

آزمایش شماره ۱۳

نیروی محرکه القایی

هدف آزمایش

- (۱) تحقیق قانون فاراده ولنز
- (۲) خود القا
- (۳) مشاهده جریان فوکو

وسایل مورد نیاز

آهنربای تیغه‌ای، آهنربای نعلی‌شکل، براده آهن، صفحات غیرآهنی، سیم‌پیچ‌های مختلف، گالوانومتر، سیم مستقیم، هسته آهنی، کلید، عقربه مغناطیسی، باتری، سیم‌های رابط

تئوری آزمایش

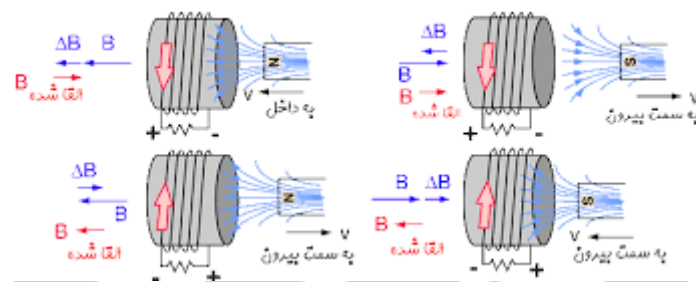
(۱) قانون فاراده

کشف اورستد، مایکل فاراده را که آزمایشگری با استعداد بود به فکر فرو برد. اگر جریان الکتریکی در یک سیم می‌تواند میدان مغناطیسی تولید کند، باید عکس آن هم برقرار باشد، زیرا طبیعت همواره متقارن بوده است. تجربیات فاراده نشان داد که برخلاف انتظار هرگاه مدار بسته‌ای را در داخل یک میدان مغناطیسی قرار دهد جریانی در حلقه تولید نمی‌شود، بلکه تنها هنگام وارد و خارج کردن حلقه در میدان مغناطیسی، جریانی در مدار بوجود می‌آید.

به این ترتیب فاراده نتیجه گرفت که برای تولید جریان الکتریکی در یک مدار بسته باید بین حلقه و میدان مغناطیسی، حرکت نسبی وجود داشته باشد. به عبارت دیگر تعداد خطوط میدان مغناطیسی گذرنده از حلقه اهمیتی ندارد بلکه آهنگ تغییر تعداد این خطوط در ایجاد جریان الکتریکی مؤثر است. بنابراین تغییر مقدار میدان مغناطیسی عبوری از مدار بسته، جریان الکتریکی بوجود می‌آورد. این جریان الکتریکی را جریان القایی و نیروی محرکه متناظر با این جریان را نیروی محرکه القایی می‌نامند.

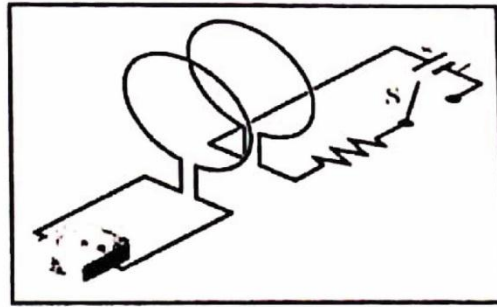
آزمایش اول فاراده در شکل (۱) نشان داده شده است. شکل (۱) یک حلقه رسانا را نشان می‌دهد که به یک آمپر متر حساس متصل شده است. چون هیچ باتری وجود ندارد هیچ جریانی از مدار نمی‌گذرد، ولی اگر یک آهن ربای میله‌ای را به سمت حلقه حرکت دهیم جریان آنی در مدار ظاهر می‌شود. وقتی آهن ربا را متوقف کنیم، این جریان ناپدید می‌شود. حال اگر آهن ربا از حلقه دور کنیم، دوباره جریان آنی اما در جهت مخالف پدیدار می‌شود. از تکرار این آزمایش می‌توان نکات زیر را دریافت:

- (۱) جریان فقط در صورتی بوجود می‌آید که حرکتی نسبی بین حلقه و آهن ربا وجود داشته باشد (یکی نسبت به دیگری حرکت کند) و جریان وقتی ناپدید می‌شود که این حرکت نسبی متوقف شود.
- (۲) حرکت سریع‌تر جریان بزرگتری را ایجاد می‌کند.
- (۳) اگر قطب شمال آهن ربا به حلقه نزدیک شود جهت جریان القایی مخالف حالتی است که قطب شمال آهن ربا از حلقه دور و یا قطب جنوب آهن ربا به حلقه نزدیک شود.



