

## مثال ۴-۴

از پیچه‌ی مسطحی به شعاع  $۶/۲۸\text{cm}$  که از  $۱۰۰$  دور سیم نازک درست شده است جریانی به شدت  $۲$  آمپر می‌گذرد. میدان مغناطیسی را در مرکز پیچه به دست آورید.

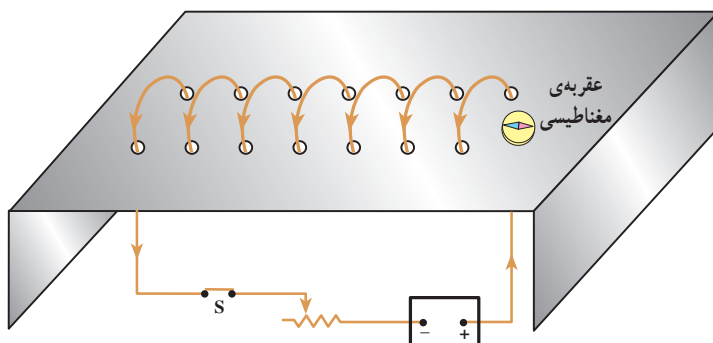
حل: داریم

$$B = \frac{\mu_0 NI}{2R} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 100 \times 2}{2 \times 6/28 \times 10^{-2}} = 2 \times 10^{-3} \text{ T}$$

میدان مغناطیسی حاصل از سیم‌لوله‌ی حامل جریان: سیم‌لوله از چند دور سیم تشکیل شده است که شبیه به یک فنر پیچیده شده است. اگر جریان الکتریکی‌ای از سیم‌لوله عبور کند، در فضای اطراف سیم‌لوله خاصیت مغناطیسی ایجاد می‌شود. با انجام فعالیت زیر به وجود میدان مغناطیسی در اطراف سیم‌لوله‌ی حامل جریان پی می‌برید.

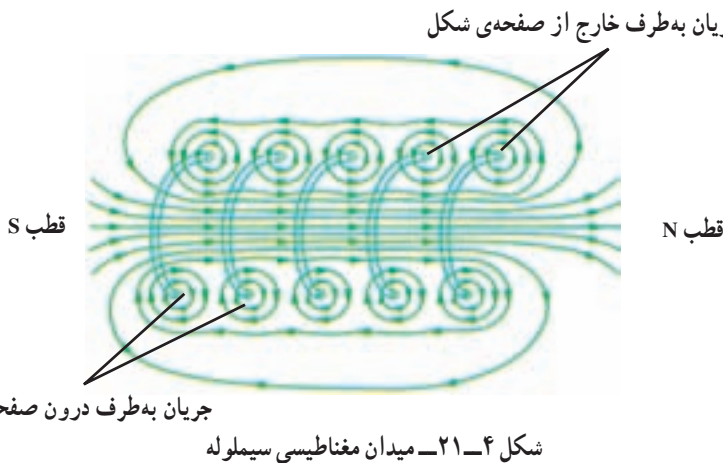
## فعالیت ۷-۴

روی یک جعبه‌ی مقوایی یا پلاستیکی دو ردیف سوراخ با فاصله‌های مساوی ایجاد کنید. سیم را به صورتی که در شکل ۴-۲ نشان داده شده است از میان سوراخ‌ها عبور دهید تا یک سیم‌لوله درست شود. جریان الکتریکی ثابتی از سیم‌لوله عبور دهید و با استفاده از عقربه‌ی مغناطیسی یا براده‌های آهن، خط‌های میدان مغناطیسی سیم‌لوله را مشخص کنید.



شکل ۴-۲

نقش خط‌های میدان مغناطیسی یک سیملوله‌ی حامل جریان الکتریکی در داخل و خارج آن در شکل ۴-۲۱ نشان داده شده است. همان‌گونه که در این شکل می‌بینید، خط‌های میدان داخل سیملوله بسیار متراکم‌تر از خط‌های میدان در خارج آن است و این نشان‌دهنده‌ی قوی‌تر بودن میدان در داخل سیملوله است. علاوه بر این خط‌های میدان در داخل سیملوله، بویژه در نقطه‌های نسبتاً دور از لبه‌های سیملوله تقریباً موازی و هم‌فاصله‌اند و این نشانگر یکنواخت بودن میدان مغناطیسی درون سیملوله است. همان‌طور که دیده می‌شود، جهت میدان مغناطیسی در داخل سیملوله خلاف جهت میدان مغناطیسی در خارج آن است.



جهت میدان مغناطیسی سیملوله‌ی حامل جریان را نیز می‌توان با استفاده از قاعده‌ی دست راست تعیین کرد.

اگر شعاع قاعده‌ی سیملوله در مقایسه با طول آن کوچک باشد و حلقه‌های سیملوله خیلی به هم نزدیک باشند، میدان مغناطیسی داخل سیملوله در نقطه‌های دور از لبه‌ها یکنواخت است و بزرگی آن از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید.

$$B = \mu_0 n I \quad (۹-۴)$$

در این رابطه،  $I$  جریانی است که از سیملوله می‌گذرد و  $n$  تعداد دورهای سیملوله در واحد طول است که از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید.

$$n = \frac{N}{l} \quad (۱۰-۴)$$

که  $N$  تعداد کل دورهای سیملوله و  $l$  طول سیملوله است.

## مثال ۴-۵

از سیملوله‌ای که در هر متر طول آن ۲۰۰۰ دور سیم پیچیده شده است، جریانی به شدت ۳ آمپر عبور می‌کند. بزرگی میدان مغناطیسی را در درون سیملوله (دور از لبه‌ها) به دست آورید.

حل: داریم

$$B = \mu_0 \cdot \frac{N}{l} I = 4\pi \times 10^{-7} \times \frac{2000}{1} \times 3 \\ = 7.5 \times 10^{-3} \text{ T}$$

خط‌های میدان مغناطیسی، منحنی‌های بسته‌ای هستند، و نقطه‌ی آغاز یا پایانی ندارند. این موضوع برای پیچه و سیملوله در شکل‌های ۴-۱۸ و ۴-۲۱ دیده می‌شود.

