



۱۱

فیزیک

تمرین های آخر فصل کتاب درسی

ریاضی



۱-۱ و ۲-۱ بار الکتریکی، پایداری و کوانتیده‌بودن بار

۱- چگونه توسط یک الکتروسکوپ می‌توانیم تشخیص دهیم که:

(الف) یک میله باردار است یا نه؟

میله را به کلاهک الکتروسکوپ بدون باری نزدیک می‌کنیم. اگر فاصله بین ورقه‌های الکتروسکوپ تغییری نکند، میله بدون بار است و در صورتی که ورقه‌های الکتروسکوپ از هم فاصله بگیرند، نتیجه می‌گیریم که میله باردار است.

(ب) میله رساناست یا عایق؟

میله را به کلاهک الکتروسکوپ بارداری تماس می‌دهیم. اگر میله رسانا باشد، منجر به تخلیه بار الکتروسکوپ شده و ورقه‌های الکتروسکوپ بسته می‌شوند و در صورتی که میله نارسا (عایق) باشد، بارهای الکتریکی از الکتروسکوپ خارج نمی‌شوند و فاصله بین ورقه‌های الکتروسکوپ ثابت باقی می‌ماند.

(پ) نوع بار میله باردار چیست؟

میله را به الکتروسکوپ بارداری نزدیک می‌کنیم. اگر فاصله بین ورقه‌های الکتروسکوپ بیشتر شود، نتیجه می‌گیریم بارهای میله و الکتروسکوپ همانم بوده و در صورتی که ورقه‌های الکتروسکوپ به هم نزدیک شود، نتیجه می‌گیریم که بارهای میله و بار الکتروسکوپ ناهمنام هستند.

۲- یک میله پلاستیکی را با پارچه پشمی مالش می‌دهیم. پس از مالش، بار الکتریکی میله پلاستیکی

 $8 \times 10^{-12} \text{ C}$ می‌شود.

(الف) بار الکتریکی ایجادشده در پارچه پشمی چه قدر است؟

بار الکتریکی در پارچه پشمی به همان اندازه ولی با علامت مثبت است؛ یعنی $8 \times 10^{-12} \text{ C}$.

(ب) تعداد الکترون‌های منتقل شده از پارچه پشمی به میله پلاستیکی را محاسبه کنید.

با توجه به اصل کوانتیده‌بودن بار الکتریکی، تعداد الکترون‌های منتقل شده از پارچه پشمی به میله پلاستیکی را به دست می‌آوریم:

$$q = ne \Rightarrow n = \frac{q}{e} = \frac{12 \times 10^{-12} \text{ C}}{1.6 \times 10^{-19} \text{ C}} = 7.5 \times 10^6 \text{ الکترون}$$

۳- (الف) بار الکتریکی اتم و هسته اتم کربن (^{12}C) چند کولن است؟

اتم کربن خنثی، بدون بار الکتریکی است ($q = 0$). هسته اتم کربن ^{12}C ، ۶ پروتون و ۶ نوترون دارد؛ بنابراین بار الکتریکی هسته اتم کربن برابر است با:

$$q = +ne = (+6) \times (1.6 \times 10^{-19} \text{ C}) = +9.6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

(ب) بار الکتریکی کربن یک بار یونیده (C^+) چه قدر است؟

اتم کربن یک بار یونیده (C^+)، یک الکترون از دست داده است و به همین دلیل تعداد پروتون‌های آن یک عدد بیشتر از تعداد الکترون‌هایش است؛ بنابراین بار الکتریکی آن برابر است با:

$$q = (+1) \times (1.6 \times 10^{-19} \text{ C}) = +1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

۳-۱ قانون کولن

۴- دو گوی رسانا، کوچک و یکسان به بارهای $q_1 = 4 \text{ nC}$ و $q_2 = -6 \text{ nC}$ را با هم تماس می‌دهیم و سپس تا فاصله $r = 30 \text{ cm}$ از هم دور می‌کنیم. نیروی برهم‌کنش الکتریکی بین دو گوی را محاسبه کنید.

از آنجایی که دو گوی رسانا و شبیه هم هستند، وقتی آن‌ها را با هم تماس می‌دهیم گوی‌ها دارای بار یکسان و برابر با میانگین بارهای اولیه خواهد شد؛ یعنی:

$$q_1' = q_2' = \frac{q_1 + q_2}{2} = \frac{4 \text{ nC} + (-6 \text{ nC})}{2} = -1 \text{ nC}$$

نیروی بین دو گوی پس از تماس آن‌ها به هم، طبق قانون کولن برابر است با:

$$q_1' = q_2' = -1 \text{ nC} = -1 \times 10^{-9} \text{ C}, r = 30 \text{ cm} = 30 \times 10^{-2} \text{ m}$$

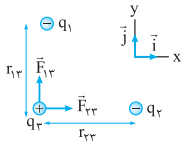
$$F = k \frac{|q_1'| |q_2'|}{r^2} = (9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2}) \frac{(1 \times 10^{-9} \text{ C})(1 \times 10^{-9} \text{ C})}{(30 \times 10^{-2} \text{ m})^2} = 10^{-7} \text{ N}$$

این نیرو رانشی است یا ربایشی؟

به دلیل هم‌علامت بودن بار الکتریکی گوی‌ها پس از تماس دادن به هم، نیروی بین گوی‌ها رانشی است.

۵- سه ذره باردار q_1 ، q_2 و q_3 مطابق شکل در سه رأس مربعی به ضلع 3 m ثابت شده‌اند. اگر $q_1 = q_2 = -5 \mu\text{C}$ و $q_3 = +10 \mu\text{C}$ باشد،

نیروی خالص الکتریکی وارد بر بار q_3 را برحسب بردارهای $\vec{i}$ و $\vec{j}$ تعیین کنید.



نیروی الکتریکی وارد بر ذره q_3 از طرف ذره q_1 به صورت جاذبه است؛ پس با توجه به شکل و قانون کولن داریم:

$$q_1 = q_2 = -5 \mu\text{C} = -5 \times 10^{-6} \text{ C},$$

$$q_3 = +10 \mu\text{C} = 10 \times 10^{-6} \text{ C}$$

$$F_{13} = k \frac{|q_1| |q_3|}{r_{13}^2} = (9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2}) \times \frac{(5 \times 10^{-6} \text{ C})(10 \times 10^{-6} \text{ C})}{(3 \text{ m})^2} = 10^{-3} \text{ N}$$

$$\Rightarrow \vec{F}_{13} = (10^{-3} \text{ N}) \vec{j}$$

نیروی الکتریکی وارد بر ذره q_3 از طرف ذره q_2 نیز به صورت جاذبه است؛ پس با توجه به شکل بالا و قانون کولن داریم:

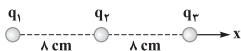
$$F_{23} = k \frac{|q_2| |q_3|}{r_{23}^2} = (9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2}) \times \frac{(5 \times 10^{-6} \text{ C})(10 \times 10^{-6} \text{ C})}{(3 \text{ m})^2} = 10^{-3} \text{ N}$$

$$\Rightarrow \vec{F}_{23} = (10^{-3} \text{ N}) \vec{i}$$

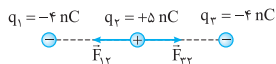
در نتیجه نیروی خالص وارد بر ذره q_3 برابر است با:

$$\vec{F}_T = \vec{F}_{13} + \vec{F}_{23} = (10^{-3} \text{ N}) \vec{i} + (10^{-3} \text{ N}) \vec{j}$$

۶- بارهای الکتریکی نقطه‌ای $q_1 = -4 \text{ nC}$ ، $q_2 = +5 \text{ nC}$ و $q_3 = -4 \text{ nC}$ مطابق شکل.



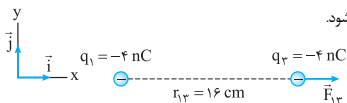
در جای خود ثابت شده‌اند نیروی خالص الکتریکی وارد بر هر یک از بارهای q_2 و q_3 را محاسبه کنید.



نیروهای وارد بر بار q_2 مانند شکل مقابل است:

از آنجایی که بارهای q_1 و q_3 برابر و در فاصله یکسان از بار q_2 قرار دارند، پس $F_{12} = F_{32}$ است؛ بنابراین، با توجه به شکل بالا می‌توان نتیجه گرفت که نیروی خالص وارد بر بار q_2 صفر است؛ بنابراین داریم: $\vec{F}_{T_2} = 0$.

نیروی الکتریکی خالصی که بر بار q_3 وارد می‌شود، برآیند دو نیرویی است که از طرف بارهای q_1 و q_2 بر بار q_3 وارد می‌شود.

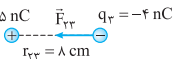


$$q_1 = q_3 = -4 \text{ nC} = -4 \times 10^{-9} \text{ C}, r_{13} = 16 \text{ cm} = 16 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$F_{13} = k \frac{|q_1| |q_3|}{r_{13}^2} = (9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2}) \frac{(4 \times 10^{-9} \text{ C})(4 \times 10^{-9} \text{ C})}{(16 \times 10^{-2} \text{ m})^2} = \frac{9}{16} \times 10^{-5} \text{ N}$$

$$\Rightarrow \vec{F}_{13} = (\frac{9}{16} \times 10^{-5} \text{ N}) \vec{i}$$

نیروی وارد بر ذره q_3 از طرف ذره q_2 به صورت جاذبه است. پس، با توجه به شکل زیر و قانون کولن داریم:



$$q_2 = +5 \text{ nC} = +5 \times 10^{-9} \text{ C}, q_3 = -4 \text{ nC} = -4 \times 10^{-9} \text{ C}, r_{23} = 8 \text{ cm} = 8 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$F_{23} = k \frac{|q_2| |q_3|}{r_{23}^2} = (9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2}) \frac{(5 \times 10^{-9} \text{ C})(4 \times 10^{-9} \text{ C})}{(8 \times 10^{-2} \text{ m})^2} = \frac{45}{16} \times 10^{-5} \text{ N}$$

$$\Rightarrow \vec{F}_{23} = (-\frac{45}{16} \times 10^{-5} \text{ N}) \vec{i}$$

در انتها نیروی خالص وارد بر بار q_3 را به دست می‌آوریم:

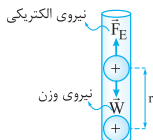
$$\vec{F}_{T_3} = \vec{F}_{13} + \vec{F}_{23} = (\frac{9}{16} \times 10^{-5} \text{ N}) \vec{i} + (-\frac{45}{16} \times 10^{-5} \text{ N}) \vec{i} = (-\frac{36}{16} \times 10^{-5} \text{ N}) \vec{i} = (-\frac{9}{4} \times 10^{-5} \text{ N}) \vec{i}$$



۷- در شکل روبه‌رو، دو گوی مشابه به جرم $2/5 \text{ g}$ و بار یکسان مثبت q در فاصله

1 cm از هم قرار دارند، به طوری که گوی بالایی به حالت معلق مانده است.

الف) اندازه بار q را به دست آورید.



برای آن که گوی بالایی معلق بماند، باید برآیند نیروهای وارد بر آن صفر شود. با توجه به شکل مقابل نتیجه می گیریم که نیروی الکتریکی ($\vec{F}_E$) وارد بر گوی باید هم اندازه با نیروی وزن ($\vec{W}$) باشد. بنابراین داریم:

$$r = 1 \text{ cm} = 0.01 \text{ m}, m = 2/5 \text{ g} = 2/5 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

$$F_E = W \Rightarrow k \frac{|q||q|}{r^2} = mg \Rightarrow k \frac{q^2}{r^2} = mg$$

$$\Rightarrow (9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2}) \frac{q^2}{(0.01)^2} = (2/5 \times 10^{-3} \text{ kg}) \times (9.8 \text{ N/kg})$$

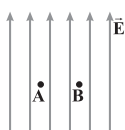
$$\Rightarrow q = \sqrt{\frac{(2/5 \times 10^{-3} \text{ kg})(9.8 \text{ N/kg})(0.01 \text{ m})^2}{(9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2})}} = \frac{5}{3} \times 10^{-8} \text{ C} \approx 16.7 \text{ nC}$$

(ب) تعداد الکترون های کنده شده از هر گوی چه قدر است؟

با توجه به رابطه $q = ne$ ، تعداد الکترون های کنده شده از هر گوی به صورت مقابل به دست می آید:

$$q = ne \Rightarrow n = \frac{q}{e} = \frac{1/67 \times 10^{-8} \text{ C}}{1/6 \times 10^{-19} \text{ C}} \approx 10^{11} \text{ الکترون}$$

۱-۴-۵-۶ میدان الکتریکی، میدان الکتریکی حاصل از یک ذره باردار و خطوط میدان الکتریکی



۸- یک ذره باردار را یک بار در نقطه A و بار دیگر در نقطه B قرار می دهیم. نیرویی که از طرف میدان الکتریکی بر این ذره باردار در این دو نقطه وارد می شود را مقایسه کنید.

با توجه به برابری میدان الکتریکی ($\vec{E}$) در نقاط A و B، طبق رابطه $\vec{F} = q\vec{E}$ ، نیروی یکسانی بر ذره باردار در این دو نقطه وارد می شود.

۹- هسته اتم آهن شعاعی در حدود $m \times 10^{-15} \times 4$ دارد و تعداد پروتون های آن ۲۶ عدد است.

الف) بزرگی نیروی دافعه بین دو پروتون این هسته که به فاصله $m \times 10^{-15} \times 4$ از هم قرار دارند، چه قدر است؟

نیروی دافعه الکتریکی بین دو پروتون در فاصله $m \times 10^{-15} \times 4$ از هم به صورت زیر به دست می آید:

$$F = k \frac{|q_p||q_p|}{r^2} = (9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2}) \frac{(1/6 \times 10^{-19} \text{ C})^2}{(4 \times 10^{-15} \text{ m})^2} = 14/4 \text{ N}$$

(ب) اندازه میدان الکتریکی ناشی از هسته در فاصله $m \times 10^{-10} \times 1$ از مرکز هسته چه قدر است؟

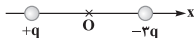
هسته آهن شامل ۲۶ پروتون است. بنابراین طبق رابطه $q = ne$ ، بار هسته برابر است با:

$$q = ne = 26 \times (1/6 \times 10^{-19} \text{ C}) = 41/6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

حال میدان ناشی از بار درون هسته را در فاصله $m \times 10^{-10} \times 1$ به دست می آوریم:

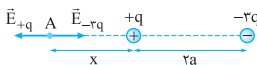
$$E = k \frac{|q|}{r^2} = (9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2}) \frac{(41/6 \times 10^{-19} \text{ C})}{(1 \times 10^{-10} \text{ m})^2} = 3/74 \times 10^{12} \text{ N/C}$$

۱۰- شکل زیر، دو ذره باردار را نشان می‌دهد که در جای خود روی محور x ثابت شده‌اند. بارها در فاصله یکسان a از مبدأ مختصات (نقطه O) قرار دارند.



الف) در کجای این محور (غیر از بی‌نهایت) نقطه‌ای وجود دارد که در آن جا میدان الکتریکی برایند برابر با صفر است؟

چون دو بار غیرهمنام هستند، میدان الکتریکی خالص روی خط واصل بین بارها، در نقطه‌ای خارج از محدوده دو بار و نزدیک به بار کوچک‌تر صفر است (به طور مثال نقطه A).

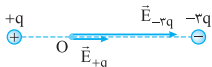


مطابق شکل بالا برای صفرشدن میدان خالص در نقطه A ، باید بزرگی میدان ناشی از بارهای $+q$ و $-3q$ در نقطه A برابر باشند؛ یعنی داریم:

$$E_{+q} = E_{-3q} \Rightarrow \frac{k|q|}{x^2} = \frac{k|-3q|}{(x+2a)^2} \Rightarrow 3x^2 = (x+2a)^2 \Rightarrow \sqrt{3}x = x+2a$$

$$\Rightarrow (\sqrt{3}-1)x = 2a \xrightarrow{\text{طرفین در } (\sqrt{3}+1) \text{ ضرب شوند}} x = a(\sqrt{3}+1)$$

ب) بزرگی و جهت میدان الکتریکی برایند در مبدأ مختصات را بیابید.



از آن جایی که جهت میدان‌های الکتریکی بارهای $+q$ و $-3q$ در نقطه O به سمت راست است (در جهت $\vec{i}^+$)، بنابراین اندازه میدان الکتریکی خالص در نقطه O برابر با حاصل جمع میدان الکتریکی حاصل از هر یک از بارهاست:

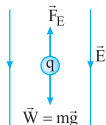
$$E_O = E_{+q} + E_{-3q} = \frac{k|+q|}{a^2} + \frac{k|-3q|}{a^2} = \frac{k}{a^2} (q+3q) = \frac{4kq}{a^2}$$

$$\vec{E}_O = \left(\frac{4kq}{a^2}\right)\vec{i}$$

بنابراین میدان الکتریکی خالص در نقطه O برابر است با:

۱۱- در یک میدان الکتریکی یکنواخت به بزرگی $5 \times 10^5 \text{ N/C}$ که جهت آن قائم و رو به پایین است. ذره بارداری به جرم 2 g معلق و به حال سکون قرار دارد. اگر $g = 10 \text{ N/kg}$ باشد، اندازه و نوع بار الکتریکی ذره را مشخص کنید.

برای معلق ماندن ذره باردار، باید برابری نیروهای وارد بر آن صفر شود؛ به عبارت دیگر نیروی الکتریکی و نیروی وزن ذره باید هم‌اندازه ولی در خلاف جهت هم باشند.