شکل ۱

آزمایش دوم فاراده شامل دو حلقه رسانای نزدیک به هم است که به یکدیگر متصل نیستند و در شکل (۲) نشان داده شده‌اند. اگر کلید S را ببندیم تا جریانی در حلقه سمت راست ایجاد شود، آمپر متر به طور ناگهانی و در زمانی کوتاه جریان القایی را در حلقه سمت چپ نشان می‌دهد. حال اگر کلید S را باز کنیم دوباره جریان القایی به طور ناگهانی ولی در جهت مخالف در حلقه سمت چپ ایجاد می‌شود. بنابراین، تنها هنگامی جریان القایی در حلقه سمت چپ بوجود می‌آید که جریان در حلقه سمت راست در حال تغییر باشد. اما اگر جریان در حلقه سمت راست ثابت باشد (حتی اگر این جریان بسیار زیاد باشد) هیچ جریان القایی در حلقه سمت چپ بوجود نمی‌آید.



شکل (۲)

به این ترتیب مایکل فاراده در انگلستان و جوزف هانری در آمریکا کشف کردند که حرکت دادن یک آهن ربا در مجاورت یک حلقه سیم رسانا سبب ایجاد جریان الکتریکی در حلقه می‌گردد. همچنین عبور جریان الکتریکی متغیر از یک حلقه باعث پیدایش جریان الکتریکی در حلقه دیگری خواهد شد که در مجاورت حلقه اول قرار دارد. این موضوع اساس کار ژنراتورها را تشکیل می‌دهد.

تعداد خطوط میدان مغناطیسی گذرنده از حلقه A ، شار مغناطیسی Φ_B نامیده می‌شود و برابر است با:

$$\Phi_B = \int_A \vec{B} \cdot d\vec{s} \quad (۱)$$

که در آن B میدان مغناطیسی روی سطح حلقه و $d\vec{s}$ عنصر کوچک سطح روی حلقه و در جهت عمود بر سطح آن است. واحد شار مغناطیسی وبر (Wb) است. یک Wb برابر با یک تسلا مترمربع است. به این ترتیب قانون القای فاراده به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\varepsilon = - \frac{d\Phi_B}{dt} \quad (۲)$$

یعنی بزرگی نیروی محرکه القایی در یک حلقه رسانا برابر با آهنگ تغییر شار مغناطیسی گذرنده از حلقه با زمان است. علامت منفی نشان دهنده آن است که نیروی محرکه القایی بوجود آمده با تغییر شار مخالفت می‌کند. اگر به جای یک حلقه سیم، پیچهای فشرده‌ای شامل N دور سیم داشته باشیم به طوری که شار مغناطیسی یکسانی از همه دورها عبور کند نیروی محرکه القایی برابر است با:

$$\varepsilon = -N \frac{d\Phi_B}{dt} \quad (۳)$$

نیروی محرکه القایی در هر حلقه سیم رسانا، نشان دهنده وجود میدان الکتریکی در هر نقطه از آن است و با رابطه‌ی زیر به آن مربوط می‌شود:

$$\varepsilon = \oint \vec{E} \cdot d\vec{l} \quad (۴)$$

که E را میدان الکتریکی القایی می‌نامند. چشمه این میدان، تغییر شار مغناطیسی با زمان است در حالی که چشمه میدان الکتروستاتیک، بار الکتریکی است. به این ترتیب شکل کامل تر قانون القای فاراده را می‌توان به صورت زیر نیز نوشت:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \frac{d\phi_B}{dt} \quad (5)$$

به عبارت دیگر انتگرال خطی میدان الکتریکی القایی روی یک مسیر بسته برابر با تغییر شار مغناطیسی گذرنده از سطح محصور توسط مسیر بسته است. از آنجا که انتگرال خطی میدان الکتریکی القایی در یک مسیر بسته مخالف صفر است بنابراین میدان الکتریکی القایی پایستار نیست. در حالی که میدان الکتروستاتیک که چشمه‌ی آن بار الکتریکی است پایستار است.