سیملوله با هسته‌ی آهنی — آهنربای الکتریکی: در بخش ۴-۱ دیدید که اگر یک میله‌ی آهنی را در میدان مغناطیسی قرار دهیم، خاصیت مغناطیسی در آن القا خواهد شد. می‌توانیم میله‌ی آهنی را درون یک سیملوله‌ی حامل جریان که میدان در آنجا از هر جای دیگر در اطراف سیملوله قوی‌تر است جای دهیم. در این صورت، این میله‌ی آهنی را هسته‌ی سیملوله می‌نامند. پیش از آنکه جریانی از سیملوله عبور کند، سیملوله و هسته‌ی آهنی خاصیت مغناطیسی ندارند. اما وقتی جریانی در سیملوله برقرار می‌کنیم، میدان مغناطیسی سیملوله، خاصیت مغناطیسی در هسته‌ی آهنی القا می‌کند و هسته‌ی آهنی آهنربا می‌شود. این آهنربا را آهنربای الکتریکی می‌نامند.

به این ترتیب خاصیت آهنربایی آهنربای الکتریکی را می‌توانیم قطع و وصل کنیم. هرچه تعداد دورهای سیملوله در واحد طول بیش‌تر باشد و جریانی که از آن می‌گذرد بزرگ‌تر باشد آهنربای الکتریکی قوی‌تر خواهد بود.

وجود هسته‌ی آهنی باعث تقویت میدان مغناطیسی سیملوله می‌شود. سیملوله‌ی بدون هسته‌ی آهنی دارای میدان مغناطیسی ضعیفی است که در عمل کاربردی ندارد.

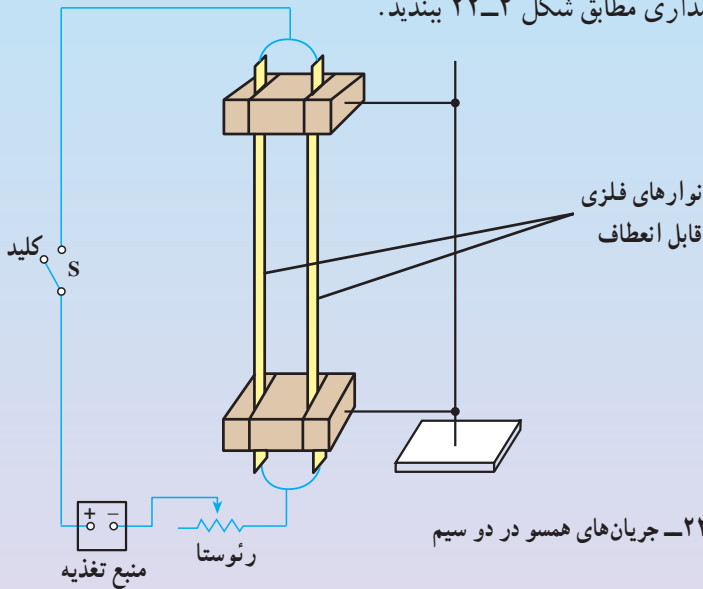
## ۴-۶ — نیروی بین سیم‌های موازی حامل جریان

در آزمایش اورستد، دیدیم که در فضای اطراف هر سیم حامل جریان میدان مغناطیسی ایجاد می‌شود. هم‌چنین در بخش ۴-۲ دیدیم که آهنربا بر سیم حامل جریان نیرو وارد می‌کند. حال فرض کنید که برای ایجاد میدان مغناطیسی به جای آهنربا از یک سیم حامل جریان استفاده کنیم. اگر سیم حامل جریان دیگری را در مجاورت این سیم قرار دهیم، آیا بر آن نیرویی وارد می‌شود؟ برای پاسخ دادن به این پرسش آزمایش ۴-۶ را انجام دهید.

## آزمایش ۴-۶

وسایله‌های آزمایش: دو نوار فلزی نازک قابل انعطاف به پهنای تقریبی یک سانتی متر، دو پایه‌ی نارسانا (چوبی)، رئوستا، منبع تغذیه‌ی جریان یکنواخت، کلید قطع و وصل و سیم رابط.

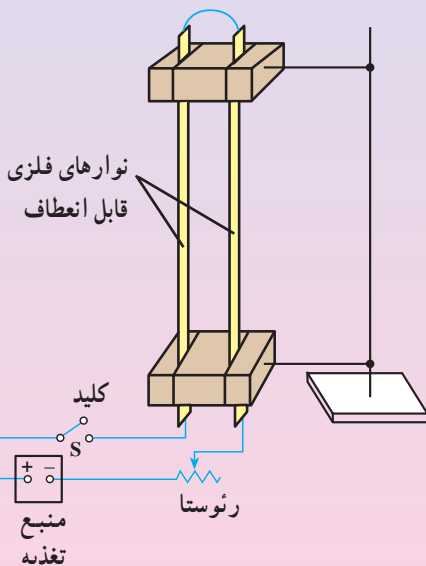
۱- مدارى مطابق شكل ۴-۲۲ ببندید.



۲- با وصل کردن کلید، جریان را در مدار برقرار کنید. توجه کنید که جریان در دو سیم موازی و همسو است. مشاهده‌ی خود را گزارش دهید.

