

روش دیگری برای اندازه‌گیری نیروی مغناطیسی وارد بر سیم حامل جریان الکتریکی در این دانشتنی؛ نوسان یک قاب رسانای حامل جریان الکتریکی در میدان مغناطیسی، می‌تواند اساس ساخت وسیله‌ای برای اندازه‌گیری نیروی وارد بر آن در میدان مغناطیسی باشد.

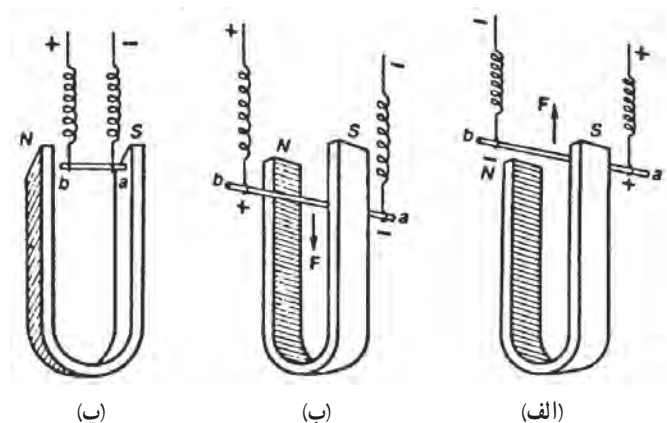
آزمایش

آهنربا نیرویی وارد نمی‌شود، تنها نیروی وارد بر آهنربا وزن آن است.

آزمایشی طراحی کنند که بزرگی میدان مغناطیسی بین قطب‌های یک آهنربای نعلی شکل را برآورد کنند.

پاسخ: با استفاده از فعالیت ۴-۵ کتاب درسی و اندازه‌گیری نیرو می‌توانیم با قرار دادن در رابطه $F = BIl \sin \alpha$ در حالت عمود $\alpha = 90^\circ$ است بزرگی میدان مغناطیسی را حساب کرد.

پرسش: با تغییر جهت جریان در سیم ab آزمایشی مطابق شکل ۳۱ ترتیب داده‌ایم. اگر آهنربا را روی یک ترازوی دیجیتالی قرار دهیم، الف) در کدام حالت ترازو مقدار بیشتری را نشان می‌دهد. ب) اگر سیم ab را موازی با خط‌های میدان مغناطیسی قرار دهیم مطابق شکل پ مقداری که ترازو نشان می‌دهد چه کمیتی است؟



شکل (۳۱)

پاسخ: الف) حالت (الف، ب) برابر با وزن آهنرباست. زیرا بر سیم نیرویی وارد نمی‌شود و متقابلاً از طرف سیم هم بر

فناوری

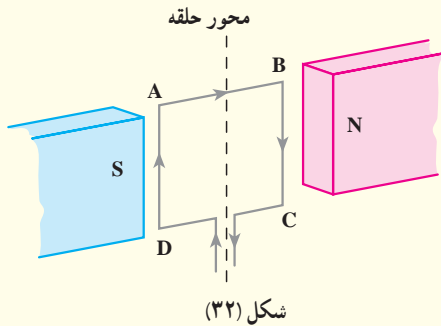
طرز کار گالوانومتر: گالوانومتر وسیله‌ای است که با آن جریان‌های الکتریکی بسیار کوچک را اندازه می‌گیرند. امروزه وسیله‌های اندازه‌گیری کمیت‌های الکتریکی (یعنی شدت جریان، اختلاف پتانسیل، مقاومت و...) معمولاً عقربه‌ای یا رقمی (دیجیتالی) هستند. تشریح سازوکار وسیله‌های رقمی به مطالب موجود در این کتاب مربوط نمی‌شود. ولی با استفاده از مطالبی که فراگرفته‌ایم، می‌توانیم سازوکار گالوانومتر عقربه‌ای را مورد بررسی قرار دهیم. برای این کار، ابتدا ببینیم اگر یک سیم حامل جریان به شکل یک قاب مطابق شکل ۱۱-۴ در یک میدان مغناطیسی بکنواخت قرار گیرد، چه نیروهایی بر آن وارد می‌شود. چنین سیمی را یک پیچه می‌نامند.

محور پیچه

شکل ۱۱-۴ پیچ‌های حامل جریان در میدان مغناطیسی

هنگامی که جریان از پیچه می‌گذرد، از طرف میدان بر اضلاع آن نیرو وارد می‌شود و در نتیجه پیچه مطابق شکل ۱۱-۴ حول محورش می‌چرخد. هر گالوانومتر دارای یک قاب است که به دور آن سیم پیچیده شده است. این قاب در یک میدان مغناطیسی دائم و قوی قرار گرفته است. وقتی جریان از این پیچه می‌گذرد، از سوی میدان مغناطیسی به قاب نیرو وارد می‌شود و آن را می‌چرخاند (شکل ۱۲-۴ را ببینید) و عقربه‌ی متصل به قاب را منحرف می‌کند. هر قدر اندازه‌ی شدت جریان بیش‌تر باشد، میزان چرخش پیچه و انحراف عقربه بیش‌تر خواهد شد. اگر جریانی در جهت وارون شمارش‌شده، جهت چرخش پیچه و انحراف وارون خواهد شد. با قطع جریان، قطر ظریفی که در پشت پیچه قرار دارد، پیچه و عقربه را به حالت اولیه‌ی خود برمی‌گرداند. صفحه‌ی گالوانومتر که عقربه در مقابل آن می‌چرخد را بر حسب آمبر مدرج می‌کنند، به این ترتیب که در مقابل هر زاویه، بزرگی شدت

پرسش: حلقه‌ی رسانای مربعی شکل ABCD بین دو قطب مغناطیسی آویزان است از حلقه، جریان در جهت نشان داده شده می‌گذرد.



شکل (۳۲)

(الف) جهت نیروی وارد بر هر ضلع را رسم کنید.

(ب) جهت چرخش حلقه را مشخص کنید.

پاسخ: (الف) AB نیرو صفر است، AD بیرون‌سو، DC نیرو

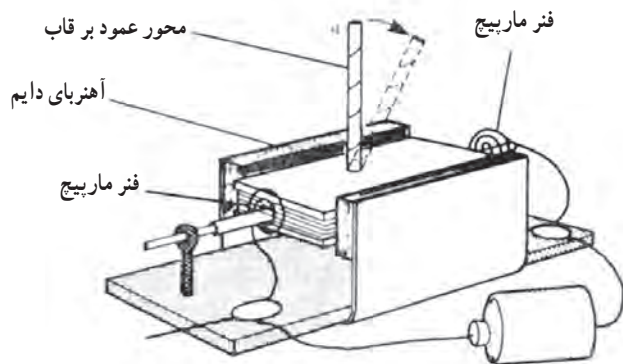
صفر است، BC درون‌سو

(ب) از دید بالا جهت چرخش پاد ساعتگرد است.

فعالیت ۲۵



ساختن آمپرسنج با قاب متحرک



شکل (۳۳)

سیم روپوش‌داری که به دور یک قاب بیپچید و دوسر بلند آن را آزاد بگذارید. این دوسر را به دور یک مدار بیپچید به‌طوری که به شکل فنرهای ضعیفی درآیند. از وسط قاب محوری عبور دهید و آن را بین دو قطب آهنربا بگذارید و برپایه‌ای محکم کنید. یک لوله کاغذی (نی) را مطابق شکل به قاب متصل کنید تا عمل عقربه را انجام دهد. دو قطب یک باتری را به دو انتهای سیم متصل کنید و ملاحظه کنید که چگونه عقربه در هنگام عبور جریان به یک طرف منحرف می‌شود. این آمپرسنج چگونه کار می‌کند؟ هنگامی که جریان الکتریکی از سیم بیچ می‌گذرد دو نیرو بر قاب اثر می‌کنند. این نیروها قاب

را می‌چرخانند. وقتی قاب می‌چرخد فنرها محکم‌تر می‌شوند تا آن که بین نیروهای مؤثر بر قاب و نیروی فنر تعادل برقرار شود. در این صورت قاب می‌ایستد. هرچه جریان قوی‌تر باشد نیروی مؤثر بر قاب بیشتر و میزان انحراف آن زیادتر است.

آمپرسنج و موتورهای DC

در این دانستنی؛ با چرخش قاب رسانای حامل جریان الکتریکی در یک میدان مغناطیسی به عنوان اساس ساخت آمپرسنج و موتورهای الکتریکی جریان مستقیم آشنا می‌شویم.

