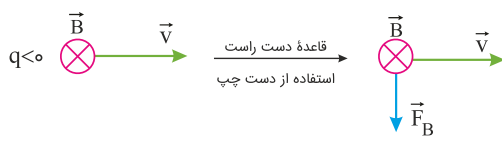


گام اول: ابتدا جهت و اندازه نیروی الکتریکی وارد بر ذره را تعیین می‌کنیم. چون ذره بار منفی دارد، نیروی الکتریکی در خلاف جهت میدان الکتریکی است و اندازه این نیرو برابر است با:

$$F_E = E |q| = 4 \times 10^3 \times 2 \times 10^{-6} = 8 \times 10^{-3} \text{ N}$$

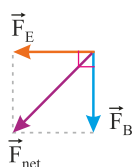
گام دوم: طبق قاعده دست راست و با استفاده از دست چپ، نیروی مغناطیسی وارد بر ذره به سمت پایین است و اندازه این نیرو برابر است با:



$$F_B = |q| v B \sin \theta = 2 \times 10^{-6} \times 10^5 \times (300 \times 10^{-4}) \times \sin 90 = 6 \times 10^{-3} \text{ N}$$

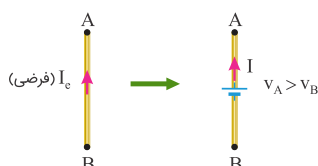
گام سوم: باتوجه به جهت دو نیرو، برآیند این دو نیرو برابر است با:

$$F_{\text{net}} = \sqrt{F_E^2 + F_B^2} = \sqrt{(8 \times 10^{-3})^2 + (6 \times 10^{-3})^2} = 10 \times 10^{-3} = 0.01 \text{ N}$$

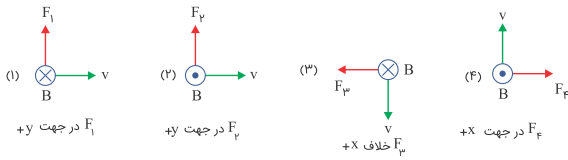


باتوجه به قانون دست راست، اگر چهار انگشت دست راست را در جهت بردار سرعت قرار دهیم به گونه‌ای که خم شدن انگشتان دست راست سوی میدان مغناطیسی را نشان دهد، در این حالت انگشت شست سوی جریان القایی فرضی در میله را نشان می‌دهد.

در این حالت، میله مانند یک باتری عمل می‌کند که جریان فرضی از قطب مثبت خارج می‌شود و می‌توان گفت × پتانسیل نقطه متصل به قطب مثبت (A) بیشتر از پتانسیل نقطه متصل به قطب منفی (B) است.



ابتدا میدان مغناطیسی سیم در اطرافش را با قاعده دست راست می‌یابیم. در سمت راست سیم میدان مغناطیسی درون سو و در سمت چپ برون سو است. سپس جهت نیروی وارد بر هر بار را تعیین می‌کنیم.

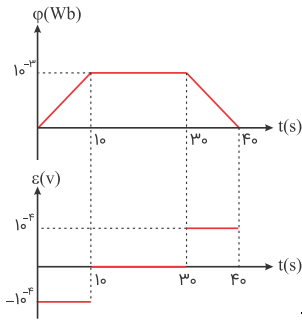


گزینه ۴

۷

باتوجه به نمودار شار مغناطیسی بر حسب زمان، در بازه زمانی صفر تا ۱۰، شار به صورت خطی افزایش می‌یابد. در نتیجه، در این بازه زمانی، نیروی محرکه القایی متوسط برابر است با:

$$\bar{\varepsilon} = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = -(1) \frac{(10^{-3} \text{ Wb} - 0)}{10 \text{ s}} = -10^{-4} \text{ (V)}$$



در بازه زمانی ۱۰s تا ۳۰s شار ثابت است و در نتیجه $\Delta \Phi = 0$ ، در این صورت نیروی محرکه القایی متوسط در این بازه زمانی برابر صفر است.

