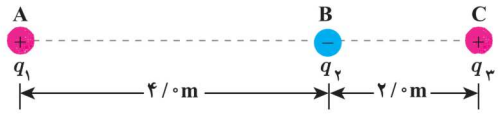
مثال ۱ــ ۳

سه ذرّه با بارهای $q_1=+2/5\mu C$، $q_2=-1/0\mu C$ و $q_3=+4/0\mu C$ در نقطه‌های A، B و C مطابق شکل روبه‌رو ثابت شده‌اند. نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار q_3 را محاسبه کنید.



پاسخ نیروی الکتریکی خالصی که بر بار q_3 وارد می‌شود، برایند دو نیرویی است که از طرف بارهای q_1 و q_2 بر آن وارد می‌شوند. برای محاسبهٔ این نیرو، نیرویی را که هر یک از بارهای q_1 و q_2 در نبود دیگری، بر بار q_3 وارد می‌کند، محاسبه می‌کنیم. نیروی الکتریکی وارد بر q_3، برایند این دو نیرو است.

فاصلهٔ بین بارهای q_1 و q_3 را با r_{13} و فاصلهٔ بین بارهای q_2 و q_3 را با r_{23} نشان می‌دهیم. با استفاده از رابطهٔ ۱ــ ۲ داریم :

$$F_{13}=k\frac{|q_1||q_3|}{r_{13}^2}=(9/0\times10^9\,N.m^2/C^2)\frac{(2/5\times10^{-6}C)(4/0\times10^{-6}C)}{(6/0m)^2}$$

$$=2/5\times10^{-3}N$$

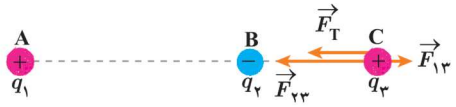
$$F_{23}=k\frac{|q_2||q_3|}{r_{23}^2}=(9/0\times10^9\,N.m^2/C^2)\frac{(1/0\times10^{-6}C)(4/0\times10^{-6}C)}{(2/0m)^2}$$

$$=9/0\times10^{-3}N$$

نیرویی که بار q_1 بر بار q_3 وارد می‌کند، دافعه و نیرویی که بار q_2 بر بار q_3 وارد می‌کند جاذبه است.

مطابق شکل، نیروهای $\vec{F}_{13}$ و $\vec{F}_{23}$ در جهت‌های مخالف یکدیگرند و برایند آنها برابر است با

$$\vec{F}_T=\vec{F}_{23}+\vec{F}_{13}$$



بنابراین، اندازهٔ نیروی برایند برابر با تفاضل اندازهٔ آنهاست :

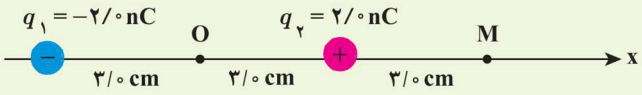
$$F_T=F_{23}-F_{13}=6/5\times10^{-3}N$$

و جهت آن در جهت نیروی بزرگ‌تر ($\vec{F}_{23}$)، یعنی از سمت راست به طرف چپ، است. اگر محور x را روی خط واصل سه بار و جهت مثبت آن را به سمت راست درنظر بگیریم و بردار یکهٔ محور x را، $\vec{i}$ بنامیم، داریم :

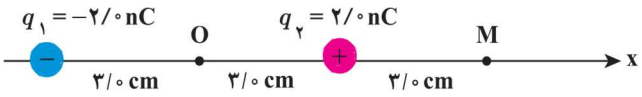
$$\vec{F}_T=(-6/5\times10^{-3}N)\,\vec{i}$$

تمرین ۱ــ۵

شکل زیر، آرایشی از دو بار الکتریکی هم‌اندازه و غیرهمنام (دوقطبی الکتریکی) را نشان می‌دهد که در آن فاصلهٔ دو بار از هم ۶/۰ cm است. میدان الکتریکی خالص را در نقطه‌های O و M به‌دست آورید.

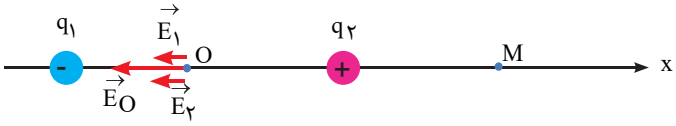


برای نقطهٔ O :



گام اوّل: بار آزمون (مثبت) فرضی را در نقطهٔ O قرار می‌دهیم.

در غیاب بار q_2 ، میدان الکتریکی حاصل از بار q_1 را رسم می‌کنیم و آن را $\vec{E}_1$ می نامیم.



در غیاب بار q_1 ، میدان بار q_2 را رسم می‌کنیم و آن را با $\vec{E}_2$ می‌نامیم.

$$E_1 = E_2 = k\frac{|q|}{r^2} = 9\times10^9 \times \frac{2\times10^{-9}}{(3\times10^{-2})^2} = 2\times10^4\,N/C \Rightarrow \begin{cases}\vec{E}_1 = (-2\times10^4\,N/C)\vec{i}\\ \vec{E}_2 = (-2\times10^4\,N/C)\vec{i}\end{cases}$$

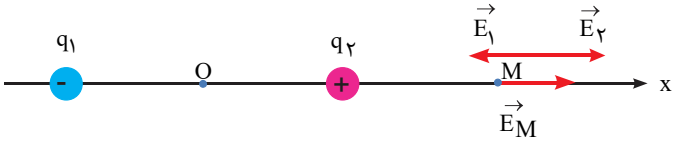
گام دو م: دو میدان $\vec{E}_1$ و $\vec{E}_2$ هم‌جهت‌اند، میدان برایند نیز با آنها هم‌جهت و در خلاف جهت محور x بوده و بزرگی آن از جمع این دو میدان به دست می‌آید. مطابق شکل بالا

$$\vec{E}_O = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 = (-2\times10^4\,N/C)\vec{i} + (-2\times10^4\,N/C)\vec{i} = (-4\times10^4\,N/C)\vec{i}$$ میدان برایند در نقطهٔ O

$$\Rightarrow E_O = 4\times10^4\,N/C$$

برای نقطهٔ M :

گام اوّل: بار آزمون (مثبت) فرضی را در نقطهٔ M قرار می‌دهیم.



در غیاب هر یک از دو بار، میدان حاصل از بار دیگر را رسم کرده و محاسبه می‌کنیم و آنها را $\vec{E}_1$ و $\vec{E}_2$ می نامیم.

$$E_1 = k\frac{|q_1|}{r_1^2} = 9\times10^9 \times \frac{2\times10^{-9}}{(9\times10^{-2})^2} = \frac{2}{9}\times10^4\,N/C \Rightarrow \vec{E}_1 = (-\frac{2}{9}\times10^4\,N/C)\vec{i}$$

$$E_2 = k\frac{|q_2|}{r_2^2} = 9\times10^9 \times \frac{2\times10^{-9}}{(3\times10^{-2})^2} = 2\times10^4\,N/C \Rightarrow \vec{E}_2 = (2\times10^4\,N/C)\vec{i}$$

گام دوم: چون این دو بردار خلاف جهت هم هستند، بردار برایند آنها با برداری که اندازهٔ آن بزرگ‌تر است هم‌جهت می‌شود. اندازهٔ بردار برایند برابر است با:

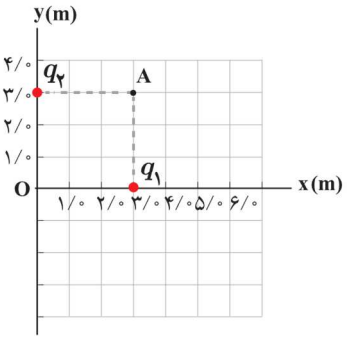
$$\vec{E}_M = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 = (2\times10^4\,N/C)\vec{i} + (-\frac{2}{9}\times10^4\,N/C)\vec{i} = (\frac{16}{9}\times10^4\,N/C)\vec{i}$$

میدان برایند در نقطهٔ M

$$\Rightarrow E_M = \frac{16}{9}\times10^4\,N/C$$

مثال ۱ــ۸

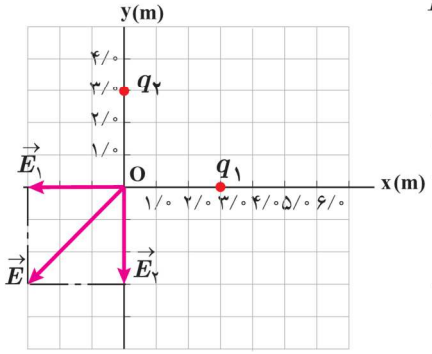
شکل روبه‌رو، دو بار نقطه‌ای q_1 و q_2 را در صفحهٔ xy نشان می‌دهد. میدان الکتریکی خالص را در نقطهٔ O (مبدأ مختصات) تعیین کنید. ($q_1 = q_2 = 5/0\,\mu C$)



