

فعالیت ۹



از گروه‌ها می‌خواهیم با وسایلی که دارند (سیم مفتول که به شکل N حلقه‌ای مسطح درآمده است و آهنربای میله‌ای) هر یک از پیشنهاد‌های ارائه شده در فعالیت ۶ را به شکل عملی نشان دهند.



شکل (۱۵)

تا به حال آن‌چه انجام دادیم و بحث کردیم در مورد روش‌های ایجاد جریان القایی بود. از دانش‌آموزان می‌پرسیم که عوامل مؤثر بر بزرگی جریان القایی کدامند؟ و یا عوامل مؤثر بر جهت جریان القایی کدامند؟

توجه: برای دانش‌آموزان متذکر می‌شویم که همواره برای برقراری جریان در دو سر مدار نیروی محرکه لازم است. پس اگر در مدار جریان القایی برقرار می‌شود. می‌توان گفت در دو سر آن مدار نیروی محرکه‌ای القا شده است.

آزمایش ۱۰

هدف: بررسی عوامل مؤثر بر بزرگی نیروی محرکه‌ی القایی و وسایل مورد نیاز: آهنرباهای میله‌ای قوی و ضعیف، دو سیم‌لوله با تعداد دورهای متفاوت، گالوانومتر، سیم‌های رابط.

۱- ابتدا از دانش‌آموزان می‌خواهیم پس از مشورت با گروه خود، عوامل مؤثر بر جریان القایی (و یا نیروی محرکه‌ی القایی) را حدس بزنند.

۲- اگر در گروهی دانش‌آموزان نتوانستند این عوامل را شناسایی کنند به آن‌ها راهنمایی می‌کنیم که می‌توانند آهنربا را یک‌بار آهسته و بار دیگر سریع به سیم‌لوله نزدیک کنند و بیشینه‌ی جریان عبوری را اندازه بگیرند.

۳- یک بار آهنربای ضعیف و بار دیگر آهنربای قوی‌تر را به یکی از سیم‌لوله‌های متصل به گالوانومتر نزدیک کنید و بیشینه‌ی جریان عبوری را اندازه بگیرید. (باید در این آزمایش سرعت حرکت آهنرباها نسبت به هم یکسان باشد)

۴- آهنربای قوی‌تر را بردارید و یک بار آن را به سیم‌لوله‌ی دیگر همان آهنربا با سیم‌لوله‌ی با تعداد دور بیشتر نزدیک کنید و هر بار بیشینه‌ی جریان عبوری از مدار را اندازه بگیرید.



شکل (۱۴)

در قسمت ۲ از آزمایش ۱۰ دانش‌آموزان متوجه نقش سرعت تغییرات شار و به عبارتی متوجه نقش زمان انجام تغییرات می‌شوند.

گالوانومتر توجه کنید.
۲- آزمایش را برای قطب دیگر آهنربا تکرار کنید و نتایج را بنویسید.

آزمایش

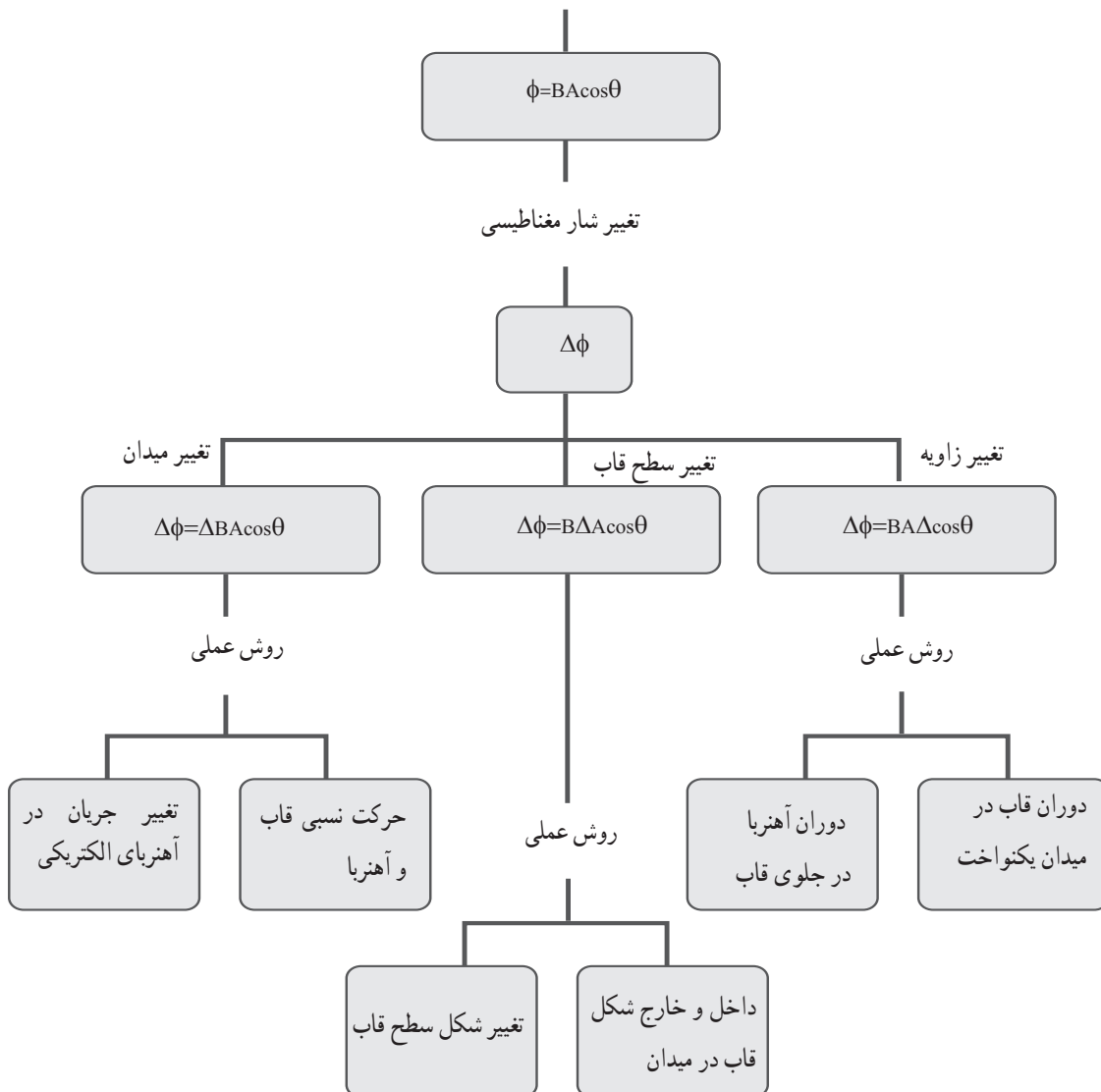
هدف: بررسی عوامل مؤثر بر جهت جریان القایی و وسایل مورد نیاز: آهنربا، سیم‌لوله، سیم‌های رابط و گالوانومتر.
۱- یکی از قطب‌های آهنربا را به سیم‌لوله‌ی متصل به گالوانومتر نزدیک و سپس دور کنید و به جهت انحراف عقربه‌ی

نتیجه: نوع قطب آهنربا و سوی حرکت آن نسبت به سیم‌لوله بر جهت جریان القایی تأثیر دارد.

با این آزمایش‌ها دانش‌آموزان برای بیان قانون‌های الکترومغناطیسی فارادی و لنزآماده شده‌اند.

به کمک نقشه‌ی مفهومی زیر می‌توان مطالب و نتایج آزمایش‌ها را جمع‌بندی کرد:

رابطه‌ی ریاضی شار مغناطیسی



از این نقشه‌ی مفهومی می‌توان انواع پرسش یا فعالیت را طرح کنیم.

دانستنی



آشکار سازهای فلز، در ورودی فرودگاه یا ساختمان‌های دولتی در این دانستنی؛ طرز کار دستگاه آشکارساز فلز و چگونگی استفاده از میدان‌های مغناطیسی در آن شرح داده می‌شود.

