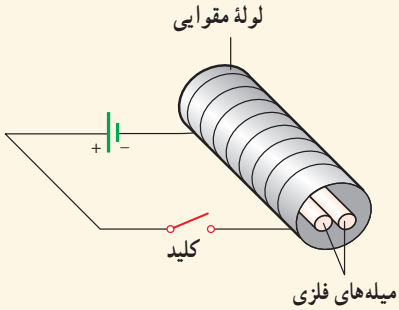
پرسش ۳ــ۱۰



دو میلهٔ فلزی بلند مطابق شکل روبه‌رو درون سیملوله‌ای که دور یک لولهٔ مقوایی پیچیده شده است قرار دارند. با بستن کلید و عبور جریان از این سیملوله، مشاهده می‌شود که دو میله از یکدیگر دور می‌شوند. وقتی کلید باز و جریان در مدار قطع می‌شود، میله‌ها به محل اولیه بازمی‌گردند.

الف) چرا با عبور جریان از پیچه، میله‌ها از یکدیگر دور می‌شوند؟

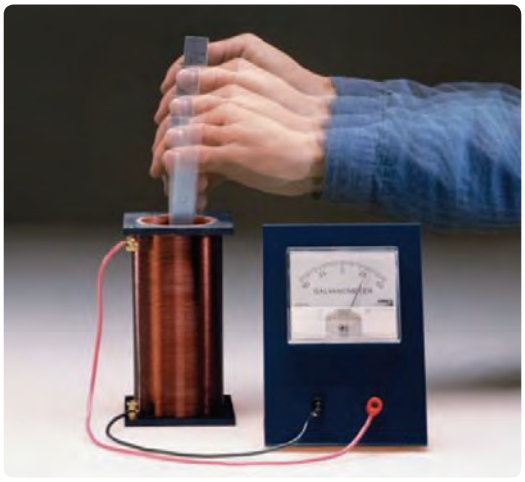
ب) با دلیل توضیح دهید میله‌های فلزی از نظر مغناطیسی در کدام دسته قرار می‌گیرند.

۳ــ۷ پدیدهٔ القای الکترومغناطیسی

تا اینجا، با آثار مغناطیسی جریان الکتریکی آشنا شدید که در سال ۱۸۲۰ میلادی توسط اورستد کشف شد. در سال ۱۸۳۱ فاراده پس از آزمایش‌های فراوان، مشاهده کرد که عبور آهنربا از یک پیچه، سبب برقراری جریان الکتریکی در پیچه می‌شود. این اثر که امروزه به قانون القای الکترومغناطیسی فاراده شناخته می‌شود، اساس کار مولدها برای تولید جریان الکتریکی است. در این بخش، به بررسی القای نیروی محرکهٔ الکتریکی در یک مدار بسته خواهیم پرداخت. این پدیده را القای الکترومغناطیسی می‌نامند. با انجام آزمایش زیر با این پدیده بیشتر آشنا می‌شوید.

آزمایش ۳ــ۴

هدف: بررسی پدیدهٔ القای الکترومغناطیسی

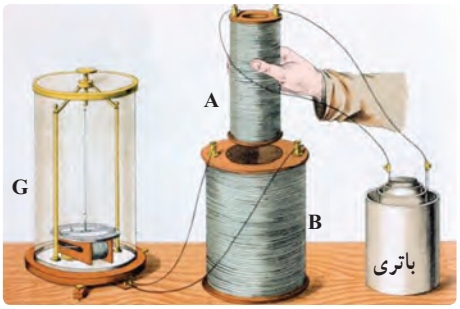


وسیله‌های مورد نیاز: گالوانومتر، آهنربای میله‌ای، سیملوله یا پیچه و سیم رابط

شرح آزمایش:

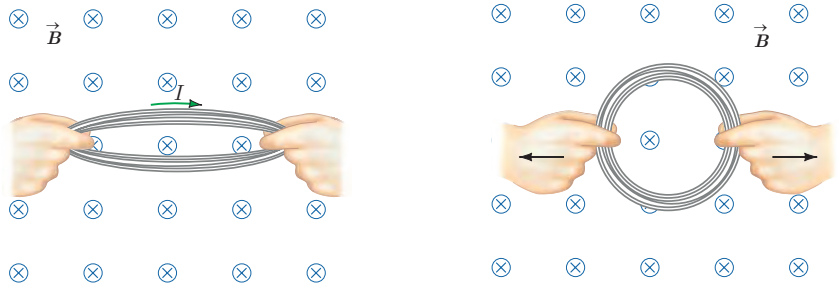
- دو سر سیملوله را به گالوانومتر ببندید.
- یکی از قطب‌های آهنربا را وارد سیملوله کنید (شکل روبه‌رو). مشاهدات خود را هنگام انجام این کار، یادداشت کنید.
- اکنون آهنربا را از سیملوله خارج کنید. مشاهدات خود را هنگام انجام این کار، دوباره یادداشت کنید.
- مراحل بالا را برای قطب دیگر آهنربا تکرار کنید.
- آزمایش را در حالی انجام دهید که آهنربا ثابت باشد و سیملوله به آن نزدیک یا از آن دور شود. آیا نتیجهٔ آزمایش تغییری می‌کند؟ توضیح دهید.

در سال ۱۸۳۱ میلادی مایکل فاراده دانشمند انگلیسی و تقریباً هم‌زمان با او جوزف هانری دانشمند امریکایی، با انجام آزمایش‌هایی مشابه آزمایش ۳ــ۴ دریافتند که هنگام دور و نزدیک کردن آهنربا به پیچه، عقربهٔ گالوانومتر منحرف می‌شود و عبور جریانی را از مدار نشان می‌دهد؛ درست مانند وقتی که در مدار، باتری وجود دارد (شکل ۳ــ۲۴). این پدیده را القای الکترومغناطیسی و جریان تولید شده را جریان الکتریکی القایی می‌نامند.

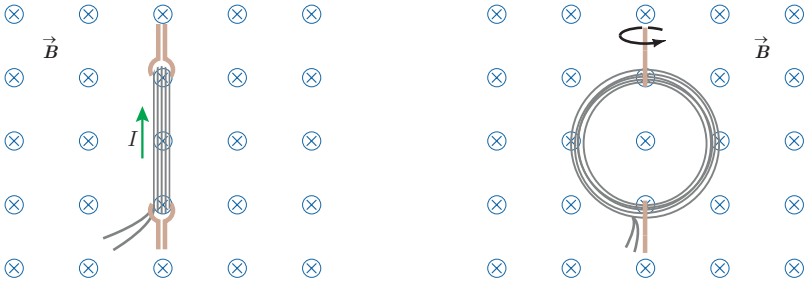


شکل ۳ــ۲۴ فاراده برای پی بردن به پدیدهٔ القای الکترومغناطیسی، به جای آهنربای دائمی، از آهنربای الکتریکی (سیملولهٔ A که به باتری وصل شده است) استفاده کرد. فاراده مشاهده کرد که با عبور آهنربا از درون سیملولهٔ B و تغییر میدان مغناطیسی در محل این سیملوله، عقربهٔ گالوانومتر منحرف می‌شود.

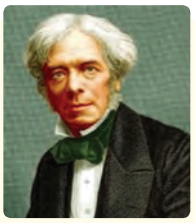
پیش از این دیدیم که با تغییر اندازه میدان در محل سیملوله، جریان در آن القا می‌شود. به جز این روش، به روش‌های دیگری نیز می‌توان در پیچه یا سیملوله، جریان الکتریکی القا کرد. اگر مساحت پیچه‌ای انعطاف‌پذیر را درون میدان مغناطیسی یکنواخت $\vec{B}$ تغییر دهیم (شکل ۳ــ۲۵) یا پیچه‌ای را درون میدان مغناطیسی یکنواخت $\vec{B}$ بچرخانیم (شکل ۳ــ۲۶)، مشاهده می‌شود که در هنگام انجام این کارها، جریانی در پیچه القا می‌شود.



شکل ۳ــ۲۵ تغییر مساحت پیچه در میدان مغناطیسی $\vec{B}$، جریانی در پیچه القا می‌کند.



شکل ۳ــ۲۶ با چرخاندن پیچه درون میدان مغناطیسی $\vec{B}$، زاویهٔ بین میدان مغناطیسی و سطح پیچه تغییر می‌کند. این تغییر زاویه سبب القای جریان در پیچه می‌شود.



مایکل فاراده (۱۸۶۷ــ۱۷۹۱)

مایکل فاراده، پسر یک آهنگر انگلیسی بود. به گفتهٔ خود او: «تحصیلات من بسیار معمولی بود. خواندن را کمی بیشتر از حد مقدماتی و نوشتن و ریاضیات را در حد شاگرد یک مدرسهٔ روزانه می‌دانستم. ساعت‌های خارج از مدرسهٔ من در خانه و خیابان‌ها می‌گذشت.» وی در سن ۱۲سالگی به عنوان شاگرد در یک کتاب‌فروشی مشغول به کار شد. فاراده ۱۹ ساله بود که به او اجازه داده شد تا در جلسهٔ سخنرانی سِرهمفری دیوی، شیمی‌دان مشهور (۱۸۲۹ــ۱۷۷۸)، که در مؤسسهٔ سلطنتی لندن برگزار می‌شد، حضور یابد. مؤسسهٔ سلطنتی یک مرکز مهم پژوهش و آموزش علوم بود. فاراده به شدت علاقه‌مند علوم شد و پیش خود به تحصیل علم شیمی پرداخت.

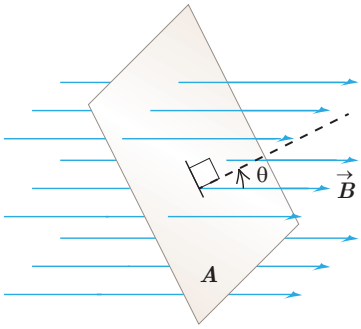
در سال ۱۸۱۳ تقاضای شغلی در مؤسسهٔ سلطنتی کرد و دیوی او را به عنوان یک همکار در امور پژوهشی استخدام کرد. فاراده به زودی نبوغ خود را به عنوان یک آزمایشگر نشان داد. وی مقاله‌های مهمی در شیمی، خواص مغناطیسی، الکتریسیته و نور نوشت و سرانجام به عنوان رئیس مؤسسهٔ سلطنتی برگزیده شد. فاراده را به سبب کشف‌های بسیارش یکی از بزرگ‌ترین دانشمندان تجربی عصر خود می‌دانند.

۳ــ ۸ قانون القای الکترومغناطیسی فاراده

پیش از این دیدیم که به دلایلی مانند تغییر میدان مغناطیسی در محل یک پیچه، تغییر مساحت پیچه در حضور میدان مغناطیسی یا چرخش پیچه درون میدان مغناطیسی، جریان الکتریکی در آن القا می‌شود. عامل اساسی و مشترک در ایجاد جریان القایی در همهٔ این آزمایش‌ها، تغییر شار مغناطیسی عبوری از پیچه است.

شار مغناطیسی، کمیتی نرده‌ای است و برای میدان مغناطیسی یکنواخت $\vec{B}$ که از پیچه‌ای با مساحت معیّن A می‌گذرد به صورت زیر تعریف می‌شود :

$$\Phi = BA\cos\theta \qquad (۵ــ۳)$$



شکل ۳ــ۲۷ نیم خط عمود بر سطح، با میدان یکنواخت $\vec{B}$ زاویهٔ θ می‌سازد.

همان‌طور که در شکل ۳ــ۲۷ دیده می‌شود : θ زاویهٔ بین بردار میدان مغناطیسی و نیم خط عمود بر سطح حلقه است (این نیم خط را به طور خط چین روی شکل نشان داده‌ایم).

