

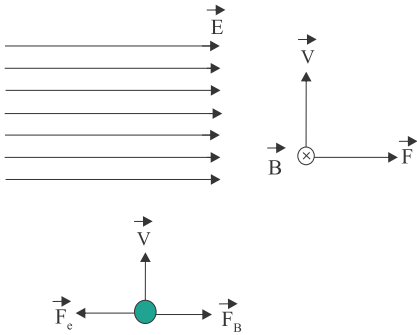
گزینه ۴

۱

هنگام عبور الکترون از میدان الکتریکی نیرویی در خلاف جهت میدان به آن وارد می‌شود بنابراین میدان مغناطیسی باید در جهتی باشد که جهت نیروی میدان مغناطیسی خلاف جهت نیروی الکتریکی (هم‌جهت با میدان الکتریکی) باشد.

حال از قاعده دست راست استفاده می‌کنیم:

طبق قاعده دست راست میدان برون‌سو است؛ اما از آنجاکه ذره دارای بار منفی می‌باشد، میدان درون‌سو است؛ یعنی عمود بر صفحه و به سمت داخل.



گزینه ۱

۲

طبق قانون لنز با کاهش شار عبوری، جریان عبوری از میله از N به M است.

$$|\varepsilon| = NBvL = 0.15 = 1 \times 0.12 \times v \times \frac{1}{4} \Rightarrow v = 5 \text{ m/s}$$

گزینه ۴

۳

باتوجه به اینکه گزینه‌های داده شده برحسب ژول و آمپر و ولت هستند، استفاده از معادله شار مغناطیسی گزینه مناسبی نیست و باید از رابطه نیروی محرکه القایی و شار مغناطیسی استفاده کنیم؛ بنابراین:

$$\varepsilon = -\frac{d\phi}{dt} \xrightarrow{\text{واحد}} V = \frac{Wb}{s} \Rightarrow Wb = V \cdot s$$

باتوجه به رابطه $U = \frac{1}{q}V$ داریم $V = \frac{1}{C}$ بنابراین:

$$\begin{cases} Wb = V \cdot s \\ V = \frac{J}{C} \end{cases} \Rightarrow Wb = \frac{J \cdot s}{C}$$

باتوجه به جریان الکتریکی ($I = \frac{q}{t}$) داریم: $C = A \cdot s$ ؛ بنابراین:

$$\begin{cases} Wb = \frac{J \cdot s}{C} \\ C = A \cdot s \end{cases} \Rightarrow Wb = \frac{J \cdot s}{A \cdot s} \Rightarrow Wb = \frac{J}{A}$$

گزینه ۱

۴

باتوجه به رابطه میدان مغناطیسی حاصل از حلقه حامل جریان، می‌توانیم یکای کمیت μ_0 را محاسبه کنیم:

$$B = \mu_0 \frac{NI}{rR} \Rightarrow \mu_0 = \frac{B(rR)}{NI} \Rightarrow [\mu_0] = \frac{[T] \cdot [m]}{[A]}$$

یا باتوجه به رابطه میدان مغناطیسی حاصل از سیم‌لوله حامل جریان داریم:

$$B = \mu_0 \frac{NI}{\ell} \Rightarrow \mu_0 = \frac{B\ell}{NI} \Rightarrow [\mu_0] = \frac{[T] \cdot [m]}{[A]}$$

گام اول

الف) سیمی به طول ۶۰ متر به صورت سیملوله‌ای بدون هسته به طول $۰/۵\text{m}$ و شعاع حلقه ۱۰cm درآورده ← $D = ۶۰\text{m}$, $l = ۰/۵\text{m}$, $R = ۱۰\text{cm} = ۰/۱\text{m}$
 ب) از آن جریان ۱۰A عبور می‌دهیم ← $I = ۱۰\text{A}$
 ج) انرژی ذخیره‌شده در آن چند ژول می‌شود ← $U = ?$

گام دوم

ابتدا باید ضریب خودالقایی سیملوله را به دست آوریم:

$$\begin{cases} L = \frac{\mu \cdot N^2 A}{l} \\ N = \frac{D}{r \pi R} \\ A = \pi R^2 \\ \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T.m/A} \end{cases} \Rightarrow L = \frac{\mu_0 \left(\frac{D}{r \pi R} \right)^2 \times \pi R^2}{l} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times \frac{(60)^2}{4\pi^2 R^2} \times \pi R^2}{0/5} = 72 \times 10^{-5} \text{ H}$$

بنابراین انرژی ذخیره‌شده در سیملوله برابر است با:

$$U = \frac{1}{2} L I^2 = \frac{1}{2} \times 72 \times 10^{-5} \times 10^2 = 3/6 \times 10^{-2} \text{ J}$$

گام اول

الف) لغزندهٔ رئوس در نقطه‌ای ثابت مانده بود ← جریان ثابت باقی می‌ماند.

ب) در مدت Δt به سمت چپ حرکت می‌دهیم ← طول مقاومت کاهش می‌یابد؛ بنابراین مقاومت کاهش می‌یابد ($R = \rho \frac{l}{A}$)

گام دوم

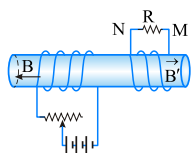
قبل از حرکت دادن لغزندهٔ رئوس، جریان ثابت است؛ بنابراین میدان و شار مغناطیسی تغییر نمی‌کند.

با ثابت ماندن شار نیز جریان القایی به وجود نمی‌آید

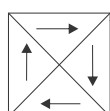
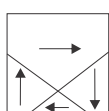
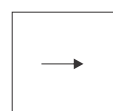
$$(|I| = \left| -\frac{1}{R} \frac{d\phi}{dt} \right|)$$

و $I_1 = ۰$ است.

با کاهش مقاومت رئوس، جریان در مدار سیملولهٔ سمت چپ افزایش پیدا می‌کند (جریان در مدار از قطب مثبت به قطب منفی باتری است) و به دنبال آن میدان مغناطیسی (که به سمت چپ است) افزایش پیدا می‌کند؛ در نتیجه شار مغناطیسی عبوری از سیملولهٔ سمت راست کاهش می‌یابد. طبق قانون لنز، جریانی در سیملولهٔ سمت راست، ایجاد می‌شود به گونه‌ای که با این کاهش شار مخالفت کند یعنی میدان مغناطیسی آن به سمت راست باشد؛ که بنابراین طبق قانون دست راست این جریان از M به N است.



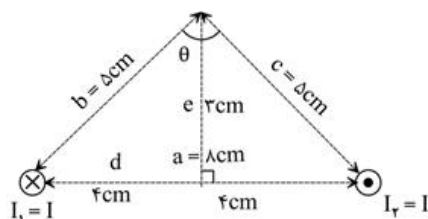
در مادهٔ فرو مغناطیس، دوقطبی‌های مغناطیسی کوچک، خودبه‌خود با دوقطبی‌های مجاور خود هم‌خط می‌شوند.



باتوجه به سمت‌گیری دوقطبی‌های مغناطیسی هر حوزه می‌توان میدان مغناطیسی وارد بر آن‌ها را مورد بررسی قرار داد. در شکل (الف) هیچ‌یک از جهت‌گیری‌های حوزه‌ها بر دیگری برتری ندارد و حجم آن‌ها باهم برابر است؛ بنابراین میدان مغناطیسی وارد بر آن‌ها برابر با صفر است.

در شکل (ب) نسبت به شکل (الف) مرزهای حفره‌ها جابه‌جا شده‌اند؛ بنابراین مادهٔ فرومغناطیس تحت تأثیر میدان مغناطیسی قرار گرفته است، ولی میدان مغناطیسی آن قدر قوی نیست که تمام دوقطبی‌ها هم‌جهت با میدان شوند.

در شکل (پ) میدان آن قدر قوی است که جهت‌گیری تمام دوقطبی‌های حوزه‌ها هم‌جهت با میدان شده‌اند.



جهت میدان مغناطیسی حاصل از جریان سیم بلند، عمود بر خط واصل سیم حامل جریان و نقطه موردنظر است، حال کافی است محدوده زاویه θ را مشخص کنیم، اگر $90^\circ < \theta < 180^\circ$ باشد بردار \vec{B} داخل مثلث و اگر $0^\circ < \theta < 90^\circ$ باشد بیرون مثلث و در صورتی که $\theta = 90^\circ$ باشد بر روی ضلع مثلث می‌افتد. برای مشخص کردن محدوده θ از قانون کسینوس‌ها استفاده می‌کنیم.

ولی قبل از آن با استفاده از قانون فیثاغورس اندازه اضلاع b و c را مشخص می‌کنیم.

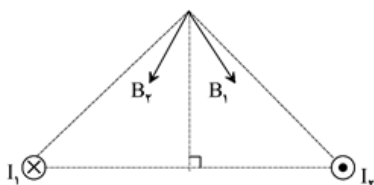
$$\begin{cases} b^2 = d^2 + e^2 \\ d = 2 \text{ cm}, e = 3 \text{ cm} \end{cases} \Rightarrow b^2 = 16 + 9 = 25 \text{ cm} \Rightarrow b = 5 \text{ cm}$$

c نیز به همین ترتیب برابر با 5 cm می‌شود.

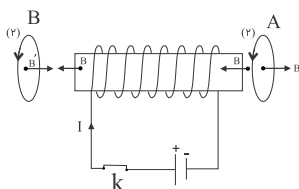
حال از قضیه کسینوس‌ها استفاده می‌کنیم.

$$\begin{cases} a^2 = 6^2 \\ b^2 + c^2 = 25 + 25 = 50 \Rightarrow a^2 > b^2 + c^2 \\ b = c = 5 \end{cases}$$

بنابراین $90^\circ < \theta < 180^\circ$ است و بردارهای مغناطیسی B_1 و B_2 داخل مثلث هستند.



با بسته شدن کلید جریان در مدار از قطب مثبت به قطب منفی باتری برقرار می‌شود و میدان مغناطیسی در سیم‌لوله ایجاد می‌کند که جهت آن به سمت چپ است. طبق قانون لنز میدان مغناطیسی حاصل از جریان القاایی در خلاف جهت میدان سیم‌لوله است (B' به سمت راست). حال با استفاده از قانون دست راست می‌توانیم جهت جریان عبوری از حلقه‌ها را مشخص کنیم.



الف) از سیم‌لوله جریان 4 آمپر می‌گذرد $\leftarrow I = 4 \text{ A}$

ب) انرژی ذخیره‌شده در آن به 200 میلی ژول می‌رسد $\leftarrow U = 200 \text{ mJ} = 200 \times 10^{-3} \text{ J}$

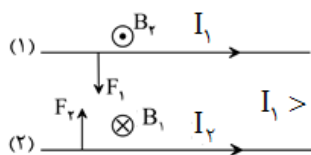
ج) ضریب خودالقای سیم‌لوله چند هانری است؟ $\leftarrow L = ? \text{ H}$

کافی است از رابطه انرژی ذخیره‌شده در القاگر استفاده کنیم:

$$U = \frac{1}{2} L I^2 \Rightarrow 200 \times 10^{-3} = \frac{1}{2} \times L \times 16$$

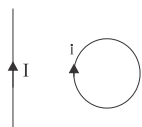
$$\Rightarrow L = 25 \times 10^{-3} \text{ H} = 2/5 \times 10^{-2} \text{ H}$$

طبق قانون سوم نیوتن؛ نیرویی که از طرف سیم (۱) بر یک متر از سیم (۲) وارد می‌شود برابر است با نیرویی که از طرف سیم (۲) وارد می‌شود؛ بنابراین:

$$F_1 = F_2$$


میدان مغناطیسی که جریان I_1 در محل سیم (۲) ایجاد می‌کند درون‌سو است، بنا بر قاعده دست راست نیرو به سمت بالا به سیم (۲) وارد می‌شود. میدان مغناطیسی ناشی از جریان I_2 در محل سیم (۱)، برون‌سو است و بنا بر قاعده دست راست نیروی وارد بر آن به سمت پایین است؛ بنابراین دو سیم یکدیگر را جذب می‌کنند (جریان‌های هم‌جهت یکدیگر را جذب می‌کنند).

وقتی جریان القایی در حلقه ساعت‌گرد باشد؛ میدان القایی در مرکز حلقه درون‌سو است. میدان اصلی ناشی از سیم راست نیز در محل حلقه، درون‌سو است؛ به این ترتیب میدان القایی و اصلی هم‌سو هستند و این یعنی میدان سیم راست در حال کاهش بوده است؛ لذا یا شدت جریان سیم در حال کاهش بوده است و یا حلقه در حال دور شدن از سیم است.



نیروی مغناطیسی وارد بر یک سیم به طول L و حامل جریان I که در میدان B قرار گرفته است، برابر است با:

$$F = BIL \sin \alpha$$

$$N = A \times T \times m \Rightarrow T = N/A.m$$

گام اول

الف) ضریب خودالقایی القاگری 10 میلی‌هانری است $\leftarrow L = 10 \text{ mH} = 10 \times 10^{-3} \text{ H}$

ب) اگر انرژی ذخیره‌شده در آن 0.02 J باشد $\leftarrow U = 0.02 \text{ J}$

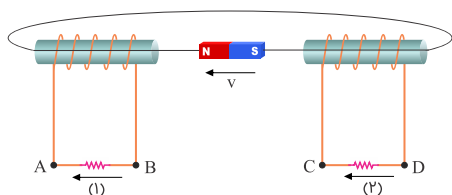
ج) شدت جریان داخل آن چند آمپر است $\leftarrow I = ?$

گام دوم

با استفاده از رابطه انرژی ذخیره‌شده در القاگر می‌توانیم شدت جریان را به دست بیاوریم.

$$U = \frac{1}{2} LI^2 \Rightarrow 0.02 = \frac{1}{2} \times 10^{-2} \times I^2 \Rightarrow I^2 = 4 \Rightarrow I = 2 \text{ A}$$

باتوجه به جهت حرکت آهنربا میدان راست به چپ در سیملوله ۱ در حال افزایش و در سیملوله ۲ در حال کاهش است لذا جهت جریان القایی در سیملوله ۱ باید طوری باشد که میدان چپ به راست تولید کند و در سیملوله ۲ باید میدان راست به چپ تولید نماید (قانون القای لنز). پس جهت جریان در سیملوله ۱ باید از A به B باشد و در سیملوله ۲ باید از D به C باشد.