(ب) سوی جریان را تغییر دهید خواهید دید که سوی چرخش موتور عوض می‌شود
(پ) جریان را به کمک رئوستا تغییر دهید و تأثیر آن را بر سرعت دوران موتور بررسی کنید.

فعالیت پیشنهادی

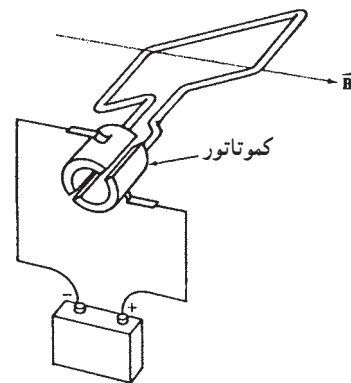
در مورد کاربردهای این بخش در صنعت و زندگی روزمره تحقیق کنید.

معرفی سایت: در این سایت طرز کار موتور الکتریکی با قابلیت تغییر کمیت‌ها مشاهده می‌شود.

http://www.walter-fendt.de/ph11e/generator_e.htm

در این سایت طرز کار موتور الکتریکی مشاهده می‌شود.

<http://science.howstuffworks.com/motor1.htm>



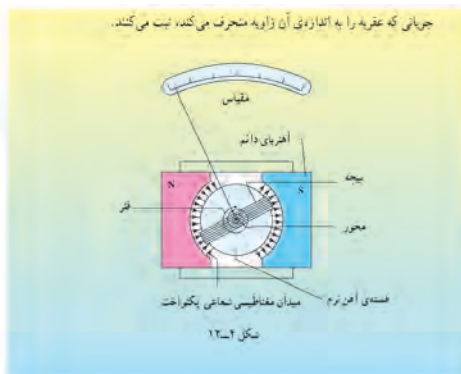
شکل (۳۴)

تعمیم آزمایش ۴-۴

وسایل اضافی (شکل ۳۴): موتور الکتریکی (آرمیچر) - آهنربا و سیم مسی آویخته را از مدار خارج کنید و به جای آن‌ها دوسریک موتور الکتریکی کوچک (آرمیچر) را به منبع تغذیه وصل می‌کنیم.
الف) کلید را ببندید و چگونگی چرخش موتور الکتریکی را مشاهده کنید.

فعالیت ۲۶

یک موتور الکتریکی بسازید.



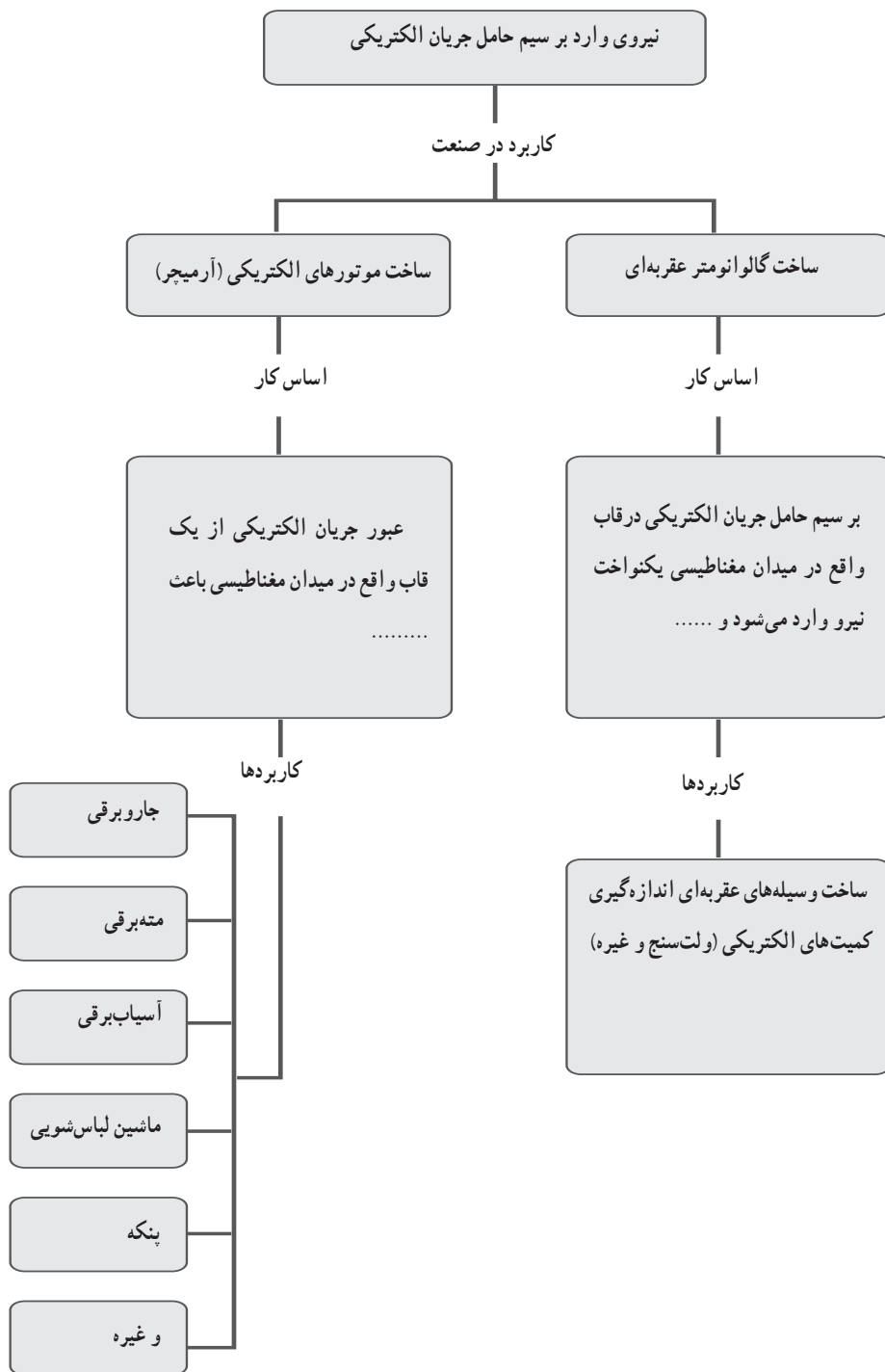
شکل ۱۲-۱

فناوری

موتور الکتریکی؛ موتورهای الکتریکی ابزارهایی هستند که انرژی الکتریکی را به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کنند. این موتورها در انجام کارهای مختلف روزانه مورد استفاده قرار می‌گیرند. اساس کار بسیاری از دستگاه‌ها نظیر جاروی برقی، منتهی برقی، آسیاب برقی، ماشین لباس‌شویی، پنکه و ... را تشکیل می‌دهند.
ساختن موتور الکتریکی مانند ساختمان گالوانومتر است. از این نظر که در موتور الکتریکی نیز عبور جریان از یک قاب (به نام روتور) واقع در میدان مغناطیسی، باعث چرخش پیچه می‌شود. چرخش قطعات در دستگاه‌های بالا از این حرکت پیچه ناشی می‌شود.



جمله‌های ناکامل در نقشه‌ی مفهومی زیر را کامل کنید، سپس مفهوم‌های بیان شده در آن را شرح دهید.

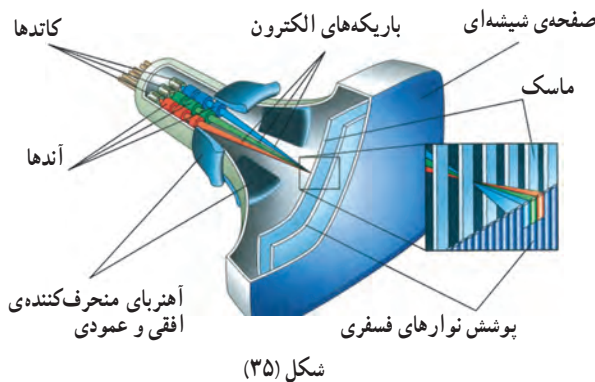




علت انحراف سیم حامل جریان الکتریکی در یک میدان مغناطیسی چیست؟

(پیشنهاد می‌شود برای انجام این فعالیت علاوه بر تحقیق در منابع علمی درس جلسه‌ی آینده را هم مطالعه

کنند.)