در بازه زمانی ۳۰s تا ۴۰s شار به صورت خطی کاهش یافته و سرانجام صفر شده است. به این ترتیب نیروی محرکه القایی متوسط در این بازه زمانی برابر $(V) 10^{-4}$ است.

* نکته: وقتی نمودار خط صاف باشد، یعنی شیب نمودار تغییر نکند، در این صورت خواهیم داشت:

$$\bar{\varepsilon} = \varepsilon$$

گزینه ۴

۸

به سیم (۱) که حامل جریانی عمود بر صفحه (عمود بر میدان مغناطیسی) است نیروی F_1 وارد شده و داریم:

$$F_1 = BIL \sin 90^\circ$$

$$\Rightarrow B = \sqrt{600^2 + 800^2} = 1000 \text{ G} = 10^{-1} \text{ T} \Rightarrow F_1 = 10^{-1} \times 50 \times L \times 1 = 5L$$

به سیم (۲) که هم‌جهت با محور x است از طرف مؤلفه افقی میدان (B_x) نیرویی وارد نشده و فقط مؤلفه قائم میدان به آن نیرو وارد می‌کند و داریم:

$$F_2 = B_y IL \sin 90^\circ = 800 \times 10^{-4} \times 250 \times L \times 1 = 20L \Rightarrow \frac{F_1}{F_2} = \frac{5L}{20L} = \frac{1}{4}$$

چون میدان برآیند دو سیم در نقطه M صفر است، پس حتماً جریان سیم‌ها هم‌اندازه و هم‌جهت هستند تا میدان یکی از سیم‌ها در نقطه M درون‌سو و دیگری برون‌سو شده و برآیندشان صفر شود. چون میدان ناشی از سیم با جریان سیم نسبت مستقیم دارد، پس اگر I_1 و I_2 هر دو باهم و به یک نسبت تغییر کنند و یا هر دو باهم تغییر جهت بدهند باز هم میدان برآیندشان در M صفر خواهد بود و گزینه "۱" و "۲" صحیح‌اند.

با عکس شدن جریان یکی از سیم‌ها میدان‌ها هم‌سو و هم‌جهت شده و باهم جمع می‌شوند.

پس میدان برآیند $B_t = B_1 + B_1 = 2B_1$ می‌شود. حال اگر جریان یکی از سیم‌ها هم دو برابر شود، میدان یکی از سیم‌ها دو برابر شده ولی میدان برآیندشان $B_t = 2B_1 - B_1 = B_1$ به‌اندازهٔ حالت قبل تغییر نخواهد کرد؛ پس گزینه "۳" غلط است. چون میدان مغناطیسی ناشی از سیم با فاصله از سیم نسبت عکس دارد، اگر هر دو سیم به یک اندازه به نقطه M نزدیک شوند باز هم میدان‌های آن‌ها یکدیگر را خنثی کرده و میدان برآیند صفر می‌شود؛ پس گزینه "۴" صحیح است.

باتوجه به رابطه شار مغناطیسی $\Phi = BA \cos \theta$ ، شار بیشینه BA بوده و θ زاویه بین نیم‌خط عمود بر صفحه و خطوط میدان است:

$$\Phi = \frac{\sqrt{2}}{2} \Phi_{\max} \Rightarrow AB \cos \theta = \frac{\sqrt{2}}{2} AB \Rightarrow \cos \theta = \frac{\sqrt{2}}{2} \Rightarrow \theta = 45^\circ$$

بنابراین صفحه با خطوط زاویه 45° می‌سازد.

نیکل از جمله مواد پارامغناطیس نیست، بنابراین گزینه "۱" نادرست است.