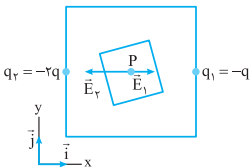
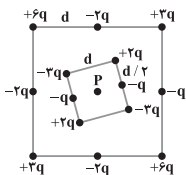


بنابراین نیروی الکتریکی رو به بالا به ذره وارد می‌شود. از آن جایی که جهت نیروی الکتریکی وارد بر ذره باردار در خلاف جهت میدان الکتریکی است، می‌توان نتیجه گرفت که ذره دارای بار منفی است و مقدار آن به صورت زیر به دست می‌آید:

$$m = 2 \text{ g} = 2 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

شرط معلق ماندن ذره: $F_E = W \Rightarrow |q| E = mg$

$$\Rightarrow |q| = \frac{mg}{E} = \frac{(2 \times 10^{-7} \text{ kg})(10 \text{ N/kg})}{(5 \times 10^5 \text{ N/C})} = 4 \times 10^{-8} \text{ C} \Rightarrow q = -4 \times 10^{-8} \text{ C}$$



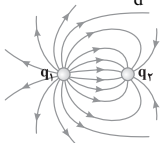
$$E_1 = k \frac{|-q|}{d^2} = \frac{kq}{d^2} \Rightarrow \vec{E}_1 = \left(\frac{kq}{d^2}\right) \vec{i}$$

$$E_2 = k \frac{|-2q|}{d^2} = \frac{2kq}{d^2} \Rightarrow \vec{E}_2 = \left(\frac{-2kq}{d^2}\right) \vec{i}$$

$$E_3 = k \frac{|-2q|}{d^2} = \frac{2kq}{d^2} \Rightarrow \vec{E}_3 = \left(\frac{-2kq}{d^2}\right) \vec{i}$$

بنابراین میدان خالص در نقطه P برابر است با:

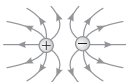
$$\vec{E}_{Tp} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 = \left(\frac{kq}{d^2}\right) \vec{i} + \left(-\frac{2kq}{d^2}\right) \vec{i} = \left(-\frac{kq}{d^2}\right) \vec{i}$$



۱۳- خطوط میدان الکتریکی برای دو کره رسانای باردار کوچک در شکل روبه‌رو نشان داده شده است. نوع بار هر کره را تعیین کرده و اندازه آن‌ها را مقایسه کنید.

با توجه به این که خطوط میدان الکتریکی از بار مثبت خارج و به بار منفی وارد می‌شود، نتیجه می‌گیریم که بار q_1 مثبت و بار q_2 منفی است. چون فشردگی خطوط میدان الکتریکی در نزدیکی بار q_1 بیشتر است، $|q_1| > |q_2|$ درمی‌یابیم که بزرگی بار q_1 بیشتر از بار q_2 است؛ یعنی:

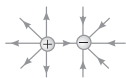
۱۴- در شکل‌های زیر، اندازه دو بار، یکسان ولی علامت آن‌ها مخالف هم است. کدام آرایش‌های خطوط



(الف)

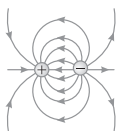
میدان نادرست است؟ دلیل آن را توضیح دهید.

(الف) در این شکل خطوط میدان الکتریکی نادرست رسم شده است، چون خطوط میدان الکتریکی باید به بار منفی وارد شود.



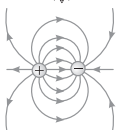
(ب)

ب) خطوط میدان الکتریکی در این شکل نادرست رسم شده است، چون تراکم خطوط میدان در فضای بین دو بار باید از سایر نقاط بیشتر باشد.



(پ)

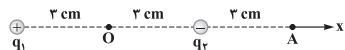
پ) خطوط میدان الکتریکی در این شکل نادرست رسم شده است، چون خطوط میدان الکتریکی باید از بار مثبت خارج و به بار منفی وارد شود.



(ت)

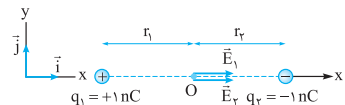
ت) این شکل خطوط میدان الکتریکی در اطراف دو بار غیرهمنام ولی هم‌اندازه را به درستی نشان می‌دهد.

۱۵- دو بار الکتریکی نقطه‌ای غیرهمنام $q_1 = +1 \text{ nC}$ و $q_2 = -1 \text{ nC}$ مطابق شکل مقابل به فاصله 6 cm از یکدیگر قرار دارند.



الف) جهت و اندازه میدان الکتریکی را در نقطه‌های O و A به دست آورید.

مطابق شکل مقابل، میدان الکتریکی بارهای q_1 و q_2 در نقطه O به سمت راست (در جهت $\vec{i}$) است؛ در نتیجه اندازه میدان الکتریکی خالص در نقطه O برابر با حاصل جمع میدان الکتریکی حاصل از هر یک از بارها است.



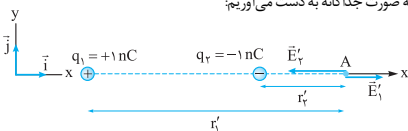
$$r_1 = r_2 = 3 \text{ cm} = 3 \times 10^{-2} \text{ m}, \quad q_1 = 1 \text{ nC} = 1 \times 10^{-9} \text{ C}, \quad q_2 = -1 \text{ nC} = -1 \times 10^{-9} \text{ C}$$

$$E_O = E_1 + E_2 = k \frac{|q_1|}{r_1^2} + k \frac{|q_2|}{r_2^2} = \left((9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2}) \frac{(1 \times 10^{-9} \text{ C})}{(3 \times 10^{-2} \text{ m})^2} \right) + \left((9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2}) \frac{(1 \times 10^{-9} \text{ C})}{(3 \times 10^{-2} \text{ m})^2} \right) = 2 \times 10^4 \text{ N/C}$$

$$\vec{E}_O = (2 \times 10^4 \frac{\text{N}}{\text{C}}) \vec{i}$$

بنابراین میدان برایند در نقطه O برابر است با:

برای به دست آوردن میدان الکتریکی خالص در نقطه A، ابتدا میدان الکتریکی حاصل از بارهای q_1 و q_2 را در نقطه A به صورت جداگانه به دست می‌آوریم:



$$r_1' = 9 \text{ cm} = 9 \times 10^{-2} \text{ m}, r_2' = 3 \text{ cm} = 3 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$E_1' = \frac{k|q_1|}{r_1'^2} = (9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2}) \frac{(1 \times 10^{-9} \text{ C})}{(9 \times 10^{-2} \text{ m})^2} = \frac{1}{9} \times 10^4 \text{ N/C}$$

$$\Rightarrow \vec{E}_1' = (\frac{1}{9} \times 10^4 \text{ N/C}) \vec{i}$$

$$E_2' = \frac{k|q_2|}{r_2'^2} = (9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2}) \frac{(1 \times 10^{-9} \text{ C})}{(3 \times 10^{-2} \text{ m})^2} = 1 \times 10^4 \text{ N/C}$$

$$\Rightarrow \vec{E}_2' = (-1 \times 10^4 \text{ N/C}) \vec{i}$$

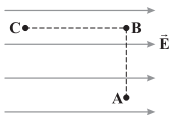
سپس میدان حاصل از هر یک از بارهای q_1 و q_2 در نقطه A را با هم جمع برداری می‌کنیم:

$$\vec{E}_A = \vec{E}_1' + \vec{E}_2' = (\frac{1}{9} \times 10^4 \text{ N/C}) \vec{i} + (-1 \times 10^4 \text{ N/C}) \vec{i} = (-\frac{8}{9} \times 10^4 \text{ N/C}) \vec{i}$$

ب) آیا بر روی محور، نقطه‌ای وجود دارد که میدان خالص در آن صفر شود؟

خیر؛ در نقطه‌ای میدان الکتریکی خالص صفر می‌شود که میدان حاصل از بارهای q_1 و q_2 هم‌اندازه و در خلاف جهت هم باشند. از آن جایی که بزرگی بارهای q_1 و q_2 با یکدیگر برابر است، میدان ناشی از هر دو بار تنها در نقطه وسط بین دو بار هم‌اندازه است؛ اما در این نقطه میدان‌های حاصل از این دو بار هم‌جهت می‌باشند. بنابراین نقطه‌ای وجود ندارد که میدان الکتریکی خالص در آن نقطه صفر شود.

۷-۱ و ۸-۱ انرژی پتانسیل الکتریکی و پتانسیل الکتریکی



۱۶- مطابق شکل روبه‌رو، بار $q = +50 \text{ nC}$ را در میدان الکتریکی یکنواخت $8 \times 10^5 \text{ N/C}$ نخست از نقطه A تا نقطه B و سپس تا نقطه C جابه‌جا می‌کنیم. اگر $AB = 0.20 \text{ m}$ و $BC = 0.40 \text{ m}$ باشد، مطلوب است:

الف) نیروی الکتریکی وارد بر بار q :

طبق رابطه $\vec{F} = q\vec{E}$ ، نیروی الکتریکی وارد بر بار q را به دست می‌آوریم:

$$F = |q| E = (50 \times 10^{-9} \text{ C})(8 \times 10^5 \text{ N/C}) = 4 \times 10^{-2} \text{ N}$$

ب) کاری که نیروی الکتریکی در این جابه‌جایی انجام می‌دهد.

با توجه به رابطه $W = Fd \cos \theta$ ، کار نیروی الکتریکی روی بار q را در هر مسیر به دست می‌آوریم:

$$B \text{ تا } A: \theta = 90^\circ \Rightarrow W_{AB} = Fd \cos 90^\circ = 0 \text{ J}$$

$$C \text{ تا } B: \theta = 180^\circ \Rightarrow W_{BC} = Fd \cos 180^\circ = (4 \times 10^{-2} \text{ N})(0.4 \text{ m})(-1) = -1.6 \times 10^{-2} \text{ J}$$

کار نیروی الکتریکی بر روی بار q در مسیر A تا C برابر با حاصل جمع کار نیروی الکتریکی در مسیرهای A تا B و B تا C است؛ بنابراین کار نیروی الکتریکی در کل جابه‌جایی برابر است با:

$$W_E = W_{AB} + W_{BC} = 0 - 1.6 \times 10^{-2} \text{ J} = -1.6 \times 10^{-2} \text{ J}$$

پ) تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی بار q در این جابه‌جایی.

با توجه به رابطه $\Delta U_E = -W_E$ داریم:

$$\Delta U_E = -(-1/6 \times 10^{-2} \text{ J}) = 1/6 \times 10^{-2} \text{ J}$$

۱۷- در شکل زیر، ذره باردار مثبت و کوچکی را از حالت سکون، از نقطه A به سمت کره باردار که روی پایه عایقی قرار دارد، نزدیک می‌کنیم و در نقطه B قرار می‌دهیم.

الف) در این جابه‌جایی، کار نیروی الکتریکی مثبت است یا منفی؟



در جابه‌جایی ذره از نقطه A تا B، نیروی الکتریکی وارد بر ذره باردار در خلاف جهت جابه‌جایی است. بنابراین طبق رابطه $W_F = F_E d \cos \theta$ و این که $\theta = 180^\circ$ ، کار نیروی الکتریکی در طی این جابه‌جایی منفی است.

ب) کاری که ما در این جابه‌جایی انجام می‌دهیم مثبت است یا منفی؟

با توجه به قضیه کار-انرژی جنبشی می‌دانیم:

$$\Delta k = W_T = W_{\text{خارجی}} + W_E = 0 \Rightarrow W_{\text{خارجی}} = -W_E$$

از آنجایی که W_E منفی است، نتیجه می‌گیریم که کار انجام‌شده توسط ما در طی این جابه‌جایی مثبت است:

$$W_{\text{خارجی}} > 0$$

پ) انرژی پتانسیل ذره باردار در این جابه‌جایی چگونه تغییر می‌کند؟

$$\Delta U_E = -W_E \xrightarrow{W_E < 0} \Delta U_E > 0$$

با توجه به رابطه $\Delta U_E = -W_E$ ، داریم:

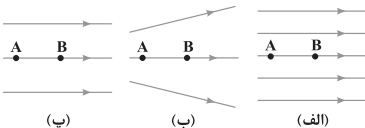
بنابراین انرژی پتانسیلی ذره باردار در طی جابه‌جایی افزایش می‌یابد.

ت) پتانسیل نقطه‌های A و B را با هم مقایسه کنید.

با حرکت در خلاف جهت میدان الکتریکی، پتانسیل الکتریکی افزایش می‌یابد؛ بنابراین:

$$V_B > V_A$$

۱۸- شکل مقابل، سه آرایش خطوط میدان الکتریکی را نشان می‌دهد. در هر آرایش، یک پروتون از حالت سکون در نقطه A رها می‌شود و سپس توسط میدان الکتریکی تا نقطه B شتاب می‌گیرد. نقطه‌های A و B در هر سه آرایش در فاصله‌های یکسانی از هم قرار دارند. در کدام شکل سرعت پروتون در نقطه B بیشتر است؟ توضیح دهید.



(پ)

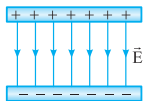
(ب)

(الف)

شکل الف - خطوط میدان الکتریکی از نقطه A تا B در این شکل نسبت به دو شکل دیگر متراکم‌تر بوده و این یعنی میدان الکتریکی در این حالت قوی‌تر است؛ در نتیجه نیروی الکتریکی بیشتری در این حالت به پروتون وارد می‌شود و طبق قانون دوم نیوتون ($a = \frac{F}{m}$)، پروتون در میدان شکل (الف) شتاب بیشتری پیدا می‌کند و در نتیجه با سرعت بیشتری نسبت به حالت‌های (ب) و (پ) به نقطه B می‌رسد.

۱۹- دو صفحه رسانا با فاصله 2 cm را موازی یکدیگر قرار می‌دهیم و آن‌ها را به اختلاف پتانسیل 100 V وصل می‌کنیم. در نتیجه، یکی از صفحه‌ها به طور منفی و دیگری به طور مثبت باردار می‌شوند و میان دو صفحه میدان الکتریکی یکنواختی به وجود می‌آید. اندازه این میدان الکتریکی را حساب کنید و با توجه به جهت خطوط میدان الکتریکی در فضای بین دو صفحه توضیح دهید که کدامیک از دو صفحه پتانسیل الکتریکی بیشتری دارند؟

با استفاده از رابطه $|\Delta V| = Ed$ ، میدان الکتریکی بین دو صفحه رسانای موازی را به دست می‌آوریم:



$$d = 2\text{ cm} = 2 \times 10^{-2}\text{ m}$$

$$E = \frac{|\Delta V|}{d} = \frac{100\text{ V}}{2 \times 10^{-2}\text{ m}} = 5 \times 10^3\text{ V/m}$$

خطوط میدان الکتریکی از صفحه با بار مثبت به سمت صفحه با بار منفی است. با حرکت در جهت خطوط میدان الکتریکی، پتانسیل الکتریکی کاهش می‌یابد؛ بنابراین صفحه با بار مثبت دارای پتانسیل الکتریکی بیشتری است.

۲۰- بار الکتریکی $q = -40\text{ nC}$ از نقطه‌ای با پتانسیل الکتریکی $V_1 = -40\text{ V}$ تا نقطه‌ای با پتانسیل $V_2 = -10\text{ V}$ آزادانه جابه‌جا می‌شود.

الف) انرژی پتانسیل الکتریکی بار q چه اندازه و چگونه تغییر می‌کند؟
با توجه به رابطه $\Delta U = q\Delta V$ داریم:

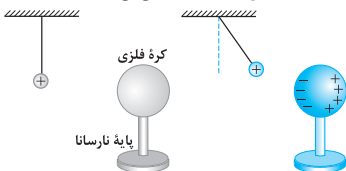
$$q = -40\text{ nC} = -40 \times 10^{-9}\text{ C}$$

$$\Delta U_E = q(V_2 - V_1) = (-40 \times 10^{-9}\text{ C}) \times [(-10\text{ V}) - (-40\text{ V})] = -1/2 \times 10^{-6}\text{ J}$$

علامت منفی نشان می‌دهد که انرژی پتانسیل الکتریکی بار q در طی این جابه‌جایی کاهش یافته است.
ب) با توجه به قانون پایستگی انرژی، در مورد چگونگی تبدیل انرژی بار q در این جابه‌جایی توضیح دهید.
طبق قانون پایستگی انرژی، با کاهش انرژی پتانسیل الکتریکی ذره باردار، انرژی جنبشی آن افزایش می‌یابد و در نتیجه سرعت ذره لحظه‌به‌لحظه بیشتر می‌شود.

۹-۱ میدان الکتریکی در داخل رساناها

۲۱- یک کره فلزی بدون بار الکتریکی را که روی پایه نارسایی قرار دارد، به آونگ الکتریکی بارداري نزدیک می‌کنیم. با ذکر دلیل توضیح دهید که چه اتفاقی می‌افتد؟



وقتی یک جسم رسانا در میدان الکتریکی خارجی قرار می‌گیرد، بارهای الکتریکی روی سطح رسانا به گونه‌ای القا می‌شوند که میدان الکتریکی خالص درون رسانا صفر شود. بنابراین با نزدیک کردن کره فلزی خنثی به آونگ باردار، بارهای مثبت و منفی به گونه‌ای بر روی کره القا می‌شود که سطح نزدیک به آونگ دارای بار منفی و سطح دور از آن دارای بار مثبت می‌شود (مشابه شکل مقابل). از آنجایی که فاصله بین بارهای ناهمنام کم‌تر است، بنابراین نیروی جاذبه بین آونگ و کره فلزی بیشتر می‌باشد؛ در نتیجه آونگ جذب کره فلزی شده و به سمت آن منحرف می‌شود (شکل بالا).

۲۲- یک صفحه پلاستیکی باردار (تلق یا ورق باردار) را به براده‌های ریز آلومینیومی بدون بار نزدیک می‌کنیم. مشاهده می‌شود که براده‌ها به طرف صفحه پلاستیکی جذب می‌شوند. علت این پدیده را توضیح دهید.

این پدیده بر اثر القای الکتریکی صورت می‌گیرد. براده‌های ریز آلومینیومی بدون بار مانند یک رسانای خنثی هستند که در میدان الکتریکی حاصل از صفحه پلاستیکی باردار قرار گرفته‌اند. با نزدیک کردن صفحه پلاستیکی به براده‌ها، بارهای منفی و مثبت به گونه‌ای روی سطح براده‌های ریز توزیع می‌شوند که میدان الکتریکی درون براده‌ها صفر شود. بنابراین سمتی از براده‌ها که نزدیک به صفحه پلاستیکی است دارای بار غیرهمنام با صفحه پلاستیکی و سمت دیگر براده‌ها دارای بار همنام با صفحه پلاستیکی می‌شود؛ در نتیجه نیروی جاذبه قوی‌تر از نیروی دافعه بوده و به همین دلیل براده‌های ریز آلومینیومی جذب صفحه پلاستیکی می‌شوند.