(۲) قانون لنز



شکل ۳

اندکی پس از آنکه فاراده قانون القایش را ارائه کرد، هاینریش لنز قاعده‌ای را برای تعیین جهت جریان القایی در مدار پیشنهاد کرد که به قانون لنز معروف است. بر اساس این قانون جریان القایی در مدار در جهتی بوجود می‌آید که با عامل بوجود آورنده خود مخالفت می‌کند. به عنوان مثال، اگر شار مغناطیسی که از مدار می‌گذرد با زمان افزایش یابد جریان القایی تولید شده با این کاهش مخالفت می‌کند.

به عنوان مثال در آزمایش اول فاراده، هرگاه قطب شمال آهن ربا به حلقه نزدیک شود همان طور که در شکل (۳) نشان داده شده است، شار مغناطیسی که در جهت رو به پایین از حلقه می‌گذرد با زمان افزایش می‌یابد، بنابراین جریان القایی در جهتی بوجود می‌آید که قطب شمال حلقه به سمت قطب شمال آهن ربایی باشد که به آن نزدیک می‌شود تا بتواند آن را دفع کند. قطب شمال حلقه جریان از قانون دست راست تعیین می‌شود. اگر چهار انگشت دست راست جهت جریان در حلقه را نشان دهد انگشت شست جهت قطب شمال آن را نشان می‌دهد. برعکس هرگاه قطب شمال آهن ربا از حلقه دور شود شار مغناطیسی که در جهت رو به پایین

از حلقه می‌گذرد با زمان کاهش می‌یابد، بنابراین جریان القایی در جهتی بوجود می‌آید که قطب جنوب حلقه به سمت قطب شمال آهن ربایی باشد که از آن دور می‌شود تا بتواند آن را جذب کند.

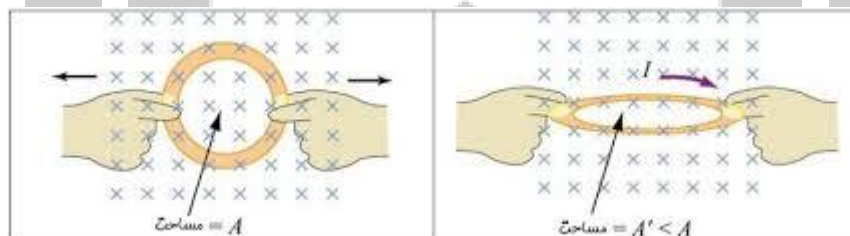
(۳) خودالقای

نیروی محرکه القایی در یک سیم پیچ نه تنها به دلیل تغییر شار ناشی از یک آهن ربا یا یک سیم پیچ دیگر که حامل جریان الکتریکی باشد بوجود می‌آید، بلکه به دلیل تغییر شار ناشی از تغییر جریان خود سیم پیچ نیز حاصل می‌شود. اگر سیم پیچی را به منبع جریان مستقیم وصل کنیم، در هنگام باز و بسته شدن کلید که جریان سیم پیچ و در نتیجه شار ناشی از آن تغییر می‌کند در دو سر پیچ نیروی محرکه القایی بوجود می‌آید. این را نیروی محرکه خود القا می‌نامند و از همان رابطه (۳) به دست می‌آید. برای هر سیم پیچ کمیتی به نام القاییدگی L تعریف می‌شود که برابر است با

$$L = \frac{N\Phi_B}{I} \quad (۶)$$

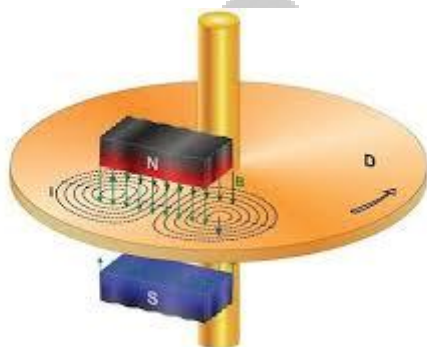
N تعداد دورهای سیم پیچ، Φ_B شار مغناطیسی گذرنده از هر حلقه آن و I جریان عبوری از سیم پیچ است. واحد القاییدگی، هنری H است. با جایگذاری رابطه (۶) در رابطه (۳) خواهیم داشت:

$$\mathcal{E} = -L \frac{dI}{dt} \quad (۷)$$



شکل ۴

۴) جریان‌های فوکو



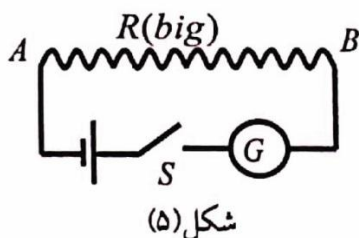
آنچه در مورد نیروی محرکه القایی و جریان ناشی از آن در یک مدار گفته شد در مورد کلیه اجسام رسانا نیز صادق است. شکل (۴) یک صفحه رسانا را در داخل میدان مغناطیسی نشان می‌دهد. اگر مطابق شکل صفحه رسانا به بیرون از میدان کشیده شود در آن جریان القایی بوجود می‌آید که طبق قانون لنز جهت آن به گونه‌ای است که با تغییر شار مخالفت می‌کند. این نوع جریان‌ها را که در تمام حجم جسم رسانا بوجود می‌آید جریان ادی یا فوکو می‌نامند. توجه کنید که جریان فوکو در مسیرهایی که یک شاخه دیگر در خارج از آن قرار دارد ایجاد می‌شود بنابراین ایجاد شیارهایی درون صفحه رسانا به مقدار زیادی از جریان فوکو خواهد کاست. اندازه جریان فوکو به مقاومت رسانا، شکل و اندازه آن، و نیز سرعت رسانا در میدان مغناطیسی بستگی دارد.

روش آزمایش

۱) تحقیق قوانین فاراده و لنز

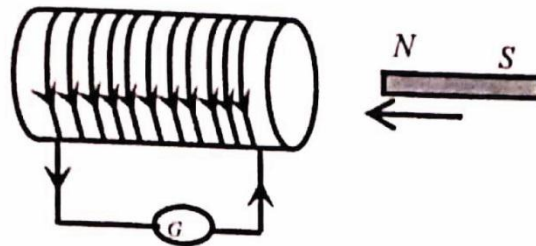
برای تحقیق قوانین فاراده و لنز مراحل زیر را به ترتیب انجام دهید.

۱) ابتدا پلاریته گالوانومتر را تعیین کنید. به عبارت دیگر مشخص کنید که جهت جریان در گالوانومتر، عقربه را در چه جهتی منحرف می‌کند. برای این منظور مداری مطابق شکل (۵) آماده کنید. دو دست خود را به نقاط A و B اتصال دهید و یا یک مقاومت بزرگ در مسیر جریان گالوانومتر قرار دهید تا جریان زیادی از گالوانومتر نگذرد. کلید S را ببندید. با توجه به اینکه جهت جریان الکتریکی از قطب مثبت به قطب منفی باتری است، جهت انحراف عقربه گالوانومتر را تعیین و یادداشت کنید.



۲) اینک دو سر گالوانومتر را مطابق شکل (۶) به دو سر سیملوله وصل کنید. قطب‌های N و S آهن ربای تیغه‌ای را از سیملوله دور و یا به آن نزدیک کنید و جریان القایی را در گالوانومتر مشاهده کنید. آهن

رِبا را متوقف کنید و مشاهده کنید که جریان القایی ناپدید می‌شود. سرعت حرکت آهن ربا را تغییر دهید و با مشاهده میزان انحراف عقربه گالوانومتر، قانون القای فاراده را تحقیق کنید. سپس سیم پیچ‌های با تعداد دور متفاوت را به گالوانومتر وصل کنید و مشاهدات خود را یادداشت نمایید. همچنین جهت جریان القایی را برای هر حالت (دور یا نزدیک کردن قطب‌های N و S آهن ربا) با استفاده از جهت انحراف عقربه گالوانومتر تعیین کرده و قانون لنز را تحقیق کنید. اینک یک هسته آهنی را درون سیم پیچ قرار داده و با دور و نزدیک کردن آهن ربا جریان القایی را مشاهده و نتیجه را یادداشت کنید.