فرم کلی جریان متناوب به صورت $I = I_{\max} \times \sin\left(\frac{2\pi t}{T}\right)$ است بنابراین بیشترین جریان گذرنده از سیم‌لوله برابر با $I_{\max} = 5 \text{ A}$ می‌باشد و به ازای همین جریان انرژی ذخیره شده در سیم‌لوله بیشینه می‌شود. حالا با استفاده از رابطه $U = \frac{1}{2} LI^2$ ، ضریب القاوری سیم‌لوله را محاسبه می‌کنیم:

$$U = \frac{1}{2} LI^2 \Rightarrow U_{\max} = \frac{1}{2} LI_{\max}^2 \Rightarrow 500 \times 10^{-3} = \frac{1}{2} \times L \times 5^2$$

$$\Rightarrow L = 40 \times 10^{-3} \text{ H} = 40 \text{ mH}$$

ابتدا شرط معلق بودن سیم اولیه را بررسی می‌کنیم:

$$F = W \Rightarrow BIL \sin \alpha = mg$$

به سیم دوم که وزن آن را با W' نشان می‌دهیم، دو نیروی نامتوازن الکتریکی و وزن وارد می‌شود که طبعاً چون نیروی وزن کمتر است، جسم شتابی در خلاف جهت وزن و روبه بالا خواهد گرفت:

$$F_{\text{net}} = F - W' = BIL \sin \alpha - m'g$$

$$\Rightarrow F_{\text{net}} = mg - m'g \Rightarrow F_{\text{net}} = mg - \frac{\lambda}{\lambda_0} mg = \frac{2}{10} mg$$

شتاب سیم بر اساس قانون دوم نیوتون محاسبه می‌گردد:

$$F_{\text{net}} = m'a \Rightarrow \frac{2}{10} mg = \frac{\lambda}{\lambda_0} ma \Rightarrow a = \frac{1}{4} g = 2/5 \text{ m/s}^2$$

باتوجه به پایانه‌های مثبت و منفی مولد، جهت میدان الکتریکی به سمت راست بوده و در نتیجه به بار منفی، نیروی الکتریکی به سمت چپ وارد می‌شود. برای آنکه ذره از مسیر خود منحرف نشود، نیروی مغناطیسی (F_B) باید به سمت راست باشد. طبق قاعده دست راست خواهیم داشت:



شار عبوری از پیچه در لحظه $t = 0$ برابر $\Phi_1 = 0$ و در لحظه $t_2 = 10 \text{ s}$ برابر $\Phi_2 = 0/6 \text{ Wb}$ است. بنابراین نیروی محرکه القایی متوسط در پیچه در این بازه برابر است با:

$$\bar{\varepsilon} = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = -40 \times \frac{0/6 - 0}{10 - 0} = -2/4 \text{ V} \Rightarrow |\bar{\varepsilon}| = 2/4 \text{ V}$$

گزینه "۲" غلط است. چون شواهد زمین‌شناختی نشان می‌دهند که جهت میدان مغناطیسی زمین در بازه‌های زمانی نامنظم به طور کامل وارون می‌شوند.

گزینه "۳" غلط است. خطوط میدان مغناطیسی زمین از قطب جنوب جغرافیایی خارج می‌شوند.

گزینه "۴" غلط است. فقط در استوا، قطب‌نما افقی قرار می‌گیرد و در بقیه نقاط سطح زمین با افق زاویه‌ای می‌سازد. (شیب مغناطیسی)

اندازه نیروی محرکه القاشده از رابطه $\mathcal{E} = \left| -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right|$ به دست می‌آید. در هر دو حالت N و $\Delta \Phi$ یکسان و برابرند و فقط زمان خروج آن‌ها از میدان عامل ایجاد تفاوت است. زمان خروج نیز از رابطه $\Delta t = \frac{\Delta x}{v}$ به دست می‌آید که در آن بعدی از قاب است که هم‌راستا با سرعت حرکت قاب است.