۲۳- وقتی ماهواره‌ای به دور زمین می‌چرخد، بر اثر عبور از فضای اطراف زمین باردار می‌شود. این بارها ممکن است موجب آسیب رساندن به قطعات الکترونیکی ماهواره شود. فرض کنید ماهواره‌ای در اثر عبور از



یکی از لایه‌های جو دارای بار الکتریکی $q = 2 \times 10^{-9} \text{ C}$ شود. این ماهواره، مکعبی به ضلع 40 cm است. چگالی سطحی بار الکتریکی روی سطح این ماهواره را محاسبه کنید. (از تجمع بار بر روی لبه‌ها چشم‌پوشی شود).

بار q بر روی شش وجه ماهواره مکعبی شکل پخش شده است. بنابراین چگالی سطحی بار روی این ماهواره برابر است با:

$$a = 40 \text{ cm} = 0.4 \text{ m}$$

$$\sigma = \frac{q}{A} = \frac{q}{6a^2} = \frac{2 \times 10^{-9} \text{ C}}{6 \times (0.4 \text{ m})^2} \approx 2.083 \times 10^{-9} \text{ C/m}^2$$

۱۰-۱ خازن

۲۴- اگر ساختمان یک خازن را تغییر ندهیم، در هر یک از شرایط زیر ظرفیت خازن چگونه تغییر می‌کند؟
(الف) بار آن دو برابر شود.

(ب) اختلاف پتانسیل میان صفحه‌های آن سه برابر شود.

ظرفیت خازن فقط به مشخصات ساختمانی آن (مانند فاصله صفحات خازن، سطح مقطع صفحات خازن و عایق درون خازن) بستگی دارد؛ بنابراین با دو برابر کردن بار الکتریکی خازن (تغییر الف) و یا سه برابر کردن اختلاف پتانسیل دو سر آن (تغییر ب)، ظرفیت خازن تغییری نمی‌کند.

۲۵- اختلاف پتانسیل بین دو صفحه یک خازن را از 28 V و 40 V به 40 V افزایش دهیم. اگر با این کار 15 mC میکروکولن بر بار ذخیره شده در خازن افزوده شود، ظرفیت خازن را حساب کنید.

با توجه به رابطه $Q = CV$ و ثابت بودن ظرفیت خازن، در صورت تغییر ولتاژ دو سر خازن داریم:

$$Q_2 - Q_1 = CV_2 - CV_1 \Rightarrow \Delta Q = C\Delta V \Rightarrow (15 \times 10^{-6} \text{ C}) = C(40 \text{ V} - 28 \text{ V})$$

$$\Rightarrow C = 1/25 \times 10^{-6} \text{ F} = 1/25 \mu\text{F}$$

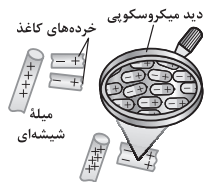


۱۱-۱ خازن با دی الکتریک

۲۶- بادکنک باردار شکل روبه‌رو را به آب نزدیک کرده‌ایم. توضیح دهید چرا آب به جای این که به طور قائم فرو ریزد، خمیده می‌شود؟

وقتی بادکنک باردار را به باریکه آب نزدیک می‌کنیم، مولکول‌های دوقطبی آب با میدان الکتریکی خارجی (میدان ایجادشده توسط بادکنک) هم‌سو می‌شوند. به طور مثال اگر بادکنک دارای بار منفی باشد، آن‌گاه سر مثبت مولکول‌های دوقطبی آب در برابر بادکنک قرار می‌گیرد. با توجه به فاصله کم‌تر سرهای مثبت نسبت به سرهای منفی هر مولکول آب تا بادکنک که بارش منفی است، نیروی جاذبه بین بادکنک و مولکول‌های آب قوی‌تر از نیروی دافعه است؛ به همین دلیل بادکنک باردار، باریکه آب را به سمت خود جذب می‌کند.

۲۷- با توجه به شکل روبه‌رو، توضیح دهید چرا یک میله باردار، خرده‌های کاغذ را می‌رباید؟



با نزدیک کردن میله شیشه‌ای باردار به خرده‌های کاغذ، میدان الکتریکی خارجی (میدان ایجادشده توسط میله شیشه‌ای) باعث می‌شود مرکز بارهای مثبت و منفی اتم‌ها و مولکول‌های خرده‌های کاغذ از هم جدا شده و مولکول‌های کاغذ قطبیده شوند. از آن جایی که فاصله بارهای مثبت میله شیشه‌ای تا بارهای منفی خرده‌های کاغذ کم‌تر از بارهای مثبت آن است، بنابراین نیروی جاذبه بین خرده‌های کاغذ و میله شیشه‌ای قوی‌تر از نیروی دافعه است؛ به همین دلیل خرده‌های کاغذ توسط میله شیشه‌ای جذب می‌شوند.

۲۸- ظرفیت یک خازن تخت با فاصله صفحات 1 mm که بین صفحه‌های آن هوا قرار دارد، برابر 1 F است. مساحت صفحه‌های این خازن چه قدر است؟ از این مسئله چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

$$d = 1\text{ mm} = 10^{-3}\text{ m}$$

با توجه به رابطه ظرفیت خازن $C = \kappa \epsilon_0 \frac{A}{d}$ داریم:

$$1\text{ F} = 1 \times \left(\frac{1}{85} \times 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{N.m}^2} \right) \times \frac{A}{10^{-3}\text{ m}} \Rightarrow A \approx 1/13 \times 10^4\text{ m}^2$$

این مساحت متناظر با مساحت مربعی به ضلع حدوداً 10 km است و ساخت چنین خازنی عملاً امکان‌پذیر نیست؛ بنابراین 1 F ظرفیت بسیار بزرگی برای یک خازن به شمار می‌رود.

۲۹- یک خازن تخت به یک باتری بسته شده است تا باردار شود. پس از مدتی، در حالی که باتری همچنان به خازن متصل است، فاصله بین صفحه‌های خازن را دو برابر می‌کنیم. کدام یک از موارد زیر درست است؟

(الف) میدان الکتریکی میان صفحه‌ها نصف می‌شود.

(ب) اختلاف پتانسیل میان صفحه‌ها نصف می‌شود.

(پ) ظرفیت خازن دو برابر می‌شود.

(ت) بار روی صفحه‌ها تغییر نمی‌کند.

تنها مورد (الف) درست است.

❶ خازن به باتری متصل است؛ بنابراین اختلاف پتانسیل بین صفحه‌های خازن با تغییر فاصله بین صفحات تغییری نمی‌کند (نادرستی مورد (ب)).

● طبق رابطه $E = \frac{V}{d}$ ، با دو برابر شدن فاصله بین صفحات خازن (d) و ثابت ماندن اختلاف پتانسیل بین صفحات خازن (V)، می‌توانیم نتیجه بگیریم که میدان میان صفحات خازن نصف می‌شود (درستی مورد الف)).

● با توجه به رابطه ظرفیت خازن $C = \kappa \epsilon_0 \frac{A}{d}$ ، با دو برابر شدن فاصله بین صفحات خازن (d)، ظرفیت آن نصف می‌شود (نادرستی مورد پ)).

● طبق رابطه $Q = CV$ و با ثابت ماندن اختلاف پتانسیل بین صفحات خازن و نصف شدن ظرفیت (C)، بار ذخیره‌شده بر روی صفحه‌های خازن نیز نصف می‌شود (نادرستی مورد ت)).

۳۰- مساحت هر یک از صفحه‌های خازن تختی، 1 m^2 و فاصله دو صفحه از هم، $500 \text{ mm} / 5$ است. عایقی با ثابت دی‌الکتریک $4/9$ بین دو صفحه قرار داده شده است. ظرفیت خازن را تعیین کنید.

$$d = 500 \text{ mm} = 5 \times 10^{-4} \text{ m}$$

با توجه به رابطه $C = \kappa \epsilon_0 \frac{A}{d}$ ، داریم:

$$C = (4/9) (8.85 \times 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{N.m}^2}) \frac{(1 \text{ m}^2)}{(5 \times 10^{-4} \text{ m})} = 8.85 \times 10^{-8} \text{ F} \approx 88.5 \text{ nF}$$

۱۲-۱ انرژی خازن

۳۱- دو صفحه خازن تخت بارداری را به هم وصل می‌کنیم. در نتیجه جرقه‌ای زده می‌شود. حال اگر دوباره صفحات را به همان اندازه باردار کنیم ولی فاصله آن‌ها را دو برابر کنیم و سپس دو صفحه را به هم وصل کنیم، آیا جرقه حاصل بزرگ‌تر از قبل می‌شود یا کوچک‌تر و یا تغییری نمی‌کند؟ توضیح دهید.

هر چه قدر انرژی ذخیره‌شده در خازنی بیشتر باشد، با وصل کردن دو صفحه خازن به هم جرقه

پرانرژی‌تر و بزرگ‌تری زده می‌شود. با توجه به رابطه انرژی ذخیره‌شده در خازن $U = \frac{Q^2}{2C}$ و

رابطه ظرفیت خازن $C = \kappa \epsilon_0 \frac{A}{d}$ ، اگر فاصله بین صفحات خازن را دو برابر کنیم، آن‌گاه داریم:

$$\frac{C_2}{C_1} = \frac{1}{2} \Rightarrow \frac{U_2}{U_1} = \frac{C_1}{C_2} = 2$$

با توجه به یکسان بودن بار ذخیره‌شده در خازن و دو برابر شدن فاصله بین صفحات آن، انرژی خازن در حالت جدید دو برابر حالت اولیه می‌شود؛ بنابراین جرقه حاصل از تخلیه الکتریکی در حالت جدید بزرگ‌تر از حالت اولیه است.

۳۲- ظرفیت خازنی ۱۲ میکروفاراد و بار الکتریکی آن q است. اگر 3 mC بار الکتریکی از صفحه منفی به صفحه مثبت منتقل شود، انرژی ذخیره‌شده در خازن به اندازه 8 J زیاد می‌شود. q را محاسبه کنید.

اگر $\Delta q = +3 \text{ mC}$ بار الکتریکی را از صفحه منفی خازن به صفحه مثبت آن منتقل کنیم، بار الکتریکی خازن برابر با $q + \Delta q$ می‌شود.

با توجه به رابطه انرژی ذخیره‌شده در خازن $U = \frac{q^2}{2C}$ ، داریم:

$$q_1 = q \Rightarrow U_1 = \frac{q^2}{2C} \quad , \quad q_2 = q + \Delta q \Rightarrow U_2 = \frac{(q + \Delta q)^2}{2C}$$

انرژی خازن در حالت جدید ۸ ژول نسبت به حالت اولیه افزایش می‌یابد؛ یعنی داریم:

$$U_2 - U_1 = \frac{(q + \Delta q)^2}{2C} - \frac{q^2}{2C} = 8 \text{ J}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{2C} (q^2 + \Delta q^2 + 2q\Delta q - q^2) = 8 \text{ J} \quad , \quad \Delta q = 3 \times 10^{-3} \text{ C}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{2(12 \times 10^{-6} \text{ F})} [(3 \times 10^{-3} \text{ C})^2 + 2q(3 \times 10^{-3} \text{ C})] = 8$$

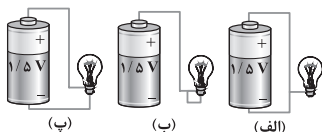
$$\Rightarrow q = 3 / 0.5 \times 10^{-3} \text{ C} = 30 / 5 \text{ mC}$$

فصل دوم

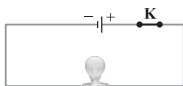
پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۲ صفحه ۷۹ کتاب درسی

۱.۲ و ۲.۲ جریان الکتریکی، مقاومت الکتریکی و قانون اهم

۱- در کدام یک از شکل‌های زیر لامپ روشن می‌شود؟



تنها در مدار (پ) لامپ روشن می‌شود؛ زیرا در این حالت اختلاف پتانسیلی برابر با ولتاژ باتری به دو سر لامپ اعمال می‌شود و به همین دلیل جریان الکتریکی از فیلامان لامپ عبور می‌کند که باعث روشن شدن لامپ می‌شود. در صورتی که لامپ در مدار (الف) اصلاً در مسیر عبور جریان الکتریکی قرار ندارد و لامپ در مدار (ب) فقط به یک قطب (پایانه) باتری متصل است و اختلاف پتانسیلی برای ایجاد جریان الکتریکی به دو سر آن اعمال نشده است.



۲- در مدار شکل مقابل، اختلاف پتانسیل دو سر لامپ ۴ V و مقاومت آن ۵ Ω است. در مدت ۵ دقیقه چه تعداد الکترون از لامپ می‌گذرد؟

ابتدا با استفاده از قانون اهم، جریان عبوری از لامپ را به دست می‌آوریم:

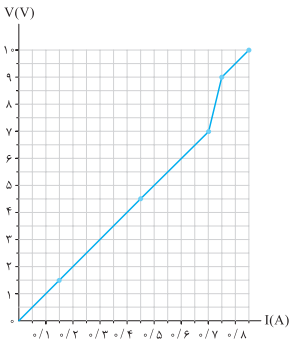
$$I = \frac{V}{R} = \frac{4 \text{ V}}{5 \Omega} = 0.8 \text{ A}$$

سپس با استفاده از رابطه جریان الکتریکی، مقدار بار الکتریکی که در مدت زمان ۵ دقیقه از لامپ عبور می‌کند را به دست می‌آوریم:

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} \Rightarrow \Delta q = I \times \Delta t = (0.8 \text{ A}) \times (5 \times 60 \text{ s}) = 240 \text{ C}$$

در انتها با استفاده از رابطه $q = ne$ ، به صورت زیر تعداد الکترون‌های عبوری از لامپ را به دست می‌آوریم:

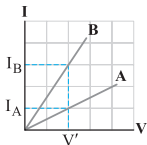
$$n = \frac{\Delta q}{e} = \frac{240 \text{ C}}{1.6 \times 10^{-19} \text{ C}} = 1.5 \times 10^{21} \text{ الکترون}$$



نمودار ولتاژ بر حسب جریان را رسم کنید و با فرض ثابت ماندن دما تعیین کنید در چه محدوده‌ای رفتار این مقاومت از قانون اهم پیروی می‌کند.

هنگامی یک رسانا از قانون اهم پیروی می‌کند که جریان عبوری از آن با اختلاف پتانسیل دو سر آن رابطه مستقیم داشته باشد و نمودار ولتاژ بر حسب جریان برای این نوع از وسایل (رسانای اهمی) به طور خطی افزایش یابد؛ بنابراین با توجه به نموداری که رسم کرده‌ایم، این رسانا در محدوده ولتاژ ۰ تا ۷ ولت از قانون اهم پیروی می‌کند.

۶- شکل مقابل نمودار $I-V$ را برای دو رسانای A و B نشان می‌دهد. مقاومت کدام یک بیشتر است؟ چرا؟

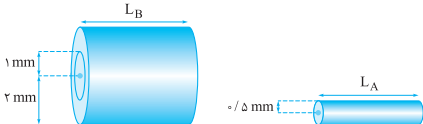


مطابق نمودار مقابل، اگر ولتاژ یکسان (V') به دو سر رساناهای A و B اعمال شود، جریان الکتریکی کم‌تری از رسانای A عبور می‌کند. از آنجایی که طبق رابطه $R = \frac{V}{I}$ ، مقاومت یک رسانا با جریان الکتریکی عبوری از آن رابطه معکوس دارد، می‌توان نتیجه گرفت که مقاومت رسانای A بیشتر از مقاومت‌های رسانای B است.

۲-۳ عوامل مؤثر بر مقاومت الکتریکی

۷- دو رسانای فلزی از یک ماده ساخته شده‌اند و طول یکسانی دارند. رسانای A سیم توپری به قطر ۱ mm است. رسانای B لوله‌ای توخالی به شعاع خارجی ۲ mm و شعاع داخلی ۱ mm است. مقاومت رسانای A چند برابر مقاومت رسانای B است؟

هر دو سیم طول یکسان ($L_A = L_B$) و جنس مشابهی ($\rho_A = \rho_B$) دارند؛ بنابراین طبق رابطه $R = \rho \frac{L}{A}$ ، نسبت مقاومت رسانای A به مقاومت رسانای B برابر است با:



$$\frac{R_A}{R_B} = \frac{\rho_A}{\rho_B} \times \frac{L_A}{L_B} \times \frac{A_B}{A_A} = \frac{A_B}{A_A} \Rightarrow \frac{R_A}{R_B} = \frac{A_B}{A_A} = \frac{\pi(2)^2 - \pi(1)^2}{\pi(0.5)^2} = \frac{\pi(4-1)}{\pi(\frac{1}{4})} = 12$$



۸- در ماشین‌های چمن‌زنی برقی برای مسافت‌های حداکثر تا ۳۵ m از سیم‌های مسی نمرة ۲۰ (قطر ۰/۰۸ cm) و برای مسافت‌های طولانی‌تر از سیم‌های ضخیم‌تر نمرة ۱۶ (قطر ۰/۱۳ cm) استفاده می‌کنند تا بدین ترتیب مقاومت سیم را تا آن‌جا که ممکن است کوچک نگه دارند.