پاسخ: در نقطهٔ O میدان‌های الکتریکی مانند شکل زیر می‌شوند؛ چون بارها با هم برابر و فاصلهٔ آنها تا نقطهٔ O نیز یکسان است، پس اندازهٔ میدان‌ها در این نقطه با هم برابرند:

$$E_1 = E_2 = k\frac{|q|}{r^2} = (9/0\times10^9\,N.m^2/C^2)\frac{(5/0\times10^{-6}\,C)}{(3/0\,m)^2} = 5/0\times10^3\,N/C$$

$$\vec{E}_1 = (-5/0\times10^3\,N/C)\,\vec{i} \quad و \quad \vec{E}_2 = (-5/0\times10^3\,N/C)\,\vec{j}$$



در نتیجه میدان الکتریکی خالص برابر است با

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

$$\vec{E} = (-5/0\times10^3\,N/C)\,\vec{i} + (-5/0\times10^3\,N/C)\,\vec{j}$$

و از آنجا اندازهٔ میدان الکتریکی خالص چنین می‌شود:

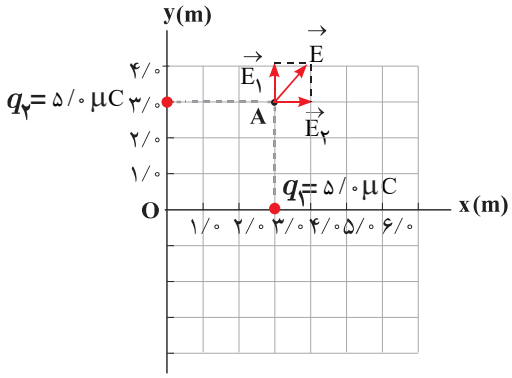
$$E = \sqrt{(-5/0\times10^3\,N/C)^2 + (-5/0\times10^3\,N/C)^2}$$

$$= 7/07\times10^3\,N/C \approx 7/1\times10^3\,N/C$$

تمرین ۱ــ۶

میدان الکتریکی خالص حاصل از آرایش بار مثال ۱ــ۸ را در نقطهٔ A تعیین کنید.

میدان الکتریکی خالص ..... . در نقطه A میدان الکتریکی مطابق شکل است. چون بارها با هم برابر و فاصله آنها تا نقطه و در یکسان است. اندازهٔ میدان‌ها در این نقطه با هم برابر است.



گام اول: بار آزمون فرضی را در نقطه A قرار می‌دهیم. در غیاب هر یک از دو بار، میدان الکتریکی حاصل از بار دیگر را رسم می کنیم و آنها را $\vec{E}_1$ و $\vec{E}_2$ می‌نامیم.

گام دوم: چون دو بردار بر هم عمودند، اندازه بردار برایند با رابطه فیثاغورس به دست می‌آید.

$$E_1 = E_2 = k\frac{|q|}{r^2} = 9\times10^9\times\frac{5\times10^{-6}}{3^2} = 5\times10^3\,N/C$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \vec{E}_1 = (5\times10^3\,N/C)\vec{j} \\ \vec{E}_2 = (5\times10^3\,N/C)\vec{i} \end{cases}$$

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 = (5\times10^3\,N/C)\vec{i} + (5\times10^3\,N/C)\vec{j}$$

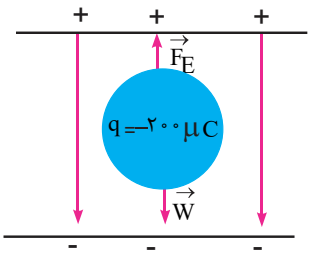
$$E = \sqrt{(5\times10^3)^2 + (5\times10^3)^2} = \sqrt{2\times(5\times10^3)^2} = 5\sqrt{2}\times10^3\,N/C$$

تمرین ۱ـ۷

روی سطح بادکنکی به جرم ۱۰/۰g بار الکتریکی ۲۰۰nC- ایجاد می‌کنیم و آن را در یک میدان الکتریکی قرار می‌دهیم. بزرگی و جهت این میدان الکتریکی را در صورتی‌که بادکنک معلق بماند، تعیین کنید. از نیروی شناوری وارد به بادکنک چشم‌پوشی کنید.

روی سطح بادکنکی .... .

گام اول: چون بادکنک معلق و ساکن است باید برایند نیروهای وارد بر آن صفر باشد. نیروی وزن همواره رو به پایین است، پس باید نیروی الکتریکی $\vec{F}_E$ مطابق شکل، رو به بالا بر بادکنک اثر کند.



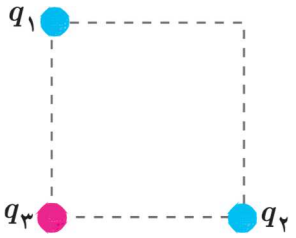
گام دوم: چون بار بادکنک منفی است، $\vec{F}_E$ و $\vec{E}$ باید غیر هم جهت باشند؛ بنابراین میدان الکتریکی مطابق شکل، رو به پایین خواهد بود.

گام سوم: با برابر قرار دادن F_E و W به صورت زیر، اندازهٔ میدان الکتریکی را به‌دست می‌آوریم.

$$F_E = W \Rightarrow |q|E \Rightarrow mg \Rightarrow E = \frac{mg}{|q|}$$: شرط معلق بودن (تعادل)

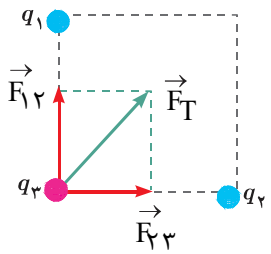
$$\Rightarrow E = \frac{10\times10^{-3}\times10}{200\times10^{-9}} = 0/5\times10^6\,N/C \Rightarrow E = 5\times10^5\,N/C$$

۳- سه ذرهٔ باردار q_1 ، q_2 و q_3 مطابق شکل در سه رأس مربعی به ضلع 3m ثابت شده‌اند. اگر $q_1 = q_2 = -5\mu C$ و $q_3 = +0/2\mu C$ باشد، نیروی خالص الکتریکی وارد بر بار q_3 را برحسب بردارهای یکهٔ $\vec{i}$ و $\vec{j}$ تعیین کنید.



پاسخ:

گام اول: q_1 و q_3 ناهمنام‌اند پس q_1، بار q_3 را با نیروی $\vec{F}_{13}$ مطابق شکل جذب می‌کند. همچنین q_2 و q_3 ناهمنام‌اند، بنابراین q_2 ، بار q_3 را با نیروی $\vec{F}_{23}$ مطابق شکل جذب می‌کند.



گام دوم: به کمک قانون کولن این نیروها را به‌دست می‌آوریم.

چون بارهای q_1 و q_2 برابر و فاصله آنها از بار q_3 یکسان است؛ بنابراین $F_{13} = F_{23}$ می‌شود، در نتیجه:

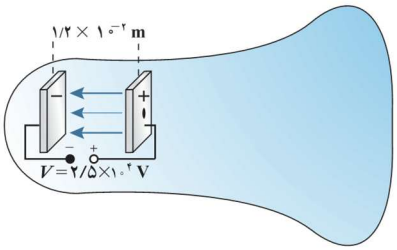
$$F_{13} = F_{23} = k\frac{|q_2||q_3|}{r^2} = 9\times10^9 \times \frac{5\times10^{-6}\times0/2\times10^{-6}}{3^2} = 1\times10^{-3}\,N \Rightarrow \begin{cases}\vec{F}_{23} = (1\times10^{-3}\,N)\vec{i}\\ \vec{F}_{13} = (1\times10^{-3}\,N)\vec{j}\end{cases}$$

گام سوم: با توجه به شکل، بردار برایند را بر حسب بردارهای یکه، می‌نویسیم:

$$\vec{F} = \vec{F}_{23} + \vec{F}_{13} = (1\times10^{-3}\,N)\vec{i} + (1\times10^{-3}\,N)\vec{j}$$

مثال ۱ــ ۱۳

لامپ‌های تصویر تلویزیون‌ها و نمایشگرهای قدیمی، لامپ پرتو ــ کاتدی (CRT)[1] بودند. در این لامپ، الکترون‌ها در میدان الکتریکی یکنواخت بین دو صفحهٔ باردار، مطابق شکل، شتاب می‌گیرند و با صفحهٔ نمایشگر برخورد می‌کنند. اگر صفحه‌ها در فاصلهٔ $1/2\times10^{-2}\,m$ از یکدیگر باشند و اختلاف پتانسیل بین آنها $2/5\times10^4\,V$ باشد، بزرگی میدان الکتریکی بین صفحه‌ها را تعیین کنید.