$$\left. \begin{aligned} \Delta t_1 &= \frac{\Delta x_1}{v_1} = \frac{\lambda_0}{v_0} = 2 \text{ s} \\ \Delta t_2 &= \frac{\Delta x_2}{v_2} = \frac{\lambda_0}{v_0} = 3 \text{ s} \end{aligned} \right\} \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{\Delta t_2}{\Delta t_1} = \frac{3}{2}$$

باتوجه به شکل، زمان نشان داده شده برابر $\frac{3T}{4}$ است، بنابراین داریم:

$$\frac{3T}{4} = 0.6 \Rightarrow T = 0.8 \text{ s}$$

حال با استفاده از رابطه جریان متناوب عبوری از حلقه، یعنی $I = I_m \sin \frac{2\pi}{T} t$ داریم:

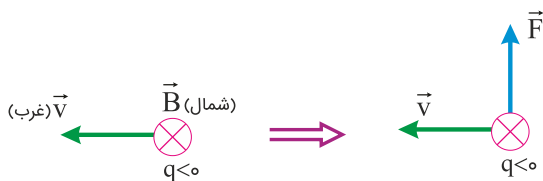
$$I = I_m \sin \frac{2\pi}{T} t \xrightarrow[t = \frac{1}{10} \text{ s}, T = 0.8 \text{ s}]{I_m = 100\pi \text{ (A)}} I = 100\pi \sin \frac{2\pi}{0.8} \times \frac{1}{10} = 100\pi \sin \frac{\pi}{6}$$

$$\Rightarrow I = 100\pi \times \frac{1}{2} = 50\pi \text{ (A)}$$

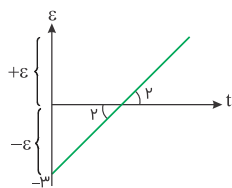
طبق رابطه $F = |q| v B \sin \theta$ ، داریم:

$$F = 1/6 \times 10^{-19} \times 2 \times 10^3 \times 0.2 \times \sin 90^\circ = 6/4 \times 10^{-17} \text{ N}$$

طبق قاعده دست راست و قرینه کردن جهت به دست آمده چون بار ذره منفی است، جهت نیروی وارد بر الکترون به سمت بالا است.



$$\varepsilon = -N \frac{d\Phi}{dt} = -(-2t + 3) = 2t - 3$$



شرط افقی بودن مسیر حرکت، تعادل نیروهای وارده است:

$$F = W \Rightarrow qvB \sin 90 = mg \Rightarrow \frac{q}{m} = \frac{g}{vB} = \frac{10}{500 \times 0.25 \times 10^{-4}} = 800$$

میدان مغناطیسی زمین از جنوب به سمت شمال است. نیروی مغناطیسی نیز باید خلاف جهت نیروی وزن و روبه بالا باشد؛ پس طبق قاعده دست راست، جهت حرکت ذره باید از غرب به سمت شرق باشد.

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

$$J = H \times A^2 \Rightarrow H = \frac{J}{A^2} = \frac{W.s}{A^2} = \frac{V A.s}{A^2} = V.s/A$$

بررسی عبارتهای نادرست:

(آ) حضور مواد دیامغناطیس در میدان مغناطیسی خارجی سبب القای دوقطبی‌های مغناطیسی در خلاف جهت میدان در آنها می‌شود.

(ت) فولاد و کبالت فرومغناطیس سخت هستند و در حضور میدان مغناطیسی به سختی خاصیت آهنربایی پیدا کرده و با حذف میدان به سختی خاصیت مغناطیسی را از دست می‌دهند.