۴-۴- نیروی وارد بر ذره‌ی باردار الکتریکی متحرک در میدان مغناطیسی

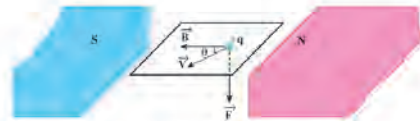
هدف: آشنایی با نیروی مغناطیسی وارد بر ذره‌ی باردار

متحرک در میدان مغناطیسی

۴-۴-۱ نیروی وارد بر ذره‌ی باردار متحرک در میدان مغناطیسی

در بخش گذشته دیدیم که در میدان مغناطیسی، نیروی بر سیم حامل جریان الکتریکی وارد می‌شود. هرگاه جریان صفر نشود، نیروی وارد بر سیم نیز صفر می‌شود. در فصل ۳ دیدیم که جریان الکتریکی در واقع تارهای بارهای الکتریکی است و صفر شدن جریان در یک رسانا به‌طور متوسط به معنای توقف تارهای بارهای الکتریکی است. پس نتیجه می‌گیریم که نیروی وارد بر سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی، در واقع بر پارهای وارد می‌شود که در سیم در حال حرکت‌اند.

آزمایش نشان می‌دهد که اگر ذره‌ی باردار q با سرعت \vec{v} در میدان مغناطیسی \vec{B} حرکت کند (به شرط آن که جهت حرکت آن موازی یا عمود بر میدان نباشد) بر آن نیروی وارد خواهد شد که مطابق شکل ۱۳-۴ بر راستای \vec{v} و میدان مغناطیسی \vec{B} عمود است. این نیرو را نیروی الکترومغناطیسی می‌نامند.



شکل ۱۳-۴ ذره‌ی بار مثبت q که در میدان مغناطیسی \vec{B} با سرعت \vec{v} حرکت می‌کند

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

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

$$F \propto q$$

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

$$F \propto v$$

۳- میدان مغناطیسی (\vec{B}): هرچه میدان مغناطیسی قوی‌تر باشد، نیروی که بر بار وارد

$$F \propto B$$

$$F \propto B$$

۴- سینوس زاویه θ که جهت حرکت بار الکتریکی (یعنی بردار \vec{v}) با میدان مغناطیسی می‌سازد: نیروی وارد بر بار الکتریکی متحرک در میدان مغناطیسی با سینوس این زاویه متناسب است (شکل ۱۳-۴).

$$F \propto \sin \theta$$

تناسب‌های بالا را می‌توان در رابطه‌ی زیر خلاصه کرد:

$$F = kq v B \sin \theta$$

$$(۵-۴)$$

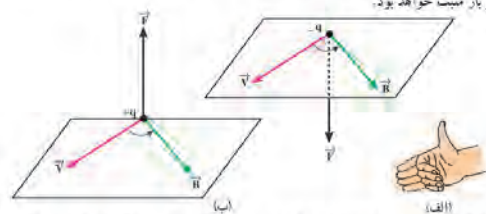
که در آن k ضریب تناسب است. اگر F بر حسب نیوتون و q بر حسب کولن و v بر حسب m/s و B بر حسب تسلا باشد، ضریب تناسب یک خواهد شد. در نتیجه، داریم:

$$F = qvB \sin \theta$$

$$(۶-۴)$$

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

اگر دست راست خود را طوری نگه داریم که انگشتان باز تنده‌ی ما در راستای \vec{v} (یعنی در جهت حرکت بار الکتریکی) باشد - به گونه‌ای که وقتی آن‌ها را روی زاویه‌ی کوچک‌تری که \vec{v} با \vec{B} می‌سازد مطابق شکل ۱۴-۴ الف خم کنیم در جهت \vec{B} قرار گیرد - انگشت تنست ما در جهت نیروی وارد بر بار خواهد بود. نیروی وارد بر بار متحرک متحرک مثبت و منفی، در میدان مغناطیسی وارد بر بار مثبت خواهد بود.



شکل ۱۴-۴ الف) قاعده‌ی دست راست برای تعیین جهت نیروی وارد بر بار متحرک در میدان مغناطیسی.

ب) جهت نیروی وارد بر بار الکتریکی متحرک مثبت و منفی، در میدان مغناطیسی

– به نظر شما این دو میدان چگونه مسیر حرکت باریکه‌ی الکترون را تغییر می‌دهند تا هر الکترون به نقطه‌ی موردنظر در صفحه‌ی فلوئورسان برخورد کند؟

– اغلب توصیه می‌شود آهنربا را به صفحه‌ی تلویزیون نزدیک نکنید. به نظر شما با نزدیک کردن آهنربا چه اتفاقی می‌افتد؟ آیا تنظیم قبلی برخورد الکترون برای برخورد به نقطه‌های مشخص به هم می‌خورد؟

ایجاد انگیزه : در تلویزیون‌های قدیمی و نمایشگر رایانه از یک لامپ پرتو کاتدی برای تشکیل تصویر استفاده می‌شود. این لامپ باریکه‌ی الکترونی با سرعت زیاد را تولید می‌کند. برای تنظیم نقطه‌ی برخورد الکترون‌ها با صفحه‌ی فلوئورسان و تولید نقطه‌ی نورانی در صفحه‌ی تلویزیون از دو میدان مغناطیسی عمود برهم استفاده می‌شود. در برخی از تلویزیون‌ها این باریکه‌ها در هر ثانیه 30 بار صفحه‌ی تصویر که دارای 525 خط افقی است را می‌روید.

راهنمای تدریس : با شیوه‌ی پرسش و پاسخ دانش‌آموزان را به سمت مفهوم اصلی درس رهنمون می‌شویم :

فعالیت ۲۹



از دانش‌آموزان می‌خواهیم بگویند چرا در آزمایش ۴-۴ تا زمانی که کلید را نندیم، بر سیم نیروی وارد نمی‌شود؟ وقتی کلید را می‌بندیم چه اتفاقی می‌افتد و چرا در این حالت بر سیم نیرو وارد می‌شود؟ (به شارش بارهای الکتریکی در سیم اشاره کنند).

آیا می‌توان گفت که نیروی وارد بر سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی، در واقع بر بارهای الکتریکی وارد می‌شود که در سیم در حال حرکت‌اند؟

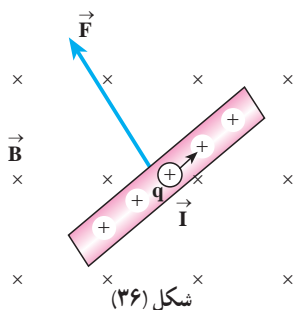
(میدان مغناطیسی بر بارهای در حال حرکت در سیم نیروی به سمت کناره‌ی رسیم وارد می‌کند، چون بارها نمی‌توانند از کناره خارج شوند، این نیرو به خود سیم وارد می‌شود).

فعالیت ۳۰



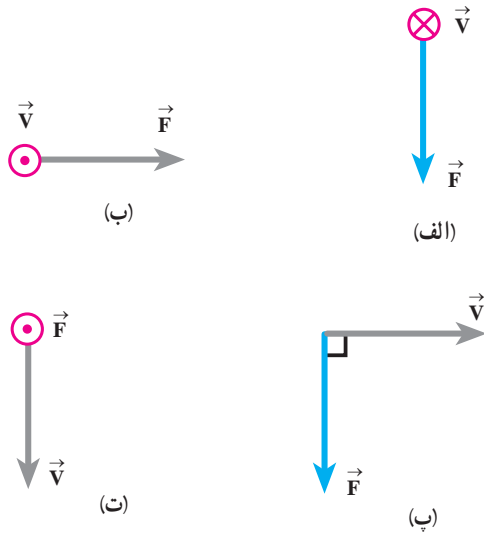
بهتر است در این حالت طرح واره‌ای از یک سیم حامل جریان (شکل ۳۶) را بکشیم و از دانش‌آموزان بخواهیم نیروی وارد بر آن را با توجه به بخش ۳-۴ رسم کنند.

بارهای منفی نیز استفاده می‌کنیم.



