

فصل سوم

مغناطیس

پیامدها

دانش‌آموزان با درک مفاهیم این فصل :

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

چه شناختی مطلوب است؟

- در تجربه‌های زندگی روزمره با آهنربا و خواص مغناطیس ناشی از آن سروکار داریم.
- قطب‌های همنام آهنربا یکدیگر را دفع و قطب‌های ناهمنام یکدیگر را جذب می‌کنند.
- به یک ذره باردار متحرک در میدان مغناطیسی، نیرو وارد می‌شود. اگر ذره در امتداد میدان \vec{B} حرکت کند، این نیرو صفر است.
- بر سیم حامل جریان درون میدان مغناطیسی نیرو وارد می‌شود. اگر سیم در امتداد میدان باشد، این نیرو صفر است.
- سیم‌لوله وسیله‌ای است برای تولید میدان مغناطیسی قوی، به طوری که درون آن، این میدان تقریباً یکنواخت است.
- نیروی بین سیم‌های موازی حامل جریان‌های همسو، ربابشی است و برای جریان‌های ناهمسو، رانشی است.
- مواد از نظر مغناطیسی به مواد پارامغناطیس، مواد دیا مغناطیس و فرومغناطیس تقسیم‌بندی می‌شوند. اتم‌های مواد پارامغناطیس و فرومغناطیس به طور ذاتی دو قطبی مغناطیسی‌اند.

چه پرسش‌هایی اساسی است و باید در نظر گرفته شوند؟

- برهم کنش قطب‌های آهنربا چگونه است؟
- ویژگی‌های میدان مغناطیسی زمین و شیب مغناطیسی چیست؟
- نیروی وارد بر ذره باردار متحرک درون میدان مغناطیسی به چه عواملی بستگی دارد؟
- نیروی وارد بر سیم حامل جریان درون میدان مغناطیسی به چه عواملی بستگی دارد؟
- میدان ناشی از سیم راست حامل جریان، پیچه و سیم لوله چگونه است؟
- هسته آهنی چه نقشی در سیم لوله ایفا می‌کند؟
- مواد از نظر مغناطیسی به چند دسته تقسیم می‌شوند و ویژگی هر کدام به چه صورت است؟

در پایان این واحد یادگیری دانش آموزان چه دانش و مهارت‌های اساسی را کسب می‌کنند؟

- دانش آموزان خواهند دانست که :
- در فضای اطراف هر آهنربا یا سیم حامل جریان، میدان مغناطیسی ایجاد می‌شود.
 - میدان مغناطیسی زمین اندازه کوچکی دارد و در نقاط مختلف زمین مقدار آن متفاوت است.
 - به ذره بارداری که در راستای میدان مغناطیسی حرکت می‌کند نیروی مغناطیسی وارد نمی‌شود.
 - اندازه میدان مغناطیسی حاصل از جریان الکتریکی در یک سیم حامل جریان، با فاصله گرفتن از سیم، کاهش می‌یابد.
 - سیم‌های موازی حامل جریان در یک جهت، نیروی ربایشی به یکدیگر وارد می‌کنند.
 - سیم‌های موازی حامل جریان در خلاف جهت، نیروی رانشی به یکدیگر وارد می‌کنند.
 - مواد از نظر مغناطیسی به مواد پارا مغناطیس، دیامغناطیس و فرو مغناطیس تقسیم می‌شوند.
 - اتم‌های مواد پارا مغناطیسی به طور ذاتی دارای گشتاور دو قطبی مغناطیسی هستند.
 - مواد فرو مغناطیسی به دو دسته فرو مغناطیسی نرم و فرو مغناطیسی سخت تقسیم می‌شوند.
- دانش آموزان قادر خواهند بود :
- چند نمونه از کاربردهای مغناطیس را در زندگی روزمره و فناوری شرح دهند.
 - میل مغناطیسی را در شهر خود یا هر مکان دیگر اندازه‌گیری کنند (به روش تجربی).
 - جهت و اندازه میدان مغناطیسی وارد به یک ذره باردار را محاسبه کنند.
 - تغییرات میدان مغناطیسی در فضای اطراف یک سیم حامل جریان را با رسم شکل مناسب نشان دهند.
 - نیروی وارد بر سیم حامل جریان را اندازه‌گیری کنند (به روش تجربی).
 - یک آهنربای الکتریکی بسازند و اثر تعداد دور، شعاع و جریان عبوری از سیم لوله را بر اندازه \vec{B} بررسی کنند.
 - مواد را از لحاظ مغناطیسی تقسیم بندی کنند و نقش دو قطبی مغناطیسی را در آنها توضیح دهند و به کمک آزمایش آنها را از یکدیگر تشخیص دهند.

بودجه‌بندی پیشنهادی



جلسه اول: بررسی تصویر شروع فصل + مقدمه فصل + بخش ۱-۳

جلسه دوم: بخش ۲-۳

جلسه سوم: بخش ۳-۳

جلسه چهارم: بخش ۴-۳

جلسه پنجم و ششم: بخش ۵-۳

جلسه هفتم: بخش ۶-۳

جلسه هشتم: ارزشیابی فصل ۳

بررسی پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۳ را در هر جلسه توزیع کنید و برای پرسش‌ها و مسئله‌های باقیمانده، قبل از ارزشیابی فصل، یک جلسه اختصاص دهید.

توجه: برای آزمایش‌های پیشنهادی در راهنمای معلم (که در نسخه ویدیویی این فصل نیز انجام شده است) ترجیحاً مدت زمان یک جلسه را در طول تدریس این فصل منظور کنید.

توجه دانش‌آموزان را به تصویر ورودی فصل و متن زیر آن جلب کنید تا به اهمیت دانشی که در این فصل می‌آموزند آگاه شوند. این تصویر به کاربردهای مفاهیم این فصل اشاره دارد. افزون بر این تصویر می‌توانید با مثال‌های کاربردی دیگر، زمینه مناسبی را برای ورود به فصل آماده سازید.

دانستنی برای معلم

قطارهای مغناطیسی

قطارهای مغناطیسی که به اختصار به آنها Maglev می‌گویند (magnetic levitation) وسایل حمل و نقل 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 می‌گیرند. 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 هدایت‌کننده 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 هم باعث

ثبات و هم هدایت قطار در طول سفر می شوند. جریان برقراری در سیم لوله های تعبیه شده در دیواره دالان راهبر قابل تغییر است. وقتی اندازه و جهت میدان آهنرباهای الکتریکی قابل تغییر باشد می تواند هم به عنوان جلوبر عمل کنند و هم به عنوان ترمز. برای جلو راندن قطار جهت میدان های مغناطیسی در دیواره های راهبر متناوباً تغییر می کند تا بتواند آهنرباهای روی دیواره قطار را به جلو براند. در شکل الف واگن نسبت به دیواره ها در وضعیتی است که نیروهای ربایشی و رانشی برآیندی رو به جلو دارند. وقتی واگن کمی جلوتر بیاید تا هر دو جفت N و S مقابل هم باشند نیروها مؤلفه افقی نخواهند داشت ولی واگن به خاطر سرعتی که داشته از این وضعیت رد می شود و در همین لحظه قطب های آهنرباهای دیواره تغییر می کند

در غیر این صورت نیروها مؤلفه افقی به سوی عقب پیدا می کرد اما با تغییر قطب ها باز هم نیروها مؤلفه افقی رو به جلو خواهند داشت. در این قطارها اصطکاک لغزشی سطوح تماس حذف شده و با طراحی شکل واگن ها اصطکاک هوا نیز به کمترین حد ممکن رسیده است. بنابراین قطارها می توانند با سرعتی حدود 500 km/h حرکت کنند.

در نوع آلمانی که سرعتی در حدود 400 km/h دارد مطابق شکل ب نیازی به دالان نیست و کابین قطار توسط بازوهای جانبی روی یک ریل راهبر به شکل ∇ سوار می شود و با برقراری جریان در آهنرباهای الکتریکی موجود روی ریل و بازو و رانش بین آنها نیروی وزن کابین را خنثی می کند و قطار حدود 1 cm بالاتر از ریل قرار می گیرد. در این مدل نیز برای به جلو راندن قطار به مجموعه آهنرباهای الکتریکی دیگری نیاز است که رایش و رانش های دو به دوی آنها می تواند هم تأمین کننده 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 به صورت 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.



پرسش ۳-۱

این پرسش به صورت 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 میله آهنربایی به حداقل ممکن می‌رسد می‌توان به سادگی میله آهنربایی و میله معمولی را از آن تشخیص داد. یکی از میله‌ها را به طور افقی در دست خود نگه می‌داریم و میله 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 می‌دهد که میله افقی آهنرباست.

توجه

در شکل ۳-۴ 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 ۲-۳

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

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

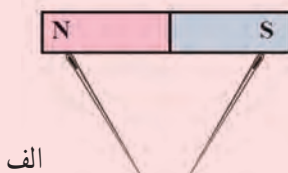
۲-۳ میدان مغناطیسی

راهنمای تدریس : از آنجا که دانش آموزان در فصل اول به اندازه کافی با مفهوم میدان الکتریکی و خطوط وابسته به آنها آشنا شده اند این بخش را با مشابهن سازی می توانید دنبال کنید.

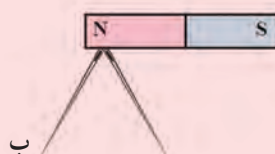
پرسش پیشنهادی

نیروی مغناطیسی وارد بر عقربه مغناطیسی از طرف زمین، بزرگ تر، کوچک تر یا مساوی با نیروی مغناطیسی ای است که از طرف عقربه مغناطیسی بر زمین وارد می شود؟
جواب : مساوی است.

پرسش پیشنهادی : الف) بگوئید که چرا دو سوزن که به دو سر یک آهنربا آویزان باشند به یکدیگر متمایل می شوند؟

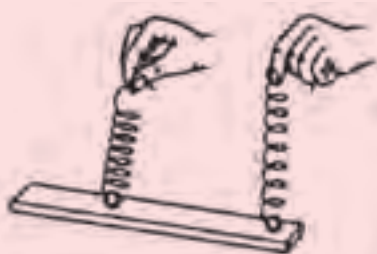


ب) چرا انتهای دو سوزن که به یک قطب یک آهنربا آویزان باشند، یکدیگر را دفع می کنند؟



پاسخ : الف) در اثر خاصیت القای مغناطیسی دو سر سوزن ها، قطب های مخالف می شوند و به طرف یکدیگر می آیند.
ب) دو انتهای سوزن ها قطب های همنام شده و یکدیگر را دفع می کنند.

