@Pouranem

* آنالیز و حل سوال های الکترومغناطیس کنکور ارشد برق ۹۸

✓ سوال های ساده:

حذف گزینه (حالات) ← 2 ، روش حدی (حذف گزینه) ← 4 ، حذف گزینه ← 7 ، حذف گزینه ← 9 ، حذف گزینه ← 10

2, 3, 4, 5, 7, 9, 10, 11, 12

✓ ۴۲٪ از طریق حذف گزینه

✓ کسب ۷۵٪ از طریق حل ۹ سوال ساده

✓ سوال های متوسط:

6

✓ سوال های دشوار:

X

✓ سوال ۱ و ۸ پاسخ صحیح ندارد

* این آزمون جزو آزمون های ساده ی الکترومغناطیس در چند سال اخیر است .

* با استفاده از ابزارهای حدی که در فیلم های حل سوالات ارشد اشاره شده، سوال ۷ و ۱۰ که می توانند حل تشریحی طولانی داشته باشند در کمتر از یک دقیقه قابل حل هستند .

۱) دو حلقهٔ دایره‌ای هم‌صفحه و هم‌مرکز باردار، یکی به شعاع a و بار الکتریکی خطی با چگالی λ_1 و دیگری به شعاع $2a$ و بار الکتریکی خطی با چگالی λ_2، در مرکز، پتانسیل الکتریکی یکسان ایجاد می‌کنند. نسبت $\frac{\lambda_2}{\lambda_1}$ کدام است؟

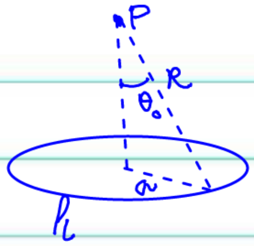
۱) $\frac{1}{2}$

۲) 2

۳) $\frac{1}{4}$

۴) 4

گزینه صحیح موجود نمی‌باشد (کلید سازمان سنجش: 2)



$$V_P = \frac{\rho_L}{2\varepsilon_0}\cos\theta_0 \xrightarrow{\text{مرکز}} V_C = \frac{\rho_L}{2\varepsilon_0}$$

پتانسیل در مرکز یک حلقه با بار یکنواخت مستقل از شعاع حلقه می‌باشد و فقط به چگالی بار خطی بستگی دارد.

$$V_1 = V_2 \to \frac{\lambda_1}{2\varepsilon_0} = \frac{\lambda_2}{2\varepsilon_0} \to \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = 1$$

(در گزینه‌ها نیست ؟)

2) بینهایت هادی خطی موازی در صفحهٔ $y=0$ در $x=n,\ n=0,\pm1,\pm2,\pm3,\ldots$ قرار گرفته‌اند. هر کدام جریان ۱ آمپر را در جهت $\bar{a}_z$ از خود عبور می‌دهند. شدت میدان مغناطیسی $\bar{H}$ در $(0,1,0)$ کدام است؟

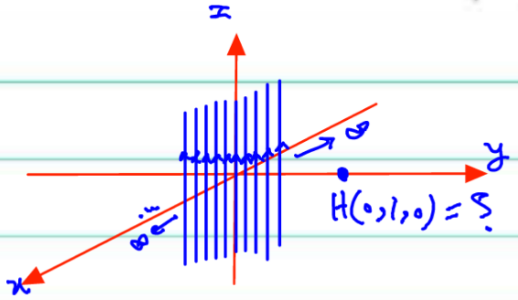
راهنمایی: $\sum_{n=1}^{\infty}\frac{y}{y^2+n^2}=\frac{\pi}{2}-\frac{1}{2y}+\frac{\pi}{e^{2\pi y}-1}$

۱) $H_x=-\frac{1}{2}+\frac{1}{1-e^{2\pi}}$ ✓ <0 $|H_x|>\frac{1}{2}$

۲) $H_x=-\frac{1}{2}+\frac{1}{e^{2\pi}-1}$ >0 $|H_x|<\frac{1}{2}$

۳) $H_x=\frac{1}{2}+\frac{1}{1-e^{2\pi}}$

۴) $H_x=\frac{1}{2}+\frac{1}{e^{2\pi}-1}$



مشابه دکتری مخابرات ۹۱ و ۹۳

برای صفحهٔ جریان نامحدود طبق رابطه می‌توان نوشت: $\vec{H}=\frac{1}{2}\vec{J}\times\hat{a}_n$

$$\vec{H}(0,1,0)=\frac{1}{2}J_0\hat{a}_z\times\hat{a}_y=-\frac{1}{2}J_0\hat{a}_x \rightarrow \vec{H}(0,1,0)=-\frac{1}{2}\hat{a}_x$$

$$I=(J_0\hat{a}_z\cdot\hat{a}_z)\times 1\rightarrow J_0=I=1$$

پس میدان H توزیع داده شده باید نزدیک به مقدار $-\frac{1}{2}$ باشد ← گزینه‌ی 3 و 4 حذف