یکای SI شار مغناطیسی، وِبر(Wb) است که با توجه به رابطه ۳ــ۵ داریم : $1\,Wb = 1\,T \times 1\,m^2$

توجه : همواره دو جهت برای رسم نیم‌خط عمود بر یک سطح معین وجود دارد. علامت شار مغناطیسی عبوری از این سطح نیز به انتخاب این جهت بستگی دارد. برای مثال، در شکل ۳ــ۲۷، نیم‌خط عمود را در طرفی از سطح رسم کرده‌ایم که زاویهٔ بین آن و جهت میدان $\vec{B}$ کمتر از 90° است و در نتیجه شار عبوری از سطح مثبت می‌شود. اگر نیم‌خط عمود را در طرف دیگر سطح انتخاب کنیم، در این صورت، زاویهٔ آن با جهت میدان $\vec{B}$ بیشتر از 90° خواهد شد و شار عبوری از سطح منفی می‌شود. هر دو انتخاب به یک اندازه مفیدند، ولی در حلّ یک مسئله، همواره باید یکی را انتخاب کنیم و تا پایان آن را تغییر ندهیم.

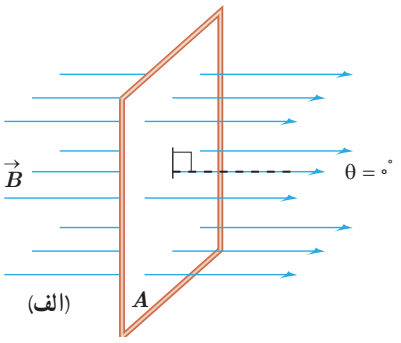
مثال ۳ــ۴

الف) مطابق شکل الف، سطح حلقهٔ رسانایی، به شکل مربع با ضلع $20\,cm$، عمود بر میدان مغناطیسی یکنواختی به بزرگی $250\,G$ قرار دارد. شار عبوری از این حلقه را به‌دست آورید.

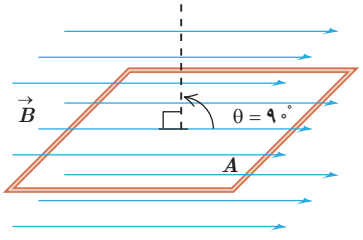
ب) اگر حلقه را بچرخانیم به طوری که سطح حلقه موازی با خط‌های میدان مغناطیسی شود، شار مغناطیسی عبوری از آن چقدر می‌شود؟

پ) تغییر شار مغناطیسی عبوری از حلقه را وقتی از موقعیت شکل الف به موقعیت شکل ب می‌چرخد به‌دست آورید.

ت) اگر این تغییر شار مغناطیسی در بازهٔ زمانی $\Delta t = 0/01\,s$ رخ داده باشد، آهنگ تغییر شار $(\Delta\Phi/\Delta t)$ را پیدا کنید.



(الف)



(ب)

پاسخ : الف) وقتی مطابق شکل الف، سطح حلقه عمود بر خط‌های میدان مغناطیسی قرار می‌گیرد، زاویهٔ بین میدان $\vec{B}$ و نیم‌خط عمود بر سطح حلقه برابر صفر می‌شود. به این ترتیب، شار عبوری از سطح حلقه برابر است با

$$A = ۰/۲\text{m} \times ۰/۲\text{m} = ۰/۰۴\text{m}^۲ \quad , \quad B = ۲۵۰\text{G} = ۲/۵۰ \times ۱۰^{-۲}\text{T} \quad , \quad \theta = ۰^\circ$$

$$\Phi = BA\cos\theta = (۲/۵۰ \times ۱۰^{-۲}\text{T})(۰/۰۴\text{m}^۲)(\cos ۰^\circ) = ۱ \times ۱۰^{-۳}\text{Wb} = ۱\text{mWb}$$

ب) وقتی مطابق شکل ب، حلقه می‌چرخد و سطح آن موازی با خط‌های میدان مغناطیسی قرار می‌گیرد، زاویهٔ بین میدان $\vec{B}$ و نیم‌خط عمود بر سطح حلقه برابر ۹۰° می‌شود. از آنجا که $\cos ۹۰^\circ = ۰$ است، در این شرایط، هیچ شاری از سطح حلقه عبور نمی‌کند.

پ) همان‌طور که دیدید شار عبوری از سطح حلقه در وضعیت شکل الف و وضعیت شکل ب، به‌ترتیب، برابر $\Phi_۱ = ۱\text{mWb}$ و $\Phi_۲ = ۰$ است. به این ترتیب، تغییر شار عبوری از سطح حلقه برابر $\Delta\Phi = \Phi_۲ - \Phi_۱ = -۱\text{mWb}$ می‌شود. علامت منفی نشان می‌دهد در حین چرخش حلقه از وضعیت شکل الف به وضعیت شکل ب، شار مغناطیسی عبوری از سطح آن کاهش یافته است.

ت) با توجه به نتیجهٔ قسمت پ، آهنگ تغییر شار $(\Delta\Phi/\Delta t)$ برابر است با

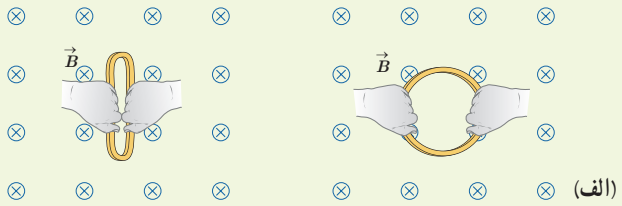
$$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{-۱ \times ۱۰^{-۳}\,\text{Wb}}{۰/۰۱\text{s}} = -۰/۱\text{Wb/s}$$

تمرین ۳ـ۴

الف) حلقه‌ای به مساحت $۲۵\text{cm}^۲$ درون میدان مغناطیسی یکنواخت درون سویی به اندازهٔ $۰/۰۳\text{T}$ قرار دارد (شکل الف). شار مغناطیسی عبوری از حلقه را به دست آورید.

ب) اگر مطابق شکل ب و بدون تغییر $\vec{B}$ ، مساحت سطح حلقه را به $۱۰\text{cm}^۲$ برسانیم، شار مغناطیسی عبوری از حلقه را در این وضعیت به دست آورید.

پ) اگر این تغییر شار در بازهٔ زمانی $\Delta t = ۰/۲\text{s}$ رخ داده باشد، آهنگ تغییر شار $(\Delta\Phi/\Delta t)$ را پیدا کنید.



پرسش ۳ـ۱۱

کدام‌یک از یکاهای زیر معادل یکای وبر بر ثانیه (Wb/s) است؟

☐ V/A ☐ V ☐ A ☐ Ω

اکنون که با تعریف و مفهوم شار مغناطیسی آشنا شدید دوباره نگاهی می‌کنیم به پدیدهٔ القای الکترومغناطیسی که در بخش قبل بررسی کردیم. همان‌طور که گفتیم عامل مشترک در تمامی پدیده‌هایی که منجر به تولید جریان القایی در مدار می‌شود، تغییر شار مغناطیسی عبوری از پیچه یا سیملوله است. بنابر قانون فاراده، هرگاه شار مغناطیسی‌ای که از مدار بسته‌ای می‌گذرد تغییر کند، نیروی محرکه‌ای در آن القا می‌شود که بزرگی آن با آهنگ تغییر شار مغناطیسی متناسب است؛ یعنی هرچه آهنگ تغییر

شار مغناطیسی بیشتر باشد، نیروی محرکهٔ القایی و در نتیجه جریان القایی تولید شده در مدار بیشتر خواهد بود. مثلاً در آزمایش‌های بخش ۳ــ۷، هرچه حرکتی که سبب تغییر شارمغناطیسی می‌شود سریع‌تر انجام شود، عقربهٔ گالوانومتر بیشتر منحرف می‌شود، و این نشان می‌دهد که جریان القایی بزرگ‌تری به‌وجود آمده است.

قانون فاراده برای پیچه یا سیملوله‌ای که از N دور مشابه تشکیل شده باشد با رابطهٔ زیر بیان می‌شود :

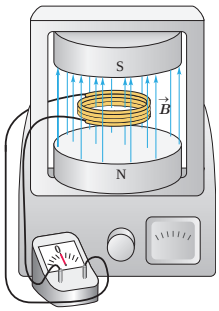
$$\bar{\mathscr{E}} = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \qquad (۳ــ۶)$$

در این رابطه $\bar{\mathscr{E}}$ نیروی محرکهٔ القایی متوسط برحسب ولت و $\Delta\Phi/\Delta t$ آهنگ تغییر شار مغناطیسی برحسب وبر بر ثانیه (Wb/s) است. اگر مقاومت پیچه یا سیملوله برابر R باشد، جریان القایی متوسط در آن از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود :

$$\bar{I} = \frac{\bar{\mathscr{E}}}{R} \qquad (۳ــ۷)$$

همان‌طور که از رابطهٔ ۳ــ۷ دیده می‌شود، هرچه مقاومت پیچه یا مداری که در آن شار مغناطیسی تغییر می‌کند، بیشتر باشد، جریان کوچک‌تری در آن القا می‌شود.

مثال ۳ــ۵



پیچه‌ای شامل ۲۰۰ دور که مساحت هر حلقهٔ آن $۲۵cm^۲$ است، مطابق شکل روبه‌رو بین قطب‌های یک آهنربای الکتریکی قرار گرفته است که میدان مغناطیسی یکنواخت تولید می‌کند. خط‌های میدان بر سطح پیچه عمودند. اگر اندازهٔ میدان در بازهٔ زمانی ۲/۰ms از ۰/۱۸T به ۰/۲۲T افزایش یابد،

الف) نیروی محرکهٔ القایی متوسط ایجاد شده در پیچه چقدر است؟

ب) اگر مقاومت پیچه ۱۰Ω باشد، جریان القایی متوسط که از پیچه می‌گذرد چقدر است؟

پاسخ : الف) نیم‌خط عمود بر سطح حلقه‌های پیچه را همسو با $\vec{B}$ می‌گیریم. با توجه به داده‌های مسئله داریم :

$$N = ۲۰۰ \text{ دور} \quad A = ۲۵cm^۲ \quad \theta = ۰ \quad \Delta t = ۲/۰ms$$

$$B_۱ = ۰/۱۸T \quad B_۲ = ۰/۲۲T \quad \bar{\mathscr{E}} = ?$$

$$\Phi_۱ = B_۱ A\cos\theta = (۰/۱۸T)(۲/۵ \times ۱۰^{-۳}m^۲)(\cos ۰^\circ) = ۴/۵ \times ۱۰^{-۴}Wb$$

$$\Phi_۲ = B_۲ A\cos\theta = (۰/۲۲T)(۲/۵ \times ۱۰^{-۳}m^۲)(\cos ۰^\circ) = ۵/۵ \times ۱۰^{-۴}Wb$$

به این ترتیب، تغییر شار مغناطیسی برابر است با :

$$\Delta\Phi = \Phi_۲ - \Phi_۱ = (۵/۵ \times ۱۰^{-۴}Wb) - (۴/۵ \times ۱۰^{-۴}Wb) = ۱/۰ \times ۱۰^{-۴}Wb$$

با قرار دادن این مقدار و داده‌های بالا در رابطهٔ ۳ــ۶ داریم :

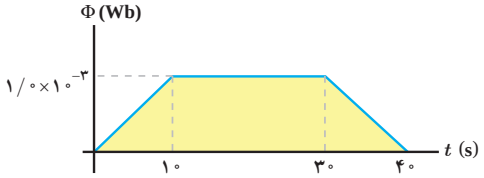
$$\bar{\mathscr{E}} = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -(۲۰۰)\frac{۱/۰ \times ۱۰^{-۴}Wb}{۲/۰ \times ۱۰^{-۳}s} = -۱۰V$$

ب) با توجه به رابطهٔ ۳ــ۷، جریان القایی متوسط در پیچه برابر است با :

$$\bar{I} = \frac{\bar{\mathscr{E}}}{R} = \frac{-۱۰V}{۱۰\Omega} = -۱/۰A$$

مثال ۳ـ۶

تغییرات شار مغناطیسی که از یک حلقه می‌گذرد برحسب زمان در نمودار شکل روبه‌رو نشان داده شده است. نیروی محرکهٔ القایی متوسط در حلقه را در هریک از بازه‌های زمانی (۰,۱۰s)، (۱۰s,۳۰s) و (۳۰s,۴۰s) محاسبه کنید.



