



نمره برتر

در هر موقعیتی که هستی

بهترین خودت باش

نمره برتر ، یک سایت آموزشی متفاوت

راهنمای پاسخ‌دهی
پرسش‌ها، تمرین‌ها، فعالیت‌ها و مسئله‌های

فصل اول

فیزیک ۲
پایه یازدهم

چاپ اول

۱۳۹۶

سخنی با همکاران

همکاران گرامی و دبیران ارجمند، متمنی است هنگام مراجعه به این مجموعه، نکات زیر را در نظر داشته باشید.

۱- در نگارش این مجموعه فرض بر این بوده است که **مخاطب، دبیر فیزیک** است. لذا حساسیت‌ها و ظرایفی که به لحاظ تعلیم و تربیتی برای مخاطب قرار دادن دانش آموز در یک متن آموزشی ضرورت دارد، در این جا مورد نگاه نبوده است. مثلاً گاه در پاسخ یک پرسش، بحثی نسبتاً طولانی ارائه شده است که متناسب حوصله معلم است، نه دانش آموز. یا ممکن است در پاسخ یک سؤال، دو یا چند راه حل داده شده باشد که قطعاً عرضه همه این پاسخ‌ها به دانش آموز، سبب خستگی وی می‌گردد.

۲- قطعاً اساتید بزرگوار، پاسخ‌ها و راه حل‌های در خور دیگری نیز برای سؤال‌ها و مسائل دارند که ای بسا به ملاحظات، پسندیده‌تر از پاسخ‌ها و توضیحات این مجموعه باشد.

۳- تجربه تعامل تعلیم و تربیتی با دانش آموزان به این نتیجه گران بها می‌انجامد که پاسخ ناتمام و ناقصی که دانش آموز در زمینه تلاش و فعالیت علمی خود به یک پرسش می‌دهد، ارجمندتر از پاسخ تمام و کاملی است که معلم به او می‌دهد و او منفعلانه به ذهن می‌سپارد.

۴- این مجموعه براساس متن درسی کتاب رشته ریاضی چاپ ۱۳۹۶ فراهم شده است. با توجه به ساده‌سازی‌های انجام شده در متن درسی کتاب رشته تجربی، ضروری است دبیران بزرگوار، متناسب‌سازی‌های لازم را در مباحث این مجموعه، برای همزبان شدن با دانش آموزان رشته تجربی، شخصاً عهده‌دار شوند.

از حسن توجه و نگاه مسؤولانه همکاران سپاسگزاریم.

تهیه و تنظیم: محمدرضا خوش‌بین خوش‌نظر

ویراستار: محمدرضا شریف زاده اکباتانی

لطفاً نظرات و پیشنهادات خود را به khoshbin@talif.sch.ir یا Ahmadahmady@gmail.com ارسال کنید.

* تمام حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به گروه فیزیک دفتر برنامه‌ریزی و تألیف کتب درسی است و هر گونه چاپ و تکثیر ممنوع است.

* سایت مورد تأیید گروه فیزیک جهت هر گونه دانلود و امور پشتیبانی مربوط به کتاب‌های فیزیک دوره متوسطه دوم:

Physics-dept.talif.sch.ir

فصل ۱

پرسش ۱-۱ (صفحه ۳)

بسته به این که روکش پلاستیکی را پیش از کشیدن بر روی ظرف غذا از رُل پیچ آن جدا کرده یا مستقیماً روی ظرف غذا بکشیم، پاسخ‌ها متنوع خواهد بود. وقتی روکش پلاستیکی را روی ظرف غذا می‌کشیم بر اثر تماس نزدیک دو جسم، بار در فرایندی موسوم به *الکتریسیته‌دار شدن تماسی* بین دو سطح منتقل می‌شود. مثلاً ممکن است پوشش پلاستیکی، بخشی از الکترون‌های روی لبه را به سمت خود بکشد و آن بخش را باردار مثبت کند. آن‌گاه، پوشش که دارای بار منفی است و لبه که دارای بار مثبت است، یکدیگر را جذب خواهند کرد. البته *تماس نزدیک* در نواحی جداگانه کوچکی رخ می‌دهد. وقتی دو جسم را به یکدیگر مالش می‌دهیم، تعداد این نواحی تماس نزدیک زیادتر می‌شود و بنابراین، این جاذبه هم بیشتر خواهد شد که به این، *الکتریسیته‌دار شدن مالشی* می‌گویند. اگر روکش پلاستیکی را پیش از کشیدن روی ظرف، از رُل پیچ آن جدا کرده باشیم، تکه‌هایی از آن در فرایندهای الکتریسیته‌دار شدن تماسی یا مالشی باردار می‌شوند. تکه‌های با الکترون اضافی، باردار منفی و تکه‌های با کاستی الکترون، باردار مثبت هستند. (درواقع همین امر باعث تا خوردن پوشش‌های پلاستیکی یا نوارچسب بر روی خود یا رُل پیچ آن می‌شود). آن‌گاه افزون بر آنچه که در بالا گفته شد، همان‌طور که در مبحث قطبش خواهید دید، بارهای قطبشی نیز ایجاد خواهد شد که این موجب جذب بیشتری می‌شود. افزون بر این، اگر جدایی بار ناچیزی در یک سطح رخ داده باشد، این می‌تواند موجب ایجاد جدایی بار مشابهی در سطح مقابل نیز شود. همان‌طور که خواهیم دید به این جدایی بار، دوقطبی الکتریکی گفته می‌شود و دوقطبی‌های الکتریکی روی دو سطح، همدیگر را بر اثر نیروی جاذبه بین مولکولی‌ای موسوم به *نیروی وان‌دروالس* جذب می‌کنند.

تمرین ۱-۱ (صفحه ۵)

عدد اتمی، تعداد پروتون‌های هسته است و بنابراین بار الکتریکی هسته اتم $Q_{\text{هسته}} = +92e = +92(1/60 \times 10^{-19}C) = 1/47 \times 10^{-17}C$ می‌شود. اتم اورانیم به همین تعداد الکترون دارد که مقدار آن منفی مقدار بالا می‌شود. بار الکتریکی اتم اورانیم (خنثی) مجموع این دو بار و بنابراین صفر است.

فعالیت ۱-۱ (صفحه ۵)

در این فعالیت جالب است از دانش‌آموزان بخواهید که بکوشند نی‌ها را از انتهای بالایی به هم تماس دهند. در آن صورت در خواهند یافت که نمی‌توانند آن‌ها را بیش‌تر از فاصله‌ای به هم نزدیک کنند.

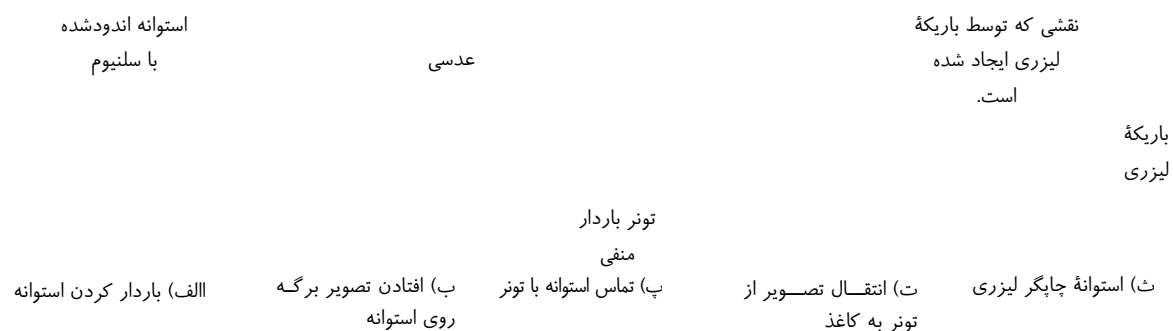
فعالیت ۲-۱ (صفحه ۷)

طرز کار دستگاه‌های فتوکپی (و چاپگرهای لیزری) براساس برخی اصول اولیه الکتریسیته ساکن است. یک استوانه آلومینیمی که با سلنیوم اندود شده است به وسیله یک الکترو، باردار مثبت می‌شود. سپس استوانه در معرض تابش نوری قرار می‌گیرد که تصویری را از برگه‌ای که می‌خواهیم رونوشت آن را تهیه کنیم روی سطح استوانه ایجاد می‌کند. سلنیوم اصطلاحاً یک رسانای نوری (photoconductor) است؛ یعنی در نبود نور، نارسانا است، و در حضور نور، رسانا می‌شود. وقتی تصویر برگه موردنظر روی استوانه می‌افتد، بخش‌هایی از پوشش سلنیومی استوانه که نور می‌گیرد، رسانا می‌شود و با تماس با بدنه آلومینیمی استوانه بار مثبت خود را از دست می‌دهد. به این ترتیب، تصویر برگه به صورت توزیعی از بار مثبت بر سطح استوانه نقش می‌بندد. پس از این مرحله، استوانه در تماس با پودر سیاه‌رنگی (موسوم به *تونر*) که دارای بار منفی شده است قرار می‌گیرد. نیروی جاذبه الکتریکی بین پودر باردار منفی و بخش‌هایی از استوانه که دارای بار مثبت است سبب می‌شود این پودر بر سطح استوانه بنشیند و تصویری سیاه رنگ از برگه به وسیله تونر بر سطح آن ایجاد شود. اکنون یک برگه سفید که باردار

مثبت شده است و بار مثبت آن بیشتر از بار مثبت استوانه است، روی سطح استوانه می‌پیچد و به این ترتیب جاذبه الکتریکی بین پودر باردار منفی که روی سطح استوانه قرار دارد و سطح باردار مثبت کاغذ سفید، موجب انتقال تصویر از استوانه به کاغذ می‌شود. گام آخر، عبور کاغذ (که اینک پودر تونر تصویری بر سطح آن ایجاد کرده است) از میان غلتک‌های داغ است. اکنون تونر بر اثر گرما کاملاً بر سطح کاغذ «تثبیت» می‌گردد و بدین ترتیب فرایند فتوکپی به پایان می‌رسد.

در چاپگر لیزری به جای آنکه تصویر موردنظر را به وسیله اسباب اپتیکی روی سطح استوانه ایجاد کنند، یک قلم لیزری، تصویر یا متن مورد نظر را که به صورت یک فایل در حافظه رایانه ذخیره شده است، روی سطح استوانه ایجاد می‌کند.

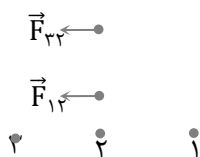
شکل زیر مرحله‌های ایجاد یک رونوشت در دستگاه فتوکپی را از (الف) تا (ث) نشان می‌دهد. در چاپگر لیزری، مرحله (ب) با مرحله (ث) جایگزین می‌شود.



پرسش ۱-۲ (صفحه ۸)

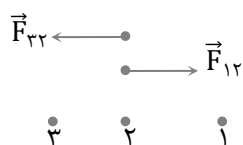
در تعیین نیروی خالص (برایند) توجه کنید که پس از مشخص کردن ذره موردنظر، نیروی ناشی از ذرات دیگر بر آن را طوری رسم می‌کنیم که ابتدای هر کدام از نیروها روی ذره موردنظر باشد. برای اینکه نیروها را مشخص کنیم، بارها را به ترتیب از سمت راست با عددهای ۱، ۲ و ۳ مشخص می‌کنیم.

الف) با رسم نیروها درمی‌یابیم که دو نیرو رو به سمت چپ بر بار میانی وارد می‌شود:



بنابراین برایند نیروی وارد بر ذره میانی رو به سمت چپ (در جهت $\vec{I}$) می‌شود.

ب) در این وضعیت، بار ذره ۱ منفی است. اکنون نیرویی که بار شماره ۱ بر بار میانی وارد می‌کند در خلاف جهت وضعیت الف است و بنابراین سوی نیروهای $\vec{F}_{12}$ و $\vec{F}_{32}$ بر خلاف جهت هم می‌شود.



ولی توجه کنید که چون فاصله ذره میانی از ذره‌های کناری برابر و بزرگی بارها نیز یکسان است، بنابراین نیروهای وارد بر بار میانی، همدیگر را خنثی می‌کند.

تمرین ۱-۲ (صفحه ۹)

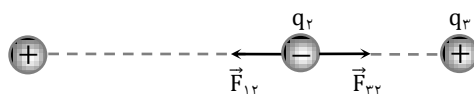
نیروی وارد بر بار q_2 ، برآیند دو نیرویی است که از طرف بارهای q_1 و q_3 بر آن وارد می‌شوند. برای محاسبه این نیرو، نیروی را که هریک از بارهای q_1 و q_3 در غیاب دیگری بر بار q_2 وارد می‌کند، محاسبه می‌کنیم.

فاصله بین بارهای q_1 و q_2 را با r_{12} و فاصله بین بارهای q_3 و q_2 را با r_{32} نشان می‌دهیم. با استفاده از رابطه ۱-۲ داریم:

$$F_{12} = k \frac{|q_1||q_2|}{r_{12}^2} = (9/0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{C}^2}) \frac{(2/5 \times 10^{-6} \text{ C})(1/0 \times 10^{-6} \text{ C})}{(4/0 \text{ m})^2} = 1/4 \times 10^{-3} \text{ N}$$

$$F_{32} = k \frac{|q_3||q_2|}{r_{32}^2} = (9/0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{C}^2}) \frac{(4/0 \times 10^{-6} \text{ C})(1/0 \times 10^{-6} \text{ C})}{(2/0 \text{ m})^2} = 9/0 \times 10^{-3} \text{ N}$$

نیرویی که بار q_1 بر بار q_2 وارد می‌کند و نیز نیرویی که بار q_3 بر بار q_2 وارد می‌کند، از نوع ریاضی (جاذبه) است.



مطابق شکل، این دو نیرو برخلاف جهت یکدیگرند و برآیند آنها برابر است با

$$\vec{F}_T = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{32} = F_{12}(-\vec{i}) + F_{32}(+\vec{i}) = (F_{32} - F_{12})\vec{i}$$

بنابراین، بزرگی $\vec{F}_T$ برابر تفاضل بزرگی آنها است:

$$F_T = F_{32} - F_{12} = 9/0 \times 10^{-3} \text{ N} - 1/4 \times 10^{-3} \text{ N} = 7/6 \times 10^{-3} \text{ N}$$

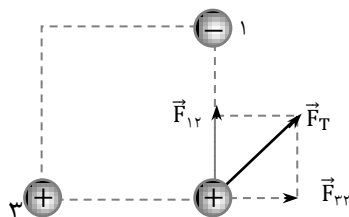
در واقع، بزرگی نیروی $\vec{F}_T$ برابر $7/6 \times 10^{-3} \text{ N}$ و جهت آن در سوی مثبت محور x است:

$$\vec{F}_T = (7/6 \times 10^{-3} \text{ N})\vec{i}$$

پرسش ۱-۳ (صفحه ۹)

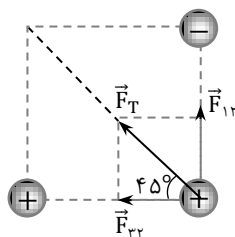
همان‌طور که گفتیم برای تعیین نیروی برآیند، نخست باید ذره موردنظر را انتخاب کنیم و بردارهای نیرو را طوری رسم کنیم که ابتدای آنها بر ذره موردنظر باشد، در این صورت داریم:

الف) اگر بارها را شماره‌گذاری کنیم داریم:



که در آن $F_{12} = F_{32}$. بنابراین $\vec{F}_T$ با جهت $+\vec{i}$ زاویه 45° می‌سازد.

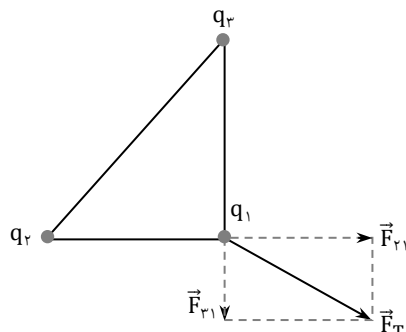
ب) اکنون علامت بار شماره ۳ منفی است و بنابراین سوی نیروی $\vec{F}_{32}$ برمی‌گردد و شکلی مانند زیر داریم:



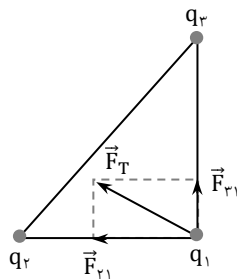
که در آن $F_{12} = F_{21}$. بنابراین اکنون $\vec{F}_T$ با جهت $\vec{i} + \vec{j}$ زاویه 45° می‌سازد.

تمرین ۱-۳ (صفحه ۱۰)

الف) اگر علامت بار q_3 مثبت شود، سوی نیروی $\vec{F}_{31}$ وارونه می‌شود و تصویری مانند زیر خواهیم داشت:



ب) اگر علامت بار q_3 منفی شود، سوی نیروی $\vec{F}_{31}$ وارونه می‌شود و تصویری مانند زیر خواهیم داشت:



پ) خیر. زیرا اندازه نیروی برابری است با

$$F_T = \sqrt{F_{12}^2 + F_{13}^2}$$

که با توجه به اینکه مقدار F_{12} و F_{13} تغییری نمی‌کنند، بزرگی نیروی برابری هم تغییر نمی‌کند.

تمرین ۱-۴ (صفحه ۱۴)

الف) بار پروتون $q = +e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ است. بنابراین داریم:

$$E_p = k \frac{|q|}{r^2} = (9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2) \frac{(1.6 \times 10^{-19} \text{ C})}{(5/3 \times 10^{-11} \text{ m})^2} = 5.12 \times 10^{11} \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

خوب است این میدان را با میدان‌های داده شده در جدول ۱-۲ (صفحه ۱۱) کتاب مقایسه کنید تا به بزرگی آن پی ببرید. بزرگترین میدان داده شده مربوط به فروریزش الکتریکی در هواست که مرتبه بزرگی آن 10^5 بار کوچکتر از این پاسخ است.

ب) همان طور که در مثال پیش دیدیم، میدان الکتریکی حاصل از مولد وان دو گراف در فاصله $1/5 \text{ m}$ از مرکز کلاهک برابر است با

$$E_v = \frac{|q|}{r^2} = (9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2) \frac{(1 \times 10^{-7} \text{ C})}{(1/5 \text{ m})^2} = 9 \times 10^3 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

این را باید با میدان حاصل از پروتون در فاصله نامشخص r برابر قرار دهیم و از آنجا r را پیدا کنیم:

$$E_p = \frac{|q|}{r^2} = (9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2) \frac{(1.6 \times 10^{-19} \text{ C})}{r^2} = 9 \times 10^3 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

و از آنجا که $r = 4/0 \times 10^{-7} \text{ m}$ می‌شود. دقت کنید مرتبه بزرگی این فاصله، 10^4 بار بزرگتر از مرتبه بزرگی شعاع اتم هیدروژن در مدل بور است. بنابراین پاسخ ب نیز مانند پاسخ الف نشان‌دهنده بزرگی بسیار زیاد میدان هسته اتم در محل الکترون‌های اتم است.

تمرین ۱-۵ (صفحه ۱۶)

در نقطه O ، میدان الکتریکی حاصل از هر دو بار با هم جمع می‌شود و جهت آن رو به سمت چپ خواهد بود. یعنی اگر بار آزمون را در نقطه O قرار دهیم، نیروهای وارد بر آن ناشی از بارهای q_1 و q_2 به سمت چپ خواهد بود و بنابراین میدان الکتریکی خالص در جهت $-\vec{i}$ است. چون بزرگی بارها یکسان و فاصله آن‌ها تا نقطه O برابر است، بزرگی میدان‌ها با هم برابر است. بنابراین اندازه میدان کل، دو برابر اندازه هر یک از میدان‌ها است:

$$E_0 = 2E = 2k \frac{|q|}{r^2} = 2(9/0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{C}^2}) \frac{(2/0 \times 10^{-9} \text{ C})}{(3/0 \times 10^{-2} \text{ m})^2} = 4/0 \times 10^4 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

در نتیجه $\vec{E}_0 = (-4/0 \times 10^4 \frac{\text{N}}{\text{C}}) \vec{i}$ می‌شود.

حال اگر بار آزمون را در نقطه M قرار دهیم، دو نیرو بر آن اثر می‌کند که برخلاف جهت هم هستند. چون اندازه بارها برابر ولی فاصله بار مثبت از نقطه M کوچک‌تر است، نتیجه می‌گیریم که جهت میدان الکتریکی در سوی مثبت محور x ($+\vec{i}$) می‌شود.

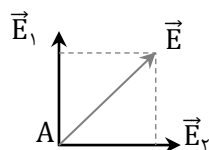
$$\begin{aligned} E_M &= k \frac{|q|}{r_1^2} - k \frac{|q|}{r_2^2} = k|q| \left(\frac{1}{r_1^2} - \frac{1}{r_2^2} \right) \\ &= (9/0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{C}^2}) (2/0 \times 10^{-9} \text{ C}) \left(\frac{1}{(3/0 \times 10^{-2} \text{ m})^2} - \frac{1}{(9/0 \times 10^{-2} \text{ m})^2} \right) \\ &= 17/784 \frac{\text{N}}{\text{C}} \approx 1/8 \times 10^4 \frac{\text{N}}{\text{C}} \end{aligned}$$

در نتیجه:

$$\vec{E}_M = (1/8 \times 10^4 \frac{\text{N}}{\text{C}}) \vec{i}$$

تمرین ۱-۶ (صفحه ۱۷)

با گذشتن بار آزمون در نقطه A ، جهت میدان برآیند در این نقطه را تعیین می‌کنیم.



$$\vec{E} = E_r \vec{i} + E_v \vec{j} = (5/0 \times 10^3 \frac{\text{N}}{\text{C}}) \vec{i} + (5/0 \times 10^3 \frac{\text{N}}{\text{C}}) \vec{j}$$

و در نتیجه:

$$E = \sqrt{E_r^2 + E_v^2} = 7/1 \times 10^3 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

البته این نتیجه را می‌توانستیم براساس تقارن مسئله، با استفاده از پاسخ مثال ۱-۸ نیز به راحتی دریابیم.

فعالیت ۱-۳ (صفحه ۱۷)

خوب است در تکمیل این فعالیت، برای آن که طرح خطوط میدان را به صورت سه بُعدی ببینید، به جای بذر چمن از بریده‌های کوچک نخ استفاده کنید و آن‌ها را پیش از آزمایش در ظرف شیشه‌ای شفاف با عمق مناسب (مثلاً بالن آزمایشگاه) که حاوی روغن است کاملاً هم بزنید و با استفاده از یک مولد ولتاژ بالا، آزمایش مشابهی ترتیب دهید.

پرسش ۱-۴ (صفحه ۱۹)

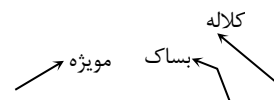
در هر نقطه فضا، یک میدان الکتریکی یکتا وجود دارد که همان میدان الکتریکی خالص (برایند) است و چون میدان الکتریکی در آن نقطه از فضا یکتا است، بنابراین میدان الکتریکی برایند دیگری در آنجا وجود ندارد که تقاطع ایجاد کند.

پرسش ۱-۵ (صفحه ۱۹)

نیروی الکتریکی وارد بر بار منفی در خلاف جهت میدان الکتریکی $\vec{E}$ است، و بنابراین اگر نیروی دیگری به این بار اثر نکند، بار منفی در خلاف جهت میدان شتاب می‌گیرد. در هر سه نقطه، نیروی الکتریکی وارد بر بار $-q$ در خلاف جهت پیکان‌های خطوط میدان است.

فعالیت ۱-۴ (صفحه ۱۹)

زنبورهای عسل معمولاً در حین پرواز دارای بار مثبت می‌شوند و وقتی به گرده بدون باری روی بساک یک گل (شکل الف) می‌رسند که از لحاظ الکتریکی خنثی است، میدان الکتریکی آن‌ها روی گرده بارهای مثبت و منفی ایجاد می‌کند، به طوری که آن سمت گرده که به طرف زنبور است باردار منفی می‌شود و به این ترتیب گرده به سوی زنبور کشیده می‌شود (شکل ب). گرده‌ها روی مویزه‌های ریز زنبور قرار می‌گیرند و سپس وقتی زنبور در اطراف کلالة گل دیگری پرواز می‌کند، بارهای منفی را بر روی کلالة القا می‌کند. هرگاه نیروی الکتریکی وارد از کلالة بزرگتر از نیروی الکتریکی وارد از زنبور بر گرده باشد، گرده به سمت کلالة گل کشیده می‌شود (شکل پ) و گرده افشانی صورت می‌گیرد.



گرده
سطح باردار زنبور
کلالة
الکترون‌های جمع شده

الف) اجزای بساک و کلالة یک گل
ب) بر اثر حضور زنبور، روی گرده
پ) الکترون‌هایی که در نوک کلالة جمع شده‌اند، گرده را جذب می‌کنند.
نزدیک بساک، بار القا شده است.

تمرین ۱-۷ (صفحه ۲۱)

برای این که نیروی الکتریکی با وزن بادکنک موازنه شود باید نیروی الکتریکی در خلاف جهت وزن بادکنک به آن وارد شود و بزرگی آن برابر با وزن بادکنک باشد:

$$F_E = mg \Rightarrow qE = mg$$

و از آنجا

$$E = \frac{mg}{|q|} = \frac{(10^{-3} \times 10^{-3} \text{ kg})(9.8 \text{ N/kg})}{2.0 \times 10^{-9} \text{ C}} = 4.9 \times 10^5 \text{ N/C}$$

با توجه به رابطه $\vec{F} = q\vec{E}$ و منفی بودن q ، جهت میدان الکتریکی در خلاف نیروی الکتریکی و بنابراین مستقیماً رو به پایین است.

فعالیت ۱-۵ (صفحه ۲۱)

رسوب‌دهنده‌های الکتروستاتیکی یکی از کاربردهای مهم تخلیه الکتریکی است. این وسیله با جداسازی ذرات از گازهای حاصل از احتراق مواد سوختی، سبب کاهش آلودگی هوا می‌شود. به‌کارگیری این وسیله، به‌خصوص در نیروگاه‌های تولید برق که از زغال‌سنگ استفاده می‌کنند و دیگر صنایعی که مقادیر قابل توجهی دود تولید می‌کنند، مفید است. رسوب‌دهنده‌هایی که امروزه به کار گرفته می‌شوند می‌توانند حدود ۹۰ درصد خاکستر و بخار موجود در دود را کاهش دهند، ولی با این حال درصد قابل توجهی از ذرات سبک‌تر از رسوب‌دهنده می‌گریزند و وارد جو می‌شوند. رسوب‌دهنده‌ها اقسام متفاوتی دارند که در اینجا به چند نوع آن‌ها می‌پردازیم.

در رسوب‌دهنده‌ای که در شکل اول می‌بینید، ولتاژ بالایی (نوعاً از ۴۰ kV تا ۱۰۰ kV) بین یک سیم فلزی که از وسط دودکش آن می‌گذرد و دیواره دودکش برقرار می‌شود، در حالی که دیواره دودکش به زمین متصل است. پتانسیل سیم فلزی، منفی‌تر از پتانسیل دیواره است و لذا میدان الکتریکی‌ای به وجود می‌آید که جهت آن به سمت سیم است. در نزدیکی سیم، میدان الکتریکی چنان قوی است که می‌تواند سبب تخلیه الکتریکی در این فضا گردد و به این ترتیب یون‌های مثبت و منفی و تعدادی الکترون ایجاد می‌شود. الکترون‌ها و یون‌های منفی (از قبیل O^-) در خلاف جهت میدان الکتریکی، به سمت دیواره دودکش شتاب می‌گیرند. ذرات غبار موجود در دودی که از دودکش می‌گذرد با یون‌های منفی و الکترون‌ها برخورد کرده و با به دام انداختن آن‌ها باردار می‌شوند؛ چون بیشتر ذرات غبار باردارشده منفی هستند، این ذرات توسط میدان الکتریکی به سمت دیواره دودکش کشیده می‌شوند. با تکان دادن دودکش، ذرات باردارشده غبار چسبیده به دیواره پایین می‌ریزد و آنگاه از ته رسوب‌دهنده جمع‌آوری می‌شوند.

عایق

هوای تمیز
خروجی

منبع ولتاژ بالا

هوای کثیف ورودی

وزنه

رسوب

نوع دیگر رسوب‌دهنده‌ها در شکل دوم نشان داده شده است. در این رسوب‌دهنده، توری سیمی که به میزان زیادی باردار مثبت شده است بین تیغه‌های فلزی متصل به زمین قرار دارد، به‌گونه‌ای که تخلیه الکتریکی مدامی بین توری و این تیغه‌ها روی می‌دهد. این تخلیه، جریان پیوسته‌ای از یون‌ها را به همراه دارد که خود را به ذره‌های غبار در گازی که از دودکش بالا

می‌رود، متصل می‌کنند. ذره‌های باردار عبوری به سوی تیغه‌های متصل به زمین رانده می‌شوند و در آنجا رسوب می‌کنند. پس از مدتی، این تیغه‌ها را با زدن ضربه می‌تکانند و به این ترتیب، ذره‌ها را جدا می‌کنند.

پاک‌کننده هوای الکتروستاتیکی دستگاه مشابه دیگری از این دست به منظور ایجاد هوای مطبوع برای مبتلایان به آلرژی است. در این دستگاه، هوای آلوده نخست از میان یک شبکه توری با بار مثبت عبور داده می‌شود. ذرات آلودگی با برخورد با این شبکه باردار مثبت می‌شوند. سپس، هوا از شبکه توری دیگری که باردار منفی شده است عبور می‌کند. ذرات آلاینده که پیشتر هنگام برخورد با شبکه توری منفی می‌شوند و روی این شبکه رسوب می‌کنند و به این ترتیب هوای خروجی از دستگاه عاری از درصد زیادی از ذرات آلاینده است.	توری سیمی نازک باردار	ذره‌های باردار مثبت روی تیغه‌های فلزی می‌نشینند
	تیغه‌های فلزی	
	اتصال به زمین	دودکش

تمرین ۸-۱ (صفحه ۲۳)

طبق قضیه کار-انرژی جنبشی داریم:

$$W_E = \Delta K$$

از طرفی رابطه ۸-۱، $W_E = -\Delta U_E$ است و بنابراین داریم:

$$-\Delta U_E = \frac{1}{2} m(v_B^2 - v_A^2) \Rightarrow \Delta U_E = -\frac{1}{2} m v_B^2$$

جهت میدان الکتریکی عوض شده است، و پروتون در جهت میدان (به طرف راست) شتاب می‌گیرد. تغییر انرژی پتانسیل آن برابر است با

$$\Delta U_E = -|q| E d \cos \theta$$

که در اینجا $\theta = 0^\circ$ است. بنابراین

$$\begin{aligned} \Delta U_E &= -|q| E d \\ -\frac{1}{2} m v_B^2 &= -|q| E d \end{aligned}$$

و در نتیجه:

$$\begin{aligned} v_B &= \sqrt{\frac{2|q|Ed}{m_p}} \\ &= \sqrt{\frac{2(1/60 \times 10^{-19} \text{C})(2/0 \times 10^3 \text{N/C})(10 \times 10^{-2} \text{m})}{1/67 \times 10^{-27} \text{kg}}} \\ &= 1/96 \times 10^5 \text{m/s} \approx 2/0 \times 10^5 \text{m/s} \end{aligned}$$

البته این را می‌توانستیم بدون محاسبه و با توجه به پاسخ قسمت ب مثال ۱۰-۱ نیز حدس بزنیم.

تمرین ۹-۱ (صفحه ۲۵)

در متن درس اشاره شد که ΔV مستقل از نوع بار است و اینجا می‌خواهیم آن را نشان دهیم.

الف) رابطه‌های $\Delta V = \Delta U/q$ و $\Delta V = -|q| E d \cos \theta$ را در نظر بگیرید. اگر بار q مثبت باشد، θ همان زاویه میان میدان الکتریکی و جابه‌جایی بار q و در اینجا $\theta = 0^\circ$ است و بنابراین

$$\Delta V = -Ed$$

و اگر بار q منفی باشد، نیرو در خلاف جهت میدان اثر می‌کند و با توجه به اینکه جابه‌جایی هم‌سو با میدان است، در اینجا $\theta = \pi$ است و بنابراین

$$\Delta U = -|q|Ed \cos(\pi) = |q|Ed$$

که با توجه به منفی بودن q ، داریم $|q| = -q$ و در نتیجه $\Delta U = -qEd$ می‌شود. از طرفی $\Delta V = \Delta U/q$ است و بنابراین خواهیم داشت:

$$\Delta V = -Ed$$

پس در هر دو حالت $\Delta V = -Ed$ شد، که به معنی کاهش پتانسیل است. بدیهی است که با حرکت در خلاف جهت میدان، $\Delta V = +Ed$ می‌شود که به معنی افزایش پتانسیل است.

(ب) با حرکت در جهت عمود بر خطوط میدان، $\theta = 90^\circ$ و در نتیجه $\Delta U = 0$ و از آنجا $\Delta V = 0$ می‌شود.

تمرین ۱-۱۰ (صفحه ۲۵)

در این حالت، چون پایانه مثبت را مرجع گرفته‌ایم، $V_+ = 0$ است. بنابراین

$$\Delta V = V_+ - V_- = 0 - V_- = 12V$$

و در نتیجه $V_- = -12V$ می‌شود. به عبارتی دیگر، پتانسیل پایانه منفی باتری ۱۲V کمتر از پتانسیل پایانه مثبت آن است.

فعالیت ۱-۶ (صفحه ۲۶)

به طور اختصار می‌توان گفت که اساساً نورون، متشکل از یک جسم سلولی است که پیام‌های الکتریکی را از طریق اتصالاتی به نام سیناپس که روی دندریت‌ها قرار دارند، دریافت یا ارسال می‌کنند. اگر محرک به حد کافی قوی باشد، نورون یک سیگنال الکتریکی را

در امتداد تار به نام اکسون ارسال می‌کند. اکسون یا تار عصبی که قطر آن ۱۰ تا ۲۰ میکرومتر است و طول آن ممکن است به یک متر برسد، سیگنال الکتریکی را به ماهیچه‌ها و نورون‌های دیگر می‌برد. در دو طرف سطح یا غشای هر نورون اختلاف پتانسیلی ناشی از وجود یون‌های منفی بیشتر در داخل غشا نسبت به خارج آن وجود دارد و اصطلاحاً به آن نورون قطبیده گفته می‌شود. پتانسیل داخل سلول عموماً ۶۰ تا ۹۰ میلی‌ولت، منفی‌تر از خارج آن است. این اختلاف پتانسیل، پتانسیل/استراحت

اسیلوسکوپ

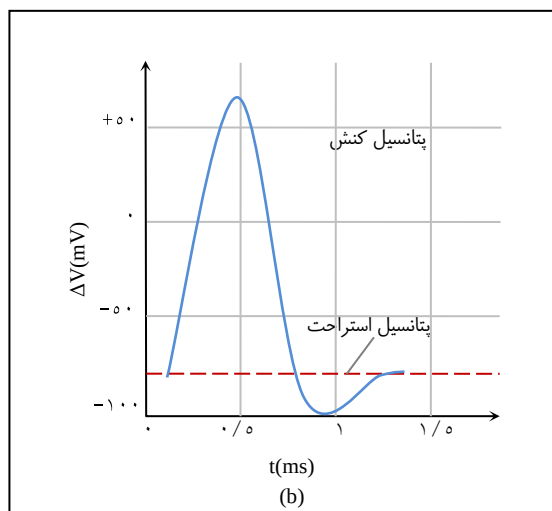
مولد تپ جریان

کاوه ورود جریان آکسون

کاوه اندازه‌گیری ولتاژ

نورون نامیده می‌شود. وقتی نورون تحریک می‌شود، در محل تحریک، تغییر لحظه‌ای بزرگی در پتانسیل استراحت رخ می‌دهد. این تغییر پتانسیل که پتانسیل کنش نام دارد، به صورت سیگنالی در امتداد اکسون منتشر می‌شود. تحریک می‌تواند از طریق عواملی از قبیل گرما، سرما، نور، صوت و بو، به وجود آید. اگر تحریک، الکتریکی باشد فقط در حدود 20 mV در دو طرف غشا لازم است تا پتانسیل کنش را راه بیندازد. پتانسیل کنش با سرعتی حدود 30 m/s امتداد اکسون منتشر می‌شود. در شکل اول تصویری نمایشی از چگونگی آشکارسازی پتانسیل کنش نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌کنید در سمت چپ تحریکی الکتریکی ایجاد

شده است که در سمت راست پتانسیل کنش حاصل از آن به صورت تابعی از زمان حاصل شده است. در شکل دوم اختلاف پتانسیل درون و بیرون غشای نورون در یک نقطه روی اکسون به صورت تابعی از زمان رسم شده است.



اختلاف پتانسیل درون و بیرون غشای نورون در یک نقطه روی اکسون به صورت تابعی از زمان

در این مورد مقاله‌ای تحت عنوان درآمدی بر فیزیولوژی اعضای در صفحه ۴۰ شماره ۶۲ مجله رشد آموزش فیزیک چاپ شده است که پس از آن می‌توان مقاله دیگری تحت عنوان مدل سازی سلول عصبی با مدارهای الکتریکی را مطالعه نمود که در صفحه ۳۶ شماره ۷۷ همان مجله به چاپ رسیده است.

تمرین ۱-۱۱ (صفحه ۲۷)

چون بار $+q$ در خلاف جهت میدان جابه‌جا شده است و نیروی الکتریکی هم‌سو با میدان است، $\theta = 180^\circ$ و $W_E = F_E d \cos \theta$ منفی می‌شود. با توجه به اینکه $\Delta K = 0$ است، $W_{\text{خارجی}} = -W_E$ می‌شود و بنابراین کار نیروی دست مثبت است.

(ب) کار نیروی خارجی برای $\Delta K = 0$ برابر $q\Delta V$ است. بنابراین، چون کار نیروی خارجی مثبت شده است، و بار جابه‌جا شده نیز مثبت است، بار $+q$ به نقطه‌ای با پتانسیل بالاتر حرکت کرده است.

روش دیگر آن بود که نخست قسمت ب و سپس قسمت الف را پاسخ دهیم. در آن صورت با توجه به تمرین ۱-۹ می‌دانیم با حرکت بار مثبت در خلاف جهت میدان الکتریکی، پتانسیل الکتریکی V افزایش می‌یابد و با توجه به اینکه بار مثبت است و با استفاده از رابطه $q\Delta V = W_{\text{خارجی}}$ ، درمی‌یابیم کار نیروی دست مثبت است.

تبصره. توجه کنید حرکت بار مثبت در خلاف جهت میدان الکتریکی، مشابه با گرانش است که با حرکت در خلاف جهت میدان گرانشی، در آنجا پتانسیل گرانشی U زیاد می‌شود.

فعالیت ۱-۷ (صفحه ۲۹)

الف) قفس فاراده از موارد جالبی است که می‌توان دانش‌آموزان را تشویق کرد که با جست‌وجوی واژه «Faraday's cage» به مطالب و تصاویر جالبی دست یابند و آن‌ها را به کلاس ارائه کنند. در هر حال همان‌طور که در متن فعالیت آمده، قفس فارادی در واقع به انواع و اقسام مجموعه‌هایی گفته می‌شود که بر مبنای آزمایش فاراده موجب حفاظت الکتروستاتیکی می‌شوند. در

واقع همان طور که در درس مطرح شد اگر یک رسانای خنثی را در یک میدان الکتریکی خارجی قرار دهیم، الکترون‌های آزاد رسانا طوری روی سطح خارجی آن توزیع می‌شوند که میدان ناشی از آن‌ها اثر میدان خارجی درون رسانا را خنثی و میدان خالص درون رسانا را صفر کنند. همچنین دیدیم بار خارجی روی جسم رسانا طوری روی آن توزیع می‌شود که میدان الکتریکی آن صفر شود.