از طرفی برای گزینه‌های ۱ و ۲ داریم:

$$e^{2\pi}\simeq(2.7)^{6.4}\simeq 535 \rightarrow e^{2\pi}-1=534\rightarrow \frac{1}{e^{2\pi}-1}=\frac{1}{534}>0$$
$$\rightarrow 1-e^{2\pi}=-534\rightarrow \frac{1}{1-e^{2\pi}}=-\frac{1}{534}<0$$

بنابراین گزینه ۱: $|H_x|>\frac{1}{2}$ و گزینه ۲: $|H_x|<\frac{1}{2}$

چون میدان صفحهٔ بی‌نهایت تقریبی از میدان سیم‌های بی‌نهایت است طبیعتاً میدان سیم‌های محدود اندکی باید بزرگتر از میدان صفحهٔ بی‌نهایت باشد ← گزینه‌ی ۱

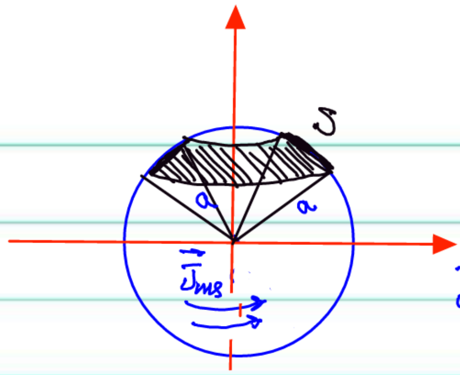
3) بردار مغناطش (Magnetization) در داخل کره‌ای به شعاع a، یکنواخت و به‌صورت $M_0\hat{z}$ است. گشتاور مغناطیسی سهم جریان‌های مقید در ناحیهٔ $0 \le \varphi \le 360^\circ$، $30^\circ \le \theta \le 45^\circ$ و $0 \le r \le a$، کدام است؟

۱) $\hat{z}\dfrac{\pi a^3 M_0}{24}(\sqrt{2}-1)$

۲) $\hat{z}\dfrac{\pi a^3 M_0}{24}(\sqrt{3}-\sqrt{2})$

۳) $\hat{z}\dfrac{\pi a^3 M_0}{24}(\sqrt{3}-1)$

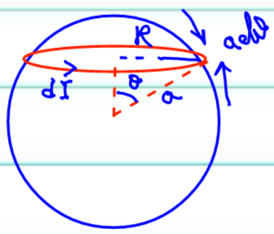
۴) $\hat{z}\dfrac{\pi a^3 M_0}{24}(9\sqrt{3}-10\sqrt{2})$ ✓



در سطح کره چگالی جریان مقید سطحی برابر است با :

$$\vec{J}_{ms} = \vec{M} \times \hat{a}_n = M_0 \hat{a}_z \times \hat{a}_r = M_0 \sin\theta \, \hat{a}_\varphi$$

$\vec{m}$ مساحت S موجود در شکل بالا که جریان $\vec{J}_{ms}$ از آن ناحیه هم عبور می‌کند توسط تقسیم $\vec{m}$ به حلقه‌ها با جریان dI محاسبه می‌شود :



$$\vec{dm} = \pi R^2 \, dI \, \hat{a}_z$$

$$dI = \left(M_0 \sin\theta \, \hat{a}_\varphi \cdot \hat{a}_\varphi\right) a\,d\theta = a M_0 \sin\theta \, d\theta$$

$$\vec{dm} = \pi (a\sin\theta)^2 \, a M_0 \sin\theta \, d\theta \, \hat{a}_z$$

$$\vec{m} = \pi a^3 M_0 \int_{30^\circ}^{45^\circ} \sin^3\theta \, d\theta \, \hat{a}_z = \hat{z}\,\frac{\pi a^3 M_0}{24}\left(9\sqrt{3}-10\sqrt{2}\right)$$