پاسخ : در بازهٔ زمانی ۰ تا ۱۰s، نیروی محرکهٔ القایی متوسط برابر است با :

$$\bar{\mathscr{E}} = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -(1)\frac{(1/0\times10^{-3}\,\mathrm{Wb}-0)}{10\,\mathrm{s}} = -1/0\times10^{-4}\,\mathrm{V}$$

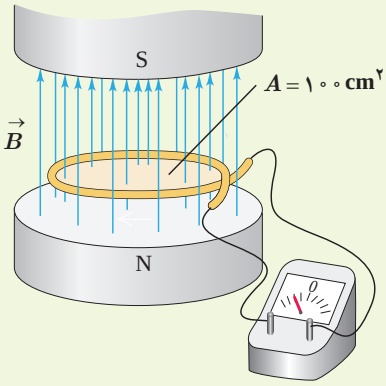
در بازه زمانی ۱۰s تا ۳۰s شار ثابت مانده است. در نتیجه نیروی محرکهٔ القایی متوسط برابر صفر است. در بازهٔ زمانی ۳۰s تا ۴۰s شبیه آنچه در مورد بازهٔ زمانی صفر تا ۱۰s گفتیم، نیروی محرکهٔ القایی متوسط برابر $1/0\times10^{-4}\,\mathrm{V}$ است.

تمرین ۳ـ۵

۱ـ میدان مغناطیسی بین قطب‌های آهنربای الکتریکی شکل روبه‌رو که بر سطح حلقه عمود است با زمان تغییر می‌کند و در مدت ۰/۴۵s از ۰/۲۸T، رو به بالا، به ۰/۱۷T، رو به پایین می‌رسد. در این مدت،

الف) نیروی محرکهٔ القایی متوسط در حلقه را به‌دست آورید.

ب) اگر مقاومت حلقه ۱۰Ω باشد، جریان القایی متوسط در حلقه را پیدا کنید.



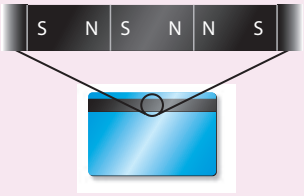
۲ـ مساحت هر حلقهٔ پیچه‌ای $30\,\mathrm{cm}^2$ و پیچه متشکل از ۱۰۰۰ حلقه است. در ابتدا سطح حلقه‌ها بر میدان مغناطیسی زمین عمود است. اگر در مدت ۰/۰۲۰s پیچه بچرخد و سطح حلقه‌ها موازی میدان مغناطیسی زمین شود، نیروی محرکهٔ القایی متوسط در آن چقدر است؟ اندازهٔ میدان زمین را ۰/۵۰G درنظر بگیرید.

پرسش ۳ـ۱۲

تندی‌سنج دوچرخه‌های مسابقه‌ای شامل یک آهنربای کوچک و یک پیچه است. آهنربا به یکی از پره‌های چرخ جلو و پیچه به دو شاخ فرمان متصل است (شکل روبه‌رو). دو سر پیچه با سیم‌های رسانا به نمایشگر تندی‌سنج (که در واقع نوعی رایانهٔ کوچک است) وصل شده است. به نظر شما تندی‌سنج دوچرخه چگونه کار می‌کند؟ این موضوع را در گروه خود به گفت‌وگو بگذارید و نتیجه را به کلاس درس ارائه دهید.

فناوری و کاربرد: کارت‌های اعتباری و دستگاه‌های کارت‌خوان

نوار مغناطیسی پشت کارت‌های اعتباری حاوی تعداد بسیار زیادی ذرهٔ فرومغناطیسی است که نوعی چسب خاص آنها را به هم متصل می‌کند. داده‌ها را که به‌صورت دودویی، یا صفر و یک به رمز درآورده‌اند، در نوار مغناطیسی پشت کارت ذخیره می‌کنند (شکل الف). وقتی کارت اعتباری درون دستگاه کارت‌خوان کشیده می‌شود، میدان مغناطیسی ناشی از نوار مغناطیسی، روی پیچهٔ قرار داده شده در دستگاه کارت‌خوان اثر می‌گذارد و جریان اندکی را در پیچه القا می‌کند (شکل ب). این جریان بسیار کوچک توسط دستگاه دیگری تقویت و داده‌های ذخیره شده در نوار مغناطیسی پشت کارت، رمزگشایی می‌شود. پس از رمزگشایی داده‌ها، دستور مورد نظر انجام می‌شود.



(الف) داده‌ها را به‌صورت صفر و یک در نوار مغناطیسی پشت کارت ذخیره می‌کنند.

(ب) کشیدن کارت، جریان اندکی در پیچهٔ دستگاه کارت‌خوان القا می‌کند.

خوب است بدانید: معاینهٔ مغز با نیروهای محرکهٔ القایی

برانگیزش (تحریک) مغناطیسی فرا جمجمه‌ای[1] (TMS) روشی برای بررسی عملکرد بخش‌های مختلف مغز است. در این روش، پیچه‌ای روی سر شخص بیمار قرار داده می‌شود که جریان الکتریکی متغیری از آن می‌گذرد و در نتیجه میدان مغناطیسی متغیری تولید می‌کند. این میدان متغیر، سبب ایجاد نیروی محرکهٔ القایی و جریان القایی در ناحیه‌ای از مغز می‌شود که در زیر پیچه قرار دارد. پزشک با مشاهدهٔ واکنش مغز (مثلاً اینکه کدام عضله‌ها به علت برانگیزش بخش خاصی از مغز حرکت می‌کنند) می‌تواند شرایط عصب شناختی مختلفی را بیازماید.

۳ــ۹ قانون لنز

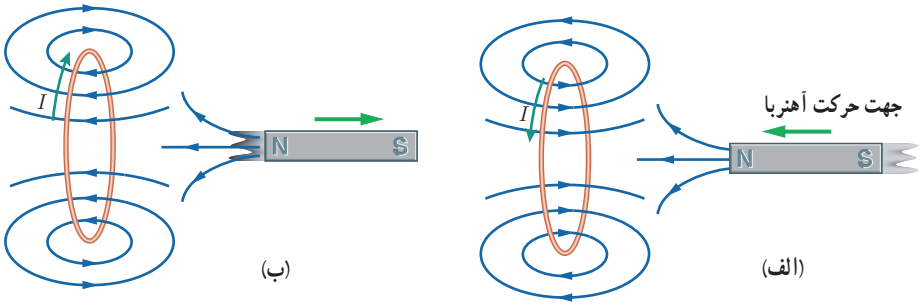
مدت کوتاهی پس از آنکه فاراده قانون القای الکترومغناطیسی را ارائه کرد، هاینریش لِنز، دانشمند روس تبار، در سال ۱۸۳۴ میلادی روشی را برای تعیین جهت جریان القایی در یک پیچه یا در هر مدار بستهٔ دیگری پیشنهاد کرد. این روش که بعدها به قانون لنز شهرت یافت، حاکی از آن است که :

جریان حاصل از نیروی محرکهٔ القایی در یک مدار یا پیچه در جهتی است که آثار مغناطیسی ناشی از آن، با عامل به وجود آورندهٔ جریان القایی، یعنی تغییر شار مغناطیسی، مخالفت می‌کند.

علامت منفی در رابطهٔ ۳ــ۶ نشان دهندهٔ همین مخالفت است. توضیح دقیق‌تر این مطلب فراتر از سطح این کتاب است. در اینجا تنها به ذکر مثال‌هایی از چگونگی استفاده از قانون لنز برای تعیین جهت جریان القایی اکتفا می‌کنیم.

۱ــ Transcranial Magnetic Stimulation (TMS)

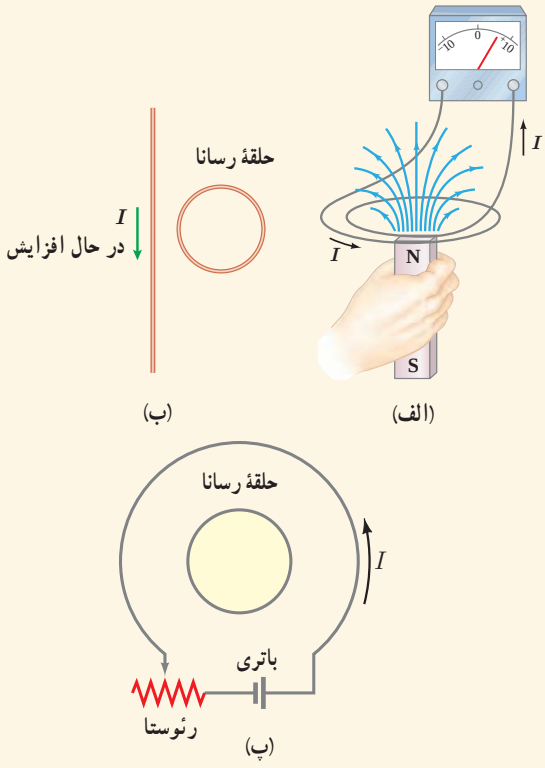
شکل ۳ــ۲۸ الف، آهنربایی را نشان می‌دهد که قطب N آن در حال نزدیک شدن به یک حلقهٔ رساناست. در این وضعیت اندازهٔ $\vec{B}$ در محل حلقه افزایش می‌یابد و در نتیجه شار گذرنده از حلقه زیاد می‌شود. بنا به قانون لنز، جهت جریان القایی ایجاد شده در حلقه چنان است که میدان مغناطیسی ناشی از آن با افزایش شار مخالفت کند. بنابراین، میدان مغناطیسی حلقه در خلاف سوی میدان مغناطیسی آهنربا می‌شود. با توجه به قاعدهٔ دست راست و از روی جهت میدان مغناطیسی حلقه، جهت جریان در حلقه تعیین می‌شود. همچنین اگر مطابق شکل ۳ــ۲۸ ب، قطب N آهنربا را از حلقهٔ رسانا دور کنیم، جریان القایی در جهتی خواهد بود که میدان مغناطیسی تولید شده توسط حلقه، همسو با میدان آهنربا می‌شود و به‌این ترتیب با کاهش شار عبوری از حلقه، مخالفت می‌کند.



شکل ۳ــ۲۸ الف) وقتی آهنربا به حلقهٔ رسانا نزدیک می‌شود جریان در جهتی در حلقه القا می‌شود که میدان مغناطیسی ناشی از آن با افزایش شار مغناطیسی حلقه مخالفت کند. ب) با دور شدن آهنربا از حلقهٔ رسانا، جریان در جهتی در حلقه القا می‌شود که میدان مغناطیسی ناشی از آن با کاهش شار مغناطیسی حلقه مخالفت کند.

هاینریش فردریش امیل لِنز (۱۸۶۵-۱۸۰۴) از فیزیک‌دانان مشهور آلمانی و دارای تبار روس بود. وی در استونی که در آن دوران تحت امپراتوری روسیه بود به دنیا آمد. پس از اتمام دوره دبیرستان در سال ۱۸۲۰ وارد دانشگاه دُرپَت شد و به تحصیل در زمینهٔ فیزیک و شیمی پرداخت. لنز طی سال‌های ۱۸۲۳ تا ۱۸۲۶ میلادی، در ضمن یک سفر دریایی به دور دنیا، به مطالعهٔ شرایط آب و هوایی و همچنین ویژگی‌های فیزیک دریا پرداخت و نتایج آن را در سال ۱۸۳۱ منتشر کرد. پس از این سفر، در دانشگاه سن پترزبورگ آغاز به کار نمود. لنز مطالعهٔ الکترومغناطیس را در سال ۱۸۳۱ شروع کرد و بیشتر شهرتش برای فرمول‌بندی قانون لنز در الکترومغناطیس در سال ۱۸۳۴ است.