فعالیت پیشنهادی

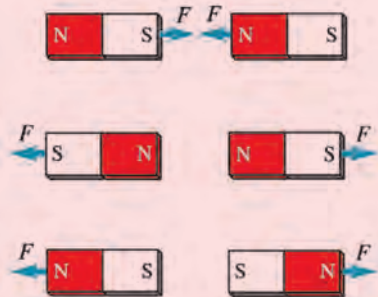


یک گوی آهنی را به یک طرف فنر مارپیچی وصل کنید. این گوی را به نقطه‌ای از سطح یک آهنربا تماس دهید و سپس با کشیدن فنر آن را جدا کنید. افزایش طول فنر به هنگام جدا کردن نشانه نیروی لازم برای غلبه بر نیروی جاذبه وارد بر گوی در نقطه تماس با آهنربا است. گوی را در نقطه‌های دیگر (مثلاً در وسط آهنربا) قرار دهید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

پرسی پیشنهادی

به شکل زیر به دقت نگاه کنید و آنچه را درک می‌کنید به صورت یک نقشه مفهومی بنویسید.



فعالیت پیشنهادی

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



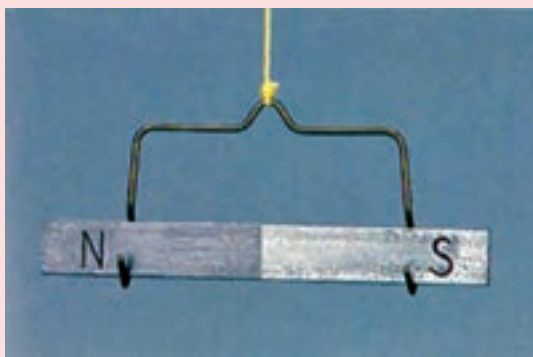
۱ اگر قطب شمال آهنربای بالایی قسمت بالای آن باشد، قطب‌های مغناطیسی بقیه آهنرباها را مشخص کنید.

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

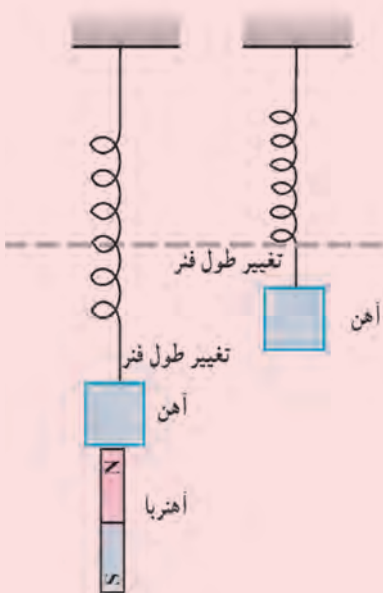
۳ نی و آهنرباهای داخل آن را در دستان خود به صورت افقی بگیرید چرا با حرکت دادن یکی از آهنرباها خواهید دید که بقیه آنها هم جابه‌جا می‌شوند؟

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 حالت 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 مقایسه 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 قطعه آهن آویخته به فنر، نزدیک کنید. مشاهدات خود را بیان کنید.
 ث) آهنربا را در دورترین فاصله‌ای قرار دهید که منجر به جذب قطعه آهنی می‌شود و تغییر طول فنر را اندازه بگیرید.
 ج) چه عاملی باعث افزایش تغییر طول فنر نسبت به حالت قبل شده است؟
 پاسخ : ب) نیروی گرانش که از طرف زمین بر قطعه آهنی وارد می‌شود.
 ت) آهن به تدریج پایین کشیده می‌شود و جذب آهنربا می‌گردد، افزایش طول فنر را مشاهده می‌کنیم.
 ج) نیروی مغناطیسی که علاوه بر نیروی گرانشی بر قطعه آهنی وارد می‌شود.

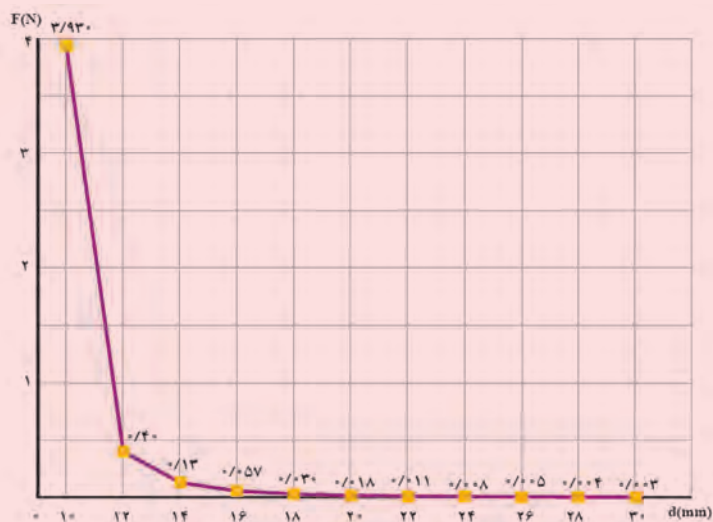
فعالیت پیشنهادی

فعالیت پیشنهادی

نیروی دافعه بین دو قطب همنام دو آهنربا بر اساس فاصله آنها از یکدیگر اندازه گیری شده و در جدول زیر ثبت شده است. نمودار نیروی مغناطیسی بر حسب فاصله دو قطب همنام دو آهنربا را رسم کنید (برای رسم نمودار می توانید از نرم افزار Excel استفاده کنیم)

جدول (۱)

فاصله $d(\text{mm})$	نیرو $F(\text{N})$
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 دانش آموزان می خواهیم تا نمودار نیروی مغناطیسی بر حسب عکس مجذور فاصله دو قطب همنام دو آهنربا را

رسم کنند و با توجه به شکل، نمودار F بر حسب $\frac{1}{d^2}$ بیان کنند که آیا نمودار خط راست است؟ نتیجه را با نیروی بین دو بار الکتریکی بر حسب وارون مربع فاصله از یکدیگر (قانون کولن) مقایسه کنند.

برای مشاهده نحوه انجام فعالیت ۱-۳ و همچنین فعالیت پیشنهادی مرتبط با شکل ۳-۶ می توانید به فیلم مرتبط با آزمایش های فیزیک ۲ مراجعه کنید (سایت گروه فیزیک).

پرسش ۳-۳

۱- با توجه به شکل ۳-۶ الف، دانش‌آموزان به سادگی می‌توانند جهت عقربه‌های مغناطیسی را در پرسش ۱ تعیین کنند.

۲- همان‌طور که اشاره کردیم چون دانش‌آموزان در فصل ۱ به اندازه 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 فاصله خطوط از یکدیگر، اندازه 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 اندازه بردار \vec{B} هم توجه کنند.

فعالیت ۲-۳

این فعالیت نیز به صورت 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 : ۷۲° درجه).

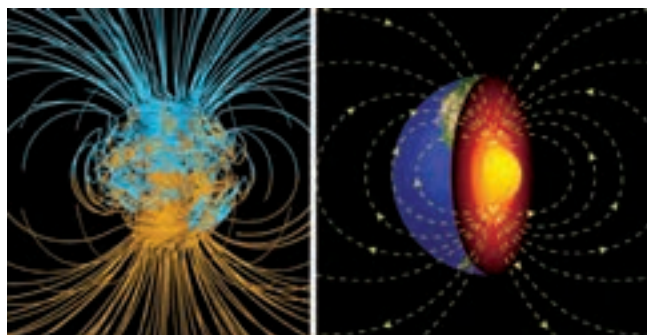
آزمایش ۱-۳

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 ۳-۷ تنها مدل بسیار ساده از طرح خطوط میدان مغناطیسی در اطراف کره زمین نشان داده شده است. لازم است در این قسمت به این نکته مهم اشاره شود که در مشابهت سازی و مدل سازی میدان مغناطیسی زمین با یک آهنربای میله ای، بسیار ساده ساده سازی شده است. شکل های زیر مدل سازی کامل تری از خطوط میدان مغناطیسی در اطراف کره زمین را نشان می دهد.



توضیح در خصوص چند زاویه مغناطیسی

زاویه میل مغناطیس (magnetic declination angle) همان طور که در کتاب درسی نیز اشاره شده است چون محور مغناطیسی زمین با محور جغرافیایی آن (محور چرخش زمین) به طور کامل موازی نیست، در نتیجه خوانده یک قطب نما تا حدودی از شمال جغرافیایی انحراف دارد. این انحراف که با مکان تغییر می کند زاویه میل مغناطیسی نامیده می شود. در برخی منابع برای این زاویه از عبارت **وردش مغناطیسی (magnetic variation)** نیز استفاده شده است. همچنین میدان مغناطیسی در بیشتر نقاط روی سطح زمین افقی نیست، زاویه آن به سمت بالا یا پایین را **شیب مغناطیسی (magnetic inclination angle)** می نامند.

در خصوص عبارت زاویه انحراف مغناطیسی (magnetic deviation angle) نیز لازم به ذکر است که این عبارت تنها برای شرایطی به کار می رود که قطب نما 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 جهت گیری عقربه مغناطیسی و در نتیجه عددی که برای میل مغناطیسی گزارش می شود به وجود می آید.

آزمایش پیشنهادی

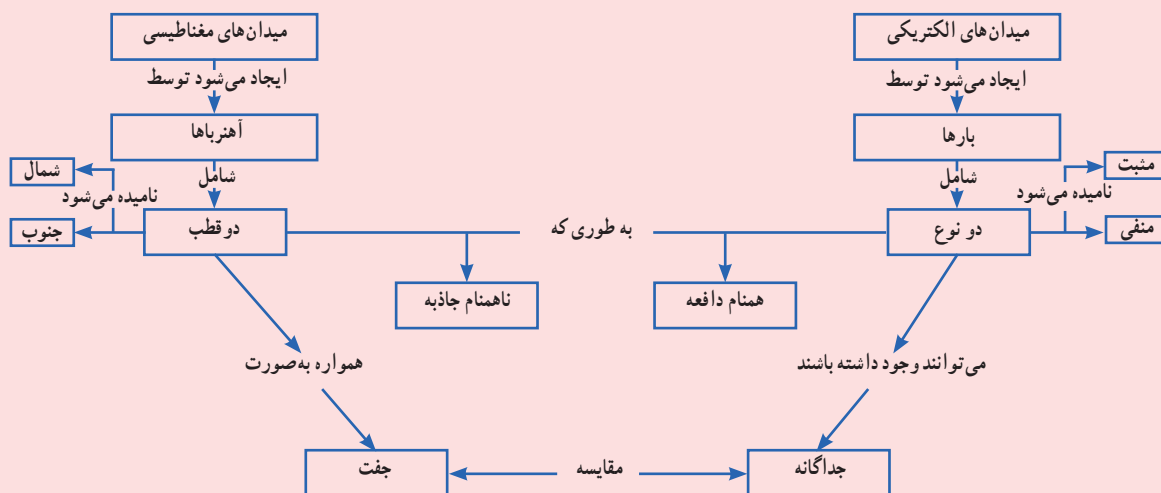


روشی برای ثبت کردن طرح خط‌های میدان مغناطیسی روی کاغذ

وسایل لازم : آهنربای میله‌ای - کاغذ یا مقوا - سینی پلاستیکی -
موم یا شمع - نمک پاش و براده آهن
روش کار : کاغذ را موم اندود 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 بچسبند. بعد از سرد شدن طرح میدان روی کاغذ ثابت
می‌ماند.