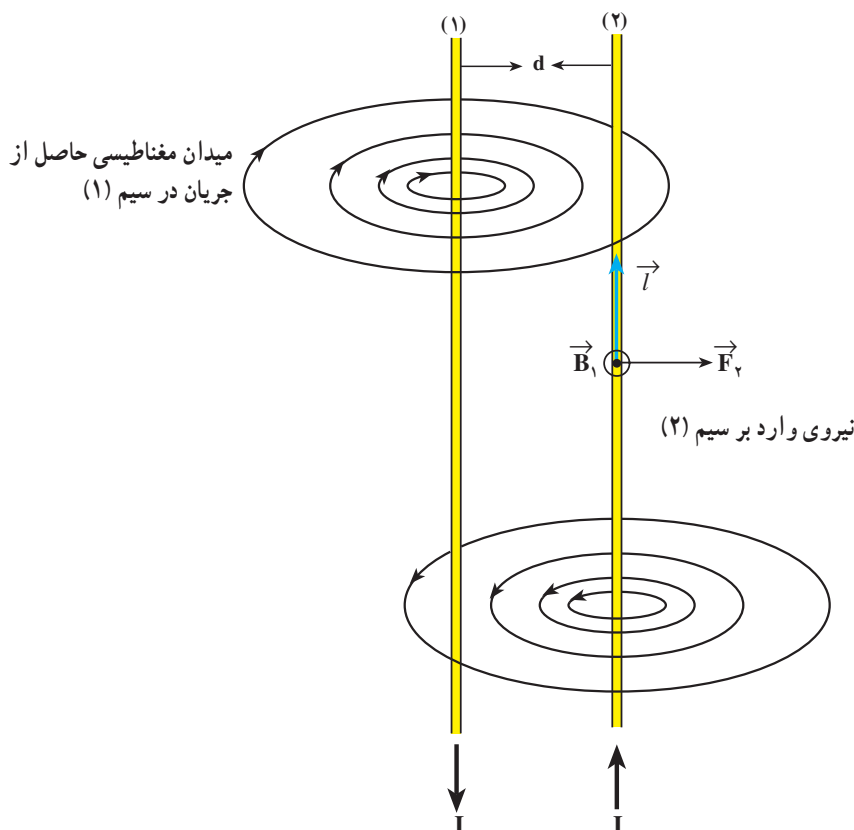
۳- مدارى مطابق شكل ۴-۲۳ ببندید.

۴- با وصل کردن کلید، جریان را در مدار برقرار کنید. در این حالت جریان در دو سیم در جهت‌های مخالف است. مشاهده‌های خود را گزارش دهید.



آزمایش صفحه‌ی قبل نشان می‌دهد که سیم‌های حامل جریان الکتریکی بر یک‌دیگر نیرو وارد می‌کنند. هرگاه جریانی که از دو سیم می‌گذرد همسو باشد (شکل ۴-۲۲)، دو سیم یک‌دیگر را می‌ربایند، و اگر جریانی که از دو سیم می‌گذرد در جهت‌های مخالف باشد (شکل ۴-۲۳) دو سیم یک‌دیگر را می‌رانند.

نیروی را که بر هر سیم وارد می‌شود، می‌توان برحسب میدان مغناطیسی حاصل از جریان الکتریکی در سیم دیگر توضیح داد. برای این کار، دو سیم مستقیم و خیلی دراز موازی را که حامل جریان  $I$  هستند و به فاصله‌ی  $d$  از یک‌دیگر قرار گرفته‌اند، مطابق شکل ۴-۲۴ در نظر می‌گیریم. جریان الکتریکی در سیم شماره‌ی (۱) در فضای اطراف آن، میدان مغناطیسی ( $\vec{B}_1$ ) را ایجاد می‌کند. جهت میدان  $\vec{B}_1$  در محل سیم شماره‌ی (۲) همان‌گونه که در شکل نشان داده شده است برونسو است. چون سیم شماره‌ی (۲) نیز حامل جریان الکتریکی  $I$  است، میدان  $\vec{B}_1$  بر آن نیرو وارد می‌کند. این نیرو را در شکل با  $\vec{F}_p$  نشان داده‌ایم، جهت  $\vec{F}_p$  با استفاده از قاعده‌ی دست راست تعیین می‌شود.



شکل ۴-۲۴- جهت نیروها و میدان‌های مغناطیسی مربوط به دو سیم موازی حامل جریان‌های در جهت مخالف

## تمرین ۲-۴

جهت نیروی وارد بر سیم شماره‌ی (۱) در شکل ۴-۲۴ را با استدلالی مشابه تعیین کنید.

## فعالیت ۸-۴

جهت نیروها و میدان‌های مغناطیسی مربوط به دو سیم موازی حامل جریان‌های همسو را با رسم شکل و استفاده از قاعده‌ی دست راست مشخص کنید.

## تمرین ۳-۴

از دو سیم بلند موازی که به فاصله‌ی  $d$  از یک‌دیگر قرار دارند، جریانی به شدت  $I$  می‌گذرد، جهت جریان در هر دو سیم یکسان است، نیرویی را که به یک متر از هر یک از سیم‌ها وارد می‌شود به دست آورید.

دیدیم که دو سیم مستقیم دراز و موازی حامل جریان با توجه به جهت جریان بر هم نیروهای ربایشی یا رانشی وارد می‌کنند، این واقعیت، اساس تعریف عملیاتی\* یکای شدت جریان یعنی آمپر در SI است. مطابق این تعریف:

هرگاه از دو سیم نازک، موازی، مستقیم و بسیار دراز، که به فاصله‌ی یک متر از یک‌دیگر در خلأ قرار دارند، جریان‌های مساوی عبور کند — به گونه‌ای که بر یک متر از طول هر یک از سیم‌ها نیرویی برابر  $2 \times 10^{-7}$  نیوتون وارد شود — جریانی که از هر یک از سیم‌ها می‌گذرد، برابر یک آمپر است.

## ۷-۴- خاصیت مغناطیسی مواد

پیش از این دیدیم که برخی مواد خاصیت آهنربایی دارند، و در برخی مواد دیگر در حضور میدان مغناطیسی خاصیت آهنربایی القا می‌شود. برای نمونه هسته‌ی آهنی یک آهنربای الکتریکی را به یاد بیاورید. این سؤال پیش می‌آید که منشأ این رفتار مواد چیست؟ در این بخش به بررسی این موضوع می‌پردازیم.

---

\* تعریف عملیاتی یکا به معنای ارائه‌ی روش اندازه‌گیری آن یکا است.