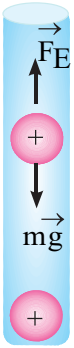


پاسخ : با استفاده از رابطهٔ ۱ــ۱۱ داریم :

$$E = \frac{|\Delta V|}{d} = \frac{2/5\times10^4\,V}{1/2\times10^{-2}\,m} = 2/08\times10^6\,V/m \approx 2/1\,MV/m$$

۷- در شکل روبه رو دو گوی مشابه به جرم $2/5\,g$ و باریکسان مثبت q در فاصله $1/0\,cm$ از هم قرار دارند، به طوری که گوی بالایی به حالت معلق مانده است.

الف) اندازه بار q را به‌دست آورید. شرط معلق ماندن گوی بالایی آن است که نیروی خالص وارد بر آن صفر شود. به گوی بالایی دو نیروی وزن و نیروی الکتریکی اثر می‌کند. مطابق شکل این دو نیرو باید هم اندازه و غیرهم‌جهت باشند.



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

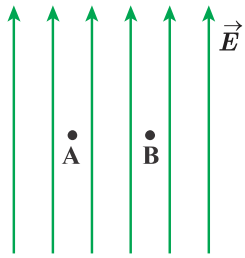
$$\Rightarrow q^2 = \frac{2/5\times10^{-3}\times10\times(1\times10^{-2})^2}{9\times10^9} = \frac{25\times10^{-7}}{9\times10^9} = \frac{25}{9}\times10^{-16} \Rightarrow q = \sqrt{\frac{25}{9}\times10^{-16}}$$

$$\Rightarrow q = \frac{5}{3}\times10^{-8}\,C \simeq 1/6\times10^{-8}\,C$$

ب) تعداد الکترون‌های کنده شده از هرگوی چقدر است؟

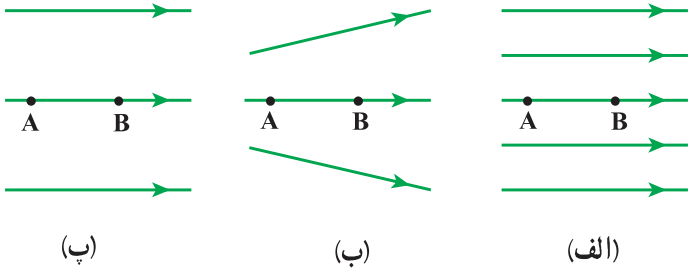
$$q = ne \Rightarrow n = \frac{q}{e} = \frac{1/6\times10^{-8}}{1/6\times10^{-19}} \rightarrow n = 10^{11}$$

۸- یک ذره باردار را یک بار در نقطهٔ A و بار دیگر در نقطهٔ B قرار می‌دهیم. نیرویی که از طرف میدان الکتریکی بر این ذرّهٔ باردار در این دو نقطه وارد می‌شود را مقایسه کنید.



چون بار الکتریکی (q)و میدان الکتریکی (E)در نقاط A و B یکسان است طبق رابطه $F = |q|E$ نیروی وارد بر ذرّهٔ باردار در این نقاط نیز برابر است.

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

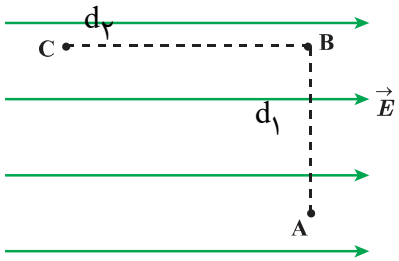


۱۶- مطابق شکل زیر، بار $q = +۵۰nC$ را در میدان الکتریکی یکنواخت $۸/۰\times۱۰^{۵}N/C$ نخست از نقطهٔ A تا نقطهٔ B و سپس تا نقطهٔ C جابه‌جا می‌کنیم. اگر $AB = ۰/۲۰m$ و $BC = ۰/۴۰m$ باشد، مطلوب است:

الف) نیروی الکتریکی وارد بربار q،

$$F = |q|E = ۵۰\times۱۰^{-۹}\times۸\times۱۰^{۵} \Rightarrow F = ۴\times۱۰^{-۲}N$$

ب) کاری که نیروی الکتریکی در این جابه جایی انجام می‌دهد،



کار نیروی الکتریکی در جابه‌جایی از A تا B برابر است با:

$$W_{E(۱)} = Fd_۱\cos\theta_۱ = ۴\times۱۰^{-۲}\times۰/۲\times\cos۹۰^{\circ} = ۰$$

دقت کنید که مسیر AB بر خطوط میدان الکتریکی، عمود است.

کار نیروی الکتریکی در جابه‌جایی از B تا C برابر است با:

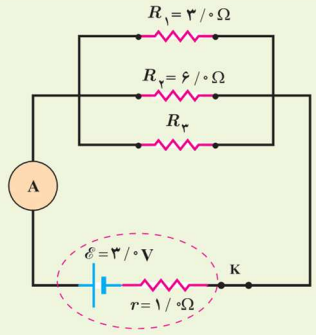
$$W_{E(۲)} = Fd_۲ \cos\theta_۲ = ۴\times۱۰^{-۲}\times۰/۴\times \underbrace{\cos۱۸۰^\circ}_{(-۱)} = -۱/۶\times۱۰^{-۲}J$$

$$W_E = W_{E(۱)} + W_{E(۲)} \Rightarrow W_E = -۱/۶\times۱۰^{-۲}J$$

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

$$\Delta U_E = -W_E \Rightarrow \Delta U_E = +۱/۶\times۱۰^{-۲}J$$

تمرین ۲ـ۶



در شکل روبه‌رو $R_۱$ ، $R_۲$ و $R_۳$ برابر است. اگر مقاومت معادل این ترکیب ۱/۶Ω باشد، الف) مقاومت $R_۳$ چقدر است؟ ب) جریانی که آمپرسنج نشان می‌دهد را به‌دست آورید. پ) نشان دهید توان خروجی باتری با مجموع توان‌های مصرفی مقاومت‌های

در شکل روبه‌رو.... .

الف) مقاومت $R_۳$ چقدر است؟

$$\frac{۱}{R_{eq}} = \frac{۱}{R_۱} + \frac{۱}{R_۲} + \frac{۱}{R_۳} \Rightarrow \frac{۱}{۱/۶} = \frac{۱}{۳} + \frac{۱}{۶} + \frac{۱}{R_۳} \Rightarrow \frac{۱۰}{۱۶} = \frac{۱}{۲} + \frac{۱}{R_۳}$$

$$\Rightarrow \frac{۱}{R_۳} = \frac{۱۰}{۱۶} - \frac{۱}{۲} = \frac{۱}{۸} \Rightarrow R_۳ = ۸\Omega$$

ب) جریانی که آمپرسنج نشان می‌دهد را به دست آورید.

با نوشتن قاعدهٔ حلقه برای این مدار و با در نظر گرفتن مقاومت معادل R_{eq} داریم:

$$I = \frac{\varepsilon}{R_{eq}+r} = \frac{۳}{۱/۶+۱} = \frac{۳}{۲/۶} = \frac{۳۰}{۲۶} \Rightarrow I = \frac{۱۵}{۱۳}A$$

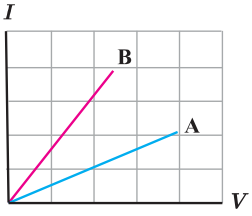
پ) نشان دهید توان خروجی باتری با مجموع توان‌های مصرفی مقاومت‌های $R_۱$ ، $R_۲$ و $R_۳$ برابر است.

$$P_{خروجی} = \varepsilon I - rI^۲ = ۳\times\frac{۱۵}{۱۳} - ۱\times(\frac{۱۵}{۱۳})^۲ \Rightarrow P_{خروجی} \simeq ۲/۱۳W$$

از آن‌جا که توان مصرفی مقاومت معادل با مجموع توان‌های مصرفی تک‌تک مقاومت‌ها برابر است می‌توان نوشت:

$$P_{مصرفی} = R_{eq}I^۲ = ۱/۶\times(\frac{۱۵}{۱۳})^۲ \Rightarrow P_{مصرفی} \simeq ۲/۱۳W$$

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

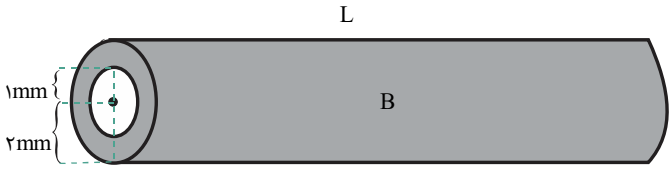


طبق قانون اهم نسبت $\frac{V}{I}$ در یک رسانا بیانگر مقاومت آن رسانا است. چون نسبت $\frac{V}{I}$ در رسانای A بیشتر است، مقاومت این رسانا نیز بیشتر خواهد بود.