فعالیت پیشنهادی

نقشه مفهومی زیر را به صورت یک متن ساده فیزیکی بنویسید به طوری که این متن برای دانش آموزی که با این موضوع آشنایی ندارد، قابل فهم باشد.



فعالیت ۳-۳

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

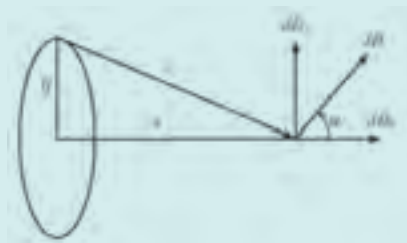
میدان مغناطیسی زمین

نخستین بار سر ویلیام گیلبرت عنوان کرد که زمین آهنربای بزرگی است که قطب و استوای مغناطیسی دارد. در آن زمان تصور می‌شد 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 2200° 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 می‌کند. علاوه بر 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 بزرگ منظومهٔ شمسی، دارای میدان مغناطیسی هستند.

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

اندازه‌گیری میدان مغناطیسی زمین

یکی از روش‌های اندازه‌گیری میدان مغناطیسی زمین، اندازه‌گیری برآیند میدان زمین با میدان حاصل از یک سیم پیچ حامل جریان است. با کمک یک روش ساده تجربی و استفاده از یک قطب‌نما و یک سیم پیچ، اندازه میدان مغناطیسی زمین را می‌توان حساب کرد. هرگاه از حلقه‌ای شامل N دور سیم، جریان I عبور کند، میدان مغناطیسی در فاصله y از مرکز حلقه شکل زیر با کمک قانون بیوساوار به دست می‌آید به طوری که اندازه میدان مغناطیسی حلقه برابر است با :



$$H = \frac{B}{\mu_0} = \frac{IR^2}{2(R^2 + y^2)^{3/2}} \quad (۱)$$

اگر N حلقه داشته باشیم، رابطه ۱ به صورت زیر در می‌آید :

$$H = \frac{NIR^2}{2(R^2 + y^2)^{3/2}} \quad (۲)$$

در دستگاه گاوسی، رابطه ۲ به صورت زیر در می‌آید :

$$H = \frac{2\mu_0 IR^2 N}{(R^2 + y^2)^{3/2}} \quad (۳)$$

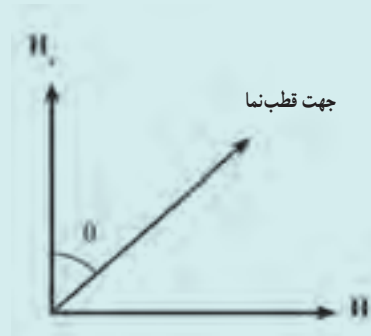
در این سیستم R و y برحسب سانتی‌متر، I برحسب آمپر و H برحسب گاوس است. جهت H با کمک قانون دست راست به دست می‌آید. یعنی اگر جریان در جهت انگشت شست دست راست باشد، جهت میدان در امتداد بسته شدن چهار انگشت دست راست خواهد بود. از آنجا که میدان مغناطیسی زمین در هر نقطه، به دو مؤلفه افقی و قائم قابل تجزیه است، عقربه مغناطیسی تحت تأثیر مؤلفه افقی منحرف می‌شود. حال اگر از سیم پیچ جریان عبور کند، عقربه 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 عقربه مغناطیسی را طوری قرار دهیم که جهت میدان مغناطیسی زمین عمود بر میدان حاصل از سیم پیچ آن باشد، آن‌گاه طبق شکل صفحه بعد می‌توان نوشت :

$$\tan \theta = \frac{H}{H_0} \quad (۴)$$

با اندازه‌گیری θ و معلوم بودن مقدار H می‌توان H_0 را از رابطه ۴ به‌دست آورد. چون میدان H را با عبور جریان از سیم پیچ تولید می‌کنیم، از رابطه‌های ۳ و ۴ داریم:

$$H = H_0 \tan \theta \Rightarrow \frac{\mu_0 N I R^2}{(R^2 + y^2)^{3/2}} = H_0 \tan \theta \quad (5)$$

$$\Rightarrow I = \frac{(R^2 + y^2)^{3/2}}{2\pi N R^2} H_0 \tan \theta$$



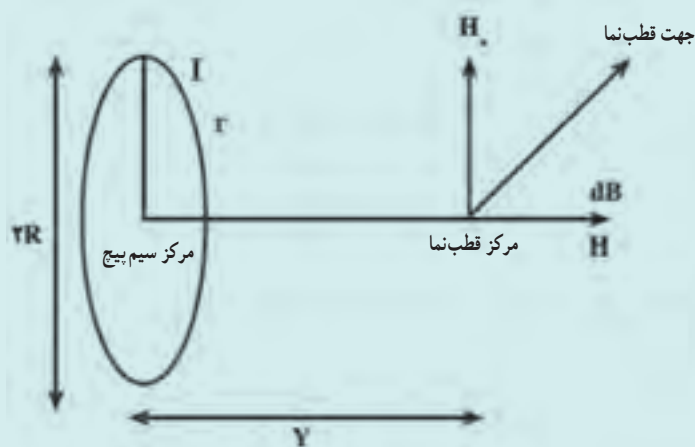
که می‌توان رابطه ۵ را به‌صورت زیر نوشت:

$$I = m \tan \theta \quad (6)$$

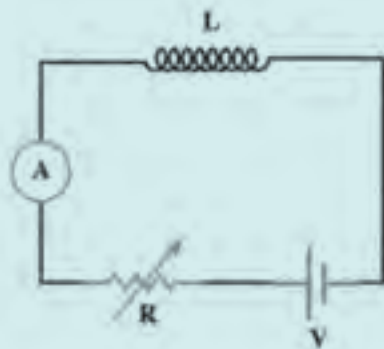
حال می‌توان نمودار I را برحسب $\tan \theta$ رسم کرد. شیب خط حاصل یعنی m را اندازه گرفت و H_0 (شدت میدان مغناطیسی زمین) را به‌دست آورد:

$$H_0 = \frac{\mu_0 N R^2 m}{(R^2 + y^2)^{3/2}} \quad (7)$$

نحوه انجام آزمایش: ابتدا قطب‌نما را روی میز آن‌قدر جابه‌جا کنید که قطب شمال آن تقریباً در راستای شمال – جنوب جغرافیایی قرار گیرد (برای این کار می‌توان آزمایش را روی زمین انجام داد تا از اثرات احتمالی میدان‌های میز آهنی بر قطب‌نما جلوگیری شود). سپس سیم پیچ را آن‌قدر حرکت دهید تا محور عمود بر سیم پیچ، بر قطب‌نما عمود باشد. شکل‌های (۱) و (۲) مدار آزمایش و نحوه 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 دامنه آمپر متر را روی 10° آمپر قرار دهید و با تغییر درجه منبع تغذیه و رثوستا، جریان‌های متفاوت را برقرار سازید و میزان انحراف عقربه را بخوانید و در جدول (۱) یادداشت کنید. برای اندازه‌گیری دقیق‌تر می‌توانید در هر مرحله، مقدار 10° میلی‌آمپر به جریان‌های قبلی اضافه کنید. پس از اینکه برای هشت جریان اندازه‌گیری شده زاویه 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 θ ها 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 سیم پیچ برابر $4/5$ سانتی متر و قطر خارجی آن $6/5$ سانتی متر است. بنابراین برای به‌دست آوردن قطر سیم پیچ، میانگین دو عدد را به‌دست می‌آوریم :

$$\text{قطر} = \frac{6/5 + 4/5}{2} = \frac{11}{2} = 5/5 \Rightarrow R = 2/75 \text{ cm}$$

با توجه به شکل ۲ در صفحه قبل، فاصله مرکز حلقه تا قطب‌نما را در آزمایشی که برقرار شد، $10/4$ سانتی متر گرفتیم و N هم برابر 1000 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 باید شیب خط یعنی همین m را داشته باشیم :

$$m = \frac{1/19 - 0/84}{50 - 35} = \frac{0/35}{15} = 0/023$$

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

$$H_s = \frac{2\mu_0 N R^2 m}{(R^2 + y^2)^{3/2}} = \frac{2(1000)(2/75)^2 (0/023)}{((2/75)^2 + (10/4)^2)^{3/2}} = 0/87 \text{ G}$$

جدول ۱

$I(\text{mA})$	$10/3$	$16/5$	12	$27/2$	35	37	50	93	104
θ	10	20	15	30	40	40	50	60	70
$tg\theta$	$0/18$	$0/36$	$0/27$	$0/58$	$0/84$	$0/84$	$1/19$	$1/73$	$2/75$

اندازه‌گیری میدان مغناطیسی در هر نقطه

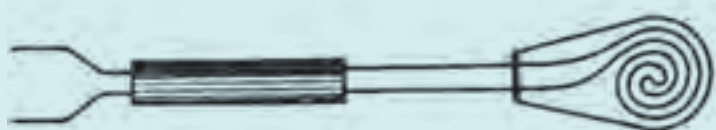
یکی از وسایل اندازه‌گیری میدان‌های مغناطیسی، سوزن مغناطیسی است که از رشته کشسانی آویزان است و اساس کار آن شبیه ترازوی پیمایی کولن است. برای اندازه‌گیری زاویه‌های پیمایش رشته صفحه مدرجی در بالا به آن نصب شده است و محل نوک‌های سوزن با کمک درجه‌ها روی استوانه بیرونی معین می‌شود. در این دستگاه سوزن فقط وقتی در تعادل است که گشتاور نیروی حاصل از میدان برابر و مخالف گشتاور نیروی رشته پیچیده باشد. اگر سوزن در امتداد میدان مغناطیسی قرار گرفته باشد ($\alpha = 0^\circ$) یعنی گشتاور صفر و رشته نباید پیچیده باشد.

با پیمایش رشته به اندازه زاویه معین، می‌توان برای هر سمت‌گیری سوزن به تعادل رسید. گشتاور نیروی وارد بر رشته با محاسبات یا درجه‌بندی اولیه و سبیل از روی زاویه پیمایش معین می‌شود. پس می‌توانیم بیشترین نیرو که به ازای $\alpha = 90^\circ$ است را به دست 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 اندازه کافی حساس و دقیق نیستند. پس در بسیاری موارد بهتر این است که گشتاور نیروی وارد بر سوزن مغناطیسی با مشاهده نوسان‌های سوزن اندازه‌گیری شود.

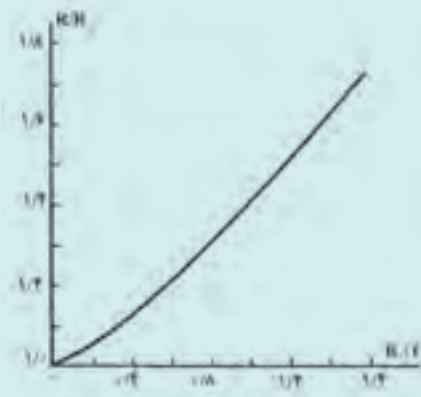
یک سوزن مغناطیسی که در میدان مغناطیسی از موضع تعادل خود تغییر مکان داده باشد، حول آن نقطه نوسان می‌کند. اگر جرم سوزن زیاد و در معرض اصطکاک ناحیز باشد قبل از توقف چندین نوسان می‌کند. بنابراین دوره نوسان‌ها را می‌توان با دقت اندازه‌گیری کرد. محاسبات نشان می‌دهد که هرچه گشتاور نیروی وارد بر سوزن بزرگ‌تر، یعنی هرچه میدان قوی‌تر باشد دوره نوسان‌ها کمتر است. پس با مقایسه 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 به کار رفته‌اند.