(الف) مقاومت ویژه مس برابر با $1/69 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ می‌باشد. مقاومت یک سیم ۳۰ متری ماشین چمن‌زنی چه قدر است؟ برای یک سیم ۳۰ متری مسی نمرة ۲۰ داریم:

$$r_1 = \frac{\text{قطر سیم}}{2} = \frac{0/08 \text{ cm}}{2} = 0/04 \text{ cm} = 4 \times 10^{-4} \text{ m} ,$$

$$A_1 = \pi r_1^2 = \pi (4 \times 10^{-4} \text{ m})^2 = 16\pi \times 10^{-8} \text{ m}^2$$

بنابراین مقاومت یک سیم مسی ۳۰ متری نمرة ۲۰ برابر است با:

$$R_1 = \rho_{\text{مس}} \frac{L_1}{A_1} = (1/69 \times 10^{-8} \Omega \cdot m) \times \frac{(30 \text{ m})}{(16\pi \times 10^{-8} \text{ m}^2)} \approx 1/01 \Omega$$

(ب) مقاومت یک سیم ۷۰ متری ماشین چمن‌زنی چه قدر است؟ (دمای سیم‌ها را 20°C در نظر بگیرید). برای یک سیم ۷۰ متری مسی نمرة ۱۶ داریم:

$$r_2 = \frac{\text{قطر سیم}}{2} = \frac{0/13 \text{ cm}}{2} = 0/065 \text{ cm} = 6/5 \times 10^{-4} \text{ m} ,$$

$$A_2 = \pi r_2^2 = \pi (6/5 \times 10^{-4} \text{ m})^2 = 42/25\pi \times 10^{-8} \text{ m}^2$$

بنابراین مقاومت یک سیم مسی ۷۰ متری نمرة ۱۶ برابر است با:

$$R_2 = \rho_{\text{مس}} \frac{L_2}{A_2} = (1/69 \times 10^{-8} \Omega \cdot m) \times \frac{(70 \text{ m})}{(42/25\pi \times 10^{-8} \text{ m}^2)} \approx 0/89 \Omega$$

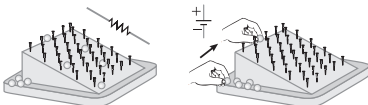
۹- مقاومت رشته درونی یک برشته‌کن که از جنس نیکروم است، در حالت روشن (دمای 1200°C) برابر 44Ω است. مقاومت این رشته در دمای 20°C چه قدر است؟ (از تغییر طول و قطر رشته در اثر تغییر دما چشم‌پوشی شود). با تغییر دمای یک رسانا، مقاومت الکتریکی آن با استفاده از رابطه روبه‌رو به دست می‌آید:

بنابراین با استفاده از رابطه بالا، مقاومت رشته نیکرومی را در دمای 20°C به دست می‌آوریم:

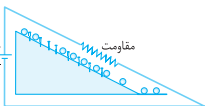
$$R_0 = \frac{R}{1 + \alpha(T - T_0)} = \frac{44 \Omega}{1 + [4 \times 10^{-4} \times (1200 - 20)]} \approx 29/9 \Omega$$

۴-۲ نیروی محرکه الکتریکی و مدارها

۱- شکل زیر یک شباهت‌سازی مکانیکی برای درک مقاومت و نیروی محرکه الکتریکی را نشان می‌دهد که در آن بر سطح شیب‌داری میخ‌هایی تعبیه شده و تپه‌ها از ارتفاع بالای سطح شیب‌دار رها می‌شوند و سپس دوباره به بالای سطح شیب‌دار بازگردانده می‌شوند. این شباهت‌سازی مکانیکی را توجیه کنید.



ارتفاع در سطح شیبدار مشابه پتانسیل الکتریکی است. بالا آوردن تپله به روی سطح شیبدار توسط ما همانند کاری است که نیروی محرکه مولد برای انتقال بار الکتریکی از یک پایانه به طرف پایانه دیگر انجام می‌دهد. میخ‌های روی سطح شیبدار مشابه یون‌های شبکه اتمی هستند؛ همان‌طور که میخ‌ها در مقابل حرکت تپله‌ها بر روی سطح شیبدار از خود مقاومت نشان می‌دهند، یون‌های شبکه اتمی نیز جلوی حرکت الکترون‌ها را می‌گیرند. در سطح شیبدار قسمتی از انرژی تپله‌ها به میخ‌ها منتقل می‌شود که همانند گرم شدن مقاومت در هنگام عبور جریان الکتریکی از آن است. در طی مسیر ارتفاع تپله‌ها کاهش می‌یابد، همان‌گونه که در مسیر جریان الکتریکی، پتانسیل الکتریکی کاهش می‌یابد و ذرات باردار به مرور انرژی خود را از دست می‌دهند.



۱۱- اختلاف پتانسیل دو سر باتری خودروهای سواری برابر ۱۲ ولت است. اگر هشت باتری قلمی

۱/۵ ولتی را به طور متوالی به یکدیگر وصل کنیم، اختلاف پتانسیل دو سر مجموعه آن‌ها نیز برابر ۱۲ ولت می‌شود. توضیح دهید چرا در خودروها به جای باتری خودرو از هشت باتری قلمی استفاده نمی‌شود؟ برای روشن شدن خودرو نیاز به جریان زیاد است که باتری‌های قلمی به دلیل مقاومت داخلی بالایی که دارند، نمی‌توانند جریان لازم برای استارت خودرو را تأمین کنند. به عبارت دیگر، نیروی محرکه مجموعه هشت باتری قلمی ۱۲ V است ولی به دلیل افزایش مقاومت داخلی، جریان عبوری کاهش می‌یابد و در نتیجه استارت خوردن خودرو با مشکل مواجه می‌شود.

۱۲- یک باتری را در نظر بگیرید که وقتی به مدار بسته نیست، اختلاف پتانسیل دو سرش برابر ۱۲ V است. وقتی یک مقاومت ۱۰ Ω به این باتری بسته شود، اختلاف پتانسیل دو سر باتری به ۱۰/۹ V کاهش می‌یابد. مقاومت داخلی باتری چه قدر است؟

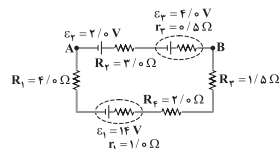
هنگامی که باتری به مدار بسته نیست، اختلاف پتانسیل دو سر باتری همان نیروی محرکه باتری است، یعنی:

اگر مقاومتی به دو سر باتری وصل شده باشد، اختلاف پتانسیل دو سر باتری برابر با اختلاف پتانسیل دو سر

$$V = RI \Rightarrow I = \frac{V}{R} = \frac{10/9 \text{ V}}{10 \Omega} = 1/9 \text{ A}$$

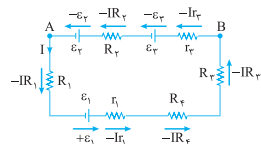
در انتها با استفاده از رابطه $V_{\text{باتری}} = \varepsilon - rI$ ، مقاومت داخلی باتری به صورت زیر به دست می‌آید:

$$V_{\text{باتری}} = \varepsilon - rI \Rightarrow r = \frac{\varepsilon - V_{\text{باتری}}}{I} = \frac{12 \text{ V} - 10/9 \text{ V}}{1/9 \text{ A}} = 1/10 \Omega$$



۱۳- در مدار شکل مقابل، جریان در مدار و اختلاف پتانسیل بین دو نقطه A و B ($V_B - V_A$) را محاسبه کنید.

نیروی محرکه مولد (۱) از مجموع نیروی محرکه مولدهای (۲) و (۳) بیشتر است ($\varepsilon_1 > \varepsilon_2 + \varepsilon_3$)؛ بنابراین جهت جریان الکتریکی در مدار را مولد (۱) مشخص می‌کند و این یعنی جهت جریان در مدار پادساعتگرد است. با حرکت از نقطه A در جهت جریان و نوشتن قاعده حلقه داریم:



$$\cancel{V_A} - IR_1 + \varepsilon_1 - Ir_1 - IR_F - IR_r - Ir_r - \varepsilon_r - IR_r - \varepsilon_r = \cancel{V_A}$$

$$\Rightarrow -I(R_1 + r_1 + R_F + R_r + r_r + R_r) + \varepsilon_1 - \varepsilon_r - \varepsilon_r = 0$$

در نتیجه جریان الکتریکی در مدار برابر است با:

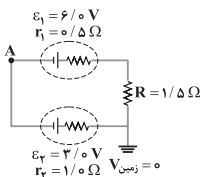
$$\Rightarrow I = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_r - \varepsilon_r}{R_1 + r_1 + R_F + R_r + r_r + R_r}$$

$$= \frac{14 \text{ V} - 4 \text{ V} - 2 \text{ V}}{4 \Omega + 1 \Omega + 2 \Omega + 1/5 \Omega + 0/5 \Omega + 3 \Omega} = \frac{8 \text{ V}}{12 \Omega} = \frac{2}{3} \text{ A}$$

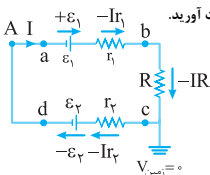
برای محاسبه اختلاف پتانسیل بین دو نقطه A و B، از نقطه B در جهت جریان الکتریکی به سمت نقطه A حرکت می‌کنیم؛ بنابراین داریم:

$$V_B - Ir_r - \varepsilon_r - IR_r - \varepsilon_r = V_A$$

$$\Rightarrow V_B - V_A = I(r_r + R_r) + \varepsilon_r + \varepsilon_r = \left(\frac{2}{3} \text{ A}\right)(0/5 \Omega + 3 \Omega) + 4 \text{ V} + 2 \text{ V} = \frac{25}{3} \text{ V}$$



۱۴- در شکل مقابل:



الف) اختلاف پتانسیل دو سر منبع‌های نیروی محرکه را به دست آورید.

نیروی محرکه مولد (۱) بیشتر از نیروی محرکه مولد (۲) است ($\varepsilon_1 > \varepsilon_r$)؛ بنابراین جهت جریان الکتریکی در مدار را مولد (۱) مشخص می‌کند و این یعنی جهت جریان الکتریکی در مدار ساعتگرد است.

نخست جریان الکتریکی در مدار را به دست می‌آوریم. با حرکت از نقطه A در جهت جریان و نوشتن قاعده حلقه داریم:

$$\cancel{V_A} + \varepsilon_1 - Ir_1 - IR - Ir_r - \varepsilon_r = \cancel{V_A}$$

در نتیجه جریان الکتریکی در مدار برابر است با:

$$I = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_r}{r_1 + R + r_r} = \frac{6 \text{ V} - 3 \text{ V}}{0/5 \Omega + 1/5 \Omega + 1 \Omega} = \frac{3 \text{ V}}{3 \Omega} = 1 \text{ A}$$

اختلاف پتانسیل دو سر مولد (۱) به صورت زیر به دست می‌آید:

$$V_a + \varepsilon_1 - Ir_1 = V_b \Rightarrow V_b - V_a = +\varepsilon_1 - Ir_1 = (6 \text{ V}) - (1 \text{ A})(0/5 \Omega)$$

$$= 6 \text{ V} - 0/5 \text{ V} = 5/5 \text{ V}$$

اختلاف پتانسیل دو سر مولد (۲) برابر است با:

$$V_c - Ir_r - \varepsilon_r = V_d \Rightarrow V_c - V_d = Ir_r + \varepsilon_r = (1 \text{ A})(1 \Omega) + (3 \text{ V}) = 4 \text{ V}$$

ب) پتانسیل نقطه A را تعیین کنید.

برای محاسبه پتانسیل نقطه A، از نقطه اتصال به زمین که پتانسیل الکتریکی در این نقطه صفر است شروع می کنیم و با حرکت در جهت جریان الکتریکی به نقطه A می رسیم؛ بنابراین داریم:

$$V_{\text{زمین}} - Ir_p - \varepsilon_p = V_A \Rightarrow 0 - (1 \text{ A})(1 \Omega) - (3 \text{ V}) = V_A \Rightarrow V_A = -4 \text{ V}$$

۵-۲ توان در مدارهای الکتریکی

۱۵- دو لامپ رشته ای در اختیار داریم که جنس و طول رشته آن ها یکسان است، ولی رشته لامپ B ضخیم تر از رشته لامپ A است. وقتی لامپ ها به ولتاژ یکسانی وصل شوند، کدام لامپ پرنورتر خواهد بود و چرا؟

لامپی که توان مصرفی بیشتری داشته باشد، در واحد زمان انرژی بیشتری در آن مصرف می شود و در نتیجه پرنورتر خواهد شد. با توجه به این که ولتاژ اعمال شده به هر دو لامپ یکسان است، طبق رابطه

$$P_{\text{مصرفی}} = \frac{V^2}{R}$$

لامپ A ضخیم تر است، با توجه به رابطه $R = \rho \frac{L}{A}$ ، می توان نتیجه گرفت که مقاومت

لامپ B کم تر از لامپ A بوده و به همین دلیل لامپ B پرنورتر خواهد بود.

۱۶- بر روی وسیله های الکتریکی، اعداد مربوط به ولتاژ و توان نوشته می شود، برای دو وسیله زیر:



۲۴۰۰ W، ۲۲۰ V، کتری برقی

۸۵۰ W، ۲۲۰ V، اتوی برقی

الف) سیم های اتصال به برق آن ها باید بتواند حداقل چه جریانی را از خود عبور دهد؟

با توجه به رابطه توان مصرفی $P = VI$ ، می توان جریان عبوری از هر وسیله را به دست آورد:

$$P_{\text{کتری}} = VI_{\text{کتری}} \Rightarrow I_{\text{کتری}} = \frac{P_{\text{کتری}}}{V} = \frac{2400 \text{ W}}{220 \text{ V}} = 10.91 \text{ A}$$

$$P_{\text{اتو}} = VI_{\text{اتو}} \Rightarrow I_{\text{اتو}} = \frac{P_{\text{اتو}}}{V} = \frac{850 \text{ W}}{220 \text{ V}} = 3.86 \text{ A}$$

ب) مقاومت الکتریکی هر وسیله در حالت روشن چه قدر است؟

با توجه به رابطه توان مصرفی $P = \frac{V^2}{R}$ ، می توان مقاومت الکتریکی هر وسیله را به دست آورد:

$$P_{\text{کتری}} = \frac{V^2}{R_{\text{کتری}}} \Rightarrow R_{\text{کتری}} = \frac{V^2}{P_{\text{کتری}}} = \frac{(220 \text{ V})^2}{2400 \text{ W}} = 20.2 \Omega$$

$$P_{\text{اتو}} = \frac{V^2}{R_{\text{اتو}}} \Rightarrow R_{\text{اتو}} = \frac{V^2}{P_{\text{اتو}}} = \frac{(220 \text{ V})^2}{850 \text{ W}} = 56.9 \Omega$$

ب) بهای برق مصرفی هر کدام از قرار هر کیلووات ساعت ۵۰ تومان در یک دوره یک ماهه چه قدر می شود؟

$$\text{تومان} = \left(\frac{50 \text{ تومان}}{1 \text{ kWh}} \right) \times (4/9 \text{ kWh}) = 245$$

بهای برق مصرفی لامپ ۲۰ وات

$$\text{تومان} = \left(\frac{50 \text{ تومان}}{1 \text{ kWh}} \right) \times (24 \text{ kWh}) = 1200$$

بهای برق مصرفی تلویزیون ۱۰۰ وات

پ) اگر در شهر شما هر خانه یک لامپ ۱۰۰ وات اضافی را به مدت ۳ ساعت در شب روشن کند، در طول

یک ماه تقریباً چند کیلووات ساعت انرژی الکتریکی اضافی مصرف می شود؟

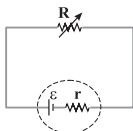
اگر جمعیت تهران را حدود ۱۲ میلیون نفر در نظر بگیریم و فرض کنیم هر خانواده تهرانی ۴ عضو دارد، آن گاه نتیجه می گیریم که ۳ میلیون خانه در تهران داریم. در این صورت مدت زمانی که انرژی الکتریکی به صورت اضافی مصرف می شود برابر است با:

$$t = (3 \times 10^6) \times (30 \text{ روز} \times \frac{3 \text{ ساعت}}{1 \text{ روز}}) = 2/7 \times 10^8 \text{ ساعت}$$

در نتیجه انرژی مصرفی اضافی برابر است با:

$$U_{\text{تهران}} = Pt = (100 \text{ W})(2/7 \times 10^8 \text{ h}) = 2/7 \times 10^{10} \text{ Wh} = 2/7 \times 10^7 \text{ kWh}$$

۲۰- در شکل مقابل:



الف) نیروی محرکه الکتریکی و مقاومت داخلی منبع را که

توان خروجی آن به ازای $I_1 = 5 \text{ A}$ برابر $9/50 \text{ W}$ و به ازای

$I_2 = 7 \text{ A}$ برابر $12/6 \text{ W}$ است، محاسبه کنید.

با توجه به رابطه توان خروجی مولد $\mathcal{E}I - rI^2$ داریم:

$$\begin{cases} P_1 = \mathcal{E}I_1 - rI_1^2 \\ P_2 = \mathcal{E}I_2 - rI_2^2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 9/50 = 5\mathcal{E} - 25r \\ 12/6 = 7\mathcal{E} - 49r \end{cases} \xrightarrow{\div 5} \begin{cases} 1/9 = \mathcal{E} - 5r \\ 1/8 = \mathcal{E} - 7r \end{cases} \quad (1) \quad (2)$$

رابطه (۱) را از رابطه (۲) کم می کنیم:

حال مقاومت داخلی مولد را در رابطه (۱) قرار می دهیم و نیروی محرکه الکتریکی را به دست می آوریم:

$$1/9 = \mathcal{E} - (5 \text{ A})(0/05 \Omega) \Rightarrow \mathcal{E} = 2/15 \text{ V}$$

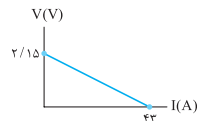
ب) نمودار اختلاف پتانسیل دو سر باتری برحسب جریان گذرنده از آن را رسم کنید.

با توجه به رابطه اختلاف پتانسیل دو سر مولد $(V = \mathcal{E} - rI)$ ، داریم:

$$V = 2/15 \text{ V} - 0/05 I \Rightarrow \begin{cases} I = 0 \Rightarrow V = 2/15 \text{ V} \\ V = 0 \Rightarrow I = \frac{2/15}{0/05 \Omega} = 43 \text{ A} \end{cases}$$

بنابراین نمودار اختلاف پتانسیل دو سر باتری برحسب جریان

گذرنده از آن به صورت مقابل است:



۶-۲ ترکیب مقاومت ها

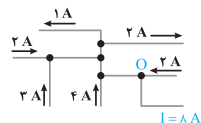
۲۱- لامپ های یک درخت زینتی، به طور متوالی متصل شده اند. اگر یکی از لامپ ها بسوزد، چه اتفاقی

می افتد؟ به نظر شما چرا همه چراغ های خودرو (چراغ های جلو، عقب و ...) به طور موازی بسته می شوند؟

وقتی لامپی می‌سوزد، مانند آن است که اتصال در آن نقطه از مدار قطع شده است؛ بنابراین اگر لامپ‌ها در یک درخت زینتی به طور متوالی بسته شده باشند، سوختن یک لامپ در مدار منجر به قطع جریان در کل مدار و خاموش شدن سایر لامپ‌ها می‌شود. به همین دلیل است که چراغ‌های خودرو را به صورت موازی به هم وصل می‌کنند تا در صورت سوختن یکی از لامپ‌ها، سایر لامپ‌ها بتوانند روشن شوند.