پرسش ۳ــ۱۳

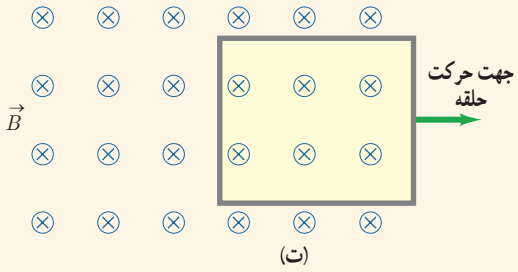


۱ــ با توجه به جهت جریان القایی در مدار شکل الف، توضیح دهید که آیا آهنربا رو به بالا حرکت می‌کند یا رو به پایین.

۲ــ شکل ب سیم بلند و مستقیمی را نشان می‌دهد که جریان عبوری از آن در حال افزایش است. جهت جریان القایی را در حلقهٔ رسانای مجاور سیم تعیین کنید.

۳ــ اگر در مدار شکل پ مقاومت رئوستا افزایش یابد، جریان القایی در حلقهٔ رسانای داخلی در چه جهتی ایجاد می‌شود؟

۴ــ حلقهٔ رسانای مستطیل شکلی را مطابق شکل ت به‌طرف راست می‌کشیم و از میدان مغناطیسی درون‌سویی خارج می‌کنیم. جهت جریان القایی در حلقه در چه جهتی است؟



(ت)

خوب است بدانید: اثر دیامغناطیس

چرخش هر الکترون به دور هستهٔ اتم را می‌توان به صورت یک حلقهٔ میکروسکوپی جریان مدل‌سازی کرد. هرگاه ماده‌ای در یک میدان مغناطیسی خارجی قرار گیرد، شار مغناطیسی گذرنده از هر یک از این حلقه‌های میکروسکوپی افزایش می‌یابد و در نتیجه بنابر قانون لنز، در این حلقه‌ها، یک میدان مغناطیسی در خلاف جهت میدان مغناطیس خارجی القا می‌شود. به این ویژگی که در اتم‌های همهٔ مواد در حضور یک میدان مغناطیسی خارجی رخ می‌دهد، پدیده یا اثر دیامغناطیس گفته می‌شود. اثر دیامغناطیسی در موادی نظیر بیسموت، جیوه، نقره، سرب، مس و کربن (الماس) بهتر نمایان می‌شود، زیرا اتم‌های آنها، فاقد دو قطبی‌های مغناطیسی دائمی‌اند. از آنجا که اثر دو قطبی‌های مغناطیسی دائمی در مواد فرومغناطیسی و پارامغناطیسی بسیار بیشتر از اثر دو قطبی‌های القایی است، اثر دیامغناطیس در این گونه مواد نمود کمتری دارد.

۳ــ۱۰ القاگرها

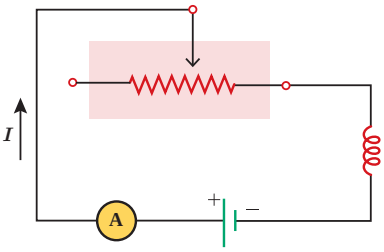
در فصل ۲ دیدیم که در فضای بین صفحه‌های یک خازن باردار، میدان الکتریکی ایجاد می‌شود و انرژی الکتریکی در این میدان ذخیره می‌شود. به همین ترتیب، می‌توان از القاگر (سیم‌پیچ) برای تولید میدان مغناطیسی دلخواه و همچنین ذخیرهٔ انرژی در این میدان استفاده کرد. القاگر مانند مقاومت و خازن یکی از اجزای ضروری مدارهای الکترونیکی است.

شکل ۳ــ۲۹ تصویر چند القاگر را در اندازه‌ها و شکل‌های متفاوت نشان می‌دهد. نماد مداری القاگر، است. ویژگی‌های فیزیکی هر القاگر، توسط ضریب القاوری آن تعیین می‌شود. ضریب القاوری که با نماد L نمایش داده می‌شود به عواملی همچون تعداد دور، طول و سطح مقطع القاگر و جنس هسته‌ای که داخل آن قرار می‌گیرد بستگی دارد. یکای SI ضریب القاوری، هانری (H) نام دارد.

شکل ۳ــ۲۹ تصویری از چند القاگر در اندازه‌ها و شکل‌های متفاوت

جوزف هانری (۱۸۷۸ــ۱۷۹۷) : یکی از فیزیک‌دانان تجربی قرن نوزدهم است که در آمریکا به دنیا آمد و کار خود را با آموزش علوم در یک مدرسه روستایی آغاز کرد. سپس به تحصیل در طب و مهندسی علاقه‌مند شد و سرانجام به فیزیک و ریاضیات روی آورد. هانری در سال ۱۸۳۱، همزمان و مستقل از فاراده، موفق به کشف پدیدهٔ القای الکترومغناطیسی شد. وی همچنین توانست نوعی موتور الکترومغناطیسی و یک تلگراف جدید و کارآمد اختراع کند. یکای SI ضریب القاوری به احترام یک عمر فعالیت‌های علمی وی، هانری (H) انتخاب شده است.

خود ــ القاوری : مداری را مطابق شکل ۳ــ۳۰ درنظر بگیرید. این مدار شامل منبع نیروی محرکه، رئوستا، آمپرسنج و القاگری است که به طور متوالی به یکدیگر بسته شده‌اند. با تغییر مقاومت رئوستا، جریان در مدار تغییر می‌کند. تغییر جریان در مدار، سبب تغییر میدان مغناطیسی القاگر می‌شود و در نتیجه شار مغناطیسی عبوری از آن نیز تغییر می‌کند. این فرایند سبب القای نیروی محرکه‌ای در القاگر می‌شود که بنابر قانون لنز با تغییر جریان عبوری از آن مخالفت می‌کند. این پدیده که می‌تواند در هر القاگری (از قبیل پیچه یا سیملوله) رخ دهد اثر خود ــ القاوری نامیده می‌شود.



شکل ۳ــ۳۰ مداری ساده شامل رئوستا، القاگر، باتری و آمپرسنج

آزمایش ۳ــ۵

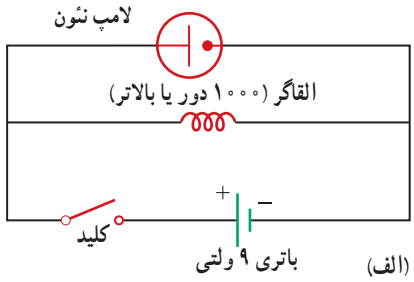
هدف: بررسی اثر خود ــ القاوری

وسیله‌های مورد نیاز : لامپ نئون (لامپ فازمتری)، القاگر(۱۰۰۰ دور یا بالاتر)، باتری قلمی (۲ عدد) یا باتری ۹ ولتی، سیم رابط، کلید

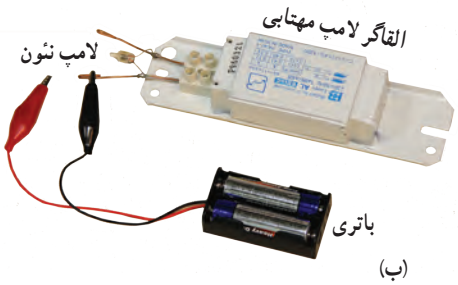
شرح آزمایش :

- مداری مطابق شکل الف ببندید.
- کلید را وصل کنید. آیا لامپ روشن است؟ اینک کلید را قطع کنید. در لحظهٔ قطع کردن کلید چه چیزی مشاهده می‌کنید؟ دلیل آنچه را مشاهده می‌کنید در گروه خود به گفت‌وگو بگذارید و نتیجه را به کلاس ارائه دهید.

توجه : می‌توانید مطابق شکل ب، به جای القاگر از القاگر لامپ‌های مهتابی (که به اشتباه ترانس نامیده می‌شود) نیز استفاده کنید.



(الف)



(ب)

خوب است بدانید:

کاربرد القاگرها در سامانه‌های انتقال برق

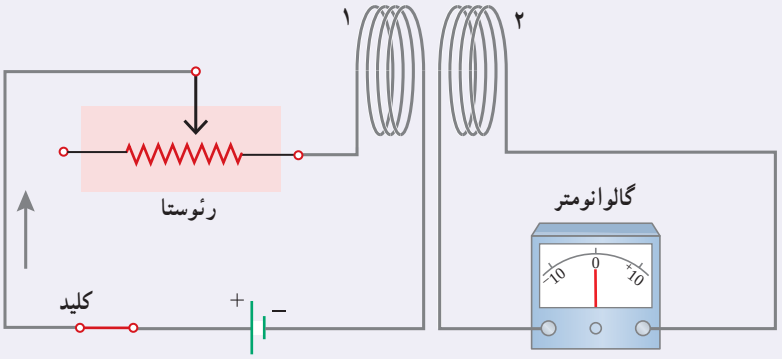
برخورد آذرخش به بخشی از یک سامانهٔ انتقال توان الکتریکی موجب افزایش ناگهانی ولتاژ می‌شود که می‌تواند به اجزای سامانه و هر چیز دیگری که به آن وصل باشد (برای مثال، وسیله‌های برقی خانگی) آسیب برساند. برای کمینه کردن این آثار، القاگرهای بزرگی را در مسیر سامانهٔ انتقال قرار می‌دهند. این کار باعث می‌شود که القاگر با هر تغییر سریع در جریان مخالفت کند و آن را فرو نشاند!

کاربرد القاگرها در لامپ‌های فلوئورسان

همان‌طور که در ابتدای این بخش دیدیم القاگرها با تغییرات سریع جریان در مدار مخالفت می‌کنند، به همین دلیل نقش مهمی در لامپ‌های فلوئورسان (مهتابی) دارند. در این لامپ‌ها، جریان الکتریکی از گاز رقیقی که فضای درون لامپ را پر کرده است می‌گذرد و گاز را یونیده و به پلاسما تبدیل می‌کند. پلاسما یک رسانای غیراهمی است و هرچه بیشتر یونیده شود مقاومت آن کمتر می‌شود. اگر ولتاژ به حدّ کافی بالایی به گاز اعمال شود، جریان می‌تواند بسیار زیاد شود و به مدار بیرونی لامپ فلوئورسان آسیب برساند. برای جلوگیری از این مسئله، یک القاگر را به طور متوالی با لامپ فلوئورسان می‌بندند تا مانع افزایش زیاد جریان شود. متعادل کننده همچنین باعث می‌شود تا لامپ فلوئورسان بتواند با ولتاژ متناوب کار کند.

خوب است بدانید: القای متقابل

شکل زیر اسباب آزمایش ساده‌ای را برای بررسی اثر القای متقابل نشان می‌دهد. جریان عبوری از پیچهٔ ۱، میدان مغناطیسی $\vec{B}$ را به وجود می‌آورد. این میدان $\vec{B}$، شار مغناطیسی‌ای را از پیچهٔ ۲ می‌گذراند که در مجاورت آن قرار دارد. با تغییر دادن مقاومت رئوستا و تغییر جریان در پیچهٔ ۱، میدان مغناطیسی پیچهٔ ۱ و در نتیجه شار عبوری از پیچهٔ ۲ نیز تغییر می‌کند؛ بنابر قانون فاراده، این تغییر شار، نیروی محرکه‌ای را در پیچهٔ ۲ القا می‌کند که به ایجاد جریان القایی در این پیچه می‌انجامد. همچنین تغییر جریان در پیچهٔ ۲، سبب ایجاد نیروی محرکهٔ القایی در پیچهٔ ۱ می‌شود. این فرایند، القای متقابل نامیده می‌شود و به کمک آن می‌توان انرژی را از یک پیچه، به پیچهٔ دیگر منتقل کرد.