یکی از ویژگی‌های جالب آهنرباها این است که اگر آهنربایی را به دو یا چند قطعه بشکنیم، هر قطعه

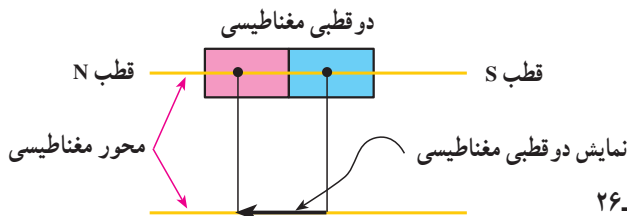
نیز خود یک آهنربا با دو قطب N و S است (شکل



شکل ۴-۲۵- هر قطعه از یک آهنربا، یک دوقطبی مغناطیسی است.

۲۵-۴). آزمایش‌ها نشان می‌دهند که هر قدر این عمل شکستن را ادامه دهیم، باز هم قطعه‌های حاصل دارای دو قطب N و S خواهند بود. می‌توان چنین نتیجه گرفت که قطب N از قطب S جداشدنی نیست و کوچک‌ترین ذره‌های تشکیل دهنده آهنرباها (یعنی اتم‌ها یا مولکول‌ها) نیز آهنربا هستند و دو قطب N و S دارند.

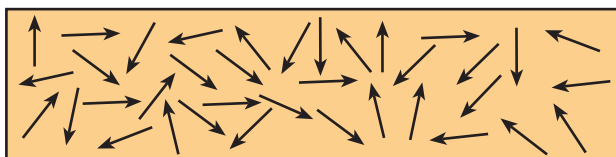
این آهنرباهای کوچک را دوقطبی مغناطیسی می‌نامند؛ زیرا هر یک همواره دو قطب N و S دارند. خطی را که دو قطب یک دوقطبی مغناطیسی را به هم متصل می‌کند، محور مغناطیسی آن می‌نامند. یک دوقطبی مغناطیسی را با یک پیکان نمایش می‌دهند (شکل ۴-۲۶).



شکل ۴-۲۶

موادی را که اتم‌ها یا مولکول‌های سازنده آن‌ها خاصیت مغناطیسی دارند، مواد مغناطیسی می‌نامند. نحوه‌ی سمت‌گیری دوقطبی‌های مغناطیسی کوچک در مواد مغناطیسی مختلف، متفاوت است. به همین دلیل مواد از لحاظ ویژگی‌های مغناطیسی نیز با هم تفاوت دارند. در ادامه، به بررسی برخی از مواد مغناطیسی می‌پردازیم.

**مواد پارامغناطیس:** دوقطبی‌های مغناطیسی در یک ماده‌ی پارامغناطیسی دارای سمت‌گیری مشخص و منظمی نیستند و در جهت‌های کاتوره‌ای قرار دارند (شکل ۴-۲۷). در نتیجه این مواد خاصیت مغناطیسی ندارند. اگر آن‌ها را درون یک میدان مغناطیسی (مثلاً نزدیک یک آهنربا) قرار دهیم، دوقطبی‌های کوچک مانند عقربه‌های مغناطیسی در نزدیکی آهنربا رفتار می‌کنند؛ یعنی، در



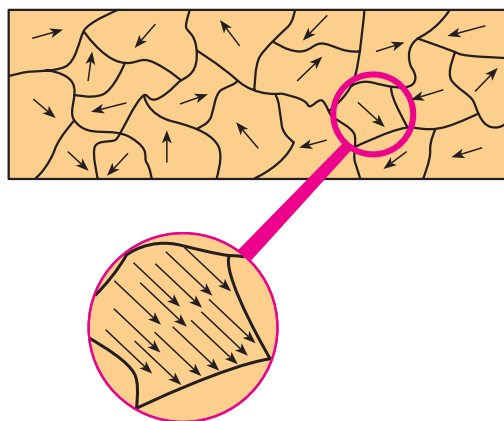
شکل ۴-۲۷- سمت‌گیری دوقطبی‌های مغناطیسی در ماده‌ی پارامغناطیس در غیاب میدان مغناطیسی

راستای خط‌های میدان مغناطیسی منظم می‌شوند. هرچه میدان مغناطیسی قوی‌تر باشد، تعداد بیش‌تری از این دوقطبی‌های مغناطیسی کوچک با میدان هم‌خط می‌شوند. در نتیجه، خاصیت مغناطیسی ماده بیش‌تر می‌شود.

اگر آهنربا را از این مواد دور کنیم، دوقطبی‌های مغناطیسی دوباره به سرعت به وضعیت کاتوره‌ای که در غیاب میدان داشتند، برمی‌گردند.

به این ترتیب، مواد پارامغناطیس در میدان‌های مغناطیسی قوی خاصیت مغناطیسی پیدا می‌کنند. منگنز، پلاتین، آلومینیم، فلزهای قلیایی و قلیایی خاکی، اکسیژن و اکسید ازت از جمله مواد پارامغناطیسی‌اند.

**مواد فرومغناطیس:** در برخی از مواد مغناطیسی، دوقطبی‌های مغناطیسی کوچک به‌طور خود به خود با دوقطبی‌های مجاور خود هم‌خط می‌شوند. این گونه مواد را فرومغناطیس می‌نامند. در عمل، همه‌ی بخش‌های مغناطیسی در یک ماده‌ی فرومغناطیس در یک راستا قرار ندارند بلکه این گونه مواد مانند شکل ۴-۲۸ از بخش‌های بسیار کوچکی با ابعاد خیلی کم‌تر از میلی‌متر تشکیل شده‌اند به‌طوری که دوقطبی‌های مغناطیسی درون هر بخش به‌طور کامل، هم‌خط‌اند. ولی سمت‌گیری دوقطبی‌های مغناطیسی هر بخش با بخش‌های مجاور آن تفاوت دارد. هر بخش را یک حوزه‌ی مغناطیسی می‌نامند.