الف) القاگری به ضریب خودالقای $L = ۱۰\text{mH} = ۱۰ \times ۱۰^{-۳}\text{H} \leftarrow ۱۰\text{mH}$
 ب) شدت جریان چند آمپر باید بگذرد تا $۰/۰۲\text{H}$ انرژی در آن ذخیره شود $\leftarrow I = ?$, $U = ۰/۰۲\text{J}$

با استفاده از رابطه انرژی ذخیره شده القاگر می‌توانیم جریان را محاسبه کنیم.

$$U = \frac{1}{2}LI^2 \Rightarrow ۰/۰۲ = \frac{1}{2} \times ۱۰^{-۲} \times I^2 \Rightarrow I = ۲\text{A}$$

الف) یک سیمپیچ با ۲۰ دور سیم $N = ۲۰ \leftarrow$
 ب) طول هر ضلع آن ۴۰ سانتی‌متر است $L = ۴۰\text{cm} = ۰/۴\text{m} \leftarrow$
 ج) با سرعت ۳m/s به سمت راست حرکت می‌کند $v = ۳\text{m/s} \leftarrow$
 د) در لحظه‌ای که ۳۰ سانتی‌متر از آن وارد شده است $x_p = ۳۰\text{cm} = ۰/۳\text{m} = ۳ \times ۱۰^{-1}\text{m} \leftarrow$
 ه) بزرگی نیروی محرکه القاشده چند ولت است $\mathcal{E} = ? \leftarrow$

کافی است مدت‌زمانی که طول می‌کشد که ۳۰ سانتی‌متر از سیمپیچ وارد میدان مغناطیسی شود را محاسبه کنیم و با محاسبه شار مغناطیسی و استفاده از قانون فارادی، نیروی محرکه القایی را به دست بیاوریم.

$$x = vt \Rightarrow ۳ \times ۱۰^{-1} = ۳ \times t \Rightarrow t = ۱۰^{-1}\text{s}$$

حالت اول:

سیمپیچ هنوز وارد میدان نشده ($B = ۰$)؛ بنابراین $\varphi_1 = ۰$ است.

حالت دوم:

$$\begin{cases} \varphi = BA \cos \theta \\ A = xL \\ \theta = ۰ \end{cases} \Rightarrow \varphi_2 = BxL$$

$$\xrightarrow{B=۰/\Delta T} \varphi_2 = ۰/۵ \times ۳ \times ۱۰^{-1} \times ۴ \times ۱۰^{-1} = ۶ \times ۱۰^{-۲}\text{Wb}$$

با استفاده از قانون القای فارادی داریم:

$$|\mathcal{E}| = \left| -N \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} \right| = \left| -۲۰ \times \frac{(۶ \times ۱۰^{-۲} - ۰)}{۱۰^{-1}} \right| = ۱۲\text{V}$$

الف) وقتی جریان ۲ A از آن می‌گذرد $I = ۲\text{ A} \leftarrow$
 ب) میدان مغناطیسی $۰/۰۱۲\text{ T}$ داخل آن برقرار می‌شود. $B = ۰/۰۱۲\text{ T} \leftarrow$
 ج) در هر سانتی‌متر سیملوله چند دور سیم لازم است؟ $\leftarrow N = ?$, $L = ۱\text{ cm} = ۱ \times ۱۰^{-۲}\text{ m}$

کافی است از رابطه میدان مغناطیسی سیملوله استفاده کنیم:

$$\begin{cases} B = \mu_0 \frac{N}{L} I \\ \mu_0 = ۱۲ \times ۱۰^{-۶}\text{ T.m/A} \end{cases} \Rightarrow ۰/۰۱۲ = ۱۲ \times ۱۰^{-۶} \frac{N}{۱۰^{-۲}} \times ۲ \Rightarrow N = ۵۰$$

باتوجه به قانون القای الکترومغناطیس فارادی و باتوجه به اینکه در مسئله میدان مغناطیسی تغییر کرده است، داریم:

$$A = \pi r^2 \Rightarrow A = 3 \times (0.1)^2 = 3 \times 10^{-2}$$

$$\varepsilon = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = -N \frac{\Delta B \cdot A \cdot \cos \theta}{\Delta t} \xrightarrow[\cos \theta = 1]{N=1 \text{ یک حلقه}} \varepsilon = -3 \times 10^{-2} \frac{\Delta B}{\Delta t}$$

$$\text{از } 0.1 \text{ تا } 0.15 \Rightarrow \varepsilon_1 = -3 \times 10^{-2} \times \frac{0.15 - 0.1}{0.1 - 0} = -3 \times 10^{-2} \times 0.5 = -0.15$$

$$\text{از } 0.15 \text{ تا } 0.2 \Rightarrow \Delta B = 0 \Rightarrow \varepsilon_2 = 0$$

$$\text{از } 0.2 \text{ تا } 0.3 \Rightarrow \varepsilon_3 = -3 \times 10^{-2} \times \frac{0.3 - 0.2}{0.3 - 0.2} = -3 \times 10^{-2} \times \frac{-0.5}{0.1} = +15 \times 10^{-2} = +0.15$$

که نمودار گزینه "۱" چنین مقادیری را برای نیروی محرکه الکتریکی نشان می‌دهد.

گزینه ۳

۲۰

گام اول

الف) طول سیموله 20 cm است $\leftarrow L = 20 \text{ cm} = 0.2 \text{ m}$

ب) دارای ۲۰۰ حلقه است $\leftarrow N = 200$

ج) اگر از آن جریان الکتریکی ۵ آمپر عبور کند $\leftarrow I = 5 \text{ A}$

د) میدان مغناطیسی در داخل آن چند گاوس می‌شود؟ $\leftarrow B = ?$

گام دوم

میدان مغناطیسی داخل سیموله از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\begin{cases} B = \mu_0 n I \\ n = \frac{N}{L} \\ \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A} \end{cases}$$

$$\Rightarrow B = \mu_0 \frac{N}{L} I = 4\pi \times 10^{-7} \times \frac{200}{0.2} \times 5 = 2 \times 10^{-3} \pi \text{ T}$$

$$\xrightarrow{1 \text{ T} = 10^4 \text{ G}} B = 2 \times 10^{-3} \pi \times 10^4 \text{ G} = 20\pi \text{ G}$$

گزینه ۱

۲۱

گام اول

الف) ذره‌ای به جرم 500 میلی‌گرم با سرعت $10^3 \text{ m/s} \leftarrow v = 10^3 \text{ m/s}$, $m = 500 \text{ mg} = 500 \times 10^{-6} \text{ kg}$

ب) به طور عمود وارد میدان مغناطیسی یکنواخت 4 میلی‌تسلا می‌شود. $\leftarrow \alpha = 90^\circ$, $B = 4 \text{ mT} = 4 \times 10^{-3} \text{ T}$

ج) اگر بار الکتریکی ذره $50 \mu\text{C}$ باشد. $\leftarrow q = 50 \mu\text{C} = 50 \times 10^{-6} \text{ C}$

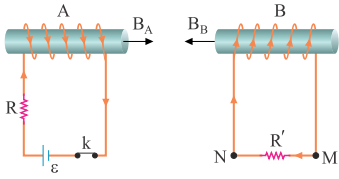
د) شتابی که ذره تحت تأثیر میدان می‌گیرد، چند متر بر مربع ثانیه است؟ $\leftarrow a = ? \text{ m/s}^2$

گام دوم

با استفاده از قانون دوم نیوتن می‌توانیم شتاب را محاسبه کنیم:

$$\begin{cases} F = ma \\ F = qvB \sin \alpha \end{cases} \Rightarrow a = \frac{qvB \sin \alpha}{m} = \frac{50 \times 10^{-6} \times 10^3 \times 4 \times 10^{-3} \times \sin 90^\circ}{500 \times 10^{-6}} = 0.4 \text{ m/s}^2$$

در مدار سیملوله A جریان از قطب مثبت باتری به سمت قطب منفی آن است؛ بنابراین جهت میدان مغناطیسی حاصل از آن (B_A) به سمت راست می‌باشد؛ و اگر جریان القایی از M به N داشته باشیم میدان مغناطیسی آن (B_B) به سمت راست است.



طبق قانون لنز جریان القایی در جهتی ایجاد می‌شود که با تغییر شار مخالفت می‌کند؛ بنابراین اگر میدان مغناطیسی B_A افزایش پیدا کند، B_B ایجاد می‌شود و ما می‌توانیم جریانی از M به N داشته باشیم. با حرکت سیملوله A به سمت راست خطوط میدان در سیملوله B (یا بزرگی میدان به سمت راست) افزایش می‌یابد؛ که باعث ایجاد شدن B_B و جریان M به N در این مدار می‌شود.

گام اول

الف) توان مصرفی مقاومت R برابر ۸ وات است. $P_R = 8 \text{ W}$

ب) اگر سیملوله در هر متر ۳۰ دور حلقه داشته باشد. $n = 30$

ج) میدان مغناطیسی داخل سیملوله و روی محور آن چند تسلا است؟ $B = ? \text{ T}$

گام دوم

کافی است از توان مقاومت R، جریان الکتریکی مدار را محاسبه کنیم و با استفاده از جریان مدار میدان مغناطیسی را محاسبه کنیم.

$$P = RI^2 \Rightarrow 8 = 2 \times I^2 \Rightarrow I = 2 \text{ A}$$

بنابراین میدان برابر است با:

$$B = \mu_0 n I \xrightarrow[\pi=3.14]{\mu_0=4\pi \times 10^{-7} \text{ T.m/A}} B = 4\pi \times 10^{-7} \times 30 \times 2 = 2/4 \times 10^{-5} \text{ T}$$

گام اول

الف) پیچهای دارای ۲۰۰ حلقه است $N = 200$

ب) آهنگ تغییر شار مغناطیسی برابر با مقدار ثابت ۰/۵ وبر بر ثانیه است $\frac{d\Phi}{dt} = 0.5 \text{ Wb/s}$

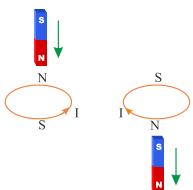
ج) نیروی محرکه القایی ایجاد شده در پیچه چند ولت است $\mathcal{E} = ?$

گام دوم

باتوجه به قانون القای فارادی برای پیچهای با N دور داریم:

$$\mathcal{E} = -N \frac{d\Phi}{dt} \Rightarrow |\mathcal{E}| = | -200 \times 0.5 | = 100 \text{ V}$$

طبق قانون لنز جریان القایی در جهتی است که با عامل تغییر شار مغناطیسی گذرنده از حلقه مسی عنی با ورود و خروج آهنربا مخالفت کند. وقتی آهنربا به حلقه مسی نزدیک می‌شود، شار عبوری از حلقه افزایش می‌یابد بنابراین جریان القایی در حلقه در جهت پادساعتگرد ایجاد می‌شود تا میدان ناشی از آن در جهت مخالف با میدان آهنربا باشد و آن را تضعیف کند. وقتی آهنربا از حلقه مسی دور می‌شود، جریان القایی ساعتگرد در حلقه ایجاد می‌شود تا میدان مغناطیسی ناشی از آن با در جهت میدان آهنربا باشد و مانع از تضعیف آن شود.

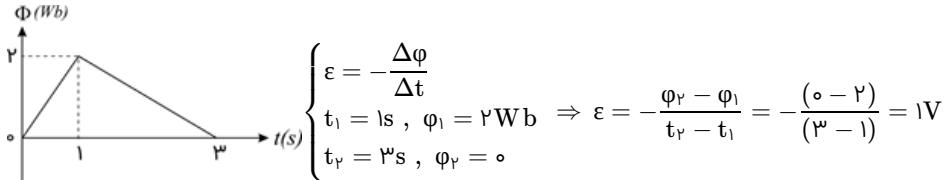


$$\varepsilon = N \frac{\Delta \varphi}{\Delta t}$$

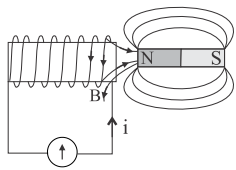
$$IR = N \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} \Rightarrow \frac{\Delta q}{\Delta t} R = N \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} \Rightarrow \Delta q \times R = N \Delta \varphi$$

$$\Delta q \times 10 = 200 \times 0.05 \Rightarrow \Delta q = 1 \text{ C}$$

نیروی محرکه القایی، $\varepsilon = -N \frac{d\varphi}{dt}$ وابسته به شیب نمودار $\varphi - t$ است. باتوجه به ثابت بودن شیب در بازه ۱ تا ۳، کافی است نیروی محرکه القایی را در این بازه به دست بیاوریم.



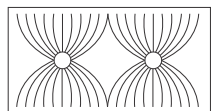
باتوجه به قانون لنز جریان القایی درجهتی است که با تغییر شار مخالفت می کند. در اینجا تغییر شار وابسته به تغییر میدان مغناطیسی است. بر روی محور اصلی سیمپیچ، میدان مغناطیسی حاصل از جریان القایی سیمپیچ طبق قاعده دست راست به سمت راست است؛ و از مقایسه جهت این B القایی با جهت B آهنربا، طبق قانون لنز نتیجه می گیریم که می بایست آهنربا در حال نزدیک شدن به سیمپیچ بوده (آهنربا به سمت چپ حرکت کرده) و یا سیمپیچ در حال نزدیک شدن به آهنربا بوده (سیمپیچ به سمت راست حرکت کرده)، که چنین جریان القایی و به تبع آن چنین میدان مغناطیسی القایی را ایجاد شده است.



$$\bar{\varepsilon} = -N \frac{\Delta \phi}{\Delta t} \Rightarrow \bar{\varepsilon} = -60 \left(\frac{4 \times 10^{-3} \cos \pi - 4 \times 10^{-3} \cos\left(\frac{\pi}{2}\right)}{\frac{1}{100} - \frac{1}{200}} \right) = -60 \left(\frac{-4 \times 10^{-3} - 0}{\frac{1}{200}} \right)$$

$$\Rightarrow \bar{\varepsilon} = 48 \text{ V}$$

از آنجاکه دو قطب آهنربا همنام هستند، خطوط میدان آن ها به صورت زیر است:



گام اول

الف) پیچه‌ای با ۴۰۰ دور سیم، مقاومت ۳ اهمی دارد ← $N = 400, R = 3\Omega$

ب) مقطع این پیچه عمود بر میدان مغناطیسی که مساحت 2×10^{-2} مترمربع دارد ← $\alpha = 90^\circ, A = 2 \times 10^{-2} m^2$

ج) این میدان با چه آهنگی برحسب $\frac{dB}{dt} = ? T/s$ تغییر کند ← $\frac{dB}{dt} = ? T/s$ تسلا ثانیه

د) تا جریانی به شدت ۴ میلی‌آمپر در پیچه به وجود آید ← $I = 4mA = 4 \times 10^{-3} A$

گام دوم

از قانون القای الکترومغناطیسی فارادی می‌دانیم:

$$\varepsilon = IR = -N \frac{d\phi}{dt} \quad (1)$$

شار مغناطیسی که از یک پیچه می‌گذرد، برابر است با:

$$\phi = AB \cos \alpha \Rightarrow \frac{d\phi}{dt} = \frac{dB}{dt} \times A \cos \alpha \quad (2)$$

