۶Ω و در خارج آن ۲۰Ω است.

پاسخ :

$$R / R_{\circ} = \frac{۲۶}{۲۰} = ۱/۳$$

$$R = ۲۶\Omega$$

$$R_{\circ} = ۲۰\Omega$$

با توجه به نمودار $B = ۰/۸\mathrm{T}$ است.

۳ــ۳ نیرویی وارد بر ذرهٔ باردار در میدان مغناطیسی

راهنمای تدریس : در این قسمت دانش‌آموزان باید افزون بر آشنایی با تعیین جهت نیرویی وارد بر ذرهٔ باردار متحرک در حضور میدان مغناطیسی $\vec{B}$ ، با محاسبهٔ اندازهٔ این نیرو که در رابطهٔ ۳ــ۱ آمده است با حل تمرین‌های مختلف آشنا شوند.

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

آزمایش نشان می‌دهد که اگر ذرهٔ 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 ۳ــ۱ الف بر راستای سرعت و میدان مغناطیسی عمود است. این نیرو را نیروی مغناطیسی می‌نامند و جهت آن، مطابق شکل ۳ــ۱ ب و پ به کمک قاعدهٔ دست راست تعیین می‌شود. اگر دست راست خود را طوری نگه دارید که انگشتان باز شدهٔ ما در جهت $\vec{v}$ باشد، 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، انگشت شست ما در جهت نیروی وارد بر ذرهٔ باردار، مثبت خواهد بود. توجه کنید که نیروی وارد بر بار منفی، در خلاف جهت نیروی وارد بر بار مثبت است.

شکل ۳ــ۱ الف) q ذرهٔ باردار و $\vec{v}$ سرعت آن 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 :

$$F = |q| v B \sin\theta \qquad (۱ــ۳)$$

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 ۳ــ۱ ب).

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

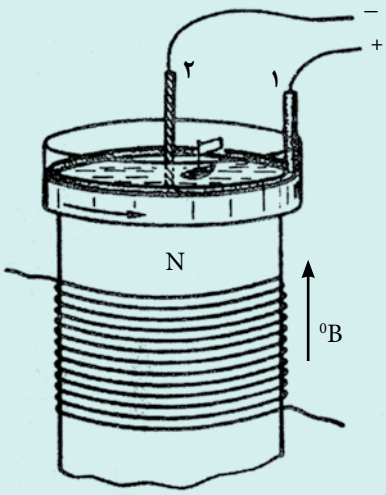
$$\text{یکای SI میدان مغناطیسی} = \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{C.m/s}} = \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{A.m}}$$

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

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

آزمایش اثر میدان مغناطیسی بر بار الکتریکی متحرک

شکل زیر ظرف پر از محلول الکترولیتی را نشان می‌دهد. دو الکترود، یعنی حلقهٔ ۱ و میلهٔ ۲ به قطب‌های باتری (منبع تغذیه) متصل شده‌اند. در الکترولیت جریان از الکترود ۱ به سوی ۲ برقرار می‌شود، یعنی یون‌ها در امتداد شعاع‌های ظرف حرکت می‌کنند. ظرف را بالای یکی از قطب‌های آهنربا قرار می‌دهیم، به‌گونه‌ای که میدان مغناطیسی در راستای قائم و به طرف بالا باشد و با راستای حرکت یون‌ها زاویهٔ ۹۰° بسازد. نیروهای وارد بر بار الکتریکی متحرک می‌خواهند، یون‌ها را در امتداد پیکان در صفحهٔ افقی در دایره‌هایی، عمود بر شعاع‌های ظرف جابه‌جا کنند به‌طوری که از حرکت شناور می‌توان دید همه الکترون‌ها در آن جهت حرکت می‌کند. بر این اساس طرح آزمایشی به شرح زیر تنظیم شده است.



الف) وسایل آزمایش :

۱ منبع تغذیه، صفر تا ۲۴ ولتی dc و سیم‌های رابط

۲ سیم‌پیچ، حداقل ۸۰۰ الی ۱۲۰۰ دور همراه با هستهٔ آهنی مناسب

۳ یک ظرف شیشه‌ای استوانه‌ای شکل به ارتفاع تقریبی ۵cm و قطر ۱۰cm

۴ میله‌های فلزی رسانا که به انتهای یکی از آن دو یک حلقهٔ رسانا به قطر تقریبی ۸cm لحیم شده باشد.

۵ پایه، گیره، میله رابط

۶ کات کبود یا سولفات مس ($CuSO_4$) محلول در آب با غلظت مناسب

ب) دستور کار

۱ ابتدا محلول $CuSO_4$ (کات کبود) با غلظت مناسب تهیه و در ظرف شیشه‌ای می‌ریزیم.

۲ هستهٔ آهنی را درون سیم‌پیچ قرار می‌دهیم و سیم‌پیچ را به منبع تغذیه dc متصل می‌کنیم (با تماس یک قطعهٔ فلزی به هستهٔ آهنی، میدان مغناطیسی را آزمایش می‌کنیم و در صورت نیاز آن را تقویت می‌کنیم).

۳ ظرف شیشه‌ای محتوی محلول را مطابق شکل روی سطح هستهٔ آهنی و سیم‌پیچ قرار داده و دو میلهٔ فلزی را با گیره درون ظرف قرار می‌دهیم و آن را به دو قطب مثبت و منفی منبع تغذیهٔ dc وصل می‌کنیم (کاتد و آند)

۴ پس از اطمینان از کامل شدن طرح و صحت مدار منبع را به برق شهر متصل و آزمایش را شروع می‌کنیم (اتصال دو میلهٔ فلزی درون محلول بایستی به‌طور موازی با اتصال دو سر سیم‌پیچ به منبع تغذیه متصل و در صورت لزوم در مسیر هر کدام یک مقاومت متغیر (رئوستا) قرار گیرد تا جریان ورودی برای هر قسمت کنترل و قابل تغییر باشد).

پ) موارد بررسی

۱ مشاهدهٔ چرخش محلول الکترولیت در ظرف شیشه‌ای و توجیه علت چرخش. مطابق شکل بالا به دلیل حلقوی بودن کاتد ــ حرکت بارها در راستای شعاع این حلقه خواهد بود و چون جهت میدان عمود بر سطح دایرهٔ این حلقه است، جهت اعمال

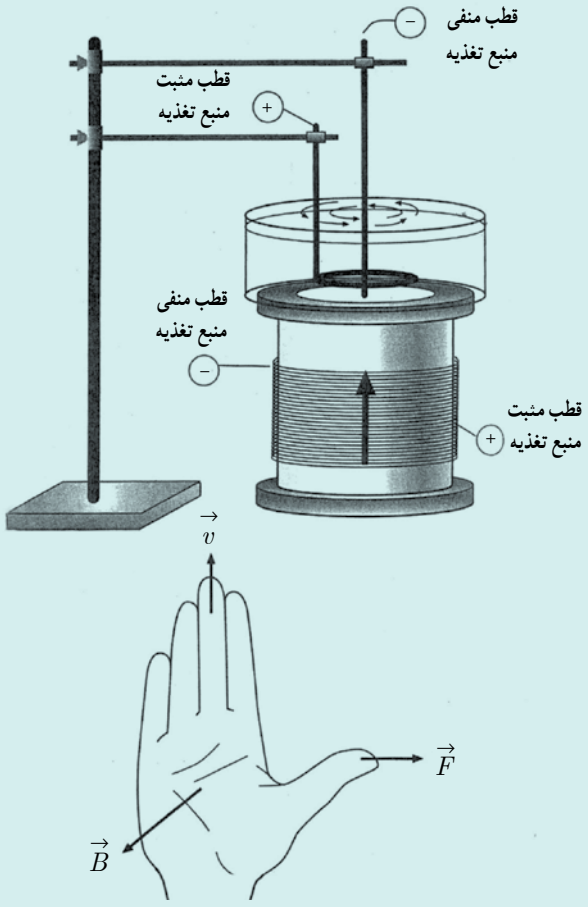
نیرو به‌صورت مماس بر دایره است و مجموعهٔ این نیروها باعث چرخش می‌شود. (برای مشاهده بهتر چرخش، تعدادی قایق کاغذی کوچک بر سطح محلول شناور کنید)

۲ با تغییر ورودی میله‌ها یعنی عوض کردن مثبت و منفی (تغییر جهت $\vec{v}$) و با تغییر ورودی سیم‌لوله (تغییر جهت $\vec{B}$) تغییرات جهت چرخش را مشاهده و در هر مورد قانون دست راست و رابطهٔ $F = qvB\sin\theta$ را بررسی کنید.

۳ با تغییر در شدت جریان ورودی به سیملوله (تغییر اندازهٔ B) و با تغییر در شدت جریان ورودی به میله‌ها، تغییرات سرعت چرخش را مشاهده و تغییر در بزرگی F را بررسی کنید.

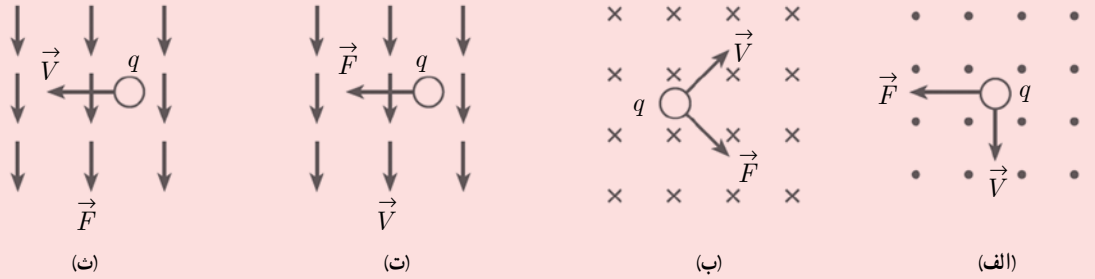
۴ با استفاده از حلقه‌های ورودی جریان، با شعاع‌های مختلف می‌توان فاصله‌های کاتد و آند را کم و زیاد کنیم و در نتیجه سرعت واکنش را تغییر دهیم و نقش آن را در بزرگی F بررسی می‌کنیم.

۵ می‌توان به جای $CuSO_4$ از محلول‌های الکترولیت دیگری نیز استفاده کرد که بزرگی یون‌ها q با Cu^{+4} و SO_4^{-2} تفاوت داشته و نقش بزرگی بار، در بزرگی F را بررسی نمود.