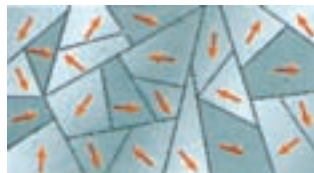
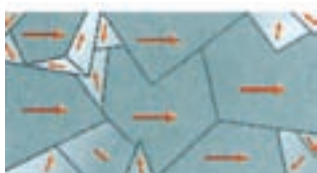


شکل ۴-۲۸- یک ماده‌ی فرومغناطیس در حالت طبیعی

ممکن است سمت‌گیری و اندازه‌ی حوزه‌های مغناطیسی در یک ماده‌ی فرومغناطیس به‌گونه‌ای باشد که در کل اثر یک‌دیگر را خنثی کنند و ماده در مجموع، آهنربا نباشد (شکل ۴-۲۹ الف).



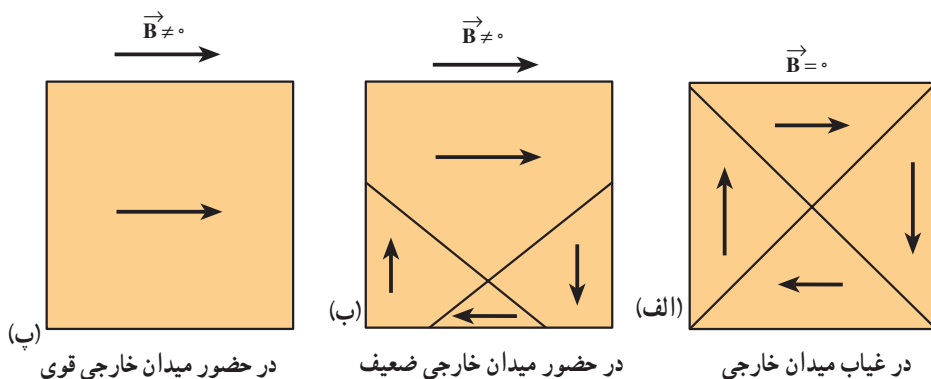
این گونه مواد را می توان با قرار دادن در یک میدان مغناطیسی آهنربا کرد. اثر میدان مغناطیسی خارجی بر حوزه های مغناطیسی باعث می شود که دوقطبی های مغناطیسی هر حوزه تحت تأثیر میدان مغناطیسی قرار گیرند و جهت آن ها به جهت میدان خارجی متمایل شود. علاوه بر این حوزه هایی که نسبت به میدان در وضع مناسبی قرار دارند (با میدان همسویند) رشد می کنند؛ یعنی، حجمشان زیاد می شود و در نتیجه، حوزه هایی که سمت گیری آن ها نسبت به میدان مناسب نیست، کوچک شوند؛ یعنی، مرز بین حوزه ها جابه جا می شود، و در نتیجه ماده در مجموع خاصیت آهنربایی پیدا می کند، شکل ۲۹-۴ ب. حرکت مرز حوزه ها در مواد فرومغناطیسی به صورت طرح وار در شکل ۴-۳ نشان داده شده است. در شکل ۴-۳ الف یک ماده ی فرومغناطیسی با چهار حوزه در میدان خارجی صفر قرار دارد. سمت گیری حوزه های مغناطیسی در این شکل به صورتی است که در کل ماده دارای خاصیت مغناطیسی نیست. در شکل ۴-۳ ب ماده ی فرومغناطیسی را در یک میدان مغناطیسی خارجی  $\vec{B}$  قرار داده ایم: مرزهای حوزه ها جابه جا شده اند و در نتیجه، ماده در مجموع خاصیت مغناطیسی پیدا کرده است. در شکل ۴-۳ پ میدان مغناطیسی خارجی آن قدر قوی است که حجم حوزه های با سمت گیری نامناسب عملاً به صفر رسیده است و همه ی حجم ماده را حوزه ی با سمت گیری مناسب (همسو با میدان) اشغال کرده است. در این حالت ماده در مجموع بیش ترین خاصیت آهنربایی را دارد.



(الف) ماده ی فرومغناطیسی آهنربا نیست.

(ب) ماده ی فرومغناطیسی آهنربا است.

شکل ۲۹-۴ حوزه های مغناطیسی



شکل ۴-۳ جابه جا شدن مرزهای بین حوزه ها در مواد فرومغناطیسی

در برخی از مواد فرومغناطیس مانند آهن، کبالت و نیکل در صورتی که خالص باشند، حجم حوزه‌ها به سهولت تغییر می‌کند و در نتیجه به سهولت به روش ذکر شده آهنربا می‌شوند و خاصیت آهنربایی خود را نیز به راحتی از دست می‌دهند. این مواد را فرومغناطیس نرم می‌نامند. از این گونه مواد در هسته‌ی سیم‌لوله‌ها استفاده می‌شود. مواد فرومغناطیس نرم با حذف میدان مغناطیسی خارجی خاصیت آهنربایی خود را از دست می‌دهند و به دلیل همین خاصیت، آن‌ها برای ساختن آهنرباهای الکتریکی (آهنرباهای غیر دائم) مناسب‌اند.

برخی دیگر از مواد مانند فولاد (آهن به اضافه‌ی دو درصد کربن)، آلیاژهای دیگری از آهن، کبالت و نیکل به سختی آهنربا می‌شوند؛ یعنی، حجم حوزه‌ها در آن‌ها به سختی تغییر می‌کند. این مواد را فرومغناطیس سخت می‌نامند. در این گونه مواد برای افزایش حجم حوزه‌هایی که سمت‌گیری مناسب دارند (یعنی با میدان همسو هستند) به میدان‌های مغناطیسی خارجی قوی‌تری نیاز است. در این مواد، سمت‌گیری دوقطبی‌های مغناطیسی حوزه‌ها پس از حذف میدان خارجی به سهولت تغییر نمی‌کند. به عبارت دیگر، پس از برداشتن میدان مغناطیسی خارجی، ماده‌ی فرومغناطیس سخت، خاصیت آهنربایی خود را حفظ می‌کند. به همین دلیل این مواد برای ساختن آهنرباهای دائمی مناسب‌اند. برای خاصیت آهنربایی هر ماده‌ی فرومغناطیس مقدار بیشینه‌ای وجود دارد. این وضعیت هنگامی پیش می‌آید که ماده‌ی فرومغناطیس در یک میدان مغناطیسی بسیار قوی قرار گیرد؛ به طوری که همه‌ی دوقطبی‌های مغناطیسی اتمی در همه‌ی حوزه‌ها به موازات هم به خط شوند.