۲۲- مقاومت یک آمپرسنج برای اندازه‌گیری جریان در یک مدار باید چگونه باشد تا جریان اندازه‌گیری شده توسط آمپرسنج با جریان قبل از قراردادن آمپرسنج، نزدیک به هم باشد؟

آمپرسنج جریان عبوری از خود را نشان می‌دهد، بنابراین برای آن که جریان عبوری از بخشی از مدار را اندازه بگیریم باید آمپرسنج را به صورت متوالی با آن بخش ببندیم؛ بنابراین مقاومت الکتریکی آمپرسنج باید بسیار ناچیز باشد به طوری که با اضافه شدن آن به مدار، مقاومت الکتریکی در آن بخش از مدار تغییر محسوسی پیدا نکند تا آمپرسنج جریان عبوری را به درستی نشان دهد.



۲۳- شکل مقابل بخشی از یک مدار را نشان می‌دهد. بزرگی و جهت جریان I در سیم پایین سمت راست چیست؟

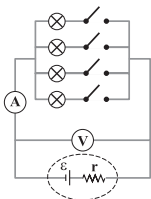
با توجه به قاعده انشعاب، مجموع جریان‌هایی که به هر گره وارد می‌شوند برابر با مجموع جریان‌هایی است که از آن گره خارج می‌شوند.

$$O \text{ به گره } = 11 \text{ A} = 3 + 2 + 4 + 2 = \text{مجموع جریان‌های ورودی به گره } O$$

$$O \text{ از گره } = 3 \text{ A} = 1 + 2 = \text{مجموع جریان‌های خروجی از گره } O$$

بنابراین بزرگی جریان I در سیم پایین باید برابر ۸ A و جهت آن به گونه‌ای باشد که از گره O خارج شود و این یعنی جریان I به سمت راست است.

۲۴- در شکل مقابل، تعدادی لامپ مشابه به طور موازی به هم متصل شده‌اند و هر لامپ با کلیدی همراه است. بررسی کنید که با بستن کلیدها یکی پس از دیگری، عددهایی که آمپرسنج و ولت‌سنج نشان می‌دهند، چه تغییری می‌کند؟



هر چه تعداد کلید بیشتری بسته شود، تعداد مقاومت بیشتری به صورت موازی در مدار قرار گرفته و در نتیجه

$$\text{مقاومت معادل در مدار کاهش می‌یابد؛ بنابراین طبق رابطه } I = \frac{\varepsilon}{R_{eq} + r}, \text{ با کاهش مقاومت معادل،}$$

جریان عبوری در مدار افزایش می‌یابد و آمپرسنج عدد بیشتری را نشان می‌دهد. عددی که ولت‌سنج نشان می‌دهد برابر با اختلاف پتانسیل دو سر مولد است که از رابطه $V = \varepsilon - rI$ به دست می‌آید؛ بنابراین با افزایش جریان عبوری از مدار، ولت‌سنج عدد کوچک‌تری را نشان می‌دهد.

۲۵- دو لامپ با مقاومت مساوی R را یک بار به طور متوالی و بار دیگر به طور موازی به یکدیگر می‌بندیم و آن‌ها را هر بار به ولتاژ V وصل می‌کنیم. نسبت توان مصرف‌شده در حالت موازی به توان مصرف‌شده در حالت متوالی چه قدر است؟

ابتدا با استفاده از رابطه $P = \frac{V^2}{R_{eq}}$ ، توان مصرفی را در هر یک از حالت‌ها به دست می‌آوریم.

اگر دو لامپ با مقاومت R ، به صورت متوالی به هم بسته شوند، داریم:

$$R_{eq} = 2R \Rightarrow P_{متوالی} = \frac{V^2}{R_{eq}} = \frac{V^2}{2R}$$

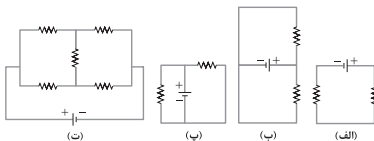
اگر دو لامپ با مقاومت R به صورت موازی به هم بسته شوند، داریم:

$$R'_{eq} = \frac{R}{2} \Rightarrow P'_{موازی} = \frac{V^2}{R'_{eq}} = \frac{V^2}{\frac{R}{2}} = \frac{2V^2}{R}$$

$$\frac{P'_{موازی}}{P_{متوالی}} = \frac{\frac{2V^2}{R}}{\frac{V^2}{2R}} = 4$$

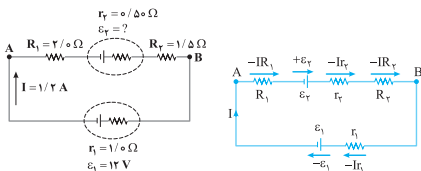
بنابراین:

۲۶- در شکل‌های زیر، آیا مقاومت‌ها به طور متوالی بسته شده‌اند یا موازی و یا هیچ کدام؟



در شکل (الف) مقاومت‌ها به صورت متوالی به هم بسته شده‌اند در حالی که در شکل‌های (ب) و (پ) مقاومت‌ها به طور موازی به هم بسته شده‌اند. در مدار شکل (ت) مقاومت‌ها نه به طور متوالی بسته شده‌اند نه به طور موازی.

۲۷- در مدار شکل مقابل، جریان در جهت نشان داده شده $1/2$ A است.



الف) نیروی محرکه ε_γ و $V_A - V_B$ چه قدر است؟

با حرکت از نقطه A در جهت جریان و نوشتن قاعده حلقه، داریم:

$$V_A - IR_1 + \varepsilon_\gamma - Ir_\gamma - IR_\gamma - Ir_1 - \varepsilon_1 = V_A$$

$$\varepsilon_\gamma = I(R_1 + r_\gamma + R_\gamma + r_1) + \varepsilon_1$$

بنابراین برای ε_γ داریم:

$$= (1/2 A)(2 \Omega + 0/5 \Omega + 1/5 \Omega + 1 \Omega) + (12 V) = 18 V$$

برای محاسبه اختلاف پتانسیل بین دو نقطه A و B ($V_A - V_B$) از نقطه A در جهت جریان الکتریکی

$$V_A - IR_1 + \varepsilon_\gamma - Ir_\gamma - IR_\gamma = V_B$$

به سمت نقطه B حرکت می‌کنیم. بنابراین داریم:

$$\Rightarrow V_A - V_B = I(R_1 + r_\gamma + R_\gamma) - \varepsilon_\gamma$$

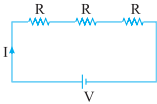
$$= (1/2 A)(2 \Omega + 0/5 \Omega + 1/5 \Omega) - (18 V) = -13/2 V$$

ب) انرژی مصرف شده در R_1 و R_2 در مدت ۵ ثانیه چه قدر است؟

با استفاده از رابطه $U = RI^2 t$ می توان انرژی مصرف شده در هر یک از مقاومت ها را به دست آورد. بنابراین داریم:

$$U_1 = R_1 I^2 t = (2 \Omega)(1/2 A)^2 (5 s) = 14/4 J$$

$$U_2 = R_2 I^2 t = (1/5 \Omega)(1/2 A)^2 (5 s) = 10/8 J$$



۲۸- سه مقاومت مشابه ۱۲ اهمی را یک بار به طور متوالی و بار

دیگر به طور موازی به یکدیگر می بندیم و به اختلاف پتانسیل ۱۲

ولت وصل می کنیم. در هر بار، چه جریانی از هر مقاومت می گذرد؟

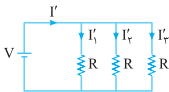
اگر سه مقاومت ۱۲ اهمی را به صورت متوالی ببندیم، داریم:

$$R_{eq} = 3 \times R = 3 \times 12 \Omega = 36 \Omega$$

جریان عبوری از مقاومت های متوالی، یکسان و برابر جریان عبوری از مقاومت معادل است؛ پس طبق

قانون اهم داریم:

$$I = \frac{V}{R_{eq}} = \frac{12 V}{36 \Omega} = \frac{1}{3} A$$



اگر سه مقاومت ۱۲ اهمی را به صورت موازی به یکدیگر ببندیم،

اختلاف پتانسیل دو سر هر یک از مقاومت ها برابر ۱۲ V است.

از آن جایی که هر سه مقاومت مشابه هستند، بنابراین جریان

عبوری از آن ها یکسان بوده و طبق قانون اهم برابر است با:

$$I'_1 = I'_2 = I'_3 = \frac{V}{R} = \frac{12 V}{12 \Omega} = 1 A$$

۲۹- دو مقاومت موازی ۶ اهمی و ۱۲ اهمی به طور متوالی به یک

مقاومت ۲ اهمی وصل شده است. اکنون، مجموعه مقاومت ها را

به دو سر یک باتری آرمانی ۳۶ ولتی می بندیم. توان مصرفی در

مقاومت ۶ اهمی را محاسبه کنید.

برای محاسبه توان مصرفی مقاومت ۶ اهمی، ابتدا باید اختلاف پتانسیل دو سر آن را به دست آوریم:

مقاومت معادل کل مقاومت ها در مدار به صورت زیر به دست می آید:

$$R_{eq} = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = (2 \Omega) + \frac{(6 \Omega)(12 \Omega)}{6 \Omega + 12 \Omega} = 2 \Omega + 4 \Omega = 6 \Omega$$

$$I = \frac{V}{R_{eq}} = \frac{36 V}{6 \Omega} = 6 A$$

با توجه به قانون اهم، جریان الکتریکی کل در مدار برابر است با:

اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت R_{23} همان اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت R_2 است که به صورت

زیر به دست می آید:

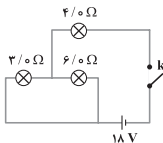
$$V_2 = V_{23} = IR_{23} = (6 A)(4 \Omega) = 24 V$$

حال می توانیم توان مصرفی در مقاومت ۶ اهمی را به دست آوریم:

$$P_{\text{مصرفی}} = \frac{V_2^2}{R_2} = \frac{(24 V)^2}{6 \Omega} = 96 W$$

۳۰- در شکل مقابل، وقتی کلید بسته شود چه جریانی از

هر لامپ رشته‌ای می‌گذرد؟



با بستن کلید، شکل ساده‌شده مدار را می‌توان به صورت

مقابل رسم کرد:

از آن جایی که مقاومت‌های R_2 و R_3 موازی یکدیگر و

با مقاومت R_1 متوالی هستند، مقاومت معادل کل را به

صورت زیر به دست می‌آوریم:

$$R_{eq} = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = (4 \Omega) + \frac{(3 \Omega)(6 \Omega)}{3 \Omega + 6 \Omega} = 4 \Omega + 2 \Omega = 6 \Omega$$

$$I = \frac{V}{R_{eq}} = \frac{18 V}{6 \Omega} = 3 A$$

با توجه به قانون اهم، جریان الکتریکی کل در مدار برابر است با:

$$I_1 = 3 A$$

که همین مقدار جریان از مقاومت R_1 نیز می‌گذرد. بنابراین:

اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت معادل R_{23} همان اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت‌های R_2 و R_3

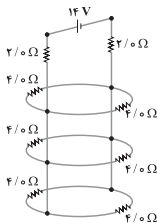
است که به صورت زیر به دست می‌آید: $V_2 = V_3 = V_{23} = IR_{23} = (3 A)(2 \Omega) = 6 V$

بنابراین جریان عبوری از مقاومت‌های R_2 و R_3 برابر است با

$$I_2 = \frac{V_2}{R_2} = \frac{6 V}{3 \Omega} = 2 A, \quad I_3 = \frac{V_3}{R_3} = \frac{6 V}{6 \Omega} = 1 A$$

۳۱- جریانی که از منبع نیروی محرکه آرمانی و هر یک از

مقاومت‌های شکل زیر می‌گذرد، چه قدر است؟

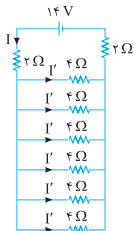


شکل ساده‌شده مدار را می‌توان به صورت مقابل رسم کرد:

مطابق شکل مقابل، شش مقاومت ۴ اهمی با یکدیگر موازی‌اند؛

در نتیجه مقاومت معادل کل به صورت زیر به دست می‌آید:

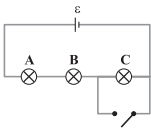
$$R_{eq} = 2 \Omega + \frac{4 \Omega}{6} + 2 \Omega = \frac{14}{3} \Omega$$



بنابراین، جریان الکتریکی کل عبوری از مدار برابر است با:

$$I = \frac{V}{R_{eq}} = \frac{14V}{\frac{14}{3}\Omega} = 3A$$

پس، جریان عبوری از هر یک از مقاومت‌های ۲ اهمی و منبع نیروی محرکه برابر ۳ آمپر است. از آنجایی که شش مقاومت ۴ اهمی به صورت موازی به هم بسته شده‌اند، جریان عبوری از کل مدار به طور مساوی بین



این ۶ مقاومت تقسیم می‌شود؛ بنابراین: $I' = \frac{I}{6} = \frac{3A}{6} = \frac{1}{2}A$
۳۲- لامپ‌های A، B و C در شکل مقابل همگی یکسان‌اند. با بستن کلید، کدام یک از تغییرات زیر در اختلاف پتانسیل رخ می‌دهد؟ (ممکن است بیش از یک پاسخ درست باشد.)

(الف) اختلاف پتانسیل دو سر A و B تغییر نمی‌کند.

(ب) اختلاف پتانسیل دو سر C به اندازه ۵۰٪ کاهش می‌یابد.

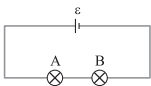
(پ) هر یک از اختلاف پتانسیل‌های دو سر A و B به اندازه ۵۰٪ افزایش می‌یابد.

(ت) اختلاف پتانسیل دو سر C به صفر کاهش می‌یابد.

از آنجایی که لامپ‌ها مشابه هم هستند، قبل از بستن کلید، ولتاژ دو سر باتری به طور مساوی بین ۳

$$V_A = V_B = V_C = \frac{\varepsilon}{3}$$

لامپ تقسیم می‌شود. داریم:



پس از بستن کلید، لامپ C از مدار خارج شده و مدار به صورت

مقابل می‌شود. در این وضعیت ولتاژ دو سر باتری به طور مساوی بین

دو لامپ A و B تقسیم می‌شود. بنابراین داریم: $V'_A = V'_B = \frac{\varepsilon}{2}$

بنابراین اختلاف پتانسیل دو سر لامپ‌های A و B تغییر می‌کند (نادرستی عبارت (الف)) و اختلاف

پتانسیل دو سر لامپ C به اندازه ۱۰۰ درصد کاهش یافته و به صفر ولت رسیده است (نادرستی عبارت

(ب) و درستی عبارت (ت)).

از طرفی نسبت اختلاف پتانسیل لامپ‌های A و B برابر است با:

$$\frac{V'_A}{V_A} = \frac{V'_B}{V_B} = \frac{\frac{\varepsilon}{2}}{\frac{\varepsilon}{3}} = 1.5$$

و این یعنی اختلاف پتانسیل دو سر لامپ‌های A و B به اندازه ۵۰ درصد افزایش یافته است (درستی

عبارت (پ)).

۳۳- در سیم‌کشی منازل، همه مصرف‌کننده‌ها به طور موازی متصل می‌شوند. یک اتوی ۱۱۰۰W، یک

نان برشته‌کن (توستر) ۱۸۰۰W، پنج لامپ رشته‌ای ۱۰۰W و یک بخاری ۱۱۰۰W به پریزهای یک

مدار سیم‌کشی خانگی ۲۲۰V که حداکثر می‌تواند جریان ۱۵A را تحمل کند وصل شده‌اند. آیا

این ترکیب مصرف‌کننده‌ها باعث پریدن فیوز می‌شود یا خیر؟ در ابتدا با استفاده از رابطه توان مصرفی

$P_{\text{مصرفی}} = VI$ ، جریان عبوری از هر یک از مصرف‌کننده‌ها را به دست می‌آوریم:

$$I_{\text{اتو}} = \frac{P_{\text{اتو}}}{V} = \frac{1100W}{220V} = 5A$$

$$I_{\text{توستر}} = \frac{P_{\text{توستر}}}{V} = \frac{1800W}{220V} \approx 8.2A$$

$$I_{\text{لامپ}} = \frac{P_{\text{لامپ}}}{V} = \frac{100W}{220V} \approx 0.45A$$

$$I_{\text{بخاری}} = \frac{P_{\text{بخاری}}}{V} = \frac{1100W}{220V} = 5A$$

از آن جایی که مصرف کنندگان به صورت موازی در مدار قرار گرفته‌اند، بنابراین جریان کل عبوری از فیوز برابر با مجموع جریان‌های عبوری از هر یک از مصرف کنندگان است؛ یعنی:

$$I_{\text{بخاری}} + I_{\text{لامپ}} + I_{\text{توستر}} + I_{\text{اتو}} = I_{\text{فیوز}}$$

$$= 5 \text{ A} + 8/2 \text{ A} + (5 \times 0/45 \text{ A}) + 5 \text{ A} = 20/45 \text{ A}$$

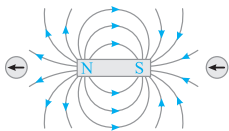
این جریان بیشتر از بیشینه جریانی (15 A) است که مدار قادر به تحمل آن است؛ بنابراین فیوز می‌پرد.

فصل سوم

پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۳ ————— صفحه ۴۱ کتاب درسی

۱-۳ و ۲-۳ مغناطیس و قطب‌های مغناطیسی و میدان مغناطیسی

۱- با توجه به جهت گیری عقربه‌های مغناطیسی در شکل زیر، قطب‌های آهنربای میله‌ای و جهت خط‌های



میدان مغناطیسی را تعیین کنید.