۴) یک دو قطبی با گشتاور $\overline{P}_z$ در مرکز یک کرهٔ دی‌الکتریک با شعاع R و گذردهی الکتریکی ε قرار گرفته است. اگر مرکز کره در مبدأ مختصات باشد، پتانسیل در $r \geq R$ کدام است؟

۱) $\phi = \frac{P_z \cos\theta}{4\pi\varepsilon}\left[\frac{2}{r^2} + \frac{r}{R^3} \times \frac{\varepsilon - 2\varepsilon_0}{\varepsilon + \varepsilon_0}\right]$

۲) $\phi = \frac{P_z \cos\theta}{4\pi\varepsilon}\left[\frac{1}{r^2} + \frac{2r}{R^3} \times \frac{\varepsilon - \varepsilon_0}{\varepsilon + 2\varepsilon_0}\right]$ ✓

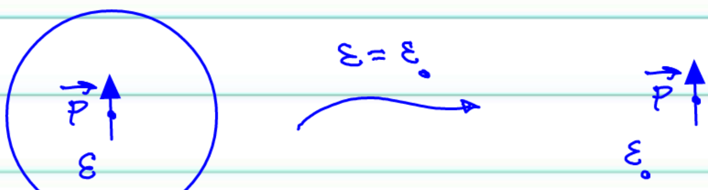
۳) $\phi = \frac{P_z \cos\theta}{4\pi\varepsilon}\left[\frac{1}{2r^2} + \frac{r}{R^3} \times \frac{\varepsilon - 2\varepsilon_0}{\varepsilon + \varepsilon_0}\right]$

۴) $\phi = \frac{P_z \cos\theta}{4\pi\varepsilon}\left[\frac{1}{2r^2} + \frac{2r}{R^3} \times \frac{\varepsilon - \varepsilon_0}{\varepsilon + 2\varepsilon_0}\right]$

پتانسیل یک دوقطبی الکتریکی در فضا عبارت است از:

$$V = \frac{qd\cos\theta}{4\pi\varepsilon_0 r^3} \quad \text{یا} \quad \frac{P\cos\theta}{4\pi\varepsilon_0 r^3}$$

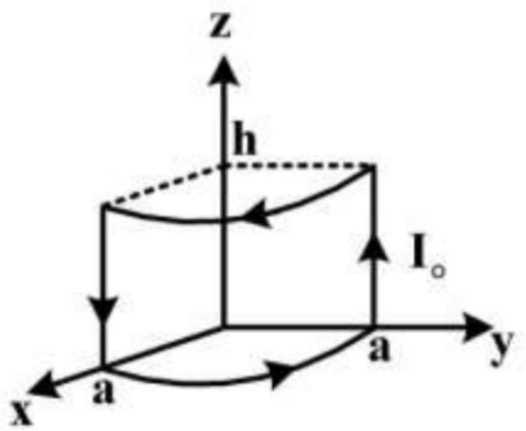
اگر از حالت حدی $\varepsilon = \varepsilon_0$ استفاده کنیم یعنی دوقطبی $\vec{P}$ در فضا حضور داشته باشد:



$$V = \frac{P\cos\theta}{4\pi\varepsilon r^3}$$

فقط گزینهٔ 2 شرط حدی فوق را برآورده می‌کند.

۵) شکل زیر، حلقهٔ جریان I_0 را نشان می‌دهد. گشتاور دو قطبی این حلقه کدام است؟

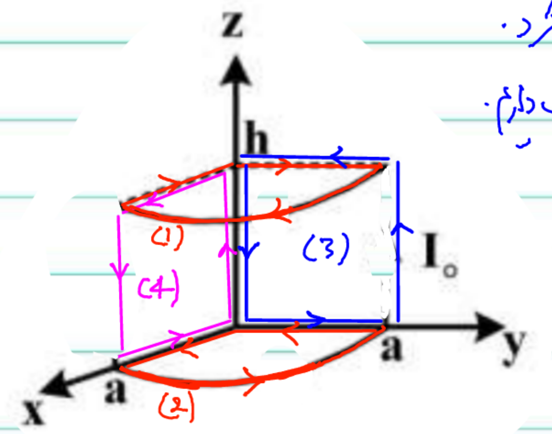


۱) $\vec{m} = 0$

۲) $\vec{m} = \frac{\pi a^2}{2} I_0 \hat{a}_z$

۳) $\vec{m} = -\frac{\pi a^2}{2} I_0 (\hat{a}_x - \hat{a}_y)$

۴) $\vec{m} = ahI_0 (\hat{a}_x + \hat{a}_y)$ ✓



✓ توزیع جریان داده شده را می‌توان به صورت مسیرهای زیر گسترش کرد.