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



ماریچ بیسموت

مثال : در نمودار شکل زیر R مقاومت بیسموت در میدانی به بزرگی B و R_0 مقاومت آن در خارج میدان انتخاب شده است.



شکل (۹۷)

با استفاده از نمودار بزرگی میدانی را تعیین کنید که مقاومت ماریچ بیسموت در آن 26Ω و در خارج آن 20Ω است.

$$R / R_0 = \frac{26}{20} = 1.3$$

پاسخ :

$$R = 26\Omega$$

$$R_0 = 20\Omega$$

با توجه به نمودار $B = 8/T$ است.

۳-۳ نیرویی وارد بر ذره باردار در میدان مغناطیسی

راهنمای تدریس : در این قسمت دانش آموزان باید افزون بر آشنایی با تعیین جهت نیرویی وارد بر ذره باردار متحرک در حضور میدان مغناطیسی \vec{B} ، با محاسبه اندازه این نیرو که در رابطه ۱-۳ آمده است با حل تمرین های مختلف آشنا شوند.

آزمایش اثر میدان مغناطیسی بر بار الکتریکی متحرک

شکل زیر ظرف پر از محلول الکترولیتی را نشان می‌دهد. دو الکترود، یعنی حلقه ۱ و میله 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، به گونه‌ای که میدان مغناطیسی در راستای قائم و به طرف بالا باشد و با راستای حرکت یون‌ها زاویه 90° بسازد. نیروهای وارد بر بار الکتریکی متحرک می‌خواهند، یون‌ها را در امتداد پیکان در صفحه افقی در دایره‌هایی، عمود بر شعاع‌های ظرف جابه‌جا کنند به طوری که از حرکت قایق کوچک شناور روی محلول می‌توان دید همه الکترون‌ها در آن جهت

حرکت می‌کنند. بر این اساس طرح آزمایشی به شرح زیر تنظیم شده است.

الف) وسایل آزمایش:

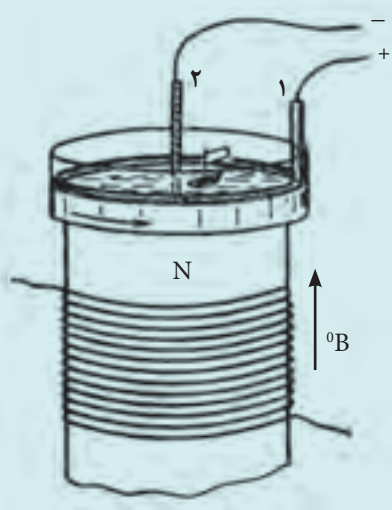
- ۱) منبع تغذیه، صفر تا ۲۴ ولتی dc و سیم‌های رابط
- ۲) سیم پیچ، حداقل 80° الی 120° دور همراه با هسته آهنی مناسب
- ۳) یک ظرف شیشه‌ای استوانه‌ای شکل به ارتفاع تقریبی ۵cm و قطر 10 cm
- ۴) میله‌های فلزی رسانا که به انتهای یکی از آن دو یک حلقه رسانا به قطر تقریبی ۸cm لحیم شده باشد.
- ۵) پایه، گیره، میله رابط
- 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) هسته آهنی را درون سیم پیچ قرار می‌دهیم و سیم پیچ را به منبع تغذیه dc متصل می‌کنیم (با تماس یک قطعه فلزی به هسته آهنی، میدان مغناطیسی را آزمایش می‌کنیم و در صورت نیاز آن را تقویت می‌کنیم).
- ۳) ظرف شیشه‌ای محتوی محلول را مطابق شکل روی سطح هسته آهنی و سیم پیچ قرار داده و دو میله فلزی را با گیره درون ظرف قرار می‌دهیم و آن را به دو قطب مثبت و منفی منبع تغذیه dc وصل می‌کنیم (کاتد و آنود)
- ۴) پس از اطمینان از کامل شدن طرح و صحت مدار منبع تغذیه متصل و آزمایش را شروع می‌کنیم (اتصال دو میله فلزی درون محلول بایستی به طور موازی با اتصال دو سر سیم پیچ 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) مشاهده چرخش محلول الکترولیت در ظرف شیشه‌ای و توجیه علت چرخش. مطابق شکل بالا به دلیل حلقوی بودن کاتد-حرکت بارها در راستای شعاع این حلقه خواهد بود و چون جهت میدان عمود بر سطح دایره این حلقه است، جهت اعمال



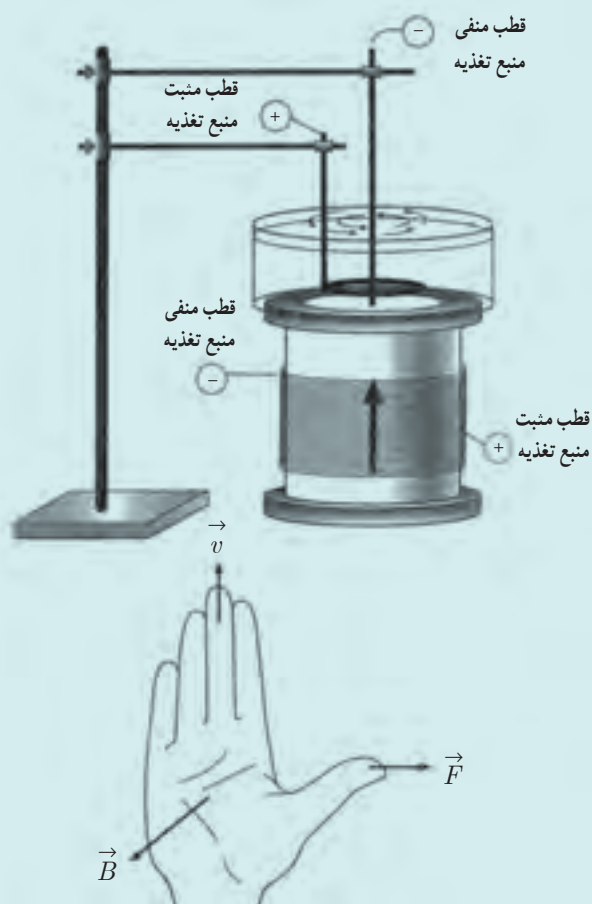
نیرو به صورت مماس بر دایره است و مجموعه این نیروها باعث چرخش می شود. (برای مشاهده بهتر چرخش، تعدادی قایق کاغذی کوچک بر سطح محلول شناور کنید)

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

۳ با تغییر در شدت جریان ورودی به سیم لوله (تغییر اندازه B) و با تغییر در شدت جریان ورودی به میله ها، تغییرات سرعت چرخش را مشاهده و تغییر در بزرگی F را بررسی کنید.

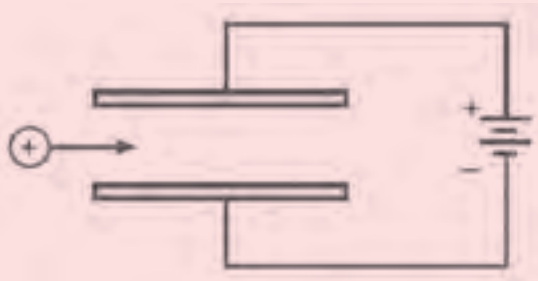
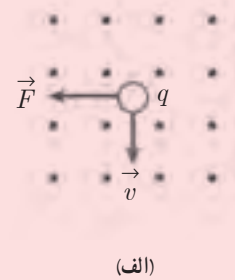
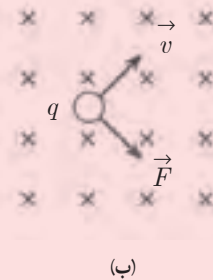
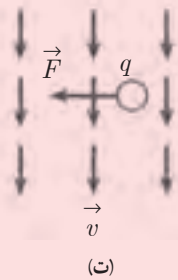
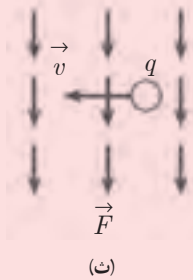
۴ با استفاده از حلقه های ورودی جریان، با شعاع های مختلف می توان فاصله های کاتد و آند را کم و زیاد کنیم و در نتیجه سرعت واکنش را تغییر دهیم و نقش آن را در بزرگی F بررسی می کنیم.

۵ می توان به جای CuSO_4 از محلول های الکترولیت دیگری نیز استفاده کرد که بزرگی یون ها q با Cu^{2+} و SO_4^{2-} تفاوت داشته و نقش بزرگی بار، در بزرگی F را بررسی نمود.



پرسش پیشنهادی

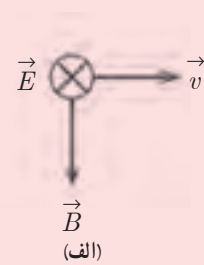
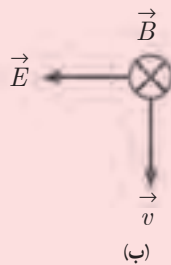
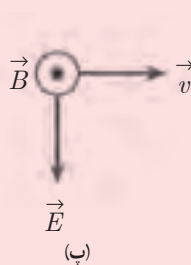
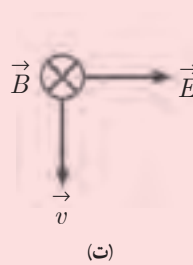
۱ در هر یک از حالت‌های شکل زیر جهت حرکت \vec{v} ، جهت میدان مغناطیسی یکنواخت \vec{B} و جهت نیروی وارد بر بار q (مثبت یا منفی) نشان داده شده است. نوع بار q را در هر حالت با علامت + یا - مشخص کنید.



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} ، \vec{E} و \vec{B} را درست نشان می‌دهد؟



تاریخچه نیروی مغناطیسی

در سال ۱۸۲۰ میلادی، الکساندر امپدو، فیزیکدان ایتالیایی، در جریان آزمایشی، متوجه شد که یک سیم حامل جریان الکتریکی، یک سوزن مغناطیسی را در اطراف خود می‌چرخاند. این کشف، پایه‌ای برای درک رابطه بین الکتریسیته و مغناطیسیت قرار داد.

در سال ۱۸۳۱ میلادی، میکلسن و فارادای، فیزیکدانان انگلیسی، متوجه شدند که تغییر در میدان مغناطیسی، می‌تواند در یک سیم، یک جریان الکتریکی القا کند. این پدیده، القای مغناطیسی نامیده می‌شود.