دانستنی



نمایشگر SIDS

در این دانستنی؛ در مورد نوعی نمایشگر توضیح داده می‌شود که برای اطمینان از نفس کشیدن کودکان بیمار به کار می‌رود. این نمایشگر به دو پیچه وصل می‌شود که روی دو نقطه از سینه‌ی کودک قرار می‌گیرد و تغییرات جریان القایی در پیچه‌ی گیرنده به دلیل حرکت سینه در اثر تنفس را نشان می‌دهد.

۳-۵ - قانون القای الکترومغناطیسی فارادی

هدف :

- قانونم‌کردن رابطه‌ی بین تغییرات شارمغناطیسی و نیروی محرکه‌ی القایی.
 - شناسایی قانون القای الکترومغناطیسی فارادی در وسایلی که کاربرد روزمره دارند و معرفی مصداق‌های آن.
- ایجاد انگیزه : امروزه به موازات استفاده از گیتارهای آکوستیکی از گیتارهای الکتریکی استفاده می‌شود. تفاوت این دو گیتار در چیست؟

دانستنی



گیتار الکتریکی

در این دانستنی؛ با ساختمان گیتار الکتریکی و کاربرد قانون القای الکترومغناطیسی فارادی در آن آشنا می‌شویم.

ب) در مدار بسته به تغییر شار مغناطیسی در واحد زمان بستگی دارد.

پ) تغییر شار مغناطیسی در واحد زمان همان است.

پاسخ: الف) تغییر شار مغناطیسی

ب) اندازه‌ی جریان القایی و نیروی محرکه القایی

پ) آهنگ تغییر شار مغناطیسی

راهنمای تدریس: تدریس این بخش را با یادآوری مفاهیم آموخته شده در بخش قبل شروع می‌کنیم.

یادآوری: واژه‌های داده شده را در جای خالی پر کنید. بزرگی جریان القایی و نیروی محرکه القایی – آهنگ تغییر شار مغناطیسی – تغییر شار مغناطیسی.

الف) باعث ایجاد جریان الکتریکی القایی در مدار بسته می‌شود.

پرسش: آهنگ تغییر شار مغناطیسی را به صورت ریاضی بیان کنید.

پاسخ: $\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$

– اگر نیروی محرکه‌ی القایی را با ε نشان دهیم رابطه‌ی بین ε و $\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$ را بنویسید.

پاسخ: $\varepsilon = -\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$ وجود علامت منفی در فرمول قانون فارادی را بیان کرده و توضیح آن را به بعد موکول

می‌کنیم. تاریخچه‌ی زندگی مایکل فارادی

شار مغناطیسی که از یک مدار می‌گذرد ثابت بماند هر چه قدر هم که بزرگ باشد در مدار نیروی محرکه‌ی القایی تولید نمی‌شود.

اشتباه‌های رایج: تولید نیروی محرکه‌ی القایی به آهنگ تغییر شار مغناطیسی بستگی دارد نه به اندازه‌ی شار مغناطیسی، اگر

دانستنی



تاریخچه‌ی زندگی مایکل فارادی

در این دانستنی؛ با زندگی و فعالیت‌های علمی فارادی آشنا می‌شویم.

فعالیت ۱۰



از گروهی از دانش‌آموزان می‌خواهیم که در مورد زندگی مایکل فارادی و کارهای علمی‌اش تحقیق کرده و به کلاس گزارش دهند.

آزمایش

مثال ۲-۵: در گروه‌های دانش‌آموزان با رعایت

مرحله‌های زیر توصیه به حل می‌کنیم.

بررسی پاسخ: هدف از این مثال تولید نیروی محرکه‌ی القایی با استفاده از آهنگ تغییر شار مغناطیسی در یک پیچه است. توجه دانش‌آموزان را به موارد زیر جلب می‌کنیم: شار اولیه - شار نهایی - تغییر شار - بازه‌ی زمانی - بدون تغییر شار مغناطیسی - سطح مقطع - دوره‌های پیچه

هدف: مشاهده تأثیر تعداد دوره‌های سیم‌پیچ در مقدار

جریان الکتریکی القایی در یک مدار بسته

وسایل مورد نیاز: گالوانومتر - سیمی به طول ۴ متر -

سیمی به طول ۸ متر - آهن‌ربای میله‌ای



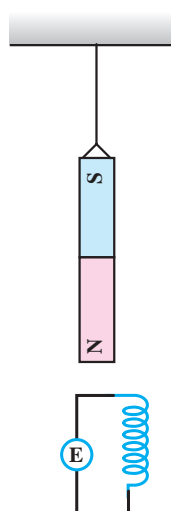
شکل (۱۶)

از سیم ۴ متری سیم‌لوله‌ای به قطر ۴ تا ۶ سانتی‌متر

می‌سازیم و دو سر آن را به گالوانومتر وصل می‌کنیم. با حرکت دادن آهن‌ربا به طرف سیم‌لوله مقدار جریان بیشینه را یادداشت می‌کنیم. سپس از سیم ۸ متری سیم‌لوله‌ای با تعداد دوره‌های دو برابر می‌سازیم و آزمایش را تکرار می‌کنیم، و مقدار جریان بیشینه را یادداشت می‌کنیم.

توجه: جهت حرکت آهن‌ربا و سرعت

آن در دو حالت تقریباً یکی باشد. برای این کار می‌توانیم آهن‌ربا را از مکانی آویزان و به طور قائم به سوی سیم‌لوله رها کنیم.



شکل (۱۷)

نیروی محرکه‌ی القایی است که در بخش بعد در مورد آن بیش‌تر سخن می‌گوییم. نیروی محرکه‌ی القایی در پیچه: هر پیچه را می‌توان به صورت چند حلقه سیم که به‌طور متوالی به هم بسته شده‌اند، در نظر گرفت. تغییر شار مغناطیسی در هر حلقه‌ی پیچه نیروی محرکه‌ی القا می‌کند. نیروی محرکه‌ی القایی کل، برابر مجموع نیروی محرکه‌ی القا شده در حلقه‌هاست. به بیان دیگر، نیروی محرکه‌ی القایی در هر پیچه با تعداد دوره‌های پیچه (N) نیز نسبت مستقیم دارد؛ یعنی:

$$\mathcal{E} = N \frac{d\Phi}{dt} \quad (3-5)$$

اگر شار مغناطیسی که از پیچه‌ای با N حلقه می‌گذرد در بازه‌ی زمانی Δt به اندازه‌ی Φ تغییر کرده باشد، آهنگ متوسط تغییر شار مغناطیسی در بازه‌ی زمانی Δt برابر $\frac{\Phi}{\Delta t}$ خواهد بود. نیروی محرکه‌ی القایی متوسط (که با \mathcal{E} نمایش داده می‌شود) ایجاد شده در این پیچه از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$\bar{\mathcal{E}} = N \frac{\Phi}{\Delta t} \quad (4-5)$$

مثال ۲-۵
پیچه‌ای شامل ۲۰۰ دور سیم با مساحت سطح مقطع ۲ سانتی‌متر مربع مطابق شکل ۲-۵ در میدان مغناطیسی یکنواختی قرار گرفته است؛ به گونه‌ای که خط‌های میدان بر سطح آن عمود است. بزرگی میدان مغناطیسی در بازه‌ی زمانی ۳/۲ میلی‌ثانیه و بدون تغییر جهت از ۱/۸۲ به ۲/۲۲۲ $\times 10^{-4}$ می‌رسد. اندازه‌ی نیروی محرکه‌ی القایی متوسط چقدر است؟