نکته: در مسائلی که نسبت دو مقاومت الکتریکی در دمای ثابت را بخواهیم می‌توانیم رابطهٔ زیر را بنویسیم:

$$\frac{R_A}{R_B}=\frac{\rho_A}{\rho_B}\times\frac{L_A}{L_B}\times\frac{A_B}{A_A}$$

۷- دو رسانای فلزی از یک ماده ساخته شده‌اند و طول یکسانی دارند. رسانای A سیم توپُری به قطر ۱/۰mm است. رسانای B لوله‌ای توخالی به شعاع خارجی ۲/۰mm و شعاع داخلی ۱/۰mm است. مقاومت رسانای A چند برابر مقاومت رسانای B است؟



$$\frac{R_A}{R_B}=\frac{\rho\frac{L}{A_A}}{\rho\frac{L}{A_B}}=\frac{A_B}{A_A}\Rightarrow\frac{R_A}{R_B}=\frac{A_B}{A_A}=\frac{\pi\times۲^۲-\pi\times۱^۲}{\pi\times۰/۵^۲}=\frac{۳\pi}{۰/۲۵\pi}=۱۲\Rightarrow R_A=۱۲R_B$$

۱۶- بر روی وسیله‌های الکتریکی، اعداد مربوط به ولتاژ و توان نوشته می‌شود. برای دو وسیله زیر:

اتوی برقی، ۸۵۰W، ۲۲۰V

کتری برقی، ۲۴۰۰W، ۲۲۰V

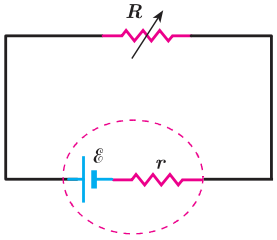
الف) سیم‌های اتصال به برق آنها باید بتواند حداقل چه جرانی را از خود عبور دهد؟

$$P=VI\Rightarrow I=\frac{P}{V}\begin{cases}\text{کتری برقی}: I=\frac{۲۴۰۰}{۲۲۰}=۱۰/۹۱A\\ \text{اتوی برقی}: I=\frac{۸۵۰}{۲۲۰}=۳/۸۶A\end{cases}$$

ب) مقاومت الکتریکی هر وسیله در حالت روشن چقدر است؟

$$P=\frac{V^۲}{R}\Rightarrow R=\frac{V^۲}{P}\begin{cases}\text{کتری برقی}: R=\frac{(۲۲۰)^۲}{۲۲۰}\simeq ۲۰\Omega\\ \text{اتوی برقی}: R=\frac{(۲۲۰)^۲}{۸۵۰}\simeq ۵۷\Omega\end{cases}$$

۲۰- در شکل زیر،الف) نیروی محرکهٔ الکتریکی و مقاومت داخلی منبع را که توان خروجی آن به ازای $I_۱=۵/۰۰A$ برابر $۹/۵۰W$ و به ازای $I_۲=۷/۰۰A$ برابر $۱۲/۶W$ است، محاسبه کنید.



نقشه راه: توان مصرفی یک مولد واقعی از رابطهٔ $P=\varepsilon I-rI^۲$ به‌دست می‌آید. با توجه به اطلاعات مسئله، می‌توانیم یک دستگاه دو معادله و دو مجهول تشکیل دهیم و با حل آن نیروی محرکهٔ الکتریکی و مقاومت داخلی باتری را به دست بیاوریم.

$$I_۱=۵A\ ,\ P_۱=۹/۵W\ ,I_۲=۷A\ ,\ P_۲=۱۲/۶W$$

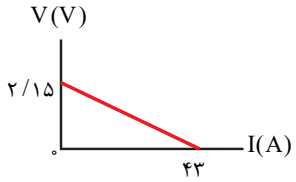
$$P_{\text{خروجی}}=\varepsilon I-rI^۲\Rightarrow\begin{cases}P_۱=\varepsilon I_۱-rI_۱^۲\\ P_۲=\varepsilon I_۲-rI_۲^۲\end{cases}\Rightarrow\begin{matrix}۷\times\\ -۵\times\end{matrix}\begin{cases}۹/۵=۵\varepsilon-۲۵r\\ ۱۲/۶=۷\varepsilon-۴۹r\end{cases}\Rightarrow\begin{cases}۶۶/۵=۳۵\varepsilon-۱۷۵r\\ -۶۳=-۳۵\varepsilon+۲۴۵r\end{cases}$$

$$\Rightarrow ۷۰r=۳/۵\Rightarrow r=\frac{۳/۵}{۷۰}=۰/۰۵\Omega\Rightarrow r=۰/۰۵\Omega$$

$$۵\varepsilon-۲۵r=۹/۵\xrightarrow{r=۰/۰۵\Omega}۵\varepsilon-۲۵\times۰/۰۵=۹/۵\Rightarrow ۵\varepsilon-۱/۲۵=۹/۵\Rightarrow ۵\varepsilon=۱۰/۷۵$$

$$\Rightarrow\varepsilon=\frac{۱۰/۷۵}{۵}\Rightarrow\varepsilon=۲/۱۵V$$

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

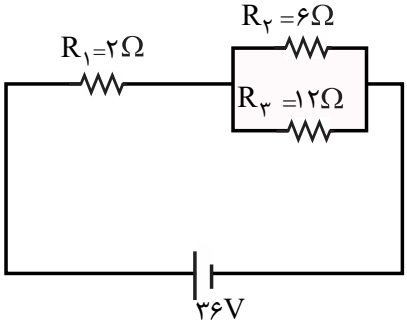


$$V = \varepsilon - Ir \Rightarrow V = -Ir + \varepsilon$$

$$\xrightarrow[\varepsilon = ۲/۱۵V]{r = ۰/۰۵\Omega} V = -۰/۰۵I + ۲/۱۵ \begin{cases} I = ۰ \Rightarrow V = ۲/۱۵V \\ V = ۰ \Rightarrow I = ۴۳A \end{cases}$$

۲۹- دو مقاومت موازی ۶/۰ اُهمی و ۱۲ اُهمی به‌طور متوالی به یک مقاومت ۲/۰ اُهمی وصل شده است. اکنون، مجموعهٔ مقاومت‌ها را به دو سر یک باتری آرمانی ۳۶ ولتی می‌بندیم توان مصرفی در مقاومت ۶/۰ اُهمی را محاسبه کنید.

گام اوّل: ابتدا شکل مدار را رسم می‌کنیم و مقاومت معادل مدار را به دست می‌آوریم.



$$\frac{۱}{R_{۲۳}} = \frac{۱}{R_۲} + \frac{۱}{R_۳} + \frac{۱}{۶} + \frac{۱}{۱۲} = \frac{۱}{۴} \Rightarrow R_{۲۳} = ۴\Omega$$

$$R_{eq} = R_۱ + R_{۲۳} = ۲ + ۴ \Rightarrow R_{eq} = ۶\Omega$$

گام دوم: سپس جریان عبوری از باتری را به دست می‌آوریم.

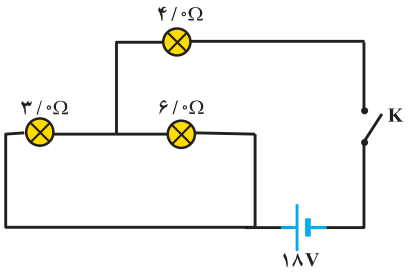
$$I_{eq} = \frac{V_{eq}}{R_{eq}} = \frac{۳۶}{۶} \Rightarrow I_{eq} = ۶A \Rightarrow I_{eq} = I_۱ = I_{۲۳} = ۶A$$

گام سوم: اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت ۶ اُهمی را محاسبه می‌کنیم و سپس توان مصرفی آن را به دست می‌آوریم.

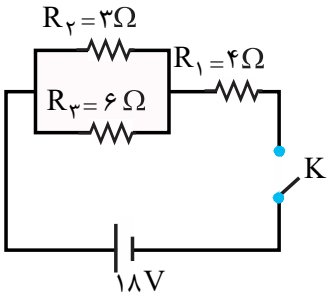
$$V_{۲۳} = R_{۲۳}I_{۲۳} = ۴ \times ۶ = ۲۴V \Rightarrow V_۲ = V_۳ = V_{۲۳} = ۲۴V$$

$$P_{۲\text{مصرفی}} = \frac{V_۲^۲}{R_۲} = \frac{۲۴^۲}{۶} = ۹۶W$$

۳۰- در شکل زیر، وقتی کلید بسته شود چه جریانی از هر لامپ رشته‌ای می‌گذرد؟



گام اول: شکل ساده شده مدار را می‌توان به صورت روبه‌رو رسم کرد: دقت کنید که مقاومت‌های ۳Ω ، ۶Ω، سرهای مشترک دارند و هر دو به نقطه‌های a و b را متصل‌اند. یعنی با هم موازی هستند.