برای دانش‌آموزان که جهت نیروی وارد بر بار الکتریکی متحرک از همان قاعده‌ی دست راست تعیین می‌شود و در آن جهت حرکت بار الکتریکی مثبت معادل جهت جریان است. از دانش‌آموزان می‌خواهیم قاعده‌ی دست راست را در مورد بارالکتریکی متحرک در میدان مغناطیسی توضیح دهند و چند تمرین برای تعیین جهت به آن‌ها می‌دهیم. در تمرین‌های آخر از

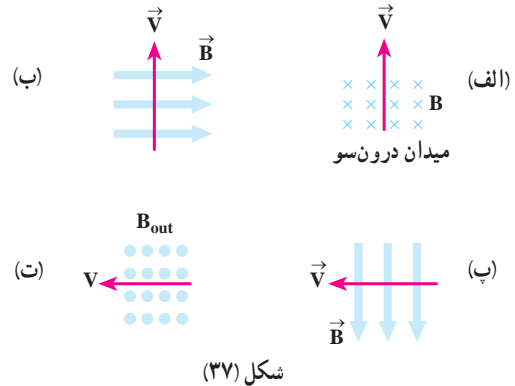
مثال: جهت نیروی الکترومغناطیسی وارد بر پرتونی که از یک میدان مغناطیسی عبور می‌کنند را در شکل‌های زیر تعیین کنید.



شکل (۳۹)

پاسخ:
 (الف) $\vec{B} \leftarrow$ (ب) $\vec{B} \uparrow$
 (پ) $\vec{B} \otimes$ (ت) $\vec{B} \leftarrow$

دیدیم وقتی رسانای حامل جریان (بار) در میدان مغناطیسی قرار گیرد. بر آن نیرو وارد می‌شود. چون جریان الکتریکی حرکت (شارش) ذرات باردار است، به‌طور طبیعی انتظار داریم که میدان الکتریکی بر تک‌تک ذرات باردار (یون‌ها یا الکترون‌ها) اثر کند. نیرویی که به‌طور کلی بر رسانا وارد می‌شود صرفاً برآیند نیروهای وارد بر ذرات است. این موضوع را می‌توان با تشکیل باریکه‌ای از الکترون‌ها توسط تفنگ الکترونی به درون گاز هیدروژن یا جیوه در دمای پایین مورد آزمایش قرار داد. الکترون‌هایی که از شکاف خارج می‌شوند، سبب درخشندگی گاز کم‌فشار هستند. به‌این ترتیب مسیر باریکه را در اتاقی که تاریک شده است به‌وضوح می‌توان دید (شکل ۴۰) حال آهنربایی را نزدیک لامپ قرار می‌دهیم به‌طوری که میدان مغناطیسی آن مستقیماً از سمت ما به‌داخل لامپ باشد. باریکه به‌طور عمود بر راستای حرکت خود و میدان مغناطیسی منحرف می‌شود.

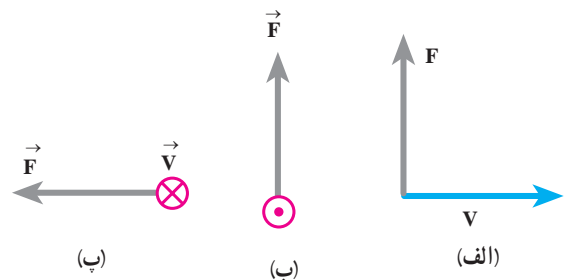


شکل (۳۷)

پاسخ: با استفاده از قاعده‌ی دست راست
 (الف) \leftarrow (ب) \otimes

(پ) \odot (ت) \uparrow

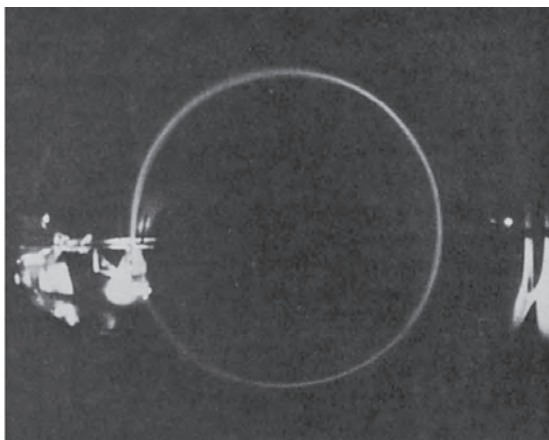
مثال: در شکل‌های زیر، جهت نیروی الکترومغناطیسی وارد بر بار مثبت در حال حرکت نشان داده شده است. اگر میدان مغناطیسی بر جهت حرکت عمود باشد، جهت میدان مغناطیسی را در هریک از شکل‌ها، معین کنید.



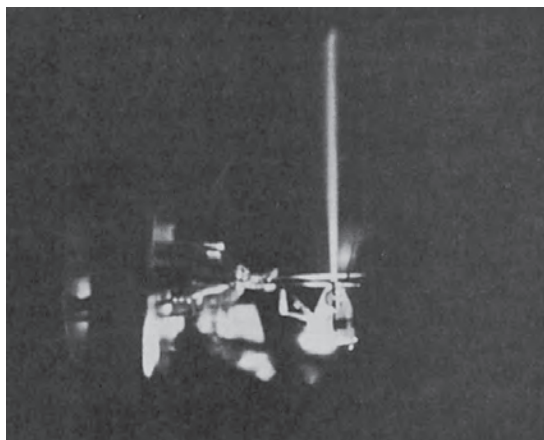
شکل (۳۸)

پاسخ: با استفاده از قاعده‌ی دست راست
 (الف) \otimes (ب) \leftarrow (پ) \downarrow

مثال: نیروی وارد بر الکترونی که با سرعت \vec{V} حرکت می‌کند، در هریک از نمودارهای شکل (۳۹) تعیین شده است.



(ب)



(الف)

شکل (۴۰): آزمایشی که انحراف ذرات باردار متحرک را در میدان مغناطیسی نشان می‌دهد.

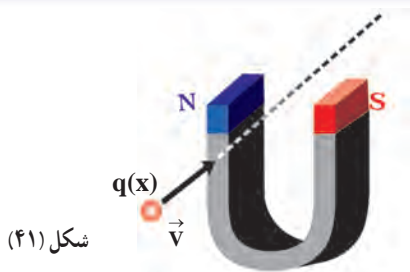
آن‌ها را به طرف راست بکشد، که در شکل ۴۰ مشاهده می‌کنید. یعنی آزمایش نشان می‌دهد بر ذره‌ی باردار متحرک q در میدان مغناطیسی \vec{B} ، نیروی \vec{F} وارد می‌شود که جهت آن بر راستای حرکت ذره و میدان مغناطیسی عمود است.

مورد خاصی را در نظر می‌گیریم که در آن الکترون‌ها ابتدا به‌طور قائم به طرف بالا حرکت می‌کنند. چون الکترون‌ها ذرات باردار منفی‌اند، این باریکه معادل جریانی است که جهت آن به طرف پایین باشد. بنابراین نیروی وارد بر ذرات متحرک باید



فعالیت ۳۱

به نظر شما نیروی وارد بر بار متحرک q در میدان مغناطیسی به چه عواملی بستگی دارد؟ آیا می‌توانید آزمایشی طراحی کنید که براساس آن، عوامل حدس زده را مورد آزمایش قرار دهید؟



شکل (۴۱)

نتایج آزمایش‌های دقیق نشان می‌دهد که نیروی وارد بر ذره‌ی باردار q که با سرعت \vec{v} در میدان مغناطیسی \vec{B} حرکت می‌کند به عامل‌های زیر بستگی دارد:

۱- اندازه‌ی بار $F \propto q$

۲- اندازه‌ی سرعت بار $F \propto v$

۳- اندازه‌ی میدان مغناطیسی $F \propto B$

۴- نیروی وارد بر بار متحرک از طرف میدان مغناطیسی

هدف از انجام این فعالیت: دانش‌آموزان فکر کنند

که نیروی مغناطیسی به چه کمیت‌های فیزیکی می‌تواند بستگی داشته باشد. ممکن است کمیت‌هایی را نام ببرند که نیرو به آن‌ها بستگی نداشته باشد. هدف درگیر کردن دانش‌آموزان با موضوع است. در مرحله‌ی بعد، دانش‌آموزان کمیت‌هایی را که حدس زدند را باید مورد آزمایش قرار دهند و تحقیق کنند که آیا نیرو، به آن‌ها بستگی دارد یا نه، در هر مرحله حتماً باید کمیت‌های دیگر (متغیرهای دیگر) ثابت باشند. مثلاً فرض کنید حدس می‌زنیم نیرو به سرعت بستگی دارد، باید آزمایش به گونه‌ای طراحی شود که همه‌ی کمیت‌های دیگر مانند میدان، راستای حرکت، بار الکتریکی و ... ثابت باشند و فقط سرعت را تغییر دهیم.