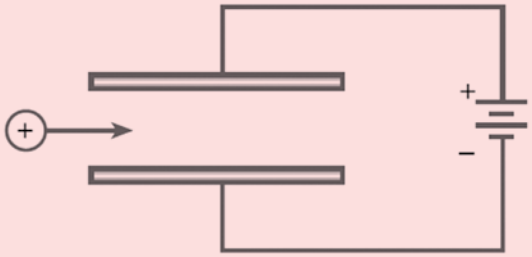


پرسش پیشنهادی

۱ در هر یک از حالت‌های شکل زیر جهت حرکت $\vec{V}$، جهت میدان مغناطیسی یکنواخت $\vec{B}$ و جهت نیروی وارد بر بار q (مثبت یا منفی) نشان داده شده است. نوع بار q را در هر حالت با علامت + یا − مشخص کنید.



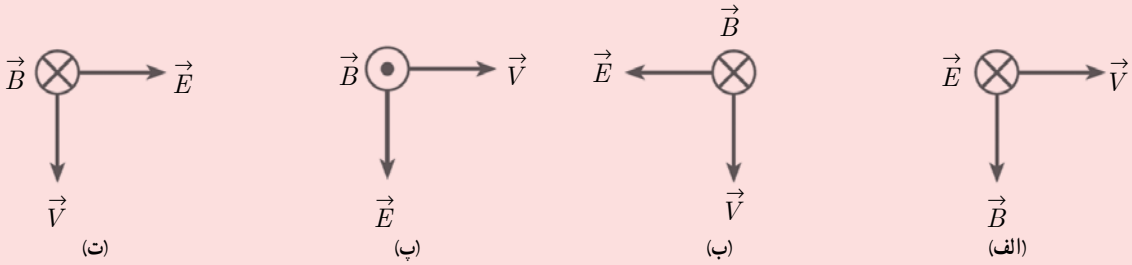
۲ **یون مثبتی مطابق شکل روبه‌رو به فضای بین صفحه‌های خازن مسطحی پرتاب می‌شود.**



الف) جهت نیروی الکتریکی وارد بر این یون را رسم کنید.

ب) میدان مغناطیسی یکنواخت $\vec{B}$ باید در چه جهتی اثر کند تا نیروی مغناطیسی وارد بر یون برخلاف جهت نیروی الکتریکی باشد؟ روی شکل جهت $\vec{B}$ را رسم کنید.

۳ یک دسته الکترون در فضایی که در آن میدان‌های یکنواخت $\vec{E}$ و $\vec{B}$ برقرارند با سرعت $\vec{V}$ حرکت می‌کند. اگر الکترون‌ها در مسیر مستقیم حرکت خود را حفظ کنند، کدام گزینه وضعیت $\vec{V}$ و $\vec{E}$ و $\vec{\ }$ را درست نشان می‌دهد؟



تمرین ۳ــ۱

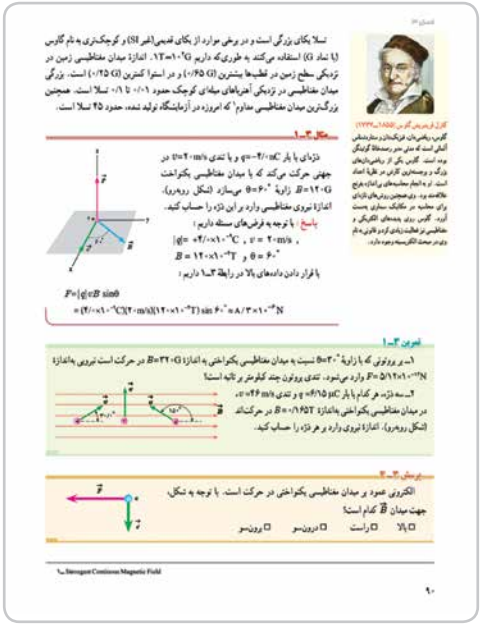
۱ $\theta = ۳۰^\circ$, $B = ۳۲۰\,\mathrm{G} = ۳/۲۰ \times ۱۰^{-۲}\,\mathrm{T}$

$F = ۵/۱۲ \times ۱۰^{-۱۴}\,\mathrm{N}$, $v = ?$

$F = qvB\sin\theta$

$۵/۱۲ \times ۱۰^{-۱۴}\,\mathrm{N} = (۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}\,\mathrm{C})\, v\, (۳/۲۰ \times ۱۰^{-۲}\,\mathrm{T})\sin ۳۰^\circ$

$\Rightarrow v = ۲/۰ \times ۱۰^{۷}\,\mathrm{m/s}$



پرسش ۳ــ۴

با توجه به قاعدهٔ درست و با توجه به این که بار الکترون منفی است، جهت میدان $\vec{B}$ به‌صورت درون‌سو است.

۳ــ۴ نیروی مغناطیسی وارد بر سیم حاوی جریان

راهنمای تدریس

از آنجا که دانش‌آموزان در علوم هشتم با موتورهای الکتریکی و همچنین در بخش قبل با نیروی مغناطیسی وارد بر ذرهٔ باردار متحرک درون میدان مغناطیسی آشنا شده‌اند، لذا توجه دانش‌آموزان به طرح سادهٔ موتور الکتریکی در شکل ۳ــ۱۱ می‌تواند شروع مناسبی برای این بخش باشد. دانش‌آموزان باید به جهت حرکت حامل بار درون سیم رسانا، قطب‌های باتری و جهت میدان $\vec{B}$ که حلقهٔ رسانا درون آن قرار دارد توجه کنند. این شکل به کمک آزمایش، در مجموعه فیلم‌های مرتبط با آزمایش‌های فیزیک ۲ نیز انجام شده است که در سایت گروه فیزیک می‌توانید مشاهده کنید.

آزمایش ۳ــ۲

این آزمایش را هم به کمک روشی که در کتاب درسی آمده است می‌توانید انجام دهید (در صورت داشتن وسایل مشابه) یا می‌توانید با وسایل ساده‌تری مطابق آزمایشی که در مجموعه فیلم‌های مرتبط با آزمایش‌های فیزیک ۲ انجام شده است دنبال کنید. (شکل زیر).

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:

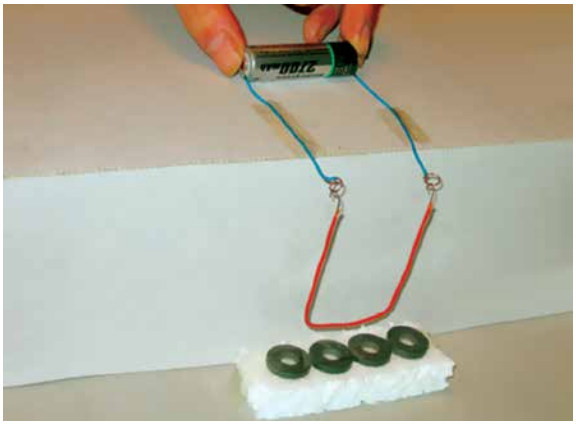
- مداری مطابق شکل الف ببندید تا جریان از سیم مسی بگذرد. آنچه را که مشاهده می‌کنید، در گروه خود به بحث بگذارید.
- در صورتی که وسیله‌ای مشابه شکل ب را در آزمایشگاه مدرسه در اختیار دارید می‌توانید از آن استفاده کنید.
- مدار را قطع کنید و جهت جریان را تغییر داده و مراحل بالا را دوباره انجام دهید.
- نتیجهٔ 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 و آرایش داده شده است. اینجا قاعدهٔ دست راست برای تعیین جهت نیروی مغناطیسی وارد بر سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی نشان داده شده است.

۹۲



برای بررسی رابطهٔ ۳ــ۳، آزمایشی پیشنهاد می‌شود (شکل زیر) که شرح کامل آن را به همراه اجرا می‌توانید در مجموعه فیلم‌های مرتبط با آزمایش‌های فیزیک ۲ در سایت گروه فیزیک مشاهده کنید.

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

آزمایش‌های 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 :

$$F = IlB\sin\theta \qquad (۳ــ۳)$$

در این رابطه l طول بخشی از سیم رسانائست که در میدان مغناطیسی یکنواخت B قرار دارد. زاویه‌ای را که امتداد سیم با خطوط میدان مغناطیسی می‌سازد با θ نشان داده‌ایم (شکل ۳ــ۱۲).

پرسش ۳ــ۵

اگر در شکل ۳ــ۱۲ سیم حامل جریان در امتداد میدان مغناطیسی قرار گیرد، نیروی مغناطیسی وارد بر آن چقدر خواهد بود؟ در چه حالتی بزرگی این نیرو بیشینه می‌شود؟

مثال ۳ــ۲

یک سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی یکنواختی به بزرگی ۲۰۰G در راستایی قرار دارد که با جهت میدان زاویهٔ ۳۰° 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 :

$B = ۲۰۰\times۱۰^{-۴}\,T$ ، $\theta = ۳۰°$ ، $I = ۵/۰A$ و $l = ۱/۰m$

با قرار دادن داده‌های بالا در رابطهٔ ۳ــ۳ داریم :

$F = IlB\sin\theta = (۵/۰A)(۱/۰m)(۲۰۰\times۱۰^{-۴}T)\sin۳۰° = ۰/۱۰N$

تمرین ۳ــ۲

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.

$\vec{B}$ (میدان مغناطیسی زمین در نظر شما)

فعالیت ۳ــ۲

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.

۹۳

پرسش ۳ــ۵

با توجه به فرض پرسش، سیم حامل جریان در جهت میدان مغناطیسی قرار می‌گیرد، در این صورت $\theta = ۰$ و در نتیجه $\sin\theta = ۰$ و نیرویی بر سیم حامل جریان از طرف میدان $\vec{B}$ وارد نمی‌شود. اگر راستای سیم حامل جریان عمود بر میدان $\vec{B}$ قرار گیرد، در این صورت $\theta = ۹۰°$ و $\sin۹۰° = ۱$ خواهد بود و در نتیجه نیروی وارد بر سیم حامل جریان از طرف میدان $\vec{B}$ بیشینه است.