گام دوم: مقاومت‌های $R_۲$ و $R_۳$ موازی هستند. مقاومت معادل آنها را حساب می‌کنیم و آن را $R_{۲۳}$ می‌نامیم، سپس $R_{۲۳}$ با مقاومت $R_۱$ متوالی است:

$$\frac{۱}{R_{۲۳}}=\frac{۱}{R_۲}+\frac{۱}{R_۳}=\frac{۱}{۳}+\frac{۱}{۶}=\frac{۱}{۲}\Rightarrow R_{۲۳}=۲\Omega$$

$$R_{eq}=R_۱+R_{۲۳}=۴+۲\Rightarrow R_{eq}=۶\Omega$$

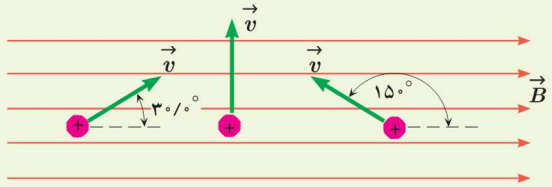
گام سوم: حالا جریان کل مدار را محاسبه می‌کنیم که همان جریان گذرنده از $R_۱$ و $R_۳$ را حساب می‌کنیم:

$$V_{۲۳}=R_{۲۳}I_{۲۳}=۲\times۳\Rightarrow V_۲=V_۳=۶V\ ,\ I_۲=\frac{V_۲}{R_۲}=\frac{۶}{۳}\Rightarrow I_۲=۲A\ ,I_۳=\frac{V_۳}{R_۳}=\frac{۶}{۶}\Rightarrow I_۳=۱A$$

تمرین ۳ـ۱

۱ـ بر پروتونی که با زاویهٔ $\theta=۳۰^\circ$ نسبت به میدان مغناطیسی یکنواختی به اندازهٔ $B=۳۲۰\,G$ در حرکت است نیرویی به‌اندازهٔ $F=۵/۱۲\times۱۰^{-۱۴}N$ وارد می‌شود. تندی پروتون چند کیلومتر بر ثانیه است؟

۲ـ سه ذرّه، هر کدام با بار $q=۶/۱۵\,\mu C$ و تندی $v=۴۶\ m/s$، در میدان مغناطیسی یکنواختی به‌اندازهٔ $B=۰/۱۶۵T$ در حرکت‌اند (شکل روبه‌رو). اندازهٔ نیروی وارد بر هر ذرّه را حساب کنید.



۱-بر پروتونی که ...؟

$$\theta=۳۰^\circ\ ,B=۳۲۰G=۳۲۰\times۱۰^{-۴}T,F=۵/۱۲\times۱۰^{-۱۴}N,|q|=۱/۶\times۱۰^{-۱۹}C,v=?$$

$$F=|q|vB\sin\theta\Rightarrow v=\frac{F}{|q|B\sin\theta}=\frac{۵/۱۲\times۱۰^{-۱۴}}{۱/۶\times۱۰^{-۱۹}\times۳۲۰\times۱۰^{-۴}\times۰/۵}=۲\times۱۰^{۷}m/s$$

۲- سه ذرّه، هر ...

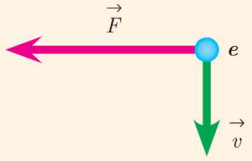
$$\theta_۱=۳۰^\circ\Rightarrow F_۱=|q|vB\sin\theta_۱=۶/۱۵\times۱۰^{-۶}\times۴۶\times۰/۱۶۵\times\sin۳۰^\circ\simeq۲۳/۳۴\times۱۰^{-۶}N$$

$$\theta_۲=۹۰^\circ\Rightarrow F_۱=|q|vB\sin۹۰^\circ=۶/۱۵\times۱۰^{-۶}\times۴۶\times۰/۱۶۵\times۱\simeq۴۶/۷\times۱۰^{-۶}N$$

$$\theta_۳=۱۵۰^\circ\Rightarrow F_۳=|q|vB\sin\theta_۳=۶/۱۵\times۱۰^{-۶}\times۴۶\times۰/۱۶۵\times\overset{۰/۵}{\cancel{\sin۳۰^\circ}}\simeq۲۳/۳۴\times۱۰^{-۶}N$$

پرسش ۳ـ۴

الکترونی عمود بر میدان مغناطیسی یکنواختی در حرکت است. با توجه به شکل، جهت میدان $\vec{B}$ کدام است؟



☐ بالا ☐ راست ☐ درون‌سو ☐ برون‌سو

الکترونی عمود بر ...؟

برای بار منفی از قاعدهٔ دست چپ می‌توان استفاده کرد. اگر چهار انگشت دشت چپ را طوری در جهت حرکت ذره قرار دهیم که شست دست در جهت نیرو باشد، میدان مغناطیسی از کف دست خارج می‌شود.

مثال ۳ـ ۴

سیملوله‌ای آرمانی به طول ۱۵cm دارای ۶۰۰ حلقهٔ سیم نزدیک به هم است. اگر جریان ۸۰۰mA از سیملوله بگذرد، بزرگی میدان مغناطیسی را در نقطه‌ای درون سیملوله و دور از لبه‌های آن پیدا کنید.

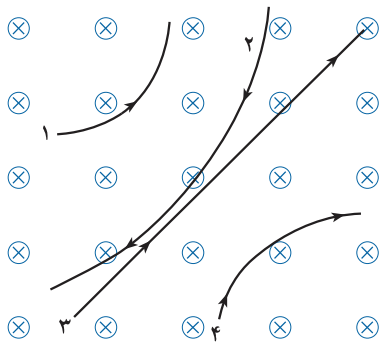
پاسخ : با توجه به داده‌های مسئله داریم :

$$\ell = ۱۵\text{cm} = ۰/۱۵\text{m}, \quad N = ۶۰۰, \quad I = ۸۰۰\text{mA} = ۸۰۰\times۱۰^{-۳}\text{A}, \quad B = ?$$

به این ترتیب داریم :

$$B = \frac{\mu_۰ NI}{\ell} = \frac{(۴\pi\times۱۰^{-۷}\text{T.m/A})(۶۰۰)(۸۰۰\times۱۰^{-۳}\text{A})}{۰/۱۵\text{m}} \approx ۴/۰\times۱۰^{-۳}\text{T} = ۴۰\text{G}$$

۵- چهار ذرّه هنگام عبور از میدان مغناطیسی درون‌سو مسیرهایی مطابق شکل زیر می‌پیمایند. دربارهٔ نوع بار هر ذره چه می‌توان گفت ؟



در مسیر ذرّهٔ ۱: جهت حرکت ذره به سمت راست، میدان درون‌سو و نیروی وارد بر ذره به سمت بالا است. چون قاعده دست راست در این حالت برقرار است بار ذره مثبت است.

در مسیر ذرّهٔ ۲ : جهت حرکت ذره به سمت پایین، میدان درون‌سو و نیروی وارد بر ذره به سمت چپ است. چون طبق قاعدهٔ دست راست نیرو باید به سمت راست باشد، پس بار این ذره منفی است.

در مسیر ذرّهٔ ۳: چون ذرّهٔ ۳ در میدان مغناطیسی منحرف نشده است بدون بار است.

در مسیر ذرّهٔ ۴: جهت حرکت رو به بالا، میدان درون‌سو و نیروی وارد بر ذره به سمت راست است. چون طبق قاعدهٔ دست راست نیرو باید به سمت چپ باشد، پس بار ذره منفی است.

۹- پروتونی با تندی $۴/۴\times۱۰^{۶}\,m/s$ درون میدان مغناطیسی یکنواختی به اندازه $۱۸mT$ در حرکت است. جهت حرکت پروتون با جهت $\vec{B}$ ، زاویه ۶۰° می سازد.

الف) اندازهٔ نیروی وارد بر این پروتون را محاسبه کنید.

$$F=|q|vB\sin\theta=۱/۶\times۱۰^{-۱۹}\times۴/۴\times۱۰^{۶}\times۱۸\times۱۰^{-۳}\times\underbrace{\sin۶۰^\circ}_{۰/۸۶}=۱/۰۹\times۱۰^{-۱۴}N$$

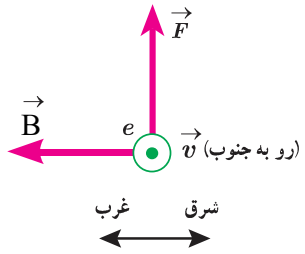
ب) اگر تنها این نیرو بر پروتون وارد شود، شتاب پروتون را حساب کنید. بار الکتریکی پروتون $۱/۶\times۱۰^{-۱۹}C$ و جرم آن را $۱/۷\times۱۰^{-۲۷}kg$ در نظر بگیرید).

$$F=ma\Rightarrow a=\frac{F}{m}=\frac{۱/۰۹\times۱۰^{-۱۴}}{۱/۷\times۱۰^{-۲۷}}\simeq۶/۴\times۱۰^{۱۲}m/s^{۲}$$

۲- الکترونی با تندی $۲/۴\times۱۰^{۵}\,m/s$ درون میدان مغناطیسی یکنواختی در حرکت است. اندازهٔ 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 $۶/۸\times۱۰^{-۱۴}N$ باشد، اندازه و جهت میدان مغناطیسی را تعیین کنید.