با تغییر مقاومت رئوستا و تغییر جریان عبوری از پیچهٔ ۱ شار عبوری از پیچهٔ ۲ نیز تغییر می‌کند. این تغییر شار، سبب ایجاد نیروی محرکهٔ القایی در پیچهٔ ۲ می‌شود. هم‌زمان تغییر جریان در پیچهٔ ۲، سبب ایجاد نیروی محرکهٔ القایی در پیچهٔ ۱ می‌گردد.

در برخی از مدارهایی که از چندین القاگر به وجود آمده است، تغییرات جریان در یک القاگر می‌تواند نیروهای محرکهٔ ناخواسته‌ای را در القاگرهای مجاور القا کند. به همین دلیل، در برخی از مدارهای الکتریکی، القای متقابل می‌تواند مزاحم باشد. برای هرچه کمتر کردن این اثر ناخواسته، باید سطح حلقه‌های القاگرهای مجاور را به طور عمود بر یکدیگر قرار داد (شکل روبه‌رو). در این صورت، اثر القای متقابل تا حد امکان کوچک می‌شود. القای متقابل کاربردهای مفید بسیاری نیز دارد. مثلاً در مبدّل‌ها که در پایان همین فصل با آنها آشنا خواهید شد، القای متقابل، نقش مهمی در مقدار ولتاژ خروجی مبدل ایفا می‌کند.

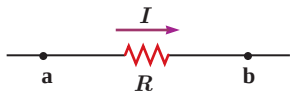
برای به حداقل رساندن اثر القای متقابل در برخی از مدارهای الکتریکی، القاگرهای مجاور را به گونه‌ای قرار می‌دهند که سطح حلقه‌های آنها بر یکدیگر عمود باشد.

انرژی ذخیره شده در القاگر : وقتی توسط باتری جریانی در القاگر برقرار شود، مولد به القاگر انرژی می‌دهد. بخشی از این انرژی در مقاومت الکتریکی سیم‌های القاگر به صورت گرما تلف و بقیهٔ آن در میدان مغناطیسی القاگر ذخیره می‌شود. مقدار انرژی ذخیره شده در میدان القاگر با ضریب القاوری L، از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید :

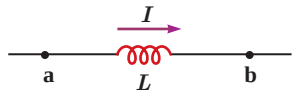
$$U = \frac{1}{2} LI^2 \qquad (۸ـ۳)$$

لازم است رفتار مقاومت و القاگر را به لحاظ انرژی اشتباه نگیرید (شکل ۳ــ۳۱). هنگام عبور جریان از مقاومت، انرژی وارد آن می‌شود، جریان چه پایا باشد و چه تغییر کند، این انرژی در مقاومت به انرژی گرمایی تبدیل می‌شود؛ درحالی‌که در یک القاگر آرمانی (با مقاومت صفر) تنها وقتی انرژی وارد القاگر می‌شود که جریان در آن افزایش یابد. این انرژی تلف نمی‌شود؛ بلکه در میدان مغناطیسی القاگر ذخیره شده و هنگام کاهش جریان، آزاد می‌شود. هنگام عبور جریان پایا از یک القاگر آرمانی (سیم‌پیچ بدون مقاومت)، انرژی به آن وارد یا از آن خارج نمی‌شود.

مقاومت با جریان I : انرژی تلف شده است.



القاگر با جریان I : انرژی ذخیره شده است.



شکل ۳ــ۳۱ مقاومت قطعه‌ای است که در آن انرژی به طور غیرقابل برگشت تلف می‌شود. برخلاف آن، انرژی ذخیره شده در القاگر حامل جریان را می‌توان هنگام کاهش جریان، بازیافت.

مثال ۳ــ۷

متخصصان صنعت برق، علاقه‌مندند راه‌های مؤثری را برای ذخیره انرژی الکتریکی تولیدی در ساعت‌های کم‌مصرف (کم‌باری) بیابند تا با استفاده از آن، نیاز مشترکان را در ساعت‌های پرمصرف (اوج بار) تأمین کنند. یک ایدهٔ فرضی، استفاده از یک القاگر بزرگ است. ضریب القاوری این القاگر چقدر باشد تا بتواند ۱/۰kWh انرژی الکتریکی را در پیچهٔ حامل جریان ۲۰۰A ذخیره کند؟

پاسخ : مقدار انرژی ذخیره شدهٔ مورد نیاز $U=$ ۱/۰kWh و جریان $I=$۲۰۰A داده شده است. از معادلهٔ ۳ــ ۸ ضریب القاوری را به‌دست می‌آوریم :

$$U=۱/۰\ \text{kWh}=(۱/۰\times۱۰^{۳}\text{W})(۳۶۰۰\text{s})=۳/۶\times۱۰^{۶}\text{J}$$

$$U=\frac{۱}{۲}LI^{۲}\Rightarrow L=\frac{۲U}{I^{۲}}=\frac{۲(۳/۶\times۱۰^{۶}\text{J})}{(۲۰۰\text{A})^{۲}}=۱/۸\times۱۰^{۲}\text{H}$$

ضریب القاوری به‌دست آمده، بسیار بیشتر از ضریب القاوری یک القاگر معمولی (در حد میلی‌هانری) است که در آزمایشگاه از آن استفاده می‌کنیم. افزون بر این همان‌طور که در فصل ۲ دیدیم سیم‌های معمولی که بتوانند جریان ۲۰۰A را از خود عبور دهند باید قطر بسیار بزرگی داشته باشند. اندازهٔ یک القاگر ۱۸۰H که از سیم‌های معمولی ساخته شده باشد و بتواند چنین جریانی را تحمل کند باید خیلی بزرگ (به اندازهٔ یک اتاق بزرگ) باشد. با توجه به فنّاوری‌های موجود، این ایده غیرعملی است و توجیه اقتصادی ندارد.

فنّاوری و کاربرد: انرژی لازم برای جرقه زدن شمع خودرو

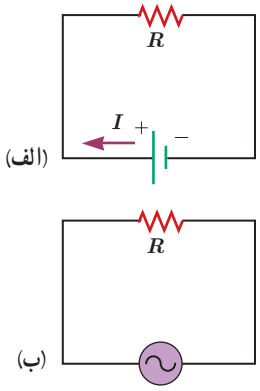
انرژی ذخیره شده در میدان مغناطیسی نقش مؤثری در دستگاه‌های احتراق خودروهای با موتور بنزینی دارد. پیچهٔ اولیه با حدود ۲۵۰ دور به باتری خودرو بسته شده است و میدان مغناطیسی قوی‌ای تولید می‌کند. این پیچه، درون یک پیچهٔ ثانویه با ۲۵۰۰ دور سیم خیلی نازک قرار گرفته است. برای جرقه زدن شمع، جریان در پیچهٔ اولیه قطع می‌شود و میدان مغناطیسی به سرعت به صفر می‌رسد و نیروی محرکهٔ الکتریکی ده‌ها هزار ولتی در پیچهٔ ثانویه القا می‌کند. درنتیجه انرژی ذخیره شده در میدان مغناطیسی همراه با جریانی لحظه‌ای از پیچهٔ ثانویه به طرف شمع می‌رود و جرقه‌ای تولید می‌کند که سبب احتراق مخلوط سوخت و هوا در سیلندرهای موتور می‌شود (شکل روبه‌رو).

انرژی لازم برای جرقه زدن شمع خودرو، از انرژی ذخیره شده در میدان مغناطیسی پیچهٔ احتراق تأمین می‌شود.

۳ــ۱۱ جریان متناوب

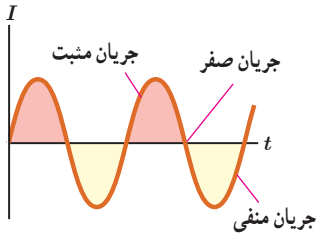
در اواخر قرن نوزدهم، بحث‌های داغی بین توماس ادیسون و جورج وستینگهاوس دربارهٔ بهترین روش انتقال انرژی الکتریکی از محل تولید تا محل مصرف صورت گرفت. ادیسون موافق جریان مستقیم (dc) بود، در حالی که وستینگهاوس از جریان متناوب (ac) حمایت می‌کرد. سرانجام، وستینگهاوس پیروز شد و پس از آن سامانه‌های انتقال و توزیع برق و بیشتر وسایل خانگی با جریان متناوب به کار افتادند.

شکل ۳ــ۳۲ دو مدار سادهٔ جریان مستقیم و جریان متناوب را نشان می‌دهد. همان‌طورکه می‌بینید جهت جریان در مدار جریان مستقیم معیّن است، درحالی که در مدار جریان متناوب، به دلیل تغییر جهت جریان با گذشت زمان، نمی‌توان جهت معینی را برای جریان در نظر گرفت. تمامی نیروگاه‌های تولید برق در دنیا و از جمله ایران، جریان متناوب تولید می‌کنند که تابعی سینوسی از زمان است و به همین دلیل، جریان متناوب سینوسی نامیده می‌شود (شکل ۳ــ۳۳).

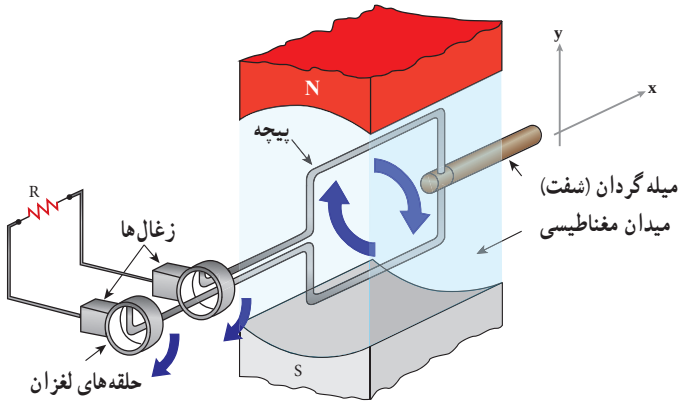


شکل ۳ــ۳۲ الف) مدار سادهٔ جریان مستقیم، که در آن جریان با گذشت زمان تغییر نمی‌کند. ب) مدار سادهٔ جریان متناوب، که در آن ولتاژ و جریان با گذشت زمان به طور سینوسی تغییر می‌کنند.

تولید جریان متناوب : یکی از کاربردهای مهم اثر القای الکترومغناطیسی، تولید جریان متناوب است. پیش از این دیدیم که برای تولید نیروی محرکهٔ القایی باید شار عبوری از پیچه تغییر کند. رایج‌ترین روش برای تغییر شار و در نتیجه تولید جریان القایی، تغییر زاویهٔ θ در رابطهٔ شار مغناطیسی، یعنی $\Phi=BA\cos\theta$ است. شکل ۳ــ۳۴ پیچه‌ای را نشان می‌دهد که می‌تواند در میدان مغناطیسی یکنواخت دور محور x بچرخد.



شکل ۳ــ۳۳ جریان متناوب سینوسی، متداول‌ترین نوع جریان متناوب است.



شکل ۳ــ۳۴ اجزای یک مولّد (ژنراتور) جریان متناوب. حرکت مکانیکی از طریق میله گردان، سبب چرخیدن پیچه در میدان مغناطیسی می‌شود و جریان متناوبی را در مدار به وجود می‌آورد.