تمرین ۳ــ۲

$l = ۲/۴m$, $I = ۲/۵A$, $B = ۰/۴۵G$, $V = ۹۰°$

$$F = IlB\sin\theta = (۲/۵A)\,(۲/۴m)$$

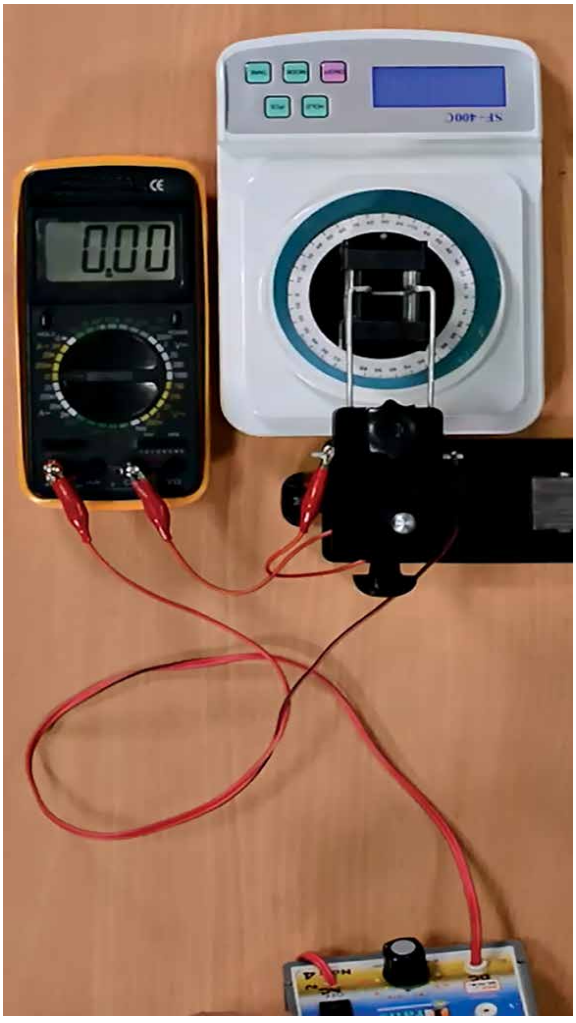
$$(۰/۴۵\times۱۰^{-۴}\,T)\sin۹۰°$$

$$F = ۲/۷\times۱۰^{۴}\,N$$

با توجه به شکل داده شده در تمرین، جهت نیروی مغناطیسی درون صفحه و روبه پایین صفحه خواهد بود.

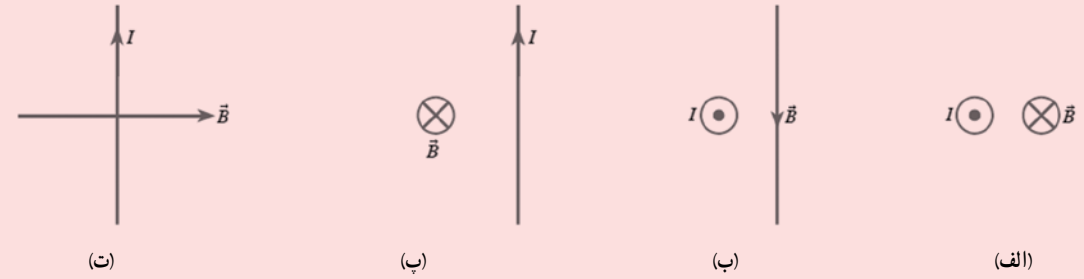
فعالیت ۳ــ۴

طرح آزمایش مرتبط با این فعالیت را می‌توانید در مجموعه فیلم‌های مرتبط با آزمایش‌های فیزیک ۲ مشاهده کنید. شکل روبه‌رو نمای روبه بالایی از وسایل به‌کار رفته در این آزمایش را نشان می‌دهد.

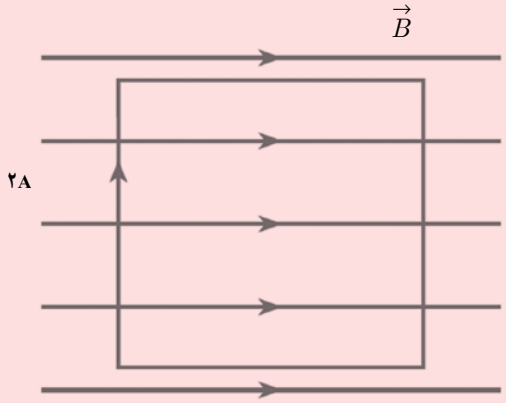


پرسش پیشنهادی

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



(الف) (ب) (پ) (ت)

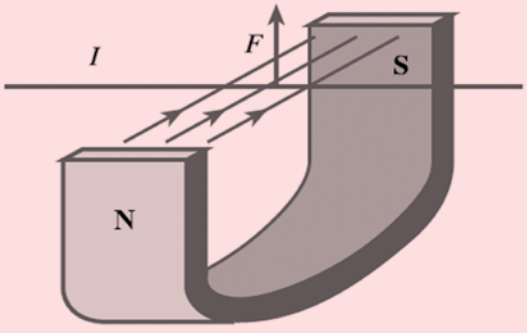


حلقه‌ای مربع شکل از سیم رسانا حامل جریان $2A$ است. این حلقه مطابق شکل روبه‌رو در میدان مغناطیسی یکنواختی به بزرگی $10mT$ واقع است به‌طوری که دو ضلع حلقه در امتداد میدان قرار دارند. طول هر ضلع مربع را $20cm$ در نظر بگیرید.

الف) جهت نیروی الکترومغناطیسی وارد بر هر ضلع حلقه در کدام جهت است؟

ب) بزرگی برآیند نیروی وارد بر حلقه چه‌قدر است؟

با توجه به جهت نیروی وارد بر سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی شکل زیر، جهت جریان را در سیم تعیین کنید.



۳ــ۵ میدان مغناطیسی حاصل از جریان الکتریکی

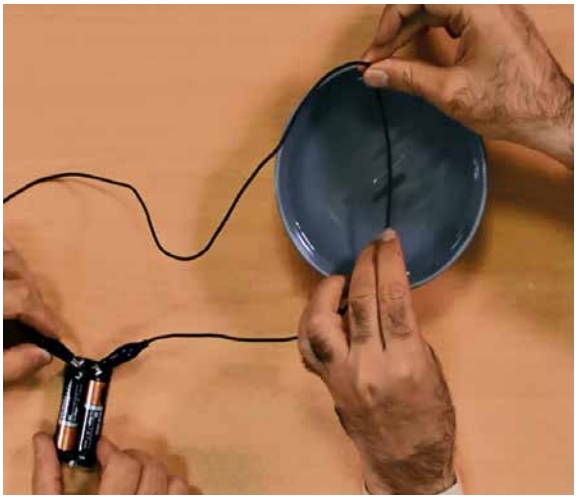
راهنمای تدریس : تا اینجا مقدمات لازم برای بررسی میدان مغناطیسی حاصل از جریان الکتریکی در بخش‌های قبل بررسی شده است. لذا ضرورت دارد که دانش‌آموزان آشنایی و تسلط کافی به محتوای بخش‌های قبلی داشته باشند. انجام آزمایش اورستد را که به نوعی آثار مغناطیسی جریان الکتریکی را نشان می‌دهد، می‌توان به شکل‌های مختلفی انجام داد که در مجموعه فیلم‌های مرتبط با آزمایش‌های فیزیک ۲ موجود است و از طریق سایت گروه فیزیک می‌توانید آنها را مشاهده کنید. بنابراین پس از اشاره مختصری در خصوص این آزمایش و زمینه‌های تاریخی آن، شرایط را برای فعالیت گروهی دانش‌آموزان و انجام این آزمایش فراهم کنید.

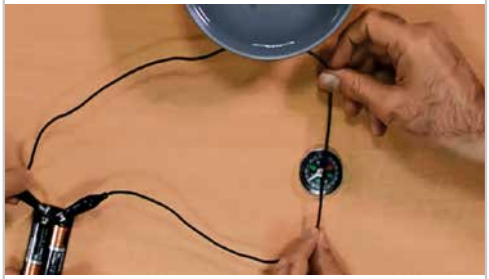
۳ــ۵ میدان مغناطیسی حاصل از جریان الکتریکی

تا اینجا بی بردیم که در فضای اطراف آهن‌رباهای دائمی میدان مغناطیسی وجود دارد. در ادامهٔ این فصل با جنبه‌های 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.

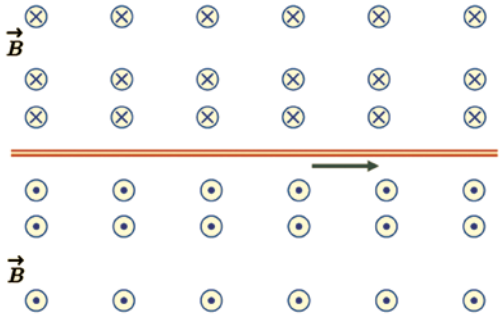
شکل ۳ــ۱۴ میدان مغناطیسی اطراف سیم حامل جریان را می‌توان با قرار دادن تعدادی عقربهٔ مغناطیسی پیرامون آن نشان داد.





پرسش ۳ــ۶

با توجه به قاعدهٔ دست راست، جهت جریان مشخص می‌شود (شکل زیر).



پرسش ۳ــ۷

انتظار می‌رود با توجه به مفهوم میدان و خطوط میدان، دانش‌آموزان در پاسخ به این پرسش به موارد زیر اشاره کنند :

شکل الف) خطوط میدان مماس بر مسیر میدان هستند و در فاصلهٔ مساوی از سیم حامل جریان، اندازهٔ میدان $\vec{B}$ ثابت است ولی جهت آن تغییر می‌کند. با افزایش فاصله از سیم حامل جریان، اندازهٔ میدان $\vec{B}$ نیز کاهش می‌یابد.

شکل ب) در این شکل به نوعی دیگر، کاهش اندازهٔ میدان $\vec{B}$ با افزایش فاصله از سیم حامل جریان نشان داده شده است و افزایش فاصله بین خطوط میدان دایروی، نیز به همین نکته اشاره دارد.

تمرین ۳ــ۳

در نقطهٔ a، میدان‌های ناشی از هر دو سیم حامل جریان برون سو است و برآیند آن نیز برون سو است.

در نقطهٔ b، میدان ناشی از سیم بالایی درون سو و میدان ناشی از سیم پایینی، برون سو است، لذا با توجه به اینکه فاصله b از دو سیم یکسان و جریان مساوی از دو سیم می‌گذرد، برآیند میدان در نقطهٔ b صفر است.