کنید ($m_e = 9/1 \times 10^{-31} \text{ kg}$)

$$F = qVB\sin\theta \quad \text{پاسخ: الف)}$$

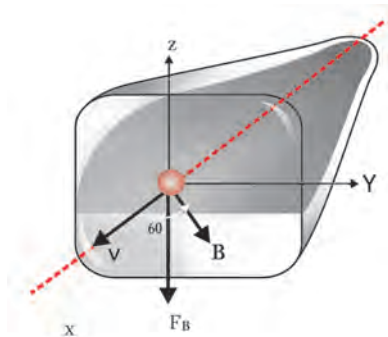
$$F = 1/6 \times 10^{-19} \times 8 \times 10^6 \times 2/5 \times 10^{-2} \times \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$= 2/8 \times 10^{-14} \text{ N}$$

$$a = \frac{F}{m}$$

$$a = \frac{2/8 \times 10^{-14}}{9/1 \times 10^{-31}} = 3/1 \times 10^{16} \text{ m/s}^2$$

(ب)



شکل (۴۲)

پرسش ۴-۲: با توجه به رابطه $F = qVB\sin\theta$ ، اگر بار الکتریکی در راستای میدان مغناطیسی حرکت کند، از طرف میدان مغناطیسی بر آن نیرویی وارد نمی‌شود. زیرا:

$$\theta = 0^\circ \text{ یا } 180^\circ \Rightarrow \sin\theta = 0 \Rightarrow F = 0$$

در حالت‌هایی که راستای حرکت بار و میدان یکی است، صفر می‌شود و در بقیه‌ی حالت‌ها نیز با سینوس زاویه‌ی بین بردار میدان و جهت حرکت بار متناسب است. یعنی: $F\sin\theta$

از دانش‌آموزان می‌خواهیم نتایج بالا را باهم ادغام کنند و به رابطه‌ی $F = kqVB\sin\theta$ برسند و سپس با تعریف یکاها در SI رابطه‌ی $F = qVB\sin\theta$ را نتیجه می‌گیریم.

مثال: یک میدان مغناطیسی یکنواخت \vec{B} با اندازه‌ی $1/2 \text{ mT}$ در یک اتاقک ابری در راستای قائم به سمت بالا وجود دارد. پروتونی با سرعت $3/2 \times 10^7 \text{ m/s}$ وارد اتاقک می‌شود و به‌طور افقی از جنوب به شمال می‌رود الف) پروتون به کدام طرف منحرف می‌شود؟ ب) نیروی الکترومغناطیسی وارد بر آن چه مقدار است؟ پ) این نیرو چه شتابی به ذره می‌دهد؟

جرم پروتون $1/67 \times 10^{-27} \text{ kg}$ و بار آن $1/6 \times 10^{-19} \text{ C}$ است)

الف) شرق ب) $6/1 \times 10^{-15} \text{ N}$ پ) $3/7 \times 10^{12} \text{ m/s}^2$

مثال: الکترونی با سرعت $8 \times 10^6 \text{ m/s}$ در لامپ تصویری در امتداد محور x همانند شکل (۴۲) حرکت می‌کند. سیم‌لوله‌ای که به دور قسمتی از لوله پیچیده شده است یک میدان مغناطیسی $2/5 \times 10^{-2} \text{ T}$ و تحت زاویه‌ی 60° نسبت به محور x ها تولید می‌کند. اندازه‌ی نیروی وارد بر الکترون و شتاب آن را محاسبه

دانشتنی

آزمایش اثر میدان مغناطیسی بر بار الکتریکی متحرک

در این دانشتنی؛ مراحل مختلف انجام یک آزمایش، جهت تحقیق رابطه‌ی $F = qVB\sin\theta$ و قاعده‌ی دست راست آورده شده است.

دانشتنی

اثر هال

در این دانشتنی؛ در مورد اثر هال، به عنوان نمونه‌ای از کاربرد معادله‌ی $F = qVB\sin\alpha$ توضیح داده می‌شود و در ادامه اثر هال مثبت نیز بررسی می‌گردد.

۴-۵- آثار مغناطیسی ناشی از جریان الکتریکی

هدف: ایجاد ارتباط بین الکتریسیته و مغناطیس و بیان

کاربردهایی از آن در زندگی روزمره.

راهنمای تدریس

با طرح موضوع قطارهای مغناطیسی ایجاد انگیزه می‌کنیم و با اجرای آزمایش‌هایی توسط دانش‌آموزان آن‌ها را با اثرهای مغناطیسی جریان‌های الکتریکی آشنا می‌کنیم. توجه دانش‌آموزان را به جهت انحراف عقربه‌ی مغناطیسی در اطراف سیم حامل جریان جلب می‌کنیم و قاعده‌ی دست راست را می‌گوییم.

پرسش ۲-۴

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

مثال ۲-۴

ذره‌ای با بار 4×10^{-18} میکروکولن و با سرعت 2×10^6 m/s در راستایی که با میدان مغناطیسی بکواخت 0.5 تا 10^{-3} زاویه‌ی 30° می‌سازد، در حرکت است. بزرگی نیروی وارد بر این ذره را محاسبه کنید.

حل: نیروی وارد بر بار متحرک در میدان مغناطیسی از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید.

$$F = qvB \sin \theta$$

$$= 4 \times 10^{-18} \times 2 \times 10^6 \times 0.5 \times 10^{-3} \sin 30^\circ$$

$$= 4 \times 10^{-15} \text{ N}$$

۴-۵- آثار مغناطیسی ناشی از جریان الکتریکی

اوستند ضمن انجام دادن برخی آزمایش‌های الکتریسیته برای جمنی از دانشجویان خود، مشاهده کرد که عقربه‌ی مغناطیسی موجود در کنار سیم حامل جریان الکتریکی منحرف می‌شود. او با انجام دادن آزمایش‌های پیش‌تر کشف کرد که عبور جریان الکتریکی از یک سیم، در اطراف آن یک میدان مغناطیسی به وجود می‌آورد. این کشف اوستند نخستین گام در راه درک رابطه‌ی بین الکتریسیته و مغناطیس بود که به گسترش میحث الکترومغناطیس انجامید. در این بخش، به بررسی میدان مغناطیسی حاصل از جریان الکتریکی در سیم‌ها می‌پردازیم.

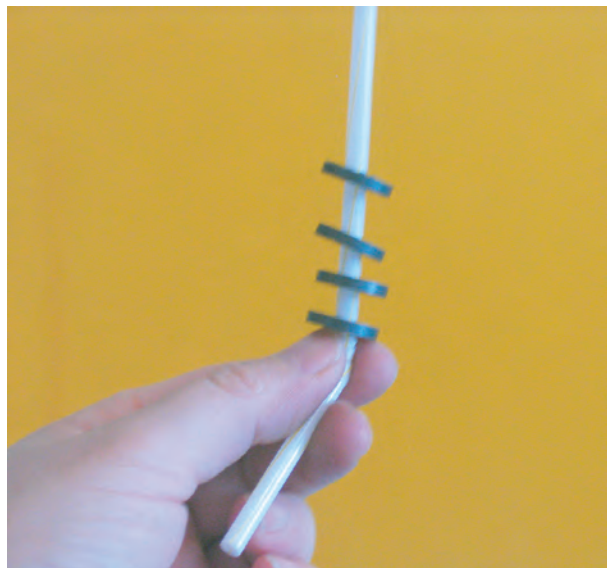
آزمایش ۴-۵ (آزمایش اوستند)

وسایلهای آزمایش: منبع تغذیه، سیم منی نسبتاً ضخیم، رنوستا، آمپرمنج، صفحه‌ی مقوایی، عقربه‌ی مغناطیسی، کلید قطع و وصل و سیم رابط.