همان طور که گفته شد از این فیزیک برای ساختن محافظ‌های الکتروستاتیکی استفاده می‌کنند. مثلاً فرض کنید می‌خواهیم یک دستگاه حساس الکترونیکی را از یک میدان الکتریکی نامطلوب حفظ کنیم. به این منظور دستگاه را درون یک جعبه رسانا قرار می‌دهیم یا آن را با ورقه‌ای نازک از ماده‌ای رسانا می‌پوشانیم. میدان الکتریکی خارجی، نحوه توزیع الکترون در پوشش رسانا را تغییر می‌دهد به طوری که میدان کل در هر نقطه درون این جعبه، صفر شود. البته توزیع جدید بار، شکل خطوط میدان در مجاورن آن را نیز تغییر می‌دهد. بنابراین، عملاً شکلی مانند شکل ۱-۳۱ کتاب خواهیم داشت، با این تفاوت که درون این شکل‌ها را خالی در نظر بگیرید تا بدین ترتیب، محلی برای ایجاد حفاظ ایجاد شود.

ب) چنین اتومبیلی درست مثل یک قفس فاراده، عمل می‌کند. بنابراین، اگر آذرخشی به اتومبیلی اصابت کند، بار روی سطح خارجی بدنه اتومبیل، باقی می‌ماند. (درمواقع اضطراری، موقع خروج از اتومبیلی که به هر دلیلی دچار اصطلاحاً برق‌گرفتگی شده است، توجه کنید یک دست بر بدنه و پا روی زمین نباشد، بلکه باید جفت پا به بیرون بپرید.) همچنین توجه کنید که اگر بدنه اتومبیل لاستیکی و یا سقف آن تاشو (و یا نارسانا) باشد، ممکن است هیچ محافظتی ایجاد نشود. هواپیماها نیز به همین ترتیب، برای سرنشینان خود محافظت ایجاد می‌کنند، اما با این وجود، هواپیماها آسیب‌پذیرتر از اتومبیل‌ها هستند.

ب) دانش‌آموزان باید بر مبنای اصولی که در قسمت الف بیان شد، به طراحی چنین وسایلی بپردازند یا با وسایل موجود مانند مایکروفر (در این مورد آزمایش‌های جالبی در اینترنت پیدا می‌شود)، تلفن همراه و ... این نظریه‌ها را محک بزنند. مثلاً تلفن همراه خود را در ظرفی پوشش فلزی سر بسته‌ای قرار دهند و به آن زنگ بزنند و ... در مولد واندوگراف نیز همین اصول به کار رفته و بار توسط یک قطعه رسانا از تسمه به روی کلاهک منتقل می‌شود و در نتیجه بار روی کلاهک و میدان اطراف آن به سرعت بزرگ‌تر و بزرگ‌تر می‌شود. با خود واندوگراف نیز می‌توان آزمایش‌های جالبی را طراحی کرد. مثلاً یکی از آزمایش‌های مشهور این است که نخست یک الکتروسکوپ توسط واندوگراف باردار کنیم و مشاهده کنیم عقربه آن منحرف می‌شود. بعد با قرار دادن همان الکتروسکوپ در درون یک قفس فلزی همین آزمایش را تکرار می‌کنیم و درمی‌یابیم این بار عقربه آن منحرف نمی‌شود.

همچنین می‌توان کاغذهای کوچک دوتا شده‌ای را روی توری قرار داد، طوری که یک تایی کاغذ درون و تایی دیگر آن بیرون توری قرار گیرد. خواهید دید پس از باردار کردن توری، فقط کاغذهای روی آن از توری فاصله می‌گیرند.

فعالیت ۱-۸ (صفحه ۳۰)

پس از رفت و برگشت‌های متوالی، گلوله‌ها در فاصله معینی از دو طرف دوک می‌ایستند به طوری که گلوله‌ای که با نوک تیز تماس پیدا کرده است در زاویه بیشتری نسبت به امتداد قائم قرار می‌گیرد که همان‌طور که در خوب است بدانید تخلیه هاله‌ای (صفحه ۳۱) اشاره کردیم نشان‌دهنده قوی‌تر بودن میدان الکتریکی در نقاط نوک تیز است. به عبارتی، چگالی سطحی بیشتر بارها در نوک تیز به میدان الکتریکی بیشتری می‌انجامد.

تبصره. می‌دانیم بار الکتریکی گلوله‌ها در تماس با مولکول‌های هوا کم‌کم تخلیه می‌شود به تدریج به حالت اولیه (راستای قائم) برمی‌گردند. سپس گلوله‌ها دوباره با دوک برخورد کرده و باردار می‌شوند و همان مراحل تکرار می‌گردد. ولی گلوله‌ای که به سر نوک تیز تماس پیدا کرده است چون بار بسیار بیشتری دارد زمان بیشتری هم طول می‌کشد تا بارهای خود را در هوا تخلیه کند و به حالت قائم بازگردد و دوباره باردار و دور شود. اما گلوله‌ای که از قسمت پهن بار دریافت کرده، بارش کمتر است و زمان کمتری طول می‌کشد تا بی‌بار شود و به حالت قائم بازگردد. این فرایند آن قدر ادامه می‌یابد تا بار جسم دوکی کاملاً تخلیه شود.

فعالیت ۱-۹ (صفحه ۳۱)

هدف اصلی برقگیر این است که مسیری ساده برای انحراف ضربه یک آذرخش به سمت زمین را مهیا کند. بنابراین، برای آنکه برقگیر عمل کند باید به قسمت مرطوب و رسانای زیر سطح زمین، متصل گردد. برای عمل کردن برقگیر، میله آن باید از بالاترین نقطه ساختمان بالاتر باشد. در آن صورت، نشان داده شده است که برقگیر، محافظتی شبیه یک قیف وارونه ایجاد می‌کند که رأس آن در نوک برقگیر است و آذرخشی که وارد این مخروط فرضی می‌شود، به جای برخورد با ساختمان، با برقگیر برخورد می‌کند.

برخی بر این باورند که انتهای بالای برقگیر باید تیز باشد. این باور مبتنی بر این واقعیت است که یک نوک تیز میدان قوی‌تری نسبت به یک نوک پهن ایجاد می‌کند و بنابراین موجب محافظت بیشتری می‌شود. اما استدلال مغایر آن، این است که یک نوک تیز، یونیدگی مولکول‌های هوای اطراف برقگیر را افزایش می‌دهد که این خود باعث کاهش اثر حفاظتی برقگیر می‌شود. در هر حال آزمایش‌ها نشان داده است که غالباً آذرخش به نوکی نسبتاً پهن بیشتر از یک نوک تیز ضربه می‌زند. به این منظور آزمایش زیر را در نظر بگیرید که با یک اسباب آزمایشگاهی این رویداد را شبیه‌سازی می‌کند. نخست کلاhek مولد وان دوگراف به تنهایی در نزدیکی گویی فلزی با دسته عایق قرار دارد که خود توسط

سیم به زمین مولد وان دوگراف متصل است. کلاhek مولد شبیه یک ابر باردار و گوی فلزی شبیه رأس یک ساختمان بلند است. وقتی مولد روشن باشد، کلاhek مولد هر چند ثانیه یک بار به گوی فلزی جرقه‌ای بزرگ می‌زند که هم صدای آن شنیده می‌شود و هم نور آن دیده می‌شود. این شبیه ضربه آذرخش به یک نوک پهن یا رأس یک ساختمان است.

در قسمت دوم آزمایش، میله نوک تیز L شکلی را که با سیم به زمین مولد وصل شده است، در بالای مولد قرار می‌دهیم. این میله نوک تیز L شکل، مشابه میله برق‌گیر است، در حضور میله نوک تیز، یک تخلیه بار تدریجی بین کلاhek مولد و این میله رخ می‌دهد و دیگری خبری از جرقه‌های بین کلاhek مولد و گوی فلزی نخواهد بود. در این حالت اگر فضای آزمایشگاه را تاریک کنیم، هاله روشنی در نزدیکی نوک تیز میله مشاهده خواهید کرد که نشانه تخلیه تدریجی بار است. جالب است که این

پدیده حتی در حالتی که میله نوک تیز در فاصله دورتری از کلاهک، نسبت به فاصله گوی فلزی تا کلاهک، باشد همچنان رخ خواهد داد. به عبارتی، میله نوک تیز، با تخلیه تدریجی، گوی را از برخورد جرقه محافظت کرده است.

پرسش ۱-۶ (صفحه ۳۶)

به این پرسش به دو صورت می توان پاسخ داد. یک روش، با توجه به طرح درس کتاب است و اینکه بگوییم چون ظرفیت خازن با حضور دی الکتریک افزایش می یابد، بنابراین طبق رابطه $V = Q/C$ ، با توجه به اینکه بار تغییر نکرده است، اختلاف پتانسیل باید کاهش یابد.

اما توضیح دقیق تر و علمی ماجرا آن است که همان طور که در متن درس اشاره شد، وقتی دی الکتریک قطبی در میدان الکتریکی بین دو صفحه خازن قرار می گیرد، مولکول های دو قطبی آن در جهت میدان الکتریکی همردیف می شوند و وقتی یک دی الکتریک غیرقطبی در این میدان قرار گیرد، مولکول های آن در راستای میدان قطبیده می شوند. چه در مورد دی الکتریک های قطبی و چه در مورد دی الکتریک های غیرقطبی، دو قطبی های مولکولی در فضای بین دو صفحه خازن میدانی الکتریکی ایجاد می کنند، به طوری که میدان الکتریکی حاصل از آن ها می کوشند میدان الکتریکی خارجی را تضعیف کنند. به عبارتی، میدان الکتریکی ناشی از بارهای قطبیده در خلاف جهت میدان الکتریکی خارجی است و بدین ترتیب برای خازنی که به باتری وصل نیست، میدان الکتریکی برآیند داخل دی الکتریک ضعیف تر از میدان الکتریکی اولیه می شود. به عبارتی، حضور دی الکتریک در فضای بین دو صفحه خازن، میدان الکتریکی اولیه را تضعیف می کند. بنابراین، وقتی خازن به باتری وصل نیست، میدان اولیه بین صفحه ها کاهش می یابد و در نتیجه اختلاف پتانسیل بین صفحه ها نیز کاهش پیدا می کند. شکل زیر همردیف شدن مولکول های یک دی الکتریک قطبی را در میدان دو صفحه خازن نشان می دهد.

الف) مولکول های دو قطبی در حضور میدان الکتریکی خارجی $\vec{E}$ همردیف شده اند.	ب) این همردیفی، بارهایی سطحی را روی دو وجه دی الکتریک ایجاد می کند که موجب تضعیف میدان الکتریکی	پ) میدان الکتریکی $\vec{E}'$ حاصل از بارهای سطحی در خلاف جهت میدان الکتریکی $\vec{E}$ است. میدان الکتریکی برآیند $\vec{E}$ در جهت $\vec{E}$ و کوچک تر از آن شده است.
--	---	--

فعالیت ۱-۱۰ (صفحه ۳۷)

در این کیسه های هوا، حسگر کیسه هوا خازنی است که از دو صفحه فلزی کوچک و نزدیک به هم ساخته شده است که بارهای $+Q$ و $-Q$ دارند. وقتی اتومبیل ناگهان متوقف می شود، صفحه عقبی که سبک تر است به سمت صفحه سنگین تر جلویی حرکت می کند. این حرکت موجب تغییر ظرفیت خازن (نسبت Q به اختلاف پتانسیل V بین صفحه ها) می شود و یک مدار الکتریکی این تغییر را آشکارسازی کرده و کیسه های هوا را به کار می اندازد.

تمرین ۱-۱۲ (صفحه ۳۸)

با استفاده از رابطه $1 - 18$ داریم:

$$C = k\epsilon \cdot \frac{A}{d} = 3/0 \cdot (8/85 \times 10^{-12} \text{F/m}) \frac{1/0 \times 10^{-10} \text{m}^2}{10/0 \times 10^{-9} \text{m}} = 2/66 \times 10^{-12} \text{F} \approx 0/27 \text{pF}$$

حال با استفاده از تعریف ظرفیت، بار Q را به دست می‌آوریم:

$$Q = C \Delta V = (2/66 \times 10^{-12} \text{F})(0/085 \text{V}) = 2/26 \times 10^{-14} \text{C} \approx 2/3 \times 10^{-14} \text{C}$$

بزرگی بار هر یون در هر طرف غشاء برابر $1/60 \times 10^{-19} \text{C}$ است. بنابراین تعداد یون‌ها برابر است با

$$\text{تعداد یون‌ها} = \frac{2/26 \times 10^{-14} \text{C}}{1/60 \times 10^{-19} \text{C/ion}} = 1/41 \times 10^5$$

که با توجه به اینکه اختلاف پتانسیل با دو رقم با معنا داده شده است آن را باید به صورت $1/4 \times 10^5$ یون بیان کرد.

فعالیت ۱- ۱۱ (صفحه ۳۸)

خازن‌ها انواع متعددی دارند؛ زیرا برای کاربردهای مختلفی ساخته می‌شوند. در اینجا با چند نمونه خازن آشنا می‌شوید.

خازن‌های میکا: بین ورقه‌های فلزی نازک قلعی، ورقه‌های نازک میکا قرار می‌دهند و ورقه‌های قلع را یک در میان به یکدیگر وصل می‌کنند. ظرفیت این خازن‌ها حدود ۵۰ تا ۵۰۰ پیکوفاراد است.

ورقه فلزی

سیم رابط

ورقه فلز

خازن‌های ورقه‌ای: این خازن‌ها از دو ورقه قلع یا آلومینیم تشکیل شده‌اند که بین آن‌ها دو ورقه دی‌الکتریک مانند کاغذ یا پلاستیک جا داده می‌شود. این ورق‌ها را لوله می‌کنند و به صورت یک استوانه در می‌آورند و در محفظه‌ای پلاستیکی قرار می‌دهند. ظرفیت این نوع خازن‌ها از ۱ nF تا ۱ μF است.

خازن‌های سرامیکی: دی‌الکتریک این خازن‌ها سرامیک است که با استفاده از انواع سیلیکات‌ها در دمای بالا تهیه می‌شود. ثابت دی‌الکتریک این خازن‌ها زیاد و در حدود ۱۰۰۰ است. خازن‌های سرامیکی به شکل عدس تهیه می‌شوند و حجم آن‌ها کم است. صفحه‌های رسانای آن‌ها نیز با ذوب نقره در دو طرف سرامیک تهیه می‌شود. ظرفیت این خازن‌ها حدود دهه نانوفاراد (nF) است.

پوشش محافظ
دی‌الکتریک
الکترو
سیم رابط

قطب مثبت

قطب منفی

دی‌الکتریک

صفحه فلزی

آلومینیم

عایق پلاستیکی

خازن‌های الکترولیتی: این خازن‌ها از یک صفحه فلزی اندود شده با اکسید آلومینیوم، به طوری که صفحه فلزی قطب مثبت خازن و لایه اکسید، دی‌الکتریک آن باشد، تشکیل شده است. الکترولیت جامد یا مایع (که غالباً کاغذی آغشته به مایع الکترولیت است) به عنوان قطب منفی خازن عمل می‌کند. ظرفیت این خازن‌ها بالاست و تا حدود ۰/۱ F می‌رسد.

آبرخازن: این نوع خازن‌ها از موادی مانند زغال فعال^۱ پر شده‌اند که خود درون نوعی الکتریک قرار گرفته‌اند. زغال‌ها پس از قرار گرفتن در دو سوی خازن که توسط غشای عایق و نفوذپذیری به نام جداکننده از هم جدا شده‌اند بارهایی با علامت مخالف می‌گیرند. با توجه به نفوذپذیری جداکننده، یون‌های موجود در الکترولیت از غشای جداکننده عبور می‌کنند به طوری که یون‌های منفی در سمت زغال‌های باردار مثبت و یون‌های مثبت در سمت زغال‌های باردار منفی قرار می‌گیرند. هر یک از جفت بارهای مثبت و منفی زغال- یون به مثابه خازنی با فاصله جدایی d است که میلیون‌ها بار کوچک‌تر از فاصله جدایی صفحه‌های یک خازن معمولی است. از طرفی ساختار میکروسکوپی زغال‌های فعال اسفنجی‌شکل است، به طوری که در مقایسه نانو سطح تماس بسیار بزرگی با یون‌ها دارند و بدین ترتیب مساحت A صفحه‌های این خازن نیز به مراتب بزرگ‌تر از مساحت سطح یک خازن معمولی است. بنابراین این خازن‌ها ظرفیت‌های بسیار بزرگی از مرتبه کیلو فاراد دارند که میلیون‌ها برابر ظرفیت خازن‌های معمولی است. یکی از ویژگی‌های این خازن‌ها آن است که خیلی سریع‌تر از باتری‌های شارژ‌شدنی، شارژ می‌شوند و می‌توان آن‌ها را به دفعاتی تا هزاران بار بیشتر از باتری‌ها شارژ کرد. همین ویژگی است که باعث استفاده از این خازن‌ها در وسایل نقلیه الکتریکی می‌شود.

خازن تخت

آبرخازن

طرحی از ساختار یک آبر خازن در مقایسه با یک خازن تخت معمولی. به تفاوت d ها توجه کنید. در عمل این تفاوت به مراتب بیشتر است. d در یک آبر خازن از مرتبه نانومتر است.

خازن‌های متغیر: دی‌الکتریک این خازن‌ها معمولاً هواست در ساختمان آن‌ها دو نوع صفحه فلزی، یک دسته ثابت و دسته دیگر متحرک به کار رفته است که هر دو دسته، روی یک محور قرار گرفته‌اند؛ ولی صفحه‌های متحرک روی این محور می‌چرخند. صفحه‌ها به شکل نیم‌دایره‌اند و با چرخیدن صفحه‌های متحرک، مساحت خازن کم و زیاد می‌شود. این نوع خازن‌ها در گیرنده‌های رادیویی به کار می‌رفته است. نماد مداری این خازن‌های به صورت  است.

^۱ Activated charcoal

پرسش و تمرین‌های فصل ۱

۱- این تمرین مروری است بر آنچه در کتاب علوم تجربی پایه هشتم تدریس شده و خوب است دانش‌آموزان به مرور آن مطالب تشویق شوند.

الف) میله پلاستیکی یا میله شیشه‌ای باردار را به کلاهک الکتروسکوپ بدون بار نزدیک می‌کنیم و با فاصله گرفتن صفحات آن، به باردار بودن میله‌ها پی می‌بریم.

ب) نخست مثلاً توسط یک میله پلاستیکی باردار الکتروسکوپ را از طریق تماس میله با کلاهک آن باردار می‌کنیم. حال اگر به کلاهک الکتروسکوپ باردار، میله رسانا را (در حالی که آن را با دست خود گرفته‌ایم) تماس دهیم الکتروسکوپ تخلیه می‌شود، ولی میله عایق نمی‌توان الکتروسکوپ را تخلیه کند.

پ) اکنون باید میله باردار شیشه‌ای یا پلاستیکی را به الکتروسکوپ باردار شده نزدیک کنیم. اگر الکتروسکوپ پیشتر باردار منفی شده باشد با نزدیک شدن میله باردار منفی صفحه‌های آن بیشتر فاصله می‌گیرند، در حالی که نزدیک شدن میله باردار مثبت صفحات را به هم نزدیک می‌کند و اگر الکتروسکوپ پیشتر باردار مثبت شده باشد، برعکس.

(ب)

(الف)

۲- الف) بار الکتریکی در پارچه پشمی به همان اندازه، ولی با علامت مثبت می‌شود.

ب) با توجه به اینکه $q = ne$ است، از این جا می‌توانیم تعداد n الکترون‌های منتقل شده را بیابیم:

$$n = \frac{12/8 \times 10^{-9} \text{C}}{1/60 \times 10^{-19} \text{C}} = 8/00 \times 10^{10}$$

۳- الف) بار الکتریکی اتم کربن خنثی، صفر است، ولی هسته اتم کربن ۶ پروتون دارد و بنابراین بار آن برابر $q = +6e$

می‌شود که در آن $e = 1/60 \times 10^{-19} \text{C}$ است: $q = 6(1/60 \times 10^{-19} \text{C}) = 9/60 \times 10^{-19} \text{C}$.

ب) بار اتم کربن یک بار یونیده $+1e$ است.

۴- چون اندازه گوی‌ها با هم برابر است و هر دو رسانا هستند، پس از تماس گوی‌ها بارهای یکسانی در آن‌ها ظاهر می‌شود.

بنابراین پس از تماس گوی‌ها داریم

$$q = \frac{q_1 + q_2}{2} = \frac{4/0 \text{ nC} - 6/0 \text{ nC}}{2} = -1/0 \text{ nC}$$

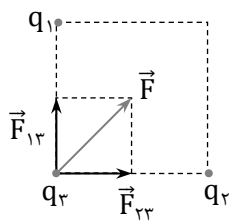
و در نتیجه نیروی بین دو گوی چنین می‌شود:

$$\begin{aligned} F &= k \frac{|q_1||q_2|}{r^2} = k \frac{|q|^2}{r^2} \\ &= (9/0 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2}) \frac{(1/0 \times 10^{-9} \text{C})^2}{(0/30 \text{m})^2} \\ &= 1/0 \times 10^{-7} \text{N} \end{aligned}$$

همان‌طور که گفتیم، پس از تماس، بار گوی‌ها یکسان می‌شود و بنابراین همدیگر را دفع می‌کنند. یعنی نیرو، رانشی است.

۵- نخست، نیروی وارد بر بار q_3 را رسم می‌کنیم. از آن‌جا داریم

$$\vec{F} = F_{23}\vec{i} + F_{13}\vec{j}$$



که با توجه به اینکه $q_1 = q_2$ و فاصله بارها از q_3 یکسان است، $F_{23} = F_{13}$ است و از قانون کولن داریم:

$$\begin{aligned} F_{23} = F_{13} &= k \frac{|q_2||q_3|}{r_{23}^2} \\ &= (9/0 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2}) \frac{(5 \times 10^{-6} \text{C})(0/2 \times 10^{-6} \text{C})}{(3 \text{m})^2} \\ &= 0/001 \text{N} = 1 \text{mN} \end{aligned}$$

در نتیجه نیروی خالص وارد بر بار q_3 چنین می‌شود:

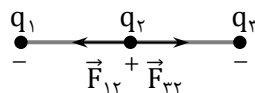
$$\vec{F} = (1 \text{mN})\vec{i} + (1 \text{mN})\vec{j}$$

می‌توانیم بزرگی این نیرو را نیز محاسبه کنیم

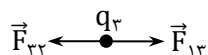
$$F = \sqrt{(0/001 \text{N})^2 + (0/001 \text{N})^2} = 1/41 \times 10^{-3} \text{N} \approx 1 \text{mN}$$

توجه کنید چون داده‌های مسئله فقط با یک رقم معنی‌دار داده شده‌اند، پاسخ نهایی نیز باید با یک رقم معنی‌دار، به صورت $F = 1 \text{mN}$ ، گزارش شود.

۶- نیروهای وارد بر بار q_2 مانند شکل زیر می‌شود:



همان‌طور که می‌بینیم $\vec{F}_{12}$ در خلاف جهت $\vec{F}_{23}$ است و چون بارهای q_1 و q_3 و فاصله آن‌ها از q_2 یکسان است، بنابراین $F_{12} = F_{23}$ ، و در نتیجه نیروی خالص وارد بر q_2 برابر صفر می‌شود. اما در مورد q_3 داریم:



دوباره نیروها در خلاف جهت هم هستند، ولی چون فاصله بارهای q_3 و q_2 کمتر از فاصله بارهای q_1 و q_2 است و همچنین $|q_1| > |q_2|$ ، $|\vec{F}_{12}| > |\vec{F}_{23}|$ خواهد بود و نیروی برآیند در خلاف جهت مثبت محور X وارد می‌شود. بزرگی این نیروها با استفاده از قانون کولن برابر است با

$$\begin{aligned} F_{23} &= k \frac{|q_2||q_3|}{r_{23}^2} \\ &= (9/0 \times 10^9 \frac{N.m^2}{C^2}) \frac{(5/0 \times 10^{-9}C)(4/0 \times 10^{-9}C)}{(0/08.m)^2} \\ &= 2/8 \times 10^{-5}N \\ F_{12} &= k \frac{|q_1||q_2|}{r_{12}^2} \\ &= (9/0 \times 10^9 \frac{N.m^2}{C^2}) \frac{(4/0 \times 10^{-9}C)(4/0 \times 10^{-9}C)}{(0/16m)^2} \\ &= 5/62 \times 10^{-6}N \end{aligned}$$

بنابراین $\vec{F}$ چنین می‌شود:

$$\begin{aligned} \vec{F} &\approx (5/62 \times 10^{-6}N)\vec{i} - (2/8 \times 10^{-5}N)\vec{i} \\ &\approx 2/2 \times 10^{-5}(-\vec{i}) \end{aligned}$$

۷- الف) از برابر قرار دادن بزرگی نیروی الکتریکی دافعه کولنی و نیروی وزن که در خلاف جهت هم‌اند داریم:



$$mg = k \frac{q^2}{r^2}$$

$$\begin{aligned} q &= \sqrt{\frac{mgr^2}{k}} \\ &= \sqrt{\frac{(2/8 \times 10^{-5}kg)(9/8 \frac{N}{kg})(0/01m)^2}{9/0 \times 10^9 \frac{N.m^2}{C^2}}} \\ &= 1/65 \times 10^{-8}C \approx 16nC \end{aligned}$$

و از آنجا

ب) با استفاده از رابطه $q = ne$ داریم:

$$n = \frac{q}{e} = \frac{1/65 \times 10^{-8}C}{1/60 \times 10^{-19}C} \approx 10^{11} \text{ الکترون}$$

خوب است توجه کنید پاسخ‌های به‌دست آمده در این مسئله فقط تخمین‌هایی از مقادیر واقعی هستند؛ زیرا همان‌طور که در متن درس بیان کردیم شرط استفاده از قانون کولن آن است که فاصله بین دو جسم باردار، خیلی بزرگتر از ابعاد هریک از دو جسم باشد و گوی‌هایی که بتوانند بار $16nC$ را روی خود نگه دارند باید شعاعی در حدود چند سانتی‌متر داشته باشند تا هوای پیرامون‌شان دستخوش فرو ریزش نگردد. وقتی این گوی‌ها در فاصله $1cm$ از هم باشند، شرط ذره‌ای بودن برآورده نمی‌شود.

۸- با توجه به یکنواخت بودن میدان الکتریکی و با توجه به اینکه $\vec{F} = q\vec{E}$ است، نیروی وارد بر ذره در هر دو نقطه برابر است.

۹- الف) هر پروتون را می‌توان به صورت یک ذره باردار در نظر گرفت. بنابراین بزرگی نیروی دافعه الکتروستاتیکی وارد بر یکی، از سوی دیگری با قانون کولن داده می‌شود:

$$F = k \frac{|q_p||q_p|}{r^2} = k \frac{|q_p|^2}{r^2}$$

$$= (9/0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{C}^2}) \frac{(1/60 \times 10^{-19} \text{ C})^2}{(4/0 \times 10^{-15} \text{ m})^2}$$

$$= 14/4 \text{ N} \approx 14 \text{ N}$$

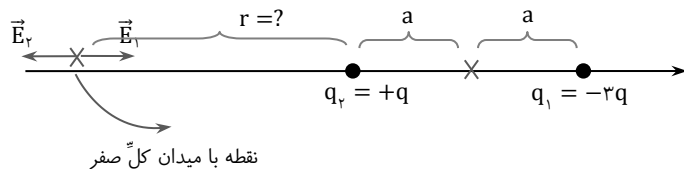
ب) هسته شامل ۲۶ پروتون است. بنابراین $q_{\text{هسته}} = 26e$ و داریم:

$$E = k \frac{q_{\text{هسته}}^2}{R^2}$$

$$= (9/0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{C}^2}) \frac{26^2 (1/60 \times 10^{-19} \text{ C})^2}{(1/0 \times 10^{-10} \text{ m})^2}$$

$$= 3/744 \times 10^{12} \frac{\text{N}}{\text{C}} \approx 3/7 \times 10^{12} \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

۱۰- توجه کنید برای بررسی این موضوع باید بار آزمون را در سه نقطه سمت چپ $+q$ ، در حدواسط $+q$ و $-3q$ ، و در سمت راست $-3q$ قرار دهیم. اگر بار آزمون را در سمت راست $-3q$ یا در حدواسط بارهای $+q$ و $-3q$ قرار دهیم، امکان ایجاد تعادل، و صفر شدن میدان الکتریکی وجود ندارد؛ چرا که اگر بار آزمون (مثبت) را در سمت راست $-3q$ قرار دهیم یک نیروی دافعه از سوی $+q$ و یک نیروی جاذبه از سوی $-3q$ دریافت می‌کند. اما نیروی جاذبه حاصل از بار $-3q$ به دلیل آنکه ناشی از اندازه بار بزرگ‌تری است و نیز در فاصله کم‌تری از بار $+q$ قرار دارد، امکان ندارد با نیروی دافعه حاصل از $+q$ به تعادل درآید و خنثی شود. اما در خط واصل بارهای $+q$ و $-3q$ ، سوی نیروهای وارد از بارهای $+q$ و $-3q$ در یک جهت است و اصلاً حالتی متصور نیست که این دو نیرو، همدیگر را خنثی کنند. تنها می‌ماند سمت چپ بار $+q$. در این سمت، نیروی دافعه حاصل از بار $+q$ و نیروی جاذبه حاصل از بار $-3q$ برخلاف جهت یکدیگرند، اما برخلاف وضعیتی که در سمت راست بار $-3q$ هستیم، هر دو پارامتر بزرگی بار و اندازه فاصله، به نفع یک نیرو چربش ندارد. در حالی که بار $+q$ کوچک‌تر است، اما در عوض فاصله آن هم کم‌تر است و در حالی که فاصله $-3q$ زیاد است، اما در عوض بزرگی بار آن هم زیاد است. می‌توانیم محل دقیق صفر شدن میدان کل را نیز به دست آوریم. همان‌طور که دیدیم، میدان کل در سمت چپ بار $+q$ می‌تواند صفر باشد. با توجه به اینکه میدان‌های $\vec{E}_1$ و $\vec{E}_2$ هم‌اندازه و در خلاف سوی یکدیگرند، خواهیم داشت:



$$E_1 = E_2$$

$$k \frac{|q_1|}{r_1^2} = k \frac{|q_r|}{r_r^2}$$

$$k \frac{3q}{(r+ra)^2} = k \frac{q}{r^2}$$

و در نتیجه

$$\frac{\sqrt{3}}{r+ra} = \frac{1}{r}$$

و از آنجا

$$r = \frac{2}{\sqrt{3}-1} a \approx (\sqrt{3} + 1)a$$

$$\approx 2/\sqrt{3}a$$

یعنی نقطه با میدان کل صفر روی محور X، در سمت چپ بار +q، و در فاصله $r = (\sqrt{3} + 1)a$ ، از بار +q واقع است. تبصره. ما سه حالت روی محور را در قسمت الف بررسی کردیم، اگر بار آزمون را در هر نقطه‌ای غیر از محور شکل قرار دهیم و خطوط میدان را رسم کنیم، در خواهیم یافت که در هر نقطه یک میدان برآیند غیر صفر خواهیم داشت و امکان ندارد میدان الکتریکی صفر شود.

البته در کتاب‌های پیشرفته‌تر، پایداری تعادل بار آزمون در نقطه میدان صفر نیز بررسی می‌شود. به این ترتیب که آیا با جابه‌جا کردن بار آزمون از نقطه با میدان صفر، آیا بار دوباره به محل خود (نقطه تعادل) بازمی‌گردد یا خیر. ثابت می‌شود که در حالت کلی، در نقطه با میدان الکتریکی صفر، و صرفاً با حضور نیروهای کولنی، تعادل پایدار نداریم و از این واقعیت به عنوان قضیه Earnshaw یاد می‌شود، به عبارتی، قضیه Earanshaw در حالت کلی بیان می‌دارد که در الکتروستاتیک تعادل پایدار نداریم.

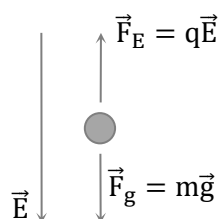
(ب) جهت نیروهای وارد بر بار آزمون واقع بر مبدأ هر دو در سوی مثبت محور X است و بنابراین، بزرگی میدان‌های الکتریکی در نقطه O با هم جمع می‌شود:

$$E = k \frac{q}{a^2} \vec{i} + k \frac{q}{a^2} \vec{i}$$

$$= 2k \frac{q}{a^2} \vec{i}$$

بنابراین، بزرگی میدان الکتریکی برآیند در مبدا مختصات $E = 2k \frac{q}{a^2}$ ، و جهت در سوی مثبت محور X است.

۱۱- چون نیروی گرانشی رو به پایین بر ذره اثر می‌کند، نیروی الکتریکی باید در خلاف جهت آن و رو به بالا باشد. می‌دانیم نیروی الکتریکی وارد بر بار منفی در خلاف جهت میدان الکتریکی است. بنابراین نوع بار باید حتماً منفی باشد و شکلی مانند زیر داریم.



از شرط تعادل نیروها داریم

$$|q|E = mg$$

$$|q| = \frac{mg}{E} = \frac{(2 \times 10^{-3})(10^{-3} \text{ N})}{(5 \times 10^{-5} \text{ N/C})}$$

$$= 4 \times 10^{-8} \text{ C} = 4 \text{ nC}$$

۱۲- از تقارن شکل واضح است که همه میدان‌های حاصل از بارهای روی دو مربع همدیگر را دوه دو خنثی می‌کند، به جز دو باری که در وسط دو ضلع سمت چپ و راست مربع بزرگ قرار دارند. در این صورت، میدان الکتریکی در نقطه P، برآیند میدان‌های حاصل از میدان این دو بار می‌شود. توجه کنید برای بررسی جهت میدان، باید بار آزمون (مثبت) را در نقطه P قرار

دهیم. بار آزمون توسط هر دو بار جذب می‌شود، اما چون بار سمت چپ بزرگ‌تر است، جهت میدان برایند به‌سوی آن است. بنابراین، خواهیم داشت:

$$\begin{aligned}\vec{E}_p &= k \frac{q}{d^2} (-\vec{i}) + k \frac{q}{d^2} (\vec{i}) \\ &= \frac{kq}{d^2} (-\vec{i})\end{aligned}$$

بنابراین، بزرگی میدان در نقطه P برابر با $E_p = k \frac{q}{d^2}$ و جهت رو به سمت چپ است.

۱۳- از متن درس آموختیم که خطوط میدان الکتریکی در جهت نیروی وارد بر بار آزمون هستند و بنابراین برای بار مثبت، رو به خارج و برای بار منفی، رو به داخل می‌شود. پس بار q_1 مثبت و بار q_2 منفی است. همچنین آموختیم در هر ناحیه که میدان قوی‌تر باشد، خطوط میدان الکتریکی فشرده‌ترند. بنابراین، با توجه به فشردگی بیشتر خطوط میدان الکتریکی در نزدیکی بار q_1 ، درمی‌یابیم بزرگی بار q_1 بیشتر است. این را می‌توان از تعداد خطوط میدان خروجی از بار q_1 و ورودی به بار q_2 نیز دریافت. به عبارتی، هرچه تعداد خطوط خروجی از یک بار مثبت (یا ورودی به یک بار منفی) بیش‌تر باشد، به معنی بزرگ‌تر بودن، اندازه آن بار است.

۱۴- با توجه به آنچه از متن درس آموختیم، درمی‌یابیم همهٔ موارد غیر از مورد (ت) نادرست‌اند. در ادامه، دلایل ارائه می‌شود.
شکل الف:

یکی از موارد نادرست در این شکل آن است که برای هر دو بار مثبت و منفی، خطوط میدان را رو به بیرون گرفته است. در حالی که می‌دانیم برای بار منفی باید خطوط میدان رو به داخل باشد.

شکل ب:

یکی از موارد نادرست در این شکل آن است که خطوط میدان، در نقاط غیرواقع بر خط واصل دو بار، جهت میدان برایند را به‌درستی نشان نمی‌دهند، یعنی خطوط میدان آغاز شده از بار مثبت، فقط جهت میدان ناشی از بار مثبت را نشان می‌دهند، و خطوط میدان ختم شده به بار منفی، فقط جهت میدان ناشی از بار منفی را نشان می‌دهند.

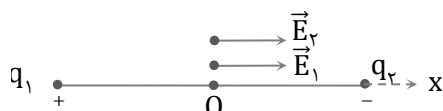
شکل پ:

خطای این شکل، در نادرستی جهت خطوط میدان است. در این شکل، خطوط از بار منفی آغاز و به بار مثبت ختم شده‌اند، که درست نیست.

شکل ت:

این شکل صحیح است. در این شکل، خطوط میدان دو قطبی الکتریکی را می‌بیند. شکل ۱-۱۸، کتاب، نمایش سه بعدی همین خطوط را نشان می‌دهد. همچنین در پرسش ۱-۵، کتاب، رسم دو بعدی این خطوط را دیدید. در فعالیت ۱-۳ کتاب نیز، طرحی واقعی از خطوط میدان دوقطبی الکتریکی را مشاهده کردید.

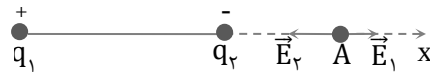
۱۵- الف) با قرار دادن بار آزمون در نقطه O درمی‌یابیم که میدان‌های حاصل از بارهای q_1 و q_2 در یک جهت (سوی $+\vec{i}$) هستند.



بنابراین در نقطه O داریم:

$$\begin{aligned}\vec{E}_0 &= \vec{E}_1 + \vec{E}_r = 2\vec{E}_1 = 2k \frac{q_1}{r^2} \vec{i} \\ &= 2(9/0 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2) \frac{(1/0 \times 10^{-9} \text{ C})}{(0/030 \text{ m})^2} \vec{i} \\ &= (2/0 \times 10^4 \text{ N/C}) \vec{i}\end{aligned}$$

بنابراین، بزرگی میدان در نقطه O برابر با $2/0 \times 10^4 \text{ N/C}$ و جهت آن به طرف راست ($+\vec{i}$) است. در نقطه A، میدان‌ها در خلاف جهت یکدیگرند و بنابراین بزرگی میدان‌ها از کم می‌شود.



$$\vec{E}_A = \vec{E}_r + \vec{E}_1$$

که چون q_2 به نقطه A نزدیک‌تر است $E_r > E_1$ می‌شود و میدان الکتریکی برآیند در جهت $-\vec{i}$ خواهد بود:

$$\begin{aligned}\vec{E}_A &= (E_r - E_1)(-\vec{i}) \\ &= \left(\frac{kq}{r^2} - \frac{kq}{r_1^2}\right)(-\vec{i}) \\ &= (9/0 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2)(1/0 \times 10^{-9} \text{ C}) \left(\frac{1}{(0/030 \text{ m})^2} - \frac{1}{(0/090 \text{ m})^2}\right)(-\vec{i}) \\ &= 8/9 \times 10^3 \text{ N/C } (-\vec{i})\end{aligned}$$

بنابراین، بزرگی میدان در نقطه A برابر $E_A = 8/9 \times 10^3 \text{ N/C}$ ، جهت آن به طرف چپ ($-\vec{i}$) است.