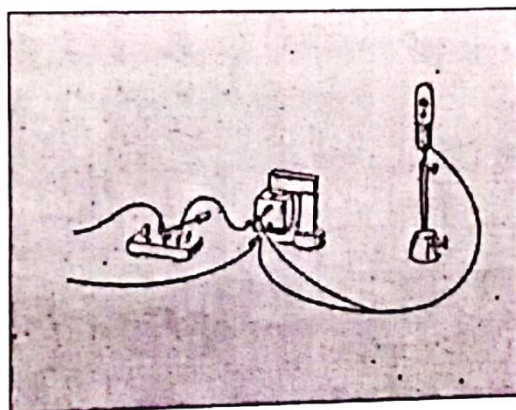


شکل (۶)

(۳) با استفاده از دو سیم پیچ، یک منبع تغذیه، یک کلید و گالوانومتر آزمایش قبل، مدار شکل (۲) را ببندید. با قطع و وصل کلید میزان و جهت انحراف عقربه گالوانومتر را مشاهده کرده و قانون فاراده و لنز را تحقیق کنید. سپس سیم پیچ‌های با تعداد دور متفاوت را به گالوانومتر وصل کنید و مشاهدات خود را یادداشت نمایید. حال جای قطب‌های باتری را عوض کنید و آزمایش قبل را تکرار کرده و مشاهدات خود را یادداشت نمایید.

(۲) مشاهده خودالقایی

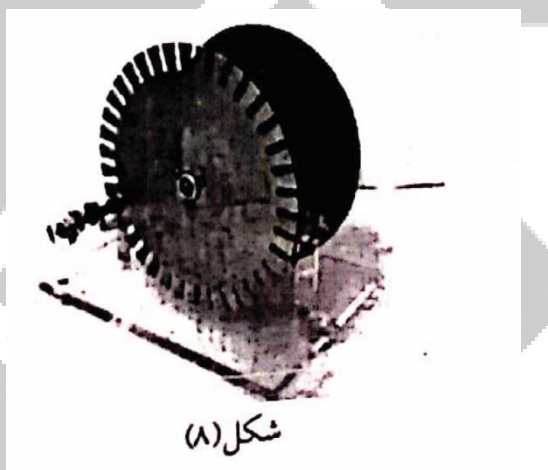
یک هسته آهنی را در داخل یک سیم پیچ با تعداد دور مناسب قرار داده و آن را مطابق شکل (۷) به منبع تغذیه جریان مستقیم و یک لامپ تخلیه الکتریکی ۲۲۰ ولت وصل کنید. میزان روشنایی لامپ را هنگام عبور جریان از سیم پیچ و در هنگام قطع جریان توسط کلید مقایسه کنید.



شکل (۷)

۳) جریان‌های فوکو

دو دیسک ساده و شیاردار را که در شکل (۸) نشان داده شده اند و می‌توانند حول محور افقی دوران کنند در داخل آهن ربای نعلی شکل قرار داده و دیسک را به دوران درآورید. نتیجه آزمایش را یادداشت کنید.



محاسبات، بررسی نتایج، پرسش‌ها

- ۱) در مرحله اول آزمایش (۱) چرا با حرکت آهن ربا عقربه گالوانومتر منحرف می‌شود؟
- ۲) در مرحله اول آزمایش (۱) چه ارتباطی بین تعداد دورهای سیم پیچ و شدت جریان القایی وجود دارد؟
- ۳) در مرحله اول آزمایش (۱) چه ارتباطی بین سرعت حرکت آهن ربا و شدت جریان القایی وجود دارد؟
- ۴) در مرحله اول آزمایش (۱) چه ارتباطی بین جهت جریان القایی با دور و نزدیک کردن قطب‌های N و S آهن ربا وجود دارد؟ با رسم شکل کاملاً توضیح دهید.
- ۵) در مرحله اول آزمایش (۱) وجود هسته آهنی چه اثری بر روی جریان القایی دارد؟ علت آن را توضیح دهید.
- ۶) در مرحله دوم آزمایش (۱) چه ارتباطی بین جهت جریان القایی با قطع و وصل کلید و تعویض قطب‌های باتری وجود دارد؟ با رسم شکل کاملاً توضیح دهید.
- ۷) در مرحله دوم آزمایش (۱) چه ارتباطی بین تعداد دورهای سیم پیچ و شدت جریان القایی وجود دارد؟
- ۸) علت روشن شدن لامپ را در آزمایش (۲) هنگام قطع کلید توضیح دهید.
- ۹) در آزمایش (۳) کدامیک از دو دیسک مدت بیشتری دوران می‌کند و چرا؟

دانشگاه بوعلی سینا