با توجه به این که جهت عقربه‌های مغناطیسی همواره

جهت میدان مغناطیسی را نشان می‌دهند، جهت

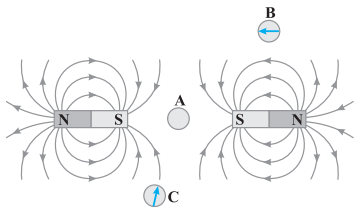
خطوط میدان مغناطیسی به صورت مقابل است:

از طرفی می‌دانیم که خطوط میدان مغناطیسی از قطب

N آهنربا خارج و به قطب S آن وارد می‌شود؛ بنابراین سمت راست آهنربا قطب S آن و سمت چپ

آهنربا قطب N آن است.

۲- شکل زیر، خط‌های میدان مغناطیسی را در نزدیکی دو آهنربای میله‌ای نشان می‌دهد.



الف) درباره میدان مغناطیسی

در نقطه A چه می‌توان گفت؟

در نقطه A خطوط میدان

مغناطیسی وجود ندارد؛ بنابراین

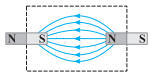
میدان مغناطیسی برآیند در

این نقطه برابر صفر است

($B = 0$).

ب) با رسم شکل نشان دهید عقربه قطب‌نما در نقطه‌های B و C به ترتیب در کدام جهت قرار می‌گیرد؟ عقربه‌های

مغناطیسی در هر نقطه مماس و هم‌جهت با خطوط مغناطیسی قرار می‌گیرند (شکل مقابل).



پ) اگر مانند شکل روبه‌رو یکی از آهنرباها را بچرخانیم تا جای

قطب‌های آن عوض شود، خط‌های میدان مغناطیسی را در ناحیه

نقطه چین رسم کنید.

جهت خطوط میدان مغناطیسی بین دو آهنربا، از قطب N خارج و به قطب S وارد می‌شود.

۳- الف) آهنربای میله‌ای با قطب‌های نامشخص در اختیار داریم. دست کم دو روش را برای تعیین

قطب‌های این آهنربا بیان کنید.

روش اول: با آویزان کردن از نخ، به کمک نخ، آهنربا را از وسط آویزان می‌کنیم. پس از چند نوسان

آهنربا در نهایت در راستای شمال - جنوب جغرافیایی کره زمین قرار می‌گیرد. در این حالت سمتی از آهنربا

که به سمت شمال جغرافیایی قرار می‌گیرد، قطب N و سمت دیگر آن قطب S آهنربا است.



عقربه مغناطیسی



آهنربا

روش دوم: با استفاده از عقربه مغناطیسی، آهنربا را به یک قطب نما

یا عقربه مغناطیسی نزدیک می کنیم. در این صورت مشاهده می کنیم که

عقربه مغناطیسی می چرخد تا قطب مخالف عقربه مغناطیسی روبه روی

قطب آهنربا قرار گیرد.

روش سوم: استفاده از یک آهنربا با قطب های مشخص؛ آهنربایی را که قطب های مشخص دارد،

نزدیک آهنربا با قطب های نامشخص قرار می دهیم. چنانچه آهنرباها همدیگر را جذب کردند، نتیجه

می گیریم قطب های ناهم نام در کنار هم قرار گرفته اند و در صورت ایجاد نیروی دافعه بین آهنرباها نتیجه

می گیریم که قطب های هم نام آن ها روبه روی هم قرار گرفته اند.

(ب) خط های میدان مغناطیسی بین دو آهنربا در شکل مقابل نشان داده شده است. اندازه میدان

مغناطیسی را در نزدیکی قطب های

آهنرباها با هم مقایسه کنید.

میدان مغناطیسی در اطراف قطب های

آهنربای (۲) قوی تر است؛ زیرا تراکم

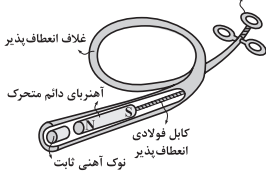
خطوط میدان مغناطیسی در اطراف

قطب های آن بیشتر است.

۴- کودکی یک قطعه کوچک آهنی را بلعیده است. پزشک می خواهد آن را با دستگاه شکل روبه رو

بیرون بیاورد.

جا انگشتی برای کنترل



(الف) هنگامی که آهنربای دائمی به نوک ثابت

آهنی نزدیک می شود چه اتفاقی می افتد؟ در

اثر پدیده القای مغناطیسی، نوک ثابت آهنی

به آهنربا تبدیل می شود.

(ب) ساختن نوک ثابت آهن چه مزیتی دارد؟

آهن یک ماده فرومغناطیس نرم است. به

همین دلیل به راحتی به آهنربا تبدیل می شود و قادر است قطعه فلزی بلعیده شده توسط کودک

را جذب کند و به بیرون بکشد. از طرفی با تغییر فاصله آهنربای دائمی نسبت به نوک آهنی ثابت،

می توان قدرت آهنربایی نوک ثابت را به سرعت تغییر داد.

(پ) این وسیله را باید به درون گلولی کودک وارد و به سوی فلز بلعیده شده هدایت کرد؛ چرا غلاف باید

انعطاف پذیر باشد؟ مجرای گلو دارای فرو رفتگی و برآمدگی است؛ بنابراین غلاف باید انعطاف پذیر باشد

تا بتواند بدون آسیب رساندن به جداره مری وارد معده کودک شود.

(ت) پزشک می خواهد یک گیره آهنی کاغذ و یک واشر آلومینیمی را از گلولی کودک بیرون بیاورد؛

کدام یک را می توان بیرون آورد؟ چرا؟

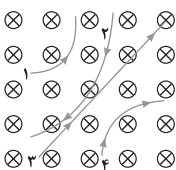
گیره آهنی کاغذ - آهن از جنس فرومغناطیس نرم است و به سرعت آهنربا شده و جذب نوک ثابت آهنی

می شود. اما آلومینیم جزء مواد پارامغناطیس بوده و به سختی می توان در آن خاصیت مغناطیسی القا کرد؛ به

همین دلیل برای خارج کردن قطعه ای آلومینیمی نیاز به میدان مغناطیسی بسیار قوی داریم.

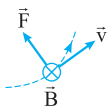
۳-۳ نیروی مغناطیسی وارد بر ذره باردار متحرک در میدان مغناطیسی

۵- چهار ذره هنگام عبور از میدان مغناطیسی درون سو مسیرهایی مطابق شکل مقابل می‌پیمایند. درباره نوع بار هر ذره چه می‌توان گفت؟ طبق قاعده دست راست، اگر چهار انگشت دست راست در

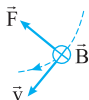


راستای بردار سرعت ذره ($\vec{v}$) قرار گیرد، به طوری که جهت خم شدن چهار انگشت در جهت میدان مغناطیسی ($\vec{B}$) باشد، جهت شست دست راست جهت نیروی وارد بر ذره را مشخص می‌کند. چنانچه اگر جهت انحراف ذره باردار در جهت نیروی وارد بر آن باشد، ذره دارای بار مثبت و اگر در خلاف جهت آن باشد، ذره دارای بار منفی است.

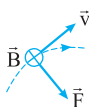
ذره ۱: دارای بار مثبت است؛ چون مطابق شکل مقابل، جهت انحراف ذره و مسیر حرکت آن از قانون دست راست پیروی می‌کند.



ذره ۲: دارای بار منفی است؛ زیرا جهت انحراف ذره و مسیر حرکت آن بر خلاف قانون دست راست است.

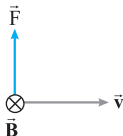
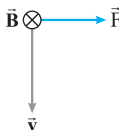
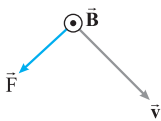
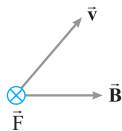
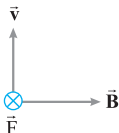
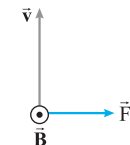


ذره ۳: از نظر الکتریکی خنثی است، چرا که به آن نیرویی وارد نشده و به همین دلیل ذره در میدان مغناطیسی منحرف نشده است.

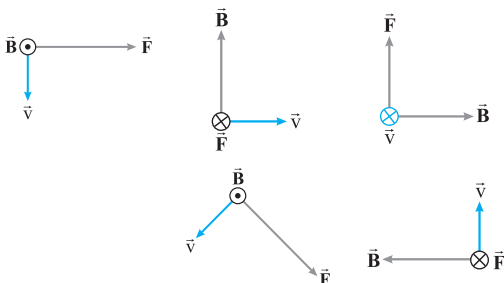


ذره ۴: دارای بار منفی است؛ زیرا جهت انحراف ذره و مسیر حرکت آن برخلاف قاعده دست راست است.

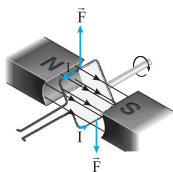
۶- جهت نیروی مغناطیسی وارد بر بار مثبت را در هر یک از حالت‌های نشان داده در شکل زیر تعیین کنید.



۷- نیروی مغناطیسی $\vec{F}$ وارد بر الکترونی که در میدان مغناطیسی $\vec{B}$ در حرکت است، در شکل زیر، نشان داده شده است. فرض کنید راستای حرکت الکترون بر میدان مغناطیسی عمود است؛ در هر یک از حالت‌های نشان داده شده جهت سرعت الکترون را تعیین کنید. از آن جایی که الکترون دارای بار منفی است، برای تعیین جهت سرعت $\vec{v}$ از قاعده دست راست استفاده می‌کنیم و سپس جهت به دست آمده را قرینه می‌کنیم؛ بنابراین داریم:



۸- حلقه رسانای مستطیل شکلی که حامل جریان I است، مطابق شکل روبه‌رو درون میدان مغناطیسی یکنواخت می‌چرخد. جهت جریان را در حلقه تعیین کنید.



مطابق شکل مقابل، باید جریان I درون سیم در جهتی باشد که به ضلع سمت چپ حلقه مستطیل شکل نیرویی به سمت بالا و به ضلع سمت راست آن نیرویی به سمت پایین وارد شود. طبق قانون دست راست، برای سیم حامل جریان اگر انگشت شست دست راست طوری در جهت نیرو وارد بر سیم قرار بگیرد که میدان مغناطیسی از کف دست خارج شود، چهار انگشت دست جهت جریان درون سیم را نشان می‌دهد؛ بنابراین مطابق شکل مقابل، جهت جریان در حلقه پادساعتگرد است.

۹- پروتونی با تندی $4/4 \times 10^6 \text{ m/s}$ درون میدان مغناطیسی یکنواختی به اندازه 18 mT در حرکت است. جهت حرکت پروتون با جهت $\vec{B}$ ، زاویه 60° می‌سازد. الف) اندازه نیروی وارد بر این پروتون را محاسبه کنید. ابتدا اندازه نیروی مغناطیسی وارد بر پروتون را به دست می‌آوریم:

$$B = 18 \text{ mT} = 18 \times 10^{-3} \text{ T}$$

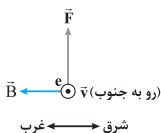
$$F = |q| v B \sin \theta = (1/6 \times 10^{-19} \text{ C})(4/4 \times 10^6 \text{ m/s})(18 \times 10^{-3} \text{ T})(\sin 60^\circ) \\ \approx 1/09 \times 10^{-14} \text{ N}$$

ب) اگر تنها این نیرو بر پروتون وارد شود، شتاب پروتون را حساب کنید. (بار الکتریکی پروتون $1/6 \times 10^{-19} \text{ C}$ و جرم آن را $1/7 \times 10^{-27} \text{ kg}$ در نظر بگیرید.) با استفاده از قانون دوم نیوتون ($F = ma$)، شتاب حرکت پروتون به دست می‌آید:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{1/09 \times 10^{-14} \text{ N}}{1/7 \times 10^{-27} \text{ kg}} \approx 6/4 \times 10^{12} \text{ N/kg}$$

۱۰- الکترونی با تندی $2/4 \times 10^5 \text{ m/s}$ درون میدان مغناطیسی یکنواختی در حرکت است. اندازه نیرویی که از طرف میدان مغناطیسی بر این الکترون وارد می‌شود، هنگامی بیشینه است که الکترون به سمت جنوب حرکت کند.

الف) اگر جهت این نیروی بیشینه، رو به بالا و اندازه آن برابر $6/8 \times 10^{-14} \text{ N}$ باشد، اندازه و جهت میدان مغناطیسی را تعیین کنید.



با استفاده از قاعده دست راست و با توجه به این که الکترون دارای بار منفی است، مطابق شکل مقابل، جهت میدان مغناطیسی به سمت غرب است. هنگامی نیروی مغناطیسی وارد بر ذره باردار از طرف میدان مغناطیسی بیشینه است که زاویه جهت حرکت الکترون ($\vec{v}$) و میدان مغناطیسی ($\vec{B}$) 90° درجه باشد ($\theta = 90^\circ$)؛ بنابراین داریم:

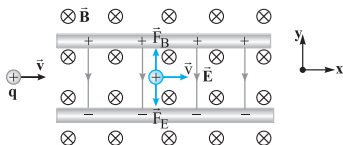
$$F_{\max} = |q| v B \Rightarrow B = \frac{F_{\max}}{|q| v} = \frac{(6/8 \times 10^{-14} \text{ N})}{(1/6 \times 10^{-19} \text{ C})(2/4 \times 10^5 \text{ m/s})} \approx 1/77 \text{ T}$$

ب) اندازه میدان الکتریکی چه قدر باشد تا همین نیرو را ایجاد کند؟

با توجه به رابطه $F = |q| E$ داریم:

$$E = \frac{F}{|q|} = \frac{6/8 \times 10^{-14} \text{ N}}{1/6 \times 10^{-19} \text{ C}} = 4/25 \times 10^5 \text{ N/C}$$

۱۱- ذره باردار مثبتی با جرم ناچیز و با سرعت $\vec{v}$ در امتداد محور x وارد فضایی می‌شود که میدان‌های $\vec{E}$ و $\vec{B}$ وجود دارد (شکل روبه‌رو). اندازه این میدان‌ها برابر $E = 450 \text{ N/C}$ و $B = 0/18 \text{ T}$ است. تندی ذره چه قدر باشد تا در همان امتداد محور x به حرکت خود ادامه دهد؟



مطابق شکل مقابل نیروی الکتریکی وارد بر بار مثبت به سمت پایین و نیروی مغناطیسی وارد بر آن (طبق قاعده دست راست) به سمت بالا است. برای این که ذره از مسیر خود منحرف نشود، باید اندازه نیروهای الکتریکی و مغناطیسی وارد بر ذره با یکدیگر برابر باشند؛ یعنی داریم:

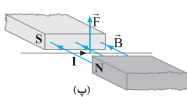
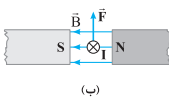
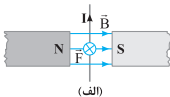
$$F_E = F_B \Rightarrow |q| E = |q| v B \sin 90^\circ \Rightarrow E = v B$$

$$\Rightarrow v = \frac{E}{B} = \frac{450 \text{ N/C}}{0/18 \text{ T}} = 2500 \text{ m/s}$$

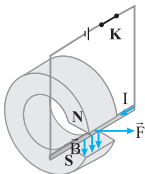
۳-۴ نیروی مغناطیسی وارد بر سیم حامل جریان

۱۲- جهت نیروی الکترومغناطیسی وارد بر سیم حامل جریان را در هر یک از شکل‌های الف، ب و پ با استفاده از قاعده دست بیابید.

طبق قانون دست راست، اگر چهار انگشت دست راست را طوری در جهت جریان (I) قرار دهیم که خم شدن چهار انگشت در جهت میدان مغناطیسی باشد، آن گاه انگشت شست جهت نیروی وارد بر سیم را نشان می‌دهد. بنابراین داریم:



۱۳- یک میله رسانا به پایه‌های یک باتری وصل شده و مطابق شکل در فضای بین قطب‌های یک آهنربای C شکل آویزان شده است و می‌تواند آزادانه نوسان کند. با بستن کلید K، چه اتفاقی برای میله رسانا رخ می‌دهد؟ توضیح دهید.



با بستن کلید مدار، جریان الکتریکی از پایانه مثبت به سمت پایانه منفی باتری برقرار می‌شود؛ بنابراین طبق قاعده دست راست به میله نیروهایی به سمت خارج آهنربا وارد شده و در نتیجه میله به سمت بیرون آهنربا منحرف می‌شود.

۱۴- سیم رسانای CD به طول ۲ m مطابق شکل مقابل عمود بر میدان مغناطیسی درون سو با اندازه 0.5 T قرار گرفته است؛ اگر اندازه نیروی مغناطیسی وارد بر سیم برابر ۱ N باشد، جهت و مقدار جریان عبوری از سیم را تعیین کنید.

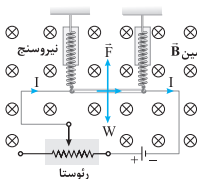
اگر کف دست راست را در جهت میدان مغناطیسی (درون سو) و انگشت شست را در جهت نیروی مغناطیسی (به سمت پایین) قرار دهیم، آن‌گاه چهار انگشت دیگر جهت جریان درون سیم را مشخص می‌کند؛ بنابراین مطابق شکل مقابل، جهت جریان I از D به سمت C است.

از آن جایی که زاویه بین جهت جریان و میدان مغناطیسی 90° درجه است ($\theta = 90^\circ$)، بنابراین با توجه به رابطه نیروی مغناطیسی وارد بر سیم حامل جریان، اندازه جریان عبوری از سیم به صورت مقابل به دست می‌آید:

$$B = 0.5 \text{ mT} = 0.5 \times 10^{-3} \text{ T}$$

$$F = I \ell B \sin \theta \Rightarrow 1 \text{ N} = I \times (2 \text{ m}) (0.5 \text{ T}) (\sin 90^\circ) \Rightarrow I = 1 \text{ A}$$

۱۵- یک سیم حامل جریان ۱/۶ آمپر مطابق شکل با دو نیروسنج فنری که به دو انتهای آن بسته شده‌اند، به طور افقی در راستای غرب - شرق قرار دارد. میدان مغناطیسی زمین را یکنواخت، به طرف شمال و اندازه 0.5 mT بگیرد.