در سال ۱۸۶۲ میلادی، جیمز کلیرک مکسول، فیزیکدان اسکاتلندی، با استفاده از معادلات ریاضی، رابطه بین الکتریسیته و مغناطیسیت را به صورت کامل بیان کرد. او نشان داد که یک میدان مغناطیسی متغیر، می‌تواند یک میدان الکتریکی القا کند و بالعکس.

در سال ۱۹۰۵ میلادی، آلبرت اینشتین، فیزیکدان آلمانی، نشان داد که نیروی مغناطیسی، در واقع یک نیروی نسبیتی است که از اثر تغییرات در میدان الکتریکی ناشی می‌شود.

در سال ۱۹۲۷ میلادی، پاولی و دی راکی، فیزیکدانان آلمانی، نشان دادند که نیروی مغناطیسی، می‌تواند در یک سیم، یک جریان الکتریکی القا کند.

در سال ۱۹۳۵ میلادی، دی راکی و پاولی، فیزیکدانان آلمانی، نشان دادند که نیروی مغناطیسی، می‌تواند در یک سیم، یک جریان الکتریکی القا کند.

در سال ۱۹۴۷ میلادی، دی راکی و پاولی، فیزیکدانان آلمانی، نشان دادند که نیروی مغناطیسی، می‌تواند در یک سیم، یک جریان الکتریکی القا کند.

در سال ۱۹۵۷ میلادی، دی راکی و پاولی، فیزیکدانان آلمانی، نشان دادند که نیروی مغناطیسی، می‌تواند در یک سیم، یک جریان الکتریکی القا کند.

در سال ۱۹۶۷ میلادی، دی راکی و پاولی، فیزیکدانان آلمانی، نشان دادند که نیروی مغناطیسی، می‌تواند در یک سیم، یک جریان الکتریکی القا کند.

در سال ۱۹۷۷ میلادی، دی راکی و پاولی، فیزیکدانان آلمانی، نشان دادند که نیروی مغناطیسی، می‌تواند در یک سیم، یک جریان الکتریکی القا کند.

در سال ۱۹۸۷ میلادی، دی راکی و پاولی، فیزیکدانان آلمانی، نشان دادند که نیروی مغناطیسی، می‌تواند در یک سیم، یک جریان الکتریکی القا کند.

در سال ۱۹۹۷ میلادی، دی راکی و پاولی، فیزیکدانان آلمانی، نشان دادند که نیروی مغناطیسی، می‌تواند در یک سیم، یک جریان الکتریکی القا کند.

در سال ۲۰۰۷ میلادی، دی راکی و پاولی، فیزیکدانان آلمانی، نشان دادند که نیروی مغناطیسی، می‌تواند در یک سیم، یک جریان الکتریکی القا کند.

در سال ۲۰۱۷ میلادی، دی راکی و پاولی، فیزیکدانان آلمانی، نشان دادند که نیروی مغناطیسی، می‌تواند در یک سیم، یک جریان الکتریکی القا کند.

در سال ۲۰۲۷ میلادی، دی راکی و پاولی، فیزیکدانان آلمانی، نشان دادند که نیروی مغناطیسی، می‌تواند در یک سیم، یک جریان الکتریکی القا کند.

تمرین ۱-۳

1 $\theta = 30^\circ, B = 32 \text{ G} = 32 \times 10^{-2} \text{ T}$

$F = 5/12 \times 10^{-14} \text{ N}, v = ?$

$F = qvB \sin \theta$

$5/12 \times 10^{-14} \text{ N} = (1/6 \times 10^{-14} \text{ C}) v$

$(32 \times 10^{-2} \text{ T}) \sin 30^\circ$

$\Rightarrow v = 2/0 \times 10^7 \text{ m/s}$

پرسش ۴-۳

با توجه به قاعده درست و این که بار الکترون منفی است، جهت میدان \vec{B} به صورت درون سو است.

تاریخچه نیروی مغناطیسی

در سال ۱۸۲۰ میلادی، الکساندر امپدو، فیزیکدان ایتالیایی، در جریان آزمایشی، متوجه شد که یک سیم حامل جریان الکتریکی، یک سوزن مغناطیسی را در اطراف خود می‌چرخاند. این کشف، پایه‌ای برای درک رابطه بین الکتریسیته و مغناطیسیت قرار داد.

در سال ۱۸۳۱ میلادی، میکلسن و فارادای، فیزیکدانان انگلیسی، متوجه شدند که تغییر در میدان مغناطیسی، می‌تواند در یک سیم، یک جریان الکتریکی القا کند. این پدیده، القای مغناطیسی نامیده می‌شود.

در سال ۱۸۶۲ میلادی، جیمز کلیرک مکسول، فیزیکدان اسکاتلندی، با استفاده از معادلات ریاضی، رابطه بین الکتریسیته و مغناطیسیت را به صورت کامل بیان کرد. او نشان داد که یک میدان مغناطیسی متغیر، می‌تواند یک میدان الکتریکی القا کند و بالعکس.

در سال ۱۹۰۵ میلادی، آلبرت اینشتین، فیزیکدان آلمانی، نشان داد که نیروی مغناطیسی، در واقع یک نیروی نسبیتی است که از اثر تغییرات در میدان الکتریکی ناشی می‌شود.

در سال ۱۹۲۷ میلادی، پاولی و دی راکی، فیزیکدانان آلمانی، نشان دادند که نیروی مغناطیسی، می‌تواند در یک سیم، یک جریان الکتریکی القا کند.

در سال ۱۹۳۵ میلادی، دی راکی و پاولی، فیزیکدانان آلمانی، نشان دادند که نیروی مغناطیسی، می‌تواند در یک سیم، یک جریان الکتریکی القا کند.

در سال ۱۹۴۷ میلادی، دی راکی و پاولی، فیزیکدانان آلمانی، نشان دادند که نیروی مغناطیسی، می‌تواند در یک سیم، یک جریان الکتریکی القا کند.

در سال ۱۹۵۷ میلادی، دی راکی و پاولی، فیزیکدانان آلمانی، نشان دادند که نیروی مغناطیسی، می‌تواند در یک سیم، یک جریان الکتریکی القا کند.

در سال ۱۹۶۷ میلادی، دی راکی و پاولی، فیزیکدانان آلمانی، نشان دادند که نیروی مغناطیسی، می‌تواند در یک سیم، یک جریان الکتریکی القا کند.

در سال ۱۹۷۷ میلادی، دی راکی و پاولی، فیزیکدانان آلمانی، نشان دادند که نیروی مغناطیسی، می‌تواند در یک سیم، یک جریان الکتریکی القا کند.

در سال ۱۹۸۷ میلادی، دی راکی و پاولی، فیزیکدانان آلمانی، نشان دادند که نیروی مغناطیسی، می‌تواند در یک سیم، یک جریان الکتریکی القا کند.

در سال ۱۹۹۷ میلادی، دی راکی و پاولی، فیزیکدانان آلمانی، نشان دادند که نیروی مغناطیسی، می‌تواند در یک سیم، یک جریان الکتریکی القا کند.

در سال ۲۰۰۷ میلادی، دی راکی و پاولی، فیزیکدانان آلمانی، نشان دادند که نیروی مغناطیسی، می‌تواند در یک سیم، یک جریان الکتریکی القا کند.

در سال ۲۰۱۷ میلادی، دی راکی و پاولی، فیزیکدانان آلمانی، نشان دادند که نیروی مغناطیسی، می‌تواند در یک سیم، یک جریان الکتریکی القا کند.

در سال ۲۰۲۷ میلادی، دی راکی و پاولی، فیزیکدانان آلمانی، نشان دادند که نیروی مغناطیسی، می‌تواند در یک سیم، یک جریان الکتریکی القا کند.

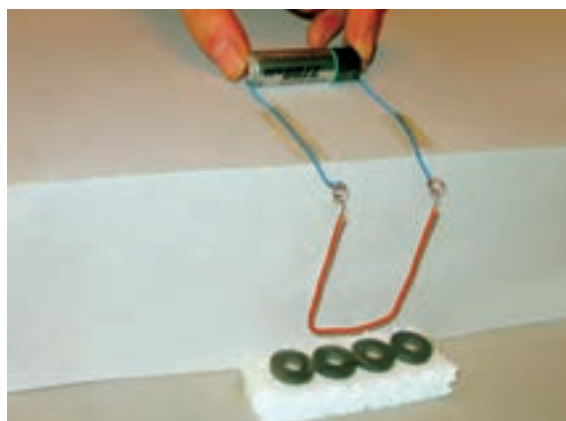
۴-۳ نیروی مغناطیسی وارد بر سیم حاوی جریان

راهنمای تدریس

از آنجا که دانش آموزان در علوم هشتم با موتورهای الکتریکی و همچنین در بخش قبل با نیروی مغناطیسی وارد بر ذره باردار متحرک درون میدان مغناطیسی آشنا شده‌اند، لذا توجه دانش آموزان به طرح ساده موتور الکتریکی در شکل ۳-۱۱ می‌تواند شروع مناسبی برای این بخش باشد. دانش آموزان باید به جهت حرکت حامل بار درون سیم رسانا، قطب‌های باتری و جهت میدان \vec{B} که حلقه 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 ۳-۲

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



برای بررسی رابطه ۳-۳، 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.



پرسش ۳-۵

با توجه به فرض پرسش، سیم حامل جریان در جهت میدان مغناطیسی قرار می‌گیرد، در این صورت $\theta = 0^\circ$ و در نتیجه $\sin \theta = 0$ 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 $\theta = 90^\circ$ و $\sin 90^\circ = 1$ خواهد بود و در نتیجه نیروی وارد بر سیم حامل جریان از طرف میدان \vec{B} بیشینه است.