لذا 4 حلقه بسته با توزیع جریان I_0 و جهت‌های مختلف داریم.

✓ با توجه به جهت $\vec{m}$ برای حلقه‌ها از قاعده دست راست مشخص می‌شود

برای حلقه‌های 1 و 2، $\vec{m}$ها در جهت $\pm\hat{z}$ دارند و اثر هم را خنثی می‌کنند بنابراین

$$\vec{m}_{کل} = \vec{m}_3 + \vec{m}_4$$
$$= ahI_0 \hat{a}_x + ahI_0 \hat{a}_y$$
$$= ahI_0 (\hat{a}_x + \hat{a}_y)$$

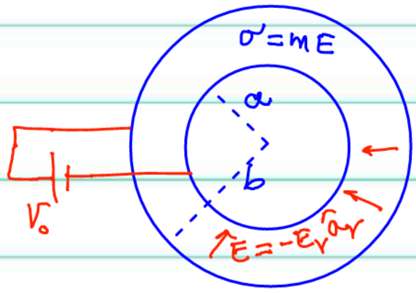
6) کرهٔ فلزی به شعاع a توسط یک کرهٔ فلزی دیگر و هم مرکز با آن به شعاع b $(b>a)$ احاطه شده است. فضای بین دو کره با ماده‌ای با رسانایی ویژهٔ $\sigma = mE$ پر شده است. اگر E اندازه شدت میدان الکتریکی بین دو کره و m ثابت باشد و اختلاف پتانسیل V_0 بین دو کره اعمال شود، جریان حاصل بین دو کره به‌صورت تابعی از V_0، m و ابعاد کره کدام است؟

۱) $I = \dfrac{2\pi m V_0}{\ln(\frac{b}{a})}$

۲) $I = \dfrac{2\pi m V_0^2}{\left[\ln(\frac{b}{a})\right]^2}$

۳) $I = \dfrac{4\pi m V_0^2}{\left[\ln(\frac{b}{a})\right]^2}$ ✓

۴) $I = \dfrac{4\pi m V_0}{\ln(\frac{b}{a})}$



$$\vec{J} = \sigma \vec{E} = m E_r^2 (-\hat{a}_r)$$

$$R = \frac{V_0}{I} \quad , \quad I = \iint \vec{J}\cdot d\vec{s} \quad , \quad V_0 = \int_a^b \vec{E}\cdot dr\,\hat{a}_r$$

$$R = \frac{-\int_a^b E_r\, dr}{-\int_0^{\pi}\int_0^{2\pi} m E_r^2\, r^2 \sin\theta\, d\theta\, d\varphi}$$

حال باید فرم E_r طوری باشد که مقاومت R مستقل از شعاع r باشد و فقط وابسته به σ و V_0 و a و b باشد.

→ E فقط می‌تواند فرم $\frac{1}{r}$ باشد

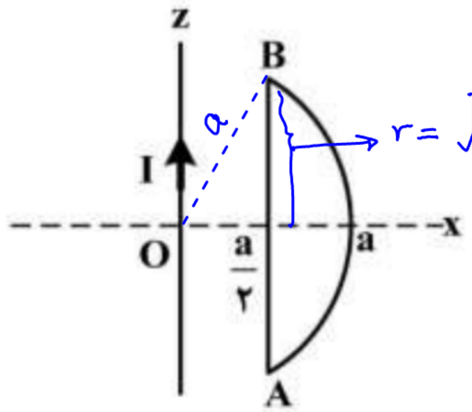
$$E_r = E_0/r \rightarrow V_0 = \int_a^b \frac{E_0}{r}\, dr \rightarrow E_0 = \frac{V_0}{\ln\frac{b}{a}} > 0$$

$$\rightarrow E_r = \frac{V_0}{r \ln(\frac{b}{a})}$$

$$I = \int_0^{\pi}\int_0^{2\pi} \frac{m V_0^2}{r^2 \left[\ln(\frac{b}{a})\right]^2} r^2 \sin\theta\, d\theta\, d\varphi = \frac{4\pi m V_0^2}{\left[\ln(\frac{b}{a})\right]^2}$$

توجه کنید که تنها در صورتی که میدان E بین هادی‌ها یکنواخت باشد می‌توان از رابطه بسته هندسی در کلی برای R استفاده کرد. در اینجا چون $E \propto \frac{1}{r}$ است پس نمی‌توان از فرمول $R = \int \frac{du_1}{\iint \frac{\sigma h_2 h_3\, du_2\, du_3}{h_1}}$ استفاده کرد.