## مطالعه‌ی آزاد

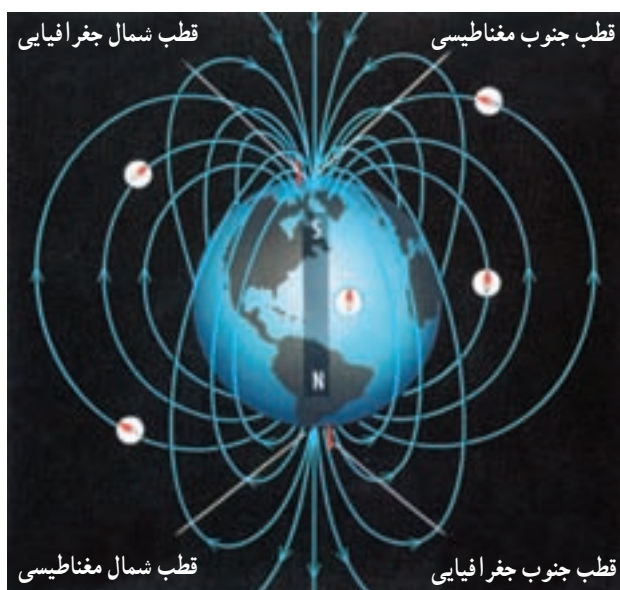
### میدان مغناطیسی زمین و اثرهای آن

بشر از گذشته‌های بسیار دور به خاصیت مغناطیسی زمین پی برده است. ملاحان و جهانگردان در کارهای جاری خود همواره از قطب‌نما استفاده می‌کنند. اثرهای میدان مغناطیسی زمین نیز بر زندگی جانوران و گیاهان، موضوعی جالب و بحث‌انگیز برای پژوهشگران است. مثلاً پژوهش‌هایی در قرن بیستم نشان داد که در مغز برخی از پرندگان کوچنده، ساز و کاری جهت تشخیص راستای میدان مغناطیسی زمین موجود است. در سال ۱۹۵۸ میلادی (۱۳۳۷ هجری خورشیدی) با پژوهش‌هایی که توسط

ماهواره‌ی اکسپلورر\* اول انجام گرفت، معلوم شد، در اطراف زمین ناحیه‌ای به نام کمر بند وان آلن موجود است، که دارای خاصیت مغناطیسی بوده و ذرات باردار تابیده از پرتوهای کیهانی و خورشیدی در این ناحیه به دام می‌افتند.

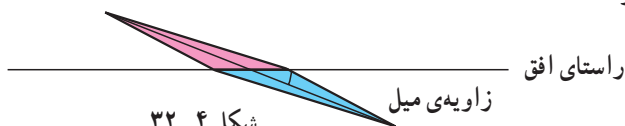
راستای میدان مغناطیسی زمین ثابت نیست و در طول قرن‌های متمادی در تغییر بوده است. اکنون قطب جنوب آن در کانادا است.

زاویه‌ای که راستای شمال - جنوب جغرافیا با راستای میدان مغناطیسی می‌سازد زاویه‌ی انحراف نام دارد.



شکل ۴-۳۱

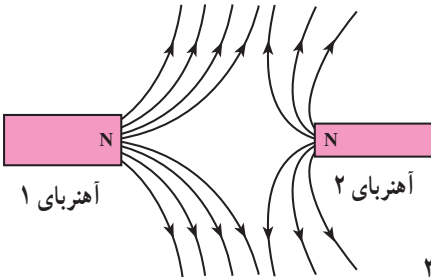
همچنین راستای میدان مغناطیسی در نقاط مختلف زمین در راستای افق قرار ندارد. زاویه‌ای که عقربه‌ی مغناطیسی با راستای افق تشکیل می‌دهد زاویه‌ی میل نام دارد.



شکل ۴-۳۲

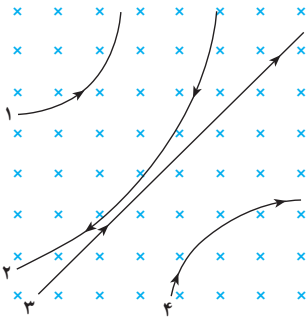
## تمرین های فصل چهارم

۱- الف - آهنربایی با قطب های نامشخص در اختیار داریم. حداقل دو روش برای تعیین قطب های این آهنربا، بیان کنید.



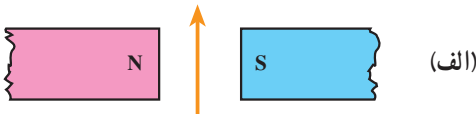
شکل ۳۳-۴

ب - خط های میدان مغناطیسی میان دو آهنربا در شکل ۳۳-۴ نشان داده شده است. کدام آهنربا ضعیف تر است؟



شکل ۳۴-۴

۲- چهار ذره هنگام عبور از میدان مغناطیسی درون مسیرهایی مطابق شکل ۳۴-۴ می پیمایند. درباره ی نوع بار هر ذره چه می توان گفت؟



(الف)



(ب)



(پ)