در نقطهٔ c، میدان ناشی از دو سیم و همچنین میدان برآیند درون سو است.

در شکل ۳ــ۱۶، خطوط میدان $\vec{B}$ اطراف دو سیم حامل جریان با توجه به الگوی دو ذرهٔ باردار رسم شده است. لازم است دانش‌آموزان توجه کنند که خطوط رسم شده حاصل میدان برآیند دو سیم حامل جریان است.

پرسش ۳ــ۸

با استفاده از قاعدهٔ دست راست و با توجه به جهت خطوط میدان $\vec{B}$ درون و بیرون حلقه، جهت جریان عبوری از حلقه، ساعت‌گرد است.

توجه

در مجموعه فیلم‌های مرتبط با آزمایش‌های فیزیک ۲، آزمایش پیشنهادی در خصوص نحوهٔ کار بلندگوها آمده است که می‌توانید آن را در سایت گروه فیزیک مشاهده کنید. چنانچه فرصت کافی داشته باشید، اجرای این آزمایش در کلاس درس می‌تواند ارتباط خوبی بین مفاهیمی که در این فصل مطرح شده است، کاربرد آنها را فراهم کند.

تمرین ۳ــ۴

$B = ۳ \times ۱۰^{-۸}\,G = ۳ \times ۱۰^{-۱۲}\,T$

$R = ۸cm = ۸ \times ۱۰^{-۲}\,m$

$I = ?$

$$B = \frac{\mu_{۰} I}{۲R}$$

$$۳ \times ۱۰^{-۱۲} T = \frac{(۴\pi \times ۱۰^{-۷}\,T.m/A)}{(۲ \times ۸ \times ۱۰^{-۲}\,m)} I$$

$$\Rightarrow I \approx ۳/۸ \times ۱۰^{-۳} A = ۳/۸mA$$

تمرین ۳ــ۵

$l = ۴۰/۰cm\ ,\ I = ۱/۲A$

$B = ۲۷۰G = ۲/۷ \times ۱۰^{-۲}\,T$

$N = ?$

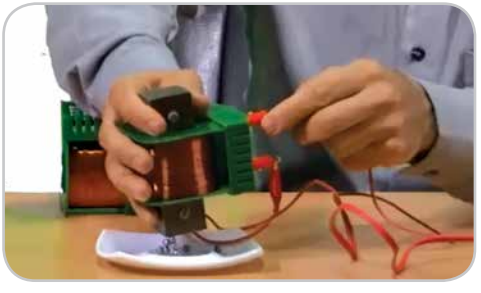
$$B = \frac{\mu_{۰} NI}{l}$$

$$۲/۷ \times ۱۰^{-۲} T = \frac{۴\pi \times ۱۰^{-۷}\,T.m/A)N(۱/۲A)}{۰/۴۰m}$$

$$\Rightarrow N \approx ۷۰۰۰ \quad \text{دور}$$

فعالیت ۳ــ۶

آزمایشی مشابه این فعالیت در مجموعهٔ فیلم‌های مرتبط با آزمایش‌های فیزیک ۲ انجام شده است که می‌توانید از نتایج و شیوهٔ آن نیز استفاده کنید.



۳ــ۶ ویژگی‌های مغناطیسی مواد

راهنمای تدریس : به‌طور کلی اتم‌های مواد یا به‌طور ذاتی دارای دوقطبی مغناطیسی‌اند یا فاقد آن هستند. توجه به این نگاه که اساس تقسیم مواد از لحاظ مغناطیسی است و در تمرین پایانی فصل نیز به‌صورت نقشهٔ مفهومی به آن پرداخته شده است، اهمیت زیادی دارد.

توجه

تقسیم‌بندی از لحاظ مغناطیسی، با توجه به چگونگی وجود آنها در طبیعت انجام می‌شود. برای مثال هیدروژن به‌صورت اتمی، دارای دوقطبی مغناطیسی ذاتی است ولی نکتهٔ قابل توجه این است که هیدروژن به‌صورت تک اتمی در طبیعت وجود ندارد و به‌صورت مولکولی H_2 در طبیعت یافت می شود. به همین دلیل هیدروژن جزو مواد دیامغناطیس رده‌بندی می‌شود.

عامل گشتاور دوقطبی ذاتی اتم‌ها به چرخش الکترون‌ها دور خودشان (حرکت اسپینی) و چرخش الکترون‌ها دور هسته (حرکت مدار) مربوط می شود. به عبارت دیگر گشتاور دوقطبی ذاتی اتم‌ها دارای دو مماس گشتاور اسپینی و گشتاور مداری است که سهم گشتاور اسپینی در این میان، خیلی بیشتر از سهم گشتاور مداری است.

فعالیت ۳ــ۷

در انجام این فعالیت باید به‌گونه‌ای لولهٔ آزمایش محتوی الکل طبی را روی سطح افقی میز قرار دهید تا حباب هوا درست در وسط آن قرار گیرد. سپس به کمک یک آهنربای قوی آزمایش را دنبال کنید. وقتی آهنربا را بالای حباب به یک طرف می‌کشید، به دلیل دیامغناطیس بودن الکل، الکل در جهت مخالف حرکت آهنربا، حرکت می‌کند و به نظر می‌رسد که حباب هوا در جهت حرکت آهنربا حرکت می‌کند. این فعالیت را به‌طور عمودی، مطابق آنچه در فیلم‌های مرتبط با آزمایش‌های فیزیک ۲ انجام داده‌ایم، دنبال کنید. در این فیلم افزون بر مواد یا مغناطیس، آزمایش برای مواد پارامغناطیس نیز انجام شده است.

آلومینیم به‌عنوان یک ماده پارامغناطیس، به آرامی به طرف آهنربای قوی حرکت می‌کند.

شیشه به عنوان یک مادهٔ دیامغناطیس، به آرامی از آهنربای قوی دور می‌شود.

پرسش ۳ــ۹

این پرسش به‌صورت آزمایش ساده‌ای در فیلم‌های مرتبط با آزمایش‌های فیزیک انجام شده است و روی دلایل آنچه مشاهده می‌شود بحث شده است.

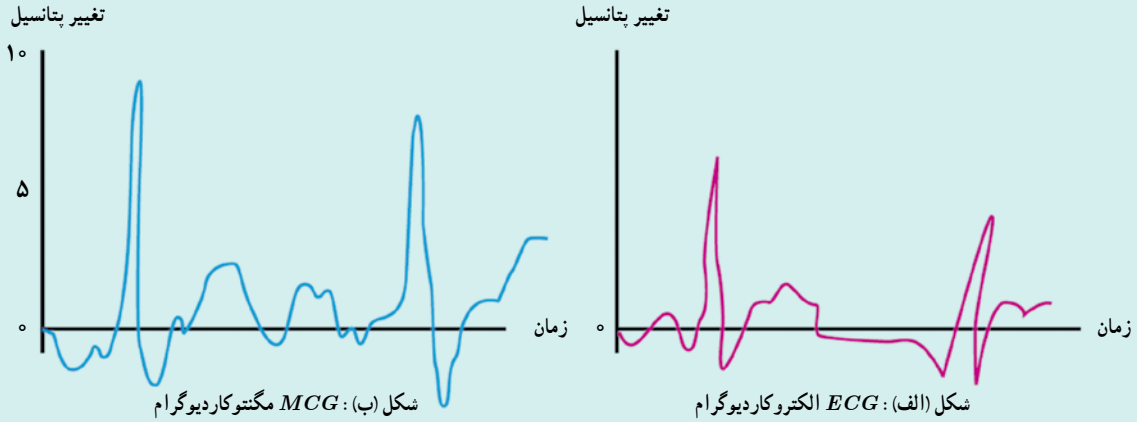
الف) چون میله‌ها از جنس ماده فرومغناطیس هستند، آهنربا می‌شوند و از یکدیگر دور می شوند.

ب) از آنجا که وقتی کلید باز می‌شود، میله‌ها به محل اولیه باز می‌گردند، نتیجه این می‌شود که میله‌ها از جنس فرومغناطیس نرم هستند.

دانستنی برای معلم

میدان‌های مغناطیسی بدن انسان

فعالیت الکتریکی عصب‌ها و عضله‌ها باعث تولید جریان‌های الکتریکی در بدن انسان می‌شود. در هر جایی که این جریان‌ها به سطح بدن می‌رسند، اختلاف پتانسیلی به وجود می‌آورند که با قرار دادن الکترودها در پوست قابل اندازه‌گیری است. الکتروکاردیوگرام ECG منحنی تغییرات اختلاف پتانسیل تولید شده در قلب برحسب زمان، و الکتروآنسفالوگرام EEG منحنی تغییرات اختلاف پتانسیل تولید شده در مغز برحسب زمان را نشان می‌دهد. ECG یک وسیلهٔ ضروری برای تشخیص بیماری‌های قلبی و EEG وسیلهٔ بسیار با ارزشی برای تشخیص بعضی اختلالات مغزی است.



شکل (الف): ECG الکتروکاردیوگرام

شکل (ب): MCG مگنتوکاردیوگرام

اشکال چنین اندازه‌گیری‌هایی در این است که پتانسیل‌های سطحی به‌طور غیرمستقیم به فعالیت اندام‌های داخلی بستگی دارند. پوست رسانای الکتریکی ضعیفی است و کسر بسیار کوچکی از جریان تولید شده در یک عضو به آن می‌رسد. برای نشان دادن جریان یک عضو به‌طور مستقیم، اخیراً دستگاه‌هایی ساخته شده است که می‌توانند میدان تولید شده به‌وسیلهٔ این جریان‌ها را اندازه‌گیری کنند.

جریان نسبتاً زیاد قلب، میدان مغناطیسی تقریبی ۱×۱۰^{-۶} گاوس را در اطراف قفسهٔ سینه به‌وجود می‌آورد و جریان‌های ضعیف در مغز، میدان مغناطیسی تقریبی ۳×۱۰^{-۸} گاوس را در اطراف سر تولید می‌کنند. این میدان‌ها از میدان مغناطیسی زمین (۰/۵ گاوس) یا حتی از میدان‌های مربوط به جریان‌های سیم‌های برق در منازل (۵×۱۰^{-۲} گاوس) ضعیف‌ترند و برای اندازه‌گیری آنها از روش‌های ویژه‌ای استفاده می‌شود.