۷) اندوکتانس متقابل بین جریان I ثابت روی محور z و حلقهٔ متشکل از بخشی از دایرهٔ $x^2+z^2=a^2$ و پاره‌خط AB موازی محور z که از نقطهٔ $(x=\frac{a}{2}, z=0)$ می‌گذرد، کدام است؟



$r=\sqrt{a^2-\frac{a^2}{4}}=\frac{\sqrt{3}a}{2}$

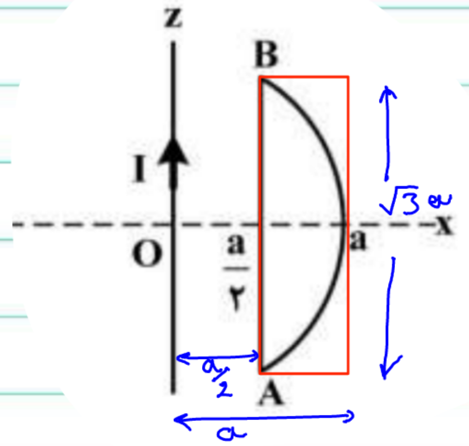
۱) $\frac{a}{\pi}\left(\ln(2+\sqrt{3})-\frac{\sqrt{3}}{2}\right)$ ✓

۲) $\frac{a}{\pi}\left(\ln(2+\sqrt{3})+\frac{\sqrt{3}}{2}\right)$

۳) $\frac{a}{\pi}\left(\underbrace{\ln(2-\sqrt{3})}_{<0}-\frac{\sqrt{3}}{2}\right)$ ⟵ عبارت منفی است پس حذف می‌شود.

۴) $\frac{a}{\pi}\left(\underbrace{\ln(2-\sqrt{3})}_{<0}+\frac{\sqrt{3}}{2}\right)$

حل با روش حذف گزینه:



اندوکتانس متقابل سیم بی‌نهایت و حلقهٔ مستطیلی:

$$M'=\frac{\mu_0 a\sqrt{3}}{2\pi}\ln\frac{a}{a/2}=\frac{\mu_0}{\pi}\frac{a\sqrt{3}}{2}\ln 2$$

$$=\frac{\mu_0 a}{\pi}(0.65\ln 2) >$$ اندوکتانس سیم و حلقهٔ دایره‌ای (M)

✓ چون مساحت حلقهٔ دایره‌ای کوچکتر از حلقهٔ مستطیلی است پس M باید از M' کوچکتر باشد.

$2-\sqrt{3}\simeq 0.3 \to \ln 0.3<0$ ⟵ (اندوکتانس عبارتی + است) گزینه‌های 3 و 4 مقداری منفی است حذف می‌شود

$\ln(2+\sqrt{3})>\ln 2$ ⟵ اندوکتانس گزینهٔ 2 از اندوکتانس مستطیلی بزرگتر است. پس حذف می‌شود

پس گزینهٔ ۱ صحیح است

۸) ناحیهٔ بین دو استوانهٔ رسانای طویل هم‌محور به شعاع‌های a و b $(a<b)$ از عایق با گذردهی $\varepsilon=\frac{\varepsilon_0}{r}$ پر شده است. خازن واحد طول آن چند برابر حالتی است که از عایق با گذردهی ε_0 پر شده باشد؟