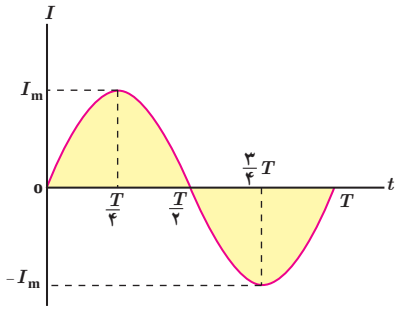
هر دور چرخش پیچه، معادل 2π رادیان است. اگر پیچه به‌طور یکنواخت بچرخد و هر دور چرخش آن T ثانیه طول بکشد، پیچه در مدت t ثانیه، به اندازه $\frac{t}{T}$ دور خواهد چرخید. درنتیجه اگر سطح پیچه در لحظه $t=0$ عمود بر میدان مغناطیسی باشد ($\theta=0$)، پس از گذشت t ثانیه، زاویه θ برابر $(2\pi)(\frac{t}{T})$ رادیان است. زمان یک دور چرخش کامل پیچه (T) را **دوره** یا **زمان تناوب** می‌نامند. شاری که در لحظهٔ t از پیچه می‌گذرد برابر است با

$$\Phi = BA\cos\frac{2\pi}{T}t \qquad (۹ــ۳)$$

می‌توان نشان داد با تغییر شار مغناطیسی، جریانی که در پیچه القا می‌شود، از رابطه زیر به‌دست می‌آید[۱] :

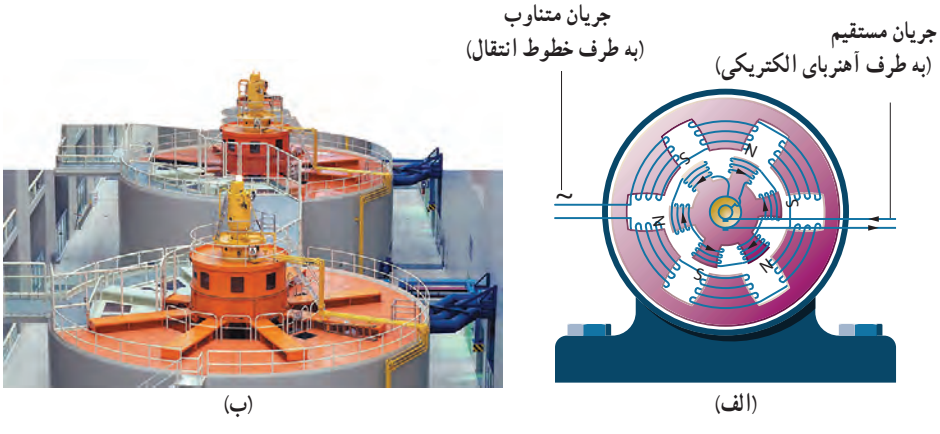
$$I = I_m \sin \frac{2\pi}{T} t \qquad (۳ـ۱۰)$$

در این رابطه I_m بیشینهٔ جریان القا شده در پیچه است. رابطهٔ ۳ـ۱۰ همچنین نشان می‌دهد که جریان القایی در پیچه، به‌طور سینوسی تغییر می‌کند، به‌همین سبب به آن **جریان متناوب** می‌گویند. نمودار این جریان برحسب زمان، در یک دوره در شکل ۳ـ۳۵ رسم شده است.



شکل ۳ـ۳۵ نمودار جریان متناوب سینوسی در یک دوره

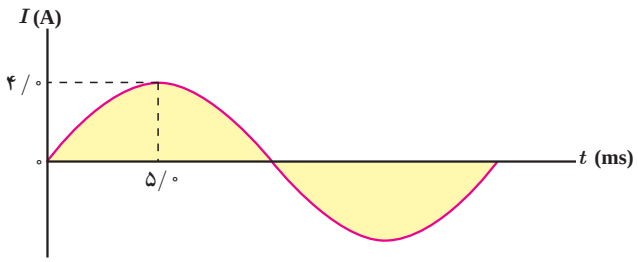
در نیروگاه‌های تولید برق، برای تولید جریان متناوب از مولدهای خاصی استفاده می‌شود که به آنها مولدهای صنعتی جریان متناوب می‌گویند. در مولدهای صنعتی پیچه‌ها ساکن‌اند و آهنربای الکتریکی در آنها می‌چرخد (شکل ۳ـ۳۶). در نیروگاه‌های تولید برق در ایران، آهنربای الکتریکی در هر ثانیه، ۵۰ دور درون پیچه می‌چرخد. این کمیت را بسامد برق تولید شده می‌نامند و به‌صورت ۵۰Hz بیان می‌کنند. یکای SI بسامد s^{-1} یا Hz (هرتز) است.



شکل ۳ـ۳۶ الف) در مولدهای صنعتی با چرخیدن آهنربای الکتریکی بین پیچه‌ها، جریان متناوب تولید می‌شود. ب) نمایی از مولدهای صنعتی تولید برق.

مثال ۳ـ۸

شکل روبه‌رو، نمودار جریان متناوب سینوسی را نشان می‌دهد که یک مولد جریان متناوب تولید کرده است. معادلهٔ جریان برحسب زمان را بنویسید.



پاسخ : چون ربع چرخه در ۵/۰ ms طی شده است، دوره تناوب برابر $T = ۲۰\,ms$ است. همچنین با توجه به نمودار، بیشینهٔ جریان $I_m = ۴/۰A$ است. در نتیجه از رابطهٔ ۳ـ۹ داریم :

$$I = I_m \sin \frac{2\pi}{T} t = (۴/۰A) \sin \left(\frac{2\pi}{۲۰\times۱۰^{-۳}s}\right) t = ۴/۰ \sin ۱۰۰\pi t$$

نتیجهٔ نهایی برحسب یکاهای SI نوشته شده است.

۱ـ اثبات این رابطه، خارج از اهداف برنامهٔ درسی این کتاب است.

تمرین ۳ــ۶

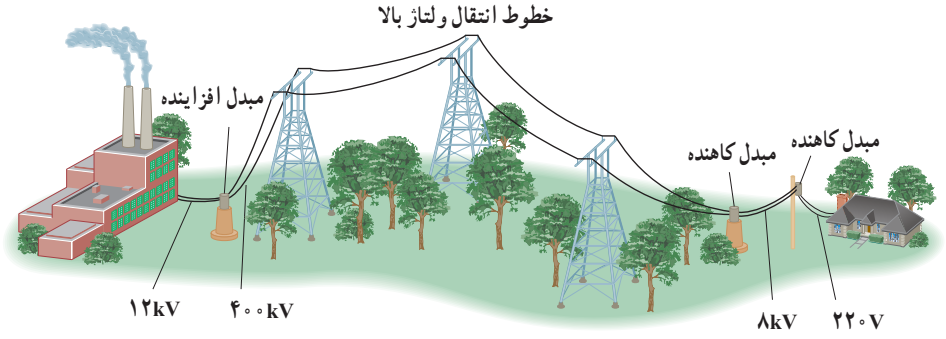
معادلهٔ جریان ــ زمان یک مولد جریان متناوب برحسب یکاهای SI به‌صورت $I = (۴/۰\times۱۰^{-۳})\sin۲۵۰\pi t$ است.

الف) جریان در دو لحظهٔ $t_۱= ۲/۰$ ms و $t_۲= ۸/۰$ ms چقدر است؟

ب) دورهٔ تناوب جریان را به‌دست آورید و نمودار جریان ــ زمان را در یک دورهٔ کامل رسم کنید.

مبدل‌ها : یکی از مزیت‌های مهم توزیع توان الکتریکی ac بر dc آن است که افزایش و کاهش ولتاژ ac، بسیار آسان‌تر از dc است. برای انتقال توان الکتریکی در فاصله‌های دور، تا جایی که امکان دارد باید از ولتاژهای بالا و جریان‌های کم استفاده کنیم. این کار اتلاف توان را در خط‌های انتقال کاهش می‌دهد. همچنین با توجه به کاهش جریان می‌توان از سیم‌های نازک‌تری استفاده و در مصرف مواد اوّلیهٔ ساخت سیم صرفه‌جویی کرد.

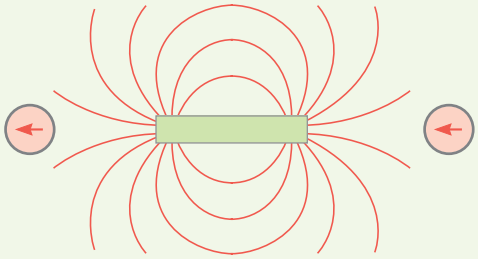
خط‌های انتقال توان الکتریکی به طور معمول از ولتاژهایی در حدود ۴۰۰ kV استفاده می‌کنند (شکل ۳ــ۳۸). از طرف دیگر، ملاحظات ایمنی و الزامات عایق‌بندی در ساخت وسایل خانگی و صنعتی، ولتاژهای به نسبت پایین‌تری را در محل مصرف انرژی ضروری می‌کند. ولتاژ استاندارد برای سیم‌کشی خانگی در ایران و بسیاری از کشورهای دیگر ۲۲۰ V است. تبدیل ولتاژ مورد نیاز با استفاده از مبدل‌ها صورت می‌گیرد.



شکل ۳ــ۳۸ قبل از انتقال توان الکتریکی از نیروگاه‌ها، مبدل‌های افزاینده، ولتاژ را تا حدود ۴۰۰ kV افزایش می‌دهند. در انتهای مسیر، مبدل‌های کاهنده، ولتاژ را کاهش می‌دهند تا توان الکتریکی با امنیت بیشتر به محل مصرف برسد.

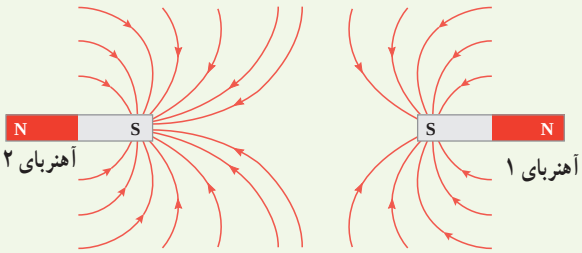
۳ـ۱ و ۳ـ۲ مغناطیس و قطب‌های مغناطیسی و میدان مغناطیسی

۱ با توجه به جهت‌گیری عقربه‌های مغناطیسی در شکل زیر، قطب‌های آهنربای میله‌ای و جهت خط‌های میدان مغناطیسی را تعیین کنید.

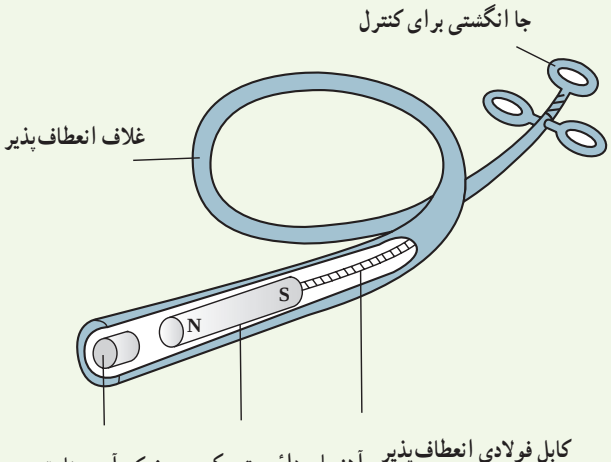


۲ الف) آهنربای میله‌ای با قطب‌های نامشخص در اختیار داریم. دست کم دو روش را برای تعیین قطب‌های این آهنربا بیان کنید.

ب) خط‌های میدان مغناطیسی بین دو آهنربا در شکل زیر نشان داده شده است. اندازهٔ میدان مغناطیسی را در نزدیکی قطب‌های آهنرباها با هم مقایسه کنید.



۳ کودکی یک قطعهٔ کوچک آهنی را بلعیده است. پزشک می‌خواهد آن را با دستگاه شکل زیر بیرون بیاورد.