مساحت حلقه را محاسبه می‌کنیم:

$$A = \pi r^2 \xrightarrow{r = \frac{r}{2} = 2 \text{ cm} = 2 \times 10^{-2} \text{ m}} A = \pi \times (2 \times 10^{-2})^2 = 12 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

شار گذرنده از حلقه از رابطه $\Phi = BA \cos \theta$ محاسبه می‌شود و در لحظه‌ای که خطوط میدان عمود بر سطح حلقه هستند ($\theta = 0$)، شار بیشینه می‌شود، در نتیجه می‌توان نوشت:

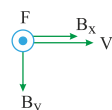
$$\Phi_{\max} = BA \Rightarrow 6 \times 10^{-5} = B \times 12 \times 10^{-4} \\ \Rightarrow B = \frac{1}{2} \times 10^{-1} = 5 \times 10^{-2} \text{ T} \xrightarrow{\times 10^4} B = 500 \text{ G}$$

جهت میدان مغناطیسی زمین از جنوب به شمال است. پس با قاعده دست راست و باتوجه به جهت جریان (که به سمت شرق است) می‌توان دریافت که جهت نیروی وارد بر سیم حامل جریان به سمت بالا است.

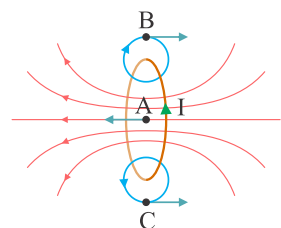
باتوجه به شکل بردارها مشخص می‌شود که مؤلفه افقی میدان تأثیری در حرکت ذره ندارد و نیرو به واسطه مؤلفه قائم میدان ایجاد می‌شود. در این صورت داریم:

$$F = qvB_y \sin \alpha = 25 \times 10^{-6} \times 10^4 \times 4 \times 10^{-3} = 10^{-3} \text{ N}$$

و جهت نیرو برون سو است.



با استفاده از قاعده دست راست چند خط میدان در اطراف حلقه حامل جریان را رسم می‌کنیم. جهت بردار میدان در این نقاط مطابق آنچه در شکل زیر نشان داده‌ایم است:



با استفاده از نسبت‌های مثلثاتی می‌توانیم طول سیم سوم را به دست آوریم و باتوجه به قانون دست راست و رابطه $F = BIL\sin\theta$ ثابت می‌کنیم که برآیند نیروهای وارده از طرف میدان بر آن سیم صفر خواهد بود.

$$\text{BCO در مثلث} : \cos 30^\circ = \frac{CO}{BO} \Rightarrow CO = \frac{40\sqrt{3}}{3}, OD = 80 - \frac{40\sqrt{3}}{3}$$

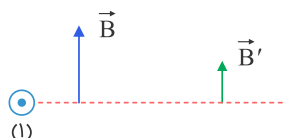
$$\text{ODE در مثلث} : \cos 60^\circ = \frac{OD}{OE} \Rightarrow OE = \left(80 - \frac{40\sqrt{3}}{3}\right) \times 2$$

$$\text{ODE در مثلث} : \sin 60^\circ = \frac{DE}{OE} \Rightarrow DE = \frac{2\left(80 - \frac{40\sqrt{3}}{3}\right) \sin 60^\circ}{2} = (80\sqrt{3} - 40)$$

$$F = BIL\sin 90^\circ - BIL\sin 60^\circ + BIL\sin 30^\circ$$

$$= BI\left(80 - 80\frac{\sqrt{3}}{2} + 40\right) = 0 \Rightarrow F = 0$$

با افزایش فاصله از سیم اندازه میدان کاهش می‌یابد (اندازه بردار میدان کوچک‌تر می‌شود)؛ بنابراین سیم به بردار بزرگ‌تر نزدیک‌تر است. در نتیجه سیم در نقطه (۱) قرار دارد. همچنین به کمک قاعده دست راست جهت جریان برون‌سو تعیین می‌شود.



جمع‌بندی نقاطی که میدان مغناطیسی برآیند در آنجا صفر است:

(۱) اگر سیم‌ها دارای جریان همسو باشند بین دو سیم و نزدیک به سیم با جریان کمتر

(۲) اگر سیم‌ها دارای جریان غیرهمسو باشند خارج دو سیم و نزدیک به سیم با جریان کمتر

پس دو سیم در این سؤال دارای جریان غیرهمسو بوده و $I_1 < I_2$ است.