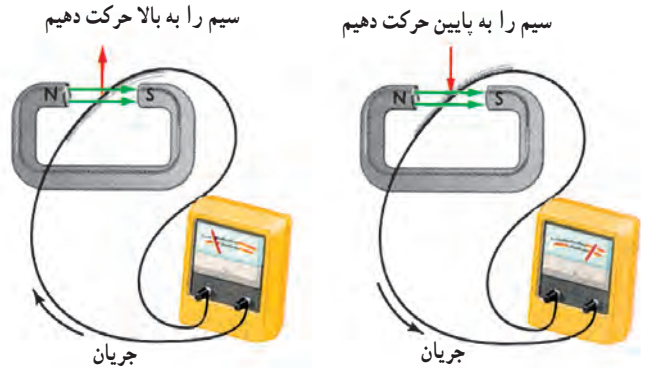
شکل ۲-۵

حل: ابتدا شاری را که در دو حالت اولیه و نهایی از پیچه می‌گذرد، محاسبه می‌کنیم.

$$\Phi_1 = B_1 A \cos\theta = (1/82 \times 10^{-4}) \times 2 \times 10^{-2} \times \cos 0^\circ = 3/6 \times 10^{-6} \text{ Wb}$$

$$\Phi_2 = B_2 A \cos\theta = (2/222 \times 10^{-4}) \times 2 \times 10^{-2} \times \cos 0^\circ = 4/4 \times 10^{-6} \text{ Wb}$$

توجه: برای برقراری جریان الکتریکی القایی در یک مدار وجود سیمولوله ضرورتی ندارد مثلاً در مداری مطابق شکل های (۱۸) نیز می توانیم جریان الکتریکی تولید کنیم. البته به شرط این که سیم راست را در میدان مغناطیسی به حرکت درآوریم. این مدار نیز یک حلقه محسوب می شود. اما استفاده از سیمولوله مشاهده ی پدیده را راحت می کند.



شکل (۱۸)

فعالیت:

– تعمیم مفهوم تولید جریان الکتریکی القایی به سیم راست

در یک مدار.

مداری (مطابق شکل ۱۸) ببندید (سیم راستی به طول ۱ تا ۲ متر) و با حرکت سیم راست در میدان مغناطیسی: الف) به بالا، ب) به پایین و پ) بی حرکت جهت جریان الکتریکی (القایی) را مشخص کنید.

۱- به نظر شما چه عاملی سبب تولید جریان الکتریکی (القایی) در این مدار می شود؟

۲- با استفاده از کدام قاعده از فصل قبل می توان جهت جریان الکتریکی القایی در این مدار را تعیین کرد؟

الف) اگر سیم راست در میدان مغناطیسی را عمود بر صفحه ی کاغذ در نظر بگیریم جهت جریان الکتریکی القایی درون سواست.

ب) برون سو.

پ) جریان الکتریکی القایی صفر است و جریانی نداریم.

۱- سیم راست تعداد زیادی الکترون آزاد دارد. همان طور که در بخش (۴-۴) دیدیم، هرگاه ذره ی بارداری در یک میدان مغناطیسی (غیر هم راستا) حرکت کند بر آن نیروی مغناطیسی وارد

تغییر شار مغناطیسی که از سطح بیچه می گذرد، برابر است با:

$$\Delta \Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = 4/4 \times 10^{-2} - 3/5 \times 10^{-2} = -1/8 \times 10^{-2} \text{ Wb}$$

این تغییر شار در بازه ی زمانی $3/2 \times 10^{-2}$ ثانیه روی داده است؛ بنابراین، آهنگ متوسط تغییر شار برابر است با:

$$\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = \frac{-1/8 \times 10^{-2}}{3/2 \times 10^{-2}} = -2/5 \times 10^{-2} \frac{\text{Wb}}{\text{s}}$$

در نتیجه بزرگی نیروی محرکه ی القایی متوسط برابر است با:

$$|\mathcal{E}| = N \left| \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right| = 20 \times 2/5 \times 10^{-2} = 0/8 \text{ V}$$

مثال ۳-۵

قاب مستطیلی شکلی که از سیم بدون روکش ساخته شده است مطابق شکل ۸-۵ در میدان مغناطیسی یکنواخت و ثابت با بزرگی $1/8 \text{ T}$ قرار گرفته است. سطح حلقه بر میدان مغناطیسی عمود است. اگر ضلع $1 = 20 \text{ cm}$ با سرعت $v = 20/8 \text{ cm/s}$ در جهتی که در شکل نشان داده شده است حرکت کند بزرگی نیروی محرکه ی القایی را محاسبه کنید.

شکل ۸-۵

حل: بنابر قانون فارادی، نیروی محرکه ی القایی برابر است با $\mathcal{E} = \frac{d\Phi}{dt}$ که

می شود که باعث انحراف آن از مسیر حرکتش می شود. پس با حرکت دادن سیم راست در میدان مغناطیسی بر الکترون های آزاد آن نیرویی وارد می شود که آنها را در امتداد سیم راست حرکت می دهد و جریان الکتریکی در آن القا می کند. بارهای مثبت به علت مقید بودن حرکت نمی کنند و تنها الکترون ها در امتداد سیم حرکت می کنند. (به بخش ۴-۴ مراجعه کنید)

توجه: وجود جریان الکتریکی القایی در یک مدار، دلیل وجود منبع انرژی الکتریکی (مثل یک باتری) در مدار است تا دامه ی جریان الکتریکی در آن را تضمین کند. همان طور که می دانیم اختلاف پتانسیل (یا ولتاژ) در دو سر باتری «EMF» (Electromotive force) یا «نیروی محرکه ی الکتریکی» نامیده می شود. به طور مشابه «نیروی محرکه ی القایی» نیز عامل به وجود آورنده ی جریان الکتریکی القایی در مدار و یکای آن «ولت» است.

قبل از معلوم شدن منشأ الکتریسیته این اصطلاح، متداول بود و هنوز نیز از آن استفاده می شود.

پرسش : عاملی که جریان الکتریکی القایی (در آزمایش فارادی) تولید می‌کند چیست؟
 پاسخ : وقتی سیمی را در میدان مغناطیسی حرکت می‌دهید در واقع نیرویی بر بارهای آن وارد می‌کنید و آن‌ها را در جهت نیرو به حرکت در می‌آورید.
 بر روی بارها کار انجام می‌شود و انرژی پتانسیل الکتریکی در بارها ذخیره می‌شود، الکترون‌های آزاد با به حرکت درآمدن در یک مسیر بسته و تولید جریان الکتریکی این انرژی را تخلیه می‌کنند.

پرسش : اگر در یک میدان مغناطیسی سیم راستی را بدون این که به دو سر یک گالوانومتر ببندیم حرکت دهیم آیا جریان الکتریکی القایی داریم؟
 پاسخ : طبق دانستنی فوق نیروی محرکه القایی در آن ایجاد می‌شود ولی شرط وجود جریان الکتریکی بسته بودن مسیر است.

دانستنی



بیان تاریخی آزمایش فارادی

در این دانستنی؛ آزمایش مایکل فارادی در مورد قانون القای الکترومغناطیسی با استفاده از یادداشت‌های او بیان می‌شود.

فعالیت ۱۱



شکل مثال (۵-۳) را روی تخته سیاه می‌کشیم و مراحل زیر را طی می‌کنیم :

الف) در این مسئله نیروی محرکه القایی در اثر تغییر چه کمیتی تولید شد؟ (B یا A یا θ)

ب) فرمول تغییر شار مغناطیسی ($\Delta\phi$) را با توجه به تغییر مساحت قاب (ΔA) و ثابت بودن کمیت‌های میدان مغناطیسی و راستای میدان مغناطیسی قرار گرفتن قاب بنویسید.

پ) رابطه‌ی مساحت قاب را بر حسب x و l بنویسید و رابطه‌ی تغییر مساحت قاب را با توجه به تغییر طول (Δx) بنویسید.

ت) با توجه به ثابت بودن حرکت قاب (با سرعت ثابت V)، رابطه‌ی تغییر طول قاب با سرعت و زمان را به دست آورید.

ث) نتیجه‌ی (ت) را در (پ) و (پ) را در (ب) و در نهایت در فرمول قانون فارادی قرار دهید و نیروی محرکه

القایی حاصل را بر حسب B ، V ، ℓ دست آورید.