بنابراین:

$$(1), (2) \Rightarrow IR = -N \frac{dB}{dt} \times A \cos \alpha \Rightarrow \frac{dB}{dt} = -\frac{IR}{N A \cos \alpha}$$

$$\Rightarrow \frac{dB}{dt} = -\frac{4 \times 10^{-3} \times 2 \times 10^{-2} \times 1}{400 \times 2 \times 10^{-2} \times 1} = \frac{2}{1} \times 10^{-3} T/s$$

$$\bar{\varepsilon} = -N \frac{\Delta \phi}{\Delta t} = -10^3 \times \frac{|\Delta \vec{B}| A \cos \theta}{\Delta t}$$

$$|\bar{\varepsilon}| = \left| -10^3 \times \frac{(0/0.4 - (-0/0.4)) \times 50 \times 10^{-4} \times 1}{0/0.1} \right| = 40 V$$

روش ساده و کوتاه: چون جریان سیم‌ها خلاف جهت هم هستند، بنابراین در نقاط بین دو سیم میدان‌ها باهم جمع می‌شوند. همچنین چون نقطه C به سیم حامل جریان قوی‌تر نزدیک‌تر است، میدان در این نقطه قوی‌تر از میدان در نقطه B است. تنها گزینه‌ای که می‌تواند درست باشد گزینه ۴ است.

$$B_C > B_B$$

گام اول

الف) شدت جریان عبوری از سیم‌لوله را ۴ برابر کنیم. ← $\frac{I_2}{I_1} = 4$

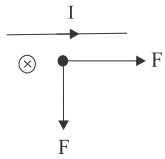
ب) میدان مغناطیسی ایجادشده در داخل آن چندبرابر می‌شود؟ ← $\frac{B_2}{B_1} = ?$

گام دوم

میدان سیم‌لوله را از رابطه $B = \mu_0 n I$ به دست می‌آوریم:

$$\frac{B_2}{B_1} = \frac{\mu_0 n I_2}{\mu_0 n I_1} = 4$$

ابتدا با استفاده از قاعده دست راست جهت میدان مغناطیسی را مشخص می‌کنیم، اگر شست دست راست هم‌جهت با جریان سیم باشد جهت خم شدن چهار انگشت دست، جهت خطوط میدان مغناطیسی را در اطراف سیم نشان می‌دهد؛ بنابراین میدان درون‌سو است. برای تعیین جهت نیروی وارد بر ذره متحرک نیز از قاعده دست راست استفاده می‌کنیم؛ به گونه‌ای که چهار انگشت دست راست درجهت \vec{v} باشد و کف دست عمود بر راستای میدان مغناطیسی باشد، شست دست جهت نیرو را نشان می‌دهد (به سمت بالا) که باتوجه به منفی بودن بار الکتریکی ذره، جهت آن را باید درجهت عکس بردار نیروی به دست آمده در نظر بگیریم؛ یعنی به سمت پایین است.



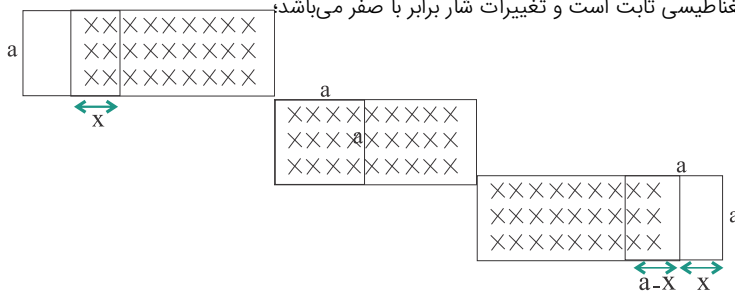
باتوجه به نمودار می‌دانیم انرژی سیملوله در جریان ۳ آمپر برابر است با ۰/۰۲۷ ژول؛ بنابراین:

$$\begin{cases} U = \frac{1}{2} LI^2 \\ I = 3A, U = 0.027J \end{cases} \Rightarrow 0.027 = \frac{1}{2} \times L \times 9 = 2 \times 27 \times 10^{-3} = L \times 9 \Rightarrow L = 6 \times 10^{-3} H = 6mH$$

جریان الکتریکی را در هریک از بازه‌های داده شده به دست می‌آوریم.

در بازه ۰ تا T (زمان رسیدن حلقه به ابتدای ناحیه تا لحظه‌ای که تمام حلقه وارد آن می‌شود): در مدت ورود حلقه به میدان، شار گذرا از حلقه افزایش می‌یابد، بنابراین لازم است جهت جریان القایی پادساعت‌گرد و در جهت مثبت مثلثاتی باشد تا میدانی برونسو القا کرده و با آثار مغناطیسی‌ای که تولید می‌کند، با تغییر شار مغناطیسی یعنی عامل به وجود آورنده جریان مخالفت کند، بنابراین جریان در این بازه ثابت و مثبت است.

از طرفی در بازه T تا $2T$ (زمان رسیدن حلقه از ابتدای ناحیه تا انتهای آن) میدان مغناطیسی ثابت است و تغییرات شار برابر با صفر می‌باشد؛ بنابراین جریان القایی نیز برابر با صفر است. بازه $2T$ تا $3T$:



این بازه برعکس بازه اول است و جریان در آن ثابت و منفی است.

بازه $3T$ تا $4T$ (لحظه‌ای که حلقه به صورت کامل از ناحیه خارج شده):

در این بازه تغییرات شار برابر با صفر است و جریانی القایی در آن ایجاد نمی‌شود. بنابراین گزینه ۱ صحیح است.

گام اول

(الف) شعاع مقطع سیملوله‌ای ۲cm و طول آن ۱۰cm است $\leftarrow r = 2cm = 0.02m, l = 10cm = 0.1m$

(ب) تعداد دورهای سیملوله ۱۰۰ دور است $\leftarrow N = 100$

(ج) جریان ۱۰A از آن عبور می‌کند $\leftarrow I = 10A$

(د) انرژی ذخیره شده در سیملوله چند میلی‌ژول است؟ $\leftarrow U = ?mJ$

گام دوم

انرژی ذخیره شده در سیملوله از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\begin{cases} U = \frac{1}{2} LI^2 \\ L = \frac{\mu_0 N^2 A}{l} \\ \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} T.m/A \\ A = \pi r^2, \pi = 3 \end{cases} \Rightarrow U = \frac{1}{2} \left(\frac{\mu_0 N^2 A}{l} \right) I^2 = \frac{1}{2} \times \frac{4\pi \times 10^{-7} \times (100)^2 \times \pi (2 \times 10^{-2})^2}{0.1} \times 10^2$$

$$\Rightarrow U = 4\pi^2 \times 10^{-7} \times 10^4 \times 10^{-4} \times 10^3 = 4\pi^2 \times 10^{-4} J = 4\pi^2 mJ$$

الف) تعداد حلقه‌های پیچیده مسطحی با تعداد حلقه‌های یک سیمولوه برابر است. \leftarrow پیچه $N = N$ سیمولوه

ب) از آن‌ها جریان الکتریکی یکسان می‌گذرد. \leftarrow پیچه $I = I$ سیمولوه

ج) میدان مغناطیسی یکنواخت ایجاد شده در داخل سیمولوه برابر با میدان مغناطیسی در مرکز پیچه است. \leftarrow سیمولوه $B = B$ پیچه

د) طول سیمولوه چندبرابر قطر پیچه است؟ \leftarrow $\frac{L}{2R} = ?$

$$B_{\text{پیچه}} = B_{\text{سیمولوه}} \Rightarrow \mu_0 \frac{N I_{\text{پیچه}}}{L}$$

$$= \mu_0 \frac{N I_{\text{سیمولوه}}}{2R} \Rightarrow \frac{L}{2R} = 1$$

اگر انگشت شست دست راست را در جهت میدان مرکز حلقه قرار دهیم، جهت بسته شدن چهار انگشت، جهت جریان حلقه را نشان می‌دهد. همچنین اندازه میدان مغناطیسی داخل حلقه بزرگ‌تر از بیرون حلقه است.

جریان القایی طبق قانون لنز درجهتی است که با تغییر شار مخالفت می‌کند.

بنابوجه اینکه در صورت سؤال گفته شده جهت جریان القایی در مقاومت R' از C به D است؛ بنابراین میدان در سیمولوه B (B_B) به سمت راست است.

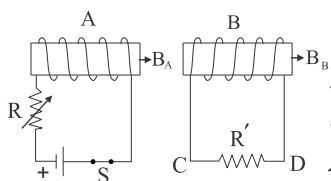
اگر کلید S در مدار سیمولوه A بسته باشد، جریان از قطب مثبت باتری به سمت قطب منفی آن است؛ بنابراین میدان مغناطیسی حاصل از جریان سیمولوه A (B_A) به سمت راست است. بنا بر قانون لنز، برای اینکه B_B ایجاد شود باید B_A کاهش یابد؛ پس گزینه‌های سؤال را بررسی می‌کنیم:

گزینه "۱": در این وضعیت لزوماً باید جریانی در مدار سیمولوه B ایجاد می‌شد که با افزایش میدان B_A و در نتیجه افزایش شار عبوری در مدار سیمولوه B، مخالفت کند که در این صورت انتظار داشتیم جریان القایی در مدار سیمولوه B از D به طرف C باشد که با صورت سؤال در تناقض است؛ پس گزینه "۱" نادرست است.

گزینه "۲": تأثیر این وضعیت مشابه گزینه "۱" خواهد بود؛ زیرا در این حالت نیز با کاهش مقاومت، شدت جریان مدار سیمولوه A افزایش یافته و در نتیجه میدان B_A و شار عبوری در محل سیمولوه B افزایش می‌یابد و در نهایت جهت جریان القایی در مدار سیمولوه B از D به طرف C خواهد شد؛ پس گزینه "۲" نادرست است.

گزینه "۳": در این حالت با قطع کلید، جریان و در نتیجه میدان سیمولوه A رو به کاهش است؛ بنابراین میدان B_A و شار عبوری در مدار سیمولوه B کاهش می‌یابد. به این ترتیب طبق قانون لنز جریان القایی در مدار سیمولوه B باید به گونه‌ای باشد که با این کاهش میدان و شار مخالفت کند؛ یعنی میدان B_A را تقویت کند پس B_B نیز هم جهت با B_A خواهد بود و لذا جریان در مدار سیمولوه B از C به طرف D خواهد بود؛ پس گزینه "۳" صحیح است.

گزینه "۴": این حالت معکوس حالت گزینه "۳" است. با وصل کلید میدان B_A و شار گذرنده از مدار سیمولوه B افزایش می‌یابد و مشابه گزینه‌های ۱ و ۲ در نهایت جهت جریان القایی در مدار سیمولوه B از D به طرف C خواهد شد؛ پس گزینه "۴" نادرست است.



روش حل دیگر:

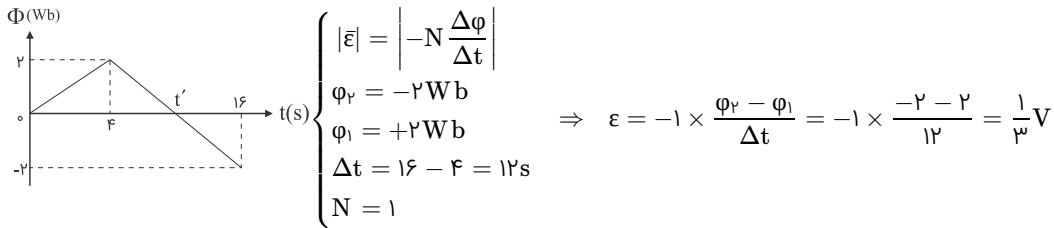
وقتی در مدار سمت چپ، کلید وصل می‌شود جریان در مدار برقرار می‌شود و سیمولوه A یک میدان مغناطیسی در جهت راست ایجاد می‌کند (B_A) و این میدان در محل سیمولوه B، باعث می‌شود شارژ مغناطیسی گذرنده از سیمولوه B تغییر می‌کند (افزایش می‌یابد)، طبق قانون لنز در سیمولوه B یک جریان القایی ایجاد می‌شود که میدان مغناطیسی القایی ناشی از آن با عامل به وجود آورنده تغییر

شار، مخالفت می‌کند؛ بنابراین میدان B_B باید در خلاف جهت میدان B_A باشد که طبق قانون دست راست جهت جریان القایی در مدار سمت راست از D به C می‌شود.

در ادامه پس از اینکه جریان کاملاً در مدار سمت چپ پایدار شد و به مقدار ثابتی رسید، دیگر شار عبوری از سیمولوه سمت راست تغییر نمی‌کند و لذا جریان القایی در مدار سمت راست از بین رفته و صفر می‌شود.

وقتی کلید در مدار سمت چپ قطع می‌شود؛ معکوس اتفاقاتی که در وصل کلید توضیح دادیم، رخ می‌دهد؛ یعنی میدان ناشی از سیمولوه A در محل سیمولوه B از یک مقدار ثابتی که وجود دارد با قطع کلید ناگهان صفر می‌شود؛ به این ترتیب شار عبوری از سیمولوه سمت راست کاهش می‌یابد و طبق قانون لنز جریان القایی به گونه‌ای در مدار سمت راست برقرار می‌شود که با عامل تغییر شار مخالفت کند یعنی میدان مغناطیسی B_B هم جهت با میدان B_A باشد؛ بنابراین جریان در مدار سمت راست از C به D خواهد بود.

بزرگی نیروی محرکه القایی در هر لحظه برابر $|\mathcal{E}| = \left| -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right|$ است؛ بنابراین متناسب با شیب نمودار $\Phi - t$ می‌باشد. باتوجه به اینکه شیب نمودار در بازه زمانی $4 < t' < 16$ ثابت است؛ کافی است نیروی محرکه القایی متوسط را در بازه زمانی ۴ تا ۱۶ به دست بیاوریم.



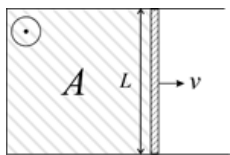
با استفاده از دست چپ، طبق قاعده دست راست گزینه "۳" درست است. البته در صورت سؤال باید ذکر می‌شد که جهت بردار سرعت کدام می‌تواند باشد.

گام اول

الف) میله رسانایی به طول $L = 25 \text{ cm} = 0.25 \text{ m}$ ←
 ب) در صفحه‌ای عمود بر میدان مغناطیسی یکنواخت $B = 0.08 \text{ T}$ ←
 ج) با سرعت ثابت 12 m/s حرکت می‌کند ←
 د) نیروی محرکه القایی چند ولت است ← $\mathcal{E} = ?$

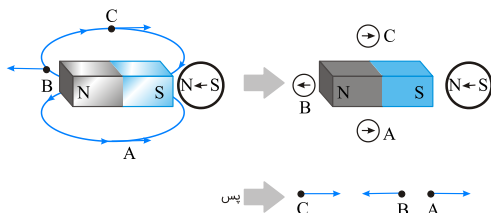
گام دوم

بزرگی نیروی محرکه القایی میله رسانایی که در میدان مغناطیسی یکنواخت، با سرعت ثابت در حال حرکت است از رابطه زیر به دست می‌آید.



$$|\mathcal{E}| = | -BLv \sin \alpha | = | -0.08 \times 0.25 \times 12 \times 1 | = 0.24 \text{ V}$$

جهت میدان مغناطیسی در خارج آهنربا از N خارج و به S وارد می‌شود و در هر نقطه میدان مغناطیسی مماس بر مسیر است، پس:



بنابراین گزینه "۱" صحیح است.