تمرین ۳-۲

$$l = 2/4 \text{ m}, I = 2/5 \text{ A}, B = 45^\circ \text{ T}, \theta = 90^\circ$$

$$F = IlB \sin \theta = (2/5 \text{ A}) (2/4 \text{ m})$$

$$(\sin 90^\circ) (45 \times 10^{-4} \text{ T})$$

$$F = 2/7 \times 10^{-4} \text{ N}$$

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

فعالیت ۳-۴

طرح آزمایش مرتبط با این فعالیت را می‌توانید در مجموعه فیلم‌های مرتبط با آزمایش‌های فیزیک ۲ مشاهده کنید. شکل زیر نمای روبه بالایی از وسایل به کار 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)



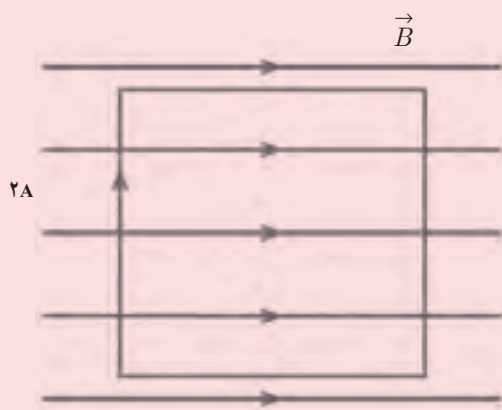
(ب)



(پ)

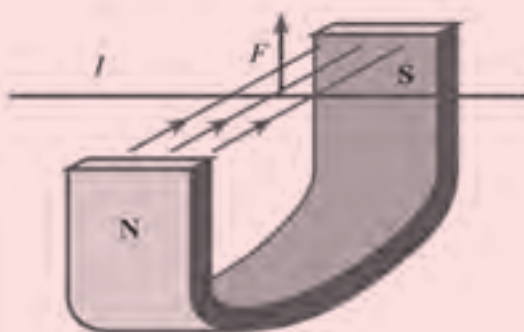


(د)



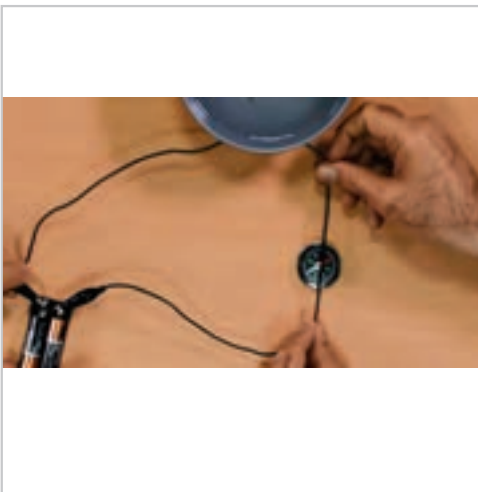
حلقه‌ای مربع شکل از سیم رسانا حامل جریان $2A$ است. این حلقه مطابق شکل روبه‌رو در میدان مغناطیسی یکنواختی به بزرگی 1 mT واقع است به طوری که دو ضلع حلقه در امتداد میدان قرار دارند. طول هر ضلع مربع را 2 cm در نظر بگیرید. الف) جهت نیروی الکترومغناطیسی وارد بر هر ضلع حلقه در کدام جهت است؟

ب) بزرگی برآیند نیروی وارد بر حلقه چه قدر است؟ با توجه به جهت نیروی وارد بر سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی شکل زیر، جهت جریان را در سیم تعیین کنید.



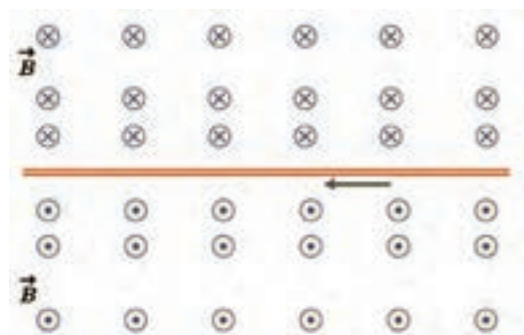
۳-۵ میدان مغناطیسی حاصل از جریان الکتریکی

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.





پرسش ۳-۶
با توجه به قاعده دست راست، جهت جریان مشخص می‌شود (شکل زیر).



پرسش ۳-۷
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 فاصله مساوی از سیم حامل جریان، اندازه میدان \vec{B} ثابت است ولی جهت آن تغییر می‌کند. با افزایش فاصله از سیم حامل جریان، اندازه میدان \vec{B} نیز کاهش می‌یابد. شکل ب) در این شکل به نوعی دیگر، کاهش اندازه 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 ۳-۳

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

در نقطه 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 نقطه b صفر است.

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

در شکل ۱۶-۳، خطوط میدان \vec{B} اطراف دو سیم حامل جریان با توجه به الگوی دو ذره باردار رسم شده است. لازم است دانش‌آموزان توجه کنند که خطوط رسم شده حاصل میدان برآیند دو سیم حامل جریان است.

پرسش ۸-۳

با استفاده از قاعده 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 نحوه کار بلندگوها آمده است که می‌توانید آن را در سایت گروه فیزیک مشاهده کنید. چنانچه فرصت کافی داشته باشید، اجرای این آزمایش در کلاس می‌تواند ارتباط خوبی را بین مفاهیمی که در این فصل مطرح شده است، فراهم کند. همچنین دانش‌آموزان را با کاربرد این مفاهیم آشنا می‌سازد.



تمرین ۳-۴

$$B = 3 \times 10^{-4} \text{ T} = 3 \times 10^{-4} \text{ T}$$

$$R = 8 \text{ cm} = 8 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$I = ?$$

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

$$3 \times 10^{-4} \text{ T} = \frac{(4\pi \times 10^{-7} \text{ T.m/A}) I}{(2 \times 8 \times 10^{-2} \text{ m})}$$

$$\Rightarrow I \approx 3/8 \times 10^{-2} \text{ A} = 3/8 \text{ mA}$$



تمرین ۳-۵

$$l = 4 \text{ cm}, I = 1/2 \text{ A}$$

$$B = 27 \text{ G} = 27 \times 10^{-4} \text{ T}$$

$$N = ?$$

$$B = \frac{\mu_0 NI}{l}$$

$$27 \times 10^{-4} \text{ T} = \frac{(4\pi \times 10^{-7} \text{ T.m/A}) N (1/2 \text{ A})}{0.04 \text{ m}}$$

$$\Rightarrow N \approx 7000 \text{ دور}$$



فعالیت ۳-۶

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



عامل گشتاور دوقطبی ذاتی اتم‌ها به چرخش الکترون‌ها دور خودشان (حرکت اسپینی) و چرخش الکترون‌ها دور هسته (حرکت مدار) مربوط می‌شود. 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 ۳-۷

در انجام این فعالیت باید به گونه‌ای لوله 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 دیامغناطیس، آزمایش برای مواد پارامغناطیس نیز انجام شده است.



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



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

پرسش ۳-۹

این پرسش به صورت 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 می‌شوند.

(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 الکتروانسفالوگرام EEG منحنی تغییرات اختلاف پتانسیل تولید شده در مغز برحسب زمان را نشان می‌دهد. ECG یک وسیله ضروری برای تشخیص بیماری‌های قلبی و EEG وسیله بسیار با ارزشی برای تشخیص بعضی اختلالات مغزی است.



شکل (ب): MCG مگنتوکاردیوگرام

شکل (الف): ECG الکتروکاردیوگرام

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 به‌وسیله این جریان‌ها را اندازه‌گیری کنند.

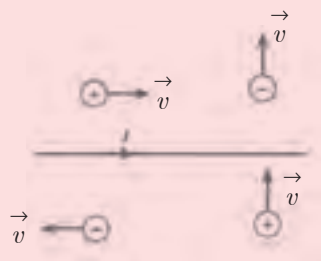
جریان نسبتاً زیاد قلب، میدان مغناطیسی تقریبی 1×10^{-6} گاوس را در اطراف قفسه سینه به‌وجود می‌آورد و جریان‌های ضعیف در مغز، میدان مغناطیسی تقریبی 3×10^{-8} گاوس را در اطراف سر تولید می‌کنند. این میدان‌ها از میدان مغناطیسی زمین (5° گاوس) یا حتی از میدان‌های مربوط به جریان‌های سیم‌های برق در منازل (5×10^{-2} 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 وسیله دیوارهای آهنی از تأثیر میدان‌های مغناطیسی خارجی محفوظ است. روش دیگر، اندازه‌گیری اختلاف شدت میدان مغناطیسی در دو نقطه 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.

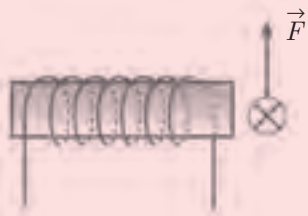
اندازه‌گیری به وسیله الکتروکاردیوگرام یا مگنتوکاردیوگرام MCG از اندازه‌گیری با الکتروآنسفالوگرام یا مگنتوآنسفالوگرام MEG بسیار راحت‌تر است. زیرا میدان مغناطیسی مغز بسیار ضعیف‌تر از میدان مغناطیسی قلب است. انتظار می‌رود که روش‌های آشکارسازی میدان‌های مغناطیسی بسیار ضعیف، به تدریج کامل شوند و دریچه کاملاً جدیدی را به روی اعمال انسان بگشایند.

پرسی 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؟



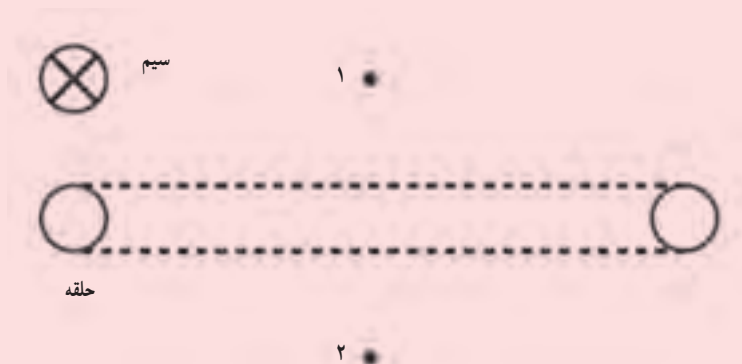
۲ جهت نیروی وارد بر سیم حامل جریانی که در نزدیکی سیم‌لوله‌ای قرار دارد مطابق شکل زیر است. جهت جریان را در سیم‌لوله تعیین کنید.





۳ سیم بلند و مستقیمی عمود بر صفحه کتاب مطابق شکل روبه‌رو درون میدان مغناطیسی یکنواختی قرار دارد. برآیند میدان مغناطیسی در نقطه ۳ صفر است. الف) جهت جریان الکتریکی را در سیم (روی شکل) مشخص کنید. ب) فاصله نقطه‌های ۱ و ۲ از سیم همانند نقطه ۳ و فاصله نقطه ۴ از سیم بیشتر از فاصله نقطه 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 حلقه حامل جریانی قرار دارد (شکل زیر). سیم و حلقه عمود بر صفحه کتاب‌اند و میدان مغناطیسی برآیند در نقطه 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 نقطه 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 فری مغناطیس. به‌طور کلی سه عامل در منشأ مغناطیسی مواد مؤثر است.

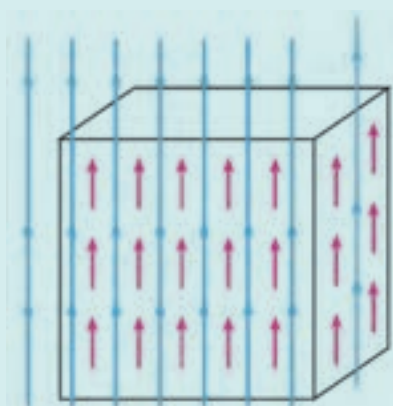
الف) گشتاور اسپینی

ب) گشتاور مداری الکترون‌ها

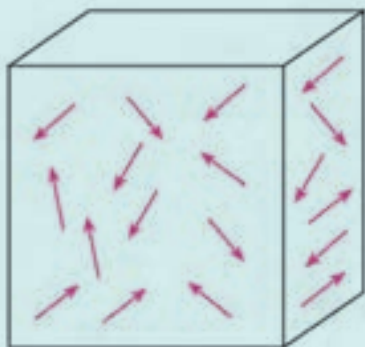
ج) گشتاور القایی ناشی از میدان مغناطیسی خارجی

دو مورد اول در خاصیت پارا، فرو، پادفرو و فری مغناطیسی مواد نقش اساسی دارد و مورد سوم در خاصیت دیامغناطیسی مواد.