ج) جهت جریان الکتریکی القایی را در قاب با استفاده از فعالیت قبل تعیین کنید.

پاسخ: ج)

جریان الکتریکی در سیم به سوی بالا و در مدار پاد ساعتگرد است. (از قاعده‌ی دست راست در فعالیت قبل

استفاده می‌کنیم)

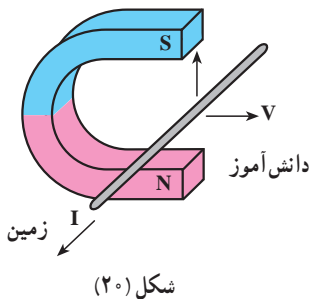
برای ایجاد مهارت حل مسئله از دانش آموزان می‌خواهیم در کلاس درس و همراه با گروه خود مثال‌های زیر را حل و بحث کنند.

مثال ۱: سیم راستی به طول ۲۵ متر از هواپیمایی که با سرعت 125 m/s در حال پرواز است آویزان است. سیم در راستایی عمود بر راستای میدان مغناطیسی زمین حرکت می‌کند ($B = 5 \times 10^{-5} \text{ T}$) نیروی محرکه القایی در دو سر سیم را حساب کنید.

پاسخ: 0.16 V ولت.

مثال ۲: یک آهنربای نعلی شکل به گونه‌ای آویخته شده است، که خط‌های میدان مغناطیسی بین دو قطب آن عمود بر سطح زمین هستند. اگر دانش‌آموزی سیم راستی را با حرکت میان قطب‌های آن به سوی خود بکشد، جریان الکتریکی القایی از سمت راست به چپ اوست. قطب N آهنربا کجاست؟ (بالا یا پایین)

پاسخ: با استفاده از قاعده‌ی دست راست قطب شمال، پایین قرار دارد.

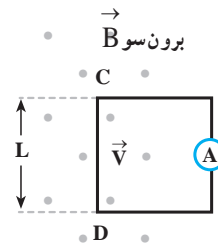


مثال ۳: با استفاده از فرمول $\varepsilon = BLV$ بگویید. چرا یکای نیروی محرکه القایی ولت است؟

مثال: سیمی به طول 20 m با سرعت ثابت 7 m/s به طور عمود بر یک میدان مغناطیسی با مقدار $8 \times 10^{-2} \text{ T}$ (برونسو) حرکت می‌کند.

a) نیروی محرکه القایی متوسط ایجاد شده در دو سر آن چقدر است؟

b) اگر مقاومت سیم 5Ω اهم و مقاومت سایر قسمت‌ها صفر باشد مقدار جریان الکتریکی القایی و جهت آن در سیم را تعیین کنید.



شکل (۱۹)

پاسخ:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{\varepsilon}{R} = 0.22 \text{ آمپر}$$

$$\varepsilon = B l v = 0.11 \text{ ولت}$$

از C به D (و یا در قاب پاد ساعتگرد) است. علت جهت را از جهت جریان الکتریکی مربوط به قاعده‌ی دست راست بیان می‌کنیم.

چهار انگشت دست راست در سوی \vec{v}

کف دست راست در سوی \vec{B}

شست جهت نیروی وارد بر بارهای الکتریکی در سیم را

معین می‌کند.

پاسخ:

$$\text{ولت } V = \frac{j}{C} = \frac{Nm}{C} = \frac{N}{\frac{C}{S} \times m} \times m \times \frac{m}{S} = \frac{N}{S} \times m \times \frac{m}{S}$$

از دانش آموزان می خواهیم تا تمرین (۲-۵) را به صورت گروهی حل کنند.

پس از حل، در مورد عامل اصلی تولید نیروی محرکه القایی در این مسئله سؤال می کنیم تا دانش آموزان به غیر از عدد گذاری و حل عددی به مفهوم واقعی تمرین نیز دقت کنند.

حل: در این مسئله عامل به وجود آمده نیروی محرکه القایی تغییر بردار میدان مغناطیسی است این تغییر هم شامل مقدار و هم شامل جهت بردار شده است.

$$\varepsilon = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{\Delta BA}{\Delta t} = -\frac{(-0/12 - 0/28)\pi \times (0/1)^2}{0/5}$$

$$\text{ولت} = \frac{0/4}{0/5} \pi \times 0/01 = 0/8 \times 10^{-2} \pi = 25/12 \times 10^{-2}$$

در آن $\Phi = AB \cos\theta$ ، شار مغناطیسی که از حلقه می گذرد، برابر است با:

در این مسئله، B بزرگی میدان مغناطیسی ثابت است، همچنین θ زاویه ی میدان مغناطیسی با تیم خط عمود بر حلقه ثابت و برابر صفر است و $\cos\theta = 1$ و تنها مساحت حلقه با زمان تغییر می کند. مساحت حلقه در هر لحظه برابر است با:

$$A = |x|v$$

در نتیجه آهنگ تغییر مساحت با زمان از رابطه ی زیر محاسبه می شود.

$$\frac{dA}{dt} = \frac{d(|x|v)}{dt} = v$$

در نتیجه داریم:

$$|\varepsilon| = \left| \frac{d\Phi}{dt} \right| = \frac{d}{dt}(AB) = B \frac{dA}{dt}$$

$$|\varepsilon| = 1vB = 1 \times 2 \times 10^{-2} \times 0/18$$


$$= 4/72v = 72 = mv$$

تمرین ۳-۵

میدان مغناطیسی عمود بر یک قاب دایره ای شکل به قطر ۲ سانتی متر با زمان تغییر می کند و در مدت ۵/۰ از ۲۸+ تسلا به ۱۲- تسلا می رسد (تغییر علامت نشان می دهد که جهت میدان نیز وارون شده است). نیروی محرکه ی القایی متوسط در حلقه را حساب کنید.

مثال ۴-۵

نمودار تغییرات شار مغناطیسی که از یک حلقه می گذرد برحسب زمان در منحنی شکل ۵-۴ داده شده است. نمودار تغییرات نیروی محرکه ی القا شده در حلقه را برحسب زمان رسم کنید.



شکل ۵-۴

پرسش: در رابطه ی $\varepsilon = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ (حالتی که $N=1$ است) خط واصل دو نقطه از منحنی در نمودار شار مغناطیسی- زمان، چه کمیتی را مشخص می کند؟

پاسخ: با توجه به معادله ی خط $\Delta y = a\Delta x$ در نمودار $y-x$ و تعریف شیب به صورت $a = \frac{\Delta y}{\Delta x}$ ، در نمودار شار مغناطیسی- زمان $-\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ ، منفی شیب خط واصل در منحنی، نیروی محرکه ی القایی است.

(پ) محاسبه ی نیروی محرکه ی القایی در هر بازه با استفاده از فرمول قانون القای فارادی

(ت) مربوط ساختن علامت نیروی محرکه ی القایی در هر بازه به شیب نمودار $\Phi(t)$

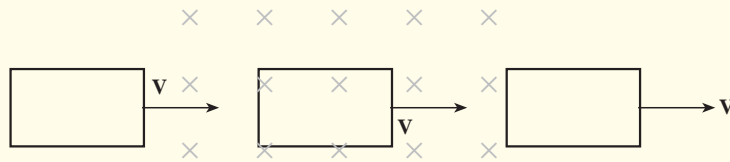
تعمیم مثال (۴-۵): برای بررسی می توانیم قبل از شروع به حل، از دانش آموزان مطالب زیر را بخواهیم:

الف) تعیین بازه های زمانی و مقدار شار مغناطیسی اولیه و نهایی در هر بازه

ب) تغییرات شار مغناطیسی در هر بازه و تعیین علامت آن.