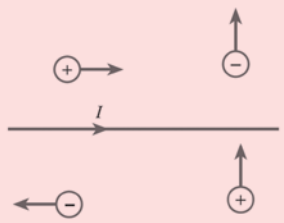
در یکی از این روش‌ها بدن انسان را در داخل اتاقی قرار می‌دهند که به وسیلهٔ دیوارهای آهنی از تأثیر میدان‌های مغناطیسی خارجی محفوظ است. روش دیگر، اندازه‌گیری اختلاف شدت میدان مغناطیسی در دو نقطهٔ نزدیک بدن است. اثر میدان‌های مغناطیسی دور در این نقطه یکسان‌اند و حذف می‌شوند، در حالی که میدان بدن انسان در نزدیکی انسان به‌طور قابل ملاحظه‌ای از یک نقطه به نقطه دیگر تغییر می‌کند و یکدیگر را حذف نمی‌کنند. در روش سوم، از این واقعیت استفاده می‌شود که قسمت اعظم میدان زمینه نسبت به زمان ثابت است و به راحتی از سیگنال متغیر قابل تشخیص است.

اندازه‌گیری به وسیله الکتروکاردیوگرام یا مگنتوکاردیوگرام MCG از اندازه‌گیری با الکتروآنسفالوگرام یا مگنتوآنسفالوگرام MEG بسیار راحت‌تر است. زیرا میدان مغناطیسی مغز بسیار ضعیف‌تر از میدان مغناطیسی قلب است.

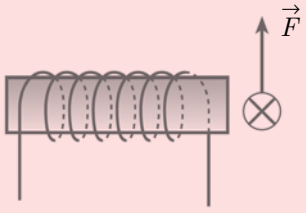
انتظار می‌رود که روش‌های آشکارسازی میدان‌های مغناطیسی بسیار ضعیف، به‌تدریج کامل شوند و دریچهٔ کاملاً جدیدی را به روی اعمال انسان بگشایند.

پرسش های پیشنهادی

۱ در شکل زیر جهت نیروی وارد بر هر یک از ذره‌های باردار، ناشی از میدان مغناطیسی سیم حامل جریان، به کدام طرف است؟



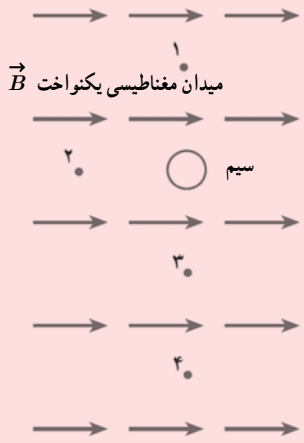
۲ جهت نیروی وارد بر سیم حامل جریانی که در نزدیکی سیملوله‌ای قرار دارد مطابق شکل زیر است. جهت جریان را در سیملوله تعیین کنید.



۳ سیم بلند و مستقیمی عمودبر صفحهٔ کتاب مطابق شکل روبه‌رو درون میدان مغناطیسی یکنواختی قرار دارد. برآیند میدان مغناطیسی در نقطهٔ ۳ صفر است.

الف) جهت جریان الکتریکی را در سیم (روی شکل) مشخص کنید.

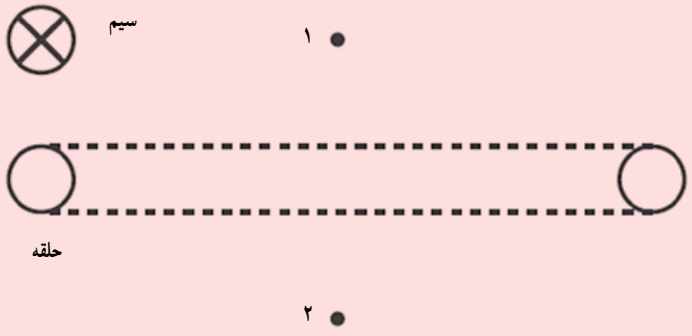
ب) فاصلهٔ نقطه‌های ۱ و ۲ از سیم همانند نقطهٔ ۳ و فاصلهٔ نقطه ۴ از سیم بیشتر از فاصلهٔ نقطهٔ ۳ از سیم است. در هر یک از نقطه‌های ۱، ۲ و ۴ میدان مغناطیسی ناشی از سیم و همچنین میدان برآیند را تعیین کنید.



۴ سیم بلند و مستقیمی که حامل جریان است درست بالای یکی از لبه‌های حلقهٔ حامل جریانی قرار دارد (شکل زیر). سیم و حلقه عمود بر صفحه کتاب‌اند و میدان مغناطیسی برآیند در نقطهٔ ۱ برابر صفر است.

الف) روی شکل جهت جریان را در حلقه مشخص کنید.

ب) به کمک یک نمودار برداری، میدان مغناطیسی ناشی از سیم، حلقه و برآیند آنها را در نقطهٔ ۲ تعیین کنید.



دانستنی برای معلم

مواد مغناطیسی

مواد با توجه به رفتارشان در یک میدان مغناطیسی خارجی به پنج دسته تقسیم می‌شوند که عبارت‌اند از :
دیامغناطیس، پارامغناطیس، فرومغناطیس، پادفرومغناطیس و فری‌مغناطیس.
به‌طور کلی سه عامل در منشأ مغناطیسی مواد مؤثر است.

الف) گشتاور اسپینی

ب) گشتاور مداری الکترون‌ها

ج) گشتاور القایی ناشی از میدان مغناطیسی خارجی

دو مورد اوّل در خاصیت پارا، فرو، پادفرو و فری‌مغناطیسی مواد نقش اساسی دارد و مورد سوم در خاصیت دیامغناطیسی مواد.

۱ **دیامغناطیسی** : هرگاه یک ماده در معرض یک میدان مغناطیسی خارجی قرار بگیرد برهم‌کنش بین الکترون‌های هر اتم و میدان مغناطیسی خارجی باعث القای یک گشتاور مغناطیسی در اتم می‌شود، این پدیده را دیامغناطیس می‌نامند. از آنجایی که همهٔ مواد از اتم تشکیل شده‌اند، این پدیده در تمام مواد رخ می‌دهد. اما این ساختار الکترونی اتم است که در وجود یا عدم وجود یک گشتاور مغناطیسی دائم یا غیردائم در اتم نقش دارد. پدیدهٔ دیامغناطیس در اتم‌های با پوستهٔ بسته که در آنها جمع‌برداری گشتاورهای مداری و اسپینی صفر است بیشتر نمایان می‌شود. جهت گشتاورهای مغناطیسی القایی در ماده، مطابق قانون لنز، در جهتی است که با حضور میدان مغناطیسی خارجی مخالفت می‌کند. بیسموت، بریلیم، متان، دیوکسید کربن، شیشه و... چند مادهٔ دیامغناطیس هستند.

۲ **پارامغناطیس** : مواد پارامغناطیس موادی با ویژگی‌های زیر می‌باشند :

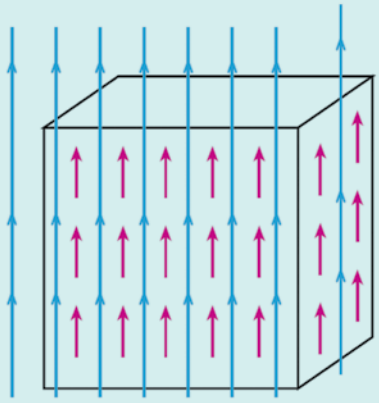
الف) پوستهٔ الکترونی اتم‌های آنها بسته نیست، بنابراین اتم‌های آنها دارای یک گشتاور مغناطیسی دائم‌اند که منشأ آن همان‌طور که گفته شد گشتاور اسپینی و مداری الکترون‌هاست.

ب) در غیاب میدان مغناطیسی خارجی، جهت گشتاورهای دائمی اتم‌های آنها به‌طور کاتوره‌ای در داخل ماده توزیع شده‌اند. زیرا نیرویی که باعث جفت‌شدگی بین این گشتاورها در داخل ماده می‌شود ضعیف است. این نیرو به نیروی تبادلی موسوم است منشأ آن کوانتومی است.

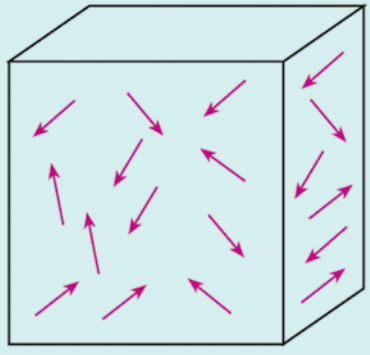
ج) اگر این مواد در معرض یک میدان مغناطیسی خارجی قرار بگیرند، علاوه‌بر القای یک گشتاور مغناطیسی در اتم‌های آنها (پدیدهٔ دیامغناطیس)، تعدادی از گشتاورهای مغناطیسی دائم اتم‌ها در جهت میدان قرار می‌گیرند به طوری که با افزایش شدت میدان تعداد بیشتری از آنها با میدان هم‌راستا می‌شوند.

اگر میدان مغناطیسی خارجی خیلی قوی باشد همهٔ گشتاورهای مغناطیسی ماده در جهت میدان قرار می‌گیرند. با حذف میدان مغناطیسی خارجی دوباره جهت گشتاور مغناطیسی اتم‌های جسم به حالت کاتوره‌ای بازمی‌گردند.

منگنز، پلاتین، آلومینیوم، هوا و... جزء مواد پارامغناطیس محسوب می‌شوند.



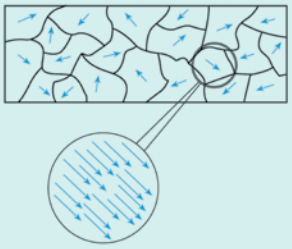
یک ماده پارامغناطیس در حضور یک میدان مغناطیسی خارجی قوی.



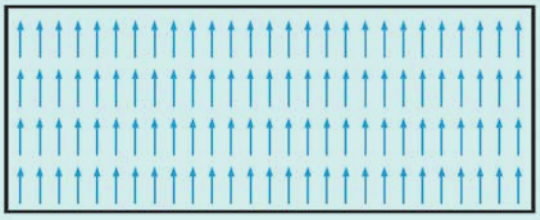
یک ماده پارامغناطیس در غیاب میدان مغناطیسی خارجی.