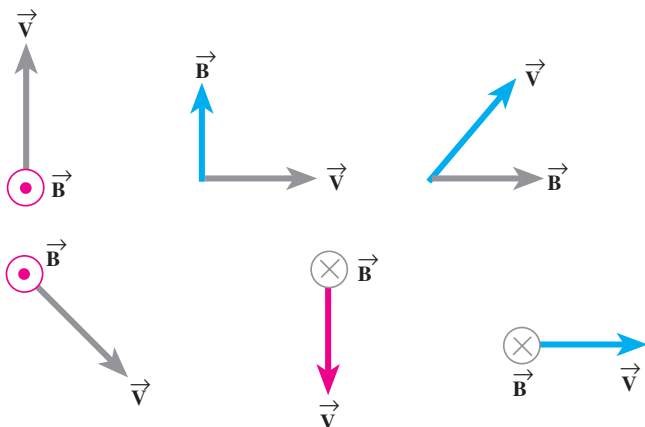
۳- سیم قائمی در میدان مغناطیسی زمین (که رو به شمال است) قرار دارد. جریانی از پایین به بالا از این سیم عبور می کند، جهت نیروی وارد بر این جریان چگونه است؟

۴- جهت نیروی الکترومغناطیسی بر سیم حامل جریان را در هر یک از شکل های ۳۵-۴ الف، ب و پ با استفاده از قاعده ی دست راست بیابید.



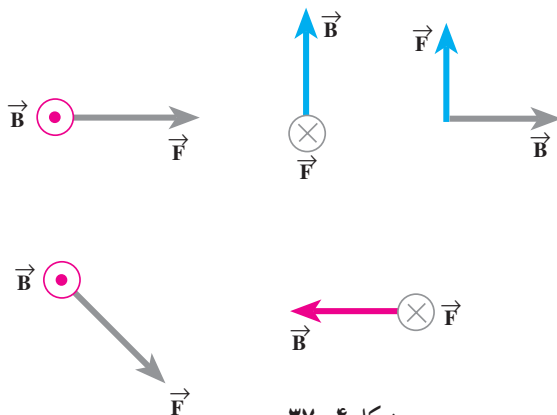
شکل ۳۵-۴

۵- جهت نیروی وارد بر بار مثبت را در هر یک از نمودارهای شکل ۳۶-۴ تعیین کنید.

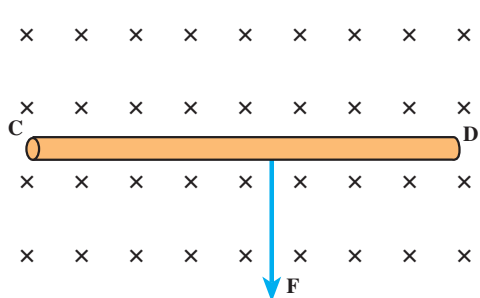


شکل ۳۶-۴

۶- نیروی  $\vec{F}$  وارد بر الکترونی که در میدان مغناطیسی  $\vec{B}$  در حرکت است در شکل ۳۷-۴ نشان داده شده است. در هر یک از حالت‌های نشان داده شده جهت سرعت الکترون را تعیین کنید. (فرض کنید راستای حرکت الکترون بر میدان مغناطیسی عمود است.)



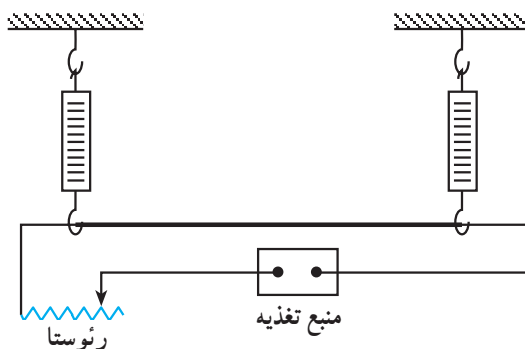
شکل ۳۷-۴



شکل ۳۸-۴

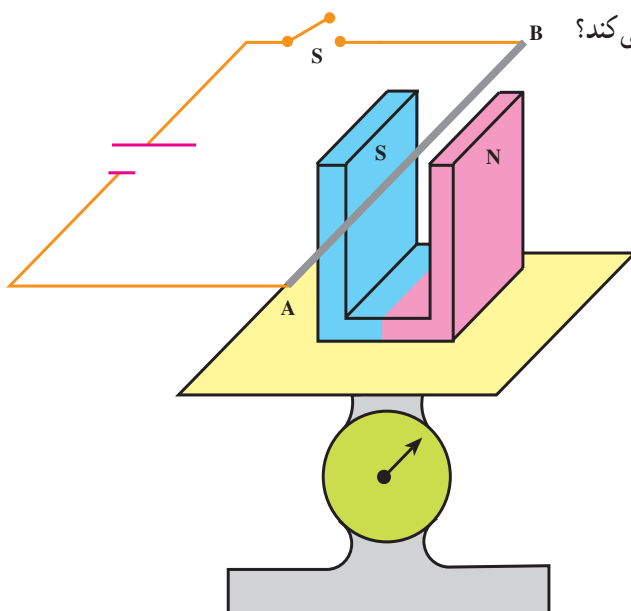
۷- سیم رسانای CD به طول ۲m مطابق شکل ۳۸-۴ عمود بر میدان مغناطیسی با اندازه  $5/0 \text{ T}$  قرار گرفته است. اگر نیروی الکترومغناطیسی وارد بر سیم برابر ۱N باشد، جهت و اندازه‌ی جریان عبوری از سیم را تعیین کنید.

۸- یک سیم که حامل جریانی به شدت ۱۶ آمپر است، مطابق شکل ۴-۳۹ توسط دو نیروسنج فنری که به دو انتهای آن بسته شده است، به طور افقی و در راستای غرب به شرق قرار دارد. میدان مغناطیسی زمین را افقی و یکنواخت و دقیقاً به سوی شمال با بزرگی  $5 \text{ mT}$  /° بگیرد. (الف) نیروی مغناطیسی وارد بر هر متر این سیم را تعیین کنید. (ب) اگر بخواهیم نیروسنج‌ها عدد صفر را نشان دهند، چه جریانی و در چه جهتی باید از سیم عبور دهیم؟ جرم یک متر از طول این سیم  $8 \text{ gr}$  است. ( $g = 10 \text{ N/kg}$ )



شکل ۴-۳۹

۹- یک آهنربای نعلی شکل را روی کفهی یک ترازوی حساس قرار می‌دهیم، سیم AB را که مطابق شکل ۴-۴۰ در میان دو قطب آهنربا قرار دارد به وسیله‌ی یک کلید به دو پایانه‌ی یک باتری وصل می‌کنیم. آیا با بستن کلید عددی که ترازو نشان می‌دهد تغییر می‌کند؟ توضیح دهید.