(ب) خیر. در پاسخ پرسش ۱۰ استدلال کردیم که برای دو بار نقطه‌ای ناهمنام، نقطه‌ای که در آن میدان الکتریکی برآیند صفر باشد، خارج از فاصله بین دو بار، و در طرف بار با اندازه کوچک‌تر است. با توجه به این‌که در این مسئله، اندازه دو بار مساوی است، مرور آن استدلال به شما نشان می‌دهد چنین نقطه‌ای در فضای پیرامون این دو بار وجود ندارد، که میدان خالص در آن صفر باشد.

۱۶- الف) نیرو از رابطه $F_E = |q|E$ به دست می‌آید. بنابراین چون میدان، یکنواخت است نیروی الکتریکی وارد بر بار q در تمام نقاط مسیر برابر است با

$$F_E = (50 \times 10^{-9} \text{ C})(8/0 \times 10^5 \text{ N/C}) = 4/0 \times 10^{-2} \text{ N}$$

(ب) کار نیروی الکتریکی از رابطه $W = |q|Ed \cos\theta$ به دست می‌آید. بنابراین در مسیر AB که $\theta = 90^\circ$ است $W_{AB} = 0$ می‌شود، ولی در مسیر BC جابه‌جایی در خلاف جهت نیروی الکتریکی و $\theta = 180^\circ$ است داریم:

$$\begin{aligned}W_{BC} &= -|q|Ed \\ &= -(50 \times 10^{-9} \text{ C})(8/0 \times 10^5 \text{ N/C})(0/40 \text{ m}) \\ &= -0/016 \text{ J}\end{aligned}$$

کار نیروی الکتریکی در مسیر ABC برابر با حاصل جمع کار نیروی الکتریکی در مسیرهای AB و BC است، و بنابراین برابر همان $-0/016 \text{ J}$ می‌شود.

(پ) می‌دانیم $\Delta U_E = -W_E$ است و بنابراین $\Delta U_E = 0/016 \text{ J}$ می‌شود.

۱۷- الف) چون بار آزمون در خلاف جهت میدان جابه‌جا شده است و نیروی الکتریکی وارد به میدان هم‌سو با میدان است، $\theta = 180^\circ$ و در نتیجه کار نیروی الکتریکی طبق رابطه $W_E = |q|Ed \cos\theta$ ، مقداری منفی می‌شود.

(ب) چون $\Delta K = 0$ است، مجموع کار نیروی خارجی (W_{ext}) و کار نیروی الکتریکی (W_E) برابر صفر است و بنابراین کار نیروی خارجی، مثبت است.

(پ) طبق رابطه $\Delta U = -W_E$ چون $W_E < 0$ شده است، $\Delta U > 0$ می‌شود. پس انرژی پتانسیل زیاد می‌شود.
(ت) با توجه به رابطه $\Delta V = \Delta U_E/q$ و مثبت بودن ΔU و q ، ΔV نیز مثبت می‌شود. از طرفی $\Delta V = V_B - V_A$ است. چون $\Delta V > 0$ است، بنابراین پتانسیل B از پتانسیل A بیش‌تر است.

تبصره. روش دیگر حل چنین مسائلی است که بگوییم وقتی بار مثبت را برخلاف جهت میدان الکتریکی حرکت می‌دهیم، انرژی پتانسیل گرانشی زیاد می‌شود. این اظهارنظر در تشابه با گرانش است که وقتی در خلاف جهت میدان گرانشی حرکت کنیم، انرژی پتانسیل زیاد می‌شود. این اظهارنظر در تشابه با گرانش است که وقتی در خلاف جهت میدان گرانشی حرکت کنیم، انرژی پتانسیل گرانشی زیاد می‌شود. افزایش انرژی پتانسیل (برای بار مثبت) و با توجه به رابطه $V = \frac{U_E}{q}$ ، به معنی افزایش پتانسیل است. می‌دانیم به ازای $\Delta K = 0$ انرژی پتانسیل به کار نیروی خارجی مثبت می‌انجامد و با توجه به این‌که $W_{\text{ext}} = -W_E$ می‌شود، کار میدان الکتریکی منفی است.

یک پرسش تکمیلی که می‌توان برای این پرسش مطرح کرد این است که بار را در مسیرهای غیرمستقیمی از A به B نزدیک کرد و دوباره همین پرسش‌ها را مطرح کرد.

۱۸- در شکل الف، در پیرامون همه نقاط مسیر A تا B، خطوط میدان متراکم‌تر از دو شکل دیگر است و بنابراین میدان الکتریکی قوی‌تر و نیروی وارد به پروتون در این حالت بیش‌تر از بقیه حالت‌ها است و با توجه به این‌که $\vec{a} = \vec{F}/m$ است، شتاب پروتون نیز بیش‌تر می‌شود. بنابراین، سرعت نهایی پروتون نیز در جابه‌جایی یکسان، بیش‌تر می‌شود. البته خوب بود مسئله ترتیب سرعت‌ها را نیز می‌پرسید. در این صورت، سرعت پروتون در نقطه B برای آرایش (ب) بیش‌تر از آرایش (پ) می‌شد، زیرا فاصله خطوط میدان همه نقاط مسیر در شکل پ، در مقایسه با دو شکل دیگر از همه بیش‌تر است که این به معنی ضعیف‌تر بودن میدان در مقایسه با دو شکل دیگر است. (در حل چنین مسائلی توجه کنید که خطوط میدان در همه شکل‌ها با مقیاس یکسانی رسم شده باشند.)

۱۹- با استفاده از رابطه $|\Delta V| = Ed$ ، میدان الکتریکی را محاسبه می‌کنیم:

$$E = \frac{|\Delta V|}{d} = \frac{100V}{2/0.0 \times 10^{-2}m} = 5/00 \times 10^3 V/m$$

در متن درس اشاره کردیم که با حرکت در سوی خطوط میدان، از پتانسیل الکتریکی بیش‌تر به سمت پتانسیل الکتریکی کم‌تر می‌رویم. همچنین دیدیم خطوط میدان از بارهای مثبت آغاز و به بارهای منفی ختم می‌شود. بنابراین، صفحه باردار مثبت در پتانسیل بالاتری نسبت به صفحه منفی قرار دارد.

۲۰- (الف) با استفاده از رابطه $\Delta U = q\Delta V$ داریم:

$$\begin{aligned}\Delta U &= q(V_2 - V_1) \\ &= (-40 \times 10^{-9}C)(-10V - (-40V)) = -1/2 \times 10^{-6}J = -1/2\mu J\end{aligned}$$

چون $\Delta U < 0$ شده است، پس انرژی پتانسیل الکتریکی بار q کاهش یافته است.

ب) چون از انرژی پتانسیل الکتریکی بار کاسته شده است و بار آزادانه حرکت می‌کند، بنابراین از پایداری انرژی نتیجه می‌گیریم که بر انرژی جنبشی بار افزوده می‌شود و لحظه به لحظه سرعت آن زیاد می‌شود.

۲۱- در متن درس دیدیم وقتی یک رسانای خنثی در میدان الکتریکی خارجی قرار گیرد، بارهای الکتریکی روی سطح رسانا به گونه‌ای القا می‌شوند که میدان الکتریکی خالص درون رسانا صفر شود. بنابراین، با نزدیک کردن کره به آونگ باردار، روی کره بارهای مثبت و منفی مشابه شکل زیر القا می‌شود، به طوری که سطح نزدیک به آن دارای بار منفی و سطح دور از آن، دارای بار مثبت می‌گردد. اما توجه کنید بارهای منفی به آونگ نزدیک‌ترند، پس نیروی جاذبه وارد به آونگ بیش‌تر از نیروی دافعه وارد بر آن می‌شود و کره، آونگ را جذب می‌کند. اگر فاصله کره از آونگ کم باشد، آونگ با کره تماس پیدا می‌کند. اکنون اگر گلوله آونگ هم رسانا باشد، کره و آونگ یک جسم رسانا را تشکیل می‌دهند که باید کل بار روی سطح آن‌ها پخش شود تا میدان الکتریکی خالص داخل آن صفر باشد. پس به بیانی ساده، آونگ بارهای منفی کره را خنثی می‌کند و آونگ و کره هر دو دارای بار مثبت می‌شوند و بنابراین آونگ از کره دفع می‌گردد.

۲۲- این پدیده نیز بر اثر القا صورت می‌گیرد. براده‌های ریز آلومینیومی بدون بار مثل یک رسانای خنثی هستند که در میدان الکتریکی حاصل از صفحه پلاستیکی باردار قرار گرفته‌اند. بسته به اینکه بار صفحه پلاستیکی، مثبت یا منفی باشد، در سطح مقابل آن در براده‌ها، بار منفی یا مثبت القا می‌شود که این با توجه به توضیحی که در پاسخ پرسش ۲۱ ارائه شد، موجب جذب براده‌ها به صفحه پلاستیکی می‌شود.

۲۳- با فرض آنکه بار q به یکنواخت روی شش وجه مکعبی ماهواره توزیع شده باشد، روی هر وجه آن باری به اندازه $q/6$ قرار می‌گیرد. بنابراین، چگالی سطحی بار چنین می‌شود:

$$\sigma = \frac{Q}{A} = \frac{q/6}{a^2} = \frac{(2/0 \times 10^{-9} \text{C})/6}{(0/4 \cdot \text{m})^2} = 2/0 \times 10^{-9} \frac{\text{C}}{\text{m}^2} \approx 2/1 \times 10^{-9} \frac{\text{C}}{\text{m}^2}$$

۲۴- ظرفیت خازن فقط به شکل هندسی خازن (و جنس عایق آن) نه به بار اختلاف پتانسیل بین صفحه‌ها بستگی دارد. بنابراین الف) و ب) هیچ تأثیری بر ظرفیت خازن ندارند.

۲۵- بار خازن از رابطه $Q = CV$ به دست می‌آید. با توجه به اینکه ظرفیت خازن ثابت است، بنابراین برای نمو (تغییر) Q داریم:

$$\Delta Q = C \Delta V = C(V_2 - V_1)$$

و از آنجا

$$C = \frac{\Delta Q}{V_2 - V_1} = \frac{15 \times 10^{-6} \text{C}}{40 \text{V} - 28 \text{V}} = 1/25 \times 10^{-6} \text{F} \approx 1/2 \mu\text{F}$$

۲۶- وقتی دی الکتریکی قطبی مانند آب در میدان الکتریکی خارجی قرار گیرد، مولکول‌های دوقطبی می‌کوشند در جهت میدان الکتریکی هم‌ردیف شوند، به طوری که سر منفی مولکول‌ها در جهت مقابل پیکانه خطوط میدان الکتریکی، و سر مثبت مولکول‌ها در همان جهت پیکانه خطوط میدان الکتریکی قرار گیرند. بنابراین وقتی آب در میدان الکتریکی خارجی قرار می‌گیرد، مولکول‌های دوقطبی با میدان هم‌سو می‌شوند و مثلاً اگر بادکنک بار منفی پیدا کرده باشد، سر مثبت مولکول‌های دوقطبی در برابر آن قرار می‌گیرد. بادکنک منفی، سر مثبت هر مولکول را جذب و سر منفی همان مولکول را دفع می‌کند. با

توجه به مقایسه فاصله سرهای مثبت و منفی هر مولکول تا بادکنک، نیروی جاذبه قوی تر از نیروی دافعه و این باعث جذب آن به طرف بادکنک می شود.

۲۷- برای مولکول های دوقطبی موجود در کاغذ (مثل مولکول های آب)، پاسخ همان پاسخ پرسش ۲۶ است. برای مولکول های غیرمولکول های غیرقطبی موجود در کاغذ، همان طور که شکل نشان می دهد، وقتی در میدان الکتریکی خارجی قرار می گیرند، مولکول ها بر اثر القا، قطبیده می شوند و اصطلاحاً مولکول قطبیده می شود. میدان الکتریکی باعث می شود مرکز بارهای مثبت و منفی از هم جدا شوند، به طوری که سر منفی آن ها در اینجا در مقابل بار مثبت شیشه قرار گیرد و بدین ترتیب جذب آن شود.

۲۸- از ظرفیت یک خازن تخت، مساحت صفحه های A ی آن را به دست می آوریم:

$$A = \frac{Cd}{\epsilon} = \frac{(1/0 \cdot F)(1/0 \times 10^{-3} m)}{(8/85 \times 10^{-12} \frac{F}{m})} = 1/1 \times 10^8 m^2$$

توجه کنید این مساحت، متناظر با مساحت مربعی به ضلع حدوداً ۱۰ km است. حجم چنین خازنی دست کم برابر $Ad = 1/1 \times 10^5 m^2$ است، یعنی مکعبی به ضلع تقریبی ۵۰ m. بنابراین امکان ساختن چنین خازنی به طریق معمول ناممکن و یا دست کم غیرمعقول است.

جالب است بدانید یکی از شوخی ها رایج در قدیم این بود که برخی از اساتید به دانشجویان خود می گفتند: «برو از آزمایشگاه یک خازن ۱ F بیاور!» البته امروزه می توان خازن های یک فارادی یا حتی بزرگتری را به ضلع فقط چند سانتی متر ساخت. شگرد آن این است که فضای میان صفحه ها با مواد مناسبی پر شود. مثلاً آب ر خازن ها که در فعالیت ۱-۱۱ به آن پرداختیم، از این دست است.

۲۹- توجه کنید که در این مسئله، خازن همچنان به باتری بسته شده است و بنابراین اختلاف پتانسیل بین صفحه های آن

تغییری نمی کند. پس گزینه (ب) نادرست است. با دو برابر کردن فاصله بین صفحه ها، ظرفیت خازن طبق رابطه $C = \epsilon \cdot \frac{A}{d}$ نصف می شود و بنابراین گزینه (پ) نیز نادرست است. با توجه به اینکه ظرفیت خازن کاهش می یابد، در حالی که اختلاف پتانسیل ثابت است، بار خازن طبق رابطه $Q = CV$ کاهش پیدا می کند و بنابراین گزینه (ت) نیز نادرست است. تنها گزینه درست، گزینه (الف) است، چرا که طبق رابطه $| \Delta V | = Ed$ ، با توجه به اینکه اختلاف پتانسیل ثابت است و فاصله صفحه ها دو برابر می شود، E نصف می شود.

۳۰- با استفاده از رابطه های $C = kC$ و $C = \frac{\epsilon \cdot A}{d}$ ، داریم:

$$C = k\epsilon \cdot \frac{A}{d} = (4/9)(8/85 \times 10^{-12} \frac{F}{m}) \frac{(1/0 \cdot m)^2}{(0/50 \times 10^{-3} m)} = 8/67 \times 10^{-8} F \approx 87 nF$$

۳۱- جرقه حاصل بزرگتر می شود. این انرژی از کاری حاصل می شود که با افزایش فاصله صفحات خازن (بر علیه جاذبه الکتریکی صفحه ها) توسط ما ایجاد شده است. روش دیگر آن است که بگوییم ظرفیت خازن کم شده است، ولی بار تغییر نکرده است. طبق رابطه $V = \frac{Q}{C}$ ، این به معنی افزایش اختلاف پتانسیل است. افزایش ولتاژ، خود به معنی افزایش اختلاف

انرژی پتانسیل الکتریکی است. این را به طور مستقیم از رابطه $U = \frac{Q^2}{2C}$ نیز می‌توانستیم دریابیم. پس هنگام تخلیه خازن، جرقه پرا انرژی تر و بزرگتری خواهیم داشت.

۳۲- با توجه به اینکه بار و ظرفیت خازن در مسئله دخالت دارند از رابطه $U = \frac{Q^2}{2C}$ برای انرژی خازن استفاده می‌کنیم. اما پیش از آن بهتر است نگاهی به مفهوم این مسئله بیندازیم. اگر خازن در ابتدا بدون بار باشد، تصور آن ساده‌تر است. مثلاً تصور کنید با استفاده از یک «موچین سحرآمیز» الکترون‌ها را از یک صفحه خازن برداشته و به نوبت به صفحه دیگر منتقل می‌کنیم. بر اثر این کار میدانی الکتریکی بین صفحه‌ها برقرار می‌شود و جالب است که این میدان در جهتی است که با انتقال بیشتر بار مخالفت می‌کند. بنابراین، وقتی بار بر روی صفحه‌های خازن بیشتر و بیشتر می‌شود، مجبورید برای انتقال بارهای بیشتر، به طور مدام کارهای بیشتری انجام دهید. البته در عمل می‌دانید که این کار توسط باتری صورت می‌گیرد. بنابراین، ما در اینجا مسئله‌ای کاملاً ذهنی داریم و عملاً داریم فرض می‌کنیم که با یک موچین سحرآمیز بارها را حرکت می‌دهیم و البته لحظه‌ای بینابینی در حین این روند را در نظر گرفته‌ایم، یعنی پس از اینکه موچین سحرآمیز با باردار کردن صفحه‌ها، میدان الکتریکی ایجاد کرده است و داریم به لحظه‌ای توجه می‌کنیم که موچین در حال بردن $3/0 \text{ mC}$ بار از صفحه منفی به صفحه مثبت است.

بنابراین، اگر بار صفحه‌ها را در پیش از این لحظه Q در نظر بگیریم، پس از لحظه موردنظر بار به $Q + \Delta Q$ تبدیل شده است. در نتیجه، تغییر انرژی پتانسیل با استفاده از رابطه $U = \frac{Q^2}{2C}$ چنین می‌شود:

$$\Delta U = \frac{(Q+\Delta Q)^2}{2C} - \frac{Q^2}{2C} = \frac{\Delta Q^2 + 2Q\Delta Q}{2C} = \frac{(3/0 \times 10^{-3} \text{ C})^2 + 2q(3/0 \times 10^{-3} \text{ C})}{2(12 \times 10^{-6} \text{ F})} = 0/375 + Q(0/25 \times 10^3) = 8$$

و در نتیجه $Q = 3/05 \times 10^{-2} \text{ C} \approx 3/1 \text{ mC}$ می‌شود.

تبصره. خوب است از دیدگاه ریاضی نیز نشان دهیم چرا کار این «موچین سحرآمیز» برابر افزایش انرژی پتانسیل خازن است. در لحظه شروع جابه‌جایی بار، اختلاف پتانسیل دو صفحه خازن $\frac{Q}{C}$ و در پایان جابه‌جایی $(Q + \Delta Q)/C$ است. با توجه به این که اختلاف پتانسیل دو صفحه خازن تابعی درجه اول از بار خازن است ($V = \frac{Q}{C}$)، می‌توان نتیجه گرفت که جابه‌جایی بار ΔQ تحت اختلاف پتانسیل متوسط $\bar{V}$ صورت گرفته است که برابر میانگین مقادیر اولیه و نهایی پتانسیل است که برابر نصف مجموع دو مقدار $\frac{Q}{C}$ و $(Q + \Delta Q)/C$ می‌شود. در آن صورت، پتانسیل متوسط $\bar{V}$ برابر $(2Q + \Delta Q)/2C$ به دست می‌آید که ضرب آن در ΔQ ، همان کار نیروی خارجی در این جابه‌جایی بار را به دست می‌دهد. از آنجا خواهیم یافت که $W = \bar{V} \Delta Q$ برابر مقدار محاسبه شده در بالا برای ΔU است. یعنی کار نیروی خارجی برابر افزایش انرژی پتانسیل خازن شده است.

راهنمای پاسخ‌دهی
پرسش‌ها، تمرین‌ها، فعالیت‌ها و مسئله‌های

فصل دوم

فیزیک ۲
پایه یازدهم

چاپ اول

۱۳۹۶

سخنی با همکاران

همکاران گرامی و دبیران ارجمند، متمنی است هنگام مراجعه به این مجموعه، نکات زیر را در نظر داشته باشید.

۱- در نگارش این مجموعه فرض بر این بوده است که **مخاطب، دبیر فیزیک** است. لذا حساسیت‌ها و ظرایفی که به لحاظ تعلیم و تربیتی برای مخاطب قرار دادن دانش آموز در یک متن آموزشی ضرورت دارد، در این جا مورد نگاه نبوده است. مثلاً گاه در پاسخ یک پرسش، بحثی نسبتاً طولانی ارائه شده است که متناسب حوصله معلم است، نه دانش آموز. یا ممکن است در پاسخ یک سؤال، دو یا چند راه حل داده شده باشد که قطعاً عرضه همه این پاسخ‌ها به دانش آموز، سبب خستگی وی می‌گردد.

۲- قطعاً اساتید بزرگوار، پاسخ‌ها و راه حل‌های در خور دیگری نیز برای سؤال‌ها و مسائل دارند که ای بسا به ملاحظات، پسندیده‌تر از پاسخ‌ها و توضیحات این مجموعه باشد.

۳- تجربه تعامل تعلیم و تربیتی با دانش آموزان به این نتیجه گران بها می‌انجامد که پاسخ ناتمام و ناقصی که دانش آموز در زمینه تلاش و فعالیت علمی خود به یک پرسش می‌دهد، ارجمندتر از پاسخ تمام و کاملی است که معلم به او می‌دهد و او منفعلانه به ذهن می‌سپارد.

۴- این مجموعه براساس متن درسی کتاب رشته ریاضی چاپ ۱۳۹۶ فراهم شده است. با توجه به ساده‌سازی‌های انجام شده در متن درسی کتاب رشته تجربی، ضروری است دبیران بزرگوار، متناسب‌سازی‌های لازم را در مباحث این مجموعه، برای همزبان شدن با دانش آموزان رشته تجربی، شخصاً عهده‌دار شوند.

از حسن توجه و نگاه مسؤولانه همکاران سپاسگزاریم.

تهیه و تنظیم: محمدرضا خوش‌بین خوش‌نظر

ویراستار: محمدرضا شریف زاده اکباتانی

لطفاً نظرات و پیشنهادات خود را به khoshbin@talif.sch.ir یا Ahmadahmady@gmail.com ارسال کنید.

* تمام حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به گروه فیزیک دفتر برنامه‌ریزی و تألیف کتب درسی است و هر گونه چاپ و تکثیر ممنوع است.

* سایت مورد تأیید گروه فیزیک جهت هر گونه دانلود و امور پشتیبانی مربوط به کتاب‌های فیزیک دوره متوسطه دوم:

Physics-dept.talif.sch.ir

فصل ۲

فعالیت ۱-۲ (صفحه ۴۷)

وقتی کلید را می‌زنیم، میدان الکتریکی با سرعتی نزدیک به سرعت نور برقرار می‌شود و الکترون‌های آزاد در سرتاسر سیم به طور هم‌زمان شروع به حرکت می‌کنند. توجه کنید که این ربطی به زمانی ندارد که طول می‌کشد تا یک الکترون از کلید به لامپ برسد، بلکه این زمان انتشار میدان الکتریکی است. برای آنکه به درکی از موضوع برسید، یک مثال خوب آن است که یک گروه سرباز (در تشابه با الکترون‌ها) را در نظر بگیرید که به حالت خبردار ایستاده‌اند. وقتی دستور قدمرو صادر می‌شود (در تشابه با زده شدن کلید) این دستور با سرعت صوت (در تشابه با سرعت نور در مسئله ما) به گوش سربازان (الکترون‌ها) می‌رسد و آن‌ها هم‌زمان گام برمی‌دارند؛ زیرا این سرعت بسیار سریع‌تر از سرعت حرکت سربازان (الکترون‌ها) است و به همین علت است که سربازان (الکترون‌ها) تقریباً هم‌زمان شروع به حرکت می‌کنند.

تمرین ۱-۲ (صفحه ۴۸)

از رابطه ۱-۲ به صورت $\Delta t = \Delta q / I$ استفاده می‌کنیم.

$$\Delta t = \frac{50 \text{ Ah}}{50 \text{ A}} = 1 \text{ h} \quad (\text{الف})$$

(ب) اکنون داریم

$$\Delta t = \frac{1000 \text{ mAh}}{100 \mu\text{A}} = \frac{1000 \text{ mAh}}{0.1 \text{ mA}} = 1/0.01 \times 10^4 \text{ h}$$

این مدت کمی بیشتر از یک سال است و مثلاً یک باتری قلمی تقریباً در چنین مدتی، انرژی مورد نیاز یک ساعت دیواری را تأمین می‌کند.

تمرین ۲-۲ (صفحه ۵۸)

با استفاده از جدول ۲-۲ و دستورالعمل متن درس داریم:

$$R = (\text{رقم سوم}) \times 10^2 (\text{رقم دوم}) (\text{رقم اول})$$

$$= (4)(7) \times 10^2 = 4700 \Omega$$

بنابراین، مقدار مقاومت نشان داده شده $47k\Omega$ و با تolerانس ۱۰ درصد است. یعنی مقدار مجاز انحراف 4700Ω $(4700\Omega) \times \frac{10}{100}$ می‌شود. به عبارتی، مقاومت می‌تواند $4700k\Omega \pm 470k\Omega$ باشد.

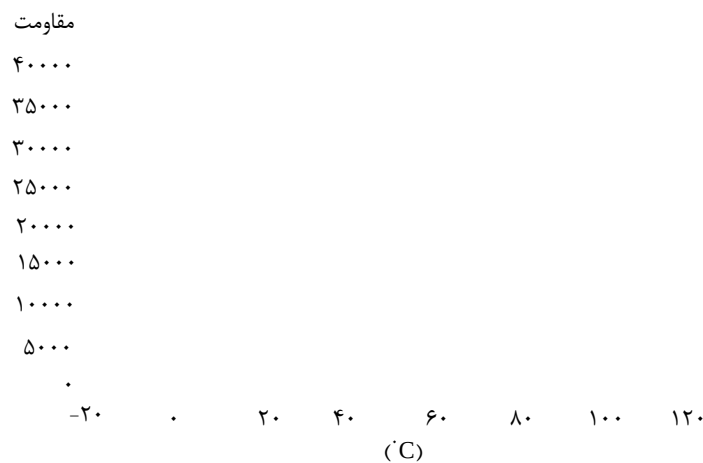
فعالیت ۳-۲ (صفحه ۵۹)

ترمیستورها بر دو نوع NTC و PTC^۱ هستند. NTCها از نیم‌رساناهای خالص مانند سیلیسیم یا ژرمانیم ساخته شده‌اند که همان‌طور که در مبحث تغییر مقاومت ویژه با دما دیدیم، با افزایش دما بر تعداد حامل‌های بار آن‌ها افزوده می‌گردد و بدین ترتیب از مقاومت آن‌ها کاسته می‌شود. به عبارت دیگر، ضریب دمایی مقاومت ویژه α ی آن‌ها منفی است (شکل الف).

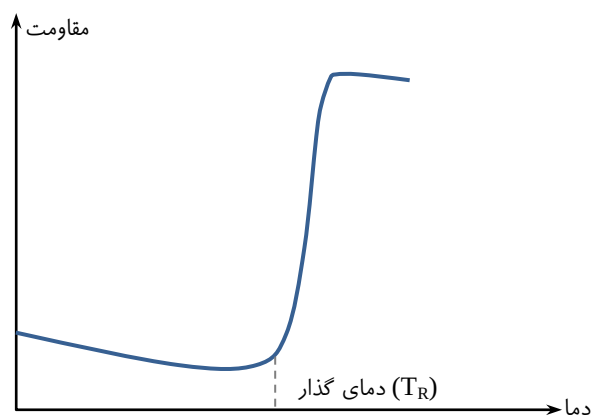
^۱ NTC برگرفته از Negative Temperature Coefficient به معنای ضریب دمایی منفی.

^۲ PTC برگرفته از Positive Temperature Coefficient به معنای ضریب دمایی مثبت.

PTCها خود بر دو نوع اند. یک نوع که به نام سیلیستور^۱ شناخته شده‌اند در واقع از سیلیسیوم غیرخالص (آلاییده) ساخته شده است که با افزودن یک ناخالصی به سیلیسیوم، ویژگی رسانش الکتریکی پیدا کرده است. این نوع PTCها مانند فلزات رفتار کرده و مقاومت آن‌ها با افزایش دما زیاد می‌شود. به عبارت دیگر، ضریب دمایی مقاومت ویژه آن‌ها مثبت است. نوع دیگر آن‌ها، رفتار ویژه‌ای دارد، به طوری که ضریب دمایی مقاومت ویژه آن‌ها تا پیش از دمایی خاص موسوم به دمای گذار (با نماد T_R که به آن نقطه کوری^۲ نیز می‌گویند) اندکی منفی است و پس از آن در یک محدوده دمایی تغییر چشمگیری می‌کند و به شدت مثبت می‌گردد. به این نوع PTCها، نوع تعویضی^۳ گفته می‌شود؛ چرا که ضریب دمایی مقاومت ویژه آن‌ها پس از نقطه کوری تغییر چشمگیری پیدا می‌کند و از یک مقدار کم منفی به مقدار مثبت بالایی تعویض می‌شود (شکل ب). به عبارتی، یک تغییر دمای چند درجه‌ای به تغییر مقاومتی با چندین مرتبه بزرگی می‌انجامد. این نوع PTCها اغلب در یک گستره دمایی 60°C تا 120°C طراحی شده‌اند. از PTCها برای تنظیم جریان و جلوگیری از افزایش آن در مدارهای الکتریکی استفاده می‌شود.



شکل الف- مقاومت برحسب اهم در یک گستره دمایی برای یک نمونه ترمیستور NTC.



شکل ب- نمودار مقاومت دما برای نوع تعویضی PTCها (نمودار به مقیاس نیست).

^۱ . Silistor برگرفته از: Silicon Thermistor

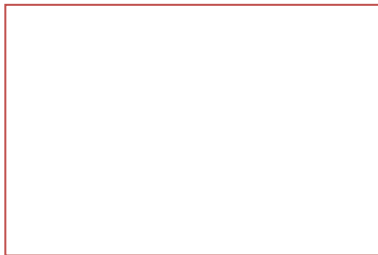
^۲ . Curie point

^۳ . Switching

پرسش ۱-۲ (صفحه ۶۱)

با بستن کلید، جریان در جهت نیروی محرکه الکتریکی (درون باتری، از قطب منفی به سمت قطب مثبت) به جریان می‌افتد که در شکل سمت چپ، دیود امکان عبور را نمی‌دهد. در واقع، دیود شبیه یک شیر یک‌طرفه یا خیابانی یک‌طرفه در برابر عبور جریان عمل می‌کند و در برابر عبور جریان از طرف مخالف، مقاومت بسیار زیادی نشان می‌دهد و مانع از عبور جریان می‌شود. بنابراین، با بستن کلید در شکل سمت راست، LED روشن می‌شود.

فعالیت ۴-۲ (صفحه ۶۲)



مقاومت داخلی باتری موجب این تفاوت می‌شود. وقتی از باتری یا هر منبع نیروی محرکه‌ای جریان می‌گیریم، جریان از خود منبع نیز که دارای مقاومت داخلی است می‌گذرد و این موجب کاهش انرژی الکتریکی و افت پتانسیل دو سر منبع می‌شود.

مقاومت داخلی باتری‌ها به مرور زمان افزایش می‌یابد. با آزمایشی مانند فعالیت ۴-۲ می‌توان مقاومت داخلی یک باتری را به دست آورد. نخست باید کلید قطع باشد و

ولتاژ دو سر باتری که ولتاژ بیشینه آن ($\mathcal{E}$) است اندازه‌گیری شود. سپس، با وصل کردن کلید، دوباره باید ولتاژ دو سر باتری را که مثلاً V می‌شود محاسبه کرد، که کمتر از $\mathcal{E}$ است. همان‌طور که گفتیم این به مقاومت داخلی باتری مربوط می‌شود. با توجه به اینکه دانش‌آموزان در ادامه درس با مقاومت داخلی و قاعده حلقه آشنا می‌شوند، می‌توان با قرار دادن آمپرسنج به طور متوالی، جریان الکتریکی I و از آنجا مقاومت داخلی r را محاسبه کرد که به این موضوع در فعالیت ۶-۲ پرداخته‌ایم.

فعالیت ۵-۲ (صفحه ۶۲)

در فصل گذشته دیدیم که پتانسیل با جابه‌جایی در جهت میدان الکتریکی کاهش پیدا می‌کند. بنابراین، اگر از پایانه منفی باتری به سمت پایانه مثبت آن حرکت کنیم برخلاف جهت میدان الکتریکی حرکت کرده‌ایم و پتانسیل الکتریکی افزایش می‌یابد و بالعکس وقتی از پایانه مثبت باتری به سمت پایانه منفی آن حرکت کنیم، در جهت میدان الکتریکی حرکت کرده‌ایم و پتانسیل کاهش می‌یابد.

تمرین ۳-۲ (صفحه ۶۵)

الف) اگر مدار را در خلاف جهت جریان نشان داده شده بپییم، با استفاده از قاعده حلقه داریم

$$-\mathcal{E} + IR + Ir = 0$$

و از آنجا

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R+r} = \frac{12V}{\frac{4}{0.0\Omega} + \frac{2}{0.0\Omega}} = 2/0A$$

ب) اگر از نقطه b در خلاف جهت جریان I به سمت نقطه a حرکت کنیم، خواهیم داشت:

$$V_b + Ir - \mathcal{E} = V_a$$

و در نتیجه

$$\begin{aligned} V_b - V_a &= \mathcal{E} - Ir \\ &= 12V - (2/0A)(2/0\Omega) = 8V \end{aligned}$$

بنابراین می‌بینید چه مدار را در جهت جریان بپیماییم و چه در خلاف جهت جریان، به پاسخ یکسانی برای جریان مدار و یا اختلاف پتانسیل دو سر باتری می‌رسیم.

فعالیت ۲-۶ (صفحه ۶۶)

این فعالیت در امتداد فعالیت ۲-۴ است که این بار باید مقاومت داخلی دو باتری را پس از اندازه‌گیری با هم مقایسه کنیم که یکی نو و دیگری فرسوده است. در هر حال با استفاده از رابطه ۲-۷ می‌توان مقاومت داخلی r را به صورت زیر نوشت:

$$r = \frac{\mathcal{E} - V}{I}$$

که V و I به ترتیب اختلاف پتانسیل دو سر باتری و جریان آن، پس از بستن کلید و $\mathcal{E}$ اختلاف پتانسیل دو سر باتری پیش از بستن کلید است. مثلاً در یک مدار نوعی ممکن است $\mathcal{E} = 1/27V$ و $V = 1/13V$ به دست آید که تفاوت آن‌ها $0/14V$ است. حال اگر آمپرسنج مثلاً $0/06A$ را نشان دهد، مقاومت داخلی باتری $2/3\Omega$ خواهد شد. یک محاسبه ریاضی با حذف I در رابطه بالا، به رابطه $r = (\frac{\mathcal{E}}{V} - 1)R$ می‌انجامد. در یک باتری فرسوده، به‌ازای مقاومت خارجی R یکسان، V از مقدار به دست آمده برای

همان باتری نو خیلی کوچک‌تر است، در حالی که $\mathcal{E}$ کاهش

چندانی پیدا نمی‌کند. بنابراین، کاهش V ، به بزرگ شدن r

می‌انجامد. همچنین خوب است نمودار اختلاف پتانسیل باتری

برحسب جریان عبوری I را نیز رسم کنیم که این در مسئله

۲۰ پایان فصل مطرح شده است. از آنجا در خواهیم یافت،

مقاومت داخلی باتری برابر است با نسبت نیروی محرکه

الکتریکی به جریان بیشینه. در هر نقطه‌ای از این نمودار، با

اندازه‌گیری ولتاژ و جریان می‌توان مقاومت داخلی را از این

نسبت به‌دست آورد. همچنین در این مسئله می‌توانستیم با در نظر گرفتن حلقه‌ای که شامل مقاومت R باشد به رابطه مفید دیگری نیز برای محاسبه مقاومت داخلی r برسیم:

$$\mathcal{E} - Ir - IR = 0 \Rightarrow \mathcal{E} = I(r + R)$$

و از آنجا نیز می‌توان با دانستن R ، مقاومت داخلی r را محاسبه کرد.

فعالیت ۲-۷ (صفحه ۶۸)

روشی که در پی می‌آید از کتاب بسیار معتبر زیر اخذ شده است:

Physic Laboratoty Manual, ۳th edition, David H. Loyd, Thomson Brooks (۲۰۰۶).

توضیح نظری

وقتی از مقاومتی به مقاومت R جریان I تحت ولتاژ V بگذرد، توان جذب‌شده در مقاومت از $P = I^2 R = \frac{V^2}{R} = VI$ به‌دست می‌آید. از طرفی، توان، انرژی بر واحد زمان است و بنابراین انرژی U برابر Pt می‌شود. از طرفی با گرماسنجی در فیزیک دهم

آشنا شدیم. با گرم شدن مقاومت، دمای آن افزایش می‌یابد و این سبب انتقال گرمای Q از مقاومت به آب و ظرف گرماسنج می‌گردد. گرمای Q باعث افزایش دمای آن‌ها به اندازه ΔT می‌شود. می‌دانیم گرمای Q با ΔT طبق رابطه زیر مربوط می‌شوند:

$$Q = (m_c c_w + m_c c_c) \Delta T = (m_w c_w + C_c) \Delta T$$

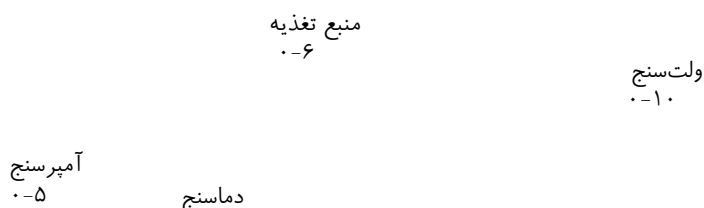
که در آن شاخص‌های پایین W و C به ترتیب مربوط به آب و ظرف گرماسنج هستند. C گرمای ویژه و ظرفیت گرمایی است. پس از آن که سیم گرمکن گرماسنج به حد کافی گرم شد و به دمای تقریباً ثابتی رسید، انرژی الکتریکی مصرفی در این مقاومت کاملاً به گرما تبدیل می‌شود و داریم

$$VIt = (m_w c_w + C_c) \Delta T$$

اگر ولتاژ اعمال شده به مقاومت غوطه‌ور در آب درون گرماسنج در طی آزمایش ثابت باقی می‌ماند و در نتیجه جریان مقاومت نیز ثابت می‌ماند، در آن صورت نمودار VIt برحسب $(m_w c_w + C_c) \Delta T$ ، یک خط راست می‌شد و به ازای هریک از نقاط نمودار که حاصل اندازه‌گیری است، نسبت $\frac{VIt}{(m_w c_w + C_c) \Delta T}$ برابر یک می‌شد. اما هنگام انجام آزمایش درخواست می‌کنیم که مقادیر I و V پیوسته کم و زیاد می‌شود و بنابراین باید با رویکردی ویژه این آزمایش را انجام داد، که در ادامه به آن خواهیم پرداخت.

روش آزمایش

یا ظرفیت گرمایی گرماسنج را می‌دانیم و یا آن را از حاصلضرب جرم در گرمای ویژه جنس آن محاسبه می‌کنیم. جرمی کافی و معلوم از آب را داخل گرماسنج می‌ریزیم. برای آنکه پاسخ بهتری از آزمایش بگیریم خوب است دمای آب چند درجه کمتر از دمای اتاق باشد. گرمکن را در داخل ظرف گرماسنج وارد می‌کنیم و مداری مانند شکل زیر می‌بندیم.