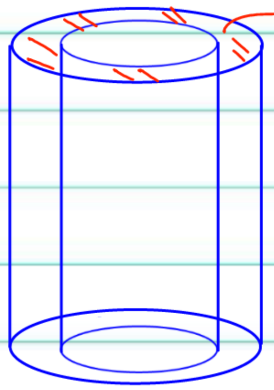
C_1 C_2

۱) $\dfrac{b-a}{\ln(\frac{b}{a})}$

۲) $\dfrac{\pi(b-a)}{\ln(\frac{b}{a})}$

۳) $\dfrac{b^2-a^2}{\ln(\frac{b}{a})}$

۴) $\dfrac{\ln(\frac{b}{a})}{\pi(b-a)}$



$\varepsilon=\frac{\varepsilon_0}{r}$

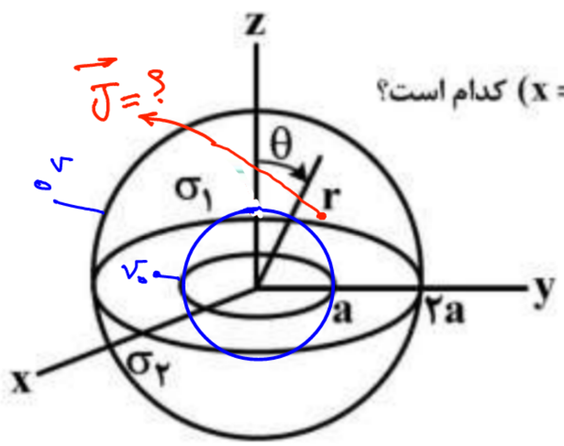
$$\frac{1}{C}=\int_a^b\frac{dR}{2\pi\varepsilon\varepsilon_r R}$$

$$\begin{cases}\dfrac{1}{C_1}=\dfrac{\ln b/a}{2\pi\varepsilon}\\[2ex]\dfrac{1}{C_2}=\displaystyle\int_a^b\frac{dR}{2\pi\varepsilon\frac{R}{R}}=\frac{b-a}{2\pi\varepsilon}\end{cases}$$

$$\rightarrow\ \frac{1}{C_1}=\frac{\ln\frac{b}{a}}{(b-a)C_2}\longrightarrow\frac{C_2}{C_1}=\frac{\ln\frac{b}{a}}{b-a}$$

درگزینه‌ها نیست. (کلید سنجش گزینه‌ی یک است !!!)

۹) ناحیهٔ فضایی مابین دو پوستهٔ کروی هم‌مرکز به شعاع‌های a و 2a مطابق شکل زیر از دو مادهٔ همگن با رسانایی ویژهٔ σ_1 و σ_2 $\left(\sigma=\begin{cases}\sigma_1 & 0<\theta<\frac{\pi}{2}\\ \sigma_2 & \frac{\pi}{2}<\theta<\pi\end{cases}\right)$ تشکیل شده است. اگر سطح $R=2a$ در پتانسیل صفر و سطح $R=a$ در پتانسیل V_0 باشد، چگالی جریان در نقطهٔ $(x=0, y=a, z=a)$ کدام است؟



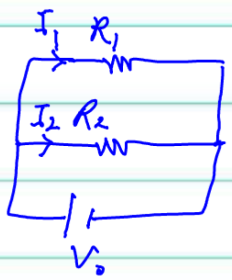
۱) $\vec{J}=\frac{\sigma_1 V_0}{\sqrt{2}a}\hat{a}_r$

۲) $\vec{J}=\frac{\sigma_1\sigma_2}{(\sigma_1+\sigma_2)}\frac{V_0}{a}\hat{a}_r$

۳) $\vec{J}=\frac{\sigma_1 V_0}{\sqrt{2}a}(\hat{a}_y+\hat{a}_z)$ ✓

۴) $\vec{J}=\frac{\sigma_1\sigma_2}{(\sigma_1+\sigma_2)}\frac{V_0}{\sqrt{2}a}(\hat{a}_y+\hat{a}_z)$

ساختار داده شده دو مقاومت موازی است:



روش حذف گزینه

۱) $\vec{J}$ در R_1 خواسته شده پس باید مستقل از σ_2 باشد ← 2 و 4 حذف می‌شوند.

۲) از طرفی $\vec{J}$ در جهت $\hat{a}_r$ (جهت $\vec{E}$) خواهد بود و در نقطهٔ خواسته شده $\hat{a}_x$ نباید باشد ← گزینه ۱ را حذف
بنابراین 3 صحیح است

روش تشریحی:

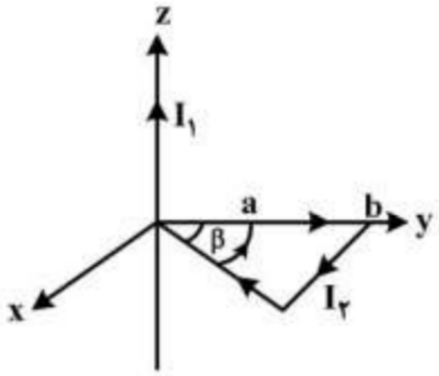
$$\frac{1}{R_T}=4a\pi\sigma_1+4a\pi\sigma_2=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}$$