چون بار الکترون منفی است برای تعیین جهت میدان از قاعدهٔ دست چپ می‌توان استفاده کرد:

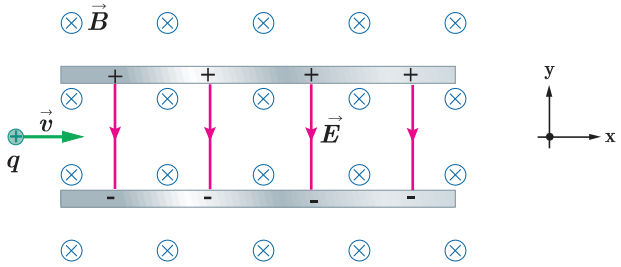


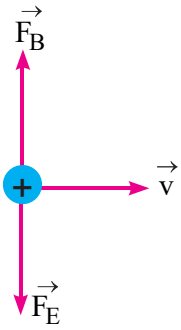
شست دست چپ طوری در جهت نیرو قرار گیرد که چهار انگشت در جهت حرکت باشد، در این صورت باید میدان از کف دست خارج شود. بنابراین جهت میدان به سمت غرب می‌شود.

$$\text{نیرو بیشینه است}\Rightarrow\theta=۹۰^\circ\Rightarrow F_{max}=|q|vB\underbrace{\sin۹۰^\circ}_{۱}\Rightarrow F_{max}=|q|vB$$

$$\Rightarrow B=\frac{F_{max}}{|q|v}=\frac{۶/۸\times۱۰^{-۱۴}}{۱/۶\times۱۰^{-۱۹}\times۲/۴\times۱۰^{۵}}\Rightarrow B\simeq۱/۷۷T$$

۱۱- ذرهٔ باردار مثبتی با جرم ناچیز و با سرعت $\vec{v}$ در امتداد محور x وارد فضایی می‌شود که میدان‌های یکنواخت $\vec{E}$ و $\vec{B}$ وجود دارد (شکل زیر). اندازهٔ این میدان‌ها برابر $E = ۴۵۰ N/C$ و $B = ۰/۱۸ T$ است. تندی ذره چقدر باشد تا در همان امتداد محور x به حرکت خود ادامه دهد؟

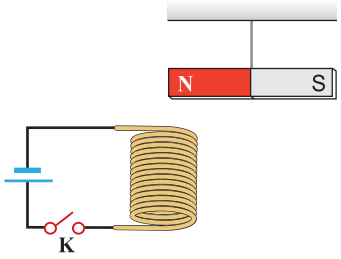




نقشه راه: چون بار ذرّه مثبت است، نیرویی که از طرف میدان الکتریکی به ذرهٔ باردار وارد می‌شود، با میدان الکتریکی هم‌جهت است، یعنی F_E به سمت پایین است. از طرفی، برای آنکه مسیر حرکت ذره تغییر کند باید F_B و F_E برابر و در دو سوی مخالف باشند. با برابر قرار دادن F_E و F_B می‌توانیم تندی ذره را به دست آوریم؛ بنابراین:

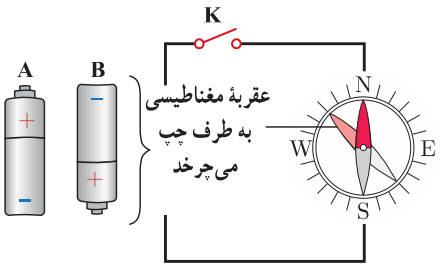
$$F_B = F_E \Rightarrow |q| vB\sin ۹۰^\circ = |q| E \Rightarrow vB = E \Rightarrow v = \frac{E}{B} = \frac{۴۵۰}{۰/۱۸} = ۲۵۰۰ m/s$$

۱۶- یک آهنربای میله‌ای مطابق شکل زیر بالای سیملوله‌ای آویزان شده است. توضیح دهید با بستن کلید K چه تغییری در وضعیت آهنر با رخ می‌دهد.



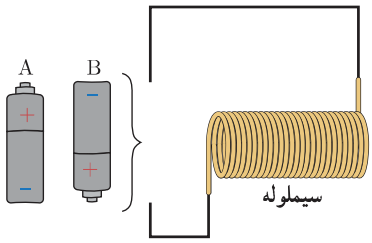
با بستن کلید و برقراری جریان، میدان مغناطیسی رو به پایینی درون سیملوله ایجاد می شود. این میدان به گونه‌ای است که بخش بالایی سیملوله قطب S و بخش پایینی قطب N را دارد. جاذبهٔ بین قطب‌های ناهمنام سیملوله و آهنربا باعث جذب شدن قطب N آهنربا به سمت سیملوله می‌شود. بنابراین، آهنربا به سمت چپ و پایین منحرف می‌شود.

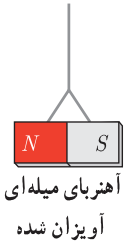
۱۷- کدام باتری را در مدار شکل زیر قرار دهیم تا پس از بستن کلید K، عقربه قطب‌نما که روی سیم قرار دارد، در خلاف جهت حرکت عقربه های ساعت شروع به چرخش کند؟ دلیل انتخاب خود را توضیح دهید.



عقربهٔ قطب‌نما همواره در جهت میدان مغناطیسی قرار می‌گیرد. برای اینکه عقربه به طرف چپ بچرخد باید میدان مغناطیسی در بالای سیم، به طرف چپ باشد. برای ایجاد چنین میدانی (طبق قاعدهٔ دست راست) جریان سیم باید رو به پایین باشد. این جریان توسط باتری A ایجاد می‌شود.

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 ، زیرا با قرار دادن باتری A در مدار، میدان مغناطیسی از راست به چپ درون سیملوله ایجاد می‌شود، بنابراین سمت راست سیملوله قطب S و سمت چپ قطب N دارد. جاذبهٔ بین قطب‌های آهنربای میله‌ای آویزان شده ناهمنام سبب جذب آهنربا به طرف سیملوله خواهد شد.

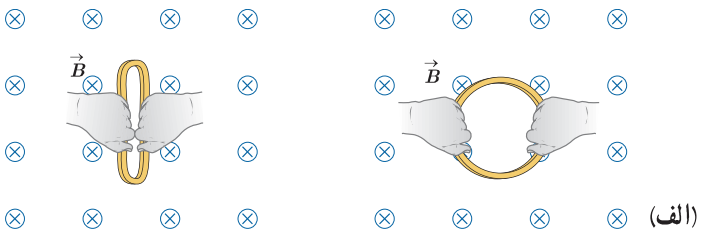
تمرین ۴ـ۱

الف) حلقه‌ای به مساحت $۲۵cm^۲$ درون میدان مغناطیسی یکنواخت درون سویی به اندازهٔ $۰/۰۳T$ قرار دارد (شکل الف). شار مغناطیسی عبوری از حلقه را به دست آورید.

ب) اگر مطابق شکل ب و بدون تغییر $\vec{B}$ ، مساحت سطح حلقه را به $۱۰cm^۲$ برسانیم، شار مغناطیسی عبوری از حلقه را در این وضعیت به دست آورید.

پ) اگر این تغییر شار در بازهٔ زمانی $\Delta t = ۰/۲s$ رخ داده باشد، آهنگ تغییر شار $(\Delta\Phi/\Delta t)$ را پیدا کنید.