۱) **دیامغناطیسی**: هرگاه یک ماده در معرض یک میدان مغناطیسی خارجی قرار بگیرد برهم کنش بین الکترون‌های هر اتم و میدان مغناطیسی خارجی باعث القای یک گشتاور مغناطیسی در اتم می‌شود، این پدیده را دیامغناطیس می‌نامند. از آنجایی که همه 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. پدیده دیامغناطیس در اتم‌های با پوسته 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 ماده دیامغناطیس هستند.



یک ماده پارامغناطیس در حضور یک میدان مغناطیسی خارجی قوی.



یک ماده پارامغناطیس در غیاب میدان مغناطیسی خارجی.

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

الف) پوسته 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 تبدیلی موسوم است منشأ آن کوانتومی است.

ج) اگر این مواد در معرض یک میدان مغناطیسی خارجی قرار بگیرند، علاوه بر القای یک گشتاور مغناطیسی در اتم‌های آنها (پدیده دیامغناطیس)، تعدادی از گشتاورهای مغناطیسی دائم‌اتم‌ها 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 همه گشتاورهای مغناطیسی ماده در جهت میدان قرار می‌گیرند. با حذف میدان مغناطیسی خارجی دوباره جهت گشتاور مغناطیسی اتم‌های جسم به حالت کاتوره‌ای بازمی‌گردند.

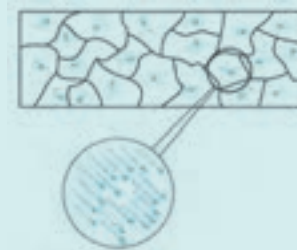
منگنز، پلاتین، آلومینیوم، هوا و... جزء مواد پارامغناطیس محسوب می‌شوند.

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

در مواد فرومغناطیس گشتاورهای مغناطیسی اتم‌های ماده به صورت 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. به طوری که جهت‌گیری گشتاورهای مغناطیسی در هر حوزه مغناطیسی یکسان است ولی در مجموع گشتاور مغناطیسی برآیند کل نمونه (مغناطش نمونه) برابر صفر است.



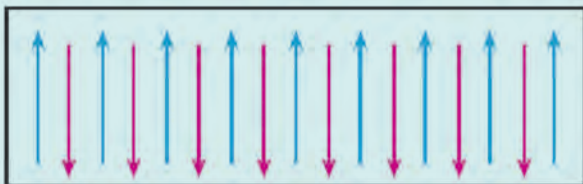
یک ماده فرومغناطیسی در حضور میدان مغناطیسی خارجی



یک ماده فرومغناطیسی در غیاب میدان مغناطیسی

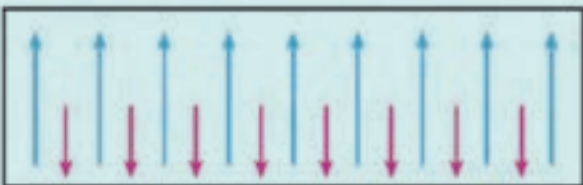
حال اگر یک ماده فرومغناطیس را در معرض یک میدان مغناطیسی خارجی قرار می‌دهیم، گشتاور مغناطیسی حوزه‌هایی که در جهت (یا تقریباً در جهت) میدان هستند هم جهت با آن قرار می‌گیرند، به طوری که با افزایش شدت میدان به تدریج گشتاورهای مغناطیسی حوزه‌های دیگر نیز در جهت میدان ردیف می‌شوند و در نهایت ماده به یک تک حوزه 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، گادولینیم و دیسپرسیم جزء مواد فرومغناطیس محسوب می‌شوند.

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



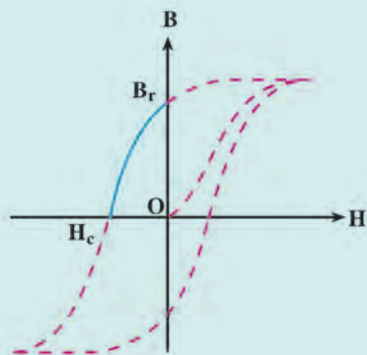
یک حوزه مربوط به ماده پادفرومغناطیس، در مواد پادفرومغناطیس برآیند گشتاورهای مغناطیسی در هر شبکه صفر است.

مواد فری مغناطیس نیز مانند مواد پادفرومغناطیس می‌باشند با این تفاوت که اندازه 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 حوزه مغناطیسی مربوط به ماده فری مغناطیس، در مواد فری مغناطیس برآیند گشتاورهای مغناطیسی در هر شبکه مخالف صفر است.

هرگاه یک ماده فری مغناطیس در یک میدان مغناطیسی خارجی نسبتاً قوی قرار بگیرد برآیند همه 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 بازمی‌گردند و جسم خاصیت مغناطیسی را به صورت 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 به طوری که به اختصار آنها را فريت می‌نامند. رابطه شیمیایی این مواد به صورت Fe_2O_3 ، Fe ، 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 فری مغناطیس: یکی از بارزترین مشخصات این مواد، منحنی مغناطیدگی یا چرخه پسماند است که در آن تغییرات مغناطیدگی جسم \vec{M} (گشتاور مغناطیسی ماده در واحد حجم یا جرم) را برحسب شدت 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 زیر). 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 هم جهت (یا تقریباً هم جهت) 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 هم جهت می‌شوند و کل نمونه به صورت یک تک حوزه مغناطیسی درمی‌آید. اکنون اگر میدان مغناطیسی خارجی را به تدریج کاهش دهیم گشتاورهای حوزه‌های مغناطیسی به حالت اولیه خود بازمی‌گردند، 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 چرخه پسماند) یک ماده فرو یا فری مغناطیس

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

چرا مواد فری مغناطیس برای ذخیره اطلاعات مناسب اند؟ با توجه به آنچه گفته شد یک محیط مناسب برای ذخیره اطلاعات باید دارای شرایط زیر باشد :

(الف) ذخیره 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 فری مغناطیس وجود دارد و از این جهت این مواد برای ذخیره اطلاعات مناسب اند.

تاریخچه ضبط (ذخیره) مغناطیسی : ضبط مغناطیسی با استفاده از تبدیل نوسان های صوتی به نوسانات الکتریکی (توسط میکروفون و تقویت کننده) و تبدیل این جریان الکتریکی به یک میدان مغناطیسی توسط یک هد (که باید از جنس یک ماده فرومغناطیس باشد) و اعمال این میدان مغناطیسی بر روی یک محیط مغناطیسی مناسب (از جنس یک ماده فری مغناطیس) امکان پذیر است. ضبط صدای انسان نخستین بار در سال ۱۸۹۸ میلادی توسط پولسن (Poulsen) ابداع گردید. او نوسان های صوتی را توسط یک آهنربای الکتریکی که به یک میکروفون وصل شده بود بر روی یک میله فولادی (آهن با ۱ درصد کربن) ذخیره نمود. مجموعه دستگاهی که ایشان فراهم نمود، به تلگرافون موسوم بود. عیب عمده این دستگاه نوفه (Noise) زیاد در هنگام بازیافت اطلاعات ذخیره شده بود.

در سال ۱۹۲۰ با بهبود کیفیت تقویت کننده ها، بازیافت اطلاعات با نوفه کمتری همراه شد. در سال ۱۹۲۱ با اختراع روش ضبط با پیش ولت ac این نوفه ها به میزان قابل توجهی کاهش یافت.

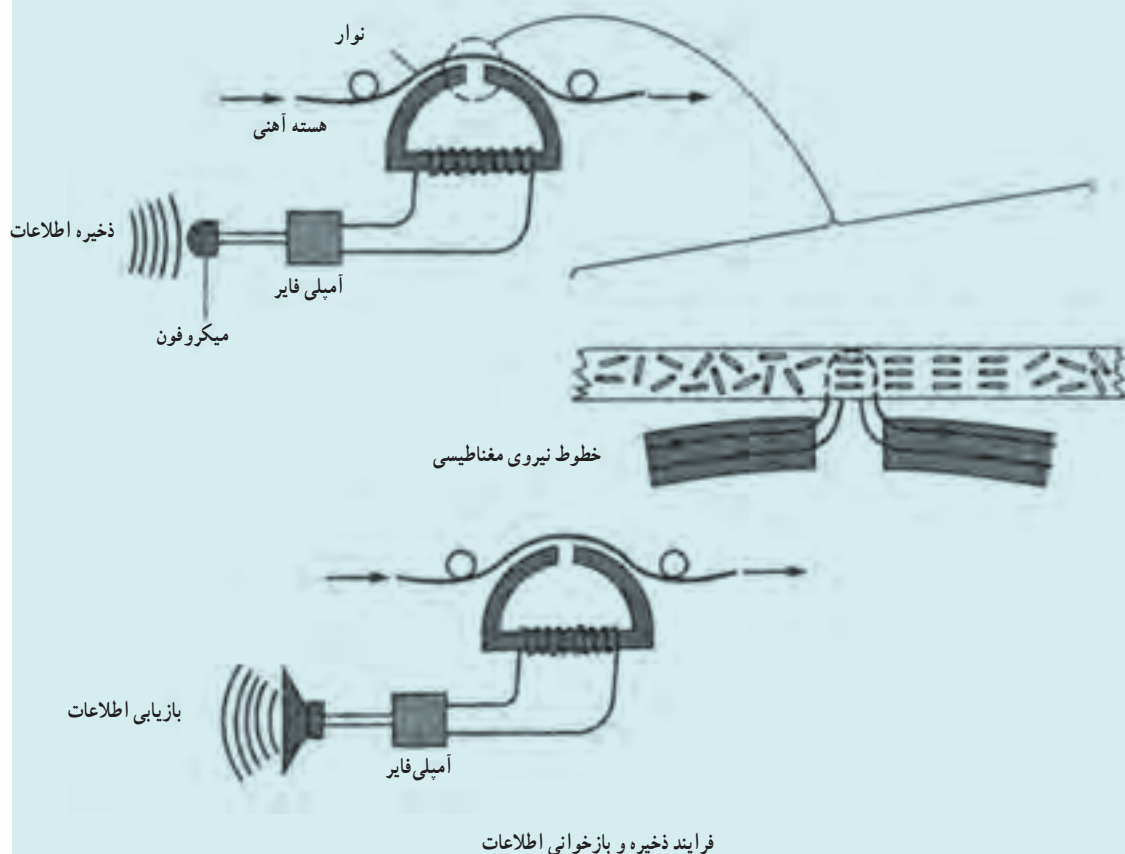
نوارهای ضبط شنیداری *ATR* نخستین بار با آغشته کردن یک نوار کاغذی مخصوص با یک مایع فری مغناطیس در سال ۱۹۲۷ توسط یک شرکت آمریکایی ابداع گردید و هم زمان در آلمان این نوارها با استفاده از نوار کاغذی آغشته به پودر آهن ساخته شدند. در سال ۱۹۴۷ با همکاری سه شرکت آمریکایی نوارهای اکسید آهن ابداع شدند و در سال ۱۹۵۰ نوارهای ضبط دیداری *VTR* و همچنین درایوهای دیسک مغناطیسی *MDD* ساخته شدند. در اواخر دهه ۱۹۶۰ میلادی نوارهایی از جنس دیوکسید کروم و در اوایل دهه 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 محیط های مغناطیسی : همان طور که گفته شد عمل ذخیره سازی 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 راه انداز و اعمال این میدان بر روی یک محیط مغناطیسی مناسب امکان پذیر است (شکل زیر).