بزرگی نیروی محرکه متوسط از رابطه $\bar{\mathcal{E}} = \left| \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right|$ به دست می‌آید که در نمودار $\Phi - t$ برابر است با شیب نمودار. در بازه‌های داده‌شده در گزینه‌های تست شیب در بازه ۵ تا ۵ بیشترین مقدار را دارد.

$$B_1 = 0/1T$$

$$B_2 = -0/1T$$

$$\Delta t = 0/25s$$

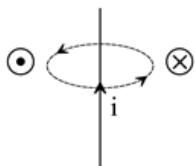
$$A = 100cm^2 \times 10^{-6} = 10^{-2}m^2$$

$$\varepsilon = -N A \cos \theta \frac{\Delta B}{\Delta t}$$

$$\varepsilon = -1 \times 10^{-2} \times 1 \frac{-0/1 - 0/1}{0/25} = 4 \times 10^{-3}V$$

$$\varepsilon = 4 \times 10^{-3} \times 10^3 = 4mV$$

اگر انگشت شست درجهت جریان الکتریکی باشد، جهت خم شدن چهار انگشت دست، جهت خطوط میدان مغناطیسی در اطراف سیم را نشان می‌دهد، بنابراین:



گام اول

الف) سیم‌لوله‌ای به طول ۲۰ سانتی‌متر دارای ۱۰۰ حلقه است $\leftarrow L = 20cm = 0/2m, N = 100$

ب) حلقه‌ها به دور یک میله آهنی به شعاع مقطع ۲cm و به تراوایی مغناطیسی ۳۰۰ پیچیده شده‌اند $\leftarrow k = 300$

ج) وقتی جریان ۰/۵A از سیم‌لوله می‌گذرد $\leftarrow I = 0/5A$

د) شار مغناطیسی گذرنده از آن چند وبر است؟ $\leftarrow \Phi = ?$

گام دوم

میدان مغناطیسی حاصل از سیم‌لوله برابر است با:

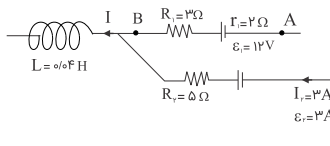
$$B = \mu_0 k \frac{N}{L} I \xrightarrow{\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} Tm/A} B = 4\pi \times 10^{-7} \times \frac{300 \times 100 \times 0/5}{0/2} = 3\pi \times 10^{-2} T$$

میدان درون سیم‌لوله یکنواخت بوده و بر سطح مقطع سیم‌لوله عمود است (زاویه بین میدان و خط عمود بر صفحه برابر صفر است)؛ شار مغناطیسی عبوری از سیم‌لوله را محاسبه می‌کنیم:

$$\begin{cases} \Phi = BA \cos \theta \\ A = \pi r^2 \\ \theta = 0 \\ \pi^2 \simeq 10 \end{cases} \Rightarrow \Phi = 3\pi \times 10^{-2} \times \pi (2 \times 10^{-2})^2 \times 1 = 12 \times \pi^2 \times 10^{-6} \Rightarrow \Phi \simeq 12 \times 10^{-6} Wb$$

$$v_A - v_B = \mathcal{E}$$

وقتی از پایانه مثبت به پایانه منفی باتری می‌رویم، پتانسیل به اندازه نیرو محرکه کم می‌شود و اگر از مقاومت در جهت جریان عبور کنیم، پتانسیل به اندازه IR کم می‌شود.



$$v_A - I_1 r_1 + \mathcal{E}_1 - I_1 R_1 = v_B \Rightarrow \underbrace{v_A - v_B}_{-\mathcal{E}} - I_1 \times 2 + 12 - I_1 \times 3 = 0$$

$$\mathcal{E}_2 = 3A - \mathcal{E}_1 + 12 = I_1 \times (5) \Rightarrow I_1 = \frac{10}{5} = 2A$$

طبق قانون شدت جریان داریم:

$$I = I_1 + I_2 = 3 + 2 = 5A$$

انرژی ذخیره شده در سیم‌لوله عبارت است از:

$$U = \frac{1}{2} L I^2 \Rightarrow U = \frac{1}{2} \times 0.04 \times 5^2 = 0.5J$$

باتوجه به ثابت بودن مساحت سطح حلقه و زاویه بین میدان و سطح داریم:

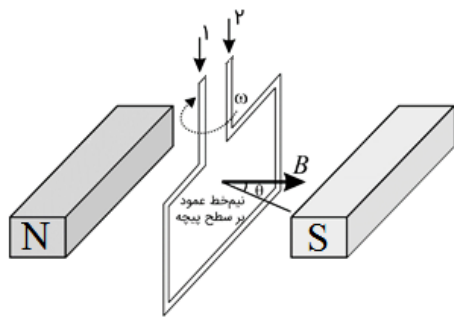
$$\mathcal{E} = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = -N A \frac{\Delta B}{\Delta t}$$

$\frac{\Delta B}{\Delta t}$ در نمودار $B - t$ برابر با شیب خط است:

$$\text{شیب خط} = \frac{\Delta B}{\Delta t} = -\frac{0/\lambda}{40 \times 10^{-3}} = \frac{-100}{40} = 2.5 T/s$$

حالا نیرو محرکه القایی را محاسبه می‌کنیم:

$$\mathcal{E} = -500 \times 40 \times 10^{-3} \times 2.5 \Rightarrow \mathcal{E} = 40V$$



باتوجه به قانون لنز با چرخش پیچ شار مغناطیسی عبوری از پیچ کاهش می‌یابد؛ بنابراین جریان القایی مدار در جهت افزایش شار مغناطیسی (یا میدان مغناطیسی) به وجود می‌آید. بنا بر قاعده دست راست، اگر شست دست را در راستای میدان مغناطیسی قرار دهیم؛ چهار انگشت دست جهت جریان را نشان می‌دهد؛ بنابراین جریان در جهت ۱ است. باتوجه به رابطه نیروی محرکه متناوب داریم: $\mathcal{E} = \mathcal{E}_m \sin \omega t$

که در اینجا $\theta = \omega t$ در حال افزایش است و $\sin \omega t$ به ۱ نزدیک می‌شود؛ بنابراین \mathcal{E} افزایش می‌یابد.

الف) حلقه‌ای به مساحت ۲۰۰ سانتی‌مترمربع $\leftarrow A = 200 \text{ cm}^2 = 2 \times 10^{-2} \text{ m}^2$, $N = 1$

ب) حلقه عمود بر خطوط میدان مغناطیسی یکنواخت قرار دارد $\leftarrow \alpha = 0$

ج) در مدت ۰/۰۲ ثانیه $\leftarrow \Delta t = 0/02 \text{ s}$

د) اگر میدان مغناطیسی بدون تغییر جهت به اندازه ۰/۰۸ تسلا کاهش یابد $\leftarrow \Delta B = -0/08 \text{ T}$

هـ) نیروی محرکه القایی متوسط در حلقه چند ولت می‌شود $\leftarrow \varepsilon = ?$

کافی است $\Delta \varphi$ را محاسبه کنیم؛ تا با استفاده از رابطه $\left| \vec{\varepsilon} \right| = \left| -N \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} \right|$ نیروی محرکه مولد را به دست بیاوریم.

$$\begin{cases} \Delta \varphi = \varphi_2 - \varphi_1 \\ \varphi = BA \cos \alpha \end{cases} \xrightarrow{\alpha=0} \Delta \varphi = B_2 A - B_1 A = (B_2 - B_1) A = \Delta B \cdot A$$

$$\Rightarrow \Delta \varphi = -8 \times 10^{-2} \times 2 \times 10^{-2} = -16 \times 10^{-4} \text{ Wb}$$

$$\begin{cases} |\vec{\varepsilon}| = \left| -N \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} \right| \\ \Delta \varphi = -16 \times 10^{-4} \text{ Wb} \end{cases} \Rightarrow |\vec{\varepsilon}| = \left| -1 \times \frac{-16 \times 10^{-4}}{2 \times 10^{-2}} \right| = 0/08 \text{ V}$$

اگر میله رسانای MN را از حال سکون با شتاب ثابت به سمت چپ ببریم \leftarrow مساحت کاهش می‌یابد؛ بنابراین شار نیز کاهش می‌یابد.

طبق قانون لنز جریان القایی درجهتی ایجاد می‌شود که با تغییر شار مخالفت می‌کند. در اینجا با حرکت میله به سمت چپ تعداد خطوط عبوری میدان مغناطیسی کاهش می‌یابد؛ بنابراین طبق قانون لنز جریان القایی درجهتی به وجود می‌آید که با تغییر شار مخالفت کند یعنی باعث افزایش میدان مغناطیسی بشود؛ یعنی میدان الکترومغناطیسی ناشی از جریان القایی درون سو باشد؛ بنابراین طبق قاعده دست راست جریان القایی از M به N است.

برای بررسی جریان القایی باید نیروی محرکه القایی را بررسی کنیم. برای حرکت میله در میدان مغناطیسی نیروی محرکه برابر است با:

$$\varepsilon = Blv \sin \alpha \Rightarrow \varepsilon \propto v$$

باتوجه به شتابدار بودن حرکت میله، سرعت آن در حال افزایش است؛ بنابراین $\varepsilon (\propto v)$ نیز افزایش می‌یابد. با افزایش ε ، I نیز افزایش می‌یابد $\leftarrow (I = \frac{\varepsilon}{R})$.

الف) با سیم روکش‌داری به طول ۱۰۰ متر $\leftarrow l = 100 \text{ m}$

ب) R چند سانتی‌متر باشد تا اگر جریان $I = 10 \text{ A}$ از پیچه عبور دهیم. $\leftarrow I = 10 \text{ A}$ و $R = ? (\text{cm})$

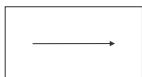
ج) میدان مغناطیسی در مرکز آن $2/5 \times 10^{-3} \text{ T}$ باشد؟ $\leftarrow B = 2/5 \times 10^{-3} \text{ T}$

با استفاده از روابط زیر داریم:

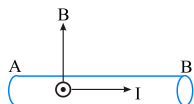
$$\begin{cases} B = \mu_0 \frac{NI}{2R} \\ N = \frac{l}{2\pi R} \end{cases} \Rightarrow B = \mu_0 \frac{lI}{4\pi R^2}$$

$$\Rightarrow 2/5 \times 10^{-3} = 4\pi \times 10^{-7} \times \frac{100 \times 10}{4\pi R^2} \Rightarrow R^2 = \frac{1}{25} \Rightarrow R = \frac{1}{5} \text{ m} = 20 \text{ cm}$$

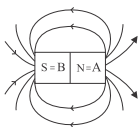
وقتی مادهٔ فرومغناطیس در یک میدان مغناطیسی خارجی قوی قرار می‌گیرد، تمام حوزه‌های مغناطیسی آن با یکدیگر هم‌خط می‌شوند، بنابراین گزینهٔ (۳) صحیح است.



باتوجه به قطب‌های مولد، جهت جریان پادساعتگرد است، باتوجه به جهت میدان مغناطیسی و قانون دست راست جهت نیرو را مشخص می‌کنیم. اگر چهار انگشت دست راست در جهت I و میدان مغناطیسی عمود بر کف دست باشد، انگشت شست جهت نیروی وارد بر میله را نشان می‌دهد که برون‌سو است.



خطوط میدان مغناطیسی حاصل از یک آهن‌ربا، در خارج آهن‌ربا از قطب N به‌طرف قطب S است، بنابراین A ، همان قطب N و B قطب S است، جهت عقربه‌های مغناطیسی به‌گونه‌ای است که قطب N عقربهٔ مغناطیسی در خلاف جهت خطوط میدان مغناطیسی است (یعنی عقربهٔ (۱))؛ بنابراین گزینهٔ ۲ صحیح است.

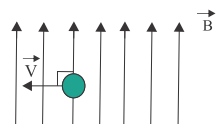


الف) میدان مغناطیسی یکنواخت 0.04 تسلا است. $B = 0.04 \text{ T}$

ب) ذره‌ای با بار $-50 \mu\text{C} \leftarrow -50 \times 10^{-6} \text{ C}$

ج) با سرعت 200 m/s به‌سمت مغرب در حرکت است. $v = 200 \text{ m/s}$ به‌سمت غرب (چپ)

د) نیروی الکترومغناطیسی وارد بر ذره چند نیوتن است و به کدام جهت است؟ $\vec{F} = ?$

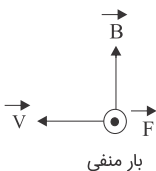


ابتدا نیروی وارد بر ذره را محاسبه می‌کنیم:

$$F = qvB \sin \alpha = 50 \times 10^{-6} \times 200 \times 0.04 \times \sin 90^\circ = 4 \times 10^{-4} \text{ N}$$

باتوجه به اینکه بار ذره منفی است و با استفاده از قانون دست راست جهت بردار نیرو را می‌توانیم تشخیص دهیم.

بنا بر قاعدهٔ دست راست نیروی وارد بر ذره باید درجهت درون‌سو باشد ولی چون بار منفی است جهت \vec{F} به‌سمت بالا (برون‌سو) است.