الف) اندازه نیروی مغناطیسی وارد بر هر متر این سیم را پیدا کنید.
ب) اندازه نیروی مغناطیسی وارد بر یک متر سیم حامل جریان برابر است با:

$$B = 0.5 \text{ mT} = 0.5 \times 10^{-3} \text{ T}$$

$$F = I \ell B \sin 90^\circ = (1/6 \text{ A}) (1 \text{ m}) (0.5 \times 10^{-3} \text{ T}) (1) = 8 \times 10^{-5} \text{ N}$$

ب) اگر بخواهیم نیروسنج‌ها عدد صفر را نشان دهند، چه جریانی و در چه جهتی باید از سیم عبور کند؟ جرم هر متر از طول این سیم ۸ گرم است ($g = 9.8 \text{ N/kg}$). هنگامی نیروسنج‌ها عدد صفر را نشان می‌دهند که نیروی مغناطیسی وارد بر سیم، رو به بالا و برابر با وزن سیم باشد. بنابراین داریم:

$$F_B = W \Rightarrow I \ell B \sin 90^\circ = mg$$

$$m = \lambda g = \lambda \times 10^{-3} \text{ kg}$$

$$\Rightarrow I = \frac{mg}{\ell B} = \frac{(\lambda \times 10^{-3} \text{ kg})(9.8 \text{ N/kg})}{(1 \text{ m})(0.05 \times 10^{-3} \text{ T})} = 1568 \text{ A}$$

برای آن که نیروی مغناطیسی وارد بر سیم به سمت بالا باشد، طبق قانون دست راست می توان گفت جهت جریان الکتریکی در سیم به سمت شرق است.

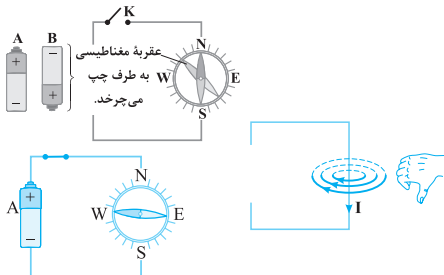
۵-۳ میدان مغناطیسی حاصل از جریان

۱۶- یک آهنربای میله ای مطابق شکل زیر، بالای سیملوله ای آویزان شده است. توضیح دهید با بستن کلید K چه تغییری در وضعیت آهنربا رخ می دهد.

با بستن کلید، جریانی پادساعتگرد در مدار ایجاد می شود. بر اثر عبور جریان الکتریکی از سیملوله، میدان مغناطیسی رو به پایین در سیملوله ایجاد خواهد شد. این میدان به گونه ای است که قسمت بالایی سیملوله قطب S و قسمت پایینی آن قطب N می شوند. به دلیل نیروی جاذبه بین قطب های مغناطیسی ناهمنام، سیملوله و آهنربا یکدیگر را جذب می کنند و در نتیجه آهنربا از سمت قطب N به سمت پایین منحرف می شود.



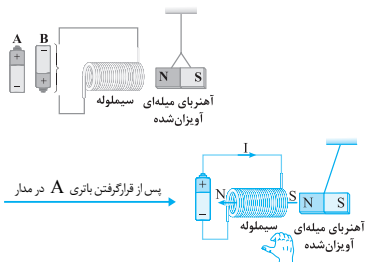
۱۷- کدام باتری را در مدار شکل مقابل قرار دهیم تا پس از بستن کلید K، عقربه قطب نما که روی سیم قرار دارد، در خلاف جهت حرکت عقربه های ساعت شروع به چرخش کند؟ دلیل انتخاب خود را توضیح دهید.



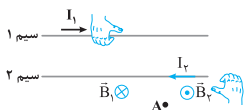
باتری A - عقربه قطب نما همواره در جهت میدان مغناطیسی قرار می گیرد. برای این که عقربه مغناطیسی در خلاف جهت حرکت عقربه های ساعت بچرخد، باید جریان به گونه ای در مدار برقرار شود که میدان مغناطیسی حاصل از آن در مکانی که قطب نما قرار می گیرد به سمت چپ باشد؛ یعنی: بنابراین طبق قاعده دست راست، جهت جریان الکتریکی در مدار باید ساعتگرد باشد که برای ایجاد چنین جریانی باید باتری A را در مدار قرار داد.

۱۸- کدام باتری را در مدار شکل زیر قرار دهیم تا آهنربای میله‌ای آویزان شده به طرف سیملوله جذب شود؟ دلیل انتخاب خود را توضیح دهید.

باتری A - برای این که آهنربای میله‌ای به طرف سیملوله جذب شود، باید جریان به گونه‌ای در مدار برقرار شود که در سمت راست سیملوله، قطب S و در سمت چپ آن قطب N ایجاد شود؛ یعنی مطابق شکل زیر، جهت خطوط میدان مغناطیسی داخل آهنربا به سمت چپ است؛ بنابراین طبق قاعده دست راست، جهت جریان الکتریکی در مدار باید ساعتگرد باشد که برای چنین جریانی باید باتری A را در مدار قرار دهیم.



۱۹- شکل زیر، دو سیم موازی و بلند حامل جریان را نشان می‌دهد. اگر میدان مغناطیسی برآیند حاصل از این سیم‌ها در نقطه A صفر باشد، جهت جریان آن را در سیم ۲ پیدا کنید.

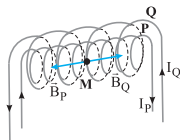


طبق قاعده دست راست، میدان مغناطیسی حاصل از سیم ۱ در نقطه A درون سو است. برای این که میدان مغناطیسی برآیند حاصل از سیم‌ها در نقطه A برابر صفر شود، باید میدان مغناطیسی حاصل از سیم ۲ در نقطه A برون سو و هم‌اندازه با میدان حاصل از سیم ۱ باشد؛ بنابراین طبق قاعده دست راست نتیجه می‌گیریم که جریان درون سیم ۲ باید به سمت چپ باشد.

۲۰- سیملوله‌ای شامل ۲۵۰ حلقه است که دور یک لوله پلاستیکی توخالی به طول ۱۴/۰ متر پیچیده شده است. اگر جریان گذرنده از سیملوله ۸/۰ A باشد، اندازه میدان مغناطیسی درون سیملوله را حساب کنید. میدان مغناطیسی درون سیملوله آرمانی به صورت مقابل به دست می‌آید:

$$B = \frac{\mu_0 N I}{\ell} = \frac{(4\pi \times 10^{-7} \frac{T \cdot m}{A})(250)(8 A)}{(0.14 m)} = 1.79 \times 10^{-3} T$$

۲۱- در شکل زیر دو سیملوله P و Q هم‌محورند و طول برابر دارند. تعداد دور سیملوله P برابر ۲۰۰ و تعداد دور سیملوله Q برابر ۳۰۰ است. اگر جریان ۱ A از سیملوله Q عبور کند، از سیملوله P چه جریانی باید عبور کند تا برآیند میدان مغناطیسی ناشی از دو سیملوله در نقطه M (روی محور دو سیملوله) صفر شود؟



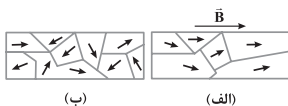
جریان الکتریکی در سیملوله‌های P و Q در خلاف جهت هم هستند؛ پس طبق قاعده دست راست می‌توان گفت میدان مغناطیسی ناشی از سیملوله‌ها در نقطه M خلاف جهت یکدیگر هستند.

با توجه به این موضوع برآیند میدان مغناطیسی در نقطه M در صورتی صفر است که میدان مغناطیسی سیم‌لوله‌ها در نقطه M هم‌اندازه باشند؛ یعنی:

$$B_P = B_Q \Rightarrow \frac{\mu_0 N_P I_P}{\ell_P} = \frac{\mu_0 N_Q I_Q}{\ell_Q} \Rightarrow 200 I_P = 300 (1 A) \Rightarrow I_P = 1.5 A$$

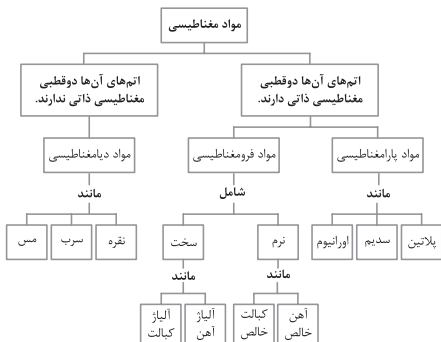
۳-۶ ویژگی‌های مغناطیسی مواد

۲۲- شکل الف حوزه‌های مغناطیسی ماده فرومغناطیسی را درون میدان خارجی $\vec{B}$ نشان می‌دهد. شکل ب همان ماده را پس از حذف میدان $\vec{B}$ نشان می‌دهد. نوع ماده فرومغناطیسی را با ذکر دلیل تعیین کنید.



فرومغناطیس نرم - زیرا با حذف میدان مغناطیسی، حجم حوزه‌های همسو کاهش یافته و حوزه‌های مغناطیسی ناهمسو شده‌اند و ماده به آسانی خاصیت آهنربایی خود را از دست داده است.

۲۳- با توجه به آنچه در بخش ویژگی‌های مغناطیسی مواد دیدید، نقشه مفهومی روبه‌رو را کامل کنید.

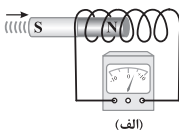
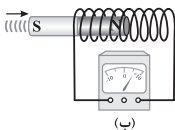


فصل چهارم

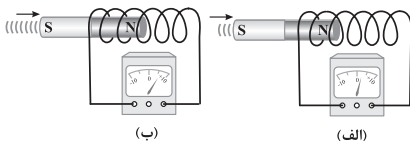
پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۴ صفحه ۱۲۸ کتاب درسی

۴-۱ و ۴-۲ پدیده القای الکترومغناطیسی و قانون القای الکترومغناطیسی فاراده

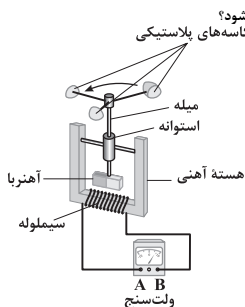
۱- دو سیم‌لوله با حلقه‌های با مساحت یکسان ولی با تعداد دور متفاوت را مطابق شکل‌های روبه‌رو به ولت‌سنج حساسی وصل کرده‌ایم. دریافت خود را از شکل‌های مقابل بنویسید. (آهنرباها مشابه‌اند و با تندی یکسانی به طرف سیم‌لوله‌ها حرکت می‌کنند.) با توجه به شکل مقابل، با ورود آهنربا به درون سیم‌لوله‌ای که تعداد حلقه بیشتری دارد، نیروی محرکه بیشتری در مدار القا می‌شود؛ به همین دلیل ولت‌سنج عدد بیشتری را نشان می‌دهد.



۲- دو سیملوله مشابه را مطابق شکل‌های روبه‌رو به ولت‌سنج حساسی وصل کرده‌ایم. دریافت خود را از شکل‌های مقابل بنویسید. (آهنرباها مشابه‌اند ولی با تندی متفاوتی به طرف سیملوله حرکت می‌کنند.) با توجه به شکل مقابل، هر چه قدر تندی حرکت آهنربا به سمت سیملوله بیشتر باشد، نیروی محرکه بیشتری در مدار القا می‌شود؛ به همین دلیل ولت‌سنج عدد بیشتری را نشان می‌دهد.



۳- شکل داده‌شده ساختمان یک بادسنج را نشان می‌دهد. اگر این بادسنج را روی بام خانه نصب کنیم، به هنگام وزیدن باد میله آن می‌چرخد و ولت‌سنج عددی را نشان می‌دهد.



الف) چرا چرخش میله سبب انحراف عقربه ولت‌سنج می‌شود؟
با چرخش میله و آهنربای متصل به آن، شار مغناطیسی عبوری از سیملوله تغییر می‌کند و در نتیجه نیروی محرکه‌ای در سیملوله القا شده که منجر به منحرف شدن عقربه ولت‌سنج می‌شود.

ب) آیا با افزایش تندی باد، عددی که ولت‌سنج نشان می‌دهد تغییر می‌کند؟ چرا؟ بله، افزایش تندی باد سبب چرخش سریع‌تر آهنربا و افزایش آهنگ تغییرات شار مغناطیسی عبوری از سیملوله می‌شود؛ در نتیجه نیروی محرکه بیشتری در سیملوله القا می‌شود و ولت‌سنج عدد بیشتری را نشان می‌دهد.

پ) برای بهبود و افزایش دقت کار دستگاه دو پیشنهاد ارائه کنید.

افزایش تعداد حلقه سیملوله - استفاده از آهنربای قوی‌تر - کاهش اصطکاک در اجزای ساختمان بادسنج - استفاده از سیم‌هایی با مقاومت کم‌تر

۴- سطح حلقه‌های پیچیده‌ای که دارای ۱۰۰۰ حلقه است، عمود بر میدان مغناطیسی یکنواختی که اندازه آن 0.40 T و جهت آن از راست به چپ است، قرار دارد. میدان مغناطیسی در مدت 0.10 s تغییر می‌کند و به 0.40 T در خلاف جهت اولیه می‌رسد. اگر سطح هر حلقه پیچیده 50 cm^2 باشد، اندازه نیروی محرکه القایی متوسط در پیچیده را حساب کنید.
 $A = 50 \text{ cm}^2 = 5 \times 10^{-3} \text{ m}^2$
هنگامی که جهت میدان مغناطیسی تغییر می‌کند و در خلاف جهت اولیه قرار می‌گیرد، زاویه بین بردار میدان مغناطیسی و نیم‌خط عمود بر سطح حلقه از صفر به 180° درجه تغییر می‌کند؛ بنابراین داریم:

$$\theta_1 = 0^\circ \Rightarrow \Phi_1 = BA \cos \theta_1 = (4 \times 10^{-2} \text{ T})(5 \times 10^{-3} \text{ m}^2) \cos 0^\circ = 2 \times 10^{-4} \text{ Wb}$$

$$\theta_2 = 180^\circ \Rightarrow \Phi_2 = BA \cos \theta_2 = (4 \times 10^{-2} \text{ T})(5 \times 10^{-3} \text{ m}^2) \cos 180^\circ = -2 \times 10^{-4} \text{ Wb}$$

$$\Rightarrow \Delta \Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = -2 \times 10^{-4} - 2 \times 10^{-4} = -4 \times 10^{-4} \text{ Wb}$$

حال اندازه نیروی محرکه القایی را به دست می آوریم:

$$\bar{\varepsilon} = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = -1000 \times \frac{(-4 \times 10^{-4} \text{ Wb})}{(0.01 \text{ s})} = 40 \text{ V}$$

۵- مساحت هر حلقه پیچه ای 30 cm^2 و پیچه متشکل از ۱۰۰۰ حلقه است. در ابتدا سطح پیچه ها بر میدان مغناطیسی زمین عمود است. اگر در مدت 0.20 s پیچه بچرخد و سطح حلقه ها موازی میدان مغناطیسی زمین شود، نیروی محرکه متوسط القایی در آن چه قدر است؟ اندازه میدان زمین را 50 G در نظر بگیرید.

هنگامی که سطح پیچه را می چرخانیم، زاویه بین بردار میدان مغناطیسی و نیم خط عمود بر سطح حلقه از صفر به 90° درجه تغییر می کند. بنابراین داریم:

$$\theta_1 = 0^\circ \Rightarrow \Phi_1 = BA \cos \theta_1 = (5 \times 10^{-5} \text{ T})(3 \times 10^{-2} \text{ m}^2) \cos 0^\circ = 1.5 \times 10^{-7} \text{ Wb}$$

$$\theta_2 = 90^\circ \Rightarrow \Phi_2 = BA \cos \theta_2 = (5 \times 10^{-5} \text{ T})(3 \times 10^{-2} \text{ m}^2) \cos 90^\circ = 0 \text{ Wb}$$

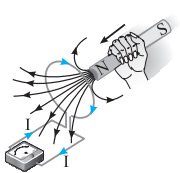
$$\Delta \Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = 0 - 1.5 \times 10^{-7} = -1.5 \times 10^{-7} \text{ Wb}$$

حال اندازه نیروی محرکه القایی را به دست می آوریم:

$$\bar{\varepsilon} = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = -1000 \times \frac{(-1.5 \times 10^{-7} \text{ Wb})}{(2 \times 10^{-2} \text{ s})} = 7.5 \times 10^{-2} \text{ V}$$

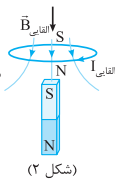
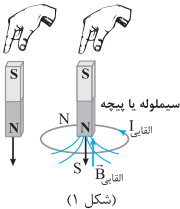
۳-۴ قانون لنز

۶- قطب N یک آهنربا را مطابق شکل روبه رو به یک حلقه رسانا نزدیک می کنیم. جهت جریان القایی را در حلقه مشخص کنید. با نزدیک کردن آهنربا به حلقه، شدت میدان مغناطیسی درون حلقه و در نتیجه



شار مغناطیسی عبوری از حلقه زیاد می شود. طبق قانون لنز، جریانی در حلقه القا می شود که میدان مغناطیسی ناشی از آن در خلاف جهت میدان مغناطیسی آهنربا است تا با افزایش شار مغناطیسی عبوری از حلقه مخالفت کند؛ بنابراین مطابق شکل روبه رو، جهت جریان القایی در حلقه ساعتگرد است.

۷- دو آهنربای میله ای مشابه را مطابق شکل، به طور قائم از



ارتفاع معینی نزدیک سطح زمین رها می کنیم به طوری که یکی از آن ها از حلقه رسانایی عبور می کند. اگر سطح زمین در محل برخورد آهنرباها نرم باشد، مقدار فرورفتگی آهنرباها را در زمین با یکدیگر مقایسه کنید. (تأثیر میدان مغناطیسی زمین روی آهنرباها را نادیده بگیرید). فرورفتگی آهنربایی که از حلقه عبور می کند، کم تر است.

هنگام نزدیک شدن آهنربا به حلقه، شدت میدان مغناطیسی درون حلقه و در نتیجه شار مغناطیسی عبوری از حلقه به مرور افزایش می‌یابد. طبق قانون لنز، جریانی در حلقه القا می‌شود که میدان مغناطیسی ناشی از آن در خلاف جهت میدان مغناطیسی آهنربا باشد تا با افزایش شار مغناطیسی عبوری از حلقه مخالفت کند. در این جا میدان مغناطیسی القایی در مرکز حلقه به سمت بالا می‌شود و سطح بالایی حلقه دارای قطب N و سطح پایینی آن که دارای قطب S می‌شود. این موضوع باعث می‌شود که نیروی دافعه بین قطب‌های همنام آهنربا و حلقه سبب کاهش شتاب سقوط آهنربا شود. (شکل ۱) هم‌چنین در هنگام عبور و دور شدن آهنربا از حلقه، شدت میدان مغناطیسی درون حلقه و در نتیجه شار مغناطیسی عبوری از حلقه به مرور کاهش می‌یابد.