الف)



$$A_۱ = ۲۵cm^۲ = ۲۵\times۱۰^{-۴}m^۲, B = ۰/۰۳T = ۳\times۱۰^{-۲}T, \theta = ۰^\circ, \Phi = ?$$

$$\Phi_۱ = BA_۱\cos\theta = ۲۵\times۱۰^{-۴}\times۳\times۱۰^{-۲}\times\overset{۱}{\cancel{\cos۰^\circ}} = ۷۵\times۱۰^{-۶}Wb$$

ب) اگر مطابق شکل ... .

$$A_۲ = ۱۰cm^۲ = ۱۰\times۱۰^{-۴}m^۲, B = ۳\times۱۰^{-۲}T, \theta = ۰^\circ, \Phi = ?$$

$$\Phi_2 = BA\cos\theta = 10\times10^{-4}\times3\times10^{-2}\times\overset{1}{\cancel{\cos0^\circ}} = 30\times10^{-6}\,Wb$$

پ) اگر این تغییر ... .

$$\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = 30\times10^{-6} - 7\times10^{-6} = -45\times10^{-6}\,Wb$$

$$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{-45\times10^{-6}}{0/2} = -2/25\times10^{-4}\,Wb/s$$

پرسش ۴ـ۱

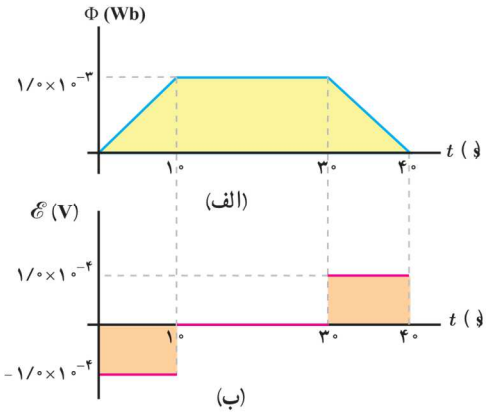
کدام‌یک از یکاهای زیر معادل یکای وبر بر ثانیه (Wb/s) است؟

V/A ☐ V ☑ A ☐ Ω ☐

هدف از ارائه این پرسش قبل از معرفی قانون القای فاراده، آشنایی دانش‌آموزان با یکای آهنگ تغییر شار Wb/s از جنس نیروی محرکه با یکای ولت است.

مثال ۴ـ۳

تغییرات شار مغناطیسی که از یک حلقه می‌گذرد برحسب زمان در نمودار شکل الف نشان داده شده است. نمودار نیروی محرکهٔ القایی در حلقه را برحسب زمان در هریک از بازه‌های زمانی (۰,۱۰s)، (۱۰s,۳۰s) و (۳۰s,۴۰s) رسم کنید.

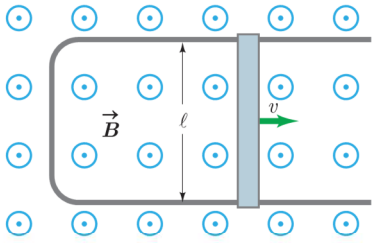


پاسخ : همان‌طور که در نمودار شار مغناطیسی برحسب زمان دیده می‌شود در بازهٔ زمانی صفر تا ۱۰s شار به صورت خطی افزایش می‌یابد. در نتیجه مقدار لحظه‌ای آهنگ تغییر شار با مقدار متوسط آن برابر است. به این ترتیب، در تمامی لحظات این بازهٔ زمانی، نیروی محرکهٔ القایی با نیروی محرکهٔ القایی متوسط برابر است :

$$\mathscr{E}_{av} = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -(1)\frac{(1/0\times10^{-3}\,Wb - 0)}{10\,s} = -1/0\times10^{-4}\,V$$

در بازه زمانی ۱۰s تا ۳۰s شار ثابت مانده است. در نتیجه نیروی محرکهٔ القایی در تمامی لحظات این بازهٔ زمانی برابر صفر است. در بازهٔ زمانی ۳۰s تا ۴۰s شار به صورت خطی کاهش یافته و سرانجام صفر شده است. بنابراین شبیه آنچه در مورد بازهٔ زمانی صفر تا ۱۰s گفتیم، نیروی محرکهٔ القایی در تمام لحظات این بازه با مقدار متوسط نیروی محرکه در این بازهٔ زمانی برابر و مساوی $1/0\times10^{-4}V$ است. نمودار نیروی محرکهٔ القایی برحسب زمان در شکل ب رسم شده است.

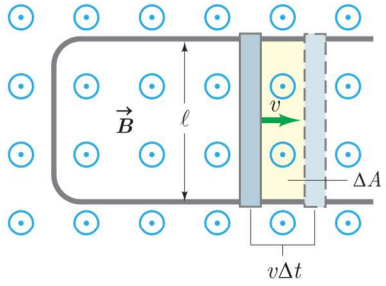
مثال ۴ـ۴



شکل روبه‌رو، رسانای U شکلی را درون میدان مغناطیسی یکنواخت $\vec{B}$ به اندازهٔ ۰/۱۸T نشان می‌دهد. میدان $\vec{B}$ عمود بر صفحهٔ شکل و رو به بیرون است. میله‌ای فلزی (سیم لغزنده) به طول $\ell = ۲۰\,cm$ بین دو بازوی رسانا قرار دارد و مداری را تشکیل می‌دهد. میله را با تندی ثابت $v = ۲۰\,m/s$ به‌طرف راست حرکت می‌دهیم. بزرگی نیروی محرکهٔ القایی متوسط را پیدا کنید.

پاسخ: با حرکت میلهٔ فلزی و به‌دلیل افزایش سطح حلقه، شار مغناطیسی تغییر می‌کند. میدان مغناطیسی در سطح حلقه یکنواخت است، پس شار مغناطیسی را از رابطهٔ $\Phi = BA\cos\theta$ محاسبه می‌کنیم. نیم‌خط عمود بر سطح حلقه را همسو با $\vec{B}$ می‌گیریم. بنابراین زاویهٔ نیم‌خط عمود با میدان $\vec{B}$ صفر است ($\theta = ۰$) و در نتیجه $\Phi = BA$. از قانون القای فارادی داریم:

$$\mathscr{E}_{av} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{\Delta(BA)}{\Delta t} = -B\frac{\Delta A}{\Delta t}$$



برای محاسبهٔ $\Delta A/\Delta t$، توجه کنید که میلهٔ فلزی لغزنده در مدت Δt مسافت $v\Delta t$ را طی می‌کند (شکل روبه‌رو) و سطح حلقه به مقدار $\Delta A = \ell v\Delta t$ افزایش می‌یابد. به این ترتیب، نیروی محرکهٔ القا شده برابر است با:

$$\mathscr{E}_{av} = -B\frac{\ell v\Delta t}{\Delta t} = -B\ell v$$

با قرار دادن مقادیر داده شده، در رابطهٔ بالا، داریم:

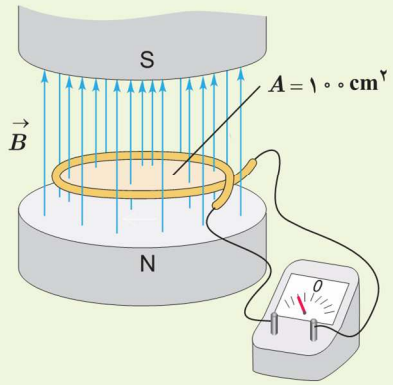
$$\mathscr{E}_{av} = -(۰/۱۸\,T)(۲۰\times ۱۰^{-۲}\,m)(۲۰\,m/s) = -۰/۷۲\,V$$

و بزرگی آن برابر است با:

$$|\mathscr{E}_{av}| = ۰/۷۲\,V$$

توجه کنید که به علت ثابت بودن تندی میلهٔ لغزنده، نیروی محرکهٔ القایی ثابت است. در این حالت، رسانای U شکل با سیم لغزنده یک مولد جریان مستقیم است.

تمرین ۴ـ۲



میدان مغناطیسی بین قطب‌های آهنربای الکتریکی شکل روبه‌رو که بر سطح حلقه عمود است با زمان تغییر می‌کند و در مدت ۰/۴۵s از ۰/۲۸T، رو به بالا، به ۰/۱۷T، رو به پایین می‌رسد. در این مدت،

الف) نیروی محرکهٔ القایی متوسط در حلقه را به‌دست آورید.

ب) اگر مقاومت حلقه ۱۰Ω باشد، جریان القایی متوسط در حلقه را پیدا کنید.