۱۵۵

ایجاد انگیزه: امروزه یکی از سریع‌ترین وسایل حمل

و نقل بار و مسافر قطارهای مغناطیسی هستند که در کشورهایی مانند ژاپن، چین و آلمان از آن‌ها استفاده می‌شود. این قطارها سرعتی حدود 500 کیلومتر بر ساعت دارند. برای رسیدن به چنین سرعتی اصطکاک واگن‌ها با ریل را به کمترین مقدار ممکن رسانده‌اند. برای این منظور از دافعه‌ی مغناطیسی استفاده کرده‌اند و توانسته‌اند واگن‌ها را به حالت معلق به فاصله‌ی یک تا ده سانتی‌متر بالای ریل‌ها درآورند. می‌توانیم حلقه‌های مغناطیسی را مانند شکل (۴۳) به دانش‌آموزان نشان دهیم و بپرسیم: آیا فکر می‌کنید برای معلق کردن واگن‌ها هم از آهنرباهایی مثل این استفاده می‌شود؟ و در طول تمام ریل‌ها و سطح زیرین واگن‌ها باید آجرهای آهنربا کار گذاشته شود؟ چنین نیست. زیرا آهنرباهای دائمی با این ابعاد که چنین نیروی بزرگی اعمال کنند نداریم. شما با مطالعه و یادگیری این بخش با آهنرباهای الکتریکی که در صنعت و پزشکی کاربردهای فراوانی دارند آشنا می‌شوید.



شکل (۴۳)

فعالیت ۳۲



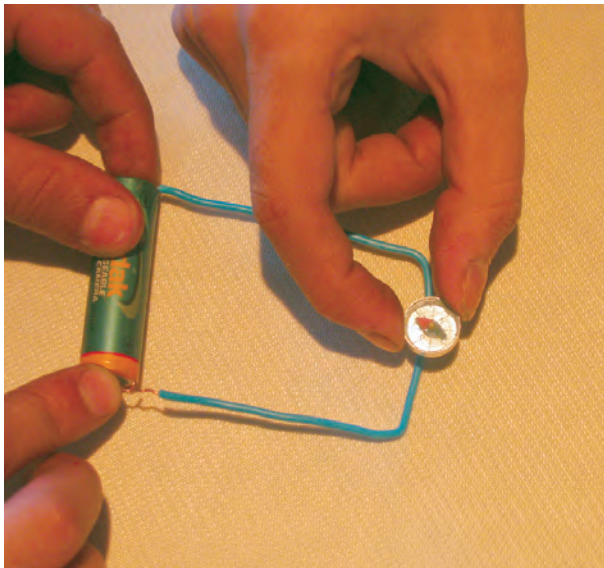
هدف : دانش‌آموزان دریابند که سیم حامل جریان در اطراف خود میدان مغناطیسی دارد.
وسایل لازم : عقربه‌ی مغناطیسی، آهنربا، باتری، سیم رابط نازک
 به هر گروه از دانش‌آموزان کاربرگی مربوط به این فعالیت داده می‌شود و از آن‌ها می‌خواهیم مراحل طراحی شده در کاربرگ را انجام دهند.

کاربرگ (۱) (آزمایش اورستد) :

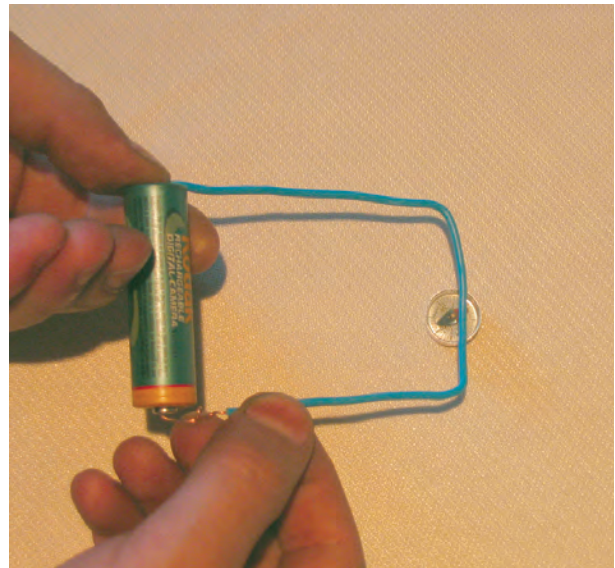
- ۱- آهنربا را به عقربه‌ی مغناطیسی نزدیک و برهمکنش آن‌ها را مشاهده کنید.
 - ۲- عقربه را دور از اجسام آهنی روی میز قرار دهید تا در راستای تقریبی شمال - جنوب ثابت شود.
 - ۳- سیم نازک را به شکل L درآورد و مطابق شکل
 - ۴- الف آن را روی عقربه نگه‌دارید و دوسر سیم را به باطری وصل کنید. نتیجه‌ی مشاهدات خود را همراه با بیان علت یادداشت کنید.
- توجه :** مقاومت سیم ناچیز است و نباید آن را به مدت

طولانی به دوسر باطری وصل کنید.

- ۴- یکی از اعضای گروه عقربه را روی سیم نگه‌دارد و بار دیگر دوسر سیم را به باطری وصل کنید. جهت انحراف عقربه در این حالت را با حالت قبل مقایسه کنید.
- نتیجه :** پس از جمع‌آوری کاربرگ‌ها از یکی از گروه‌ها می‌خواهیم نتایج به دست آمده از انجام فعالیت را بیان کنند.
- پاسخ :** سیم حامل جریان همچون آهنربا با عقربه‌ی مغناطیسی برهم‌کنش دارد و این برهم‌کنش از راه دور است. پس سیم حامل جریان در اطراف خود میدان مغناطیسی دارد.



(ب)



(الف)

شکل (۴۴)

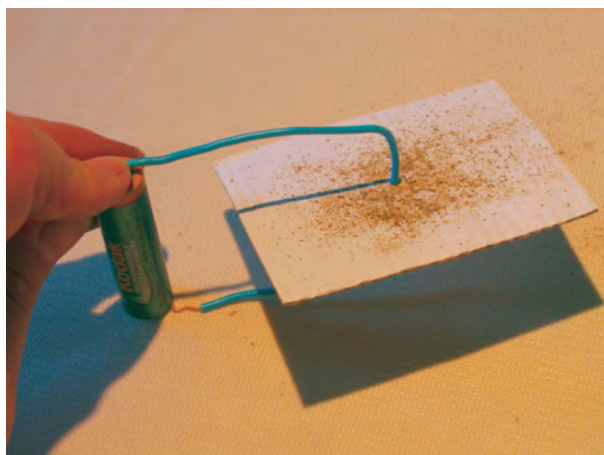
فعالیت ۳۳



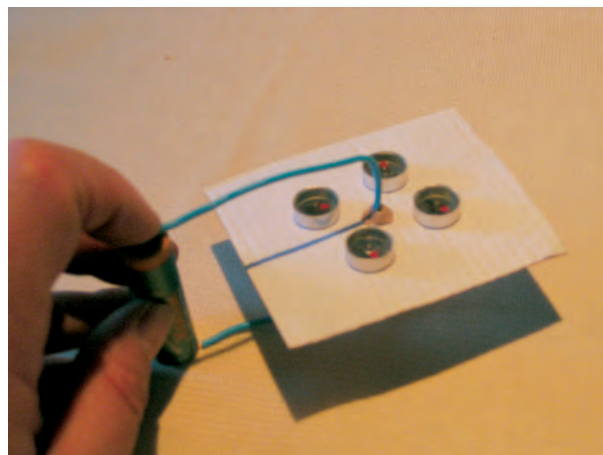
در مورد آزمایش اورستد و زندگی او مطلب تهیه کنید. با یادآوری این نکته که طبق قرارداد سوی حرکت و منحرف شدن قطب N عقربه هم جهت با میدان مغناطیسی در هر نقطه است، و این که گروه‌ها دیده‌اند جهت انحراف عقربه هنگامی که زیر یا روی سیم قرار می‌گیرد متفاوت است توجه دانش‌آموزان را به پرسش زیر جلب می‌کنیم.