گرم‌کن
ظرف گرماسنج
آب

آن‌گاه منبع تغذیه را روشن می‌کنیم و جریان را بین ۴/۰ A تا ۵/۰ A تنظیم می‌کنیم. بلافاصله پس از اینکه به جریان مورد نظر رسیدیم، منبع تغذیه را خاموش می‌کنیم و نمی‌گذاریم آب به میزان زیادی گرم شود. اکنون آب را به هم می‌زنیم تا به تعادل گرمایی برسد. پس از چند دقیقه هم زدن، دمای اولیه T_i را یادداشت می‌کنیم و سپس دوباره منبع تغذیه را در حالی که همان جریان خروجی قبلی را به دست می‌دهد، روشن می‌کنیم و هم‌زمان زمان سنسج را به کار می‌اندازیم. مقادیر اولیه جریان و ولتاژ (I_1 و V_1) را در جدول یادداشت می‌کنیم. دمای T، جریان I و ولتاژ V را هر ۶۰ ثانیه یک بار، برای مدت زمان ۸ دقیقه اندازه می‌گیریم، در حالی که آب را همچنان به هم می‌زنیم. داده‌ها را در جدولی یادداشت می‌کنیم. $\Delta T = T - T_i$ (افزایش دما)

نسبت به دمای اولیه (T_i) را برای هر مقدار اندازه‌گیری‌شده T محاسبه و یادداشت می‌کنیم. همچنین به ازای هر مقدار اندازه‌گیری‌شده T ، مقدار Q را از رابطه $Q = (m_w c_w + C_c)(T - T_i)$ محاسبه می‌کنیم. برای هر بار، ولتاژ V و جریان I و حاصلضرب VI را یادداشت می‌کنیم. سپس VI متوسط را از رابطه زیر محاسبه می‌کنیم:

$$\overline{VI} = \frac{V_1 I_1 + V_2 I_2 + \dots + V_n I_n}{n}$$

برای هر مقدار اندازه‌گیری شده t ، $\overline{VI}t$ را محاسبه و یادداشت می‌کنیم.

اکنون برای رسم نمودار $\overline{VI}t$ بر حسب $(m_w c_w + C_c)\Delta T$ مقادیر به دست آمده از $(m_w c_w + C_c)(T - T_i)$ را روی محور افقی و مقادیر به دست آمده برای $\overline{VI}t$ را روی محور عمودی نشانه‌گذاری می‌کنیم و از تلاقی امتداد آن‌ها به نقاطی در صفحه نمودار می‌رسیم. اینک خط راستی رسم می‌کنیم که از مبدأ مختصات بگذرد و به بهترین شکل از بین این نقاط عبور کند (اصطلاحاً به این عمل *عمل برازش خطی* گفته می‌شود). می‌توانیم در یک روش دقیق‌تر با استفاده از ماشین حساب‌های مهندسی با قابلیت انجام برازش، این خط را رسم کنیم. انتظار داریم برای هریک از نقاط این خط، نسبت $\frac{\overline{VI}t}{(m_w c_w + C_c)\Delta T}$ با دقت مناسب برابر واحد باشد.

فعالیت ۲-۸ (صفحه ۶۸)

الف) همان‌طور که در صورت فعالیت آمده است، باید از رابطه ۲-۱۰ استفاده کنیم. از این رابطه $R = V^2 / P$ دست می‌آید که این مقاومت الکتریکی در دمایی است که دستگاه (لامپ) به ولتاژ اسمی خود متصل شده است. در استفاده از اهم‌سنج به دانش‌آموزان گوشزد کنید که هنگام استفاده از آن ابتدا سنج را روی حداکثر مقاومت قابل اندازه‌گیری تنظیم کنند و دوم اینکه همان‌طور که در صورت فعالیت نیز آمده، وسیله (اینجا لامپ) باید خاموش (در دمای اتاق) باشد و هیچ جریانی از آن نگذرد.

این آزمایش، آزمایش مهمی است و دانش‌آموزان پس از انجام آن به تفاوت زیادی بین مقاومت اندازه‌گیری‌شده و مقاومت حاصل از رابطه ۲-۱۰ می‌رسند. مقاومت اندازه‌گیری‌شده حدود $40\Omega - 20\Omega$ می‌شود، در حالی که همان‌طور که خواهید دید رابطه ۲-۱۰ برای اندازه مقاومت به عددی حدود 500Ω می‌انجامد.

دانش‌آموزان باید با بحث گروهی و البته راهنمایی معلم به نقش دمای رشته (فیلامان) ملتهب لامپ پی ببرند که این موضوع قسمت ب فعالیت است.

ب) مقاومت لامپ ۱۰۰ واتی روشن با استفاده از معادله ۲-۱۰ برابر است با

$$R = \frac{(220V)^2}{100W} = 484\Omega$$

اکنون از رابطه ۲-۴، دمای رشته لامپ را به دست می‌آوریم. در مثال ۲-۴ دیدیم که این معادله به رابطه زیر می‌انجامد:

$$R = R_0 [1 + \alpha(T - T_0)]$$

از اینجا دمای T را محاسبه می‌کنیم:

$$\begin{aligned} T &= T_0 + \frac{R - R_0}{\alpha R_0} \\ &= 20^\circ\text{C} + \frac{(484\Omega - 40\Omega)}{(\frac{4}{5} \times 10^{-3} \text{C}^{-1})(40\Omega)} \\ &= 2/5 \times 10^3 \text{C} \end{aligned}$$

توجه کنید عدد 2500°C صرفاً برآوردی برای دمای رشته لامپ است. همچنین توجه کنید که در محاسبه دما فرض کردیم که اهم سنج، مقاومت لامپ خاموش را حدود 40Ω به دست می دهد، دمای اتاق را $T_0 = 20^{\circ}\text{C}$ گرفته ایم، و ضریب دمایی مقاومت α را نیز از جدول ۱-۲ قرار دادیم.

پرسش ۲-۲ (صفحه ۶۸)

پاسخ این است که همه لامپ های رشته ای (از جمله لامپ هالوژن) با اتلاف انرژی الکتریکی به صورت گرما، رشته (فیلامان) لامپ را گرم می کنند. بخشی از این انرژی به نور مرئی تبدیل می شود، اما بیشتر آن به صورت گرما تلف می گردد. اما در LED ها، بخش بزرگی از انرژی الکتریکی داده شده به حامل های بار، با حرکت دادن حامل های بار و عبور جریان از LED موجب گسیل نور توسط آن ها می شود. به عبارتی، بخش عمده انرژی الکتریکی داده شده موجب گسیل نور می شود و تنها مقدار ناچیزی از آن به صورت گرما تلف می گردد.

تمرین ۲-۴ (صفحه ۷۰)

در یک مدار ساده شامل یک باتری آرمانی و مقاومت، قاعده حلقه به صورت $\mathcal{E} - IR = 0$ و یا $\mathcal{E} = IR$ درمی آید. حال اگر دو طرف این رابطه را در $I\Delta t$ ضرب کنیم به رابطه $\mathcal{E}I\Delta t = I^2R\Delta t$ می رسیم. با توجه به اینکه $I\Delta t = \Delta q$ است و با استفاده از تعریف نیروی محرکه الکتریکی $\mathcal{E} = \Delta W / \Delta q$ ، طرف چپ این معادله برابر با ΔW یا همان کاری است که باتری روی بار انجام داده است. از طرفی می دانیم که توان الکتریکی مصرفی در رسانایی با مقاومت R برابر RI^2 است. بنابراین طرف راست معادله بالا در واقع مقدار انرژی است که در مقاومت به انرژی گرمایی تبدیل شده است. پس رابطه بالا چیزی جز پایستگی انرژی نیست و انرژی تأمین شده توسط باتری آرمانی به صورت انرژی گرمایی در مقاومت ظاهر شده است.

تمرین ۲-۵ (صفحه ۷۱)

الف) مقاومت ها به طور متوالی بسته شده اند. بنابراین برای مقاومت معادل مقاومت های R_1 ، R_2 و R_3 داریم:

$$\begin{aligned} R_{123} &= R_1 + R_2 + R_3 \\ &= 3/0\Omega + 6/0\Omega + R_3 = 13/0\Omega \end{aligned}$$

در نتیجه $R_3 = 4/0\Omega$ می شود.

ب) برای جریان I (که همان جریانی است که آمپرسنج نشان می دهد) داریم:

$$\begin{aligned} I &= \frac{\mathcal{E}}{R_{123} + r} = \frac{7/0\text{V}}{13/0\Omega + 1/0\Omega} \\ &= 0/50\text{A} \end{aligned}$$

پ) گرچه در متن درس نشان دادیم، دوباره می خواهیم رابطه ۱۱-۲ را به دست آوریم. از رابطه $P = I\Delta V$ استفاده کنیم. از طرفی

اختلاف پتانسیل دو سر یک باتری واقعی از رابطه $\Delta V = \mathcal{E} - Ir$ به دست می آید. بنابراین برای توان خروجی باتری داریم:

$$P_{\text{خروجی}} = I(\mathcal{E} - Ir) = \mathcal{E}I - rI^2$$

که در اینجا چنین می شود:

$$\begin{aligned} P_{\text{خروجی}} &= (7/0\text{V})(0/50\text{A}) - (1/0\Omega)(0/50\text{A})^2 \\ &= 3/25\text{W} \end{aligned}$$

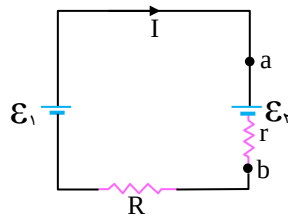
از طرفی برای توان‌های مصرفی در مقاومت‌های R_1 ، R_2 و R_3 داریم

$$P_{\text{مصرفی}} = I^2(R_1 + R_2 + R_3) = I^2 R_{123}$$

$$= (0.5 \text{ A})^2 (13/0 \Omega) = 3/25 \text{ W}$$

توجه کنید که در حل چنین مسائلی از گرد کردن و به‌کارگیری محاسبات رقم‌های بامعنا در نتیجه نهایی می‌پرهیزیم تا بتوان پاسخ‌های نهایی را به‌دقت مقایسه کرد.

تبصره. توجه کنید رابطه‌ای که برای توان مصرفی باتری به‌دست آوردیم، برای تمام باتری‌ها در هر مدار برقرار نیست. مثلاً مدار شکل زیر را در نظر بگیرید که در آن $\mathcal{E}_1 > \mathcal{E}_2$ است و بنابراین جریان در جهت نشان داده شده است:



در این صورت توان باتری ۲ از رابطه‌ای که در حل مسئله به دست آوردیم، به‌دست نمی‌آید؛ زیرا اختلاف پتانسیل دو سر باتری ۲ از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\Delta V = \mathcal{E}_2 + Ir$$

البته برای محاسبه توان باتری ۲ باید $V_b - V_a$ را در نظر گرفت و بنابراین رابطه $P = I\Delta V$ به $-I(\mathcal{E}_2 + Ir)$ تبدیل می‌شود و قدر مطلق آن همان توان ورودی به باتری ۲ است:

$$P_{\text{ورودی}} = |P| = \mathcal{E}_2 I + rI^2$$

پرسش ۲-۳ (صفحه ۷۲)

در نقطه انشعاب نشان داده شده، جریان‌های I_1 ، I_2 و I_4 وارد می‌شوند، در حالی که جریان I_3 خارج می‌گردد. بنابراین

$$I_1 + I_2 + I_4 = I_3$$

که آن را می‌توان (آن‌طور که در بسیاری از کتاب‌ها مرسوم است) به صورت زیر نیز نوشت:

$$I_1 - I_3 + I_2 + I_4 = 0$$

فعالیت ۲-۹ (صفحه ۷۳)

این فعالیتی است که برای آزمودن قاعده انشعاب در مدارها مطرح شده است.

تمرین ۲-۶ (صفحه ۷۴)

الف) توجه کنید $1/6 \Omega$ مقاومت معادل مقاومت‌های R_1 ، R_2 و R_3 است. این سه مقاومت به طور موازی بسته شده‌اند و برای مقاومت معادل آن‌ها داریم

$$\frac{1}{R_{123}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$\frac{1}{1/6 \Omega} = \frac{1}{3/0 \Omega} + \frac{1}{6/0 \Omega} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{2/0 \Omega} + \frac{1}{R_3}$$

از آنجا داریم

$$\frac{1}{R_3} = \frac{1}{1/6\Omega} - \frac{1}{2/0\Omega} = \frac{2/0\Omega - 1/6\Omega}{(1/6\Omega)(2/0\Omega)}$$

$$= \frac{0/40\Omega}{3/2\Omega^2} = 0/125\Omega^{-1}$$

و در نتیجه $R_3 = 8/0\Omega$ می‌شود.

ب) مقاومت معادل مقاومت‌های R_1 , R_2 و R_3 با مقاومت r متوالی هستند و بنابراین مقاومت معادل کل مقاومت‌های مدار (که شامل مقاومت باتری نیز می‌شود) برابر است با

$$R_{eq} = R_{123} + r = 1/6\Omega + 1/0\Omega = 2/6\Omega$$

بنابراین جریانی که آمپرسنج نشان می‌دهد برابر است با

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R_{eq}} = \frac{3/0V}{2/6\Omega} \approx 1/2A$$

ولی توجه کنید در حل قسمت پ به جای I از کسر $\frac{3/0V}{2/6\Omega}$ استفاده خواهیم کرد، زیرا در چنین محاسباتی مجاز به گرد کردن داده‌ها نیستیم.

پ) با استفاده از رابطه (۲-۱۱) توان خروجی باتری واقعی را به دست می‌آوریم (و نیز نگاه کنید به حل تمرین ۲-۵):

$$P_{\text{خروجی}} = \mathcal{E}I - rI^2$$

$$= (3/0V)\left(\frac{3/0V}{2/6\Omega}\right) - (1/0\Omega)\left(\frac{3/0V}{2/6\Omega}\right)^2$$

$$= 2/130W$$

از طرفی، مجموع مقاومت‌های مصرفی در مقاومت‌ها برابر است با

$$P_{\text{مصرفی}} = \frac{V_1^2}{R_1} + \frac{V_2^2}{R_2} + \frac{V_3^2}{R_3}$$

اما می‌دانیم ولتاژ مقاومت‌های موازی با هم برابر است. این ولتاژ برابر با حاصلضرب جریان عبوری از مدار در مقاومت معادل R_{123} است:

$$V_1 = V_2 = V_3 = IR_{123}$$

در نتیجه برای توان مصرفی داریم

$$P_{\text{مصرفی}} = (IR_{123})^2\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}\right) = (IR_{123})^2\left(\frac{1}{R_{123}}\right)$$

$$= I^2 R_{123} = \left(\frac{3/0V}{2/6\Omega}\right)^2 (1/6\Omega) = 2/130W$$

تمرین ۲-۷ (صفحه ۷۶)

الف) مقاومت‌های R_1 و R_2 متوالی‌اند و مقاومت معادل آن‌ها را R_{12} می‌نامیم. همین‌طور مقاومت‌های R_4 و R_5 متوالی‌اند و مقاومت معادل آن‌ها را R_{45} می‌نامیم. پس اکنون مقاومت‌های R_{12} , R_3 و R_{45} موازی‌اند. بنابراین برای مقاومت کل مدار بین نقطه‌های F و H داریم:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_{12}} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_{45}}$$

$$= \frac{1}{8/0\Omega + 8/0\Omega} + \frac{1}{8/0\Omega} + \frac{1}{8/0\Omega + 8/0\Omega}$$

$$= \frac{2}{8/0\Omega} = 0/250\Omega^{-1}$$

و در نتیجه

$$R_{eq} = \frac{1}{\cdot/250 \cdot \Omega^{-1}} = 4/00 \Omega$$

تبصره. با توجه به این که در این تمرین مقاومت‌ها با هم برابرند، ساده‌تر آن بود که مسئله را به شکل پارامتری حل کنیم.

$$R_{12} = R + R = 2R \quad \text{و} \quad R_3 = R \quad \text{و} \quad R_{45} = R + R = 2R$$

و از آنجا

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{2R} + \frac{1}{R} + \frac{1}{2R} = \frac{4}{2R} = \frac{2}{R}$$

بنابراین $R_{eq} = R/2 = 4/00 \Omega$ می‌شود.

(ب) اکنون مانند قسمت الف، R_1 و R_2 متوالی‌اند و مقاومت معادل آن‌ها نیز با R_4 موازی است. ولی در اینجا مقاومت معادل این سه مقاومت با مقاومت R_5 متوالی و مقاومت معادل کل آن‌ها با مقاومت R_4 موازی است. بنابراین برای مقاومت معادل کل داریم:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_{1235}} \quad (1)$$

که در آن R_{1235} خود برابر است با

$$R_{1235} = R_{123} + R_5 \quad (2)$$

و R_{123} خود از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\frac{1}{R_{123}} = \frac{1}{R_{12}} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{8/00 \Omega + 8/00 \Omega} + \frac{1}{8/00 \Omega} = \frac{3}{16/00 \Omega}$$

در نتیجه

$$R_{123} = \frac{16/00 \Omega}{3} = 5/33 \Omega$$

اکنون با استفاده از رابطه (2) داریم:

$$R_{1235} = 5/33 \Omega + 8/00 \Omega = 13/33 \Omega$$

که قرار دادن آن در رابطه (1)، چنین به دست می‌دهد:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{8/00 \Omega} + \frac{1}{13/33 \Omega} = 0/200 \Omega^{-1}$$

و در نتیجه R_{eq} چنین می‌شود:

$$R_{eq} = \frac{1}{0/200 \Omega^{-1}} = 5/00 \Omega$$

تبصره. با توجه به این که در این تمرین مقاومت‌ها با هم برابرند، می‌توانستیم به طور ساده‌تری، به روش پارامتری نیز مسئله را حل کنیم:

$$R_{12} = R + R = 2R \quad \text{و} \quad \frac{1}{R_{123}} = \frac{1}{2R} + \frac{1}{R} = \frac{3}{2R} \Rightarrow R_{123} = \frac{2R}{3}$$

$$R_{1235} = \frac{2R}{3} + R = \frac{5R}{3}$$

در نتیجه

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{(5R/3)} + \frac{1}{R} = \frac{8}{5R}$$

در نتیجه $R_{eq} = 5R/8$ و یا به عبارتی $R_{eq} = \frac{5}{8} (8/00 \Omega) = 5/00 \Omega$ می‌شود.

پرسش و تمرین‌های فصل ۲

۱. پاسخ درست، شکل (پ) است. فقط شکل (پ) است که مسیری را برای جریان ایجاد می‌کند. یک باتری منبع انرژی‌ای نیست که مثلاً یک محل مورد نیاز انرژی را پر کند.

۲. با استفاده از رابطه $R = V/I$ ، جریان عبوری از لامپ را به دست می‌آوریم:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{4/0 \cdot V}{5/0 \cdot \Omega} = 0/8 \cdot A$$

در مدت ۵ دقیقه، باری که از مدار می‌گذرد برابر است با

$$\Delta q = I(\Delta t) = (0/8 \cdot A)(5 \times 60 \cdot s) \\ = 240 \cdot C = 2/4 \times 10^2 C$$

از آنجایی که $q = ne$ و $e = 1/60 \times 10^{-19} C$ است، تعداد الکترون عبوری از لامپ چنین می‌شود:

$$n = \frac{\Delta q}{e} = \frac{2/4 \times 10^2 C}{1/60 \times 10^{-19} C/\text{الکترون}} = 1/5 \times 10^{21} \text{ الکترون}$$

۳. همان‌طور که در شکل مشخص است، در وضعیت شکل (الف) جریان از طریق بدن عبور می‌کند و در صورتی که شخص به طریقی به زمین متصل باشد دچار شوک و احتمالاً برق‌گرفتگی می‌شود. ، در حالی که در وضعیت شکل (ب)، جریان از طریق سیم اتصال زمین (که معمولاً به لوله آب سرد متصل است) ، به زمین می‌رود. به عبارتی، علاوه بر سیم‌های موسوم به فاز و نول، سیم متصل به زمینی نیز وجود دارد. بنابراین در وضعیت شکل (ب) برخلاف شکل (الف) دچار شوک و احتمالاً برق‌گرفتگی نمی‌شویم، زیرا سیم اتصال به زمین یک مسیر کم‌مقاومت بین سطح خارجی وسیله و زمین را ایجاد می‌کند.

۴. (الف) از رابطه $\Delta U = q\Delta V$ داریم

$$q = \frac{\Delta U}{\Delta V} = \frac{1/0 \times 10^4 J}{5/0 \times 10^7 V} = 2 \cdot C$$

(ب) اکنون با استفاده از رابطه $I = \Delta q / \Delta t$ ، جریان را می‌یابیم

$$I = \frac{2 \cdot C}{0/20 \cdot s} = 100 \cdot A = 1/0 \times 10^2 A$$

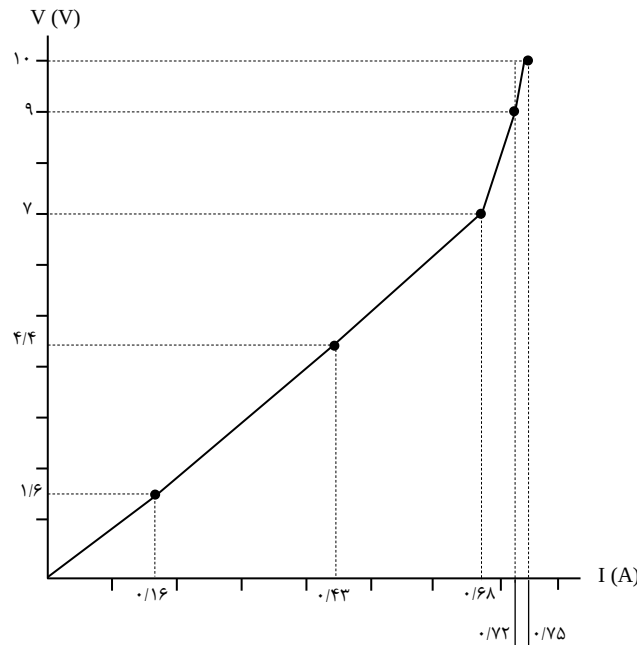
(پ) با توجه به اینکه $P = U/t$ است، برای توان الکتریکی آزاد شده داریم

$$P = \frac{1/0 \times 10^4 J}{0/20 \cdot s} = 5/0 \times 10^4 W = 5/0 \cdot GW$$

همچنین می‌توانستیم از رابطه $P = I\Delta V$ استفاده کنیم:

$$P = I\Delta V = (100 \cdot A)(5/0 \times 10^7 V) = 5/0 \cdot GW$$

۵. در رسم نمودارها، به دانش‌آموزان گوشزد کنید که نباید لزوماً محورهای افقی و قائم، به یک مقیاس باشند و بسته به داده‌های هر محور، بازه‌های مورد نظر را برای آن محور رسم کنید. در هر حال، به نموداری مشابه نمودار زیر می‌رسیم:



همان طور که می بینیم تا انتهای بازه سوم تقریباً از قانون اهم پیروی می کند و از آن به بعد خیر.

۶. به نسبت I/V ، رسانندگی الکتریکی می گویند که وارون مقاومت الکتریکی است. اگر در ولتاژ یکسان (با رسم خطی عمودی) به جریان رساناهای A و B نگاه کنیم، درمی یابیم که جریان رسانای B بیشتر است. بنابراین نسبت I/V برای رسانای B بزرگ تر است. به عبارتی، رسانندگی B بیشتر از A و مقاومت الکتریکی آن کمتر از A است.

۷. مقاومت رسانا با استفاده از رابطه $R = \rho L/A$ به دست می آید. اگر شعاع مقطع را با r (و قطر را با d) مشخص کنیم، داریم:

$$R_A = \rho \frac{L}{\pi r_A^2} = \rho \frac{L}{\pi d_A^2/4} = \rho \frac{4\rho L}{\pi d_A^2}$$

$$= \frac{4\rho L}{\pi (1/0.001)^2}$$

و

$$R_B = \rho \frac{L}{\pi r_B^2} = \frac{\rho L}{\pi [(2/0.001)^2 - (1/0.001)^2]}$$

$$= \frac{\rho L}{\pi (3/0.001)^2}$$

و از آنجا

$$\frac{R_A}{R_B} = \frac{4\rho L}{\rho L/3} = 12$$

۸. با استفاده از رابطه $R = \rho L/A$ مسئله را حل می کنیم. همچنین برای مساحت مقطع A داریم $A = \pi d^2/4$ که d قطر سیم است.

الف) نخست مساحت مقطع A را محاسبه می کنیم:

$$A = \pi d^2/4 = \pi (8 \times 10^{-4} \text{ m})^2/4 = 5/3 \times 10^{-7} \text{ m}^2$$

و در نتیجه

$$R = \rho \frac{L}{A} = (1/7 \times 10^{-8} \Omega \cdot m) \frac{2 \cdot m}{5/0.3 \times 10^{-6} m^2}$$

$$= 1/0 \Omega$$

که با توجه به اینکه قطر با یک رقم بامعنا داده شده است باید پاسخ به صورت 1Ω بیان شود.

(ب) اکنون مساحت مقطع A چنین می‌شود:

$$A = \pi d^2/4 = \pi (13 \times 10^{-4} m)^2/4 = 1/327 \times 10^{-6} m^2$$

و در نتیجه

$$R = \rho L/A = (1/69 \times 10^{-8} \Omega \cdot m) \frac{(7 \cdot m)}{1/327 \times 10^{-6} m^2}$$

$$= 0/90 \Omega$$

۹. نخست رابطه $R = R_0 (1 + \alpha \Delta T)$ را اثبات می‌کنیم. این رابطه در متن درس بدون اثبات آمده است. از رابطه $R = \rho L/A$ داریم:

$$\frac{R}{R_0} = \frac{\rho L/A}{\rho_0 L/A} = \frac{\rho}{\rho_0} = 1 + \alpha \Delta T$$

از آنجا برای R_0 داریم:

$$R_0 = \frac{R}{1 + \alpha \Delta T} = \frac{44 \Omega}{1 + (4/0 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1})(1180 \text{ } ^\circ\text{C})}$$

$$= 29/89 \Omega \approx 30 \Omega$$

که در آن برای ضریب دمایی مقاومت ویژه نیکروم از جدول ۲-۲ استفاده کردیم.

۱۰. گلوله‌ها از ارتفاع مثلاً h بالای کف شروع به حرکت می‌کنند و آن‌ها تحت تأثیر نیروی گرانشی، در فاصله بین برخورد با میخ‌ها شتاب می‌گیرند. میخ‌ها مشابه یون‌های شبکه اتمی هستند. در حین برخوردها، گلوله‌ها انرژی جنبشی به دست آمده در بین برخوردها را به میخ‌ها منتقل می‌کنند. چون برخوردها خیلی زیادند، گلوله‌ها یک سرعت سوق کوچک و نسبتاً ثابتی خواهند داشت. وقتی گلوله‌ها به پایین می‌رسند، یکی مانند شکل سمت راست، آن‌ها را تا ارتفاع اولیه بالا می‌آورد. بالا آوردن هر گلوله، مشابه همان کاری است که یک منبع emf در مدار الکتریکی انجام می‌دهد.

۱۱. آنچه برای روشن شدن خودرو و استارت خوردن آن لازم است، جریان است که البته باید مقدار زیادی هم باشد. باتری‌های قلمی، مقاومت داخلی زیادی دارند و بنابراین این مانع از برقراری جریان لازم می‌شود. به عبارت دیگر، با اینکه نیروی محرکه مجموعه باتری‌ها همان $12V$ است، ولی به دلیل افزایش مقاومت داخلی، جریان عبوری کاهش می‌یابد و نمی‌تواند جریان بزرگ لازم برای استارت خوردن خودرو را تأمین کند.

۱۲. در هنگام اتصال مقاومت به باتری داریم:

$$\mathcal{E} - Ir - IR = 0$$

بنا به فرض، $\mathcal{E} - Ir = 10/9V$ است. از اینجا، با توجه به اینکه R را داریم، جریان عبوری I را به دست می‌آوریم:

$$10/9 V - I (10/0 \Omega) = 0$$

و در نتیجه

$$I = 1/09 A$$

حال با توجه به اینکه $\mathcal{E} = 12/0V$ است، داریم:

$$(12/0V) - (1/09A)r - (1/09A)(10/0\Omega) = 0$$

از اینجا r چنین می‌شود:

$$r = \frac{12/0V}{1/09A} - 10/0\Omega = 1/0\Omega$$

۱۳. حلقه را به طور پادساعتگرد از نقطه A می‌پیماییم و جریان را نیز به طور پادساعتگرد در نظر می‌گیریم (اگر این فرض نادرست باشد، علامت I منفی به دست می‌آید):

$$V_A - IR_1 + \mathcal{E}_1 - Ir_1 - IR_4 - IR_3 - Ir_3 - \mathcal{E}_3 - IR_2 - \mathcal{E}_2 = V_A$$

$$\Rightarrow -I(R_1 + r_1 + R_4 + R_3 + r_3 + R_2) + \mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_3 = 0$$

و در نتیجه

$$I = \frac{\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_3}{R_1 + r_1 + R_4 + R_3 + r_3 + R_2}$$

$$= \frac{14V - 2/0V - 4/0V}{4/0\Omega + 1/0\Omega + 2/0\Omega + 1/5\Omega + 0/50\Omega + 3/0\Omega}$$

$$\approx 0/67A$$

اکنون برای محاسبه اختلاف پتانسیل $V_B - V_A$ از A به سمت B حرکت می‌کنیم. اگر از شاخه بالایی حرکت کنیم، داریم:

$$V_A + \mathcal{E}_2 + IR_2 + \mathcal{E}_3 + Ir_3 = V_B$$

و از آنجا

$$V_B - V_A = \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3 + I(R_2 + r_3)$$

$$= 2/0V + 4/0V + (0/67A)(3/0\Omega + 0/50\Omega)$$

$$\approx 8/3V$$

خوب است همین نتیجه را با پیمودن مسیر شاخه پایینی نیز واریسی کنیم:

$$V_A - IR_1 + \mathcal{E}_1 - Ir_1 - IR_4 - IR_3 = V_B$$

و از آنجا

$$V_B - V_A = -I(R_1 + r_1 + R_4 + R_3) + \mathcal{E}_1$$

$$= -(0/67A)(4/0\Omega + 1/0\Omega + 2/0\Omega + 1/5\Omega) + 14V$$

$$= 8/3V$$

۱۴. به این منظور، نخست جریان را در مدار به دست می‌آوریم. با حرکت ساعتگرد از نقطه A و بازگشت به آن (با در نظر گرفتن جریان به طور ساعتگرد) خواهیم داشت:

$$V_A + \mathcal{E}_1 - Ir_1 - IR - Ir_2 - \mathcal{E}_2 = V_A$$

در نتیجه جریان I چنین می‌شود:

$$I = \frac{\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2}{r_1 + r_2 + R} = \frac{6/0V - 2/0V}{0/50\Omega + 1/0\Omega + 1/5\Omega} = 1/0A$$

بنابراین، جهت جریان، واقعاً ساعتگرد است.

اکنون اگر سرِ سمت راست منبع ۱ را B و سرِ سمت راست منبع ۲ را E (نقطه زمین) بنامیم، برای منبع ۱ داریم:

$$V_A + \mathcal{E}_1 - Ir_1 = V_B \Rightarrow V_B - V_A = \mathcal{E}_1 - Ir_1$$

و در نتیجه

$$V_B - V_A = \mathcal{E}/\cdot V - (1/\cdot A)(\cdot/\mathcal{A}\cdot\Omega) = \mathcal{A}/\mathcal{A}V$$

و برای منبع ۲

$$V_A + \mathcal{E}_r + r_r I = V_E \Rightarrow V_E - V_A = \mathcal{E}_r + Ir_r$$

و در نتیجه

$$V_E - V_A = \mathcal{E}/\cdot V + (1/\cdot A)(1/\cdot\Omega) = \mathcal{A}/\cdot V$$

(ب) برای محاسبه V_A ، معادله اختلاف پتانسیل‌ها را بین نقطه‌های A و E (زمین) می‌نویسیم:

$$V_A + \mathcal{E}_1 - Ir_1 - IR = V_E = \cdot$$

در نتیجه

$$V_A = -I(r_1 + R) - \mathcal{E}_1 = (1/\cdot A)(\cdot/\mathcal{A}\cdot\Omega + 1/\mathcal{A}\Omega) - \mathcal{E}/\cdot V = -\mathcal{A}/\cdot V$$

خوب است از مسیر شاخه پایین هم، همین موضوع را بررسی کنیم:

$$V_A + \mathcal{E}_r + Ir_r = V_E = \cdot$$

و در نتیجه

$$V_A = -\mathcal{E}_r - Ir_r = -\mathcal{E}/\cdot V - (1/\cdot A)(1/\cdot\Omega) = -\mathcal{A}/\cdot V$$

۱۵. لامپ B پرنورتر خواهد بود. با توجه به اینکه ولتاژ هر دو لامپ یکسان است، توان مصرفی در هر لامپ با توجه به رابطه $|VI| = P_{\text{مصرفی}}$ فقط به جریان عبوری از آن بستگی دارد. رشته (فیلامان) ضخیم‌تر، با توجه به رابطه $R = \rho \frac{L}{A}$ ، مقاومت کمتری در برابر عبور جریان از خود نشان می‌دهد. بنابراین، لامپ B که رشته آن ضخیم‌تر است، دارای رشته‌ای با مقاومت کمتر است و جریان بیشتری از آن می‌گذرد و در نتیجه انرژی مصرفی آن در واحد زمان بیشتر و روشن‌تر خواهد بود.

۱۶. الف) از رابطه $|VI| = P_{\text{مصرفی}}$ برای توان مصرفی استفاده می‌کنیم. برای اتو داریم $P = 850\text{ W}$ و $V = 220\text{ V}$ ، و در نتیجه

$$|I| = \frac{P}{|V|} = \frac{850\text{ W}}{220\text{ V}} = 3/86\text{ A}$$

و برای کتری $P = 2400\text{ W}$ و $V = 220\text{ V}$ داده شده است و در نتیجه

$$|I| = \frac{P}{|V|} = \frac{2400\text{ W}}{220\text{ V}} = 10/9\text{ A}$$

(ب) می‌توانیم از رابطه‌های $P = I^2 R$ و $P = V^2/R$ استفاده کنیم. چون مقادیر جریان را گرد کرده‌ایم، بهتر است از رابطه $P = V^2/R$ استفاده کنیم. به ترتیب برای اتو و کتری داریم:

$$R_{\text{اتو}} = \frac{V^2}{P} = \frac{(220\text{ V})^2}{850\text{ W}} = 56/9\Omega$$

$$R_{\text{کتری}} = \frac{V^2}{P} = \frac{(220\text{ V})^2}{2400\text{ W}} = 20/2\Omega$$

۱۷. با استفاده از رابطه $R = R_0[1 + \alpha(T - T_0)]$ ، دمای T را محاسبه می‌کنیم:

$$T = T_0 + \frac{R - R_0}{\alpha R_0}$$

در این رابطه به جای R از رابطه $R = V/I$ ، قرار می‌دهیم:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{2/9V}{.3A} = 9/67\Omega \approx 9/7\Omega$$

حال با توجه به اینکه $R_1 = 1/1\Omega$ ، $T_1 = 20^\circ C$ و ضریب دمایی مقاومت ویژه تنگستن برابر $4/5 \times 10^{-3} C^{-1}$ است، برای دمای رشته لامپ خواهیم داشت:

$$T = 20^\circ C + \frac{9/67\Omega - 1/1\Omega}{(4/5 \times 10^{-3} C^{-1})(1/1\Omega)}$$

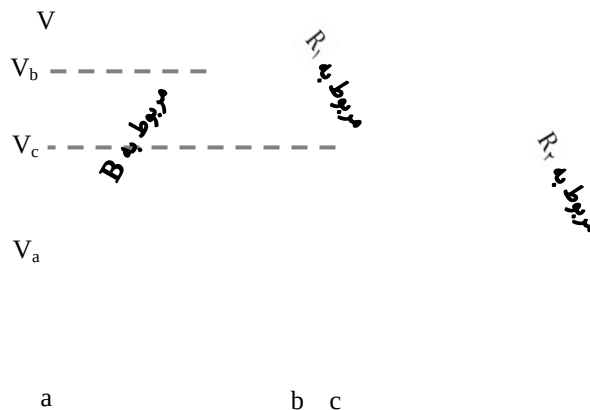
$$= 1/75 \times 10^3 C \approx 1/8 \times 10^3 C$$

که معادل مقدار قابل توجه $1800^\circ C$ است.

۱۸. الف) چون جریان به طور پادساعتگرد حرکت می کند، قطب منفی، پایانه سمت چپ و قطب مثبت، پایانه سمت راست جعبه B است. به عبارتی، نیروی محرکه الکتریکی که آن را در بسیاری از کتاب ها با پیکانه ای مشخص می کنند، از سمت چپ به سمت راست خواهد بود.

ب) بدیهی است جریان در نقطه های a، b و c یکسان است.

پ) می دانیم اگر از مقاومت R هم سو با جریان I عبور کنیم، پتانسیل به اندازه IR کم می شود. در عبور از مقاومت R_1 درمی یابیم $V_c < V_b$ و در عبور از مقاومت R_2 درمی یابیم $V_a < V_c$ است و بنابراین $V_a < V_c < V_b$. به عبارتی اگر این مدار را باز کنیم و آن را بر روی خط راستی نشان دهیم، نمودار پتانسیل الکتریکی چنین خواهد شد:



ت) با توجه به رابطه $U = qV$ و مثبت بودن بار q، انرژی پتانسیل الکتریکی متناسب با پتانسیل الکتریکی است. بنابراین داریم:

$$U_b > U_c > U_a$$

۱۹. الف) از رابطه $U = Pt$ استفاده می کنیم. توان های مصرفی، بستگی به نوع لامپ یا تلویزیون دارد. لامپ های رشته ای قدیمی معمولاً $100W$ هستند، در حالی که لامپ های کم مصرف توان مصرفی کمتری دارند. همچنین تلویزیون های لامپی قدیمی توان مصرفی بیشتری از تلویزیون های جدید دارند. برای همین، در اینجا صرفاً برای یک لامپ $100W$ مسئله را حل می کنیم تا روش حل چنین مسائلی را دریابید. (در این حل فرض کرده ایم ۸ ساعت که در صورت مسئله آمده، دقیق و بدون خطاست.)

$$U = Pt = (100W) \left(8 \frac{\text{ساعت}}{\text{روز}} \right) (30 \text{ روز}) = 24000Wh$$

$$= 24kWh$$

ب) بهای برق مصرفی چنین می شود:

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

پ) در اینجا باید تعداد خانه‌های شهر خود را تخمین بزنید. مثلاً در سرشماری سال ۱۳۹۵، جمعیت تهران حدود ۱۲ میلیون و پانصد هزار نفر به دست آمد. حال اگر فرض کنیم هر خانوار تهرانی به طور متوسط جمعیتی برابر ۵ نفر داشته باشد، می‌توانیم تعداد خانه‌های شهر تهران را حدود ۲ میلیون و پانصد هزار به دست آوریم. بنابراین خواهیم داشت:

$$U = (100W) \left(3 \frac{\text{ساعت}}{\text{روز}} \right) (\text{روز } 30) = (2/5 \times 10^6) \\ = 2/25 \times 10^{10} Wh = 2/25 \times 10^6 kWh$$

۲۰. الف) ولتاژ دو سر منبع نیروی محرکه الکتریکی از رابطه $\Delta V = \mathcal{E} - Ir$ به دست می‌آید و از طرفی $\Delta V = P/I$ است. با برابر قرار دادن طرف‌های راست این دو معادله خواهیم داشت:

$$\mathcal{E} - Ir = P/I$$

در نتیجه می‌توانیم دستگاه معادلات زیر را تشکیل دهیم:

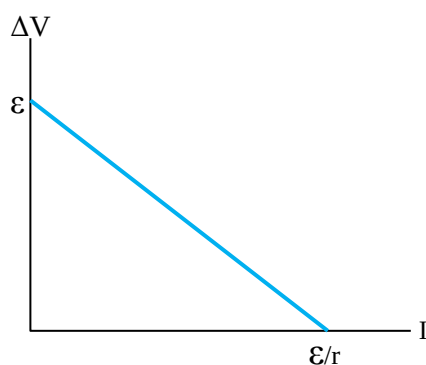
$$\begin{cases} \mathcal{E} - I_1 r = P_1 / I_1 \\ \mathcal{E} - I_2 r = P_2 / I_2 \end{cases}$$

از آنجا مقاومت داخلی r را به دست می‌آوریم:

$$r = \frac{P_1/I_1 - P_2/I_2}{I_2 - I_1} = \frac{\frac{9/50W}{5/00A} - \frac{12/6W}{7/00A}}{7/00A - 5/00A} \\ = 5/00 \times 10^{-2} \Omega$$

و اکنون با دانستن r ، نیروی محرکه الکتریکی منبع، چنین می‌شود:

$$\mathcal{E} = I_1 r + \frac{P_1}{I_1} \\ = (5/00A) (5/00 \times 10^{-2} \Omega) + \frac{9/50W}{5/00A} \\ = 2/15V$$



ب) به این پرسش، بیشتر در فعالیت ۲-۶ نیز پرداختیم. اختلاف پتانسیل دو سر منبع نیروی محرکه الکتریکی از رابطه $\Delta V = \mathcal{E} - Ir$ به دست می‌آید. تا وقتی که جریانی از مدار عبور نکند، ولتاژ دو سر منبع برابر با نیروی محرکه است و هرچه جریان عبوری بیشتر شود، افت پتانسیل Ir نیز بیشتر و اختلاف پتانسیل دو سر منبع کوچک‌تر می‌شود. در هر حال، شکلی شبیه شکل روبه‌رو برای نمودار ΔV بر حسب I خواهیم داشت. همان‌طور که در فعالیت ۲-۶ اشاره کردیم مقاومت داخلی منبع نیروی محرکه برابر با نسبت نیروی محرکه به جریان بیشینه می‌شود.