۳ **فرو، پادفرو و فری‌مغناطیس** : اگر برهم‌کنش و نیروی تبادلی بین گشتاورهای مغناطیسی (ناشی از حرکت مداری و اسپینی الکترون‌ها در اتم‌های با پوستهٔ باز) قوی باشد جفت‌شدگی بین گشتاورهای مغناطیسی افزایش می‌یابد. مواد با توجه به نوع جهت‌گیری این گشتاورها به سه نوع فرو، پادفرو و فری‌مغناطیس تقسیم می‌شوند.

در مواد فرومغناطیس گشتاورهای مغناطیسی اتم‌های ماده به‌صورت موازی و در یک جهت قرار می‌گیرند. این مواد در حالت عادی (در غیاب میدان مغناطیسی خارجی) دارای خاصیت مغناطیسی نیستند. زیرا هر ماده فرومغناطیس از حوزه‌های مغناطیسی زیادی تشکیل شده است که توسط دیواره‌هایی به نام دیوار بلوخ از یکدیگر جدا شده‌اند. به‌طوری که جهت‌گیری گشتاورهای مغناطیسی در هر حوزهٔ مغناطیسی یکسان است ولی در مجموع گشتاور مغناطیسی برآیند کل نمونه (مغناطش نمونه) برابر صفر است.



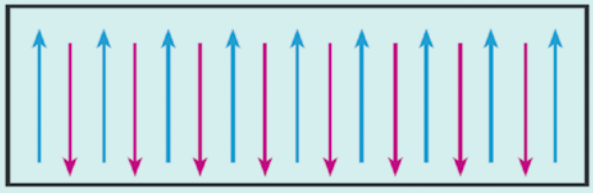
یک ماده فرومغناطیسی در غیاب میدان مغناطیسی



یک ماده فرومغناطیسی در حضور میدان مغناطیسی خارجی

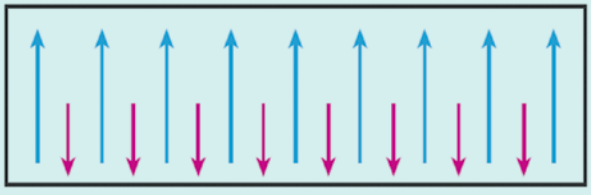
حال اگر یک مادهٔ فرومغناطیس را در معرض یک میدان مغناطیسی خارجی قرار می‌دهیم، گشتاور مغناطیسی حوزه‌هایی که در جهت (یا تقریباً در جهت) میدان هستند هم‌جهت با آن قرار می‌گیرند، به‌طوری که با افزایش شدت میدان به تدریج گشتاورهای مغناطیسی حوزه‌های دیگر نیز در جهت میدان ردیف می‌شوند و در نهایت ماده به یک تک حوزهٔ مغناطیسی تبدیل می‌شود. با حذف میدان، پس از گذشت زمان کوتاهی ماده دوباره به حالت اولیه خود بازمی‌گردد و خاصیت مغناطیسی خود را از دست می‌دهد. آهن، کبالت، نیکل، گادودیینم و دیسپرسیم جزء مواد فرومغناطیس محسوب می‌شوند.

مواد پادفرومغناطیس نیز از حوزه‌هایی تشکیل شده‌اند که هر حوزه نیز از شبکه‌هایی شامل دو زیر شبکهٔ A و B تشکیل شده است به‌طوری که جهت گشتاورهای مغناطیسی در زیر شبکه‌های A و B به‌صورت پاد موازی یکدیگرند (شکل زیر). موادی مانند MnO، MnS، FeO و... جزءِ مواد پادفرومغناطیس هستند.



یک حوزهٔ مربوط به ماده پادفرومغناطیس، در مواد پادفرومغناطیس برآیند گشتاورهای مغناطیسی در هر شبکه صفر است.

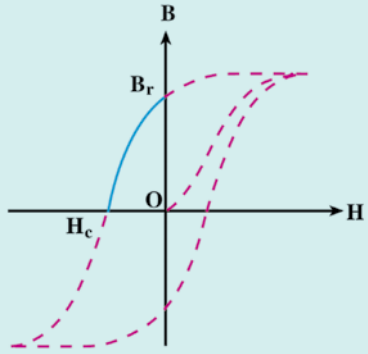
مواد فری‌مغناطیس نیز مانند مواد پادفرومغناطیس می‌باشند با این تفاوت که اندازهٔ گشتاورهای مغناطیسی در زیر شبکه‌های A و B با هم برابر نیستند و در نتیجه برآیند گشتاورهای مغناطیسی در هر شبکه و حوزه مخالف صفر است (شکل ۴).



یک حوزهٔ مغناطیسی مربوط به مادهٔ فری‌مغناطیس، در مواد فری‌مغناطیس برآیند گشتاورهای مغناطیسی در هر شبکه مخالف صفر است.

هرگاه یک مادهٔ فری‌مغناطیس در یک میدان مغناطیسی خارجی نسبتاً قوی قرار بگیرد برآیند همهٔ گشتاورهای مغناطیسی اتم‌ها در راستای میدان قرار می‌گیرند. ویژگی مهم این مواد این است که با حذف میدان مغناطیسی خارجی دیگر گشتاورهای مغناطیسی (حوزه‌ها) به حالت اولیه بازنمی‌گردند و جسم خاصیت مغناطیسی را به‌صورت دائم در خود حفظ می‌کند (برخلاف مواد فرومغناطیس نرم که با حذف میدان، خاصیت مغناطیسی خود را از دست می‌دهند). این مواد در صنعت و فناوری از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند به‌طوری که به اختصار آنها را فریت می‌نامند. رابطهٔ شیمیایی این مواد به‌صورت MFe_2O_4، Mo است، که در آن M یک کاتیون دو ظرفیتی است غالباً Zn، Fe، Ni، Cd، Cu و یا Mg است. معمولاً این مواد را فرومغناطیس سخت می‌نامند.

ویژگی مهم مواد فرو و فری‌مغناطیس : یکی از بارزترین مشخصات این مواد، منحنی مغناطیدگی یا چرخهٔ پسماند است که در آن تغییرات مغناطیدگی جسم $\vec{M}$ (گشتاور مغناطیسی ماده در واحد حجم یا جرم) را برحسب میدان مغناطیسی خارجی $\vec{H}$ رسم می‌کنند. دلیل وجود این چرخه ناشی از وجود حوزه‌های مغناطیسی در این مواد است. برآیند گشتاورهای مغناطیسی در هر حوزه مخالف صفر است ولی با توجه به اینکه گشتاورهای حوزه‌های مختلف در جهت‌های متفاوتی هستند، گشتاور برآیند نمونه صفر است. (نقطه O در شکل (صفحهٔ بعد)). حال اگر این مواد را در یک میدان مغناطیسی قرار دهیم و میدان را به تدریج افزایش دهیم، ابتدا حجم حوزه‌هایی که گشتاور مغناطیسی آنها با میدان هم‌جهت (یا تقریباً هم‌جهت) است زیاد می‌شود و با افزایش شدت میدان، گشتاورهای حوزه‌های دیگر نیز به تدریج می‌چرخند و در جهت میدان قرار می‌گیرند و سرانجام در یک میدان مغناطیسی نسبتاً قوی گشتاور مغناطیسی تمام حوزه‌ها با میدان مغناطیسی هم‌جهت می‌شوند و کل نمونه به‌صورت یک تک حوزهٔ مغناطیسی درمی‌آید. اکنون اگر میدان مغناطیسی خارجی را به تدریج کاهش دهیم گشتاورهای حوزه‌های مغناطیسی به حالت اولیه خود بازنمی‌گردند، یعنی در غیاب میدان مغناطیسی، مغناطیدگی، ماده صفر نمی‌شود و به عبارتی ماده از خود پسماند مغناطیسی نشان می‌دهد. در عمل به جای رسم منحنی $M-H$، منحنی $B-H$ را (که در آن B القای مغناطیسی درون ماده است) را رسم می‌کنند.



منحنی مغناطیدگی (یا چرخهٔ پسماند) یک مادهٔ فرو یا فری‌مغناطیس

در این نمودار B_r پسماند مغناطیسی در ماده است و H_e میدان وادارندهٔ جسم است که خاصیت مغناطیسی را در جسم حفظ می‌کند که معمولاً به آن نیروی وادارندگی می‌گویند. در مواد فرومغناطیس نیروی وادارندهٔ H_e کوچک است به همین دلیل با حذف میدان مغناطیسی خارجی جسم پس از مدت زمانی کوتاه به حالت اولیه خود بازمی‌گردد. در حالی‌که در مواد فری‌مغناطیس نیروی وادارندهٔ H_e بزرگ است و مانع آن می‌شود که در غیاب میدان خارجی جسم خاصیت (باقی‌ماندگی) مغناطیسی خود را از دست بدهد. آن بخش از منحنی پسماند را که در ناحیهٔ دوم قرار دارد (خط پیوسته در شکل بالا) منحنی وامغناطیدگی جسم می‌نامند.

چرا مواد فری‌مغناطیس برای ذخیرهٔ اطلاعات مناسب‌اند؟ با توجه به آنچه گفته شد یک محیط مناسب برای ذخیره اطلاعات باید دارای شرایط زیر باشد :

الف) ذخیرهٔ مقدار زیادی اطلاعات در یک فضای کوچک (B_r بزرگ)

ب) حفظ این اطلاعات برای یک مدت زمان طولانی (H_c بزرگ)

ج) ذخیره و بازیابی اطلاعات با توان مصرفی کم

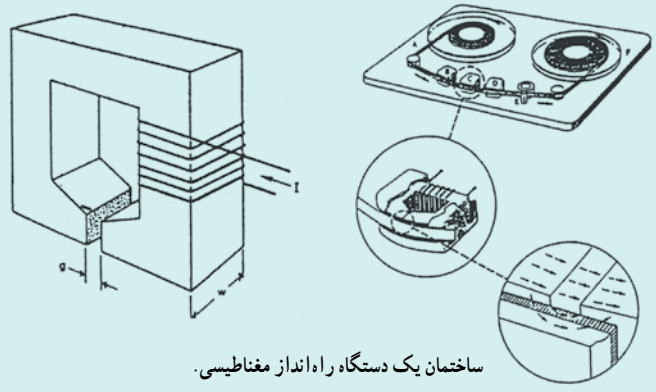
سه ویژگی بالا در مواد فری‌مغناطیس وجود دارد و از این جهت این مواد برای ذخیره اطلاعات مناسب‌اند.