پرسش : چگونه می‌توانیم به طور عملی آزمایشی را ترتیب دهیم که نمودار $\varphi(t)$ آن مربوط به مثال (۴-۵) باشد؟

پاسخ : یکی از پاسخ‌های مورد نظر، حرکت یک قاب رسانا با سرعت ثابت به سوی میدان مغناطیسی یکنواخت عمود بر آن است که : مدت زمان لازم برای ورود به فضای میدان مغناطیسی 1° (s) و مدت زمان لازم برای طی مسیر



شکل (۲۱)

در فضای میدان مغناطیسی 2° (s) و مدت زمان لازم برای خروج از فضای میدان مغناطیسی 1° (s) می‌باشد.
 - در ادامه از دانش‌آموزان می‌خواهیم که نمودار $\varepsilon(t)$ را دقیقاً در زیر نمودار $\varphi(t)$ با همان بازه‌های زمانی داده شده منتقل کرده و رسم کنند.

۴-۵- محاسبه‌ی جریان القایی

هدف :

- آشنایی با محاسبه‌ی جریان الکتریکی القایی با استفاده

از قانون القای فارادی

- آشنایی با قانون لنز و کاربرد آن در تعیین جهت جریان

القایی در حلقه

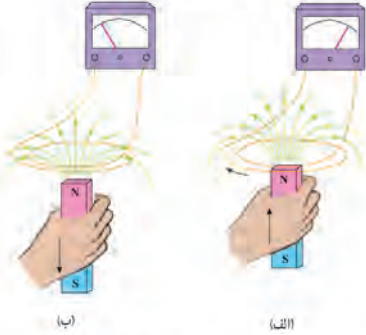
- نتیجه‌گیری در مورد چگونگی تغییرات شار مغناطیسی

و علامت نیروی محرکه‌ی القایی را به‌عده‌ی دانش‌آموزان

می‌گذاریم و بهترین پاسخ را برای ارائه به سایرین با نظر

دانش‌آموزان انتخاب می‌کنیم.

به وجود آورندهی جریان القا می‌باشد یعنی تغییر شار مغناطیسی مخالفت می‌کند. علامت منفی در رابطه‌ی ۵-۵ نشان‌دهندهی همین مخالفت است. در عمل، برای به‌دست آوردن جهت جریان القایی در یک مدار از قانون لژ استفاده می‌شود. به عنوان مثال، اگر قطب N یک آهنربای میله‌ای را مطابق شکل ۱۱-۵ الف به یک بیجه نزدیک کنیم، شار مغناطیسی که از بیجه می‌گذرد، به دلیل قوی‌تر شدن میدان در محل بیجه، افزایش می‌یابد. جهت جریان القایی در بیجه همان‌طور که در شکل ۱۱-۵ الف نشان داده شده است در جهتی است که میدان مغناطیسی حاصل از آن در خلاف جهت میدان آهنربای میله‌ای باشد، تا با افزایش شار مغناطیسی که از بیجه می‌گذرد مخالفت کند. یعنی قطب N آهنربا را به عقب براند.

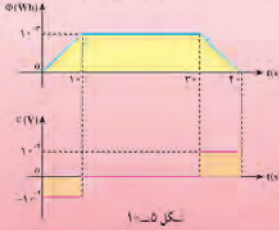


شکل ۱۱-۵-۱۱- جریان القایی در جهتی است که با حرکت آهنربا به طرف بیجه مخالفت می‌کند.

تمرین ۳-۵

قطب N یک آهنربای میله‌ای را مطابق شکل ۱۱-۵ ب از بیجه دور می‌کنیم. با استفاده از قانون لژ جهت جریان القایی را در بیجه تعیین کنید.

حله نمودار تغییرات شار مغناطیسی بر حسب زمان نشان می‌دهد که در بازه زمانی $t_1 - t_2$ شار به صورت خطی افزایش می‌یابد. در نتیجه، در این بازه نیروی محرکه‌ی القایی که برابر است با $\frac{d\Phi}{dt} = \frac{N}{R} \frac{d\Phi}{dt}$ ، مقداری ثابت (برای تیب خط OA) و منفی خواهد داشت و مقدار آن برابر است با -1 ولت. در بازه زمانی $t_2 - t_3$ شار ثابت مانده است. بنابراین، $\frac{d\Phi}{dt} = 0$ و نیروی محرکه‌ی القایی در این بازه برابر صفر است. در بازه زمانی $t_3 - t_4$ ، شار به صورت خطی کاهش یافته است، $\frac{d\Phi}{dt} < 0$ و در نتیجه، نیروی محرکه‌ی القایی در این بازه مثبت است و مقدار آن برابر است با $+1$ ولت. نمودار این تغییرات در شکل ۱۱-۵ رسم شده است.



شکل ۱۱-۵-۱۲

۴-۵- محاسبه‌ی جریان القایی

دیدیم که نیروی محرکه‌ی القایی در بیجه (و یا در حلقه) جریانی تولید می‌کند که به آن جریان القایی گفته می‌شود. اگر مقاومت بیجه برابر R باشد، جریان القا شده در آن از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

$$I = \frac{\epsilon}{R} = \frac{N}{R} \frac{d\Phi}{dt} \quad (5-5)$$

قانون لژ که به صورت زیر بیان می‌شود، در واقع دستورالعملی است برای تعیین جهت جریان القایی.

جریان القایی در مدار در جهتی است که آثار مغناطیسی ناشی از آن با عامل

می‌شود. که با نوسان کفه، در این میدان مغناطیسی عمل توقف بسیار سریع‌تر از آن‌چه انتظار داریم، رخ می‌دهد. ما در این بخش به چگونگی عملکرد این ترازوها می‌پردازیم، که در واقع نوعی ترمز مغناطیسی در آن به کار رفته است.

ایجاد انگیزه: قراردادن اجسام روی کفه‌ی ترازو موجب می‌شود تا کفه حول نقطه‌ی تعادلش حرکت نوسانی داشته باشد و دقت در اندازه‌گیری جرم نیاز به گذشت زمان کافی برای رسیدن به حالت تعادل اولیه را دارد، برای سرعت عمل بیشتر در این ترازوها از یک آهنربا در انتهای میله‌ی ترازو استفاده

میله متصل به کفه که با گذاشتن جسم در کفه حرکت نوسانی می‌کند و در فضای میدان مغناطیسی مربوط به آهنربا متوقف می‌شود.

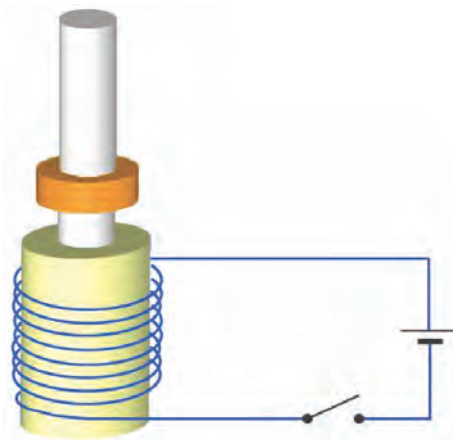


شکل (۲۲)

کاربرد جریان های گردابی در ترازوهای دقیق

در این دانشتنی؛ به نقش متوقف کننده ی اثر جریان های گردابی در حرکت نوسانی انتهای ترازو (که آهنرباست) در یک میدان مغناطیسی و تأثیر آن در بالا رفتن دقت اندازه گیری اشاره می شود.

پرسش: به نظر شما ایجاد جریان الکتریکی القایی (جریان گردابی) در بازوی ترازو مربوط به تغییر در کدام کمیت است؟
پاسخ: تغییر در مقدار مساحتی که در میدان مغناطیسی قرار می گیرد.



شکل (۲۳)

راهنمای تدریس: درس را با توضیحاتی در مورد تنظیم یک مدار مطابق شکل (۲۳) شروع می کنیم. حلقه مسی را در هسته ی آهنی می اندازیم و سپس کلید را وصل می کنیم. آزمایش نشان می دهد که حلقه به بالا پرتاب می شود. انجام این آزمایش به منبع تغذیه ی قوی و سیم پیچ های با دور زیاد نیاز دارد و پس از وصل کردن کلید پرتاب شدن حلقه به بالا خطرناک است و ممکن است آسیب برساند، از این رو به بیان تئوری آن اکتفا می کنیم) سپس این پرسش را مطرح می کنیم: به نظر شما علت پرتاب شدن حلقه ی مسی به سمت بالا چیست؟

پاسخ پرسش را به بحث و بررسی در گروه ها گذاشته و نتیجه را در کلاس مطرح می کنیم.