۲۱. وقتی لامپی می‌سوزد، به معنی آن است که اتصال در آن قسمت از مدار قطع می‌شود. اگر لامپ‌ها به طور متوالی بسته شده باشند، قطع مدار در هر قسمت از مدار موجب قطع جریان در کل مدار و خاموش شدن همه لامپ‌ها می‌شود. به همین دلیل است که چراغ‌های خودرو به طور موازی بسته می‌شود تا با سوختن یک لامپ، همه لامپ‌ها خاموش نشوند. البته این تنها دلیل

نیست. اتصال موازی باعث می‌شود که بیشترین روشنایی حاصل شود. زیرا در اتصال موازی، اختلاف پتانسیل دو سر همه لامپ‌ها یکسان است، در حالی که در اتصال متوالی، این اختلاف پتانسیل به نسبت مقاومت هر لامپ تقسیم می‌شود.

۲۲. آمپرسنج جریان عبوری از خود را اندازه می‌گیرد. به همین دلیل، آن را با بخشی از مدار که می‌خواهیم جریان عبوری از آن را اندازه بگیریم به طور متوالی می‌بندیم. بنابراین، برای آن که با اضافه شدن آمپرسنج به مدار، مقاومت مدار تغییر قابل ملاحظه‌ای پیدا نکند تا بر جریان عبوری تأثیر بگذارد، مقاومت آمپرسنج باید کوچک باشد.

۲۳. مجموع جریان‌های ورودی برابر $11A = 4A + 3A + 2A + 2A$ و مجموع جریان‌های خروجی برابر $3A = 1A + 2A$ است. بنابراین، بزرگی جریان I در سیم پایین برابر با $11A - 3A = 8A$ و جهت آن به سمت راست است.

۲۴. هر چه کلیدهای بیشتری بسته شود، مقاومت‌های موازی بیشتری وارد مدار می‌شود. با افزایش تعداد شاخه‌های موازی، مقاومت مدار کم و در نتیجه جریان عبوری طبق رابطه $I = \mathcal{E}/(R + r)$ زیاد می‌شود. از طرفی، طبق رابطه $V = \mathcal{E} - Ir$ این امر موجب کاهش اختلاف پتانسیل می‌شود. پس نتیجه می‌گیریم با بسته شدن کلیدهای بیشتر، آمپرسنج عددی بزرگ‌تر و ولت‌سنج عددی کوچک‌تر را نشان می‌دهد.

۲۵. توان مصرفی را با استفاده از رابطه $P_{\text{مصرفی}} = V^2/R$ به دست می‌آوریم. اکنون کافی است مقاومت معادل را در دو حالت متوالی و موازی مقایسه کنیم. در حالت متوالی $R'_{eq} = 2R$ و در حالت موازی $R_{eq} = R/2$ می‌شود. بنابراین داریم:

$$\frac{P_{\text{موازی}}}{P_{\text{متوالی}}} = \frac{V^2/R_{eq}}{V^2/R'_{eq}} = \frac{R'_{eq}}{R_{eq}} = \frac{2R}{R/2} = 4$$

۲۶. همان‌طور که در متن درس اشاره شده است، بستن متوالی به معنای بسته شدن مقاومت‌ها یکی پس از دیگری است، به طوری که هیچ انشعابی بین آن‌ها وجود نداشته باشد، و بستن موازی به معنای آن است که یک سر مقاومت‌ها مستقیماً به یکدیگر و سر دیگر آن‌ها نیز مستقیماً به هم وصل شده باشد و اختلاف پتانسیل یکسانی به دو سر این مقاومت‌ها اعمال شده است. با این تعاریف واضح است که در شکل الف مقاومت‌ها به طور متوالی بسته شده‌اند، در حالی که در شکل‌های ب و پ مقاومت‌ها به طور موازی بسته شده‌اند. همچنین اگر بررسی کنید هیچ کدام از این تعاریف برای شکل (ت) برقرار نیست و در این مدار، مقاومت‌ها نه متوالی هستند و نه موازی.

۲۷. الف) اگر حلقه را از نقطه A به طور ساعتگرد دور بزنیم، خواهیم داشت:

$$V_A - IR_1 + \mathcal{E}_2 - Ir_2 - IR_2 - Ir_1 - \mathcal{E}_1 = V_A$$

از اینجا $\mathcal{E}_2$ را محاسبه می‌کنیم:

$$\begin{aligned}\mathcal{E}_2 &= IR_1 + Ir_2 + IR_2 + Ir_1 + \mathcal{E}_1 \\ &= I(R_1 + r_2 + R_2 + r_1) + \mathcal{E}_1 \\ &= (1/2A)(2/0\Omega + 0/50\Omega + 1/50\Omega + 1/0\Omega) + 12V = 18V\end{aligned}$$

برای محاسبه $V_A - V_B$ ، مسیر $A \rightarrow B$ را در شاخه بالا در جهت جریان طی می‌کنیم:

$$V_A - IR_1 + \mathcal{E}_2 - Ir_2 - IR_2 = V_B$$

در نتیجه

$$\begin{aligned} V_A - V_B &= I(R_1 + r_r + R_r) - \mathcal{E}_r \\ &= (1/2A) (2/0\Omega + 0/50\Omega + 1/50\Omega) - 18V \\ &= -13/2V \end{aligned}$$

خوب است همین نتیجه را با پیمودن شاخه پایین نیز واریسی کنیم. در این صورت خواهیم داشت:

$$V_A + \mathcal{E}_1 + Ir_1 = V_B$$

و در نتیجه

$$V_A - V_B = -\mathcal{E}_1 - Ir_1 = -12V - (1/2A)(1/0\Omega) = -13/2V$$

(ب) انرژی مصرف شده در هریک از مقاومت های R_1 و R_2 را می توانیم با استفاده از معادله ۲-۹ به دست آوریم. با توجه به اینکه $U = Pt$ است، داریم:

$$U = Pt = (RI^2)t$$

بنابراین

$$U_1 = (R_1)(I)^2(t) = (2/0\Omega)(1/2A)^2(5/0s) = 14/4J \approx 14J$$

$$U_2 = (R_2)(I)^2(t) = (1/50\Omega)(1/2A)^2(5/0s) = 10/8J \approx 11J$$

و مجموع این دو انرژی $U = U_1 + U_2 = 25/2J \approx 25J$ می شود.

۲۸. در حالت متوالی می دانیم جریان عبوری از همه مقاومت ها یکسان است. از طرفی، مقاومت معادل برابر است با

$$R_{eq} = 3R_1 = 3(12\Omega) = 36\Omega$$

و در نتیجه جریان عبوری از همه مقاومت ها چنین می شود:

$$I = \frac{V}{R_{eq}} = \frac{12V}{36\Omega} = 0/33A$$

در حالت موازی، چون مقاومت ها یکسان اند، مقاومت معادل برابر است با

$$R_{eq} = \frac{R_1}{3} = \frac{12\Omega}{3} = 4/0\Omega$$

اکنون می توانیم جریان کل را به دست آوریم:

$$I_t = \frac{V}{R_{eq}} = \frac{12V}{4/0\Omega} = 3/0A$$

این جریان، در هر سه شاخه موازی به طور مساوی تقسیم می شود. بنابراین جریان عبوری از هر مقاومت $1/0A$ می شود.

تبصره. راه دیگر آن بود که جریان را برای هر مقاومت از رابطه $I = V/R$ به دست آوریم و توجه کنیم که با توجه به موازی بودن مقاومت ها، ولتاژ آن ها برابر است:

$$I_t = I_1 = I_2 = I_3 = \frac{V}{R} = \frac{12V}{12\Omega} = 1/0A$$

۲۹. توان مصرفی را از رابطه $P = V^2/R$ مصرفی به دست می آوریم که در آن V اختلاف پتانسیل است. پس کافی است اختلاف

پتانسیل دو سر مقاومت $6/0\Omega$ را محاسبه کنیم. به این منظور، شکل مسئله را چنین رسم می کنیم:

برای محاسبهٔ اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت $6/\Omega$ باید نخست جریان کل را محاسبه کنیم. برای محاسبهٔ جریان کل، به مقاومت معادل نیاز داریم:

$$\begin{aligned} R_{eq} &= R_1 + R_{23} = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} \\ &= 2/\Omega + \frac{(6/\Omega)(12/\Omega)}{(6/\Omega + 12/\Omega)} = 2/\Omega + 4/\Omega \\ &= 6/\Omega \end{aligned}$$

و در نتیجه

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

اکنون می‌توانیم اختلاف پتانسیل دو سر R_{23} را، که همان اختلاف پتانسیل دو سر R_2 است، به دست آوریم:

$$\begin{aligned} V_2 &= V_{23} = I_t R_{23} = (6/A)(4/\Omega) \\ &= 24V \end{aligned}$$

حال می‌توانیم توان مصرفی در مقاومت $6/\Omega$ را به دست آوریم:

$$P_{\text{مصرفی}} = \frac{V_{23}^2}{R_2} = \frac{(24V)^2}{6/\Omega} = 96W$$

۳۰. مقاومت $4/\Omega$ را با R_1 ، مقاومت $3/\Omega$ را با R_2 و مقاومت $6/\Omega$ را با R_3 نمایش می‌دهیم. نخست، مقاومت معادل این مجموعه را به دست می‌آوریم. توجه کنید که مقاومت‌های R_2 و R_3 با هم موازی و مقاومت معادل آن‌ها با مقاومت R_1 متوالی است. بنابراین داریم:

$$\begin{aligned} R_{eq} &= \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} + R_1 \\ &= \frac{(3/\Omega)(6/\Omega)}{3/\Omega + 6/\Omega} + 4/\Omega \\ &= 2/\Omega + 4/\Omega = 6/\Omega \end{aligned}$$

از اینجا می‌توان جریان کل را به دست آورد که همان جریان I_1 نیز هست:

$$I_1 = \frac{18V}{6/\Omega} = 3/A$$

و از طرفی، از قاعدهٔ انشعاب جریان‌ها داریم:

$$I_1 = I_2 + I_3 = 3/A \quad (1)$$

همچنین دیدیم که مقاومت‌های R_2 و R_3 موازی‌اند و بنابراین اختلاف پتانسیل دو سر آن‌ها با هم برابر است:

$$I_2 R_2 = I_3 R_3$$

و یا

$$I_2 = I_3 \left(\frac{R_3}{R_2} \right) = 2I_3 \quad (2)$$

از حل هم‌زمان معادله‌های (۱) و (۲) خواهیم داشت:

$$2I_2 + I_3 = 3I_2 = 3/0A$$

بنابراین $I_3 = 1/0A$ و در نتیجه $I_2 = 2/0A$ است.

۳۱. اگر توجه کنید درمی‌یابید تمام مقاومت‌های $4/0\Omega$ با هم موازی‌اند. بنابراین، عملاً چنین مداری داریم:

پس مقاومت معادل مدار چنین می‌شود:

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

و در نتیجه جریان عبوری از مدار معادل (و در نتیجه منبع نیروی محرکه) برابر است با

$$I = \frac{\varepsilon}{R_{eq}} = \frac{14V}{\frac{14}{3}\Omega} = 3/0A$$

اکنون برای محاسبهٔ جریان مقاومت‌های $4/0\Omega$ ، گام به گام عقب می‌رویم. توجه کنید که این جریان $3/0A$ از سه مقاومت موازی $4/0\Omega$ می‌گذرد و مثلاً شکلی مانند شکل زیر داریم:

I I'

I'

I'

توجه کنید چون مقاومت‌ها یکسان است، جریان عبوری از آن‌ها نیز یکسان شده است (I') و بنابراین داریم:

$$I = 3I' \Rightarrow I' = \frac{I}{3}$$

خود این $I' = \frac{I}{3}$ از مقاومت‌های موازی $4/0\Omega$ می‌گذرد؛ مثلاً شکلی مثل شکل زیر داریم:

I''

I'

I''

توجه کنید چون مقاومت‌ها یکسان است، جریان عبوری از آن‌ها نیز یکسان شده است (I'') و بنابراین داریم:

$$I'' = \frac{I'}{2} = \frac{I}{2} = \frac{3/5 A}{2} = 0.3 A$$

۳۲. چون همه لامپ‌ها از هر لحاظ یکسان هستند، پیش از بستن کلید، اختلاف پتانسیل دو سر همه یکسان و برابر با $\mathcal{E}/3$ است، که $\mathcal{E}$ نیروی محرکه باتری است:

$$V_{1A} = V_{1B} = V_{1C} = \frac{\mathcal{E}}{3}$$

پس از بستن کلید، اختلاف پتانسیل دو سر لامپ C برابر صفر می‌شود و بنابراین لامپ C از مدار خارج می‌شود و بدین ترتیب خواهیم داشت:

$$V_{2A} = V_{2B} = \frac{\mathcal{E}}{2}$$

بنابراین، نسبت اختلاف پتانسیل‌های لامپ‌های A و B چنین می‌شود:

$$\frac{V_{2A}}{V_{1A}} = \frac{V_{2B}}{V_{1B}} = \frac{\mathcal{E}/2}{\mathcal{E}/3} = 3/2$$

اکنون اگر به گزینه‌های مسئله نگاه کنیم درمی‌یابیم گزینه‌های پ و ت درست هستند. گزینه پ از آن رو درست است که در بالا نشان دادیم $V_{2A} = 3/2 V_{1A}$ و $V_{2B} = 3/2 V_{1B}$ می‌شود که این به معنی افزایش ۵۰٪ اختلاف پتانسیل دو سرشان است. گزینه ت نیز درست است و ما پیشتر از آن استفاده کردیم.

تبصره. در وضعیت شکل مسئله، وقتی کلید را می‌بندیم، اصطلاحاً می‌گویند دو سر لامپ اتصال کوتاه (short circuit) شده است.

۳۳. با توجه به اینکه اختلاف پتانسیل دو سر مجموعه و توان هریک از مصرف‌کننده‌ها را داریم، مقاومت هر مصرف‌کننده را می‌توان به راحتی با استفاده از رابطه $P = V^2/R$ به دست آورد:

$$R_{\text{اتو}} = \frac{V^2}{P} = \frac{(220V)^2}{1100W} = 44/0 \Omega$$

$$R_{\text{توستر}} = \frac{V^2}{P} = \frac{(220V)^2}{1800W} = 26/9 \Omega$$

$$R_{\text{لامپ‌ها}} = \frac{V^2}{P} = \frac{(220V)^2}{5(100W)} = 96/8 \Omega$$

$$R_{\text{بخاری}} = \frac{V^2}{P} = \frac{(220V)^2}{1100W} = 44/0 \Omega$$

از طرفی داریم $I = V/R_{\text{eq}}$ که $1/R_{\text{eq}}$ از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\begin{aligned} \frac{1}{R_{\text{eq}}} &= \frac{1}{R_{\text{اتو}}} + \frac{1}{R_{\text{توستر}}} + \frac{1}{R_{\text{لامپ}}} + \frac{1}{R_{\text{بخاری}}} \\ &= \frac{1}{44/0 \Omega} + \frac{1}{26/9 \Omega} + \frac{1}{96/8 \Omega} + \frac{1}{44/0 \Omega} \\ &= 9/30 \times 10^{-2} \Omega^{-1} \end{aligned}$$

بنابراین جریان عبوری از مقاومت چنین می‌شود:

$$\begin{aligned} I &= \frac{V}{R_{eq}} = V\left(\frac{1}{R_{eq}}\right) \\ &= (220V)(9/30 \times 10^{-3} \Omega^{-1}) \\ &= 20/46A = 20/5A \end{aligned}$$

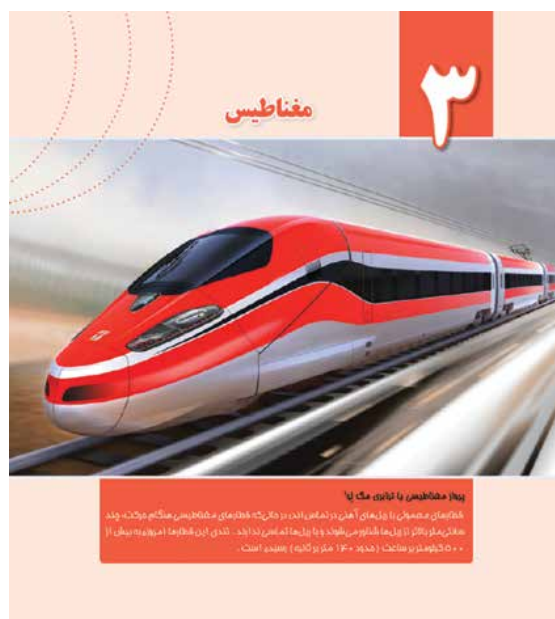
که این بیشتر از جریان ۱۵A است که فیوز می‌تواند تحمل کند و بنابراین فیوز می‌پرد.

فصل سوم

مغناطیس

هدف‌های فصل

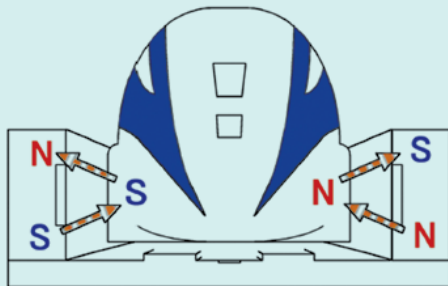
- آشنایی با مفهوم خاصیت مغناطیسی و میدان مغناطیسی، رسم و تعیین جهت خطوط میدان مغناطیسی
- آشنایی با مفهوم میدان مغناطیسی در اطراف کره زمین و پدیده‌های مربوط به آن.
- تعریف میدان مغناطیسی با استفاده از نیروی وارد بر ذره باردار متحرک در میدان مغناطیسی و حل مسئله‌های مربوط به آن
- آشنایی با نیروی وارد بر سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی و حل مسئله‌های مربوط به آن
- بررسی آثار مغناطیسی ناشی از جریان الکتریکی در خط راست، پیچه و سیم لوله و حل مسئله‌های مربوط به پیچه و سیم لوله
- آشنایی با نیروی بین سیم‌های موازی حامل جریان و تعیین جهت آن
- بررسی خاصیت مغناطیسی مواد و طبقه‌بندی و شناخت کاربردهای آن



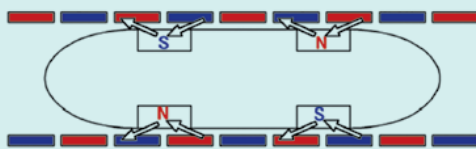
دانستنی برای معلم

قطارهای مغناطیسی

قطارهای مغناطیسی که به اختصار به آنها Maglev می‌گویند (magnetic levitation) وسایل حمل و نقل سریع‌تر، آرام‌تر، نرم‌تر و با بازدهی بهتر انرژی نسبت به قطارهای معمولی هستند. دو نوع از این قطارها که در ژاپن و آلمان استفاده می‌شوند برای از بین بردن اصطکاک لغزشی، واگن‌ها در اثر نیروی رانش مغناطیسی روی بالشتکی از هوا قرار گرفته‌اند. در نوع ژاپنی برای ایجاد نیروی رانشی بر آهنرباهای قرار گرفته در زیر پایه‌های قطار از آهنرباهای الکتریکی ابررسانا استفاده می‌شود که در امتداد ریل موجود در کف دالان هدایت‌کننده قطار قرار گرفته‌اند. این نیرو قطار را بین ۱ تا ۱۰ سانتی متر بالاتر از ریل نگه می‌دارد. واگن‌هایی که به این طریق از سطح زمین فاصله گرفته‌اند، با نیروی الکترومغناطیسی به جلو رانده می‌شوند. برای اعمال این نیروی جلوبر آهنرباهای الکتریکی دیگری در امتداد دیواره‌های واگن‌ها و دیواره‌های جانبی دالان تعبیه شده‌اند. این آهنرباها



الف



ب

هم باعث ثبات و هم هدایت قطار در طول سفر می‌شوند. جریان برقراری در سیم‌لوله‌های موجود در دیوارهٔ دالان راهبر قابل تغییر است. وقتی هم قدرت و هم جهت میدان آهنرباهای الکتریکی قابل تغییر باشد هم بتواند به عنوان جلوبر عمل کنند و هم به عنوان ترمز. برای جلو راندن قطار جهت میدان‌های مغناطیسی در دیواره‌های راهبر متناوباً تغییر می‌کند تا بتواند آهنرباهای روی دیوارهٔ قطار را به جلو براند. در شکل الف واگن نسبت به دیواره‌ها در وضعیتی است که نیروهای ربایشی و رانشی برآیندی رو به جلو دارند. وقتی واگن کمی جلوتر بیاید تا هر دو جفت N و S مقابل هم باشند نیروها مؤلفهٔ افقی نخواهند داشت ولی واگن به خاطر سرعتی که داشته از این وضعیت رد می‌شود و در همین لحظه قطب‌های آهنرباهای دیواره تغییر می‌کند

در غیر این صورت نیروها مؤلفهٔ افقی به سوی عقب پیدا می‌کند اما با تغییر قطب‌ها باز هم نیروها مؤلفهٔ افقی رو به جلو خواهند داشت. در این قطارها اصطکاک لغزشی سطوح تماس حذف شده و با طراحی شکل واگن‌ها اصطکاک هوا نیز به کمترین حد ممکن رسیده است. بنابراین قطارها می‌توانند با سرعتی حدود 500 km/h حرکت کنند.

در نوع آلمانی که سرعتی در حدود 400 km/h دارد مطابق شکل ب نیازی به دالان نیست و کابین قطار توسط بازوهای جانبی روی یک ریل راهبر به شکل ∇ سوار می‌شود و با برقراری جریان در آهنرباهای الکتریکی موجود روی ریل و بازو و ربایش بین آنها نیروی وزن کابین را خنثی می‌کند و قطار حدود 1 cm بالاتر از ریل قرار می‌گیرد. در این مدل نیز برای به جلو راندن قطار به مجموعهٔ آهنرباهای الکتریکی دیگری نیاز است که ربایش و رانش‌های دو به دوی آنها می‌تواند هم تأمین‌کنندهٔ نیروی جلوبر و هم نیروی ترمز در صورت لزوم باشد.



راهنمای تدریس : افزون بر کاربردی که در شروع فصل به آن پرداختیم کاربردهای دیگری از آهنربا و مغناطیس در زندگی و فناوری وجود دارد که می‌توانید به برخی از آنها اشاره کنید و برخی را نیز می‌توانید به صورت فعالیت‌های فردی یا گروهی به دانش‌آموزان واگذار کنید. کاربرد آهنربا و مغناطیس در خودروها و در تصفیه آب از جمله فعالیت‌های پیشنهادی به دانش‌آموزان می‌تواند باشد.

کاربرد مغناطیس و آهنربا در جنبه‌های مختلف زندگی بشر، زندگی روزافزون دارد. فراتر از یک قرن، ضبط صدا و تصویر روی محیط‌هایی انجام می‌گرفت که مغناطیس در آنها نقش اصلی داشت. اگرچه فناوری دیجیتال به میزان زیادی جایگزین ضبط مغناطیس به نوارهای سنتی شده است، با وجود این، ذخیره اطلاعات به صورت صفر و یک، هنوز هم در بیشتر روش‌ها به محیط‌های مغناطیس وابسته است. مغناطیس و آهنرباها همچنین در دستگاه‌ها، گونی‌های تلقین همدار، رایانه‌ها، کارت‌های بانکی، موتورهای الکتریکی، پنجاه‌ها، و اغلب سامانه‌های همدار و ایمنی کاربرد دارد. پزشکی امروز نیز در تشخیص بیماری‌ها به کمک دستگاه‌های از قبیل ام‌آرآی (MRI)، بهره‌رسانی از مغناطیس و آثار آن می‌برد.

۳-۱ مغناطیس و قطب‌های مغناطیسی

آثار مغناطیسی دست کم ۲۵۰۰ سال پیش در تکه‌های از سنگ آهن مغناطیسی شده در نزدیکی شهر باستانی مگنسیا (که نام امروزی آن مانیسا و در غرب ترکیه واقع است) مشاهده شد. این تکه‌ها نمونه‌هایی هستند از چیزی که امروزه آهنربای دائمی خوانده می‌شود (شکل ۳-۱). جیتی‌های باستان نیز با ویژگی‌های مغناطیسی برخی از سنگ‌های آهنربایی آشنایی داشتند و از آنها در ساخت قطب‌نما برای جهت‌یابی استفاده می‌کردند (شکل ۳-۲).

در علوم هشتم دیدید که هرگاه آهنربای را درون ظرف محتوی براده آهن فرو ببریم، براده‌های آهن به مقدار زیادی جذب ناحیه‌های خاصی از آهنربا می‌شوند. این ناحیه‌ها را قطب‌های مغناطیسی یا قطب‌های آهنربا می‌نامند (شکل ۳-۳).

توجه ۳-۱

فرض کنید دو میله کاملاً مشابه، یکی از جنس آهن و دیگری آهنربا در اختیار دارید. با گفت‌وگو در گروه خود، روشی را پیشنهاد کنید که با استفاده از آن و بدون استفاده از هیچ وسیله دیگری، بتوان میله‌ای را که از جنس آهن‌باست تشخیص کرد.

هنگامی که یک آهنربای دائمی برای چندین بار و در یک جهت به یک سوزن خیاطی یا سوزن ته‌گرد کشیده شود، سوزن نیز برای مدتی آهنربا می‌شود (شکل ۳-۴). اگر این سوزن را به آرامی روی سطح آب درون ظرفی ششاور کنیم، با آن را توسط وسیله‌ای از وسط آن بیرونیم که بتواند آزادانه بچرخد، یک سر آن تقریباً به سوی شمال جغرافیایی قرار می‌گیرد. این سر را قطب شمال یا قطب N و سر دیگر را قطب جنوب یا قطب S می‌نامند.

ممکن است مفهوم قطب‌های مغناطیسی به نظر مشابه مفهوم بارهای الکتریکی باشد و قطب‌های شمال و جنوب، مشابه بارهای مثبت و منفی به نظر بیاید؛ ولی این مشابهت می‌تواند گمراه کننده باشد. بارهای مثبت و منفی مجزا وجود دارند، در حالی که هیچ گاه تجربه بر وجود تک قطبی مغناطیسی وجود ندارد؛ قطب‌های مغناطیسی همواره به صورت زوج ظاهر می‌شوند.



شکل ۳-۱: سنگ آهنربای طبیعی. تاشی که اغلب از آن به عنوان پدر سوزن نام می‌برد. سوزن‌ها فلزاتی هستند که با قرار دادن آنها در آهنربا، به آهنربا تبدیل می‌شوند.



شکل ۳-۲: قطب‌نمای باستانی. قطب‌نمای باستانی که برای جهت‌یابی استفاده می‌شود.



شکل ۳-۳: آهنربای دو قطبی. آهنربای دو قطبی که در تابه وجود دارد. که خاصیت مغناطیسی فراموش‌ناپذیر است. قسمت‌های دیگر آهنربا.

پرسش ۳-۱

این پرسش به صورت فعالیت ساده‌ای در مجموعه فیلم‌های مرتبط با آزمایش‌های فیزیک ۲ انجام شده است که می‌توانید آن را در سایت گروه فیزیک مشاهده کنید.

از آنجا که خاصیت مغناطیسی در وسط یک میله آهنربایی به حداقل ممکن می‌رسد می‌توان به سادگی میله آهنربایی و میله معمولی را از آن تشخیص داد. یکی از میله‌ها را به طور افقی در دست خود نگه می‌داریم و میله دیگری را به دو سر و وسط آن نزدیک می‌کنیم. اگر میله فقط از دو سر آن آویزان شود، و از وسط آن رها شود، نشان می‌دهد که میله افقی آهنرباست.

توجه

در شکل ۳-۴ باید توجه کنید که قسمتی از سوزن که پس از کشیده شدن آهنربا، از آن جدا می‌شود، قطب مخالف آهنربا در آن القا می‌شود.

پرسش ۲-۳

از آنجا که پدیده القای الکترومغناطیسی در علوم سال هشتم به دانش آموزان آموزش داده شده است، لذا در این پرسش صرفاً جهت یادآوری مروری بر این پدیده شده است.

در پرسش ۱، دانش آموزان باید به پدیده القای الکترومغناطیسی اشاره کنند و دلیل وصل شدن میخ و واشرهای آهنی را ناشی از این پدیده بدانند.

۲-۳ میدان مغناطیسی

راهنمای تدریس: از آنجا که دانش آموزان در فصل اول به اندازه کافی با مفهوم میدان الکتریکی و خطوط وابسته به آنها آشنا شده اند این بخش را با مشابهت سازی می توانید دنبال کنید.

۲-۳ میدان مغناطیسی

هرگاه آهنی را به یک میخ آهنی نزدیک کنید می بینید که میخ به طرف آهنی حرکت می کند و به سمت آن جذب می شود (شکل ۲-۳). مشابه آنچه درباره اجسام باردار دیدید. برای توضیح این پدیده می گوئیم در فضای اطراف آهنی میدان مغناطیسی وجود دارد که سبب جذب میخ شده است. میدان مغناطیسی نیز مانند میدان الکتریکی که در فصل ۱ با آن آشنا شدید، کمیتی برداری است و آن را با علامت $\vec{B}$ نمایش می دهیم.

توضیحات

یکی از قطب های یک آهنری میله ای را به یک عقربه مغناطیسی نزدیک کنید (شکل رویه رو). آنچه را می بینید توضیح دهید. با دور کردن آهنری از قطب شما چه اتفاقی می افتد؟ دلیلی آن را شرح دهید. در صورتی که قطب شما در اختیار ندارید، یک سوزن که گرد مغناطیسی شده را روی سطح آب، درون ظرفی شناور سازید. به این ترتیب، سوزن نمرگه مانند عقربه مغناطیسی یک قطب شما رفتار می کند.

پرسش پیشنهادی

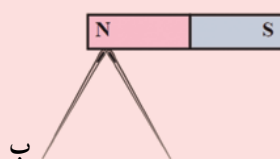
نیروی مغناطیسی وارد بر عقربه مغناطیسی از طرف زمین، بزرگ تر، کوچک تر یا مساوی با نیروی مغناطیسی ای است که از طرف عقربه مغناطیسی بر زمین وارد می شود؟

جواب: مساوی است.

پرسش پیشنهادی: الف) بگوئید که چرا دو سوزن که به دو سر یک آهنری آویزان باشند به یکدیگر متمایل می شوند؟

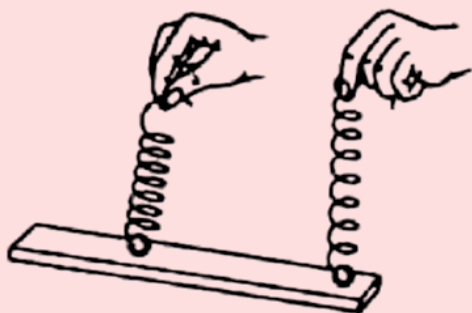


ب) چرا انتهای دو سوزن که به یک قطب یک آهنری آویزان باشند، یکدیگر را دفع می کنند؟



پاسخ: الف) در اثر خاصیت القای مغناطیسی دو سر سوزن ها، قطب های مخالف می شوند و به طرف یکدیگر می آیند. ب) دو انتهای سوزن ها قطب های همنام شده و یکدیگر را دفع می کنند.

فعالیت پیشنهادی

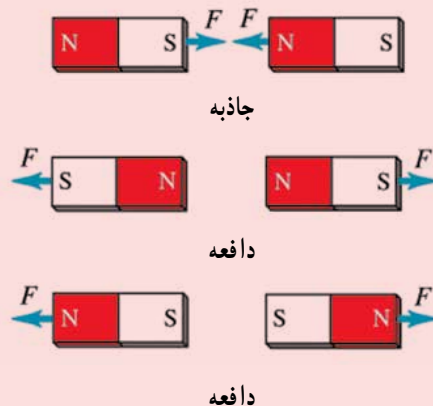


یک گوی آهنی را به یک طرف فنر مارپیچی وصل کنید. این گوی را به نقطه‌ای از سطح یک آهنربا تماس دهید و سپس با کشیدن فنر آن را جدا کنید. افزایش طول فنر به هنگام جدا کردن نشانه نیروی لازم برای غلبه بر نیروی جاذبه وارد بر گوی در نقطه تماس با آهنربا است. گوی را در نقطه‌های دیگر (مثلاً در وسط آهنربا) قرار دهید مشاهدات خود را بیان کنید.

پاسخ: نیروی جاذبه در وسط آهنربا ضعیف و در دو سر آن قوی است زیرا افزایش طول فنر به هنگام جدا کردن گوی آهنی از آهنربا بیشتر است.

پرسش پیشنهادی

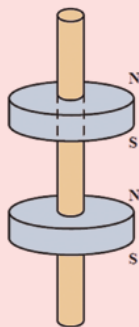
به شکل زیر به دقت نگاه کنید و آنچه را درک می‌کنید به صورت یک نقشه مفهومی بنویسید.



فعالیت پیشنهادی

چند آهنربای حلقه‌ای را مطابق شکل به گونه‌ای قرار داده‌ایم که شناور بمانند و به یکدیگر نچسبند :
 ۱ اگر قطب شمال آهنربای بالایی قسمت بالای آن باشد، قطب‌های مغناطیسی بقیه آهنرباها را مشخص کنید.

پاسخ :



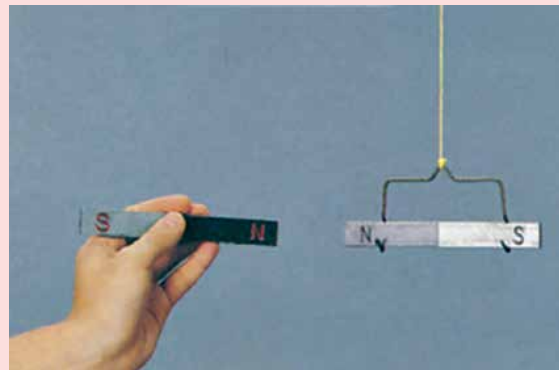
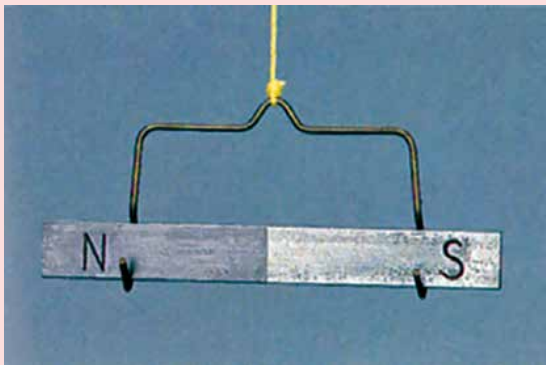
شکل ۵

۲ با قرار دادن آهنرباهای حلقه‌ای، در داخل یک نی پلاستیکی فعالیت را انجام دهید.
 ۳ نی و آهنرباهای داخل آن را در دستان خود به صورت افقی بگیرید چرا با حرکت دادن یکی از آهنرباها خواهید دید که بقیه آنها هم جابه‌جا می‌شوند؟
 پاسخ : به دلیل نیروی دافعه مغناطیسی بین قطب‌های همنام آهنرباها.

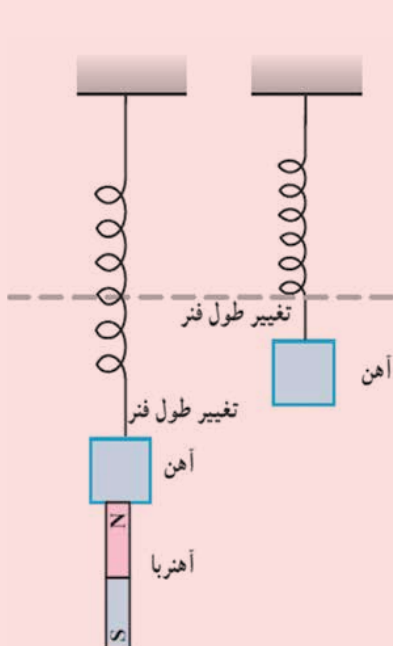


فعالیت پیشنهادی

هدف : برقراری رابطه بین مفاهیم نیروی مغناطیسی و قانون سوم نیوتون
 دو آهنربای میله‌ای را از وسط با دو تکه نخ آویزان می‌کنیم. بسته به قرار گرفتن قطب‌های ناهمنام و همنام در مجاور یکدیگر در دو حالت جذب و دفع، شکل آزمایش را بر روی کاغذ بکشید و جهت نیروهای مغناطیسی را با توجه به قانون سوم نیوتون رسم کنید.



فعالیت پیشنهادی



هدف : تشخیص نیروی گرانش و نیروی مغناطیسی و مقایسه آنها
 الف) مطابق شکل فنری را از یک طرف آویزان کنید. طول آن را اندازه بگیرید.

ب) قطعه‌ای آهنی را به انتهای آن بیاویزید و تغییر طول فنر را اندازه بگیرید.
 پ) چه عاملی باعث تغییر طول فنر می‌شود؟
 ت) یک آهنربای میله‌ای را از زیر، به تدریج به قطعه آهن آویخته به فنر، نزدیک کنید. مشاهدات خود را بیان کنید.
 ث) آهنربا را در دورترین فاصله‌ای قرار دهید که منجر به جذب قطعه آهنی می‌شود و تغییر طول فنر را اندازه بگیرید.

ج) چه عاملی باعث افزایش تغییر طول فنر نسبت به حالت قبل شده است؟
 پاسخ : پ) نیروی گرانش که از طرف زمین بر قطعه آهنی وارد می‌شود.
 ت) آهن به تدریج پایین کشیده می‌شود و جذب آهنربا می‌گردد، افزایش طول فنر را مشاهده می‌کنیم.