الف) هنگامی‌که آهنربای دائمی به نوک ثابت آهنی نزدیک می‌شود چه اتفاقی می‌افتد؟

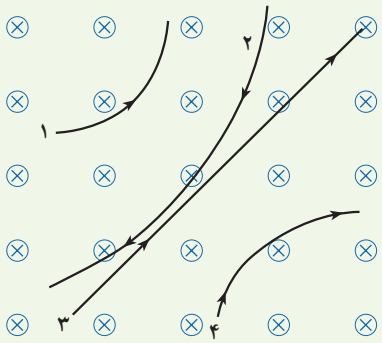
ب) ساختن نوک ثابت آهن چه مزیتی دارد؟

پ) این وسیله را باید به درون گلوی کودک وارد و به سوی فلز بلعیده شده هدایت کرد؛ چرا غلاف باید انعطاف‌پذیر باشد؟

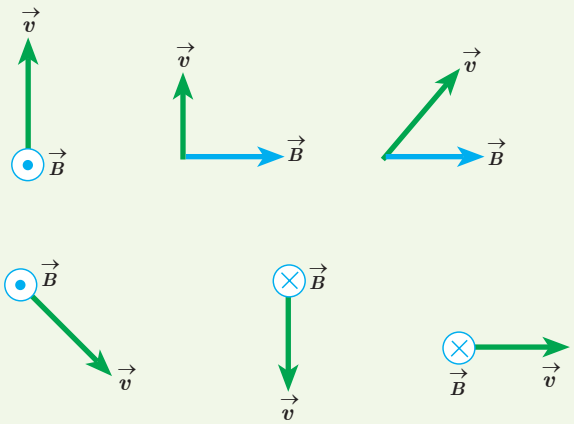
ت) پزشک می‌خواهد یک گیرهٔ آهنی کاغذ و یک واشر آلومینیومی را از گلوی کودک بیرون بیاورد؛ کدام‌یک را می‌توان بیرون آورد؟ چرا؟

۳ـ۳ نیروی مغناطیسی وارد بر ذره باردار متحرک در میدان مغناطیسی

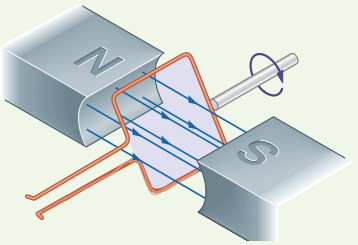
۴ چهار ذرّه هنگام عبور از میدان مغناطیسی درون‌سو مسیرهایی مطابق شکل زیر می‌پیمایند. دربارهٔ نوع بار هر ذره چه می‌توان گفت؟



۵ جهت نیروی مغناطیسی وارد بر بار مثبت را در هریک از حالت‌های نشان داده در شکل زیر تعیین کنید.



۶ حلقهٔ رسانای مستطیل شکلی که حامل جریان I است، مطابق شکل درون میدان مغناطیسی یکنواخت می‌چرخد. جهت جریان را در حلقه تعیین کنید.

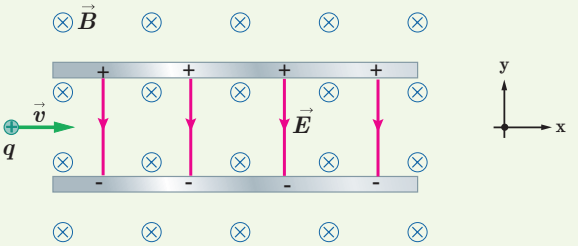


۷ پروتونی با تندی $4/4\times10^{6}\,m/s$ درون میدان مغناطیسی یکنواختی به‌اندازهٔ $18mT$ در حرکت است. جهت حرکت پروتون با جهت $\vec{B}$، زاویهٔ 60° می‌سازد.

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

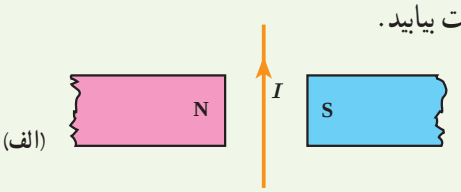
ب) اگر تنها این نیرو بر پروتون وارد شود، شتاب پروتون را حساب کنید. (بار الکتریکی پروتون $1/6\times10^{-19}C$ و جرم آن را $1/7\times10^{-27}kg$ در نظر بگیرید).

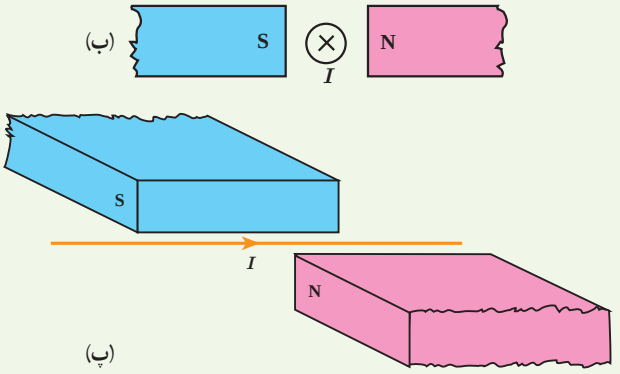
۸ ذرهٔ باردار مثبتی با جرم ناچیز و با سرعت $\vec{v}$ در امتداد محور x وارد فضایی می‌شود که میدان‌های یکنواخت $\vec{E}$ و $\vec{B}$ وجود دارد (شکل زیر). اندازهٔ این میدان‌ها برابر $E=450\,N/C$ و $B=0/18T$ است. تندی ذره چقدر باشد تا در همان امتداد محور x به حرکت خود ادامه دهد؟



۳ـ۴ نیروی مغناطیسی وارد بر سیم حامل جریان

۹ جهت نیروی الکترومغناطیسی وارد بر سیم حامل جریان را در هر یک از شکل‌های الف، ب و پ با استفاده از قاعدهٔ دست راست بیابید.

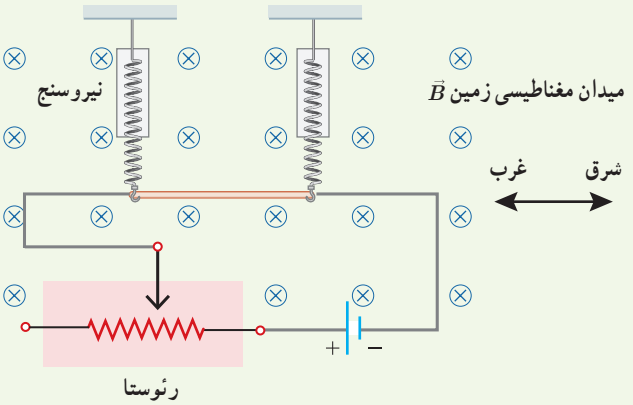




۱۰ یک سیم حامل جریان ۱/۶ آمپر مطابق شکل زیر با دو نیروسنج فنری که به دو انتهای آن بسته شده‌اند، به‌طور افقی و در راستای غرب ــ شرق قرار دارد. میدان مغناطیسی زمین را یکنواخت، به‌طرف شمال و اندازهٔ $0/05mT$ بگیرید.

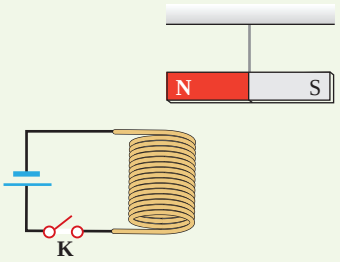
الف) اندازهٔ نیروی مغناطیسی وارد بر هر متر این سیم را پیدا کنید.

ب) اگر بخواهیم نیروسنج‌ها عدد صفر را نشان دهند، چه جریانی و در چه جهتی باید از سیم عبور کند؟ جرم هر متر از طول این سیم ۸ گرم است $(g = 9/8N/kg)$.

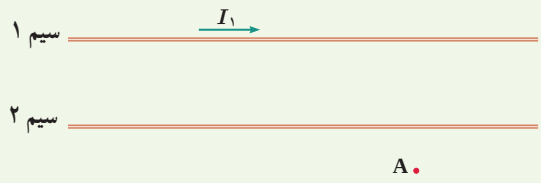


۳ـ۵ میدان مغناطیسی حاصل از جریان الکتریکی

۱۱ یک آهنربای میله‌ای مطابق شکل زیر، بالای سیملوله‌ای آویزان شده است. توضیح دهید با بستن کلید K چه تغییری در وضعیت آهنربا رخ می‌دهد.

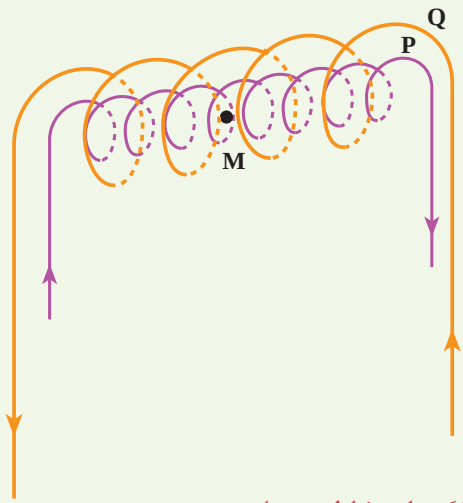


۱۲ شکل زیر، دو سیم موازی و بلند حامل جریان را نشان می‌دهد. اگر میدان مغناطیسی برایند حاصل از این سیم‌ها در نقطهٔ A صفر باشد، جهت جریان آن را در سیم ۲ پیدا کنید.



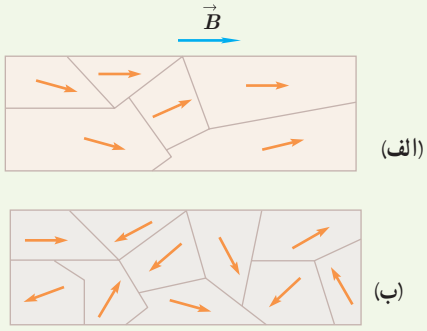
۱۳ سیملوله‌ای شامل ۲۵۰ حلقه است که دور یک لولهٔ پلاستیکی توخالی به طول ۰/۱۴ متر پیچیده شده است. اگر جریان گذرنده از سیملوله ۰/۸A باشد، اندازهٔ میدان مغناطیسی درون سیملوله را حساب کنید.

۱۴ در شکل زیر دو سیملولهٔ P و Q هم محورند و طول برابر دارند. تعداد دور سیملولهٔ P برابر ۲۰۰ و تعداد دور سیملولهٔ Q برابر ۳۰۰ است. اگر جریان ۱A از سیملولهٔ Q عبور کند، از سیملولهٔ P چه جریانی باید عبور کند تا برایند میدان مغناطیسی ناشی از دو سیملوله در نقطهٔ M (روی محور دو سیملوله) صفر شود؟

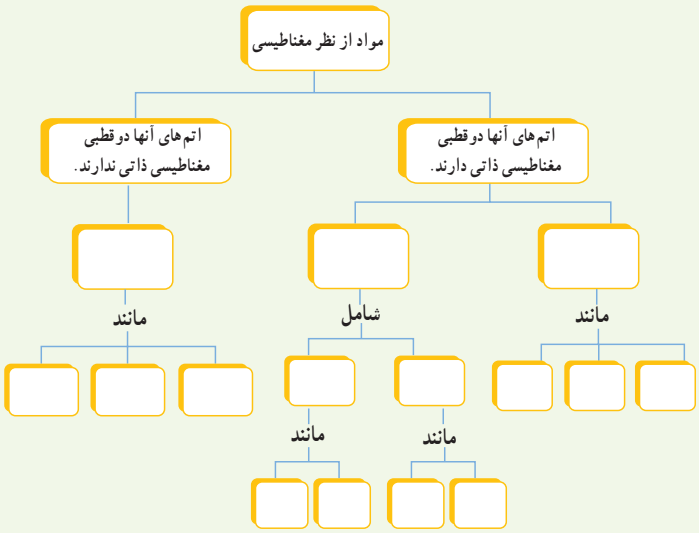


۳ـ۶ ویژگی‌های مغناطیسی مواد

۱۵ شکل الف حوزه‌های مغناطیسی مادهٔ فرومغناطیسی را درون میدان خارجی $\vec{B}$ نشان می‌دهد. شکل ب همان ماده را پس از حذف میدان $\vec{B}$ نشان می‌دهد. نوع مادهٔ فرومغناطیسی را با ذکر دلیل تعیین کنید.