پاسخ: علت پرتاب شدن حلقه به سمت بالا، دافعه ی بین قطب های همنام دو آهنرباست. یک آهنربا سیملوله و دیگری حلقه ی مسی است که تحت تأثیر تغییر شار مغناطیسی سیملوله، در آن جریان الکتریکی القا شده و تبدیل به یک آهنربا می شود. پرتاب شدن حلقه ی مسی به بالا به دلیل قرار گرفتن دو قطب همنام در کنار یکدیگر است.

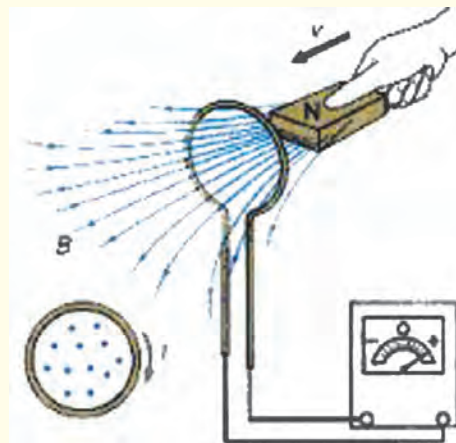


شکل (۲۴)

پرسش : در شکل (۲۴) با توجه به جهت جریان قطب‌های دو آهنربا (سیملوله و حلقه‌ی مسی) را تعیین کنید.
 پاسخ : بستن کلید باعث افزایش جریان الکتریکی و در نتیجه افزایش خط‌های میدان مغناطیسی و شار مغناطیسی عبوری از سیملوله است. طبق قانون القای فارادی برای ناظری که از بالا سیملوله را مشاهده می‌کند، جریان الکتریکی پادساعتگرد و رو به افزایش است و قطب مغناطیسی سیملوله N است. حلقه‌ی مسی باید به گونه‌ای آهنربا شود که قطب مغناطیسی مجاور سیملوله (رو به پایین آن) N باشد (زیرا حلقه در اثر بستن کلید، به سمت بالا پرتاب می‌شود). ناظری که از بالا به حلقه نگاه می‌کند قطب S آن را می‌بیند. از دید او جریان الکتریکی ساعتگردی در حلقه‌ی مسی ایجاد می‌شود. ناظری که از بالا به آن نگاه می‌کند قطب S را می‌بیند. افزایش جریان پادساعتگرد I در سیملوله باعث ایجاد جریانی برخلاف جهت جریان سیملوله در حلقه‌ی مسی می‌شود. این پدیده بدین معنی است که جهت جریان الکتریکی القایی در حلقه‌ی مسی با عامل به‌وجود آورنده‌اش (تغییرات شار در سیملوله و یا تغییر جریان الکتریکی در سیملوله) مخالفت می‌کند.
 چون I در سیملوله رو به افزایش است، جریان الکتریکی القایی در حلقه‌ی مسی برخلاف جهت آن است تا با زیاد شدن آن مخالفت کند.

در این مرحله با تغییر قطب‌های باتری در شکل (۲۳) سپس قانون لنز را که برای تعیین جهت جریان القایی است پرسش را تکرار می‌کنیم و نتیجه‌گیری را به عهده‌ی دانش‌آموزان بیان می‌کنیم. می‌گذاریم.

پرسش : در حلقه‌ی شکل (۲۵)، جریان الکتریکی I در جهت مشخص شده در بازه‌ی کوچکی از زمان برقرار است.
 است.



شکل (۲۵)

- ۱- با توجه به این که منبع تغذیه‌ای در مدار وجود ندارد، چه چیزی این جریان را به‌وجود آورده است؟
- ۲- چنین جریانی که منشأ آن وجود نیروی محرکه‌ی القایی در مدار است را چه می‌توان نامید؟

۳- با توجه به قانون اهم ($V=RI$) و فرض اینکه مقاومت الکتریکی مدار R باشد رابطه‌ای بین نیروی محرکه‌ی القایی و جریان الکتریکی القایی بنویسید.

پاسخ:

۱- حرکت آهنربا در مجاورت حلقه و تغییرات شار گذرنده از حلقه.

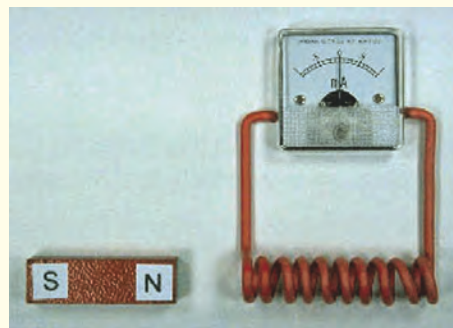
۲- جریان الکتریکی القایی

$$\varepsilon = RI \quad ۳-$$

پرسش: اگر به جای حلقه از پیچه‌ای با N دور و مقاومت کل R داشته باشیم در رابطه‌ی $\varepsilon = RI$ ، با استفاده از فرمول نیروی محرکه‌ی القایی در قانون فارادی، فرمول I را نتیجه‌گیری کنید.

$$I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{-N}{R} \frac{d\phi}{dt}$$

پاسخ:



شکل (۲۶)

توجه: رابطه‌ی بالا مقدار جریان الکتریکی القایی را الکتریکی القایی در پیچه از قانون لنز استفاده می‌کنیم. در یک پیچه به دست می‌دهد برای مشخص کردن جهت جریان

دانستنی



زندگی علمی فدریش لنز

در این دانستنی؛ با کارهای علمی لنز به طور مختصر آشنا می‌شویم.

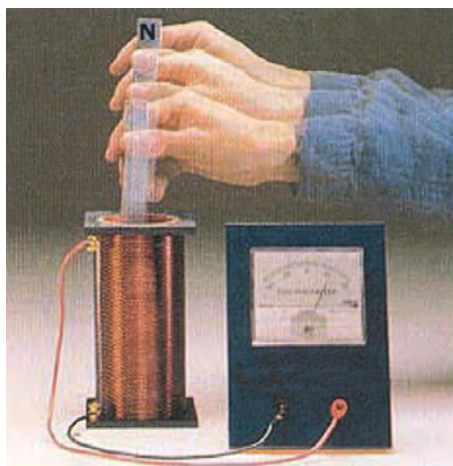
آزمایش

طراحی این آزمایش با توجه به شکل ۵-۱۱ کتاب درسی و کاربرد عملی قانون لنز است.

الف) سیمی را به شکل یک حلقه درمی‌آوریم و به دو سر گالوانومتر می‌بندیم و قطب N آهنربا را در مقابل آن جابه‌جا می‌کنیم. به جهت حرکت عقربه‌ی گالوانومتر در هنگام ورود و خروج آهنربا به مدار بسته دقت می‌کنیم.

ب) سیم را به صورت پیچه در می‌آوریم و با حرکت دادن آهنربا (با همان سرعت مرحله‌ی قبل) به طرف پیچه و خارج کردن آهنربا از آن به جهت و میزان حرکت عقربه‌ی گالوانومتر دقت می‌کنیم.

پ) هر کدام از آزمایش‌های قسمت الف و ب را با قطب دیگر آهنربا انجام می‌دهیم و به جهت انحراف و میزان آن در هر مرحله توجه می‌کنیم.



پرسش: در شکل (۵-۱۱) کتاب، با استفاده از خط ممتد و نقطه‌چین جلو و عقب پیچه را مشخص کنید و از روی خط‌های میدان مغناطیسی تفاوت نتایج آزمایش در حالت نزدیک کردن و دور کردن قطب N آهنربا از پیچه‌ی افقی را در دو حالت بررسی کنید.

پاسخ: در شکل (الف) شار مغناطیسی رو به افزایش و در شکل (ب) رو به کاهش است.