ج) نیروی مغناطیسی که علاوه بر نیروی گرانشی بر قطعه آهنی وارد می‌شود.

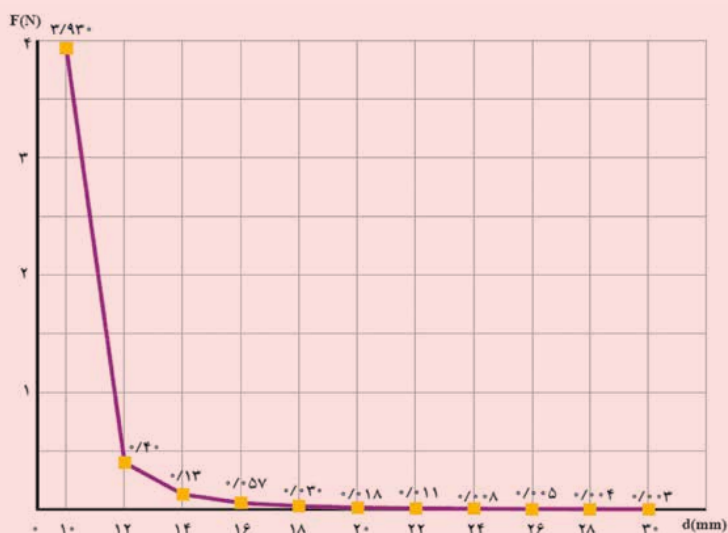
فعالیت پیشنهادی

فعالیت پیشنهادی

نیروی دافعه بین دو قطب همنام دو آهنربا بر اساس فاصله آنها از یکدیگر اندازه گیری شده و در جدول زیر ثبت شده است. نمودار نیروی مغناطیسی بر حسب فاصله دو قطب همنام دو آهنربا را رسم کنید (برای رسم نمودار می توانید از نرم افزار Excel استفاده کنیم)

جدول (۱)

فاصله $d(\text{mm})$	نیرو $F(\text{N})$
۱۰	۳/۹۳۰
۱۲	۰/۴۰
۱۴	۰/۱۳
۱۶	۰/۰۵۷
۱۸	۰/۰۳۰
۲۰	۰/۰۱۸
۲۲	۰/۰۱۱
۲۴	۰/۰۰۸
۲۶	۰/۰۰۵
۲۸	۰/۰۰۴
۳۰	۰/۰۰۳



پاسخ:

سپس از دانش آموزان می خواهیم تا نمودار نیروی مغناطیسی بر حسب عکس مجذور فاصله دو قطب همنام دو آهنربا را

رسم کنند و با توجه به شکل، نمودار F بر حسب $\frac{1}{d^2}$ بیان کنند که آیا نمودار خط راست است؟ نتیجه را با نیروی بین دو بار الکتریکی بر حسب مجذور گروه از یکدیگر (قانون کولن) مقایسه کنند.

برای مشاهده نحوه انجام فعالیت ۱-۳ و همچنین فعالیت پیشنهادی مرتبط با شکل ۳-۶ می توانید به فیلم مرتبط با آزمایش های فیزیک ۲ مراجعه کنید (سایت گروه فیزیک).

پرسش ۳-۳

۱- با توجه به شکل ۳-۶ الف، دانش آموزان به سادگی می‌توانند جهت عقربه‌های مغناطیسی را در پرسش ۱ تعیین کنند.

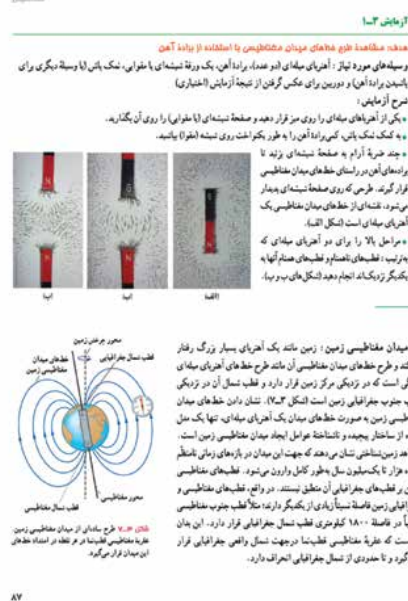
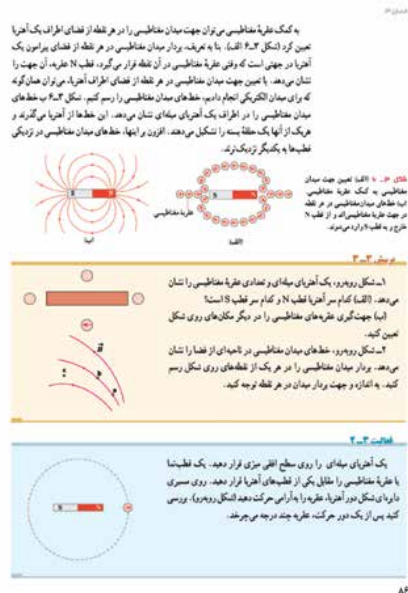
۲- همان‌طور که اشاره کردیم چون دانش آموزان در فصل ۱ به اندازه کافی با مفهوم میدان، خطوط میدان و ویژگی‌های آن آشنا شدند به سادگی می‌توانند به این پرسش پاسخ دهند. در این پرسش تنها سه خط از خطوط میدان رسم شده است و خط عبوری از نقطه c رسم نشده است (نکته‌ای که باید دوباره به دانش آموزان گوشزد شود). با توجه به فاصله خطوط از یکدیگر، اندازه میدان به ترتیب بزرگی در نقطه‌های a ، b و c است. به همین دلیل هنگام رسم بردار میدان $\vec{B}$ ، که باید بر خطوط مماس باشد، باید به اندازه بردار $\vec{B}$ هم توجه کنند.

فعالیت ۲-۳

این فعالیت نیز به صورت فیلم‌های مرتبط با آزمایش‌های فیزیک ۲ در سایت گروه فیزیک موجود است که می‌توانید مشاهده کنید. در ضمن این فعالیت در کلاس درس نیز باید توسط دانش آموزان انجام شود و پس از انجام آن نتیجه را گزارش کنند. (پاسخ نهایی فعالیت : ۷۲۰ درجه).

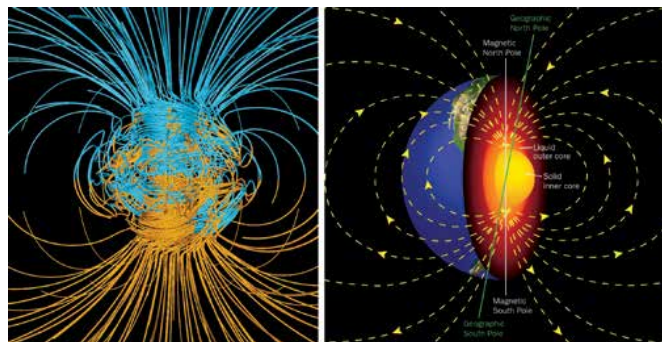
آزمایش ۱-۳

علاوه بر روشی که در آزمایش آمده است به روش دیگری که در مجموعه فیلم‌های مرتبط با آزمایش‌های فیزیک ۲ در سایت گروه فیزیک موجود است می‌توانید این آزمایش را به کمک دانش آموزان دنبال کنید.



میدان مغناطیسی زمین

در شکل ۷-۳ تنها مدل بسیار ساده از طرح خطوط میدان مغناطیسی در اطراف کره زمین نشان داده شده است. لازم است در این قسمت به این نکته مهم اشاره شود که در مشابهت سازی و مدل سازی میدان مغناطیسی زمین با یک آهنربای میله‌ای، بسیار ساده سازی شده است. شکل های زیر مدل سازی کامل تری از خطوط میدان مغناطیسی در اطراف کره زمین را نشان می دهد.



توضیح در خصوص چند زاویه مغناطیسی

زاویه میل مغناطیس (magnetic declination angle) همان طور که در کتاب درسی نیز اشاره شده است چون محور مغناطیسی زمین با محور جغرافیایی آن (محور چرخش زمین) به طور کامل موازی نیست، در نتیجه خواننده یک قطب نما تا حدودی از شمال جغرافیایی انحراف دارد. این انحراف که با مکان تغییر می کند زاویه میل مغناطیسی نامیده می شود. در برخی منابع برای این زاویه از عبارت وردش مغناطیسی (magnetic variation) نیز استفاده شده است. همچنین میدان مغناطیسی در بیشتر نقاط روی سطح زمین افقی نیست، زاویه آن به سمت بالا یا پایین را شیب مغناطیسی (magnetic inclination angle) می نامند.

در خصوص عبارت زاویه انحراف مغناطیسی (magnetic deviation angle) نیز لازم به ذکر است که این عبارت تنها برای شرایطی به کار می رود که قطب نما در محلی استفاده شود که مقداری فلز در آنجا وجود داشته باشد (مانند کشتی). به دلیل برهمکنش میدان مغناطیسی زمین با فلز به کار رفته در کشتی، اندکی خطا یا انحراف در جهت گیری عقربه مغناطیسی و در نتیجه عددی که برای میل مغناطیسی گزارش می شود به وجود می آید.

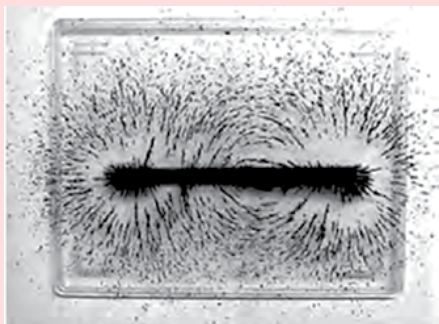
آزمایش پیشنهادی

هدف : مشاهده راستای میدان مغناطیسی در فضای سه بعدی
 برای مشاهده میدان مغناطیسی در فضای سه بعدی می توان از آهنربای میله ای که در محفظه ای پر شده از محلول گلیسرین حاوی براده آهن است استفاده کرد. با قرار گرفتن آهنربای میله ای در این فضا با نگاه کردن به محفظه از جهت های مختلف خط های میدان مغناطیسی توسط براده های آهن در یک فضای سه بعدی نشان داده می شود. براده های آهن بر روی منحنی هایی قرار می گیرند که این منحنی ها، خطوط میدان مغناطیسی هستند.



میدان مغناطیسی آهنربای میله ای در سه بعد

آزمایش پیشنهادی



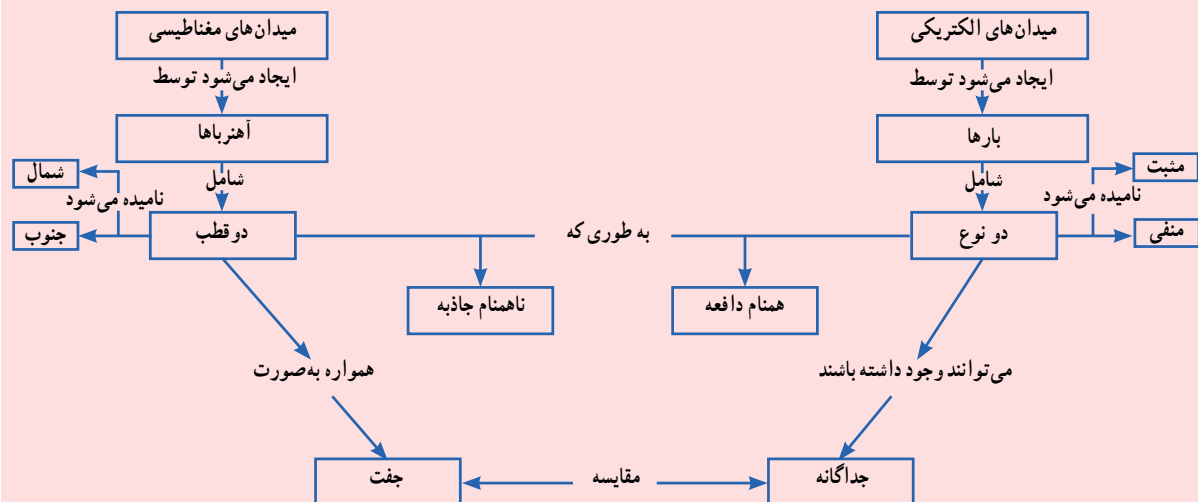
روشی برای ثبت کردن طرح خط‌های میدان مغناطیسی روی کاغذ

وسایل لازم : آهنربای میله‌ای – کاغذ یا مقوا – سینی پلاستیکی – موم یا شمع – نمک پاش و براده آهن

روش کار : کاغذ را موم اندود می‌کنیم، آهنربا را روی سینی و کاغذ را روی آن می‌گذاریم و روی آن براده می‌پاشیم تا شکل میدان مغناطیسی مشخص شود. به آرامی آهنربا را از زیر کاغذ خارج می‌کنیم و سینی را در محل گرم قرار می‌دهیم تا موم نرم شود و براده‌ها به آن بچسبند. بعد از سرد شدن طرح میدان روی کاغذ ثابت می‌ماند.

فعالیت پیشنهادی

نقشه مفهومی زیر را به صورت یک متن ساده فیزیکی بنویسید به طوری که این متن برای دانش آموزی که با این موضوع آشنایی ندارد، قابل فهم باشد.



فعالیت ۳-۳

این فعالیت با روش ساده و هوشمندانه‌ای در مجموعه فیلم‌های مرتبط با آزمایش‌های فیزیک ۲ انجام شده است و در سایت گروه فیزیک موجود است.

شکل‌های زیر چند نمونه شیب‌سنج را نشان می‌دهد که ممکن است در آزمایشگاه مدرسه شما نیز یک نمونه از آنها موجود باشد.



فعالیت ۳-۳

وقتی یک سوزن مغناطیسی شده با یک عقربه مغناطیسی را از وسط آن آویزان می‌کنیم در بیشتر نقاط زمین، به طور افقی قرار نمی‌گیرد و استعداد آن با سطح افقی زمین زاویه می‌سازد. به این زاویه، **شیب مغناطیسی** گفته می‌شود.

برای یافتن شیب مغناطیسی سطحی که در آن زندگی می‌کنید درست به وسط یک سوزن مغناطیسی شده با عقربه مغناطیسی بزرگ، نخ را پندید و آن را آویزان کنید. پس از تعادل، به کمک قاعده، زاویه‌ای را اندازه بگیرید که امتداد سوزن با عقربه مغناطیسی با راستای افق می‌سازد. عدد بدست آمده، شیب مغناطیسی سطح زندگی شماست. چنانچه در آزمایشگاه مدرسه شیب‌سنج مغناطیسی موجود باشد می‌توانید از آن نیز استفاده کنید.

توب است فعالیت‌های جهت‌یابی مغناطیسی، هر جاذبه‌ای.

بسیاری از موجودات زنده از میدان مغناطیسی زمین برای جهت‌یابی استفاده می‌کنند. خرچنگ خاردار کزازیپ در برای میدان‌های مغناطیسی بسیار حساس است شکل افقی. این جاندار یک قطب‌نمای مغناطیسی درونی دارد که تشخیص شمال، جنوب، شرق و غرب را برایش امکان‌پذیر می‌کند. این خرچنگ همچنین می‌تواند تفاوت‌های کوچک در میدان مغناطیسی زمین از مکانی به مکان دیگر را حس کند و از این تفاوت‌ها در یافتن مسیر خود بهره‌بردار می‌گردد.

در سال ۱۹۷۵ میلادی دانشمندان مؤسسه فناوری ماساچوست (MIT) هنگام بررسی باکتری‌های موجود در لجن در باتلاق‌ها متوجه شدند که این باکتری‌ها دارای سیستم‌های کوچک در جن خود هستند که خاصیت مغناطیسی دارند. این سیستم‌ها به صورت زنجیری در یک خط قرار دارند در نتیجه یک عقربه مغناطیسی کوچک را تشکیل می‌دهد (شکل ۳-۱۰). باکتری‌ها به کمک این مغناطیسی داخلی می‌توانند از میدان مغناطیسی زمین بهره‌بردار شوند و به طرف مواد غذایی در آن حرکت می‌کنند. چنانچه این باکتری‌های مربوط به نیکروپتونی زمین، برای رسیدن به آن دیگر در خلاف جهت خط‌های میدان مغناطیسی زمین قرار می‌گیرند.

میدان مغناطیسی بکواترخت: هرگز در نقاط مختلف اجسامی از فلز جهت و اندازه میدان مغناطیسی یکسان نیستند. در این صورت میدان مغناطیسی را در آن ناحیه بکواترخت می‌گویند. ایجاد میدان مغناطیسی بکواترخت در ناحیه‌ی روی آن فلز بسیار دشوار و در عمل امکان‌پذیر است. با این وجود، می‌توان در ناحیه کوچکی از فلز، مانند ناحیه بین قطب‌های یک آهن‌ربای C شکل، میدان مغناطیسی بکواترخت ایجاد کرد (شکل ۳-۱۱).

شکل ۳-۱۰: میدان مغناطیسی در فلزهای بین قطب‌های

شکل ۳-۱۱: یک آهن‌ربای C شکل با قطب‌های بکواترخت است.

در مورد این مطلب به سایت www.magnetism-distribution.com مراجعه کنید. به دست آمده از فعالیت ۳-۲ و ۳-۱

با توجه به این مسئله www.magnetism-distribution.com در مورد مغناطیسی را در سطح زندگی خود، آسان بگیرید. شیب مغناطیسی در آن را در حدود ۱۰-۲۰ درجه است.

از این تصویر می‌توانید استفاده کنید. هر جاذبه‌ای

AA

دانستنی برای معلم

میدان مغناطیسی زمین

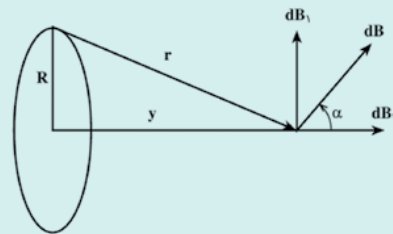
نخستین بار سر ویلیام گیلبرت عنوان کرد که زمین آهن‌ربای بزرگی است که قطب و استوای مغناطیسی دارد. در آن زمان تصور می‌شد که میدان مغناطیسی زمین ناشی از آهن‌ربای بزرگ درون آن است. می‌دانیم، بخش درونی زمین به‌طور عمده از نیکل و آهن مذاب تشکیل شده که دمای آن دست کم حدود ۲۲۰۰ درجه سلسیوس است و می‌تواند آزادانه از طریق هم‌رفت حرکت کند. در نتیجه، این فرضیه که بخش درونی زمین به‌طور دائم مغناطیسی شده باشد، بعید است. از سوی دیگر، میدان مغناطیسی زمین کاملاً مانا نیست. قطب شمال مغناطیسی اکنون در شمال کانادا قرار دارد، ولی در طول سال‌ها دیده شده که این قطب به آهستگی حرکت می‌کند. علاوه بر این، خاصیت مغناطیسی مشاهده شده در صخره‌های آهن‌دار در پوسته زمین نشان می‌دهد که گاهی جهت میدان مغناطیسی زمین به‌طور کامل وارون شده است. زمین و حداقل سه سیاره از چهار سیاره منظومه غول‌پیکر شمسی، دارای میدان مغناطیسی هستند. برای اینکه سیاره بتواند میدان مغناطیسی داشته باشد، لازم است دارای مرکز رسانای الکتریسته باشد و به سرعت بچرخد؛ به طوری که مایع در آنها به چرخش درآید. کره ماه و کره مریخ مرکز مایع ندارند، بنابراین فاقد میدان مغناطیسی هستند.

همه شواهد این باور را تأیید می‌کنند که میدان مغناطیسی زمین به جای اینکه از آهن‌ربای دائمی سرچشمه گرفته باشد، می‌تواند از جریان‌های الکتریکی که به دور هسته نیکل - آهنی این سیاره می‌چرخند، به وجود آمده باشد. جریان الکتریکی در داخل زمین می‌تواند درست به گونه‌ی جریانی که در یک پیچه برقرار است، میدان مغناطیسی ایجاد کند. اگر به دلیلی جهت این جریان الکتریکی تغییر کند، جهت میدان مغناطیسی نیز وارون خواهد شد.

اندازه‌گیری میدان مغناطیسی زمین

یکی از روش‌های اندازه‌گیری میدان مغناطیسی زمین، اندازه‌گیری برآیند میدان زمین با میدان حاصل از یک سیم پیچ حامل جریان است. با کمک یک روش ساده تجربی و استفاده از یک قطب‌نما و یک سیم پیچ، اندازه میدان مغناطیسی زمین را می‌توان حساب کرد. هرگاه از حلقه‌ای شامل N دور سیم، جریان I عبور کند، میدان مغناطیسی در فاصله y از مرکز حلقه شکل زیر با کمک قانون بیوساوار به دست می‌آید :

$$B = \int dB_r = \int dB \cos \alpha = \frac{\mu IR}{4\pi r^3} \int dI \Rightarrow B = \frac{\mu IR^2}{2r^3}$$



اندازه شدت میدان مغناطیسی حلقه برابر است با :

$$H = \frac{B}{\mu_0} = \frac{IR^2}{2(R^2 + y^2)^{3/2}} \quad (۱)$$

اگر N حلقه داشته باشیم، رابطه ۱ به صورت زیر درمی‌آید :

$$H = \frac{NIR^2}{2(R^2 + y^2)^{3/2}} \quad (۲)$$

در دستگاه گاوسی، رابطه ۲ به صورت زیر در می‌آید :

$$H = \frac{2\mu IR^2 N}{(R^2 + y^2)^{3/2}} \quad (۳)$$

در این سیستم R و y برحسب سانتی‌متر، I برحسب آمپر و H برحسب گاوس است. جهت H با کمک قانون دست راست به دست می‌آید. یعنی اگر جریان در جهت انگشت شست دست راست باشد، جهت میدان در امتداد بسته شدن چهار انگشت دست راست خواهد بود. از آنجا که میدان مغناطیسی زمین در هر نقطه، به دو مؤلفه افقی و قائم قابل تجزیه است، عقربه مغناطیسی تحت تأثیر مؤلفه افقی منحرف می‌شود. حال اگر از سیم پیچ جریان عبور کند، عقربه مغناطیسی تحت تأثیر دو میدان که هر دو افقی هستند، قرار می‌گیرد. بدیهی است که در این حالت، عقربه در امتداد برآیند این دو میدان قرار می‌گیرد.

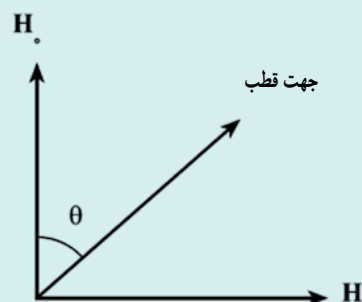
اگر عقربه مغناطیسی را طوری قرار دهیم که جهت میدان مغناطیسی زمین عمود بر میدان حاصل از سیم پیچ آن باشد، آن‌گاه طبق شکل پایین می‌توان نوشت :

$$\tan \theta = \frac{H}{H_0} \quad (۴)$$

با اندازه‌گیری θ و معلوم بودن مقدار H می‌توان H_0 را از رابطه ۴ به‌دست آورد. چون میدان H را با عبور جریان از سیم پیچ تولید می‌کنیم، از رابطه‌های ۳ و ۴ داریم:

$$H = H_0 \tan \theta \Rightarrow \frac{\mu N I R^2}{(R^2 + y^2)^{3/2}} = H_0 \tan \theta \quad (5)$$

$$\Rightarrow I = \frac{(R^2 + y^2)^{3/2}}{\mu N I R^2} H_0 \tan \theta$$



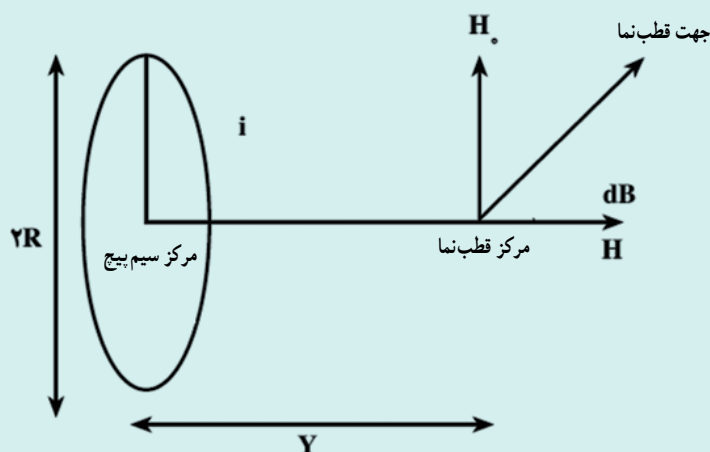
که می‌توان رابطه ۵ را به‌صورت زیر نوشت:

$$I = m \tan \theta \quad (6)$$

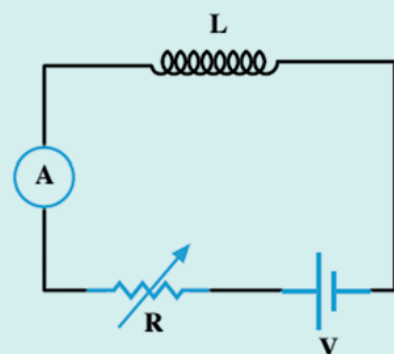
حال می‌توان نمودار I را برحسب $\tan \theta$ رسم کرد. شیب خط حاصل یعنی m را اندازه گرفت و H_0 (شدت میدان مغناطیسی زمین) را به‌دست آورد:

$$H_0 = \frac{\mu N R^2 m}{(R^2 + y^2)^{3/2}} \quad (7)$$

نحوه انجام آزمایش: ابتدا قطب‌نما را روی میز آن‌قدر جابه‌جا کنید که قطب شمال آن تقریباً در راستای شمال – جنوب جغرافیایی قرار گیرد (برای این کار می‌توان آزمایش را روی زمین انجام داد تا از اثرات احتمالی میدان‌های میز آهنی بر قطب‌نما جلوگیری شود). سپس سیم پیچ را آن‌قدر حرکت دهید تا محور عمود بر سیم پیچ، بر قطب‌نما عمود باشد. شکل‌های (۱) و (۲) مدار آزمایش و نحوه قرار گرفتن میدان‌ها را نشان می‌دهند.



شکل (۲)



شکل (۱)

در حالتی که جریان صفر است، باید جهت قطب‌نما در همان راستای شمال و جنوب باقی بماند. حال دامنه آمپر متر را روی 1° آمپر قرار دهید و با تغییر درجه منبع تغذیه و رئوستا، جریان‌های متفاوت را برقرار سازید و میزان انحراف عقربه را بخوانید و در جدول (۱) یادداشت کنید. برای اندازه‌گیری دقیق‌تر در هر مرحله، مقدار 1° آمپر به جریان‌های قبلی اضافه کنید. پس از اینکه برای هشت جریان اندازه‌گیری شده زاویه θ را خواندید، برای کاهش خطای آزمایش، دوباره همان جریان‌ها را به وجود آورید و میزان انحراف را اندازه بگیرید (این کار را دو بار انجام دهید). سپس از θ ها میانگین بگیرید و نمودار I را برحسب $tg\theta$ رسم کنید و شیب آن را اندازه بگیرید.

نتیجه‌های تجربی به دست آمده در آزمایشگاه: قطر داخلی سیم پیچ برابر $4/5$ سانتی متر و قطر خارجی آن $6/5$ سانتی متر است. بنابراین برای به دست آوردن قطر سیم پیچ، میانگین دو عدد را به دست می‌آوریم:

$$\text{قطر} \frac{6/5 + 4/5}{2} = \frac{11}{2} = 5/5 \Rightarrow R = 2/75 \text{ cm}$$

با توجه به شکل ۲ در صفحه قبل، فاصله مرکز حلقه تا قطب‌نما را در آزمایشی که برقرار شد، $10/4$ سانتی متر گرفتیم و N هم برابر 1000 دور است. مقادیر به دست آمده را در جدول (۱) ثبت کرده‌ایم که در آن I برحسب میلی آمپر است. حال اگر نمودار I برحسب θ را رسم کنیم، شیب آن معرف m است. از طرف دیگر، برای به دست آوردن H_z باید شیب خط یعنی همین m را داشته باشیم:

$$m = \frac{1/19 - 0/84}{50 - 35} = \frac{0/35}{15} = 0/023$$

و به این ترتیب میدان مغناطیسی محل مورد آزمایش در سیستم گاوسی به دست می‌آید:

$$H_z = \frac{2\pi N R^2 m}{(R^2 + y^2)^{3/2}} = \frac{2\pi (1000)(2/75)^2 (0/023)}{((2/75)^2 + (10/4)^2)^{3/2}} = 0/87$$

جدول ۱

$10/3$	$16/5$	12	$27/2$	35	37	50	93	104	I
10	20	15	30	40	40	50	60	70	θ
$0/18$	$0/36$	$0/27$	$0/58$	$0/84$	$0/84$	$1/19$	$1/73$	$2/75$	$tg\theta$

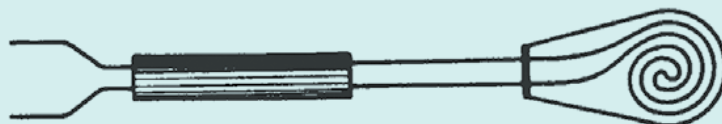
اندازه‌گیری میدان مغناطیسی در هر نقطه

یکی از وسایل اندازه‌گیری میدان‌های مغناطیسی، سوزن مغناطیسی است که از رشته کشسانی آویزان است و اساس کار آن شبیه ترازوی پیچشی کولن است. برای اندازه‌گیری زاویه‌های پیچش رشته صفحه مدرجی در بالا به آن نصب شده است و محل نوک‌های سوزن با کمک درجه‌ها روی استوانه بیرونی معین می‌شود. در این دستگاه سوزن فقط وقتی در تعادل است که گشتاور نیروی حاصل از میدان برابر و مخالف گشتاور نیروی رشته پیچیده باشد. اگر سوزن در امتداد مغناطیسی سمت‌گیری کرده باشد ($\alpha = 0^\circ$) یعنی گشتاور صفر و رشته نباید پیچیده باشد.

با پیچش رشته به اندازه زاویه معین، می‌توان برای هر سمت‌گیری سوزن به تعادل رسید. گشتاور نیروی وارد بر رشته با محاسبات یا درجه‌بندی اولیه وسیله از روی زاویه پیچش معین می‌شود. پس می‌توانیم بیشترین نیرو که به ازای $\alpha = 90^\circ$ است را به‌دست آوریم. یعنی مکانی را تعیین کنیم که در آن راستای سوزن بر راستای میدان مغناطیسی عمود باشد. ساخت این نوع مغناطیس‌سنج ایستا مشکل نیست ولی به اندازه کافی حساس و دقیق نیستند. پس در بسیاری موارد بهترین است که گشتاور نیروی وارد بر سوزن مغناطیسی با مشاهده نوسان‌های سوزن اندازه‌گیری شود.

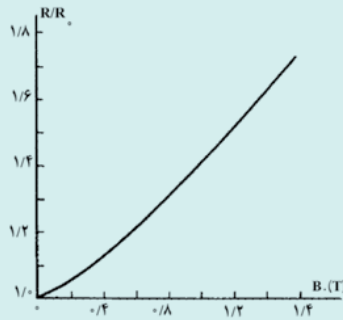
یک سوزن مغناطیسی که در میدان مغناطیسی از موضع تعادل خود تغییر مکان داده باشد، حول آن نقطه نوسان می‌کند. اگر جرم سوزن زیاد و در معرض اصطکاک ناحیز باشد قبل از توقف چندین نوسان می‌کند. بنابراین دوره نوسان‌ها را می‌توان با دقت اندازه‌گیری کرد. محاسبات نشان می‌دهد که هرچه گشتاور نیروی وارد بر سوزن بزرگ‌تر، یعنی هرچه میدان قوی‌تر باشد دوره نوسان‌ها کمتر است. پس با مقایسه دوره‌های نوسان برای سوزنی در میدان‌های مختلف می‌توان به‌طور قابل اطمینانی مقادیر میدان‌های متفاوت را مقایسه کرد. این مغناطیس‌سنج‌های دینامیکی برای اندازه‌گیری میدان‌های ضعیفی نظیر میدان مغناطیسی زمین با موفقیت به کار رفته‌اند.

بزرگی میدان مغناطیسی را به کمک پدیده‌های دیگری هم می‌توان اندازه گرفت. مثلاً با توجه به اینکه مقاومت الکتریکی بیسموت بر اثر میدان تغییر می‌کند می‌توان مغناطیس‌سنج ساخت. مارییج مسطحی که از سیم بیسموت ساخته شده است در میدان مغناطیسی بررسی می‌شود و مقاومت آن در درون و خارج میدان اندازه‌گیری می‌شود. می‌توان از تغییر مقاومت سیم درباره بزرگی میدان داوری کرد. طبیعی است باید مارییج بیسموت را با قرار دادن در میدان‌هایی با بزرگی معلوم ابتدا مدرج کنیم. مارییج‌های بیسموت را برای اندازه‌گیری میدان‌های قوی که بزرگی آنها هزاران برابر میدان مغناطیسی زمین است به کار می‌برند.



مارییج بیسموت

مثال : در نمودار شکل زیر R مقاومت بیسموت در میدانی به بزرگی B و R_0 مقاومت آن در خارج میدان انتخاب شده است.



شکل (۹۷)

با استفاده از نمودار بزرگی میدانی را تعیین کنید که مقاومت ماریچج بیسموت در آن ۲۶Ω و در خارج آن ۲۰Ω است.

پاسخ :

$$\begin{aligned} R/R_0 &= \frac{26}{20} = 1.3 \\ R &= 26\Omega \\ R_0 &= 20\Omega \end{aligned}$$

با توجه به نمودار $B = 0.8T$ است.

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

آزمایش نشان می‌دهد که اگر ذره باردار به سرعت $\vec{v}$ در میدان مغناطیسی $\vec{B}$ حرکت کند (به شرط آنکه جهت حرکت آن با میدان مغناطیسی موازی نباشد) بر آن نیروی وارد خواهد شد که مطابق شکل ۳-۳ الف بر راستای سرعت و میدان مغناطیسی عمود است. این نیرو را نیروی مغناطیسی می‌نامند و جهت آن مطابق شکل ۳-۳ ب و ب به کمک قانون دست راست تعیین می‌شود. اگر دست راست خود را طوری نگه دارید که انگشتان بار شما را در جهت $\vec{v}$ باشد و به گونه‌ای که وقتی آنها را روی زاویه کوچک‌تری که $\vec{v}$ یا $\vec{B}$ می‌سازد، و در جهت چرخش طبیعی انگشتان خم کنیم در جهت $\vec{F}$ قرار گیرد. انگشت شست ما در جهت نیروی وارد بر ذره باردار، شست خواهد بود. توجه کنید که نیروی وارد بر بار متغی، در خلاف جهت نیروی وارد بر بار مثبت است.

نکته ۳-۳ الف و **ب** ذره باردار به که با سرعت $\vec{v}$ در میدان مغناطیسی $\vec{B}$ حرکت می‌کند، نیروی مغناطیسی $\vec{F}$ وارد می‌شود. انبار آید جهت این نیرو به کمک قانون دست راست تعیین می‌شود.

انرژی نیروی مغناطیسی وارد بر بار الکتریکی در حال حرکت از رابطه زیر به دست می‌آید :

$$F = |q|vB \sin\theta \quad (3-1)$$

در این رابطه q ، بزرگی بار الکتریکی، v ، تندی (اندازه سرعت) بار الکتریکی، B ، اندازه میدان مغناطیسی و θ زاویه بین جهت حرکت بار الکتریکی (بردار $\vec{v}$) با جهت میدان مغناطیسی (بردار $\vec{B}$) است. شکل ۳-۳ الف.

رابطه ۳-۳ نشان می‌دهد وقتی بار الکتریکی به عمود بر راستای میدان مغناطیسی حرکت کند ($\sin\theta = \sin 90^\circ = 1$)، $F = qvB$ و $F = qvB$ (چون $F = qvB$)، بزرگی نیروی مغناطیسی وارد بر بار الکتریکی، بیشینه می‌شود.

بنا به رابطه ۳-۳، یکای SI میدان مغناطیسی معادل است با :

$$\frac{N}{C.m/s} = \frac{N}{A.m} \quad (3-2)$$

این یکا به احترام نیکلاس تسلا دانشمند و مخترع نامی، تسلا نامیده می‌شود و به اختصار با نماد T نشان داده می‌شود. به این ترتیب می‌توان نوشت :

$$1T = 1 \frac{N}{C.m/s} = 1 \frac{N}{A.m} \quad (3-3)$$

۸۹

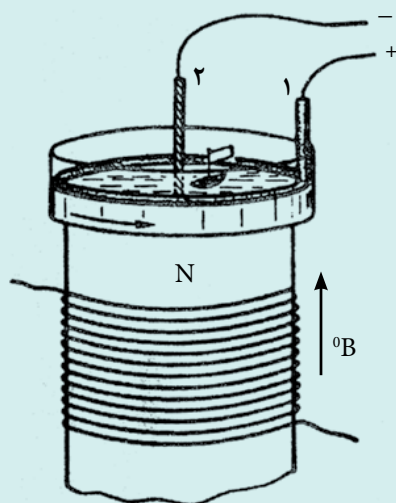
۳-۳ نیروی وارد بر ذره باردار در میدان مغناطیسی

راهنمای تدریس : در این قسمت دانش‌آموزان باید افزون بر آشنایی با تعیین جهت نیروی وارد بر ذره باردار متحرک در حضور میدان مغناطیسی $\vec{B}$ ، با محاسبه اندازه این نیرو که در رابطه ۳-۱ آمده است با حل تمرین‌های مختلف آشنا شوند.

آزمایش اثر میدان مغناطیسی بر بار الکتریکی متحرک

شکل زیر ظرف پر از محلول الکترولیتی را نشان می‌دهد. دو الکترود، یعنی حلقه ۱ و میله ۲ به قطب‌های باتری (منبع تغذیه) متصل شده‌اند. در الکترولیت جریان از الکترود ۱ به سوی ۲ برقرار می‌شود، یعنی یون‌ها در امتداد شعاع‌های ظرف حرکت می‌کنند. ظرف را بالای یکی از قطب‌های آهنربا قرار می‌دهیم، به گونه‌ای که میدان مغناطیسی در راستای قائم و به طرف بالا باشد و با راستای حرکت یون‌ها زاویه 90° بسازد. نیروهای وارد بر بار الکتریکی متحرک می‌خواهند، یون‌ها را در امتداد پیکان در صفحه افقی در دایره‌هایی، عمود بر شعاع‌های ظرف جابه‌جا کنند به طوری که از حرکت شناور می‌توان دید همه الکترون‌ها در آن جهت

حرکت می‌کند. بر این اساس طرح آزمایشی به شرح زیر تنظیم شده است.
(الف) وسایل آزمایش:



- ۱ منبع تغذیه، صفر تا ۲۴ ولتی dc و سیم‌های رابط
- ۲ سیم‌پیچ، حداقل ۸۰۰ الی ۱۲۰۰ دور همراه با هسته آهنی مناسب
- ۳ یک ظرف شیشه‌ای استوانه‌ای شکل به ارتفاع تقریبی ۵cm و قطر ۱۰cm

- ۴ میله‌های فلزی رسانا که به انتهای یکی از آن دو یک حلقه رسانا به قطر تقریبی ۸cm لحیم شده باشد.