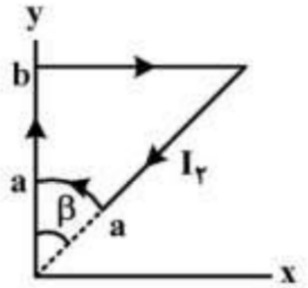
$$R_1=\frac{1}{4a\pi\sigma_1}\rightarrow I_1=\frac{V_0}{R_1}=4a\pi\sigma_1 V_0$$

$$\vec{J}_1=\frac{I_1}{2\pi r^2}\hat{a}_r\Big|_{x=0,y=z=a}=\frac{4a\pi\sigma_1 V_0}{2\pi(2a^2)}\left(\frac{\hat{a}_y+\hat{a}_z}{\sqrt{2}}\right)=\frac{\sigma_1 V_0}{a}\left(\frac{\hat{a}_y+\hat{a}_z}{\sqrt{2}}\right)$$

$r=a\sqrt{2}$

15) سیم جریان با طول بی‌نهایت با جریان I_1 منطبق بر محور zها قرار دارد. حلقهٔ جریان در صفحهٔ xy با جریان I_2 مطابق شکل زیر داده شده است. گشتاور وارد بر حلقهٔ جریان I_2 کدام است؟





I_2 حلقهٔ جریان

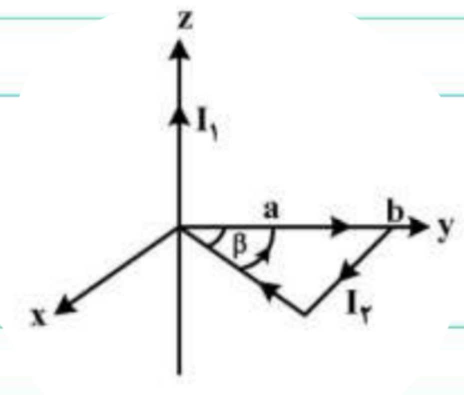
۱) $\vec{\tau} = \frac{\mu_0 I_1 I_2 a}{2\pi}\left[\cos\beta\hat{a}_x + \sin\beta\hat{a}_y\right]$

۲) $\vec{\tau} = \frac{\mu_0 I_1 I_2 a}{2\pi}\left[\cos\beta\hat{a}_x - \sin\beta\hat{a}_y\right]$

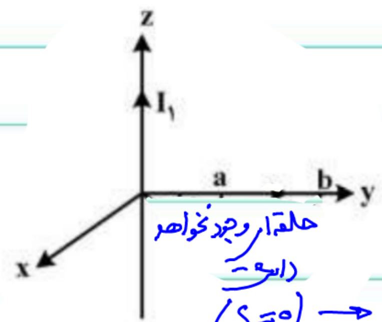
۳) $\vec{\tau} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi}\left[(a\cos\beta - \ln\cos\beta)\hat{a}_x + (b\beta - a\sin\beta)\hat{a}_y\right]$

۴) $\vec{\tau} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi}\left[(a\cos\beta - a - \ln\cos\beta)\hat{a}_x + (b\beta - a\sin\beta)\hat{a}_y\right]$ ✓

کافیه حالت $\beta=0$ بررسی شود.



$\xrightarrow{\beta=0}$



$(S=0) \rightarrow$ هیچ عبوری از حلقه نمیشود

با $\beta=0$ ، هیچ عبوری از حلقه نمیشود در نتیجه هیچ گشتاوری به حلقه وارد نخواهد شد (چون حلقه‌ای وجود ندارد)

فقط گزینهٔ 4 این خاصیت را دارد.

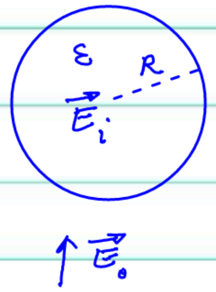
۱۱) یک کرهٔ دی‌الکتریک با گذردهی الکتریکی ε در یک میدان الکتریکی یکنواخت $\overline{E}_\circ$ قرار گرفته است. با فرض شدت میدان الکتریکی داخل کره به‌صورت: $\overline{E}=\frac{3\varepsilon_\circ}{\varepsilon+2\varepsilon_\circ}\overline{E}_\circ$. کل گشتاور دوقطبی الکتریکی کدام است؟ (شعاع کرهٔ دی‌الکتریک $R_\circ$ فرض شود.)