شکل (۲۷)

سوی بالا (در مرکز پیچه) رو به افزایش است و میدان مغناطیسی القایی در پیچه با توجه به جهت جریان القایی رو به پایین است نتیجه می‌گیریم که برخلاف یکدیگرند.

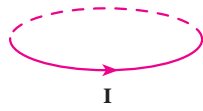
ج) پرسش‌های (ت و ث) را در مورد شکل (۵-۱۱) ب) طرح می‌کنیم.

چ) نتیجه‌گیری قانون لنز و بیان آن توسط روش پرسش و پاسخ در کلاس.

ت) از دانش‌آموزان می‌خواهیم که با توجه به جهت جریان الکتریکی القایی در شکل (۵-۱۱) الف) جهت خط‌های میدان مغناطیسی القایی را حدس بزنند.

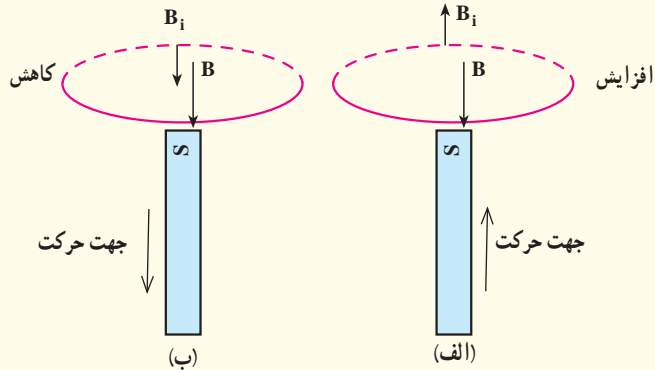
ث) چه رابطه‌ای میان جهت میدان مغناطیسی قطب N آهنربا در شکل (۵-۱۱) الف) و جهت میدان مغناطیسی القایی پیش‌بینی می‌کنید؟

پاسخ موردانتظار: چون میدان مغناطیسی آهنربا به



پاسخ تمرین ۳-۵ کتاب درسی: اگر از بالا به حلقه نگاه کنیم جریان القایی در خلاف جهت حرکت عقربه‌های ساعت است.

پرسش: در شکل (۱۱-۵) کتاب درسی در حالت (الف) و (ب) قطب S آهنربا را نزدیک و دور کنید و با استفاده از جهت خطوط میدان مغناطیسی جهت جریان القایی را تعیین کنید.

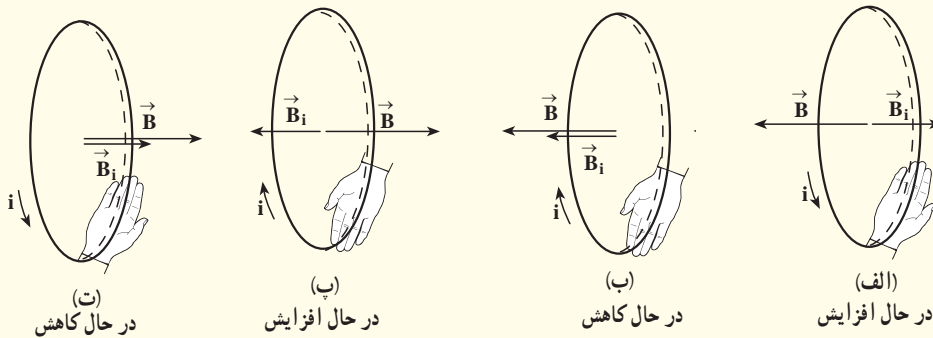


شکل (۲۸)

الف) وقتی قطب S را نزدیک می‌کنیم جهت B روبرو به پایین افزایش می‌یابد و B_i میدان مغناطیسی القایی رو به بالا تولید می‌شود تا مانع از افزایش آن شود پس طبق قاعده‌ی دست راست جهت جریان الکتریکی در جلوی پیچه به سمت راست و از بالا پادساعتگرد است. در شکل (ب) برعکس است.

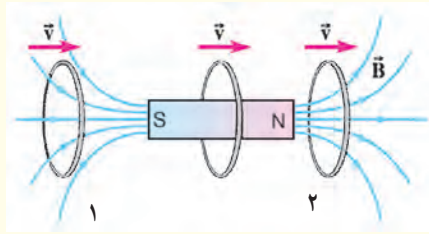
پرسش: در هر یک از چهار شکل (۲۹) با توجه به جهت جریان الکتریکی القایی در حلقه و جهت میدان مغناطیسی B و میدان مغناطیسی القایی B_i قطب‌های آهنربای میله‌ای واقع در سمت چپ پیچه و جهت حرکت آن را معین کنید.

پاسخ: (الف) و (ب) قطب S به ترتیب نزدیک و دور می‌شود. (پ) و (ت) قطب N به ترتیب نزدیک و دور می‌شود.



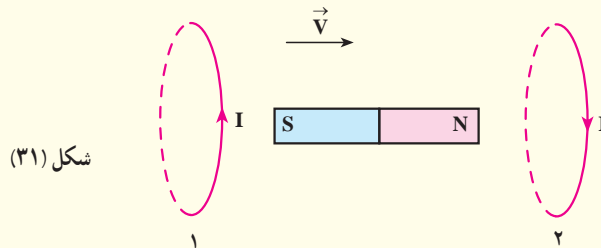
شکل (۲۹)

پرسش: یک سیم به شکل حلقه به سوی آهنربای میله‌ای با سرعت ثابت حرکت می‌کند. اگر حلقه از یک سو به آهنربا نزدیک و از سوی دیگر از آن دور شود، با استفاده از قانون لنز جهت جریان القایی را در موقعیت‌های ۱ و ۲ تعیین کنید.



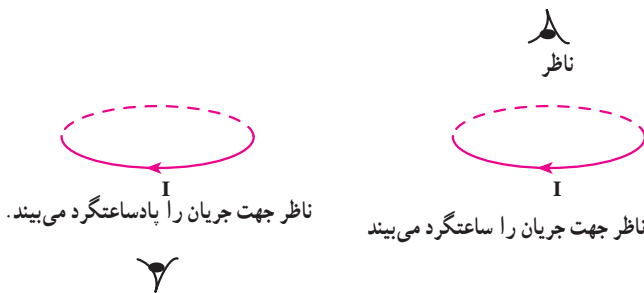
شکل (۳۰)

پاسخ: جهت جریان القایی در موقعیت ۱ و ۲ برعکس یکدیگر است. و پادساعتگرد و ساعتگرد از سمت چپ به نظر می‌آیند. این پاسخ را براساس افزایش خط‌های میدان و یا کاهش آن و قانون لنز توضیح می‌دهیم.



شکل (۳۱)

توجه: در مورد مشخص کردن جهت جریان الکتریکی القایی در بیچه و سیملوله باید به محل ناظر تأکید کنیم و با یک مثال جهت جریان القایی را از بالا و یا از پایین به ترتیب ساعتگرد و پادساعتگرد می‌بینیم بنابراین باید محل ناظر را در پاسخ‌هایمان مشخص کنیم.

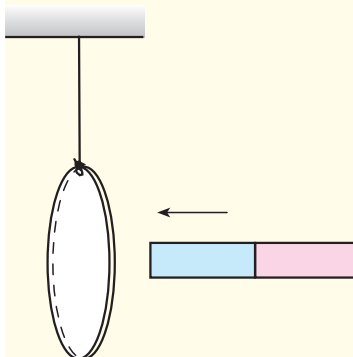


شکل (۳۲)

پرسش: مطابق شکل (۳۳)

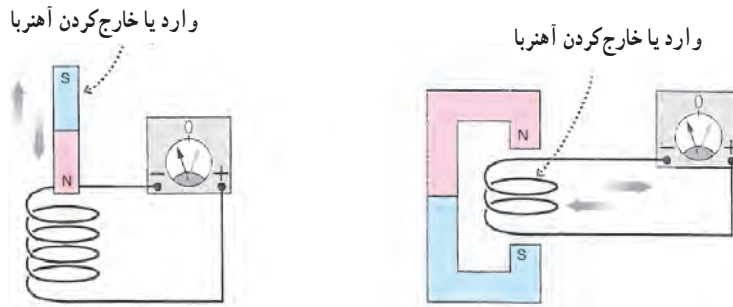
بیچه‌ای از سیم‌های نازک را توسط نخ از دو انتهایش آویزان می‌کنیم سپس آهنربا را به بیچه نزدیک می‌کنیم، بیچه شروع به حرکت می‌کند، جهت حرکت بیچه به چه سمتی است؟ توضیح دهید.