شکل ۴-۴۰

۱۰- پروتونی با سرعت  $4/4 \times 10^6 \text{ m/s}$  تحت زاویه  $53^\circ$  با میدان مغناطیسی ای به بزرگی  $18 \text{ mT}$  در حرکت است.

الف) بزرگی نیروی وارد بر این پروتون را محاسبه کنید.

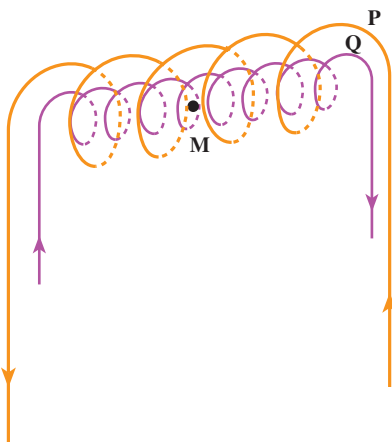
ب) اگر این نیرو تنها نیرویی باشد که بر پروتون وارد می‌شود، شتاب پروتون را حساب کنید.  
(بار الکتریکی پروتون  $1/6 \times 10^{-19} \text{ C}$  و جرم آن  $1/7 \times 10^{-27} \text{ kg}$  است).

۱۱- راستای نیروی وارد بر یک الکترون متحرک در میدان الکتریکی را با راستای نیروی وارد بر این الکترون در میدان مغناطیسی مقایسه کنید.

۱۲- از پیچه‌ی مسطحی به شعاع  $5 \text{ cm}$  که از  $20^\circ$  دور سیم نازک درست شده است، جریان  $12 \text{ A}$  می‌گذرد. میدان مغناطیسی را در مرکز پیچه حساب کنید.

۱۳- سیم‌لوله‌ای شامل  $25^\circ$  دور حلقه است که دور یک لوله‌ی پلاستیکی تو خالی به طول  $1/4$  متر پیچیده شده است. اگر جریان گذرنده از سیم‌لوله  $8 \text{ A}$  باشد، بزرگی میدان مغناطیسی در درون سیم‌لوله را حساب کنید.

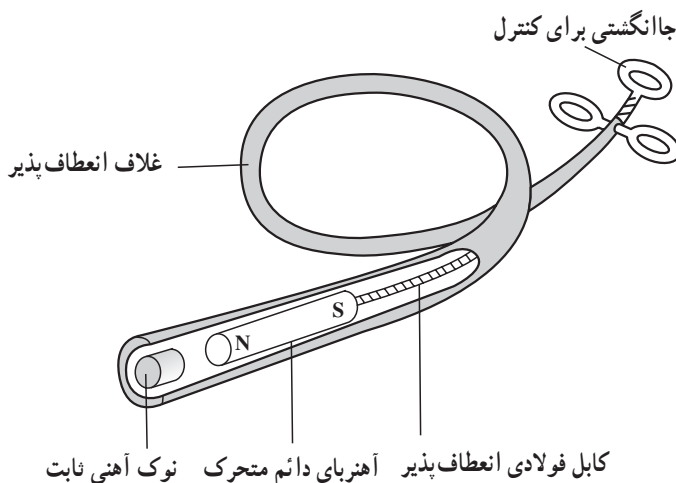
۱۴- دو سیم‌لوله‌ی  $P$  و  $Q$  هم محور دارای طول برابر ولی تعداد دور متفاوت هستند (شکل ۴-۴۱). تعداد دور سیم‌لوله‌ی  $P$  برابر  $20^\circ$  و تعداد دور سیم‌لوله‌ی  $Q$  برابر  $30^\circ$  است. اگر جریان  $1 \text{ A}$  از سیم‌لوله‌ی  $Q$  عبور کند، از سیم‌لوله‌ی  $P$  چه جریانی باید عبور کند تا برآیند میدان مغناطیسی ناشی از دو سیم‌لوله در نقطه‌ی  $M$  (روی محور دو سیم‌لوله) برابر صفر شود؟



شکل ۴-۴۱

۱۵- الکترونی با سرعت  $2/4 \times 10^5 \text{ m/s}$  در یک میدان مغناطیسی در حرکت است. نیرویی که از طرف میدان مغناطیسی بر این الکترون وارد می‌شود، هنگامی بیشینه است که الکترون به سمت جنوب حرکت کند. (الف) اگر این نیروی بیشینه بالاسو و برابر  $6/8 \times 10^{-14} \text{ N}$  باشد، بزرگی و جهت میدان مغناطیسی را تعیین کنید. (ب) چه میدان الکتریکی همین نیرو را ایجاد می‌کند؟ (بار الکتریکی الکترون  $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$  است).

۱۶- کودکی یک قطعه‌ی کوچک فلز را بلعیده است که در گلوی او گیر کرده است. پزشک با دستگاهی که در شکل ۴۲-۴ دیده می‌شود، می‌خواهد فلز را بیرون بیاورد.



شکل ۴۲-۴

الف) هنگامی که آهنربای دائم به نوک ثابت آهنی نزدیک می‌شود چه اتفاقی می‌افتد؟  
 ب) آهن برای ساختن نوک ثابت چه مزیتی دارد؟  
 پ) این وسیله را باید به درون گلوی کودک وارد و به سوی فلز بلعیده شده هدایت کرد. چرا غلاف باید انعطاف پذیر باشد؟  
 ت) پزشک می‌خواهد یک گیره‌ی آهنی کاغذ و یک واشر آلومینیومی را از گلوی کودک بیرون بیاورد. کدامیک را می‌توان بیرون آورد؟ چرا؟