تاریخچهٔ ضبط (ذخیره) مغناطیسی : ضبط مغناطیسی با استفاده از تبدیل نوسان‌های صوتی به نوسانات الکتریکی (توسط میکروفون و تقویت‌کننده) و تبدیل این جریان الکتریکی به یک میدان مغناطیسی توسط یک هد (که باید از جنس یک مادهٔ فرومغناطیس باشد) و اعمال این میدان مغناطیسی بر روی یک محیط مغناطیسی مناسب (از جنس یک مادهٔ فری‌مغناطیس) امکان‌پذیر است. ضبط صدای انسان نخستین‌بار در سال ۱۸۹۸ میلادی توسط پولسن (Poulsen) ابداع گردید. او نوسان‌های صوتی را توسط یک آهنربای الکتریکی که به یک میکروفون وصل شده بود بر روی یک میلهٔ فولادی (آهن با ۱ درصد کربن) ذخیره نمود. مجموعهٔ دستگاهی که ایشان فراهم نمود بود به تلگرافون موسوم بود. عیب عمدهٔ این دستگاه نوفهٔ (Noise) زیاد در هنگام بازیافت اطلاعات ذخیره شده بود.

در سال ۱۹۲۰ با بهبود کیفیت تقویت‌کننده‌ها، بازیافت اطلاعات با نوفهٔ کمتری همراه شد. در سال ۱۹۲۱ با اختراع روش ضبط با پیش‌ولت ac این نوفه‌ها به میزان قابل توجهی کاهش یافت.

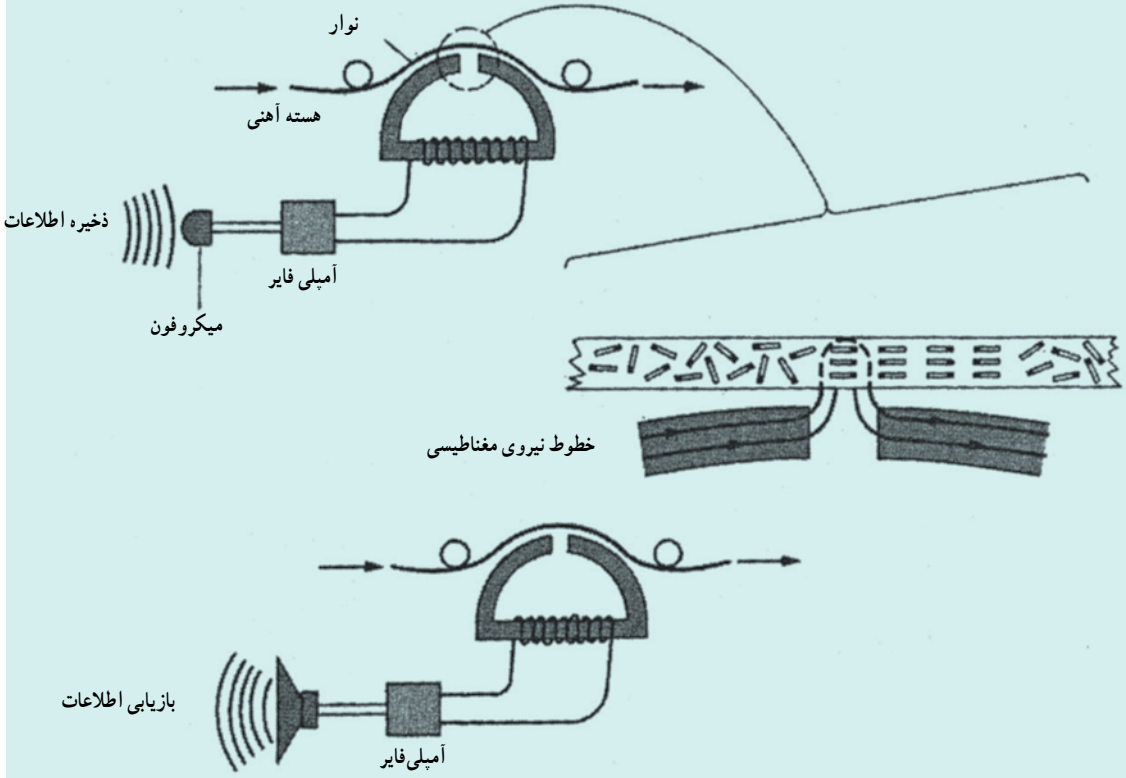
نوارهای ضبط شنیداری ATR نخستین‌بار با آغشته کردن یک نوار کاغذی مخصوص با یک مایع فری‌مغناطیس در سال ۱۹۲۷ توسط یک شرکت آمریکایی ابداع گردید و هم‌زمان در آلمان این نوارها با استفاده از نوار کاغذی آغشته به پودر آهن ساخته شدند. در سال ۱۹۴۷ با همکاری سه شرکت آمریکایی نوارهای اکسید آهن ابداع شدند و در سال ۱۹۵۰ نوارهای ضبط دیداری VTR و همچنین درایوهای دیسک مغناطیسی MDD ساخته شدند. در اواخر دههٔ ۱۹۶۰ میلادی نوارهایی از جنس دیوکسیدکروم و در اوایل دههٔ ۱۹۷۰ نیز نوارهایی از جنس اکسید آهن اصلاح شده با کبالت ساخته شدند. در اوایل دهه ۱۹۸۰ نیز نوارهای فلزی از جنس ذرات بسیار ریز فلزی (پودر آهن) به بازار عرضه شدند.

فرایند ذخیره و بازیابی اطلاعات از محیط‌های مغناطیسی : همان‌طور که گفته‌شد عمل ذخیره‌سازی مغناطیسی (اعم از صوتی و تصویری) با تبدیل نوسانات صوتی (تصویری) به نوسانات الکتریکی و تبدیل این جریان الکتریکی به یک میدان مغناطیسی توسط دستگاه راه‌انداز و اعمال این میدان بر روی یک محیط مغناطیسی مناسب امکان‌پذیر است (شکل زیر).



ساختمان یک دستگاه راه‌انداز مغناطیسی.

برای بازیافت اطلاعات فرایند بالا برعکس می‌شود. یعنی نوار را از مقابل یک راه‌انداز مغناطیسی عبور می‌دهند، در نتیجه بر اثر خاصیت مغناطیسی نوار، یک میدان مغناطیسی در دستگاه راه‌انداز القا می‌شود و این میدان مغناطیسی باعث ایجاد یک جریان الکتریکی می‌شود که توسط یک مبدل به نوسان‌های صوتی تبدیل می‌شود (شکل صفحهٔ بعد).



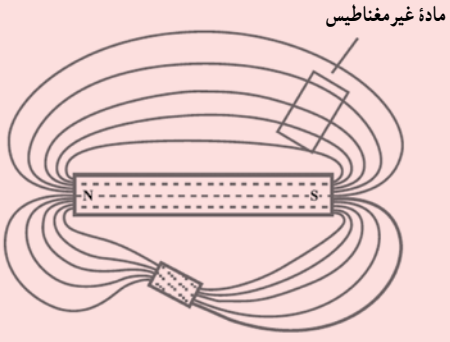
فرآیند ذخیره و بازخوانی اطلاعات

پرسش‌های پیشنهادی

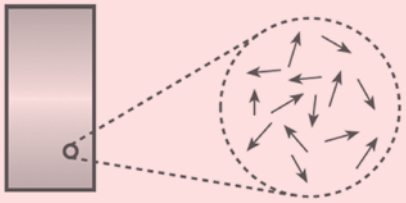
۱ در شکل روبه‌رو تأثیر وجود یک مادهٔ غیرمغناطیسی (مانند شیشه) و یک مادهٔ مغناطیسی (مانند آهن) در اطراف یک آهنربای میله‌ای نشان داده شده است.

الف) سمت‌گیری تقریبی دوقطبی‌های مغناطیسی را در هر یک از این دو ماده با رسم شکل نشان دهید.

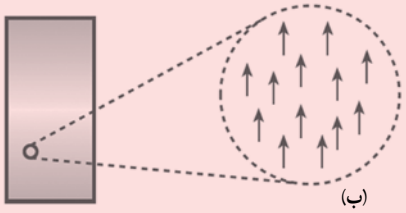
ب) قطب‌های القا شده در قطعهٔ آهن را تعیین کنید.



۲ الف) در شکل صفحه زیر الف و ب سمت‌گیری دوقطبی‌های مغناطیسی در دو مادهٔ مختلف (در مقیاس خیلی ریز) نشان داده است. تفاوت‌های هر ماده را از لحاظ مغناطیسی بنویسید.



(الف)



(ب)

ب) در صورتی که مادهٔ (الف) درون یک میدان مغناطیسی ضعیف قرار گیرد، چه تغییری در سمت‌گیری دوقطبی‌های آن رخ می‌دهد؟ در صورتی که میدان مغناطیسی قوی باشد، چطور؟

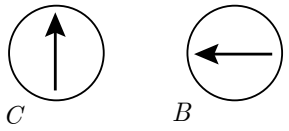
پ) اگر مادهٔ (ب) یک آهنربای میله‌ای باشد، قطب‌های آن را در دو طرف آهنربا تعیین کنید.

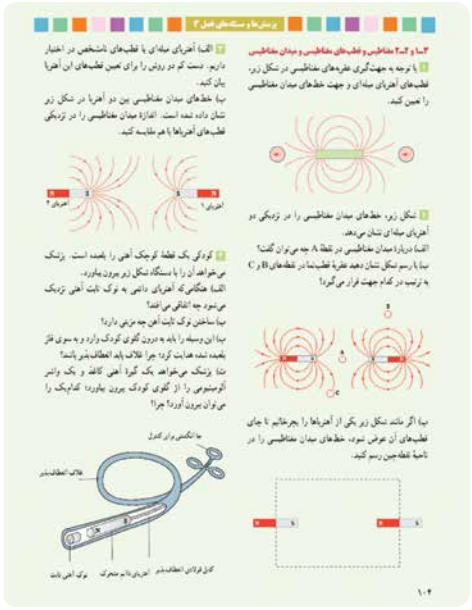
راهنمای پاسخ‌یابی پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۳

۱ دانش‌آموزان با توجه به شکل ۳ـ۶ دیدند، جهت قطب‌های آهنربا به سادگی تعیین می‌شود.