روش اول:

نیروی مغناطیسی وارد بر ذرهٔ باردار متحرک، طبق رابطهٔ ضرب خارجی زیر به دست می‌آید:

$$\mathbf{F} = q(\mathbf{v} \times \mathbf{B})$$

\downarrow
 ضرب خارجی

پس ابتدا ضرب خارجی دو بردار را می‌یابیم:

$$\begin{aligned} \mathbf{v} \times \mathbf{B} &= \begin{vmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ 10^5 & \sqrt{3} \times 10^5 & 0 \\ \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{1}{2} & 0 \end{vmatrix} = \vec{i}(0 - 0) - \vec{j}(0 - 0) + \vec{k}\left(-\frac{1}{2} \times 10^5 - \frac{3}{2} \times 10^5\right) \\ &= -2 \times 10^5 \vec{k} \Rightarrow |\mathbf{v} \times \mathbf{B}| = 2 \times 10^5 \end{aligned}$$

بنابراین:

$$\mathbf{F} = q_e(\mathbf{v} \times \mathbf{B}) = 1/6 \times 10^{-19} \times 2 \times 10^5 = 3/2 \times 10^{-14}$$

روش دوم:

برای محاسبهٔ نیروی وارد بر ذرهٔ باردار متحرک در میدان مغناطیسی از رابطهٔ $F = qvB \sin \alpha$ استفاده می‌کنیم. در این رابطه به زاویهٔ بین بردارهای سرعت و میدان مغناطیسی نیاز داریم. برای محاسبهٔ این زاویه می‌توانیم از ضرب نقطه‌ای دو بردار کمک بگیریم:

$$\begin{aligned} |\mathbf{v}| &= \sqrt{(1 + 3) \times 10^{10}} = 2 \times 10^5 \\ |\mathbf{B}| &= \sqrt{\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2 + \left(-\frac{1}{2}\right)^2} = 1 \\ \vec{v} \cdot \vec{B} &= |\mathbf{v}| |\mathbf{B}| \cos \alpha \Rightarrow (10^5 \times \frac{\sqrt{3}}{2}) + \left(\sqrt{3} \times 10^5 \times \left(-\frac{1}{2}\right)\right) = 2 \times 10^5 \times 1 \times \cos \alpha \\ &\Rightarrow \underbrace{\left(\frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}\right)}_{=0} \times 10^5 = 2 \times 10^5 \times \cos \alpha \Rightarrow \cos \alpha = 0 \Rightarrow \alpha = 90^\circ \end{aligned}$$

بنابراین:

$$\mathbf{F} = qvB \sin \alpha \Rightarrow F = 1/6 \times 10^{-19} \times 2 \times 10^5 \times \sin 90^\circ = 3/2 \times 10^{-14}$$

گام اول

(الف) سیم‌لوله‌ای به طول ۰/۳ متر \leftarrow ۰/۳ m سیموله L

(ب) دارای ۳۰۰ حلقه است. \leftarrow ۳۰۰ = N سیموله

(ج) پیچهٔ مسطحی با تعداد ۳۰۰ حلقه و به شعاع ۳۰ سانتی‌متر \leftarrow ۰/۳ m = R = ۳۰ cm , N پیچه = ۳۰۰

(د) شدت جریان در هر دو یکسان است. \leftarrow I = پیچه = I سیموله

(هـ) میدان مغناطیسی سیم‌لوله چندانبرابر میدان مغناطیسی در مرکز پیچه است؟ \leftarrow =? $\frac{B_{\text{سیموله}}}{B_{\text{پیچه}}}$

گام دوم

میدان هرکدام را به‌صورت جداگانه محاسبه می‌کنیم:

$$B_{\text{سیموله}} = \mu_0 \frac{N}{L} I = \mu_0 \frac{300}{0/3} I = 10^3 \mu_0 I$$

$$B_{\text{پیچه}} = \mu_0 \frac{NI}{rR} = \frac{\mu_0 \times 300 \times I}{2 \times 0/3} = \frac{1}{2} \times 10^3 \mu_0 I$$

درنتیجه نسبت $\frac{B_{\text{سیموله}}}{B_{\text{پیچه}}}$ برابر است با:

$$\frac{B_{\text{سیموله}}}{B_{\text{پیچه}}} = \frac{10^3 \mu_0 I}{\frac{1}{2} \times 10^3 \mu_0 I} = 2$$

گام اول

الف) ضریب خودالقایی سیملوله A، دو برابر ضریب خودالقایی سیملوله B است ← $\frac{L_A}{L_B} = ۲$
 ب) جریان الکتریکی عبوری از A، دو برابر جریان الکتریکی سیملوله B است ← $\frac{I_A}{I_B} = ۲$
 ج) انرژی ذخیره شده در سیملوله A، چندبرابر انرژی ذخیره شده در سیملوله B است ← $\frac{U_A}{U_B} = ?$

گام دوم

کافی است با استفاده از رابطه انرژی ذخیره شده در القاگر نسبت $\frac{U_A}{U_B}$ را محاسبه کنیم:

$$U = \frac{1}{۲} L I^۲ \Rightarrow \frac{U_A}{U_B} = \frac{\frac{1}{۲} L_A I_A^۲}{\frac{1}{۲} L_B I_B^۲} = \frac{L_A}{L_B} \left(\frac{I_A}{I_B} \right)^۲ = ۲ \times (۲)^۲ = ۸$$

گام اول

الف) انرژی ذخیره شده در سیملوله‌ای با عبور جریان ۲A برابر با ۵/J است ← $U = ۵/J$, $I = ۲A$
 ب) ضریب خودالقایی سیملوله چند هانری است؟ ← $L = ?H$

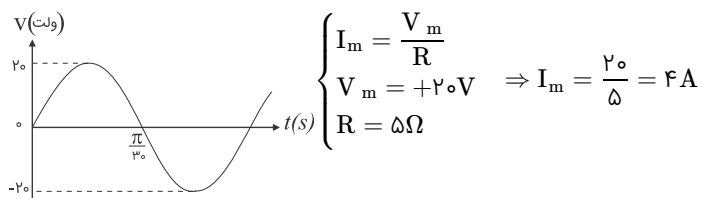
گام دوم

با استفاده از رابطه انرژی ذخیره شده القاگر می‌توانیم ضریب خودالقایی سیملوله را به دست آوریم:

$$U = \frac{1}{۲} L I^۲ \Rightarrow ۵/J = \frac{1}{۲} \times L \times (۲)^۲ \Rightarrow L = \frac{1}{۲ \times ۵} = ۰/۵ H$$

معادله شدت جریان به صورت $I = I_m \sin \omega t$ می‌باشد؛ بنابراین کافی است I_m و ω را به دست بیاوریم.

باتوجه به نمودار می‌توانیم T و V_m را به دست بیاوریم.



ω برابر است با:

$$\begin{cases} \omega = \frac{۲\pi}{T} \\ \frac{T}{۲} = \frac{\pi}{\omega_0} \Rightarrow T = \frac{\pi}{1\omega} s \end{cases} \Rightarrow \omega = \frac{۲\pi}{T} = \frac{۲\pi}{\frac{\pi}{1\omega}} = ۳ \times rad/s$$

بنابراین معادله شدت جریان برابر است با:

$$I = I_m \sin \omega t \xrightarrow{I_m=۴A, \omega=۳ \times rad/s} I = ۴ \sin ۳ \times \omega t$$

گام اول: جریان گذرنده از سیملوله را محاسبه می‌کنیم:

$$U = \frac{1}{\gamma} LI^2 \Rightarrow \frac{F}{10} = \frac{1}{\gamma} \times \frac{5}{100} I^2 \Rightarrow I^2 = 16 \Rightarrow I = 4 \text{ A}$$

گام دوم: از رابطه $B = \mu_0 \frac{N}{L} I$ میدان درون سیملوله را به دست می‌آوریم:

$$B = \mu_0 \frac{N}{L} I = 12 \times 10^{-7} \times \frac{100}{8 \times 10^{-2}} \times 4 = 6 \times 10^{-3} \text{ T} = 60 \text{ G}$$

گام اول

الف) سیملوله‌ای به ضریب خودالقایی 5 میلی‌هانری $L = 5 \text{ mH} = 5 \times 10^{-3} \text{ H}$ ←

ب) جریان 8 میلی‌آمپر عبور می‌کند $I = 8 \text{ mA} = 8 \times 10^{-3} \text{ A}$ ←

ج) انرژی ذخیره‌شده در سیملوله چند میلی‌ژول است $U = ? \text{ mJ}$ ←

گام دوم

کافی است از رابطه انرژی ذخیره‌شده در القاگر استفاده کنیم.

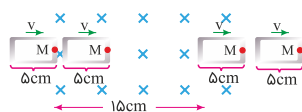
$$U = \frac{1}{\gamma} LI^2 = \frac{1}{\gamma} \times 5 \times 10^{-3} \times (8 \times 10^{-3})^2 = \frac{1}{\gamma} \times 5 \times 10^{-3} \times 64 \times 10^{-6} = 1/6 \times 10^{-7} \text{ J} = 1/6 \times 10^{-4} \text{ mJ}$$

$$F = BIL \sin \alpha$$

$$[N] = [T][A][m] \Rightarrow [T] = \frac{[N]}{[A][m]}$$

مواد فرومغناطیس به دو دسته تقسیم می‌شوند: فرومغناطیس سخت و نرم. در مواد فرومغناطیس سخت حجم حوزه‌های مغناطیسی به‌سختی تغییر می‌کند و همچنین پس از خروج از میدان مغناطیسی خارجی حجم این حوزه‌ها به حالت اول برنمی‌گردد مانند فولاد. به همین دلیل از این مواد برای ساختن آهنربای دائمی استفاده می‌شود. در مواد فرومغناطیس نرم حجم حوزه‌های مغناطیسی به‌راحتی تغییر می‌کند و پس از خروج از میدان مغناطیس خارجی مجدداً به حالت اولیه برمی‌گردد؛ مانند آهن. از این مواد برای ساختن آهنربای موقت استفاده می‌شود.

برای ساده‌تر شدن بررسی حرکت قاب بهتر است یک ذره جلوی قاب مثل M را در نظر بگیریم:

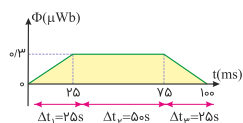


$$\Delta t_1 = \frac{L}{V} = \frac{5 \times 10^{-2} \text{ m}}{2 \text{ m/s}} = 2/5 \times 10^{-2} \text{ s} = 25 \text{ ms}$$

$$\Delta t_2 = \frac{(15 - 5) \times 10^{-2} \text{ m}}{2 \text{ m/s}} = 5 \times 10^{-2} \text{ s} = 50 \text{ ms}$$

$$\Delta t_3 = \frac{5 \times 10^{-2} \text{ m}}{2 \text{ m/s}} = 2/5 \times 10^{-2} \text{ s} = 25 \text{ ms}$$

$$\phi_{\max} = BA = 2 \times 10^{-2} \times (3 \times 5) \times 10^{-2} = 30 \times 10^{-4} \text{ Wb} = 3 \mu \text{Wb}$$



$$\varepsilon \downarrow \text{ (ولت (V))} = - \left(\begin{array}{c} \downarrow N \\ \text{تعداد حلقه‌ها (بدون یکا)} \end{array} \right) \left(\begin{array}{c} \uparrow W_b \\ \downarrow \frac{\Delta \phi}{\Delta t} \\ s \end{array} \right)$$

گام اول

الف) سیم راست که از آن جریان 5 A می‌گذرد. $I = 5 \text{ A} \leftarrow$ ب) در یک میدان مغناطیسی یکنواخت 0.02 T تسلا قرار دارد. $B = 0.02 \text{ T} \leftarrow$ ج) اگر راستای سیم با خطوط میدان زاویه 30° درجه بسازد: $\alpha = 30^\circ \leftarrow$ د) نیرویی که از طرف میدان بر هر سانتی‌متر از سیم وارد می‌شود، چند نیوتن است؟ $F = ?$, $L = 1 \text{ cm} = 0.01 \text{ m}$

گام دوم

با استفاده از رابطه زیر داریم:

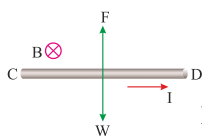
$$F = ILB \sin \alpha = 5 \times 0.01 \times 0.02 \times \sin 30^\circ = 5 \times 10^{-5} \text{ N}$$

هنگامی از طرف میله به فلزها نیرو وارد نمی‌شود که نیروی مغناطیسی وارد بر میله وزن آن را خنثی کند.

با روش دست راست جهت جریان در میله را تعیین می‌کنیم.

پس جهت جریان از C به D است.

حال اندازهٔ جریان را محاسبه می‌کنیم:



$$F = mg \Rightarrow BIL \sin \alpha = mg \Rightarrow 0.02 \times I \times 0.08 = 0.16 \times 10 \Rightarrow I = 5 \text{ A}$$

گام اول: زمان داده‌شده روی نمودار برابر با $\frac{\Delta T}{4}$ است. پس T برابر است با:

$$\frac{\Delta T}{4} = \frac{1}{320} \Rightarrow T = \frac{1}{80} \text{ s}$$

گام دوم: معادلهٔ جریان متناوب را با استفاده از $I = I_m \sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right)$ می‌نویسیم:

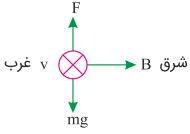
$$I = 5\sqrt{2} \sin\left(\frac{2\pi}{\frac{1}{80}}t\right) = 5\sqrt{2} \sin(160\pi t)$$

گام سوم: در معادله به جای t ، لحظهٔ $\frac{1}{320} \text{ s}$ را قرار می‌دهیم:

$$I = 5\sqrt{2} \sin(160\pi t) = 5\sqrt{2} \sin\left(160\pi \times \frac{1}{320}\right)$$

$$\Rightarrow I = 5\sqrt{2} \sin\left(\frac{\pi}{2}\right) = 5\sqrt{2} \times \frac{\sqrt{2}}{2} = 5 \text{ A}$$

ابتدا جهت میدان را تعیین می‌کنیم:



میدان مغناطیسی به سمت شرق است.

$$F = mg \Rightarrow |q| v B = mg$$

$$\Rightarrow 50 \times 10^{-6} \times 2/5 \times 10^3 \times B = 5 \times 10^{-3} \times 10 \Rightarrow B = 0.4 \text{ T}$$

گام اول

الف) از پیچه مسطحی به شعاع ۱۰ سانتی‌متر $r = 10 \text{ cm} = 0.1 \text{ m}$

ب) پیچه مسطح از ۲۵۰ دور سیم نازک درست شده است. $N = 250$

ج) جریان ۸ آمپر می‌گذرد. $I = 8 \text{ A}$

د) میدان مغناطیسی در مرکز پیچه چند گاوس است؟ $B = ? \text{ G}$

گام دوم

میدان مغناطیسی برای یک پیچه از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\left\{ \begin{array}{l} B = \frac{\mu_0 N I}{2r} \\ \mu_0 = 12 \times 10^{-7} \text{ T.m/A} \end{array} \right. \Rightarrow B = \frac{12 \times 10^{-7} \times 250 \times 8}{2 \times 0.1} = 12 \times 10^{-3} \text{ T} \Rightarrow B = 12 \times 10^{-3} \text{ T} \xrightarrow{1 \text{ T} = 10^4 \text{ G}} B = 12 \times 10^{-3} \times 10^4 = 120 \text{ G}$$

با حرکت میله فلزی و به دلیل افزایش سطح حلقه، شار مغناطیسی تغییر می‌کند. چون میدان مغناطیسی در سطح حلقه یکنواخت است، پس می‌توانیم شار مغناطیسی را از رابطه $\Phi = BA \cos \theta$ محاسبه کنیم. از طرفی زاویه نیم‌خط عمود بر سطح حلقه با جهت میدان \vec{B} صفر است ($\theta = 0$)، در نتیجه $\Phi = BA$. از قانون القای فارادی $\bar{\mathcal{E}} = -B \frac{\Delta A}{\Delta t}$ ، که در آن برای محاسبه $\frac{\Delta A}{\Delta t}$ ، باتوجه به اینکه میله در مدت Δt مسافت $v \Delta t$ را طی می‌کند و لذا سطح حلقه به مقدار $\Delta A = lv \Delta t$ افزایش می‌یابد. بنابراین اندازه نیروی محرکه القایی را داریم:

$$|\bar{\mathcal{E}}| = \left| -B \frac{lv \Delta t}{\Delta t} \right| = Blv$$

از طرفی برای مدار رابطه زیر را داریم:

$$\mathcal{E} = IR$$

اکنون از تساوی این دو رابطه می‌توانیم سرعت را به دست آوریم:

$$R = 0.2 \Omega, \quad I = 0.5 \text{ A}, \quad B = 0.1 \text{ T}, \quad L = 0.25 \text{ m}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathcal{E} = BvL \\ \mathcal{E} = RI \end{array} \right. \Rightarrow RI = BvL \Rightarrow v = \frac{0.2 \times 0.5}{0.1 \times 0.25} = 4 \text{ m/s}$$

گام اول

الف) میدان مغناطیسی 0.5 T تسلا $\leftarrow B = 0.5 \text{ T}$

ب) و سطح قاب عمود بر میدان است $\leftarrow \alpha = 90^\circ$

ج) ضلع l به طول 40 cm با سرعت 20 m/s متر بر ثانیه حرکت می‌کند $\leftarrow l = 40 \text{ cm} = 0.4 \text{ m}, v = 20 \text{ m/s}$

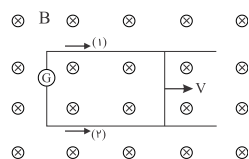
د) نیروی محرک القایی چند ولت است $\leftarrow \mathcal{E} = ? \text{ V}$

گام دوم

نیروی محرک القایی یک میله که با سرعت v در یک میدان مغناطیسی در حال حرکت است از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\mathcal{E} = BLv \sin \alpha = 0.5 \times 0.4 \times 20 \times 1 = 0.4 \text{ V}$$

با حرکت میله به سمت راست، مساحت (A) افزایش می‌یابد که باعث افزایش شار می‌شود. بنا بر قانون لنز جهت جریان القایی درجهتی است که شار کاهش یابد؛ یعنی میدان مغناطیسی مدار درجهت برون‌سو است که این امر با جریان ۲ امکان‌پذیر می‌باشد.