- ۵ پایه، گیره، میله رابط
- ۶ کات کبود یا سولفات مس ($CuSO_4$) محلول در آب با غلظت مناسب

(ب) دستور کار

- ۱ ابتدا محلول $CuSO_4$ (کات کبود) با غلظت مناسب تهیه و در ظرف شیشه‌ای می‌ریزیم.
- ۲ هسته آهنی را درون سیم‌پیچ قرار می‌دهیم و سیم‌پیچ را به منبع تغذیه dc متصل می‌کنیم (با تماس یک قطعه فلزی به هسته آهنی، میدان مغناطیسی را آزمایش می‌کنیم و در صورت نیاز آن را تقویت می‌کنیم).
- ۳ ظرف شیشه‌ای محتوی محلول را مطابق شکل روی سطح هسته آهنی و سیم‌پیچ قرار داده و دو میله فلزی را با گیره درون ظرف قرار می‌دهیم و آن را به دو قطب مثبت و منفی منبع تغذیه dc وصل می‌کنیم (کاتد و آند)
- ۴ پس از اطمینان از کامل شدن طرح و صحت مدار منبع را به برق شهر متصل و آزمایش را شروع می‌کنیم (اتصال دو میله فلزی درون محلول بایستی به طور موازی با اتصال دو سر سیم‌پیچ به منبع تغذیه متصل و در صورت لزوم در مسیر هر کدام یک مقاومت متغیر (رئوستا) قرار گیرد تا جریان ورودی برای هر قسمت کنترل و قابل تغییر باشد).

(پ) موارد بررسی

- ۱ مشاهده چرخش محلول الکترولیت در ظرف شیشه‌ای و توجه علت چرخش. مطابق شکل بالا به دلیل حلقوی بودن کاتد-حرکت بارها در راستای شعاع این حلقه خواهد بود و چون جهت میدان عمود بر سطح دایره این حلقه است، جهت اعمال

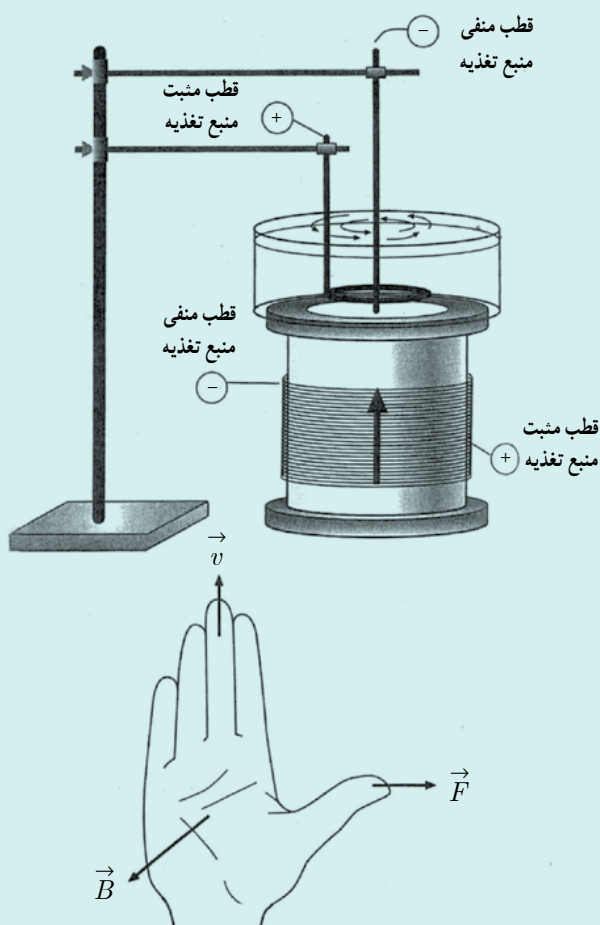
نیرو به صورت مماس بر دایره است و مجموعه این نیروها باعث چرخش می‌شود. (برای مشاهده بهتر چرخش، تعدادی قایق کاغذی کوچک بر سطح محلول شناور کنید)

۲ با تغییر ورودی میله‌ها یعنی عوض کردن مثبت و منفی (تغییر جهت $\vec{v}$) و با تغییر ورودی سیم‌لوله (تغییر جهت $\vec{B}$) تغییرات جهت چرخش را مشاهده و در هر مورد قانون دست راست و رابطه $F = qvB\sin\theta$ را بررسی کنید.

۳ با تغییر در شدت جریان ورودی به سیم‌لوله (تغییر اندازه B) و با تغییر در شدت جریان ورودی به میله‌ها، تغییرات سرعت چرخش را مشاهده و تغییر در بزرگی F را بررسی کنید.

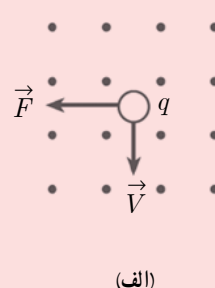
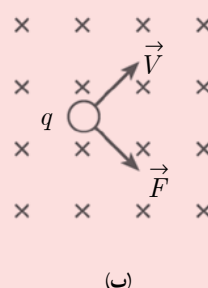
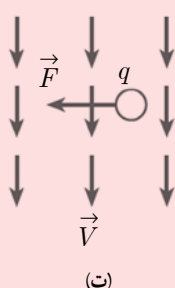
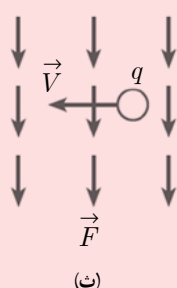
۴ با استفاده از حلقه‌های ورودی جریان، با شعاع‌های مختلف می‌توان فاصله‌های کاند و آند را کم و زیاد کنیم و در نتیجه سرعت واکنش را تغییر دهیم و نقش آن را در بزرگی F بررسی می‌کنیم.

۵ می‌توان به جای CuSO_4 از محلول‌های الکترولیت دیگری نیز استفاده کرد که بزرگی یون‌ها q با Cu^{2+} و SO_4^{2-} تفاوت داشته و نقش بزرگی بار، در بزرگی F را بررسی نمود.



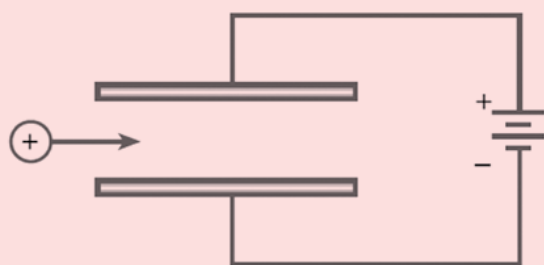
پرسش پیشنهادی

۱ در هر یک از حالت‌های شکل زیر جهت حرکت $\vec{V}$ ، جهت میدان مغناطیسی یکنواخت $\vec{B}$ و جهت نیروی وارد بر بار q (مثبت یا منفی) نشان داده شده است. نوع بار q را در هر حالت با علامت + یا - مشخص کنید.

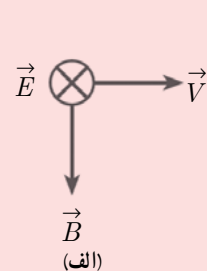
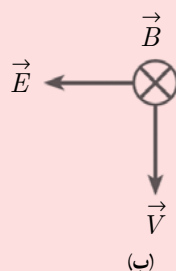
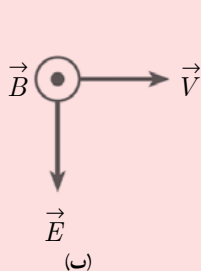
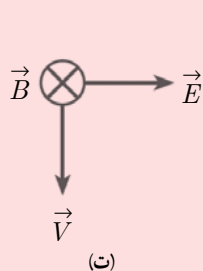


۲ یون مثبتی مطابق شکل روبه‌رو به فضای بین صفحه‌های خازن مسطحی پرتاب می‌شود.

الف) جهت نیروی الکتریکی وارد بر این یون را رسم کنید.
ب) میدان مغناطیسی یکنواخت $\vec{B}$ باید در چه جهتی اثر کند تا نیروی مغناطیسی وارد بر یون برخلاف جهت نیروی الکتریکی باشد؟ روی شکل جهت $\vec{B}$ را رسم کنید.



۳ یک دسته الکترون در فضایی که در آن میدان‌های یکنواخت $\vec{E}$ و $\vec{B}$ برقرارند با سرعت $\vec{V}$ حرکت می‌کند. اگر الکترون‌ها در مسیر مستقیم حرکت خود را حفظ کنند، کدام گزینه وضعیت $\vec{V}$ و $\vec{E}$ و $\vec{B}$ را درست نشان می‌دهد؟

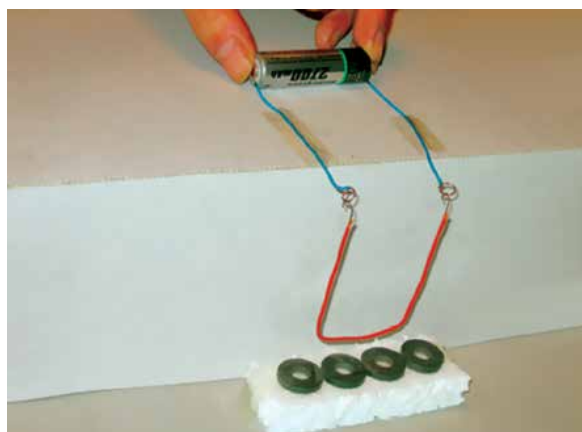


راهنمای تدریس

از آنجا که دانش آموزان در علوم هشتم با موتورهای الکتریکی و همچنین در بخش قبل با نیروی مغناطیسی وارد بر ذره باردار متحرک درون میدان مغناطیسی آشنا شده‌اند، لذا توجه دانش آموزان به طرح ساده موتور الکتریکی در شکل ۳-۱۱ می‌تواند شروع مناسبی برای این بخش باشد. دانش آموزان باید به جهت حرکت حامل بار درون سیم رسانا، قطب‌های باتری و جهت میدان $\vec{B}$ که حلقه رسانا درون آن قرار دارد توجه کنند. این شکل به کمک آزمایش، در مجموعه فیلم‌های مرتبط با آزمایش‌های فیزیک ۲ نیز انجام شده است که در سایت گروه فیزیک می‌توانید مشاهده کنید.

آزمایش ۳-۲

این آزمایش را هم به کمک روشی که در کتاب درسی آمده است می‌توانید انجام دهید (در صورت داشتن وسایل مشابه) یا می‌توانید با وسایل ساده‌تری مطابق آزمایشی که در مجموعه فیلم‌های مرتبط با آزمایش‌های فیزیک ۲ انجام شده است دنبال کنید. (شکل زیر).



در هر موتور الکتریکی، سیم‌هایی وجود دارند که حامل جریان‌های (یعنی بارهای الکتریکی) در آنها در حرکت‌اند و آهن‌رباهای نیز وجود دارند که بر بارهای متحرک نیرو وارد می‌کنند. از این دو، به هر سیم حامل جریان، نیروی مغناطیسی وارد می‌شود و این نیروها حلقه را می‌چرخاند.

آزمایش ۳-۲

هدف: بررسی نیروی وارد بر حلقه حامل جریان

وسایلهای مورد نیاز: آهن‌ربای قلمی شکل، سیم سیمی ضخیم، سیم رابط، پایه تلخ و باتری.

شرح آزمایش: به داری حلقه‌ای شکل آهن‌ربا بندها تا جریان از سیم می‌گذرد. آنچه را که مشاهده می‌کنید، در گروه خود به بحث بگذارید.

• در صورتی که وسایلهای مشابه شکل به در آزمایشگاه مدرسه در اختیار دارید می‌توانید از آن استفاده کنید.

• مدار را قطع کنید و جهت جریان را تغییر داده و مراعل را بالا را دوباره انجام دهید.

• نتیجه آزمایش را به کلاس گزارش دهید.

اوردنه (فهم‌گداز دانش‌آموزی) با انجام آزمایش‌های شبیه آزمایش ۳-۲ و اندازه‌گیری نیروی که بر سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی وارد می‌شود، نشان داد:

نیروی که در میدان مغناطیسی بر سیم حامل جریان الکتریکی وارد می‌شود، بر راستای سیم و نیز بر راستای میدان مغناطیسی عمود است. جهت نیروی وارد بر سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی را می‌توان با استفاده از قاعده دست راست تعیین کرد (شکل ۳-۱۲).

نکته ۳-۱۲: القای نیروی مغناطیسی وارد بر سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی، ایده نیروی مغناطیسی وارد بر سیم هر جایی که جهت جریان وارونه شده است. ایده قاعده دست راست برای تعیین جهت نیروی مغناطیسی وارد بر سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی شکل ایده.

عمل‌های متوالی بر نیروی مغناطیسی وارد بر سیم راست رسانای حامل جریان : آزمایش‌هایی مشابه آزمایش ۳-۲ نشان می‌دهد که نیروی مغناطیسی وارد بر یک سیم رسانای حامل جریان در میدان مغناطیسی یکگوشه‌ای، به عمل‌های مختلفی بستگی دارد که این عمل‌ها در رابطه زیر بیان شده‌اند :

$$F = I l B \sin \theta \quad (3-3)$$

در این رابطه طول بخشی از سیم رساناست که در میدان مغناطیسی یکگوشه‌ای قرار دارد. زاویه‌ای را که امتداد سیم با خطوط میدان مغناطیسی می‌سازد با θ نشان دادیم (شکل ۳-۳).

۳-۳-۱- فرضیه
اگر در شکل ۳-۳ سیم حامل جریان در امتداد میدان مغناطیسی قرار گیرد، نیروی مغناطیسی وارد بر آن چقدر خواهد بود؟ در چه جهتی و بزرگی آن نیرو پیشینه می‌شود؟

۳-۳-۲- حل مسئله
یک سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی یکگوشه‌ای به بزرگی 4.0 A در راستای قرار دارد که با جهت میدان زاویه 30° می‌سازد. اگر جریان شعری از سیم 5.0 A باشد، بزرگی نیروی مغناطیسی وارد بر 1.0 m از این سیم را حساب کنید.
پاسخ : با توجه به فرضیه مسئله داریم :
 $B = 4.0 \times 10^{-4} \text{ T}$ ، $\theta = 30^\circ$ ، $I = 5.0 \text{ A}$ و $l = 1.0 \text{ m}$
با قرار دادن داده‌های بالا در رابطه ۳-۳ داریم :
 $F = I l B \sin \theta = (5.0 \text{ A})(1.0 \text{ m})(4.0 \times 10^{-4} \text{ T}) \sin 30^\circ = 1.0 \times 10^{-3} \text{ N}$

۳-۳-۳- تمرین
سیم مستقیمی به طول 1.4 m حامل جریان 4.0 A از شرق به غرب است. اندازه میدان مغناطیسی زمین در محل این سیم $50 \mu\text{T}$ و جهت آن از جنوب به شمال است. اندازه و جهت نیروی مغناطیسی وارد بر این سیم را تعیین کنید.
اندازه میدان مغناطیسی زمین به طرف شمال

۳-۳-۴- فعالیت
آزمایشی را طراحی کنید که به کمک آن بتوان نیروی مغناطیسی وارد بر سیم حامل جریان الکتریکی درون میدان مغناطیسی را اندازه‌گیری کرد. در صورت لزوم، برای اجرای این آزمایش می‌توانید از ترازهای دیجیتال (رقم) یا دقت 0.1 g استفاده کنید.

برای بررسی رابطه ۳-۳، آزمایشی پیشنهاد می‌شود (شکل زیر) که شرح کامل آن را به همراه اجرا می‌توانید در مجموعه فیلم‌های مرتبط با آزمایش‌های فیزیک ۲ در سایت گروه فیزیک مشاهده کنید.



تمرین ۳-۲

$$l = 2/4 \text{ m}, I = 2/5 \text{ A}, B = 0.45 \text{ G}, V = 90^\circ$$

$$F = I l B \sin \theta = (2/5 \text{ A}) (2/4 \text{ m}) (\times 10^{-4} \text{ T}) \sin 90^\circ$$

$$F = 2/7 \times 10^{-4} \text{ N}$$

با توجه به شکل داده شده در تمرین، جهت نیروی مغناطیسی درون صفحه و روبه پایین صفحه خواهد بود.

پرسش ۳-۵

با توجه به فرض پرسش، سیم حامل جریان در جهت میدان مغناطیسی قرار می‌گیرد، در این صورت $\theta = 0^\circ$ و در نتیجه $\sin \theta = 0^\circ$ و نیرویی بر سیم حامل جریان از طرف میدان $\vec{B}$ وارد نمی‌شود. اگر راستای سیم حامل جریان عمود بر میدان $\vec{B}$ قرار گیرد، در این صورت $\theta = 90^\circ$ و $\sin 90^\circ = 1$ خواهد بود و در نتیجه نیروی وارد بر سیم حامل جریان از طرف میدان $\vec{B}$ بیشینه است.

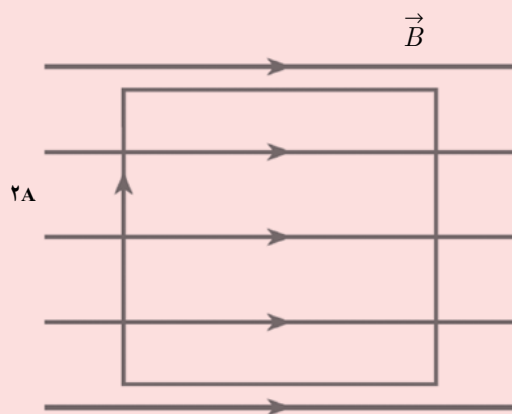
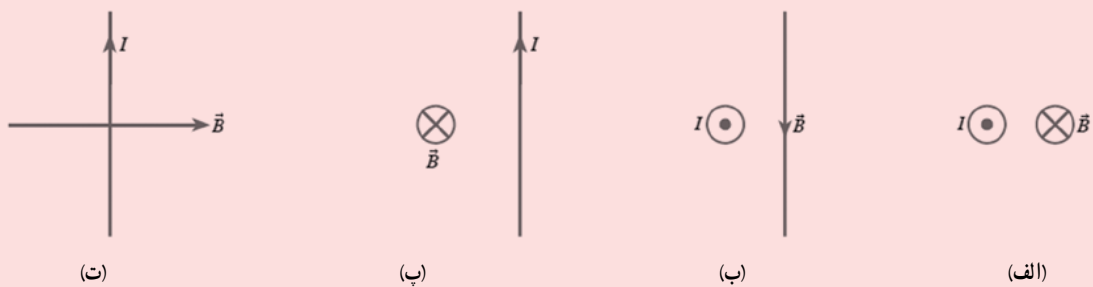
فعالیت ۳-۴

طرح آزمایش مرتبط با این فعالیت را می‌توانید در مجموعه فیلم‌های مرتبط با آزمایش‌های فیزیک ۲ مشاهده کنید. شکل روبه‌رو نمای روبه‌بالایی از وسایل به کار رفته در این آزمایش را نشان می‌دهد.



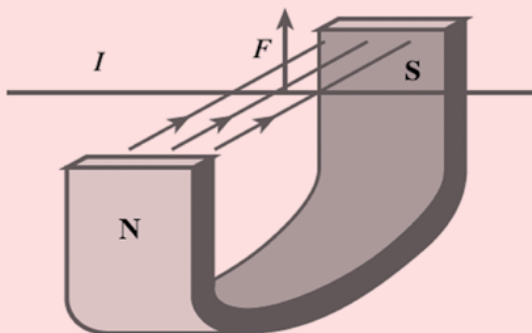
پیشنهادهای

جهت نیروی وارد بر سیم حامل جریان را در هر یک از نمودارهای شکل زیر تعیین کنید.



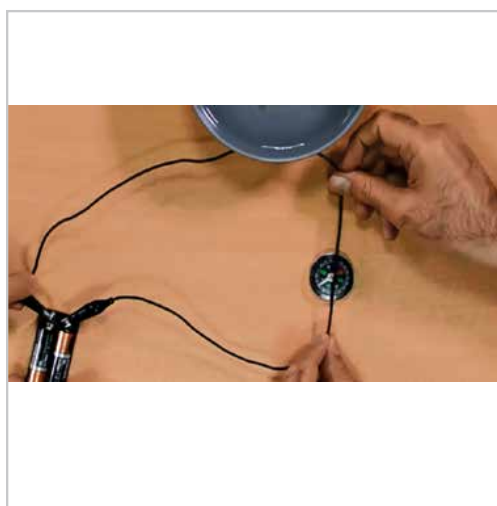
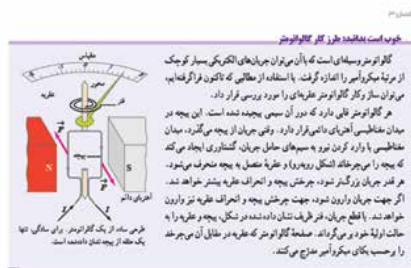
حلقه‌ای مربع شکل از سیم رسانا حامل جریان $2A$ است. این حلقه مطابق شکل روبه‌رو در میدان مغناطیسی یکنواختی به بزرگی 10 mT واقع است به طوری که دو ضلع حلقه در امتداد میدان قرار دارند. طول هر ضلع مربع را 20 cm در نظر بگیرید. (الف) جهت نیروی الکترومغناطیسی وارد بر هر ضلع حلقه در کدام جهت است؟

(ب) بزرگی برآیند نیروی وارد بر حلقه چه قدر است؟
با توجه به جهت نیروی وارد بر سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی شکل زیر، جهت جریان را در سیم تعیین کنید.



۳-۵ میدان مغناطیسی حاصل از جریان الکتریکی

راهنمای تدریس: تا اینجا مقدمات لازم برای بررسی میدان مغناطیسی حاصل از جریان الکتریکی در بخش‌های قبل بررسی شده است. لذا ضرورت دارد که دانش‌آموزان آشنایی و تسلط کافی به محتوای بخش‌های قبلی داشته باشند. انجام آزمایش اورستد را که به نوعی آثار مغناطیسی جریان الکتریکی را نشان می‌دهد، می‌توان به شکل‌های مختلفی انجام داد که در مجموعه فیلم‌های مرتبط با آزمایش‌های فیزیک ۲ موجود است و از طریق سایت گروه فیزیک می‌توانید آنها را مشاهده کنید. بنابراین پس از اشاره مختصری در خصوص این آزمایش و زمینه‌های تاریخی آن، شرایط را برای فعالیت گروهی دانش‌آموزان و انجام این آزمایش فراهم کنید.



آزمایش ۳-۳

هدف: بررسی آنگاه مغناطیس جریان الکتریکی (آمایش) (پیشنهاده)

وسایلهای مورد نیاز: باری، سیم مسی، سیم مسی، مسطحه مغناطیسی، مغناطیس (قطبشده)، وولتاژ سیم را بط

شرح آزمایش:

- سیم مسی را از مسطحه مغناطیسی بگذرانید و با آن مدار مغناطیسی شکل روی باری
- تشکیل دهید.
- قبل از برقراری جریان الکتریکی، مغناطیس مغناطیس را در مجاورت سیم
- روی مسطحه قرار دهید و به راستی قرار گرفتن آن توجه کنید.
- با وصل کردن مدار، جریان الکتریکی را از سیم مسی عبور دهید و به
- جهت گیری مغناطیس توجه کنید.
- مغناطیس را در نقطه های مختلف روی مسطحه قرار دهید و جهت آن
- را بررسی کنید.
- با توجه به جهت گیری مغناطیس در نقاط مختلف مسطحه مغناطیسی، جهت خط میدان مغناطیس را رسم کنید.
- این آزمایش را بار دیگر با جریانی در جهت مخالف تکرار کنید.
- به کمک چند باری دیگر با تغییر حالات روستا، نتایجی که افزایش یا کاهش جریان چه تغییری در نتیجه آزمایش دارد؟
- نتیجه این آزمایش را در گروه بحث کنید و آن را به کلاس گزارش دهید.

با انجام این آزمایش می بینید که خط های میدان مغناطیس حاصل از یک سیم حامل جریان،

مغناطیس شکل ۳-۱۵ به صورت دایره های هم مرکز در اطراف سیم حامل جریان هستند. جهت

خط های میدان مغناطیس سیم مستقیم حامل جریان را می توان به کمک مغناطیس تعیین

کرد. علاوه بر آن، با استفاده از قاعده دست راست نیز می توان این جهت را تعیین کرد: مغناطیس

این قاعده، اگر سیم را در دست راست خود بگیرید به گونه ای که انگشت تست در جهت جریان

الکتریکی باشد، جهت خیم شدن چهار انگشت تست نشان دهد جهت خط های میدان مغناطیس را در

اطراف سیم نشان می دهد.

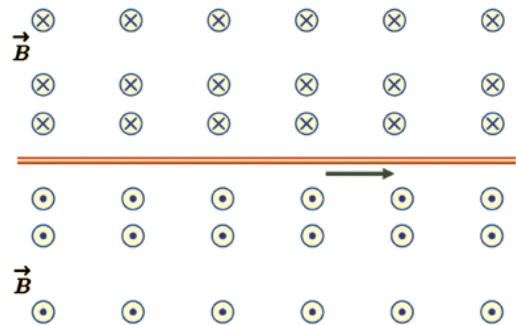
نکته: شکل ۳-۱۵: قاعده دست راست برای تعیین جهت $\vec{B}$ اطراف سیم مستقیم حامل جریان.

شکل ۳-۱۵: جهت میدان مغناطیس در اطراف یک سیم افقی و مستقیم حامل جریان را نشان می دهد. در ناحیه بالای سیم، جهت میدان مغناطیس درون سیم و در ناحیه پایین آن رو به بیرون است. جهت جریان را در سیم تعیین کنید.

۱۵

پرسش ۳-۶

با توجه به قاعده دست راست، جهت جریان مشخص می شود (شکل زیر).



پرسش ۳-۷

انتظار می رود با توجه به مفهوم میدان و خطوط میدان، دانش آموزان در پاسخ به این پرسش به موارد زیر اشاره کنند:

شکل الف) خطوط میدان مماس بر مسیر میدان هستند و در فاصله مساوی از سیم حامل جریان، اندازه میدان $\vec{B}$ ثابت است ولی جهت آن تغییر می کند. با افزایش فاصله از سیم حامل جریان، اندازه میدان $\vec{B}$ نیز کاهش می یابد.

شکل ب) در این شکل به نوعی دیگر، کاهش اندازه میدان $\vec{B}$ با افزایش فاصله از سیم حامل جریان نشان داده شده است و افزایش فاصله بین خطوط میدان دایروی، نیز به همین نکته اشاره دارد.

آزمایش ۳-۴

هدف: بررسی آنگاه مغناطیس جریان الکتریکی (آمایش) (پیشنهاده)

وسایلهای مورد نیاز: باری، سیم مسی، سیم مسی، مسطحه مغناطیسی، مغناطیس (قطبشده)، وولتاژ سیم را بط

شرح آزمایش:

- سیم مسی را از مسطحه مغناطیسی بگذرانید و با آن مدار مغناطیسی شکل روی باری
- تشکیل دهید.
- قبل از برقراری جریان الکتریکی، مغناطیس مغناطیس را در مجاورت سیم
- روی مسطحه قرار دهید و به راستی قرار گرفتن آن توجه کنید.
- با وصل کردن مدار، جریان الکتریکی را از سیم مسی عبور دهید و به
- جهت گیری مغناطیس توجه کنید.
- مغناطیس را در نقاط مختلف روی مسطحه قرار دهید و جهت آن
- را بررسی کنید.
- با توجه به جهت گیری مغناطیس در نقاط مختلف مسطحه مغناطیسی، جهت خط میدان مغناطیس را رسم کنید.
- این آزمایش را بار دیگر با جریانی در جهت مخالف تکرار کنید.
- به کمک چند باری دیگر با تغییر حالات روستا، نتایجی که افزایش یا کاهش جریان چه تغییری در نتیجه آزمایش دارد؟
- نتیجه این آزمایش را در گروه بحث کنید و آن را به کلاس گزارش دهید.

با انجام این آزمایش می بینید که خط های میدان مغناطیس حاصل از یک سیم حامل جریان،

مغناطیس شکل ۳-۱۵ به صورت دایره های هم مرکز در اطراف سیم حامل جریان هستند. جهت

خط های میدان مغناطیس سیم مستقیم حامل جریان را می توان به کمک مغناطیس تعیین

کرد. علاوه بر آن، با استفاده از قاعده دست راست نیز می توان این جهت را تعیین کرد: مغناطیس

این قاعده، اگر سیم را در دست راست خود بگیرید به گونه ای که انگشت تست در جهت جریان

الکتریکی باشد، جهت خیم شدن چهار انگشت تست نشان دهد جهت خط های میدان مغناطیس را در

اطراف سیم نشان می دهد.

نکته: شکل ۳-۱۵: قاعده دست راست برای تعیین جهت $\vec{B}$ اطراف سیم مستقیم حامل جریان.

شکل ۳-۱۵: جهت میدان مغناطیس در اطراف یک سیم افقی و مستقیم حامل جریان را نشان می دهد. در ناحیه بالای سیم، جهت میدان مغناطیس درون سیم و در ناحیه پایین آن رو به بیرون است. جهت جریان را در سیم تعیین کنید.

۱۵

تمرین ۳-۳

در نقطه a ، میدان‌های ناشی از هر دو سیم حامل جریان برون سو است و برآیند آن نیز برون سو است.

در نقطه b ، میدان ناشی از سیم بالایی درون سو و میدان ناشی از سیم پایینی، برون سو است، لذا با توجه به اینکه فاصله b از دو سیم یکسان و جریان مساوی از دو سیم می‌گذرد، برآیند میدان در نقطه b صفر است.

در نقطه c ، میدان ناشی از دو سیم و همچنین میدان برآیند درون سو است.

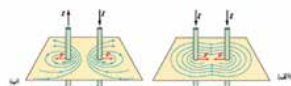
در شکل ۳-۱۶، خطوط میدان $\vec{B}$ اطراف دو سیم حامل جریان با توجه به الگوی دو ذره باردار رسم شده است. لازم است دانش‌آموزان توجه کنند که خطوط رسم شده حاصل میدان برآیند دو سیم حامل جریان است.

پرسش ۳-۸

با استفاده از قاعده دست راست و با توجه به جهت خطوط میدان $\vec{B}$ درون و بیرون حلقه، جهت جریان عبوری از حلقه، ساعت گرد است.

توجه

در مجموعه فیلم‌های مرتبط با آزمایش‌های فیزیک ۲، آزمایش پیشنهادی در خصوص نحوه کار بلندگوها آمده است که می‌توانید آن را در سایت گروه فیزیک مشاهده کنید. چنانچه فرصت کافی داشته باشید، اجرای این آزمایش در کلاس درس می‌تواند ارتباط خوبی بین مفاهیمی که در این فصل مطرح شده است، کاربرد آنها را فراهم کند.

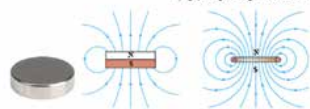


شکل ۳-۱۶: برآیند میدان مغناطیسی حاصل از دو سیم حامل جریان در بزرگی بین آنها

لذا برای هر دو سیم، میدان مغناطیسی حاصل از دو سیم حامل جریان در بزرگی بین آنها



میدان مغناطیسی ناشی از یک حلقه دایره‌ای حامل جریان: شکل ۳-۱۷: حلقه‌های میدان مغناطیسی را در اطراف یک حلقه رسانای دایره‌ای نشان می‌دهد که حامل جریان I است. همان‌طور که دیده می‌شود، حلقه‌های میدان مغناطیسی در ناحیه داخلی حلقه به یکدیگر نزدیک‌ترند. یعنی، میدان در این ناحیه قوی‌تر است. افزون بر این، در خط‌های روی محور حلقه، میدان موازی محور است. جهت خط‌های میدان مغناطیسی حلقه را می‌توان با قاعده دست راست به روش نشان داده شده در شکل ۳-۱۸ تعیین کرد.



شکل ۳-۱۸: حلقه‌های میدان مغناطیسی در اطراف یک حلقه حامل جریان. ابعاد طرح خطوط میدان مغناطیسی یک حلقه حامل جریان با ابعاد آن نشان داده شده است. جهت جریان را در یک حلقه حامل جریان.

روسی و مطابقاً میدان مغناطیسی یک حلقه حامل جریان و یک آهن‌ربای تخت را نشان می‌دهد که میدان مغناطیسی آنها درست مانند یکدیگر است. شکل ۳-۱۹: به همین دلیل، هر حلقه حامل جریان را به عنوان یک قطب مغناطیسی در نظر می‌گیرند.



شکل ۳-۱۹: حلقه‌های میدان مغناطیسی در اطراف یک حلقه حامل جریان. ابعاد طرح خطوط میدان مغناطیسی یک حلقه حامل جریان با ابعاد آن نشان داده شده است. جهت جریان را در یک حلقه حامل جریان.

شکل ۳-۲۰: یک حلقه حامل جریان را نشان می‌دهد که جهت خط‌های میدان مغناطیسی درون و بیرون آن نشان داده شده است. جهت جریان را در این حلقه تعیین کنید.



چون جهت میدان مغناطیسی درون و بیرون آن نشان داده شده است، جهت جریان را در این حلقه تعیین کنید.

استفاده از یک تک حلقه برای تولید میدانی با اندازه مطلوب ممکن است نیازمند آن‌چنان جریان بزرگی باشد که از پدیده جریان مجاز سیم حلقه فراتر باشد. در چنین شرایطی به جای تک حلقه، از پیچ‌ها برای تولید میدان مغناطیسی استفاده می‌شود. شکل ۳-۲۱: اندازه میدان مغناطیسی در مرکز حلقه‌ای به شعاع R که حامل جریان است از رابطه $B = \frac{\mu_0 I}{2R}$ به دست می‌آید. اگر به جای یک حلقه، پیچ‌های شامل N حلقه نزدیک به هم و با شعاع یکسان R داشته باشیم، آنگاه اندازه میدان مغناطیسی در مرکز این پیچ، که معمولاً به آن پیچ مسطح نیز گفته می‌شود، از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$B = \frac{\mu_0 N I}{2R} \quad (3-3)$$

دلیل آنکه برای تولید میدان‌های مغناطیسی قوی، به جای یک حلقه از پیچ‌ها استفاده می‌شود همین به این دلیل است که اندازه N نسبتاً آسان است. استفاده از یک تک حلقه برای تولید میدان با اندازه مطلوب نیازمند آن‌چنان جریان بزرگی است که ممکن است از مدار مدار حامل جریان عبوری از سیم حلقه بیشتر باشد. از این پیچ‌ها برای تولید میدان مغناطیسی در بسیاری از وسیله‌های فیزی استفاده می‌شود.

تمرین ۳-۴

$$B = 3 \times 10^{-4} \text{ G} = 3 \times 10^{-12} \text{ T}$$

$$R = 8 \text{ cm} = 8 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$I = ?$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{2R}$$

$$3 \times 10^{-12} \text{ T} = \frac{(4\pi \times 10^{-7} \text{ T.m/A}) I}{(2 \times 8 \times 10^{-2} \text{ m})}$$

$$\Rightarrow I \approx 3/8 \times 10^{-7} \text{ A} = 3/8 \text{ nA}$$

تمرین ۳-۵

$$l = 40 \text{ cm}, I = 1/2 \text{ A}$$

$$B = 270 \text{ G} = 270 \times 10^{-2} \text{ T}$$

$$N = ?$$

$$B = \frac{\mu_0 NI}{l}$$

$$270 \times 10^{-2} \text{ T} = \frac{(4\pi \times 10^{-7} \text{ T.m/A}) N (1/2 \text{ A})}{0.4 \text{ m}}$$

$$\Rightarrow N \approx 7000 \text{ دور}$$

فعالیت ۳-۶

آزمایشی مشابه این فعالیت در مجموعه فیلم های مرتبط با آزمایش های فیزیک ۲ انجام شده است که می توانید از نتایج و شیوه آن نیز استفاده کنید.

مثال ۳-۴

از بیجا مستطی به شعاع $R = 2 \text{ cm}$ که از دور سیم بزرگ درست شده است. جریان $I = 20 \text{ A}$ می گزره. شکل روبرو، اندازه میدان مغناطیسی را در مرکز بیجه به دست آور.

پاسخ: با توجه به داده های مسئله داریم:

$$R = 2 \text{ cm} = 2 \times 10^{-2} \text{ m}, \quad I = 20 \text{ A}, \quad B = ?$$

با جایگذاری این داده ها در رابطه ۳-۴ داریم:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2R} = \frac{(4\pi \times 10^{-7} \text{ T.m/A}) (20 \text{ A})}{2(2 \times 10^{-2} \text{ m})} = 2 \times 10^{-4} \text{ T} = 2 \times 10^{-2} \text{ G}$$

تمرین ۳-۴

اندازه میدان مغناطیسی دور سر آنتن حدود $3 \times 10^{-4} \text{ G}$ اندازه گیری شده است. اگرچه جریان های که این میدان را بوجود می آورند بسیار پیچیده اند ولی با در نظر گرفتن این جریان ها به صورت تک حلقه های دایره ای به قطر 1 cm (بهای یک سر تویی) می توان مرتبه بزرگی میدان مغناطیسی را تخمین زد. جریان لازم برای ایجاد این میدان در مرکز حلقه چقدر است؟

میدان مغناطیسی حاصل از سیم حلقه حامل جریان: سیم حلقه سیم دایره ای است که به صورت مارپیچی شده، پیچیده شده است. با عبور جریان الکتریکی از سیم حلقه، در فضای اطراف آن میدان مغناطیسی بوجود می آید. طرح خط های میدان مغناطیسی یک سیم حلقه حامل جریان الکتریکی در شکل ۳-۴ الف و ب نشان داده شده است. همان گونه که دیده می شود، خط های میدان داخل سیم حلقه بسیار متراکم تر از خط های میدان در خارج آن است و این نشانگر بزرگتر بودن میدان در داخل سیم حلقه است. افزون بر این، خط های میدان در داخل سیم حلقه، پیوسته و در خط های نسبتاً دور از لبه های آن تقریباً موازی و هم فاصله اند و این نشانگر یکپارچگی و یکنواختی بودن میدان مغناطیسی درون سیم حلقه است. جهت میدان مغناطیسی سیم حلقه، به کمک قاعده دست راست که در شکل نشان داده شده است تعیین می شود (شکل ۳-۵).



شکل ۳-۴ الف) اندازه میدان مغناطیسی یک سیم حلقه حامل جریان. ب) تعیین جهت میدان به کمک قاعده دست راست. طرح خط های میدان مغناطیسی سیم حلقه با استفاده از براده آهن.

اگر قطر حلقه های سیم حلقه را مقایسه با طول آن، بسیار کوچک و حلقه های آن خیلی به هم نزدیک باشند، به این سیم حلقه **سیم آرمادی** گفته می شود. میدان مغناطیسی داخل یک سیم حلقه آرمادی در خط های دور از لبه ها یکپارچگی است و اندازه آن از رابطه زیر به دست می آید:

$$B = \frac{\mu_0 NI}{l} \quad (\text{سیم حلقه آرمادی})$$

در این رابطه، l جریان عبوری، N تعداد دورهای سیم حلقه و I جریان دایره ای مغناطیسی حلقه و برای $4\pi \times 10^{-7} \text{ T.m/A}$ است.

مثال ۳-۵

سیم حلقه ای آرمادی به طول 10 cm دارای 600 حلقه سیم نزدیک به هم است. اگر جریان 800 mA از سیم حلقه بگذرد، بزرگی میدان مغناطیسی را در خط های درون سیم حلقه و دور از لبه های آن پیدا کنید.