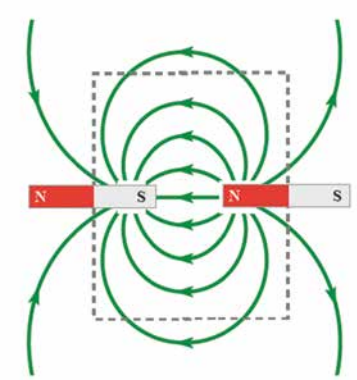
۲ الف) اندازهٔ میدان در نقطه A حداقل ممکن و نزدیک به صفر است.

ب)





پ)



۳ الف) ۱ـ استفاده از یک آهنربا با قطب‌های مشخص

۲ـ استفاده از قطب نما

ب) با توجه به تراکم خطوط میدان در مجاورت قطب‌ها آهنربای ۲، اندازه میدان $\vec{B}$ این آهنربا از آهنرباهای (۲) بیشتر است.

۴ الف) نوک ثابت آهنی بر اثر پدیدهٔ القای مغناطیسی، به آهنربا تبدیل می‌شود.

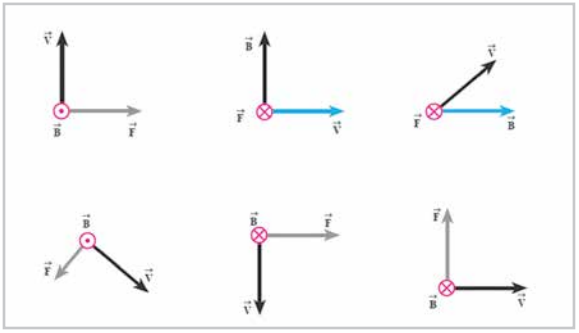
ب) به علت آنکه آهن مادهٔ فرومغناطیس نرم است به راحتی به آهنربا تبدیل می‌شود و قادر خواهد بود قطعهٔ بلعیده شده را جذب و به بیرون بکشد.

پ) به علت اینکه مجرای گلو دارای فرورفتگی و برآمدگی است.

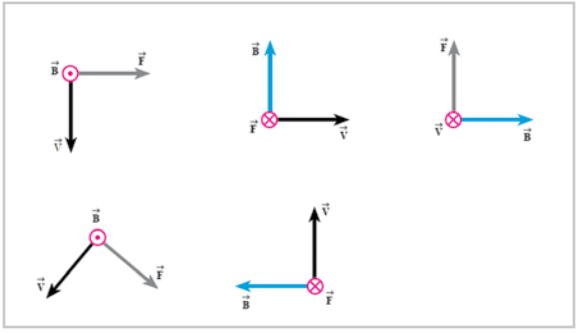
ت) گیرهٔ آهنی کاغذ را می‌توان بیرون آورد زیرا مادهٔ فرومغناطیس نرم است و جذب آهنربا می‌شود.

۵ با استفاده از قاعدهٔ دست راست، نوع بار هر ذره را تعیین می‌کنیم زیرا ذرهٔ ۱ بار مثبت، ذره‌های ۲ و ۴ بار منفی و ذرهٔ ۳ چون از مسیر خود منحرف نشده است، خنثی است.

۶



۷



۸ پاد ساعتگرد

۹ $V = ۴/۴ \times ۱۰^{۶}\ \text{m/s}\ ,\ B = ۱۸\text{mT}\ ,\ \theta = ۶۰^{\circ}$

الف) $F = qvB\sin\theta = (۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}\ c) = (۴/۴ \times ۱۰^{۶}\ \text{m/s}) \times (۱۸ \times ۱۰^{-۳}\ T)\ \sin ۶۰^{\circ} \approx ۲/۵ \times ۱۰^{-۱۵}\ N$

ب)

$$F = ma \Rightarrow a = \frac{۲/۵ \times ۱۰^{-۱۵}\ N}{۱/۷ \times ۱۰^{-۲۷}\ kg} = ۱/۴ \times ۱۰^{۱۲}\ m/s^{۲}$$

۱۰ $v = ۲/۴ \times ۱۰^{۵}\ \text{m/s}\ ,\ F_{max} = ۶/۸۷۱ \times ۱۰^{-۱۴}\ N\ ,\ B = ?$

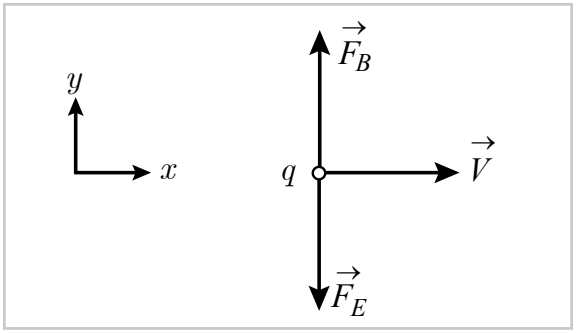
$F = qvB\sin\theta \Rightarrow ۶/۸ \times ۱۰^{-۱۴}\ N = (۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}\ c)(۲/۴ \times ۱۰^{۵}\ \text{m/s})\ B$

$\Rightarrow B \simeq ۱/۷\ \text{T}$

چون اندازهٔ نیروی وارد بر الکترون بیشینه فرض شده است $\sin\theta = ۱$ گرفته‌ایم. جهت میدان به سمت غرب است (به بار منفی الکترون توجه شود).

۱۱ برای اینکه ذرهٔ باردار در همان امتداد محور x به حرکت خود ادامه دهد، مطابق شکل باید $F_E = F_B$. در این صورت داریم

$$qE = qvB \Rightarrow v = \frac{E}{B} = \frac{۴۵۰N}{۰/۱۸T} = ۲۵۰۰\ m/s$$

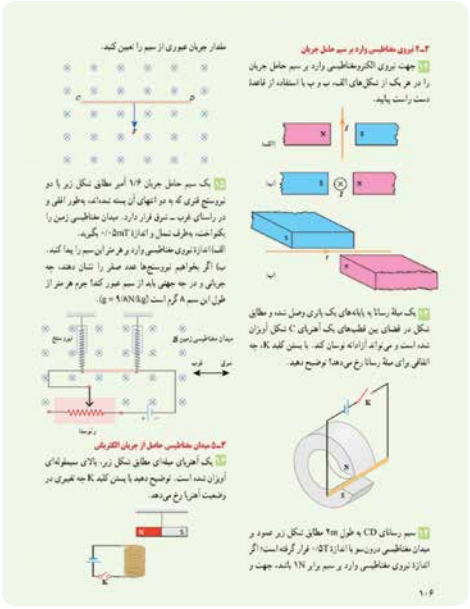


۱۲ با استفاده از قاعده دست راست، جهت نیرو

الف) به سمت داخل صفحه (درون سو) است.

ب) به سمت بالا.

پ) به سمت بالا.



۱۳ میله در همان لحظهٔ وصل کلید، روبه جلو پرتاب می‌شود. دانش‌آموزان با توجه به قاعدهٔ دست راست و جهت جریان و میدان $\vec{B}$، باید جهت نیروی وارد بر میله را تعیین کنند.

۱۴ $l = ۲\text{m}\ ,\ B = ۰/۵\ \text{T}\ ,\ F = ۱\text{N}\ ,\ I = ?$

$F = IlB\sin\theta \Rightarrow ۱\text{N} = I(۲\text{m})\,(۰/۵\text{T})\sin۹۰^\circ$

$\Rightarrow I = ۱\,A$

جهت جریان از D به C است.

۱۵ $I = ۱/۶\,A\ ,\ B = ۰/۰۵\text{mT} = ۰/۰۵\times۱۰^{-۳}\ \text{T}$

الف) $F = IlB\sin\theta = (۱/۶A)\,(۱\text{m})\,(۰/۰۵\times۱۰^{-۳}\ \text{T})\sin۹۰^\circ$

$= ۸\times۱۰^{-۵}N$

ب) $F = mg \Rightarrow IlB\sin\theta = mg$

$I(۱\text{m})\,(۰/۰۵\times۱۰^{-۳})\sin۹۰^\circ = (۸\times۱۰^{-۳}\ \text{kg})\,(۹/۸\text{N/kg})$

$\Rightarrow I = ۱۵۶۸\,A$

که جریان بسیار بزرگی است.

۱۶ با بستن کلید، سیملوله آهنربا می‌شود و با توجه به جهت جریان در آن، پایین سیملوله قطب N و بالای آن قطب S می‌شود. بنابراین قطب N آهنربای آویزان به طرف سیملوله کشیده می‌شود.

۱۷ با قرار دادن باتری A درون مدار، جهت خطوط میدان حاصل از سیم حامل جریان سبب انحراف عقربهٔ مغناطیسی به طرف چپ می‌شود.

۱۸ باتری A، با توجه به جهت جریان در سیملوله، سمت راست سیملوله قطب S می‌شود و آهنربای آویزان را به سمت خود جذب می‌کند.

۱۹ جهت میدان $\vec{B}$ ناشی از سیم ۱ در نقطه A درون‌سو است. بنابراین باید جهت میدان ناشی از سیم ۲ در نقطه A برون‌سو باشد تا برآیند آنها بتواند صفر شود.

بنابراین باید جهت جریان در سیم ۲، بر خلاف جهت جریان در سیم ۱ باشد.

۲۰ $N = ۲۵۰$ حلقه $,\ l = ۰/۱۴\text{m}\ ,\ I = ۰/۸\text{A}\ ,\ B = ?$

$$B = \frac{\mu_۰ NI}{l} = \frac{(۴\pi\times۱۰^{-۷}\,T.\text{m/A})(۲۵۰)(۰/۸\,\text{A})}{۰/۱۴\text{m}} \approx ۱/۸\times۱۰^{-۳}\,\text{T}$$

۲۱ $N_P = ۲۰۰\ ,\ N_Q = ۳۰۰\ ,\ I_Q = ۱\,A\ ,\ I_P = ?$

$l_P = l_Q$

شرط صفر بودن برآیند میدان $\vec{B}$ ناشی از دو سیملوله در نقطهٔ M عبارت است از

$$B_P = B_Q \Rightarrow \frac{\mu_۰ N_P I_P}{l_P} = \frac{\mu_۰ N_Q I_Q}{l_Q}$$

$$\Rightarrow ۲۰۰ I_P = ۳۰۰\times۱\text{A} \Rightarrow I_P = \frac{۲}{۳}\text{A}$$

۲۲ چون پس از حذف $\vec{B}$ ، جهت‌گیری حوزه‌های مغناطیسی مادهٔ فرومغناطیسی به‌طور کاتوره‌ای درآمده است نوع مادهٔ فرومغناطیس، نرم است.

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