گام اول

الف) جهت میدان مغناطیسی یکنواخت $5 \times 10^{-3} \text{ T}$ افقی و روبه شمال است. $\leftarrow \vec{B} = 5 \times 10^{-3} \text{ T}$ (جهت \uparrow)

ب) از یک سیم راست افقی جریان 20 A درجهت مشرق می‌گذرد. $\leftarrow I = 20 \text{ A}$ (جهت \rightarrow)

ج) به قسمتی از این سیم به طول 2 m $\leftarrow L = 2 \text{ m}$

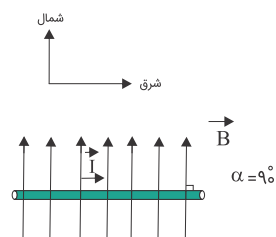
د) چند نیوتن نیرو و در چه جهتی وارد می‌شود $\leftarrow \vec{F} = ? \text{ (N)}$

گام دوم

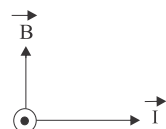
نیروی وارد بر سیم حامل جریان برابر است با:

$$F = ILB \sin \alpha \xrightarrow{\alpha=90^\circ} F = 20 \times 2 \times 5 \times 10^{-3} \times \sin 90^\circ = 0.2 \text{ N}$$

جهت نیرو را با استفاده از قانون دست راست مشخص می‌کنیم:



بنابراین جهت نیرو به سمت بالا (برون‌سو) است.



فقط مؤلفه‌ای از میدان مغناطیسی می‌تواند به سیم نیرو وارد کند که بر آن عمود باشد:

$$F = BIL \sin \alpha \Rightarrow F = B_x I_y L \sin 90^\circ$$

$$\Rightarrow F = 0/6 \times 50 \times 0/2 = 6 \text{ N}$$

با استفاده از قاعدة دست راست جهت نیرو به سمت داخل صفحه است.

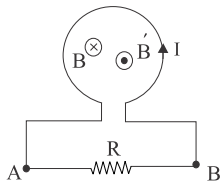
کافی است از رابطه نیروی محرکه القایی متوسط استفاده کنیم:

$$\begin{cases} |\vec{\epsilon}| = \left| -N \frac{\Delta \phi}{\Delta t} \right| \\ \phi = (\omega t^2 + \epsilon t) \times 10^{-3} \\ t_1 = 0, \quad t_2 = 2 \text{ s} \\ N = 1 \end{cases}$$

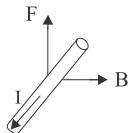
$$\Rightarrow |\vec{\epsilon}| = \left| -1 \times \frac{\phi_2 - \phi_1}{\Delta t} \right| = \left| -1 \times \frac{(\omega(2)^2 + \epsilon(2) \times 10^{-3}) - (0 + 0) \times 10^{-3}}{2 - 0} \right|$$

$$= \left| -\frac{(20 + 12) \times 10^{-3}}{2} \right| = 16 \times 10^{-3} \text{ V} = 16 \text{ mV}$$

از آنجاکه $\Delta \phi > 0$ است ($\Delta \phi = 32 \times 10^{-3} \text{ (Wb)}$) طبق قانون لنز حلقه در برابر این تغییرات شار مخالفت می‌کند و جریان القایی آن میدانی در خلاف جهت میدان مغناطیسی موجود به وجود می‌آورد؛ به گونه‌ای که اگر انگشت شست درجهت جریان باشد جهت خم شدن چهار انگشت دست به سمت بیرون است؛ بنابراین جهت جریان در مقاومت R از A به B می‌باشد.



با استفاده از قانون دست راست جهت نیروی وارد بر سیم را مشخص می‌کنیم. اگر چهار انگشت دست راست را درجهت جریان سیم به گونه‌ای بگیریم که کف دست عمود بر جهت میدان مغناطیسی باشد، شست دست جهت نیروی وارد بر سیم را نشان می‌دهد.



گام اول

(الف) یک میله فلزی به طول ۳۰ سانتی‌متر $L = 30 \text{ cm} = 0/3 \text{ m}$

(ب) در یک میدان مغناطیسی یکنواخت با سرعت $v = 2 \text{ m/s} \leftarrow 2 \text{ m/s}$

(ج) در راستای عمود بر خطوط میدان حرکت می‌کند $\epsilon = BvL$

(د) اگر اندازه میدان مغناطیسی ۵۰٪ تسلا باشد، نیروی محرکه القاشده در این میله چند میلی‌ولت است؟ $\epsilon = ? \text{ (mV)}$, $B = 0/50 \text{ T}$

گام دوم

با استفاده از رابطه $\epsilon = BvL$ داریم:

$$\epsilon = BvL = 0/50 \times 2 \times 0/3 = 0/3 \text{ V} = 30 \text{ mV}$$

شار مغناطیسی از رابطه $\Phi = BA \cos \theta$ به دست می‌آید که در این رابطه، θ زاویه نیم‌خط عمود بر سطح با خطوط میدان است. در صورت سؤال زاویه خطوط میدان با سطح حلقه داده شده است که متمم زاویه θ است؛ پس θ و در نتیجه شار مغناطیسی برابر است با:

$$\theta = 90^\circ - 60^\circ = 30^\circ$$

$$\Phi = BA \cos \theta = (4 \times 10^{-3}) \times (200 \times 10^{-4}) \times \cos 30^\circ$$

$$\Rightarrow \Phi = 4 \times 10^{-5} \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 4\sqrt{3} \times 10^{-5} \text{ Wb}$$

نیروی وارد بر سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی را به دست می‌آوریم:

$$F = BIL \sin \alpha$$

$$B = 500 \text{ G} = 500 \times 10^{-4} \text{ T} \Rightarrow F = 500 \times 10^{-4} \times 25 \times 0.8 \times \sin 37^\circ$$

$$\Rightarrow F = 5 \times 10^{-2} \times \underbrace{25 \times 0.8}_{20} \times 0.6 = 100 \times 10^{-2} \times 0.6 = 0.6 \text{ N}$$

طبق قانون دست راست نیروی F قائم و روبه‌پایین است. بنابراین گزینه "۲" صحیح است.

رابطه بین انرژی و جریان برابر است با:

$$U = \frac{1}{2} LI^2 \Rightarrow U \propto I^2$$

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{\frac{1}{2} LI_2^2}{\frac{1}{2} LI_1^2} \xrightarrow{I_2=2I_1} \frac{U_2}{U_1} = \left(\frac{2I_1}{I_1} \right)^2 = 4$$

بنابراین با ۲ برابر شدن جریان، انرژی ذخیره‌شده در القاگر ۴ برابر می‌شود. میدان مغناطیسی سیم‌لوله برابر $B = \mu_0 nI$ است؛ بنابراین با ۲ برابر شدن جریان میدان مغناطیسی نیز ۲ برابر می‌شود.

$$\frac{B_2}{B_1} = \frac{\mu_0 n I_2}{\mu_0 n I_1} = \frac{2I_1}{I_1} \Rightarrow B_2 = 2B_1$$

بنا بر قانون فارادی، بزرگی نیروی محرکه القایی با آهنگ تغییر شار مغناطیسی متناسب است.

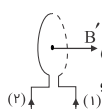
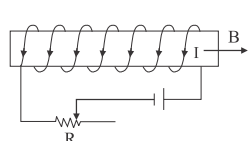
گام اول

مقاومت روستا در حال افزایش است ← جریان و میدان مغناطیسی سیم‌لوله کاهش می‌یابد.

گام دوم

جهت جریان در مدار از قطب مثبت به سمت قطب منفی است؛ بنابراین جهت میدان مغناطیسی به سمت راست است.

باتوجه به اینکه مقاومت روستا در حال افزایش است، جریان و میدان مغناطیسی سیم‌لوله کاهش می‌یابد و با کاهش میدان مغناطیسی، شار در حلقه کم می‌شود و طبق قانون لنز جریان القایی درجهتی به وجود می‌آید که با این تغییر شار مخالفت می‌کند؛ بنابراین جهت جریان حلقه در جهت ۱ است تا کاهش میدان مغناطیسی را جبران کند. برای سیم‌لوله نیز به همین صورت با کاهش جریان و شار عبوری از سیم‌لوله جریان القایی هم‌جهت با جریان مدار ایجاد می‌شود که باعث افزایش شار و میدان مغناطیسی اولیه است.



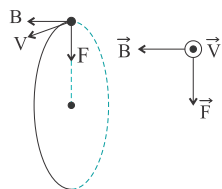
گام اول

الف) بار الکتریکی $q > 0$ ← با به کار بردن قانون دست راست لزومی به تغییر جهت نیست.

ب) بار الکتریکی در حال چرخش است. ← نیروی وارد بر بار، نیروی مرکزگرا است.

ج) جهت میدان مغناطیسی کدام است؟ ← جهت $\vec{B} = ?$

گام دوم



بار $q > 0$ در میدان الکترومغناطیسی روی یک دایره حرکت می‌کند و در هر حرکت دایره‌ای یک نیروی جانب مرکز وجود دارد که در اینجا نیروی جانب مرکز توسط نیروی الکترومغناطیسی تأمین می‌شود. لحظه‌ای را که بار q در بالاترین نقطه مسیر قرار دارد، در نظر می‌گیریم: باتوجه به شکل، جهت بردار سرعت برون‌سو و جهت نیروی مرکزگرا که همان نیروی الکترومغناطیسی است، به سمت پایین (مرکز دایره) است. بنابراین با استفاده از قاعده دست راست، اگر چهار انگشت درجهت حرکت بار q و انگشت شست جهت نیرو را نشان دهد، آنگاه کف دست جهت میدان مغناطیسی را نشان می‌دهد که به سمت چپ (←) خواهد بود.

اتم‌های مواد دیامغناطیس به‌طور ذاتی فاقد خاصیت مغناطیسی هستند (رد گزینه‌های ۱ و ۲)؛ با این وجود حضور میدان مغناطیسی خارجی، می‌تواند سبب القای دو قطبی در خلاف سوی میدان خارجی شود.

$$I_{\max} = 6 \text{ A}$$

$$T + \frac{T}{f} = \frac{1}{f_0} \Rightarrow T = \frac{1}{50} \text{ s}$$

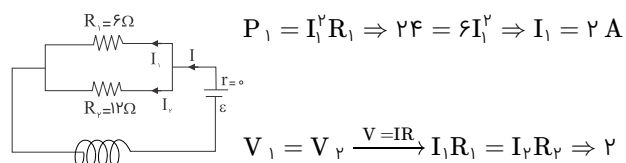
$$I = I_{\max} \sin \frac{2\pi}{T} t$$

$$I = 6 \sin \frac{2\pi}{1} \times \frac{1}{f_{00}} = 3\sqrt{2} \text{ A}$$

$$U = \frac{1}{2} LI^2$$

$$72 = \frac{1}{2} L \times 9 \times 2 \Rightarrow L = 8 \text{ mH}$$

توان مصرفی رسانا از رابطه $P = I^2 R$ به دست می‌آید.



$$P_1 = I_1^2 R_1 \Rightarrow 24 = 6 I_1^2 \Rightarrow I_1 = 2 \text{ A}$$

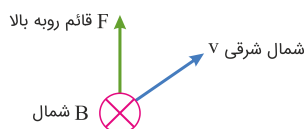
مقاومت‌های R_1 و R_2 باهم موازی‌اند؛ پس اختلاف پتانسیل آن‌ها مساوی است.

$$V_1 = V_2 \xrightarrow{V=IR} I_1 R_1 = I_2 R_2 \Rightarrow 2 \times 6 = I_2 \times 12 \Rightarrow I_2 = 1 \text{ A}$$

$$I = I_1 + I_2 = 2 + 1 = 3 \text{ A}$$

میدان مغناطیسی سیم‌وله $B = \mu_0 \frac{N}{l} I$ است که در صورت سؤال $\frac{N}{l}$ را ۱۰۰۰ داده است.

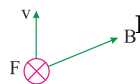
$$B = 4\pi \times 10^{-7} \times 1000 \times 3 = 1/2 \times 10^{-3} \text{ T}$$



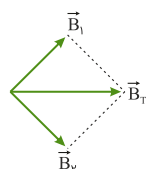
بار ذرهٔ آلفا مثبت است و برای تعیین جهت نیروی وارد بر آن از طرف میدان مغناطیسی از دست راست استفاده می‌کنیم.

مطابق شکل زیر طبق قاعدهٔ دست راست جهت نیروی وارد بر این بار مثبت، درون‌سو است.

$$\vec{F} = q\vec{v}B \sin \alpha \Rightarrow F = 25 \times 10^{-6} \times 2 \times 10^5 \times 1 \times 0/8 = 4 \text{ N}$$



ابتدا با استفاده از قاعدهٔ دست راست، جهت میدان هریک از سیم‌ها را در نقطهٔ M تعیین می‌کنیم و سپس برآیند آن‌ها را رسم می‌کنیم. باتوجه به شکل زیر بردار میدان مغناطیسی برآیند در نقطهٔ M در جهت محور x است.