۱) $\overline{P}_t=\frac{4\pi\varepsilon(\varepsilon-\varepsilon_\circ)}{\varepsilon+2\varepsilon_\circ}R_\circ^3\overline{E}_\circ$

۲) $\overline{P}_t=\frac{4\pi^2\varepsilon(\varepsilon-\varepsilon_\circ)}{\varepsilon+2\varepsilon_\circ}R_\circ^3\overline{E}_\circ$

۳) $\overline{P}_t=\frac{4\pi\varepsilon_\circ(\varepsilon-\varepsilon_\circ)}{\varepsilon+2\varepsilon_\circ}R_\circ^3\overline{E}_\circ$

۴) $\overline{P}_t=\frac{4\pi^2\varepsilon_\circ(\varepsilon-\varepsilon_\circ)}{\varepsilon+2\varepsilon_\circ}R_\circ^3\overline{E}_\circ$

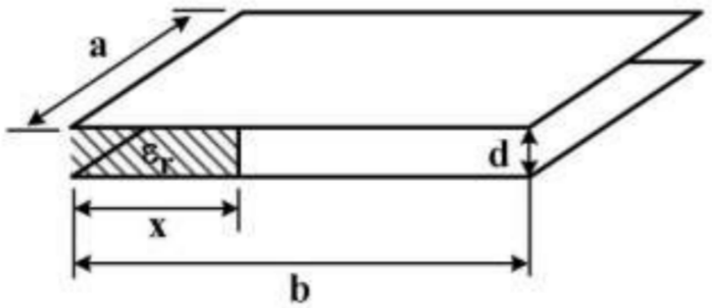


$\vec{P}=\varepsilon_\circ(\varepsilon_r-1)\vec{E}=(\varepsilon-\varepsilon_\circ)\vec{E}$

$\vec{P}=\frac{3\varepsilon_\circ(\varepsilon-\varepsilon_\circ)}{\varepsilon+2\varepsilon_\circ}\vec{E}_\circ$ مقدار یکنواخت

$\vec{P}_t=\vec{P}\times\frac{4}{3}\pi R^3=\frac{4\pi\varepsilon_\circ(\varepsilon-\varepsilon_\circ)}{\varepsilon+2\varepsilon_\circ}R^3\vec{E}_\circ$

12) خازن مسطحی از دو صفحهٔ هادی موازی به‌طول و عرض a و b مطابق شکل زیر ساخته شده است. فاصلهٔ دو صفحه $d << a,b$ است. از اثر لبه‌ها صرف‌نظر می‌شود. تیغهٔ عایقی با گذردهی الکتریکی نسبی ε_r مطابق شکل بین دو صفحه قرار گرفته است. اگر خازن را به ولتاژ V_0 متصل کنیم و تیغهٔ عایق را به‌صورتی خارج کنیم که فقط به اندازهٔ x در درون خازن باقی بماند، نیروی وارد بر تیغه که آن‌را به داخل خازن می‌کشد، کدام است؟

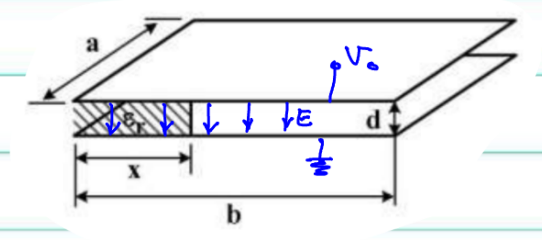


۱) $\dfrac{\varepsilon_0(\varepsilon_r-1)aV_0^2}{4d}$

۲) $\dfrac{\varepsilon_0(\varepsilon_r-1)aV_0^2}{2d}$

۳) $\dfrac{\varepsilon_0(\varepsilon_r-1)bV_0^2}{4d}$

۴) $\dfrac{\varepsilon_0(\varepsilon_r-1)bV_0^2}{2d}$



ساختار داده شده ترکیب موازی دو خازن است:

$$C_t = C_1 + C_2$$

$$C_t = \varepsilon \frac{ax}{d} + \varepsilon_0 \frac{a(b-x)}{d}$$

$$W = \frac{1}{2} C_t V_0^2 = \frac{1}{2} \varepsilon_0 \frac{a}{d} V_0^2 \left[\varepsilon_r x + b - x \right]$$

$$F = \frac{\partial W}{\partial x} = \frac{1}{2} \frac{\varepsilon_0 a}{d} V_0^2 \left[\varepsilon_r - 1 \right] = \frac{\varepsilon_0(\varepsilon_r - 1) a V_0^2}{2d}$$

چون سیستم به منبع ولتاژ بیرونی وصل است نیروی لازم از طریق V_0 ایجاد می‌شود بنابراین علامت منفی نخواهد داشت