پرسش: خط‌های میدان مغناطیسی در اطراف سیم راست حامل جریان به چه شکل هستند؟

- احتمال این که دانش‌آموزان بتوانند به این پرسش پاسخ درستی بدهند کم است اما درگیری ذهنی خوبی برای آن‌ها ایجاد می‌کند و برای یافتن پاسخ از گروه‌ها می‌خواهیم آزمایش ۵-۴ را انجام دهند.
- حامل جریان
- بررسی اثر جهت جریان بر جهت میدان مغناطیسی
 - بررسی اثر جریان بر بزرگی میدان مغناطیسی
- توجه: برای مشاهده‌ی نقش میدان می‌توانیم از وسایلی استفاده کنیم که برای فعالیت قبل (آزمایش اورستد) آماده کرده بودیم. کافی است سیم را از سوراخی در وسط تکه مقوایی رد کنیم و برای آن که مقوا افقی بماند از کمی خمیر بازی در محل عبور سیم از سوراخ می‌توان استفاده کرد.
- آزمایش ۵-۴
- هدف:
- تشخیص دادن شکل میدان مغناطیسی اطراف سیم



(ب)



(الف)

شکل (۴۵)

برای انجام دادن این آزمایش باید جریان عبوری از سیم مسی حدود یک آمپر باشد. اگر در حالتی که رتوستا را روی کمترین مقدار مقاومت خود تنظیم کرده‌اید باز هم جریان مناسب از مدار عبور نمی‌کند می‌توانید چند رشته سیم مسی دیگر را با آن به‌طور موازی ببندید تا با کاهش مقاومت مدار بتوانید جریان مطلوب را از مدار عبور دهید و باز هم باید دقت داشته باشید در این شرایط چون جریان عبوری از مدار زیاد می‌شود نباید زمان برقراری جریان طولانی باشد زیرا می‌تواند موجب داغ شدن سیم‌ها شود. به همین دلیل برای رسم خطوط میدان نمی‌توانیم از روش نقطه‌گذاری به کمک عقربه‌ی مغناطیسی استفاده کنیم. ولی با استفاده از عقربه می‌توانیم جهت میدان در اطراف سیم راست حامل جریان را تعیین کنیم که در مرحله‌ی هفتم این آزمایش نتیجه می‌گیریم که جهت میدان مغناطیسی به جهت جریان عبوری از سیم بستگی دارد.

در مرحله‌ی هشتم این آزمایش نتیجه می‌گیریم که هرچه جریان بزرگ‌تر باشد میدان در هر نقطه قوی‌تر خواهد بود زیرا با افزایش جریان، تراکم براده‌ها در هر نقطه بیشتر می‌شود.

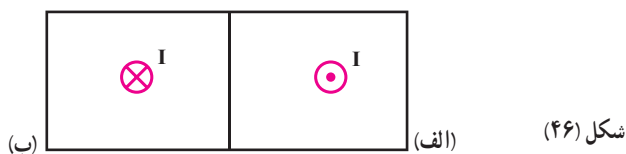


۱۵۴

فعالیت ۳۴

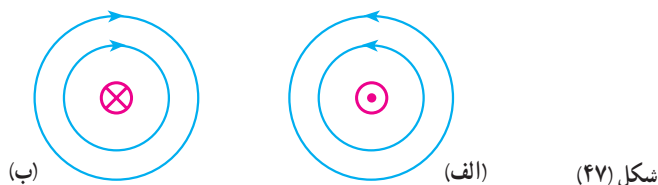


الف) با توجه به مرحله‌های ۵ و ۷ از آزمایش ۴-۵، نقش خطوط میدان مغناطیسی در اطراف سیم‌های حامل جریان در شکل‌های ۴۶-الف و ب را رسم و جهت آن‌ها را نیز تعیین کنید.



ب) آیا می‌توانید قاعده یا دستوری برای تعیین جهت میدان مغناطیسی اطراف سیم راست حامل جریان، بدون استفاده از عقربه‌ی مغناطیسی بیان کنید؟ (راهنمایی: از دست راست کمک بگیرید)

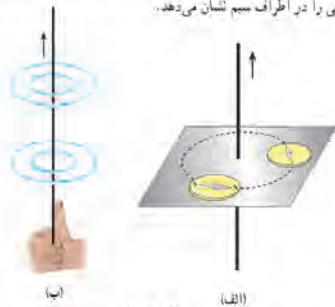
پاسخ: الف)



ب) ممکن است پاسخ‌های متنوعی مطرح شود از جمله این که وقتی به مقطع سیم نگاه می‌کنیم و جریان برون‌سو است، میدان در اطراف آن در خلاف جهت گردش عقربه‌های ساعت (پاد ساعتگرد) خواهد بود و برعکس.

به کاربردن قانون دست راست در تعیین جهت میدان مغناطیسی در اطراف سیم راست حامل جریان را توضیح می‌دهیم و برای تمرین بیشتر دانش‌آموزان چند مثال حل می‌کنیم.

با انجام دادن این آزمایش می‌بینید که خط‌های میدان مغناطیسی حاصل از یک سیم حامل جریان، مطابق شکل ۱۶-۴ الف به صورت دایره‌های هم‌مرکزی در اطراف سیم حامل جریان خواهند بود. جهت خط‌های میدان مغناطیسی سیم حامل جریان را می‌توان به کمک عقربه‌ی مغناطیسی تعیین کرد. علاوه بر آن با استفاده از قاعده‌ی دست راست نیز می‌شود این جهت را تعیین کرد؛ بنابراین قاعده، اگر سیم را مطابق شکل ۱۶-۴ ب در دست راست خود بگیرید - به گونه‌ای که انگشت شست در جهت جریان الکتریکی باشد - جهت خم شدن چهار انگشت دست شما جهت خط‌های میدان مغناطیسی را در اطراف سیم نشان می‌دهد.



شکل ۱۶-۴

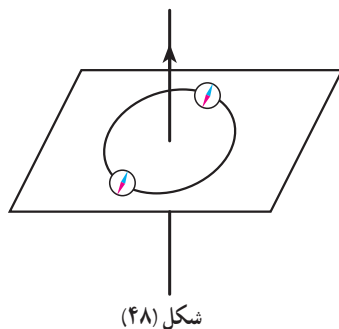
آزمایش نشان می‌دهد که بزرگی میدان مغناطیسی B در اطراف یک سیم تازک دراز مستقیم حامل جریان الکتریکی‌ای به شدت I در نقطه‌ای که فاصله‌ی عمودی آن از سیم برابر R است با I نسبت مستقیم و با R نسبت وارون دارد، یعنی

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

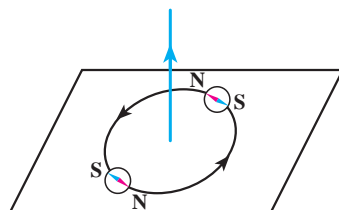
ضریب تناسب در SI برابر $\frac{\mu_0}{2\pi}$ است که در آن μ_0 تراوایی مغناطیسی خلأ نام دارد و برابر است با $\frac{4\pi \times 10^{-7} \text{ Tm}}{\text{A}}$. در نتیجه داریم:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R} \quad (۷-۴)$$

۱۵۷



شکل (۴۸)



شکل (۴۹)

مثال : در شکل (۴۸) با توجه به جهت جریان و با استفاده از قاعده‌ی دست راست ابتدا جهت میدان را تعیین کنید و سپس قطب‌های عقربه را مشخص کنید.

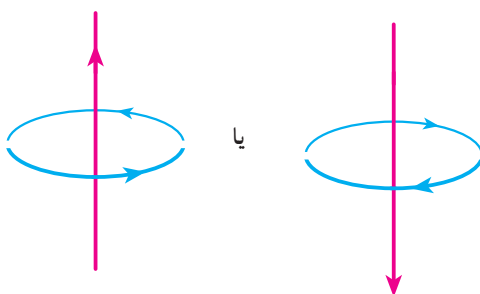
پاسخ : شبیه این مثال می‌توانیم تمرین‌های دیگری را طراحی کنیم که در آن‌ها قطب‌های عقربه یا جهت میدان معلوم باشد و جهت جریان خواسته شود.



فعالیت خارج از کلاس

(این فعالیت را حتماً در حضور اولیا و یا فردی بزرگ‌تر از خود انجام دهید)

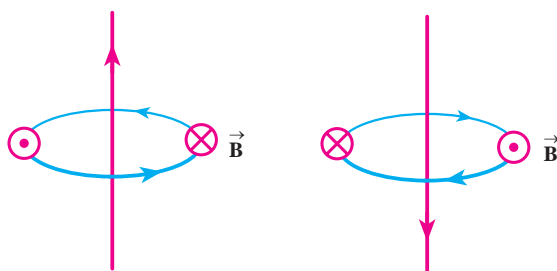
در کاپوت خودرویی که خاموش است را باز و به باتری آن توجه کنید. سعی کنید مسیر کابل‌های اتصالی از باتری به استارت‌ر خودرو را بیابید. یک عقربه‌ی مغناطیسی را در محدوده‌ای که به این کابل‌ها نزدیک باشد نگه دارید و از کسی بخواهید تا خودرو را روشن کند. در لحظه‌ی روشن شدن خودرو به انحراف عقربه توجه کنید و نتیجه‌ی مشاهدات خود را به کلاس گزارش کنید.