گام اول

(الف) سیم‌لوله‌ای بدون هسته دارای ۱۰۰ حلقه است $\leftarrow N = 100$

(ب) طول سیم‌لوله ۲۵cm است $\leftarrow l = 25 \times 10^{-2} \text{ m}$

(ج) شعاع حلقه‌های آن ۱۰cm است $\leftarrow r = 10 \text{ cm} = 10^{-1} \text{ m}$

(د) در مدت ۰/۰۲ ثانیه جریان الکتریکی آن به‌طور منظم از ۳۰ آمپر به صفر برسد $\leftarrow I_1 = 30 \text{ A}, I_2 = 0, \Delta t = 0/02 \text{ s}$

(هـ) نیروی محرکهٔ خودالقایی آن چند ولت است $\leftarrow \mathcal{E} = ?$

گام دوم

برای به دست آوردن نیروی محرکهٔ خودالقایی باید شار و تغییرات آن را به دست بیاوریم؛ تا با استفاده از رابطهٔ $|\mathcal{E}| = \left| -N \frac{\Delta \phi}{\Delta t} \right|$ نیروی محرکهٔ خودالقایی را محاسبه کنیم:

$$\begin{cases} \Delta \phi = \phi_2 - \phi_1 \\ \phi = BA \cos \alpha \end{cases} \Rightarrow \Delta \phi = B_2 A - B_1 A = (B_2 - B_1) A$$

$$\xrightarrow{B = \mu_0 \frac{NI}{l}} \Delta \phi = \left(\frac{\mu_0 N I_2}{l} - \frac{\mu_0 N I_1}{l} \right) A = \frac{-\mu_0 N I_1}{l} \times A$$

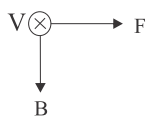
$$\begin{cases} |\mathcal{E}| = \left| -N \frac{\Delta \phi}{\Delta t} \right| \\ \Delta \phi = -\frac{\mu_0 N I_1}{l} A \end{cases} \Rightarrow |\mathcal{E}| = \left| -N \times \frac{-\mu_0 N I_1 A}{l \Delta t} \right| = \frac{\mu_0 N^2 I_1 A}{l \Delta t}$$

$$\xrightarrow{\frac{\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T m/A}}{A = \pi r^2}} |\mathcal{E}| = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 100^2 \times 30 \times \pi \times 10^{-2}}{25 \times 10^{-2} \times 0/02} = \frac{12\pi^2}{50} = 0/24\pi^2 \text{ V}$$

$$A = \pi r^2 \Rightarrow 4\pi = \pi r^2 \Rightarrow r = 2 \text{ cm}$$

$$B = \frac{\mu_0 N I}{l} \Rightarrow B = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 50 \times 1}{2 \times 1 \times 10^{-2}} = 10^{-3} \pi \text{ (T)}$$

باتوجه به قانون دست راست، جهت میدان مغناطیسی (اگر بار مثبت باشد) روبه بالا است ولی چون بار منفی است، جهت میدان روبه پایین است.



باتوجه به رابطه جریان متناوب $I = I_{\max} \sin \omega t$ و مقایسه آن با $I = \omega \sin \omega \pi t$ نتیجه می گیریم:

$$I_{\max} = \omega$$

انرژی سیملوله از رابطه $U = \frac{1}{2} L I^2$ و بیشینه آن به ازای I_{\max} به دست می آید:

$$U_{\max} = \frac{1}{2} L I_{\max}^2 = \frac{1}{2} \times 0.04 \times (\omega)^2 = 500 \times 10^{-3} \text{ J} = 500 \text{ mJ}$$

گام اول

الف) یک دسته الکترون در یک مسیر افقی از شمال به جنوب وارد یک میدان مغناطیسی می شود. \leftarrow بردار سرعت هم جهت با بردار جابه جایی؛ بنابراین جهت \vec{v} از شمال به جنوب است.

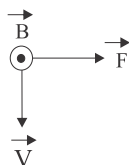
ب) اگر الکترون ها به طرف مشرق منحرف شوند \leftarrow نیروی وارد بر الکترون در جهت شرق

گام دوم

ابتدا بردارهای سرعت و نیروی وارد بر الکترون را رسم می کنیم:



حال با استفاده از قاعده دست راست و باتوجه به اینکه ذره، الکترون است، نتیجه می گیریم میدان مغناطیسی قائم به طرف بالا (برون سو) است.



ابتدا نیروی محرکه القایی را در سه بازه زمانی مختلف به دست آورده و در نهایت نمودار آهنگ تولید انرژی گرمایی برحسب زمان را رسم می‌کنیم:

$$\varepsilon = -N \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} = -N \frac{A \cos \theta \Delta B}{\Delta t} \xrightarrow[\cos \theta = 1]{A = 0.01 \pi \text{ m}^2} \varepsilon = -1 \times 0.01 \times 3 \times 1 \times \frac{\Delta B}{\Delta t}$$

بازه ۰ تا ۰.۰۱:

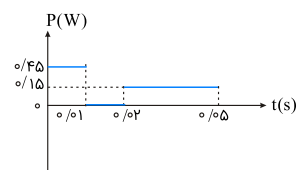
$$\varepsilon = -0.03 \times \frac{0.5}{0.01} = -1.5 \text{ V} \Rightarrow P = \frac{\varepsilon^2}{R} = \frac{2.25}{5} = 0.45 \text{ W}$$

بازه ۰.۰۱ تا ۰.۰۲:

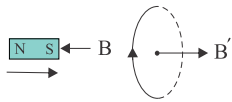
$$\varepsilon = -0.03 \times 0 = 0 \Rightarrow P = 0$$

بازه ۰.۰۲ تا ۰.۰۵:

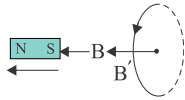
$$\varepsilon = -0.03 \times \frac{-0.5}{0.03} = 0.5 \text{ V} \Rightarrow P = \frac{\varepsilon^2}{R} = \frac{0.25}{5} = 0.05 \text{ W}$$



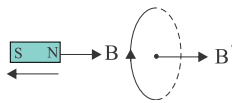
طبق قانون لنز جریان القایی درجهتی است که با جهت تغییر شار مخالفت می‌کند. حال به بررسی گزینه‌ها می‌پردازیم. جهت میدان مغناطیسی آهنربا را با B و میدان مغناطیسی ناشی از جریان القایی را با B' نمایش می‌دهیم.
گزینه ۱:



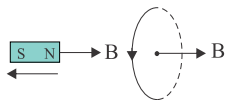
\vec{B} در حال افزایش است؛ بنابراین B' در خلاف جهت B ایجاد می‌شود و جریان القایی طبق قاعده دست راست خلاف جهت نشان داده شده است.
گزینه ۲:



\vec{B} در حال کاهش است؛ بنابراین B' در جهت B ایجاد می‌شود و جریان القایی طبق قاعده دست راست خلاف جهت نشان داده شده است.
گزینه ۳:



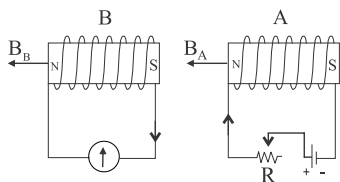
\vec{B} در حال کاهش است؛ بنابراین B' در جهت B ایجاد می‌شود و جریان القایی طبق قاعده دست راست خلاف جهت نشان داده شده است.
گزینه ۴:



\vec{B} در حال کاهش است؛ بنابراین B' در جهت B تولید می‌شود و جریان القایی طبق قاعده دست راست درست نشان داده شده است.
تذکر (۱) جهت میدان مغناطیسی از قطب N به S است.

تذکر (۲) طبق قاعده دست راست اگر انگشت شست دست راست را هم جهت با جریان در نظر بگیریم، جهت خم شدن چهار انگشت دست راست، جهت خطوط میدان مغناطیسی را نشان می‌دهد.

جهت جریان در مدار سیملوله A از قطب مثبت باتری به سمت قطب منفی آن است؛ پس جهت میدان مغناطیسی حاصل از آن به سمت چپ است. جریان القایی طبق قانون لنز درجهتی است که با تغییر شار مخالفت می‌کند. در سیملوله B میدان مغناطیسی ناشی از جریان القایی به سمت چپ است؛ بنابراین میدان B_A باید کاهش یافته باشد تا B_B در مقابله با کاهش آن، ایجاد شود. برای کاهش B_A باید جریان کاهش یابد که با افزایش مقاومت، این امر امکان‌پذیر می‌شود.
با مشخص کردن قطب‌های هرکدام از سیملوله‌ها، درمی‌یابیم که نیرویی که به هم وارد می‌کنند از جنس جاذبه است.



گزینه ۴

گام اول

الف) در محل یک نیروگاه برق ولتاژ ۱۰۰۰۰ ولت توسط مبدل A به ۴۰۰۰۰ ولت تبدیل می‌شود $\left\{ \begin{array}{l} V_1 = 10000V \\ V_2 = 40000V \end{array} \right.$: مبدل A

ب) پس از انتقال به یک شهر توسط مبدل B این ولتاژ به ۵۰۰۰۰ ولت تبدیل می‌شود $\left\{ \begin{array}{l} V_2 = 50000V \\ V_1 = 40000V \end{array} \right.$: مبدل B

ج) اگر نسبت تعداد سیم‌پیچ ثانویه به اولیه در مبدل A برابر K_A و در مبدل B برابر K_B باشد، $\frac{K_A}{K_B} = ?$ کدام است؟ \leftarrow

گام دوم

با استفاده از رابطه $\frac{N_2}{N_1} = \frac{V_2}{V_1}$ داریم:

$$\text{مبدل A : } \frac{N_2}{N_1} = \frac{V_2}{V_1} \Rightarrow K_A = \frac{40000}{10000} = 40$$

$$\text{مبدل B : } \frac{N_2}{N_1} = \frac{V_2}{V_1} \Rightarrow K_B = \frac{50000}{40000} = \frac{5}{4}$$

$$\frac{K_A}{K_B} = \frac{40}{\frac{5}{4}} = 320$$

گزینه ۳

گام اول

الف) حلقه‌ای به قطر ۲۰cm در یک میدان مغناطیسی یکنواخت طوری قرار دارد که خطوط میدان بر سطح حلقه عمود است. $\leftarrow r = \frac{20}{2} = 10\text{cm} = 0.1\text{m}, \alpha = 0$

ب) اگر مقاومت الکتریکی حلقه $\frac{0}{3}\Omega$ باشد $\leftarrow R = \frac{0}{3}\Omega$

ج) جریان $\frac{0}{2}A$ در حلقه القا می‌شود $\leftarrow I = \frac{0}{2}A$

د) میدان مغناطیسی با آهنگ چند تسلا بر ثانیه تغییر می‌کند $\leftarrow \frac{\Delta B}{\Delta t} = ?$

گام دوم

با استفاده از رابطه جریان القایی می‌توانیم آهنگ تغییرات $\frac{\Delta B}{\Delta t}$ را محاسبه کنیم.

$$\left\{ \begin{array}{l} I = \frac{1}{R} \frac{\Delta \phi}{\Delta t} \\ \phi = BA \\ A = \pi r^2 \\ \pi = 3 \end{array} \right. \Rightarrow I = \frac{1}{R} A \frac{\Delta B}{\Delta t} \Rightarrow \frac{\Delta B}{\Delta t} = \frac{RI}{A} = \frac{RI}{\pi r^2} = \frac{\frac{0}{3} \times \frac{0}{2}}{3 \times 10^{-2}} = 2\text{ T/s}$$

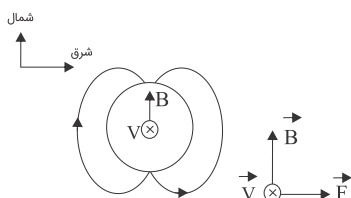
گزینه ۱

گام اول

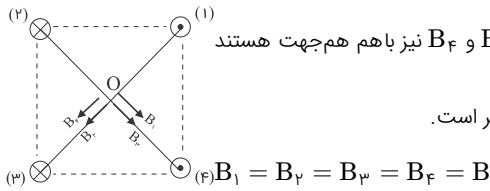
یک ذره کیهانی با بار مثبت از بالای خط استوا به‌طور عمود به‌سمت کره زمین در حرکت است. \leftarrow بردار سرعت ذره به‌سمت مرکز کره زمین است (درون‌سو).

گام دوم

میدان مغناطیسی زمین از سمت جنوب به شمال است بنابراین با استفاده از قاعده دست راست نیرو به‌سمت شرق است.



ابتدا باید بردارهای میدان مغناطیسی هرکدام از جریان‌ها را در مرکز مربع مشخص کنیم:



همان‌طور که از شکل مشخص است میدان‌های مغناطیسی B_1 و B_3 هم‌راستا و هم‌جهت هستند و میدان‌های B_2 و B_4 نیز باهم هم‌جهت هستند و برآیند هر دسته از آن‌ها یعنی $B_1 + B_3 = B_{1,3}$ و $B_2 + B_4 = B_{2,4}$ بر هم عمود هستند. جریان سیم‌ها و همچنین فاصله آن‌ها از مرکز باهم برابر هستند؛ بنابراین اندازه میدان‌های مغناطیسی آن‌ها باهم برابر است.