ساختمان یک دستگاه راه انداز مغناطیسی.

برای بازیافت اطلاعات فرایند بالا برعکس می شود. یعنی نوار را از مقابل یک راه انداز مغناطیسی عبور می دهند، در نتیجه بر اثر خاصیت مغناطیسی نوار، یک میدان مغناطیسی در دستگاه راه انداز القا می شود و این میدان مغناطیسی باعث ایجاد یک جریان الکتریکی می شود که توسط یک مبدل به نوسان های صوتی تبدیل می شود (شکل صفحه بعد).



پرسش های پیشنهادی

ماده غیر مغناطیس

۱ در شکل روبه رو تأثیر وجود یک ماده غیر مغناطیسی (مانند شیشه) و یک ماده مغناطیسی (مانند آهن) در اطراف یک آهنربای میله ای نشان داده شده است.

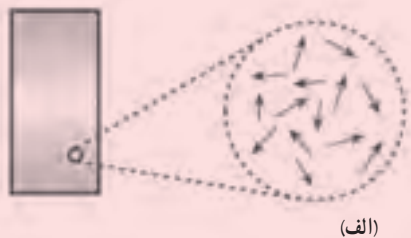
الف) سمت گیری تقریبی دو قطبی های مغناطیسی را در هر یک از این دو ماده با رسم شکل نشان دهید.

ب) قطب های القا شده در قطعه آهن را تعیین کنید.

۲ الف) در شکل های زیر (الف و ب) سمت گیری دوقطبی های مغناطیسی در دو ماده مختلف را در مقیاس خیلی ریز نشان داده

است. تفاوت های هر ماده را از لحاظ مغناطیسی بنویسید.

ب) در صورتی که ماده (الف) درون یک میدان مغناطیسی ضعیف قرار گیرد، چه تغییری در سمت گیری دوقطبی های آن رخ می دهد؟ در صورتی که میدان مغناطیسی قوی باشد، چطور؟
پ) اگر ماده (ب) یک آهنربای میله ای باشد، قطب های آن را در دو طرف آهنربا تعیین کنید.

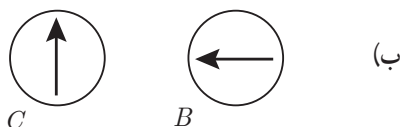


راهنمای پاسخ‌یابی پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۳

۱ دانش‌آموزان با توجه به شکل ۳-۶ می‌توانند، جهت قطب‌های آهنربا را به سادگی تعیین کنند.

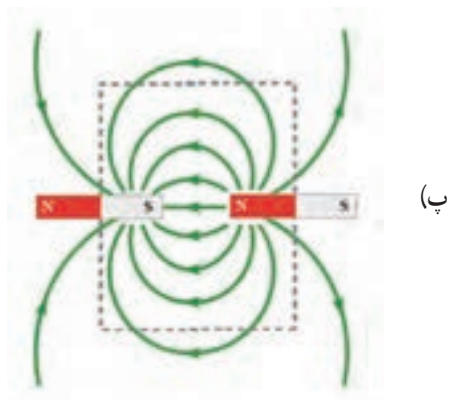


۲ الف) اندازه میدان در نقطه A حداقل ممکن و نزدیک به صفر است.



پ) به علت اینکه مجرای گلو دارای فرورفتگی و برآمدگی است.
ت) گیره آهنی کاغذ را می‌توان بیرون آورد زیرا ماده فرومغناطیس نرم است و جذب آهنربا می‌شود.

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



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

۲- استفاده از قطب نما

ب) با توجه به تراکم خطوط میدان در مجاورت قطب‌ها آهنربای

۲، اندازه میدان \vec{B} این آهنربا از آهنرباهای (۱) بیشتر است.

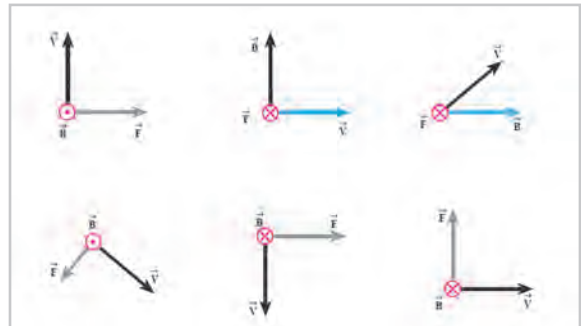
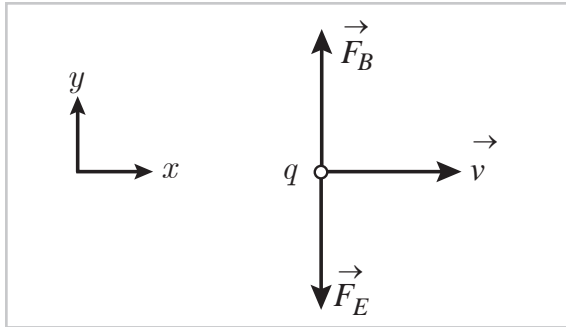
۴ الف) نوک ثابت آهنی بر اثر پدیده القای مغناطیسی، به آهنربا تبدیل می‌شود.

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

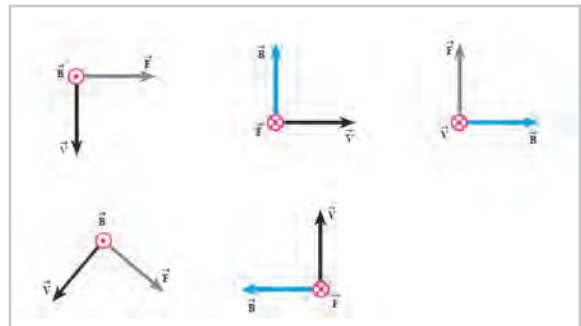


۱۸ برای اینکه ذره باردار در همان امتداد محور x به حرکت خود ادامه دهد، مطابق شکل باید $F_E = F_B$. در این صورت داریم

$$qE = qvB \Rightarrow v = \frac{E}{B} = \frac{450 \text{ N}}{0.18 \text{ T}} = 2500 \text{ m/s}$$



۱۹ با استفاده از قاعده دست راست، جهت نیرو
الف) به سمت داخل صفحه (درون سو) است.
ب) به سمت بالا.
پ) به سمت بالا.



۸ باد ساعتگرد

$$V = 4/4 \times 10^6 \text{ m/s}, B = 18 \text{ mT}, \theta = 60^\circ$$

$$F = qvB \sin \theta = (1/6 \times 10^{-19} \text{ C}) \times (4/4 \times 10^6 \text{ m/s}) \times (18 \times 10^{-3} \text{ T}) \sin 60^\circ \approx 2/5 \times 10^{-15} \text{ N}$$

ب)

$$F = ma \Rightarrow a = \frac{2/5 \times 10^{-15} \text{ N}}{1/7 \times 10^{-27} \text{ kg}} = 1/4 \times 10^{12} \text{ m/s}^2$$

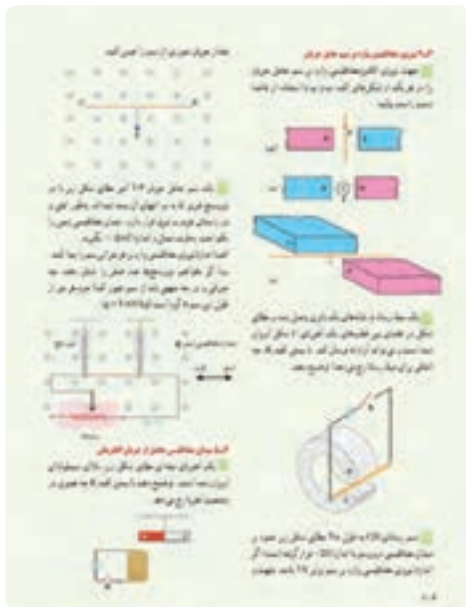
$$v = 2/4 \times 10^6 \text{ m/s}, F_{\max} = 6/87 \times 10^{-14} \text{ N}, B = ?$$

$$F = qvB \sin \theta \Rightarrow 6/8 \times 10^{-14} \text{ N} = (1/6 \times 10^{-19} \text{ C})$$

$$(2/4 \times 10^6 \text{ m/s}) B$$

$$\Rightarrow B \approx 1/7 \text{ T}$$

۱۲ میله در همان لحظه وصل کلید، روبه جلو پرتاب می شود.
دانش آموزان با توجه به قاعده دست راست و جهت جریان و میدان
 \vec{B} ، باید جهت نیروی وارد بر میله را تعیین کنند.



$$l = 2\text{m}, B = 0.5\text{ T}, F = 1\text{N}, I = ?$$

$$F = IlB\sin\theta \Rightarrow 1\text{N} = I(2\text{m})(0.5\text{T})\sin 90^\circ$$

$$\Rightarrow I = 1\text{A}$$

جهت جریان از D به C است.

$$I = 1/6\text{A}, B = 0.5\text{mT} = 0.5 \times 10^{-3}\text{ T}$$

$$F = IlB\sin\theta = (1/6\text{A})(1\text{m})(0.5 \times 10^{-3}\text{ T})\sin 90^\circ$$

$$= 8 \times 10^{-5}\text{N}$$

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

$$I(1\text{m})(0.5 \times 10^{-3})\sin 90^\circ = (8 \times 10^{-3}\text{ kg})(9.8\text{N/kg})$$

$$\Rightarrow I = 1568\text{A}$$

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 عقربه 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 درون سو است. بنابراین باید جهت میدان ناشی از سیم ۲ در نقطه A برون سو باشد تا برآیند آنها بتواند صفر شود.

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

$$N = 250 \text{ حلقه}, l = 0.14\text{m}, I = 8\text{A}, B = ?$$

$$B = \frac{\mu_0 NI}{l} = \frac{(4\pi \times 10^{-7}\text{ T.m/A})(250)(8\text{A})}{0.14\text{m}} \approx 1.8 \times 10^{-3}\text{ T}$$

$$N_P = 200, N_Q = 300, I_Q = 1\text{A}, I_P = ?$$

$$l_P = l_Q$$

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

$$B_P = B_Q \Rightarrow \frac{\mu_0 N_P I_P}{l_P} = \frac{\mu_0 N_Q I_Q}{l_Q}$$

$$\Rightarrow 200 \cdot I_P = 300 \times 1\text{A} \Rightarrow I_P = \frac{3}{2}\text{A}$$

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

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