شکل (۵۱)

میدان اطرافش مطابق شکل (۵۱) رسم می‌کنیم، مشخص نیست که کدام بخش از حلقه‌ی رسم شده در پشت سیم و کدام بخش در جلوی سیم است. گاهی این مشکل با استفاده از رسم نقطه‌چین برای بخشی که در پشت سیم قرار می‌گیرد حل می‌شود.

برای رفع این ابهام با توجه به این که می‌دانیم خطوط میدان دایره‌هایی‌اند که در دو طرف سیم بر صفحه‌ی کاغذ عمود می‌شوند، و با توجه به جهت جریان سیم کافی است مقطع خط میدان با صفحه‌ی کاغذ را با بردارهای درون‌سو یا بیرون‌سو مشخص کنیم.

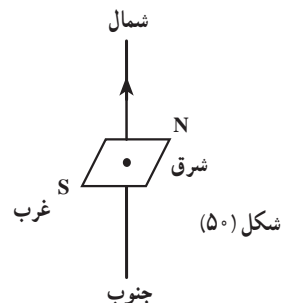


شکل (۵۲)

مثال: یک سیم راست حامل جریان در راستای شمال و جنوب قرار گرفته است.

الف) اگر قطب N عقربه‌ی مغناطیسی که در بالای سیم نگه داشته شده است، به سمت شرق منحرف شود جهت جریان در سیم به کدام سمت است؟

ب) اگر در همان شرایط عقربه در زیر سیم قرار می‌گرفت جهت انحراف قطب N آن به کدام سمت بود؟



شکل (۵۰)

پاسخ: الف) جنوب به شمال ب) غرب

اشتباه‌های رایج: به شکل ۴-۱۶ ب در کتاب درسی توجه کنید. می‌دانیم که سیم حامل جریان بر صفحه‌ای که خطوط میدان مغناطیسی (دایره‌های هم‌مرکز) در آن قرار دارند، عمود است و ظرافتی که در رسم این شکل به کار رفته است موجب می‌شود بیننده به راحتی حس کند که نیمی از حلقه‌ی میدان‌ها در پشت سیم و دورتر از بیننده واقع شده است و نیم دیگر از حلقه‌ها در جلوی سیم و نزدیک‌تر به بیننده قرار گرفته است و بیننده با مشاهده‌ی این شکل تصور سه‌بعدی درستی پیدا می‌کند.

اما وقتی ما سیم راست حامل جریان را با یکی از خط‌های

فعالیت ۳۵



از دانش آموزان می‌خواهیم وضعیت قرار گرفتن براده‌ها در اطراف سیم راست حامل جریان در آزمایش ۵-۴ را به‌خاطر آورند و با توجه به میزان تراکم براده‌ها در مورد تغییرات میدان در اطراف سیم توضیح دهند.

پاسخ: هرچه از سیم (یعنی مرکز دایره‌ها) دور شویم تراکم براده‌ها کمتر، یعنی میدان ضعیف‌تر می‌شود:

$$B \propto \frac{1}{R}$$

فعالیت ۳۶



از دانش آموزان می‌خواهیم آزمایش ۵-۴ را دوباره انجام دهند و برای برقراری جریان یک بار از یک باتری بار دیگر از دو باتری استفاده کنند و وضعیت براده‌ها در اطراف سیم را در این دو حالت مقایسه کنند و توضیح دهند.

پاسخ: وقتی از دو باتری استفاده می‌کنیم جریان در سیم بزرگ‌تر می‌شود و در هر نقطه تراکم براده‌ها بیشتر

می‌شود یعنی:

$B \propto I$

با معرفی ضریب تناسب لازم رابطه‌ی میدان مغناطیسی اطراف سیم راست حامل جریان را می‌گوییم.

پس از آن‌که دانش‌آموزان مثال ۳-۴ را حل و بررسی کردند تمرین تکمیلی زیر با هدف مقایسه‌ی میدان مغناطیسی سیم حامل جریان و زمین پیشنهاد می‌شود.

تمرین: میدان مغناطیسی زمین در ناحیه‌ای نزدیک به سطح آن حدود 5×10^{-5} تسلا است. در چه فاصله‌ای از سیم راست حامل جریان ۲ آمپری میدان مغناطیسی 5×10^{-5} تسلا است؟

پاسخ:

$$B = 5 \times 10^{-5} \text{ T} \quad B = \frac{\mu_0 I}{4\pi R}$$

$$I = 2 \text{ A}$$

$$R = ?$$

$$5 \times 10^{-5} = 2 \times 10^{-7} \times \frac{2}{R} \Rightarrow R = 8 \times 10^{-3} \text{ m}$$

مثال ۳-۴

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

حل: داریم

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

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

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

میدان مغناطیسی ناشی از جریان الکتریکی در یک پیچیده مسطح: پیچیده‌ی مسطح از جامد دور سیم نازک به شکل حلقه تشکیل شده که به هم فشرده شده‌اند و به‌صورت یک حلقه‌ی مسطح درآمدند. خطی که از مرکز این حلقه می‌گذرد و عمود بر سطح آن است، محور پیچیده نامیده می‌شود. پیچیده‌ها در بسیاری از وسیله‌های برقی برای ایجاد میدان مغناطیسی به کار می‌روند.

فعالیت ۳-۴

با استفاده از تجربه‌ی مغناطیسی و براده‌ی آهن خط‌های میدان مغناطیسی ناشی از عبور جریان الکتریکی از یک پیچیده را تعیین کنید. برای این کار، می‌توانید از مداری مطابق شکل ۱۷-۴ استفاده کنید.

منبع تغذیه ۱۲ ولتی و سیم ۱۷-۴

۱۵۸

مثال: میدان مغناطیسی بین قطب‌های آهنربای نعلی شکلی حدود $9 \times 10^{-2} \text{ T}$ است.

الف) از سیم راستی چه جریانی عبور دهیم تا در ۲ سانتی متری آن بزرگی میدان $9 \times 10^{-2} \text{ T}$ باشد؟

ب) آیا در آزمایشگاه‌های معمولی می‌توان چنین جریانی از سیم عبور داد؟
پاسخ: الف)

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

$$9 \times 10^{-2} = 2 \times 10^{-7} \times \frac{I}{2 \times 10^{-2}} \Rightarrow I = 900 \text{ A}$$

ب) خیر. حتی اگر منبع تولید چنین جریانی داشته باشیم

سیم‌ها داغ و ذوب می‌شوند. البته می‌توان تعداد سیم‌ها را بیشتر کرد و مثلاً با عبور جریان چند ده آمپری از مجموعه‌ای سیم موازی می‌توان چنین میدانی ایجاد کرد.

تمرین‌های اخیر به خوبی نشان می‌دهند که سیم راست حامل جریان نمی‌تواند میدان‌های مغناطیسی بزرگی ایجاد کند.

میدان مغناطیسی ناشی از جریان الکتریکی در یک پیچه‌ی مسطح: از دانش‌آموزان می‌خواهیم که تعریف پیچه‌ی مسطح را از روی متن کتاب مطالعه کنند، سپس سیم‌هایی به طول 50° تا 70° سانتی متر در اختیار هر گروه قرار می‌دهیم. می‌توانیم چند تا پیچه‌های چندحلقه‌ای از قبل آماده کنیم آن‌ها را به دانش‌آموزان بدهیم و از آن‌ها بخواهیم تا تعریفی برایش بدهند.

فعالیت ۳۷



- ۱- با سیمی که در اختیار دارید پیچه‌ی مسطحی بسازید.
- ۲- شعاع پیچه‌ای که ساخته‌اید را اندازه بگیرید و تعداد حلقه‌های آن را بشمارید.
- ۳- روشی برای محاسبه‌ی شعاع پیچه‌ی مسطح پیشنهاد کنید و شعاع پیچه‌ی ساخته‌ی خود را محاسبه و با عدد اندازه‌گیری شده مقایسه کنید. علت وجود اختلاف احتمالی را بررسی کنید.
- ۴- با عبور جریان از پیچه آثار مغناطیسی آن را مشاهده و بررسی کنید.

پاسخ: هرگاه طول سیم و تعداد حلقه‌های پیچه‌ی مسطح ساخته شده معلوم باشند داریم:

محیط هر حلقه \times تعداد حلقه‌ها = طول سیم

$$L = n(2\pi r) = r = \frac{L}{2\pi n}$$

از دانش‌آموزان می‌خواهیم فعالیت ۴-۶ را انجام دهند.