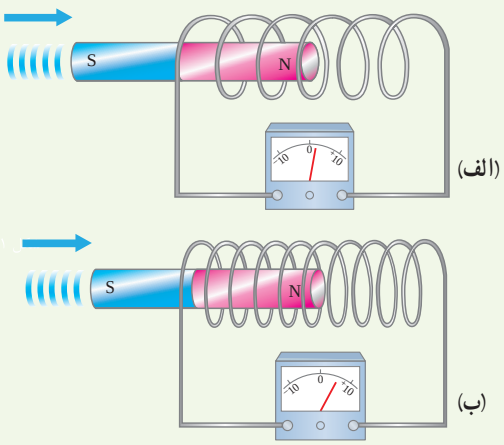


۱۶ با توجه به آنچه در بخش ویژگی‌های مغناطیسی مواد دیدید، نقشه مفهومی زیر را کامل کنید.

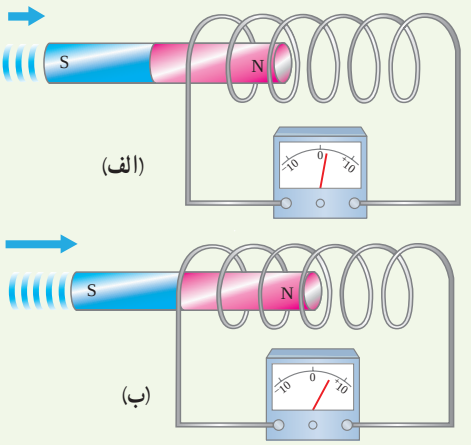


۳ـ۸ قانون القای الکترومغناطیسی فاراده

۱۷ دو سیملوله با حلقه‌های با مساحت یکسان ولی با تعداد دور متفاوت را مطابق شکل‌های زیر به ولت‌سنج حساسی وصل کرده‌ایم. دریافت خود را از این شکل‌ها بنویسید. (آهنرباها مشابه‌اند و با تندی یکسانی به‌طرف سیملوله‌ها حرکت می‌کنند.)



۱۸ دو سیملولهٔ مشابه را مطابق شکل‌های زیر به ولت‌سنج حساسی وصل کرده‌ایم. دریافت خود را از شکل‌های زیر بنویسید. (آهنرباها مشابه‌اند ولی با تندی متفاوتی به‌طرف سیملوله حرکت می‌کنند.)

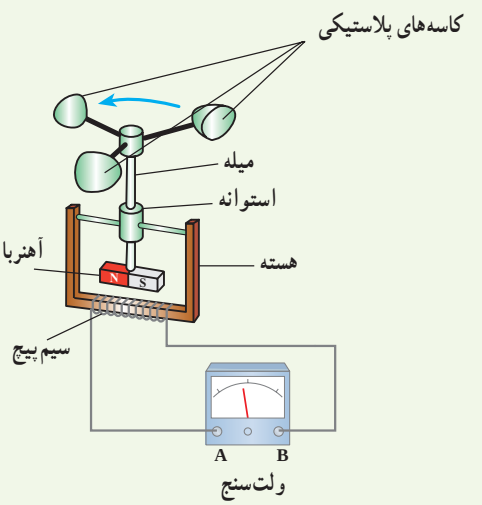


۱۹ شکل زیر ساختمان یک بادسنج را نشان می‌دهد. اگر این بادسنج را روی بام خانه نصب کنیم، به هنگام وزیدن باد میلهٔ آن می‌چرخد و ولت‌سنج عددی را نشان می‌دهد.

الف) چرا چرخش میله سبب انحراف عقربهٔ ولت‌سنج می‌شود؟

ب) آیا با افزایش تندی باد، عددی که ولت‌سنج نشان می‌دهد تغییر می‌کند؟ چرا؟

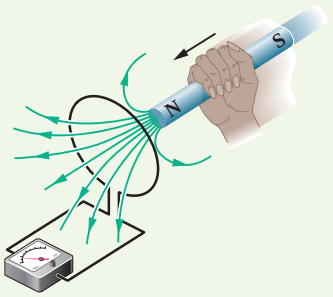
پ) برای بهبود و افزایش دقت کار دستگاه دو پیشنهاد ارائه دهید.



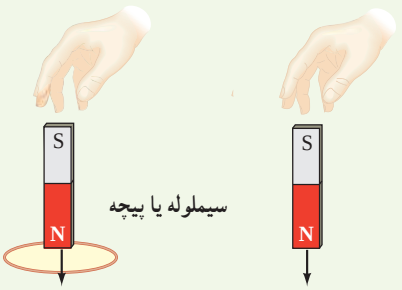
۲۰ سطح حلقه‌های پیچه‌ای که دارای ۱۰۰۰ حلقه است، عمود بر میدان مغناطیسی یکنواختی که اندازهٔ آن ۰/۰۴۰T و جهت آن از راست به چپ است، قرار دارد. میدان مغناطیسی در مدت ۰/۰۱۰s تغییر می‌کند و به ۰/۰۴۰T در خلاف جهت اولیه می‌رسد. اگر سطح هر حلقهٔ پیچه ۵۰cm² باشد، اندازهٔ نیروی محرکهٔ القایی متوسط در پیچه را حساب کنید.

۳ـ۹ قانون لنز

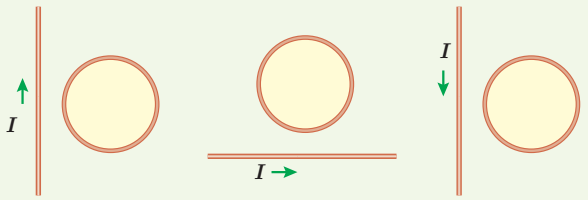
۲۱ قطب N یک آهنربا را مطابق شکل زیر به یک حلقهٔ رسانا نزدیک می‌کنیم. جهت جریان القایی را در حلقه مشخص کنید.



۲۲ دو آهنربای میله‌ای مشابه را مطابق شکل، به‌طور قائم از ارتفاع معینی نزدیک سطح زمین رها می‌کنیم به‌طوری‌که یکی از آنها از حلقهٔ رسانایی عبور می‌کند. اگر سطح زمین در محل برخورد آهنرباها نرم باشد، مقدار فرورفتگی آهنرباها را در زمین با یکدیگر مقایسه کنید. (تأثیر میدان مغناطیسی زمین روی آهنرباها را نادیده بگیرید.)

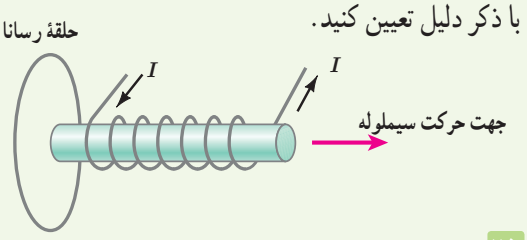


۲۳ جهت جریان القایی را در هریک از حلقه‌های رسانای نشان داده شده در شکل‌های زیر تعیین کنید.

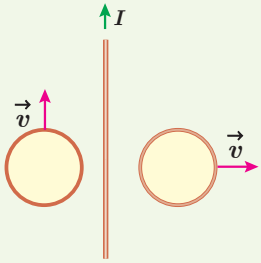


الف) I در حال افزایش ب) I در حال کاهش پ) I ثابت

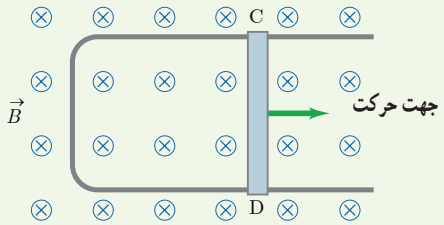
۲۴ شکل زیر سیملولهٔ حامل جریانی را نشان می‌دهد که در حال دور شدن از یک حلقهٔ رساناست. جهت جریان القایی را در حلقه با ذکر دلیل تعیین کنید.



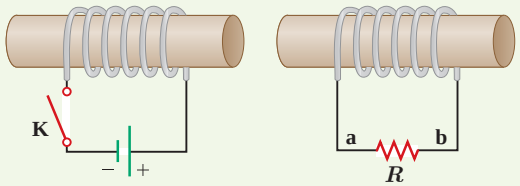
۲۵ دو حلقهٔ رسانا در نزدیکی یک سیم دراز حامل جریان ثابت I قرار دارند؛ این دو حلقه با تندی یکسان، ولی در جهت‌های متفاوت مطابق شکل روبه‌رو حرکت می‌کنند. جهت جریان القایی را در هر حلقه با ذکر دلیل تعیین کنید.



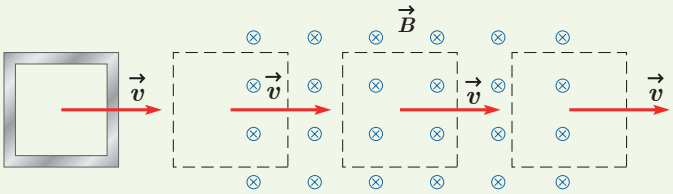
۲۶ شکل زیر رسانای U شکلی را درون میدان مغناطیسی یکنواخت $\vec{B}$ که عمود بر صفحهٔ شکل و رو به داخل صفحه است نشان می‌دهد. وقتی میلهٔ فلزی CD به طرف راست حرکت کند، جهت جریان القایی در مدار در چه جهتی است؟



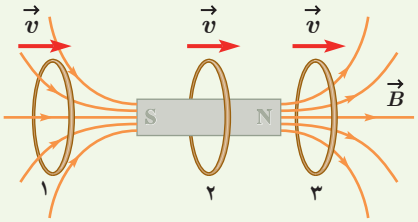
۲۷ در مدار نشان داده شده در شکل زیر، جهت جریان القایی را در مقاومت R در هریک از دو حالت زیر با ذکر دلیل پیدا کنید :
الف) در لحظهٔ بستن کلید K، ب) در لحظهٔ باز کردن کلید K.



۲۸ حلقهٔ رسانای مربعی شکل، به طول ضلع ۱۰cm وارد میدان مغناطیسی درون‌سویی به اندازهٔ ۲۰mT و سپس از آن خارج می‌شود.
الف) در کدام مرحله شار عبوری از حلقه بیشینه است؟ مقدار شار گذرنده از حلقه در این حالت چقدر است؟
ب) در کدام وضعیت(ها) شار گذرنده از حلقه تغییر می‌کند؟ جهت جریان القایی را در حلقه تعیین کنید.

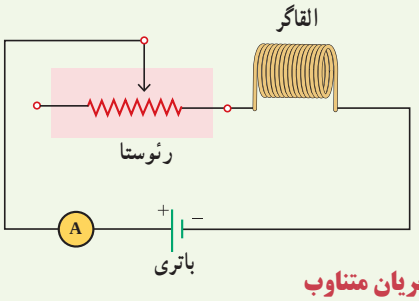


۲۹ حلقهٔ رسانایی به‌طرف یک آهنربای میله‌ای حرکت می‌کند. شکل زیر، حلقه را در سه وضعیت نسبت به آهنربا نشان می‌دهد. جهت جریان القایی را در حلقه برای هر وضعیت به‌طور جداگانه تعیین کنید.



۳ــ۱۰ القاگرها

۳۰ شکل زیر مداری را نشان می‌دهد؛ شامل یک القاگر (سیملوله)، باتری، رئوستا و آمپرسنج که به‌طور متوالی به یکدیگر بسته شده‌اند. اگر بخواهیم بدون تغییر ولتاژ باتری، انرژی ذخیره شده در القاگر را زیاد کنیم چه راهی پیشنهاد می‌کنید؟



۳ــ۱۱ جریان متناوب

۳۱ جریان متناوبی که بیشینهٔ آن ۲/۰A و دورهٔ آن ۰/۰۲۰s است، از یک رسانای ۵ اهمی می‌گذرد.
الف) اولین لحظه‌ای که در آن جریان بیشینه است چه لحظه‌ای است؟ در این لحظه نیروی محرکهٔ القایی چقدر است؟
ب) در لحظهٔ $t = \frac{۱}{۴۰۰}$s ، جریان چقدر است؟