الف)

$$A=۱۰۰cm^۲=۱۰۰\times۱۰^{-۴}m^۲=۱۰^{-۲}m^۲$$

$$\Delta t=۰/۴۵s, B_۱=۰/۲۵T, B_۲=-۰/۱۷T, \bar{\varepsilon}=?$$

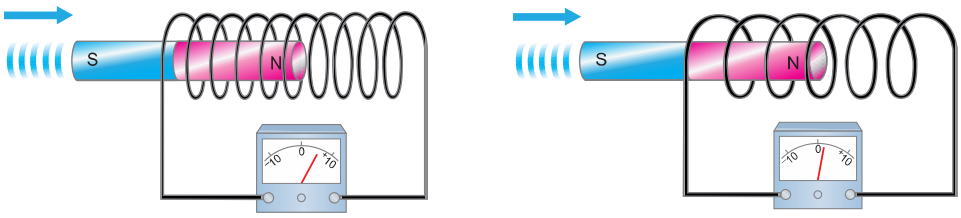
$$\Delta\Phi=A(\Delta B)\cos\theta=۱۰^{-۲}\times\overset{-۰/۴۵}{\cancel{(-۰/۱۷-۰/۲۸)}}\times\overset{۱}{\cancel{\cos۰^\circ}}=-۴۵\times۱۰^{-۴}Wb$$

$$\bar{\varepsilon}=\left|-N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right|=\left|-۱\frac{(-۴۵\times۱۰^{-۴})}{۴۵\times۱۰^{-۲}}\right|\Rightarrow\bar{\varepsilon}=۰/۰۱V$$

ب)

$$\bar{I}=\frac{\bar{\varepsilon}}{R}=\frac{۰/۰۱}{۱۰}\Rightarrow\bar{I}=۰/۰۰۱A$$

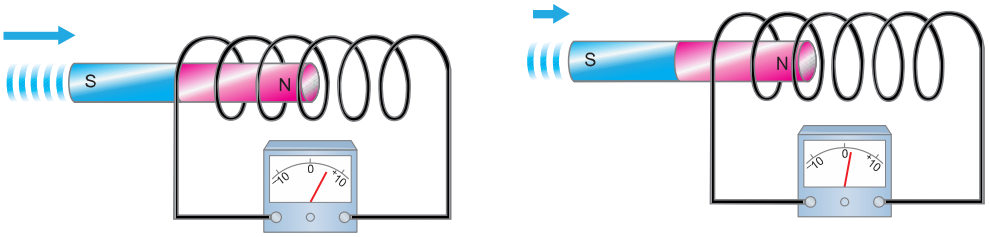
۱L- دو سیملوله با حلقه‌های با مساحت یکسان ولی با تعداد دور متفاوت را مطابق شکل‌های زیر به ولت‌سنج حساسی وصل کرده‌ایم. دریافت خود را از این شکل‌ها بنویسید. (آهنرباها مشابه‌اند و با تندی یکسانی به طرف سیملوله‌ها حرکت می کنند.)



(ب) (الف)

با افزایش تعداد دورهای سیملوله، نیروی محرکه القایی افزایش یافته و در نتیجه جریان القایی بیشتر می شود.

۲- دو سیملولهٔ مشابه را مطابق شکل‌های زیر به ولت‌سنج حساسی وصل کرده‌ایم. دریافت خود را از شکل‌های زیر بنویسید. (آهنرباها مشابه‌اند ولی با تندی متفاوتی به طرف سیملوله حرکت می‌کنند.)



(ب) (الف)

افزایش تندی حرکت آهنربا باعث افزایش آهنگ تغییر شار و در نتیجه افزایش نیروی محرکهٔ القایی می‌شود.

۴-سطح حلقه های پیچه‌ای که دارای ۱۰۰۰ حلقه است عمود بر میدان مغناطیسی یکنواختی که اندازه آن $۰/۰۴۰T$ و جهت آن از راست به چپ است قرار دارد میدان مغناطیسی در مدت $۰/۰۱۰s$ تغییر می‌کند و به $۰/۰۴۰T$ در خلاف جهت اولیه می‌رسد. اگر سطح هر حلقه پیچه $۵۰cm^۲$ باشد اندازهٔ نیروی محرکهٔ القایی متوسط در پیچه را حساب کنید.

گام اول: تغییر شار مغناطیسی به علت تغییر زاویهٔ بین میدان مغناطیسی و نیم‌خط عمود بر سطح حلقه است. تغییر شار مغناطیسی را به دست‌می آوریم.

$$N=۱۰۰۰,\theta=۰^\circ,B_۱=۰/۰۴T,B_۲=-۰/۰۴T,\Delta t=۰,A=۵۰cm^۲=۵۰\times۱۰^{-۴}m^۲$$

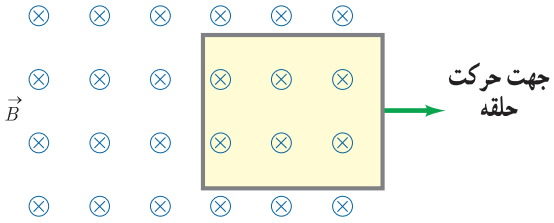
علامت منفی در $B_۲$ به این معنی است که جهت میدان مغناطیسی، کاملاً قرینه شده است.

$$\Delta\Phi = \Delta BA\cos\theta = ۵۰\times۱۰^{-۴}\times(\underbrace{-۰/۰۴-۰/۰۴}_{-۰/۰۸})\times\underbrace{\cos۰^\circ}_{۱} = -۴\times۱۰^{-۴}\,Wb$$

گام دوم: با داشتن تغییرات شار مغناطیسی نیروی محرکه القایی را به دست می‌آوریم.

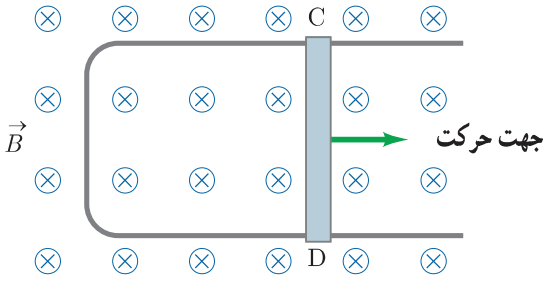
$$\overline{\varepsilon} = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -۱۰۰۰\times\frac{(-۴\times۱۰^{-۴})}{۱\times۱۰^{-۲}} \Rightarrow \overline{\varepsilon} = ۴۰V$$

۱۲- حلقه رسانای مستطیل شکلی را مطابق شکل زیر به طرف راست می‌کشیم و از میدان مغناطیسی درون‌سویی خارج می‌کنیم. جهت جریان القایی در حلقه در چه جهتی است؟



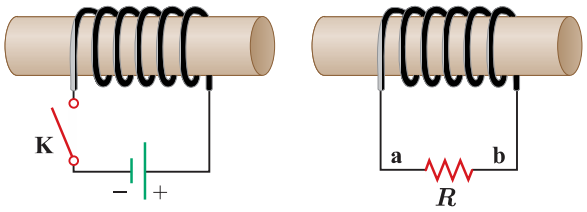
با توجه به جهت حرکت حلقه میدان مغناطیسی خارجی بر روی حلقه و شار مغناطیسی عبوری از آن کاهش می‌یابد، بنابراین طبق قانون لنز میدان مغناطیسی حلقه در جهت میدان مغناطیسی خارجی ایجاد می‌شود تا از این کاهش شار جلوگیری کند. پس طبق قاعدهٔ دست راست، جریان القایی در حلقه ساعتگرد خواهد بود.

۱۳- شکل زیر رسانای U شکلی را درون میدان مغناطیسی یکنواخت $\vec{B}$ 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 توجه به جهت حرکت میله، مساحت حلقه در میدان مغناطیسی خارجی و در نتیجه شار عبوری از حلقه افزایش می‌یابد. بنابراین طبق قانون لنز، میدان مغناطیسی حلقه در خلاف جهت میدان مغناطیسی خارجی ایجاد می شود تا از این افزایش شار جلوگیری کند. پس طبق قاعدهٔ دست راستف جریان القایی در حلقه پادساعتگرد خواهد بود.

۱۴- در مدار نشان داده شده در شکل زیر جهت جریان القایی را در مقاومت R در هر یک از دو حالت زیر با ذکر دلیل پیدا کنید.



الف) در لحظه بستن کلید K : با بستن کلید، جریان سیملوله ۱ افزایش پیدا می‌کند. با افزایش جریان در سیملولهٔ ۱ میدان مغناطیسی سیمولهٔ ۱و در نتیجه شار عبوری از سیطولهٔ ۲ افزایش می‌یابد. طبق قانون لنز، میدان مغناطیسی سیملولهٔ ۲ در خلاف جهت میدان مغناطیسی سیملولهٔ ۱ ایجاد می‌شود. بنابراین طبق قاعدهٔ دست راست، جریان القایی در مقاومت R از b به a است.

ب) در لحظهٔ باز کردن کلید K: وقتی کلید را باز می‌کنیم، جریان در سیملوله ۱ کاهش می‌یابد. کاهش جریان در سیملولهٔ ۱ میدان مغناطیسی سیملولهٔ ۱ و در نتیجه شار عبوری از سیملولهٔ ۲ کاهش می‌یابد. طبق قانون لنز، میدان مغناطیسی سیملولهٔ۲ هم جهت با میدان مغناطیسی سیملولهٔ ۱ ایجاد می‌شود. بنابراین طبق قاعدهٔ دست راست، جریان القایی در مقاومت Rاز a به bاست.

۴ـ۵ جریان متناوب

۱۹ جریان متناوبی که بیشینهٔ آن ۲/۰A و دورهٔ آن ۰/۰۲۰s است، از یک رسانای ۵ اهمی می‌گذرد.

الف) اولین لحظه‌ای که در آن جریان بیشینه است چه لحظه‌ای است؟ در این لحظه نیروی محرکهٔ القایی چقدر است؟

ب) در لحظهٔ $t=\frac{۱}{۴۰۰}s$ ، جریان چقدر است؟