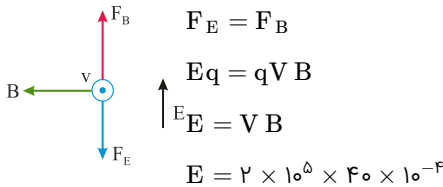
بنابراین:

$$B_{1,3} = B_1 + B_3 = 2B, \quad B_{2,4} = B_2 + B_4 = 2B$$

از آنجا که $B_{1,3}$ و $B_{2,4}$ بر روی قطرهای اصلی مربع هستند، برآیند آن‌ها به سمت پایین است. حال می‌توانیم جهت نیروی وارد بر سیم مرکز مربع را با استفاده از قاعده دست راست به دست بیاوریم:



شرط عدم انحراف الکترون در دو میدان الکتریکی و مغناطیسی آن است که نیروهای این دو میدان بر الکترون مساوی و خلاف جهت هم باشند. همچنین می‌دانیم میدان الکتریکی نیرویی خلاف جهت خودش به بار منفی وارد می‌کند.



$$E = 800 \text{ N/C}$$

$$\vec{E} = 800 \vec{j}$$

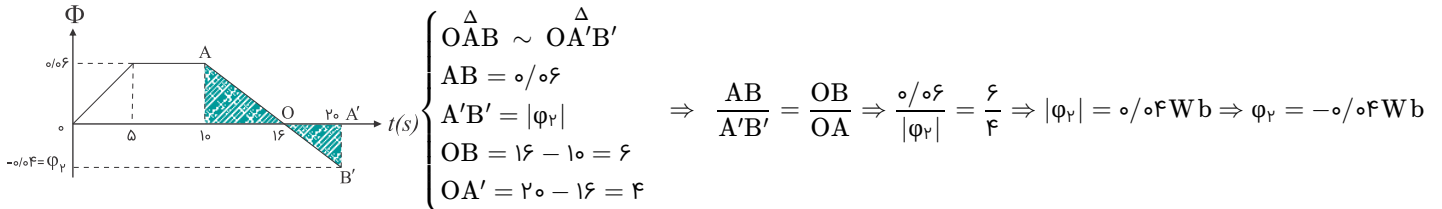
می‌دانیم نیروی محرکه القاشده به میله فلزی که با سرعت v در میدان مغناطیسی حرکت می‌کند، برابر $\mathcal{E} = BLv \sin \alpha$ است؛ بنابراین:

$$\begin{cases} \mathcal{E} = BLv \sin \alpha \\ \mathcal{E} = RI \end{cases} \xrightarrow{\alpha=90^\circ} RI = BLv \sin 90^\circ \Rightarrow RI = BLv \quad (*)$$

$$\begin{cases} R = 0.4 \Omega \\ I = 0.5 \text{ A} \\ B = 0.5 \text{ T} \\ L = 0.2 \text{ m} \end{cases} \xrightarrow{(*)} 0.4 \times 0.5 = 0.5 \times 0.2 \times v \Rightarrow v = 2 \text{ m/s}$$

بزرگی نیروی محرکه القایی متوسط در حلقه در بازه زمانی ۱۰ تا ۲۰ چند میلی‌ولت است $\left| \vec{\epsilon} \right| = ? \text{mV}$ $N = ۱$, $\Delta t = ۲۰ - ۱۰ = ۱۰ \text{s}$,

برای به دست آوردن بزرگی نیروی محرکه القایی متوسط از رابطه $\left| \vec{\epsilon} \right| = \left| -N \frac{\Delta \phi}{\Delta t} \right|$ استفاده می‌کنیم که در آن $\Delta \phi = \phi_2 - \phi_1$. باتوجه به نمودار $\phi_1 = ۰/۰۶ \text{ (wb)}$ است؛ ولی ϕ_2 را باید باتوجه به تشابه مثلثاتی به دست بیاوریم؛ بنابراین:



بنابراین نیروی محرکه القایی متوسط برابر است با:

$$\left| \vec{\epsilon} \right| = \left| -N \frac{\Delta \phi}{\Delta t} \right| = \left| \frac{\phi_2 - \phi_1}{\Delta t} \right| = \left| \frac{-۰/۰۴ - ۰/۰۶}{۱۰} \right| = ۱۰^{-۲} \text{V} = ۱۰ \text{mV}$$

از فرمول قانون فاراده استفاده می‌کنیم:

$$\epsilon = -\frac{\Delta \phi}{\Delta t} = -\frac{۰ - ۲ \times ۱۰^{-۳}}{۱۰^{-۲}} = ۰/۲ \text{V}$$

نیروی محرکه القایی ثابت و از $t = ۰$ تا $t = ۰/۰۲ \text{s}$ برابر با $۰/۲ \text{V}$ است.

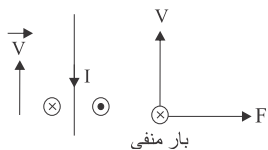
نکته: بدون محاسبه می‌توان به نتیجه رسید \leftarrow شیب نمودار $\phi - t$ با علامت منفی برابر با نیروی محرکه القایی است. چون شیب نمودار ثابت و منفی است، بنابراین نیروی محرکه القایی باید ثابت و مثبت باشد و تنها نمودار گزینه ۲ بیانگر این مطلب است.

گزینه "۳" صحیح است.

میدان مغناطیسی حاصل از جریان در محلی که بار نقطه‌ای q قرار دارد به صورت درون‌سو است.

باتوجه به اینکه علامت بار منفی است و با استفاده از قانون دست راست جهت نیرو را مشخص می‌کنیم.

بنا بر قاعده دست راست نیروی وارد بر ذره باید در جهت چپ باشد ولی چون بار منفی است، جهت نیرو به طرف راست است.

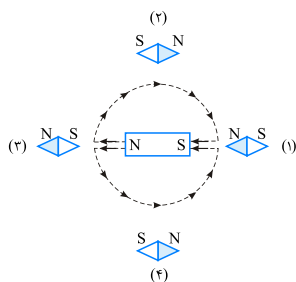


شار مغناطیسی از رابطه $\phi = BA \cos \theta$ به دست می‌آید و ماکزیمم شار مربوط به زمانی است که قاب عمود بر میدان یا راستای عمود بر سطح با خطوط میدان زاویه صفر می‌سازد؛ و $\cos \theta = ۱$ پس:

$$\phi_{\max} = BA \Rightarrow ۴ \times ۱۰^{-۳} = ۰/۲ A$$

$$\Rightarrow A = \frac{۴ \times ۱۰^{-۳}}{۲ \times ۱۰^{-۱}} = ۲ \times ۱۰^{-۲} \text{ m}^2 = ۲ \times ۱۰^{-۲} \times ۱۰^4 \text{ cm}^2 = ۲۰۰ \text{ cm}^2$$

شکل زیر جهت خطوط میدان الکترومغناطیسی را در اطراف آهنربا نشان می‌دهد. باتوجه به شکل زیر با حرکت عقربه دور مسیر دایره‌ای می‌توان میزان دوران عقربه را نسبت حالت اولش محاسبه کرد؛ با حرکت عقربه از مسیر ۱ به مسیر ۲، ۱۸۰ درجه دوران می‌کند. از مسیر ۲ به مسیر ۳، ۱۸۰ درجه تغییر جهت می‌دهد؛ دوباره از مسیر ۳ به ۴، ۱۸۰ درجه تغییر جهت می‌دهد؛ و نهایتاً از مسیر ۴ به ۱، ۱۸۰ درجه دوران می‌کند؛ درنتیجه عقربه با حرکت کامل دور دایره، $4 \times 180 = 720^\circ$ دوران می‌کند.

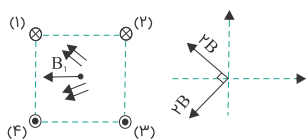


گام اول

الف) از هر سیم جریان یکسان I عبور می‌کند $\leftarrow \left| \vec{B}_1 \right| = \left| \vec{B}_2 \right| = \left| \vec{B}_3 \right| = \left| \vec{B}_4 \right| = B$
 ب) در کدام شکل، بزرگی میدان مغناطیسی برآیند در مرکز مربع بیشترین مقدار را دارد؟ $\leftarrow B_T = ?$

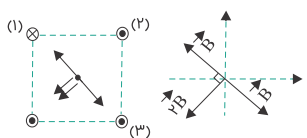
گام دوم

باید جهت میدان مغناطیسی هر سیم را در مرکز مربع مشخص کنیم تا برآیند آن‌ها را به دست بیاوریم.
 گزینه "۱":



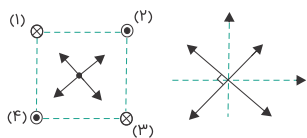
$$B_{T_1} = \sqrt{(\cancel{B})^2 + (\cancel{B})^2} = \cancel{2}\sqrt{\cancel{2}}B$$

گزینه "۲":



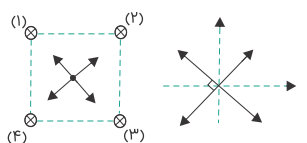
$$B_{T_2} = \cancel{2}B$$

گزینه "۳":



$$B_{T_3} = \circ$$

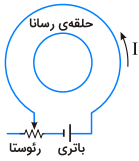
گزینه "۴":



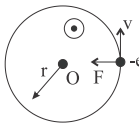
$$B_{T_4} = \circ$$

با مقایسه B_T گزینه‌ها مشخص است که گزینه ۱ بیشترین مقدار B_T را دارد.

باتوجه به شکل، هنگامی که لغزنده رُوستا در حال حرکت به سمت چپ باشد، مقاومت آن و در نهایت مقاومت کل مدار افزایش می‌یابد؛ در نتیجه جریان I کاهش می‌یابد. از طرفی با استفاده از قانون دست راست، میدان مغناطیسی ناشی از جریان I در مدار برون‌سو است که با کاهش جریان، این میدان مغناطیسی نیز کاهش می‌یابد. پس باتوجه به قانون لنز، جریان در حلقهٔ رسانا طوری ایجاد می‌شود که با کاهش میدان مغناطیسی برون‌سوی مدار، مخالفت کند؛ بنابراین جهت جریان القایی در حلقهٔ رسانا، پادساعتگرد است.



نیروی وارد بر الکترون یک نیروی مرکزگرا است که در جهت شعاع می‌باشد و بردار سرعت هم‌جهت با حرکت الکترون است. با استفاده از این دو و قاعدهٔ دست راست جهت بردار میدان مغناطیسی را به دست می‌آوریم. انگشتان دست در جهت v و شست در جهت نیروی مرکزگرا است. جهت میدان مغناطیسی درون‌سو است؛ اما باتوجه به اینکه ذره، الکترون است و بار آن منفی است باید خلاف جهت به دست آمده را در نظر بگیریم بنابراین میدان مغناطیسی در جهت برون‌سو است.



اما میدان الکتریکی نمی‌تواند باعث دوران شود، زیرا برای ایجاد نیروی مرکزگرا باید میدان الکتریکی ناشی از یک بار نقطه‌ای داشته باشیم که جهت میدان به سمت خارج باشد، پس باید در نقطهٔ O بار $+q$ قرار می‌گرفت تا باعث جذب الکترون می‌شد.

دو قطبی‌های مواد پارامغناطیسی به صورت کاتوره‌ای سمت‌گیری می‌کنند و میدان مغناطیسی خالص ایجاد نمی‌کنند، اما با قرار دادن مواد پارامغناطیسی در میدان مغناطیسی قوی، دوقطبی‌های مغناطیسی آنها به مقدار مختصری در راستای خط‌های میدان، منظم می‌شوند و با دور کردن آهنربا، دوقطبی آنها دوباره به صورت کاتوره‌ای سمت‌گیری می‌کنند.

گام اول

الف) سیم‌لوله‌ای بدون هستهٔ آهنی $K = 1$

ب) دارای ۲۰۰۰ حلقه $N = 2000$

ج) از آن جریان الکتریکی 2 A می‌گذرد $I = 2\text{ A}$

د) اگر طول سیم‌لوله ۲۵ سانتی‌متر $L = 25\text{ cm} = 0.25\text{ m}$

ه) مساحت هر حلقه 10 cm^2 باشد $A = 10\text{ cm}^2 = 10^{-3}\text{ m}^2$

گام دوم

ابتدا ضریب خودالقایی سیم‌لوله و در نهایت انرژی ذخیره‌شده در سیم‌لوله را برحسب میلی‌ژول محاسبه می‌کنیم:

$$L = k\mu_0 \frac{N^2}{L} A \xrightarrow{\mu_0 = 12/5 \times 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}} L = 1 \times 12/5 \times 10^{-7} \times \frac{2000 \times 2000}{0.25} \times 10^{-3} = 2 \times 10^{-2} \text{ H}$$

$$U = \frac{1}{2} LI^2 = \frac{1}{2} \times 2 \times 10^{-2} \times (2)^2 = 4 \times 10^{-2} \text{ J} = 40 \text{ mJ}$$

مطابق قانون لنز جهت جریان القایی در یک مدار بسته همواره در جهتی است که با عامل به وجود آورنده‌اش مخالفت می‌کند. در (۱) میدان مغناطیسی درون حلقه در حال افزایش است، پس باید جریان پادساعت‌گرد باشد و در (۲) میدان مغناطیسی درون حلقه ثابت است، پس جریان القایی صفر است و در (۳) میدان مغناطیسی درون حلقه در حال کاهش است و جریان ساعت‌گرد است یعنی گزینه "۱" صحیح است.

گام اول

الف) طول یک سیملوله بدون هسته، $l = 50\text{cm} = 0.5\text{m} \leftarrow 50\text{cm}$

ب) سطح هر حلقه آن $A = 10\text{cm}^2 = 10^{-3}\text{m}^2 \leftarrow 10\text{cm}^2$

ج) این سیملوله دارای ۲۰۰۰ حلقه نزدیک به هم $N = 2000 \leftarrow$

د) از آن جریان الکتریکی 0.5A می‌گذرد $I = 0.5\text{A} \leftarrow$

هـ) ضریب خودالقایی سیملوله در S چقدر است؟ $L = ? \leftarrow$

گام دوم

با استفاده از رابطه $L = k \frac{\mu_0 N^2 A}{l}$ ، ضریب خودالقایی سیملوله را محاسبه می‌کنیم:

$$\begin{cases} L = k \frac{\mu_0 N^2 A}{l} \\ \mu_0 = 12/5 \times 10^{-7} \text{T.m/A} \end{cases} \Rightarrow L = 1 \times 12/5 \times 10^{-7} \times \frac{2000 \times 2000 \times 10^{-3}}{0.5} = 0.01\text{H}$$

وقتی کلید در حالت (۱) قرار گیرد، جریان متناوب از مدار می‌گذرد؛ بنابراین گزینه‌های ۱ و ۲ حذف می‌شوند. وقتی کلید در حالت (۲) قرار گیرد، جریان متناوب از دیود می‌گذرد و دیود فقط قسمت‌های مثبت جریان متناوب را از خود عبور داده و در قسمت‌های منفی جریان خاموش می‌شود و جریان صفر می‌شود.

گام اول

الف) حلقه‌ای به مساحت 200cm^2 که سطح آن موازی با محور x و عمود بر محور y است $A = 200\text{cm}^2 = 200 \times 10^{-4}\text{m}^2$ و نیم‌خط عمود بر حلقه فقط راستای y دارد و راستای x ندارد.

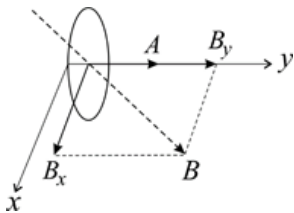
ب) بزرگی میدان مغناطیسی و شار مغناطیسی عبوری حلقه چقدر است؟ $\Phi = ?$, $|\vec{B}| = ? \leftarrow$

گام دوم

\vec{B} کمیتی برداری است و اندازه آن برابر است با:

$$\begin{cases} |\vec{B}| = \sqrt{B_x^2 + B_y^2} \\ B = 0.3\text{i} + 0.4\text{j} \\ B_x = 0.3\text{T} \\ B_y = 0.4\text{T} \end{cases} \Rightarrow |\vec{B}| = \sqrt{(0.3)^2 + (0.4)^2} = \sqrt{0.09 + 0.16} = 0.5\text{T}$$

برای محاسبه شار باید توجه کنیم که از آنجا که حلقه موازی با محور x است، مؤلفه i میدان مغناطیسی (B_x) از آن عبور نمی‌کند و تنها B_y از آن عبور می‌کند؛ بنابراین:



$$\Phi = AB_y = 200 \times 10^{-4} \times 0.4 = 8 \times 10^{-3} \text{Wb}$$

$$B = \frac{\mu_0 NI}{\ell} = \frac{12 \times 10^{-7} \times 200 \times 5}{0.6} = 2 \times 10^{-3} \text{T}$$

وقتی جریان عبوری از القاگر آرمانی در حال کاهش است، طبق قانون لنز القاگر با این کاهش جریان مخالفت می‌کند و انرژی از آن خارج می‌شود.