طبق قانون لنز، جریانی در حلقه القا می‌شود که میدان مغناطیسی ناشی از آن در مرکز حلقه به سمت پایین است. بنابراین سطح بالایی حلقه دارای قطب S و سطح پایینی آن دارای قطب N است که نیروی جاذبه بین آهنربا و حلقه سبب کاهش شتاب سقوط آهنربا می‌شود. (شکل ۲)

به همین دلیل در کل مسیر نیروی مغناطیسی رو به بالایی به آهنربای گذرنده از حلقه وارد می‌شود و با شتابی کمتر از شتاب جاذبه گرانشی (g) سقوط می‌کند؛ در نتیجه آهنربای گذرنده از حلقه با تندی کم‌تری به سطح زمین می‌رسد و در نتیجه کم‌تر در زمین فرو می‌رود.

۸- جهت جریان القایی را در هر یک از حلقه‌های رسانای نشان داده شده در شکل‌های روبه‌رو تعیین کنید.

الف) با افزایش جریان الکتریکی I در سیم بلند، میدان مغناطیسی برون سو و در نتیجه شار مغناطیسی عبوری از حلقه افزایش می‌یابد. طبق قانون لنز جریانی در حلقه القا می‌شود که با افزایش شار عبوری از حلقه مخالفت کند؛ بنابراین با توجه به قاعده دست راست، جهت جریان القایی (I') در حلقه ساعتگرد است.



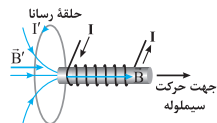
ب) کاهش جریان الکتریکی I در سیم بلند، میدان مغناطیسی برون سو و در نتیجه شار مغناطیسی عبوری از حلقه کاهش می‌یابد، بنابراین با توجه به قاعده دست راست، در حلقه جریانی (I') پادساعتگرد القا می‌شود.



پ) با ثابت ماندن جریان الکتریکی I در سیم بلند، شار مغناطیسی عبوری از حلقه تغییر نمی‌کند؛ بنابراین جریانی در حلقه القا نمی‌شود.

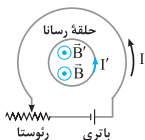
پ) I ثابت

۹- شکل مقابل، سیم‌لوله حامل جریانی را نشان می‌دهد که در حال دور شدن از یک حلقه رساناست. جهت جریان القایی را در حلقه با ذکر دلیل تعیین کنید.



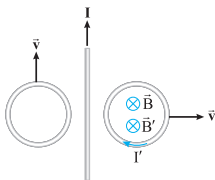
طبق قاعده دست راست، میدان مغناطیسی ناشی از سیم‌لوله در درون حلقه به سمت راست است. با دور شدن سیم‌لوله از حلقه، شار مغناطیسی عبوری از حلقه کاهش می‌یابد؛ بنابراین طبق قانون لنز، میدان مغناطیسی ناشی از جریان القایی در حلقه هم‌جهت با میدان سیم‌لوله است که با کاهش شار عبوری از حلقه مخالفت می‌کند؛ در نتیجه جریانی (I') مطابق شکل مقابل در حلقه القا می‌شود.

۱۰- اگر در مدار شکل روبه‌رو مقاومت رُئوستا افزایش یابد، جریان القایی در حلقهٔ رسانای داخلی در چه جهتی ایجاد می‌شود؟ با افزایش مقاومت رُئوستا، جریان الکتریکی عبوری از حلقهٔ خارجی (I) و در



نتیجه میدان مغناطیسی برون‌سو در محل حلقهٔ داخلی (B) کاهش می‌یابد؛ بنابراین شار مغناطیسی عبوری از حلقهٔ داخلی کاهش می‌یابد. طبق قانون لنز، جریانی پادساعتگرد (I') در حلقهٔ داخلی القا می‌شود تا با ایجاد میدان مغناطیسی برون‌سو در درون حلقهٔ داخلی (B') از این کاهش شار مغناطیسی جلوگیری کند.

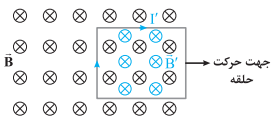
۱۱- دو حلقهٔ رسانا در نزدیکی یک سیم دراز حامل جریان ثابت I قرار دارند؛ این دو حلقه با تندی یکسان، ولی در جهت‌های متفاوت مطابق شکل روبه‌رو حرکت می‌کنند. جهت جریان القایی را در هر حلقه با ذکر دلیل تعیین کنید. حلقهٔ سمت چپ به موازات سیم دراز حامل جریان I در حرکت است؛ بنابراین شار مغناطیسی عبوری از حلقه تغییر نمی‌کند و در نتیجه جریانی در آن القا نمی‌شود. با دور شدن حلقهٔ سمت راست از



سیم دراز حامل جریان، میدان مغناطیسی ناشی از جریان I در محل حلقه و همچنین شار مغناطیسی عبوری از حلقه کاهش می‌یابد. طبق قانون لنز، جریانی ساعتگرد (I') در حلقه القا می‌شود تا با ایجاد میدانی درون‌سو (B') درون حلقه با کاهش شار مغناطیسی عبوری از حلقه مخالفت کند.

۱۲- حلقهٔ رسانای مستطیل شکلی را مطابق شکل روبه‌رو به

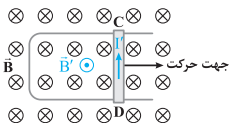
طرف راست می‌کشیم و از میدان مغناطیسی درون‌سویی خارج می‌کنیم. جهت جریان القایی در حلقه در چه



جهتی است؟ با خروج حلقهٔ رسانا از میدان مغناطیسی، شار مغناطیسی عبوری از حلقه کاهش می‌یابد؛ طبق قانون لنز، جریانی ساعتگرد در حلقه القا می‌شود تا با ایجاد میدان

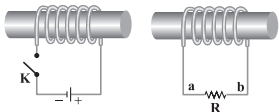
مغناطیسی درون‌سو درون حلقه با کاهش شار عبوری از حلقه مخالفت کند.

۱۳- شکل مقابل رسانای U شکلی را درون میدان مغناطیسی یکنواخت B که عمود بر صفحهٔ شکل و رو به داخل صفحه است نشان می‌دهد. وقتی میلهٔ فلزی CD به طرف راست حرکت کند، جهت جریان القایی در مدار در چه جهتی است؟ با حرکت میلهٔ رسانا به سمت راست، مساحت حلقهٔ درون میدان مغناطیسی (B)



و در نتیجه شار مغناطیسی گذرنده از حلقه افزایش می‌یابد. طبق قانون لنز، جهت جریان القایی I' باید به گونه‌ای باشد که از تغییر شار عبوری از حلقه جلوگیری کند؛ پس، طبق قاعدهٔ دست راست، جهت جریان القایی در حلقه پادساعتگرد است.

۱۴- در مدار نشان داده شده در شکل روبه‌رو، جهت



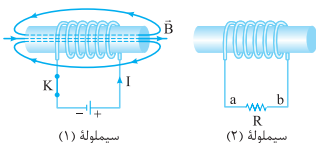
جریان القایی را در مقاومت R در هر یک از دو

حالت زیر با ذکر دلیل پیدا کنید:

الف) در لحظهٔ بستن کلید K

ب) در لحظهٔ باز کردن کلید K

جهت جریان الکتریکی از پایانه مثبت باتری به سمت پایانه منفی آن است. طبق قاعده دست راست، جهت



میدان مغناطیسی داخل سیمولوه به سمت راست است.

الف) در لحظه بستن کلید K، با افزایش جریان الکتریکی I در سیمولوه (۱)، میدان مغناطیسی سیمولوه (۱) افزایش و در نتیجه شار مغناطیسی عبوری از

سیمولوه (۲) افزایش می‌یابد. طبق قانون لنز، جریان القایی به گونه‌ای در سیمولوه (۲) برقرار می‌شود که از افزایش شار عبوری جلوگیری کند؛ بنابراین میدان مغناطیسی القایی در سیمولوه (۲)، خلاف جهت میدان مغناطیسی حاصل از سیمولوه (۱) (به سمت چپ) است. بنابراین طبق قاعده دست راست، جریان القایی در مقاومت R از b به سمت a است.

ب) در لحظه بازکردن کلید K، با کاهش جریان الکتریکی I در سیمولوه (۱)، میدان مغناطیسی سیمولوه (۱) کاهش و در نتیجه شار عبوری از سیمولوه (۲) کاهش می‌یابد. طبق قانون لنز، جریان القایی به گونه‌ای در سیمولوه (۲) برقرار می‌شود که از کاهش شار عبوری جلوگیری کند؛ بنابراین میدان مغناطیسی القایی در سیمولوه (۲)، هم جهت با میدان مغناطیسی حاصل از سیمولوه (۱) (به سمت راست) است. بنابراین طبق قاعده دست راست، جریان القایی در مقاومت R از a به سمت b است.

۱۵- حلقه رسانایی مربعی شکل، به طول ضلع 10 cm وارد میدان مغناطیسی درون سویی به اندازه 20 mT و سپس از آن خارج می‌شود.

الف) در کدام مرحله شار عبوری از حلقه بیشینه است؟ مقدار شار گذرنده از حلقه در این حالت چه قدر است؟

$$A = a^2 = 10\text{ cm} \times 10\text{ cm} = 100\text{ cm}^2 = 10^{-2}\text{ m}^2, \quad B = 20\text{ mT} = 2 \times 10^{-2}\text{ T}$$

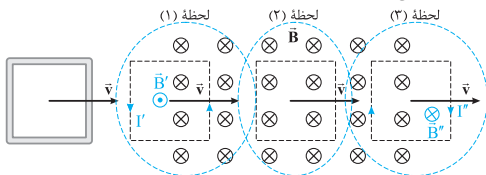
شار مغناطیسی عبوری از حلقه هنگامی بیشینه است که حلقه به طور کامل درون میدان مغناطیسی قرار می‌گیرد؛ بنابراین داریم:

$$\Phi_{\max} = BA \cos \theta = (2 \times 10^{-2}\text{ T})(10^{-2}\text{ m}^2) \times \cos 0^\circ = 2 \times 10^{-4}\text{ Wb}$$

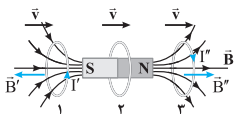
ب) در کدام وضعیت(ها) شار گذرنده از حلقه تغییر می‌کند؟ جهت جریان القایی را در حلقه تعیین کنید. در لحظه ورود حلقه به درون میدان (لحظه ۱)، شار مغناطیسی درون سویی عبوری از حلقه افزایش می‌یابد. طبق قانون لنز، جریانی پادساعتگرد (I') در حلقه القا می‌شود که با ایجاد میدانی برون سو (B') از افزایش شار مغناطیسی درون سویی عبوری از حلقه جلوگیری کند.

هنگامی که حلقه داخل میدان مغناطیسی حرکت می‌کند (لحظه ۲)، شار مغناطیسی عبوری از آن تغییر نمی‌کند، بنابراین جریانی در حلقه القا نمی‌شود.

در لحظه خروج حلقه از میدان مغناطیسی (لحظه ۳)، شار مغناطیسی درون سویی عبوری از حلقه کاهش می‌یابد. طبق قانون لنز، جریانی ساعتگرد (I'') در حلقه القا می‌شود که با ایجاد میدان درون سو (B'') از کاهش شار مغناطیسی درون سویی عبوری از حلقه جلوگیری کند.



۱۶- حلقهٔ رسانایی به طرف یک آهنربای میله‌ای حرکت می‌کند. شکل زیر، حلقه را در سه وضعیت نسبت به آهنربا نشان می‌دهد. جهت جریان القایی را در حلقه برای هر وضعیت به طور جداگانه تعیین کنید. وضعیت (۱): با نزدیک شدن حلقه به آهنربا، شار مغناطیسی عبوری از حلقه به سمت راست



و در حال افزایش است. طبق قانون لنز، میدان مغناطیسی ناشی از جریان القایی به گونه‌ای است که با افزایش شار مغناطیسی مخالفت کند؛ بنابراین جهت میدان مغناطیسی القایی درون حلقه (B') به سمت چپ خواهد بود و با توجه به

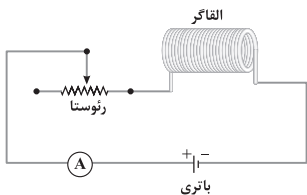
قاعدهٔ دست راست، جهت جریان القایی (I') در قسمت جلویی حلقه به سمت بالاست.

وضعیت (۲): در این حالت شار مغناطیسی عبوری از حلقه ثابت است. بنابراین طبق قانون لنز، جریانی در حلقه القانمی‌شود.

وضعیت (۳): با دور شدن حلقه از آهنربا، شار مغناطیسی عبوری از حلقه به سمت راست و در حال کاهش است. طبق قانون لنز، میدان مغناطیسی ناشی از جریان القایی به گونه‌ای است که با کاهش شار مغناطیسی مخالفت کند؛ بنابراین جهت میدان مغناطیسی القایی درون حلقه (B'') به سمت راست خواهد بود و با توجه به قاعدهٔ دست راست جهت جریان القایی (I'') در قسمت جلویی حلقه به سمت پایین است.

۴-۴ القاگرها

۱۷- شکل مقابل مداری را نشان می‌دهد؛ شامل یک القاگر (سیملوله)، باتری، رنوستا و آمپرسنج که به طور متوالی به

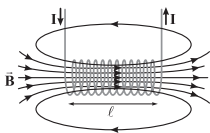


یکدیگر بسته شده‌اند. اگر بخواهیم بدون تغییر ولتاژ باتری، انرژی ذخیره‌شده در القاگر را زیاد کنیم چه راهی پیشنهاد می‌کنید؟

طبق رابطه $U = \frac{1}{2} LI^2$ ، با افزایش ضریب القاوری (L) یا جریان عبوری از القاگر (I)، انرژی ذخیره‌شده در القاگر افزایش می‌یابد. برای افزایش جریان

الکتریکی می‌توان مقاومت رنوستا را کاهش داد. هم‌چنین طبق رابطه $L = \frac{\mu_0 AN^2}{\ell}$ ، می‌توان با افزایش

تعداد دور سیملوله (N) یا سطح مقطع سیملوله (A) و کاهش طول سیملوله (ℓ)، ضریب القاوری



القاگر را افزایش داد تا انرژی ذخیره‌شده در آن افزایش یابد.

۱۸- مساحت هر حلقه و طول سیملوله شکل مقابل به ترتیب 20 cm^2 و 80 cm است. اگر این سیملوله از ۱۰۰۰ حلقهٔ نزدیک به هم تشکیل شده باشد، الف) ضریب القاوری آن را پیدا کنید.

$$A = 20 \text{ cm}^2 = 2 \times 10^{-3} \text{ m}^2, \ell = 80 \text{ cm} = 0.8 \text{ m}$$

$$L = \mu_0 \frac{AN^2}{\ell} = (4\pi \times 10^{-7} \frac{\text{T.m}}{\text{A}}) \frac{(2 \times 10^{-3} \text{ m}^2)(1000)^2}{(0.8 \times 10^{-1} \text{ m})} = \pi \times 10^{-3} \text{ H}$$

ب) چه جریانی از سیملوله بگذرد تا در میدان مغناطیسی آن 40 mJ انرژی ذخیره شود؟ با توجه به رابطه انرژی ذخیره شده در القاگر داریم:

$$U = \frac{1}{2} LI^2 \Rightarrow 4 \times 10^{-4} \text{ J} = \frac{1}{2} \times (\pi \times 10^{-3} \text{ H}) \times I^2$$

$$\Rightarrow I = \sqrt{\frac{0.8}{\pi}} = \sqrt{0.25} = 0.5 \text{ A}$$

۴-۵ جریان متناوب

۱۹- جریان متناوبی که بیشینه آن 2 A و دوره آن 0.02 s است، از یک رسانای 5 اهمی می‌گذرد. الف) اولین لحظه‌ای که در آن جریان بیشینه است چه لحظه‌ای است؟ در این لحظه نیروی محرکه القایی چه قدر است؟ با توجه به رابطه جریان متناوب داریم:

$$I = I_m \sin\left(\frac{2\pi}{T} t\right) = (2 \text{ A}) \sin\left(\frac{2\pi}{0.02 \text{ s}} t\right) = (2 \text{ A}) \sin(100\pi t)$$

$$I = I_m \Rightarrow 2 \text{ A} = (2 \text{ A}) \sin(100\pi t) \Rightarrow \sin(100\pi t) = 1 \Rightarrow 100\pi t = \frac{\pi}{2}$$

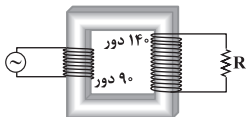
$$\Rightarrow t = \frac{1}{400} \text{ s} = 0.0025 \text{ s} = 2.5 \text{ ms}$$

$$\varepsilon_m = (2 \text{ A}) \times (5 \Omega) = 10 \text{ V}$$

و طبق رابطه $\varepsilon_m = I_m R$ ، داریم:

ب) در لحظه $t = \frac{1}{400} \text{ s}$ ، جریان چه قدر است؟

$$I = (2 \text{ A}) \sin(100\pi t) = (2 \text{ A}) \sin\left(100\pi \times \frac{1}{400} \text{ s}\right) = (2 \text{ A}) \left(\sin \frac{\pi}{4}\right) = \sqrt{2} \text{ A}$$



۲۰- در مبدل آرمانی شکل روبه‌رو، اگر بیشینه ولتاژ

دو سر مقاومت R برابر 7 V باشد، بیشینه ولتاژ

مولد چه قدر است؟

$$N_1 = 90, \quad N_2 = 140, \quad V_1 = 7 \text{ V}$$

برای یک مبدل آرمانی که مقاومت پیچ‌های آن ناچیز است، داریم:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1} \Rightarrow \frac{V}{7} = \frac{140}{90} \Rightarrow V_1 = 4.5 \text{ V}$$