پاسخ: بیچه از آهنربا دور می‌شود زیرا میدان مغناطیسی آهنربا رو به افزایش است و در نتیجه یک جریان الکتریکی القایی در بیچه تولید می‌شود که B_i آن طبق قانون لنز برخلاف تغییرات جهت میدان مغناطیسی آهنرباست در نتیجه نیروی رانشی بین این دو مشاهده می‌شود.



شکل (۳۳)

پرسش: در شکل‌های (۳۴) جهت جریان الکتریکی القا‌یی را توجیه کنید.

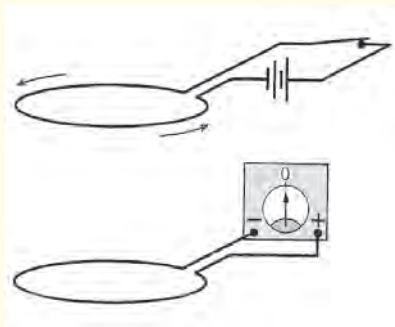


شکل (۳۴)

دانستنی

بررسی میکروسکوپی یک قانون لنز با استفاده از قانون پایستگی انرژی در این دانستنی؛ با محاسبات ریاضی بیان می‌شود که قانون لنز چیزی جز تبدیل کار مکانیکی به انرژی گرمایی نیست.

پرسش: مطابق شکل (۳۵) دو حلقه در مقابل یکدیگر قرار دارند. با باز کردن کلید در مدار حلقه‌ی بالایی جهت جریان القا‌یی در حلقه پایین را تعیین کنید.



شکل (۳۵)

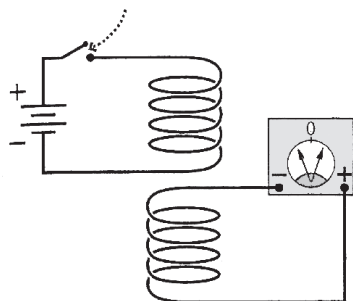
پاسخ:

۱- میدان مغناطیسی حلقه‌ی بالایی رو به بالاست، اما چون جریان در مدار به سرعت کاهش می‌یابد، این میدان کم می‌شود. کلید باز شود

- ۲- شاری که از حلقه می‌گذرد روبه بالا و در حال کاهش است.
- ۳- میدان مغناطیسی القا‌یی برای مخالفت با تغییرات شار باید رو به بالا باشد.
- ۴- جریان الکتریکی پادساعتگرد میدان القا‌یی \vec{B} را ایجاد می‌کند.

شکل (۳۶)

باز یا بسته کردن کلید



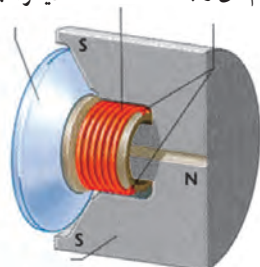
شکل (۳۷)

پرسش: دو سیملوله در مقابل یکدیگر قرار دارند. در مدار سیملوله بالا، منبع تغذیه داریم. جهت جریان الکتریکی در مدار پایین را در صورت بستن کلید مشخص کنید.

چه عاملی باعث حرکت عقربه‌ی گالوانومتر در سیملوله پایینی می‌شود؟

پرسش را در دو حالت بستن کلید و باز کردن کلید بررسی کنید.

سیم‌های رابط پیچیده دیافراگم آلومینیومی



آهنربا که به عنوان چارچوب نگهدارنده نیز عمل می‌کند.

شکل (۳۸)

فعالیت ۱۲



جلسه‌ی قبل از دانش‌آموزان خواستیم تحقیقی در مورد میکروفن و ساختمان آن انجام دهند. با ارائه تحقیق توسط یکی از گروه‌ها در کلاس، پرسش زیر را مطرح می‌کنیم:

اگر در میکروفن شکل مقابل صفحه‌ی دیافراگم سیملوله را به داخل بفشارد جهت جریان الکتریکی القایی در سیملوله تعیین کنید.

پاسخ: از سمت چپ ساعتگرد خواهد بود.

فعالیت ۱۳



هدف: برقراری رابطه بین مفاهیم این فصل و فصل ۴.

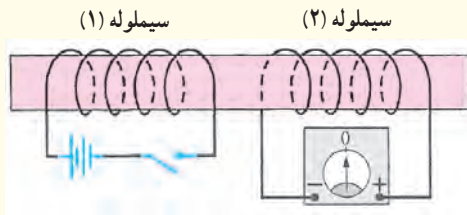
توجه دانش‌آموزان را به ابتدای فصل قبل و اندازه‌گیری میدان مغناطیسی از طریق اندازه‌گیری نیروی وارد بر سیم حامل جریان الکتریکی در میدان مغناطیسی جلب می‌کنیم.

پرسش: آیا روش مستقیمی برای اندازه‌گیری میدان مغناطیسی وجود دارد؟

با پروراندن هدف این پرسش در ذهن دانش‌آموزان، با استفاده از مفاهیم این فصل انگیزه‌ی تحقیق را در آن‌ها به وجود می‌آوریم.

در مورد ساختمان و طرز کار دستگاه مغناطیس‌سنج magnetometer تحقیق کنید.

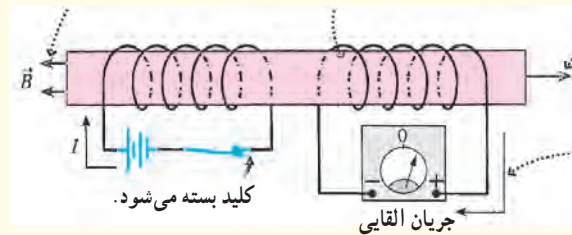
پرسش: دو سیمولوله در مقابل یکدیگر داریم. وقتی در سیمولوله (۱) کلید بسته می‌شود. جهت جریان الکتریکی القاوی در سیمولوله ۲ را در گالوانومتر تعیین کنید.



شکل (۳۹)

پاسخ:

- ۱- میدان مغناطیسی سیمولوله به طرف چپ است.
- ۲- شار عبوری از سیمولوله به سمت چپ است و افزایش می‌یابد. شار باید به طرف راست باشد.
- ۳- میدان القاوی برای مخالفت با تغییرات



شکل (۴۰)

۳ و ۴ با توجه به عقربه گالوانومتر قابل توجیه است.

دانشتنی



مغناطیس‌سنج

در این دانشتنی؛ با انجام یک آزمایش با مبنای علمی ساخت مغناطیس‌سنج آشنا می‌شویم.

فعالیت ۱۴



پاسخ به ایجاد انگیزه در ابتدای بخش

در ابتدای این بخش برای ایجاد انگیزه در تدریس از ترازوهای دقیق استفاده کردیم که در آن‌ها از ترمز سریع مغناطیسی استفاده می‌شد از دانش‌آموزان می‌خواهیم که چگونگی توقف سریع یک صفحه‌ی رسانا در حین عبور از میان قطب‌های آهن‌ربا را با استفاده از قانون لنز توضیح دهند.

پاسخ: هنگام ورود و خروج جهت جریان الکتریکی القاوی در صفحه‌ی رسانا متفاوت است از این‌رو پس از به‌وجود آوردن جریان الکتریکی القاوی در یک میدان مغناطیسی نیرویی بر آن وارد می‌شود که در دو حالت ورود و