پاسخ: با توجه به داده های مسئله داریم:

$$l = 10 \text{ cm} = 0.10 \text{ m}, \quad N = 600, \quad I = 800 \text{ mA} = 8 \times 10^{-1} \text{ A}, \quad B = ?$$

با این ترتیب داریم:

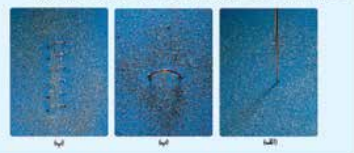
$$B = \frac{\mu_0 NI}{l} = \frac{(4\pi \times 10^{-7} \text{ T.m/A}) (600) (8 \times 10^{-1} \text{ A})}{0.10 \text{ m}} = 2.4 \times 10^{-2} \text{ T} = 2.4 \text{ G}$$

تمرین ۳-۵

سیم حلقه ای آرمادی به طول 40 cm چنان طرز پیچیده شده است که جریان بیشتری به پشت $1/2 \text{ A}$ می تواند از آن بگذرد. با عبور این جریان از سیم حلقه، اندازه میدان مغناطیسی درون آن و دور از لبه ها 270 G می شود. تعداد دورهای سیم حلقه چقدر باید باشد؟

فعالیت ۳-۵

آزمایشی را طراحی و اجرا کنید که به کمک آن بتوان با استفاده از براده آهن، طرح خط های میدان مغناطیسی را در اطراف یک سیم بلند (شکل الف)، یک حلقه دایره ای (شکل ب) و یک سیم حلقه حامل جریان (شکل ج) ایجاد کرد.



عامل گشتاور دوقطبی ذاتی اتم‌ها به چرخش الکترون‌ها دور خودشان (حرکت اسپینی) و چرخش الکترون‌ها دور هسته (حرکت مدار) مربوط می‌شود. به عبارت دیگر گشتاور دوقطبی ذاتی اتم‌ها دارای دو مماس گشتاور اسپینی و گشتاور مداری است که سهم گشتاور اسپینی در این میان، خیلی بیشتر از سهم گشتاور مداری است.

فعالیت ۷-۳

در انجام این فعالیت باید به گونه‌ای لوله آزمایش محتوی الکل طبی را روی سطح افقی میز قرار دهید تا حباب هوا درست در وسط آن قرار گیرد. سپس به کمک یک آهنربای قوی آزمایش را دنبال کنید. وقتی آهنربا را بالای حباب به یک طرف می‌کشید، به دلیل دیامغناطیس بودن الکل، الکل در جهت مخالف حرکت آهنربا، حرکت می‌کند و به نظر می‌رسد که حباب هوا در جهت حرکت آهنربا حرکت می‌کند. این فعالیت را به‌طور عمودی، مطابق آنچه در فیلم‌های مرتبط با آزمایش‌های فیزیک ۲ انجام داده‌ایم، دنبال کنید. در این فیلم افزون بر مواد یا مغناطیس، آزمایش برای مواد پارامغناطیس نیز انجام شده است.

هر فرد سازنده مواد پارامغناطیس یک آهنربای مغناطیس است.

مواد پارامغناطیس: اتم‌های مواد پارامغناطیس، خاصیت مغناطیس دارند اما دوقطبی‌های مغناطیس وابسته به آنها، به‌طور کانونی سست‌تری دارند و میدان مغناطیس خارجی ایجاد نمی‌کنند (شکل ۲۳-۳). با قرار دادن مواد پارامغناطیس درون میدان مغناطیس خارجی قوی (مثلاً نزدیک یک آهنربای قوی)، در دوقطبی‌های مغناطیس آنها، مانند قطب‌ها در نزدیک آهنربا رفتار می‌کنند و به مقدار مشخصی در راستای دوقطبی‌های میدان مغناطیس منظم می‌شوند. با دور کردن آهنربا از این مواد، دوقطبی‌های مغناطیس آنها دوباره، به‌طور کانونی سست‌تری می‌کنند.

به این ترتیب می‌توان گفت مواد پارامغناطیس در حضور میدان مغناطیس قوی، خاصیت مغناطیس ضعیف و موقت پیدا می‌کنند. آلومینیم، پلاتین، آلومینیوم، سدیم، اکسید و اکسید نئوزون از جمله مواد پارامغناطیس است.

شکل ۲۳-۳: سست‌تری کانونی دوقطبی‌های مغناطیس در یک ماده پارامغناطیس در نبود میدان مغناطیس

۲۳-۳

یک لوله آزمایش را تا نزدیک لوله آن از الکل طبی (شکل ۲۳-۳) پر کرده و در یک لوله را بپوشانید و آن را به‌طور افقی قرار دهید. سطح شکل یک آهنربای توپ‌بهره را بالای حباب‌های درون لوله بگذرد و به آرامی آهنربا را حرکت دهید. دلیلی آنچه را مشاهده می‌کنید در گروه خود به گفتگو بگذارید.

مواد دیامغناطیس: اتم‌های مواد دیامغناطیس، نظم سبک، قوی، سرد و بی‌سخت، به‌طور ذاتی فاقد خاصیت مغناطیس است. به عبارت دیگر، هیچ یک از اتم‌های این مواد، دارای دوقطبی مغناطیس خاصی نیستند. با وجود این، حضور میدان مغناطیس خارجی، می‌تواند سبب القای دوقطبی‌های مغناطیس در خلاف سوی میدان خارجی، در مواد دیامغناطیس شود. در فصل بعد با دلالت این موضوع، با تفصیل بیشتری آشنا خواهید شد.

مواد فرومغناطیس: نوع دیگری از مواد به نام مواد فرومغناطیس وجود دارد که اتم‌های آنها به‌طور ذاتی دارای دوقطبی مغناطیس هستند. آهن، نیکل، کبالت و بسیاری از آلیاژهای دارای این عنصرها فرومغناطیس است. به‌هرکشی‌های قوی بین دوقطبی‌های مغناطیس در این مواد موجب می‌شود که این دوقطبی‌ها، حتی در نبود میدان خارجی، در ناحیه‌هایی که حوزه‌های مغناطیس نامیده می‌شود، همسود شوند. نمونه‌ای از ساختار حوزه‌ها در مواد فرومغناطیس در شکل ۲۳-۴ قابل مشاهده است. درون هر حوزه تقریباً از مرتبه 10^{21} اتم وجود دارد که دوقطبی‌های مغناطیس وابسته به آنها هم‌جهت است.

مواد فرومغناطیس را می‌توان از دانه در یک میدان مغناطیس آهنربا کرد. اگر میدان مغناطیس خارجی و حوزه‌های مغناطیس باعث می‌شود که دوقطبی‌های مغناطیس هر حوزه تحت تأثیر میدان مغناطیس قرار گیرد و جهت آنها به جهت میدان خارجی منطبق شود. به این ترتیب حوزه‌هایی که نسبت به میدان همسود هستند، زنده می‌مانند و حتماً زیاد می‌شوند. از سوی دیگر حجم حوزه‌هایی

۲۳-۴

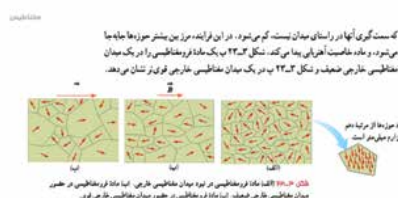


شیشه به عنوان یک ماده دیامغناطیس، به آرامی از آهنربای قوی دور می‌شود.

آلومینیم به عنوان یک ماده پارامغناطیس، به آرامی به طرف آهنربای قوی حرکت می‌کند.

پرسش ۳-۹

این پرسش به صورت آزمایش ساده‌ای در فیلم‌های مرتبط با آزمایش‌های فیزیک انجام شده است و روی دلایل آنچه مشاهده می‌شود بحث شده است.



جوزدهای مغناطیسی برخی از مواد فرومغناطیسی، در حضور میدان مغناطیسی خارجی به سهولت تغییر می‌کنند و ماده پسمانگی آنها می‌شود و با حذف میدان خارجی نیز، خاصیت آهنربایی خود را به‌شدت از دست می‌دهد. این مواد را مواد فرومغناطیسی نرم می‌نامند. از این مواد در ساخت هسته پیچیدار سیم‌ها استفاده می‌شود. مواد فرومغناطیسی نرم برای ساختن آهنرباهای الکتریکی (آهنرباهای غیر دائمی) نیز مناسب‌اند (چرا؟). برخی مواد دیگر مانند فولاد (آهن به اضافه ۲ درصد کربن)، آهنرباهای آهن، کبالت و نیکل به سختی تغییر می‌کنند. این مواد را مواد فرومغناطیسی سخت می‌نامند. در این مواد، سست‌گیری در قطب‌های مغناطیسی حوزه‌ها پس از حذف میدان خارجی، ماده فرومغناطیسی سخت، خاصیت آهنربایی خود می‌ماند. به عبارت دیگر، پس از حذف میدان خارجی، ماده فرومغناطیسی سخت، خاصیت آهنربایی خود را تا اندازه قابل توجهی حفظ می‌کند. به همین دلیل، این مواد برای ساختن آهنرباهای دائمی مناسب‌اند. برای خاصیت آهنربایی هر ماده فرومغناطیسی، مقدار انبساط یا منقبض شدن آن وجود دارد. این وضعیت هنگامی وجود دارد که ماده فرومغناطیسی در یک میدان مغناطیسی بسیار قوی قرار گیرد؛ به طوری که درصد بالایی از نواحی‌های مغناطیسی حوزه‌ها به موازات یکدیگر جهت‌یابی می‌کنند. به عبارت دیگر، حجم حوزه‌هایی که با میدان مغناطیسی خارجی همسو هستند، به بیشترین مقدار خود می‌رسد.



۱۰۳

الف) چون میله‌ها از جنس ماده فرومغناطیسی هستند، آهنربا می‌شوند و از یکدیگر دور می‌شوند.
ب) از آنجا که وقتی کلید باز می‌شود، میله‌ها به محل اولیه باز می‌گردند، نتیجه این می‌شود که میله‌ها از جنس فرومغناطیسی نرم هستند.

دانستنی برای معلم

میدان‌های مغناطیسی بدن انسان

فعالیت الکتریکی عصب‌ها و عضله‌ها باعث تولید جریان‌های الکتریکی در بدن انسان می‌شود. در هر جایی که این جریان‌ها به سطح بدن می‌رسند، اختلاف پتانسیلی به وجود می‌آورند که با قرار دادن الکترودها در پوست قابل اندازه‌گیری است. الکتروکاردیوگرام ECG منحنی تغییرات اختلاف پتانسیل تولید شده در قلب برحسب زمان، و الکتروانسفالوگرام EEG منحنی تغییرات اختلاف پتانسیل تولید شده در مغز برحسب زمان را نشان می‌دهد. ECG یک وسیله ضروری برای تشخیص بیماری‌های قلبی و EEG وسیله بسیار با ارزشی برای تشخیص بعضی اختلالات مغزی است.

تغییر پتانسیل

شکل (ب): MCG مگنتوکاردیوگرام

تغییر پتانسیل

شکل (الف): ECG الکتروکاردیوگرام

اشکال چنین اندازه‌گیری‌هایی در این است که پتانسیل‌های سطحی به‌طور غیرمستقیم به فعالیت اندام‌های داخلی بستگی دارند. پوست رسانای الکتریکی ضعیفی است و کسر بسیار کوچکی از جریان تولید شده در یک عضو به آن می‌رسد. برای نشان دادن جریان یک عضو به‌طور مستقیم، اخیراً دستگاه‌هایی ساخته شده است که می‌توانند میدان تولید شده به‌وسیله این جریان‌ها را اندازه‌گیری کنند.

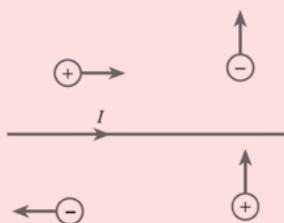
جریان نسبتاً زیاد قلب، میدان مغناطیسی تقریبی 1×10^{-6} گاوس را در اطراف قفسه سینه به‌وجود می‌آورد و جریان‌های ضعیف در مغز، میدان مغناطیسی تقریبی 3×10^{-8} گاوس را در اطراف سر تولید می‌کنند. این میدان‌ها از میدان مغناطیسی زمین (5×10^{-5} گاوس) یا حتی از میدان‌های مربوط به جریان‌های سیم‌های برق در منازل (5×10^{-2} گاوس) ضعیف‌ترند و برای اندازه‌گیری آنها از روش‌های ویژه‌ای استفاده می‌شود.

در یکی از این روش‌ها بدن انسان را در داخل اتاقی قرار می‌دهند که به وسیله دیوارهای آهنی از تأثیر میدان‌های مغناطیسی خارجی محفوظ است. روش دیگر، اندازه‌گیری اختلاف شدت میدان مغناطیسی در دو نقطه نزدیک بدن است. اثر میدان‌های مغناطیسی دور در این نقطه یکسان‌اند و حذف می‌شوند، در حالی که میدان بدن انسان در نزدیکی انسان به‌طور قابل ملاحظه‌ای از یک نقطه به نقطه دیگر تغییر می‌کند و یکدیگر را حذف نمی‌کنند. در روش سوم، از این واقعیت استفاده می‌شود که قسمت اعظم میدان زمینه نسبت به زمان ثابت است و به راحتی از سیگنال متغیر قابل تشخیص است.

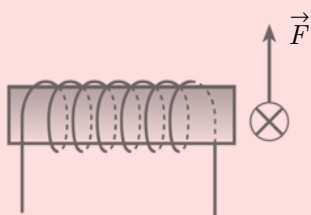
اندازه‌گیری به وسیله الکتروکاردیوگرام یا مگنتوکاردیوگرام MCG از اندازه‌گیری با الکتروآنسفالوگرام یا مگنتوآنسفالوگرام MEG بسیار راحت‌تر است. زیرا میدان مغناطیسی مغز بسیار ضعیف‌تر از میدان مغناطیسی قلب است. انتظار می‌رود که روش‌های آشکارسازی میدان‌های مغناطیسی بسیار ضعیف، به تدریج کامل شوند و درجه کاملاً جدیدی را به روی اعمال انسان بکشایند.

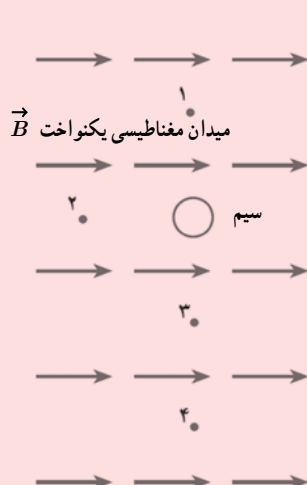
پیشنهادهای

۱ در شکل زیر جهت نیروی وارد بر هریک از ذره‌های باردار، ناشی از میدان مغناطیسی سیم حامل جریان، به کدام طرف است؟



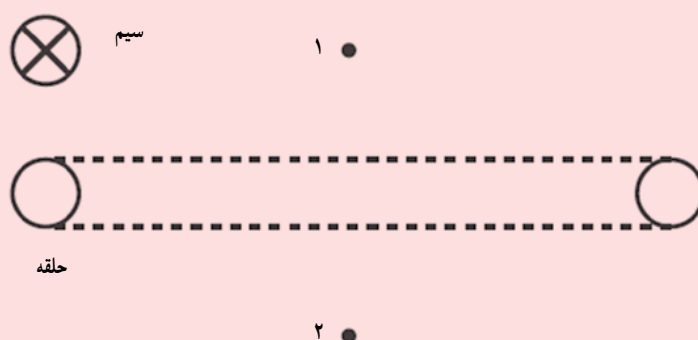
۲ جهت نیروی وارد بر سیم حامل جریانی که در نزدیکی سیم‌لوله‌ای قرار دارد مطابق شکل زیر است. جهت جریان را در سیم‌لوله تعیین کنید.





۳ سیم بلند و مستقیمی عمود بر صفحه کتاب مطابق شکل روبه‌رو درون میدان مغناطیسی یکنواختی قرار دارد. برآیند میدان مغناطیسی در نقطه ۳ صفر است. الف) جهت جریان الکتریکی را در سیم (روی شکل) مشخص کنید. ب) فاصله نقطه‌های ۱ و ۲ از سیم همانند نقطه ۳ و فاصله نقطه ۴ از سیم بیشتر از فاصله نقطه ۳ از سیم است. در هر یک از نقطه‌های ۱، ۲ و ۴ میدان مغناطیسی ناشی از سیم و همچنین میدان برآیند را تعیین کنید.

۴ سیم بلند و مستقیمی که حامل جریان است درست بالای یکی از لبه‌های حلقه حامل جریانی قرار دارد (شکل زیر). سیم و حلقه عمود بر صفحه کتاب‌اند و میدان مغناطیسی برآیند در نقطه ۱ برابر صفر است. الف) روی شکل جهت جریان را در حلقه مشخص کنید. ب) به کمک یک نمودار برداری، میدان مغناطیسی ناشی از سیم، حلقه و برآیند آنها را در نقطه ۲ تعیین کنید.



دانستنی برای معلم

مواد مغناطیسی

مواد با توجه به رفتارشان در یک میدان مغناطیسی خارجی به پنج دسته تقسیم می‌شوند که عبارت‌اند از: دیامغناطیس، پارامغناطیس، فرومغناطیس، پادفرومغناطیس و فری مغناطیس. به‌طور کلی سه عامل در منشأ مغناطیسی مواد مؤثر است.

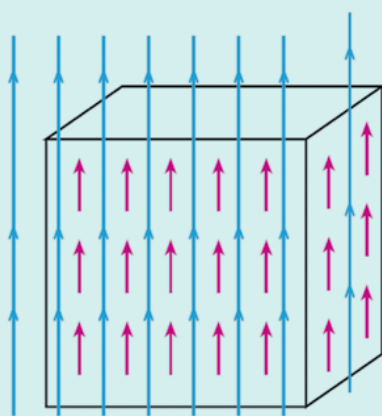
الف) گشتاور اسپینی

ب) گشتاور مداری الکترون‌ها

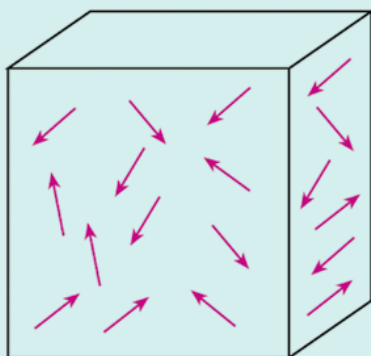
ج) گشتاور القایی ناشی از میدان مغناطیسی خارجی

دو مورد اول در خاصیت پارا، فرو، پادفرو و فری مغناطیسی مواد نقش اساسی دارد و مورد سوم در خاصیت دیامغناطیسی مواد.

۱ **دیامغناطیسی :** هرگاه یک ماده در معرض یک میدان مغناطیسی خارجی قرار بگیرد برهم کنش بین الکترون‌های هر اتم و میدان مغناطیسی خارجی باعث القای یک گشتاور مغناطیسی در اتم می‌شود، این پدیده را دیامغناطیس می‌نامند. از آنجایی که همهٔ مواد از اتم تشکیل شده‌اند، این پدیده در تمام مواد رخ می‌دهد. اما این ساختار الکترونی اتم است که در وجود یا عدم وجود یک گشتاور مغناطیسی دائم یا غیردائم در اتم نقش دارد. پدیدهٔ دیامغناطیس در اتم‌های با پوستهٔ بسته که در آنها جمع‌برداری گشتاورهای مداری و اسپینی صفر است بیشتر نمایان می‌شود. جهت گشتاورهای مغناطیسی القایی در ماده، مطابق قانون لنز، در جهتی است که با حضور میدان مغناطیسی خارجی مخالفت می‌کند. بیسموت، بریلیم، متان، دیوکسید کربن، شیشه و... چند مادهٔ دیامغناطیس هستند.



یک ماده پارامغناطیس در حضور یک میدان مغناطیسی خارجی قوی.



یک ماده پارامغناطیس در غیاب میدان مغناطیسی خارجی.

۲ **پارامغناطیس :** مواد پارامغناطیس موادی با ویژگی‌های زیر می‌باشند :

الف) پوستهٔ الکترونی اتم‌های آنها بسته نیست، بنابراین اتم‌های آنها دارای یک گشتاور مغناطیسی دائم‌اند که منشأ آن همان‌طور که گفته شد گشتاور اسپینی و مداری الکترون‌هاست.

ب) در غیاب میدان مغناطیسی خارجی، جهت گشتاورهای دائمی اتم‌های آنها به‌طور کاتوره‌ای در داخل ماده توزیع شده‌اند. زیرا نیرویی که باعث جفت‌شدگی بین این گشتاورها در داخل ماده می‌شود ضعیف است. این نیرو به نیروی تبادلی موسوم است منشأ آن کوانتومی است.

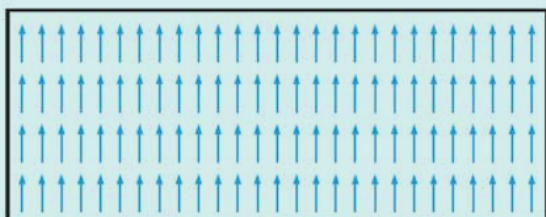
ج) اگر این مواد در معرض یک میدان مغناطیسی خارجی قرار بگیرند، علاوه بر القای یک گشتاور مغناطیسی در اتم‌های آنها (پدیدهٔ دیامغناطیس)، تعدادی از گشتاورهای مغناطیسی دائم اتم‌ها در جهت میدان قرار می‌گیرند به طوری که با افزایش شدت میدان تعداد بیشتری از آنها با میدان هم‌راستا می‌شوند.

اگر میدان مغناطیسی خارجی خیلی قوی باشد همهٔ گشتاورهای مغناطیسی ماده در جهت میدان قرار می‌گیرند. با حذف میدان مغناطیسی خارجی دوباره جهت گشتاور مغناطیسی اتم‌های جسم به حالت کاتوره‌ای بازمی‌گردند.

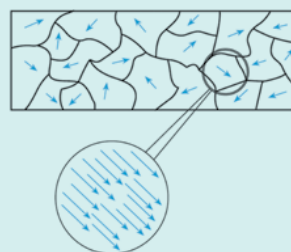
منگنز، پلاتین، آلومینیوم، هوا و... جزء مواد پارامغناطیس محسوب می‌شوند.

۳ **فرو، پادفرو و فری مغناطیس :** اگر برهم کنش و نیروی تبادلی بین گشتاورهای مغناطیسی (ناشی از حرکت مداری و اسپینی الکترون‌ها در اتم‌های با پوستهٔ باز) قوی باشد جفت‌شدگی بین گشتاورهای مغناطیسی افزایش می‌یابد. مواد با توجه به نوع جهت‌گیری این گشتاورها به سه نوع فرو، پادفرو و فری مغناطیس تقسیم می‌شوند.

در مواد فرومغناطیس گشتاورهای مغناطیسی اتم‌های ماده به صورت موازی و در یک جهت قرار می‌گیرند. این مواد در حالت عادی (در غیاب میدان مغناطیسی خارجی) دارای خاصیت مغناطیسی نیستند. زیرا هر ماده فرومغناطیس از حوزه‌های مغناطیسی زیادی تشکیل شده است که توسط دیواره‌هایی به نام دیوار بلوخ از یکدیگر جدا شده‌اند. به طوری که جهت‌گیری گشتاورهای مغناطیسی در هر حوزه مغناطیسی یکسان است ولی در مجموع گشتاور مغناطیسی برآیند کل نمونه (مغناطش نمونه) برابر صفر است.



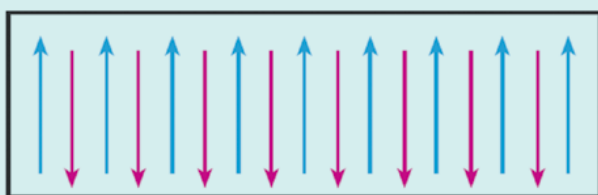
یک ماده فرومغناطیسی در حضور میدان مغناطیسی خارجی



یک ماده فرومغناطیسی در غیاب میدان مغناطیسی

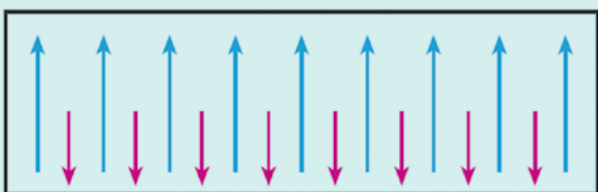
حال اگر یک ماده فرومغناطیس را در معرض یک میدان مغناطیسی خارجی قرار می‌دهیم، گشتاور مغناطیسی حوزه‌هایی که در جهت (یا تقریباً در جهت) میدان هستند هم جهت با آن قرار می‌گیرند، به طوری که با افزایش شدت میدان به تدریج گشتاورهای مغناطیسی حوزه‌های دیگر نیز در جهت میدان ردیف می‌شوند و در نهایت ماده به یک تک حوزه مغناطیسی تبدیل می‌شود. با حذف میدان، پس از گذشت زمان کوتاهی ماده دوباره به حالت اولیه خود بازمی‌گردد و خاصیت مغناطیسی خود را از دست می‌دهد. آهن، کبالت، نیکل، گادولینیم و دیسپرسیم جزء مواد فرومغناطیس محسوب می‌شوند.

مواد پادفرومغناطیس نیز از حوزه‌هایی تشکیل شده‌اند که هر حوزه نیز از شبکه‌هایی شامل دو زیر شبکه A و B تشکیل شده است به طوری که جهت گشتاورهای مغناطیسی در زیر شبکه‌های A و B به صورت پاد موازی یکدیگرند (شکل زیر). موادی مانند FeO ، MnS ، MnO و ... جزء مواد پادفرومغناطیس هستند.



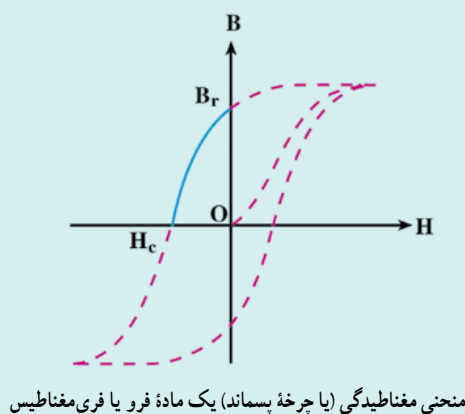
یک حوزه مربوط به ماده پادفرومغناطیس، در مواد پادفرومغناطیس برآیند گشتاورهای مغناطیسی در هر شبکه صفر است.

مواد فری مغناطیس نیز مانند مواد پادفرومغناطیس می‌باشند با این تفاوت که اندازه گشتاورهای مغناطیسی در زیر شبکه‌های A و B با هم برابر نیستند و در نتیجه برآیند گشتاورهای مغناطیسی در هر شبکه و حوزه مخالف صفر است (شکل ۴).



یک حوزه مغناطیسی مربوط به ماده فری مغناطیس، در مواد فری مغناطیس برآیند گشتاورهای مغناطیسی در هر شبکه مخالف صفر است.

هرگاه یک ماده فری مغناطیس در یک میدان مغناطیسی خارجی نسبتاً قوی قرار بگیرد برآیند همه گشتاورهای مغناطیسی اتم‌ها در راستای میدان قرار می‌گیرند. ویژگی مهم این مواد این است که با حذف میدان مغناطیسی خارجی دیگر گشتاورهای مغناطیسی (حوزه‌ها) به حالت اولیه بازمی‌گردند و جسم خاصیت مغناطیسی را به صورت دائم در خود حفظ می‌کند (برخلاف مواد فرومغناطیس نرم که با حذف میدان، خاصیت مغناطیسی خود را از دست می‌دهند). این مواد در صنعت و فناوری از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند به طوری که به اختصار آنها را فریت می‌نامند. رابطه شیمیایی این مواد به صورت Fe_3O_4 ، Mo است، که در آن M یک کاتیون دو ظرفیتی است غالباً Zn ، Fe ، Ni ، Cd ، Cu و یا Mg است. معمولاً این مواد را فرومغناطیس سخت می‌نامند. ویژگی مهم مواد فرو و فری مغناطیس: یکی از بارزترین مشخصات این مواد، منحنی مغناطیدگی یا چرخه پسماند است که در آن تغییرات مغناطیدگی جسم $\vec{M}$ (گشتاور مغناطیسی ماده در واحد حجم یا جرم) را برحسب میدان مغناطیسی خارجی $\vec{H}$ رسم می‌کنند. دلیل وجود این چرخه ناشی از وجود حوزه‌های مغناطیسی در این مواد است. برآیند گشتاورهای مغناطیسی در هر حوزه مخالف صفر است ولی با توجه به اینکه گشتاورهای حوزه‌های مختلف در جهت‌های متفاوتی هستند، گشتاور برآیند نمونه صفر است. (نقطه O در شکل (صفحه بعد)). حال اگر این مواد را در یک میدان مغناطیسی قرار دهیم و میدان را به تدریج افزایش دهیم، ابتدا حجم حوزه‌هایی که گشتاور مغناطیسی آنها با میدان هم جهت (یا تقریباً هم جهت) است زیاد می‌شود و با افزایش شدت میدان، گشتاورهای حوزه‌های دیگر نیز به تدریج می‌چرخند و در جهت میدان قرار می‌گیرند و سرانجام در یک میدان مغناطیسی نسبتاً قوی گشتاور مغناطیسی تمام حوزه‌ها با میدان مغناطیسی هم جهت می‌شوند و کل نمونه به صورت یک تک حوزه مغناطیسی درمی‌آید. اکنون اگر میدان مغناطیسی خارجی را به تدریج کاهش دهیم گشتاورهای حوزه‌های مغناطیسی به حالت اولیه خود بازمی‌گردند، یعنی در غیاب میدان مغناطیسی، مغناطیدگی، ماده صفر نمی‌شود و به عبارتی ماده از خود پسماند مغناطیسی نشان می‌دهد. در عمل به جای رسم منحنی $M-H$ ، منحنی $B-H$ را (که در آن B القای مغناطیسی درون ماده است) را رسم می‌کنند.



منحنی مغناطیدگی (یا چرخه پسماند) یک ماده فرو یا فری مغناطیس

در این نمودار B_r پسماند مغناطیسی در ماده است و H_c میدان وادارنده جسم است که خاصیت مغناطیسی را در جسم حفظ می‌کند که معمولاً به آن نیروی وادارندگی می‌گویند. در مواد فرومغناطیس نیروی وادارنده H_c کوچک است به همین دلیل با حذف میدان مغناطیسی خارجی جسم پس از مدت زمانی کوتاه به حالت اولیه خود بازمی‌گردد. در حالی که در مواد فری مغناطیس نیروی وادارنده H_c بزرگ است و مانع آن می‌شود که در غیاب میدان خارجی جسم خاصیت (باقی ماندگی) مغناطیسی خود را از دست بدهد. آن بخش از منحنی پسماند را که در ناحیه دوم قرار دارد (خط پیوسته در شکل بالا) منحنی و امغناطیدگی جسم می‌نامند.

چرا مواد فری مغناطیس برای ذخیره اطلاعات مناسب اند؟ با توجه به آنچه گفته شد یک محیط مناسب برای ذخیره اطلاعات باید دارای شرایط زیر باشد :

(الف) ذخیره مقدار زیادی اطلاعات در یک فضای کوچک (B_r بزرگ)

(ب) حفظ این اطلاعات برای یک مدت زمان طولانی (H_c بزرگ)

(ج) ذخیره و بازیابی اطلاعات با توان مصرفی کم

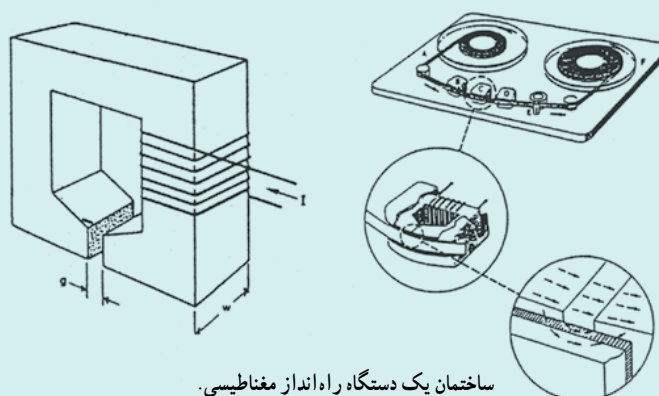
سه ویژگی بالا در مواد فری مغناطیس وجود دارد و از این جهت این مواد برای ذخیره اطلاعات مناسب اند.

تاریخچه ضبط (ذخیره) مغناطیسی : ضبط مغناطیسی با استفاده از تبدیل نوسان های صوتی به نوسانات الکتریکی (توسط میکروفون و تقویت کننده) و تبدیل این جریان الکتریکی به یک میدان مغناطیسی توسط یک هد (که باید از جنس یک ماده فرومغناطیس باشد) و اعمال این میدان مغناطیسی بر روی یک محیط مغناطیسی مناسب (از جنس یک ماده فری مغناطیس) امکان پذیر است. ضبط صدای انسان نخستین بار در سال ۱۸۹۸ میلادی توسط پولسن (Poulsen) ابداع گردید. او نوسان های صوتی را توسط یک آهنربای الکتریکی که به یک میکروفون وصل شده بود بر روی یک میله فولادی (آهن با ۱ درصد کربن) ذخیره نمود. مجموعه دستگاهی که ایشان فراهم نمود بود به تلگرافون موسوم بود. عیب عمده این دستگاه نویز (Noise) زیاد در هنگام بازیافت اطلاعات ذخیره شده بود.

در سال ۱۹۲۰ با بهبود کیفیت تقویت کننده ها، بازیافت اطلاعات با نویز کمتری همراه شد. در سال ۱۹۲۱ با اختراع روش ضبط با پیش ولت ac این نویزها به میزان قابل توجهی کاهش یافت.

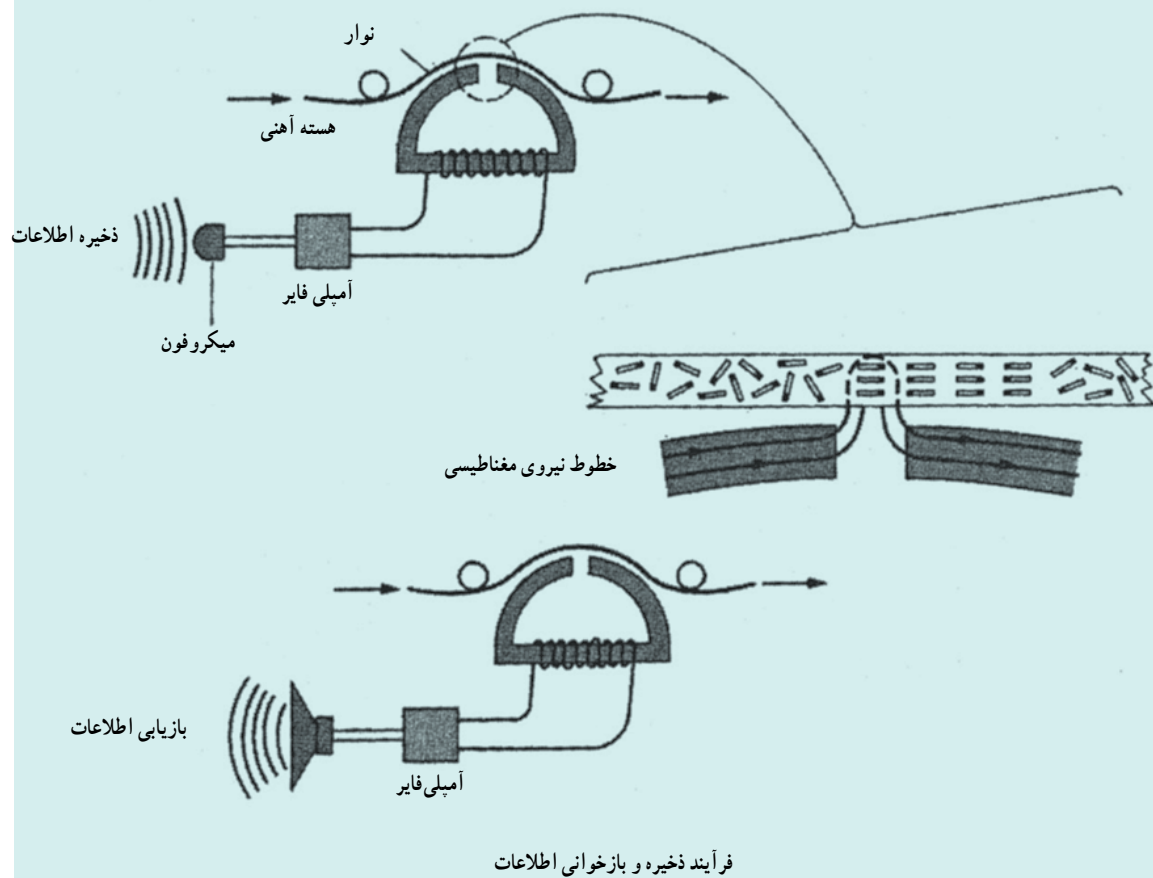
نوارهای ضبط شنیداری *ATR* نخستین بار با آغشته کردن یک نوار کاغذی مخصوص با یک مایع فری مغناطیس در سال ۱۹۲۷ توسط یک شرکت آمریکایی ابداع گردید و هم زمان در آلمان این نوارها با استفاده از نوار کاغذی آغشته به پودر آهن ساخته شدند. در سال ۱۹۴۷ با همکاری سه شرکت آمریکایی نوارهای اکسید آهن ابداع شدند و در سال ۱۹۵۰ نوارهای ضبط دیداری *VTR* و همچنین درایوهای دیسک مغناطیسی *MDD* ساخته شدند. در اواخر دهه ۱۹۶۰ میلادی نوارهایی از جنس دیوکسید کروم و در اوایل دهه ۱۹۷۰ نیز نوارهایی از جنس اکسید آهن اصلاح شده با کبالت ساخته شدند. در اوایل دهه ۱۹۸۰ نیز نوارهای فلزی از جنس ذرات بسیار ریز فلزی (پودر آهن) به بازار عرضه شدند.

فرایند ذخیره و بازیابی اطلاعات از محیط های مغناطیسی : همان طور که گفته شد عمل ذخیره سازی مغناطیسی (اعم از صوتی و تصویری) با تبدیل نوسانات صوتی (تصویری) به نوسانات الکتریکی و تبدیل این جریان الکتریکی به یک میدان مغناطیسی توسط دستگاه راه انداز و اعمال این میدان بر روی یک محیط مغناطیسی مناسب امکان پذیر است (شکل زیر).

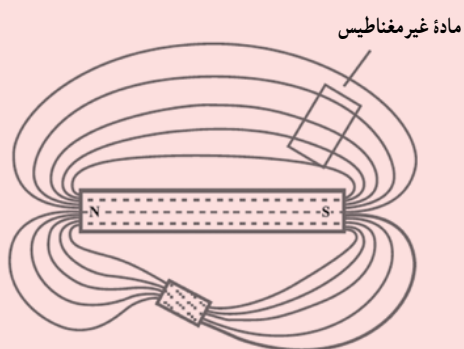


ساختار یک دستگاه راه انداز مغناطیسی.

برای بازیافت اطلاعات فرایند بالا برعکس می شود. یعنی نوار را از مقابل یک راه انداز مغناطیسی عبور می دهند، در نتیجه بر اثر خاصیت مغناطیسی نوار، یک میدان مغناطیسی در دستگاه راه انداز القا می شود و این میدان مغناطیسی باعث ایجاد یک جریان الکتریکی می شود که توسط یک مبدل به نوسان های صوتی تبدیل می شود (شکل صفحه بعد).



پرسش های پیشنهادی



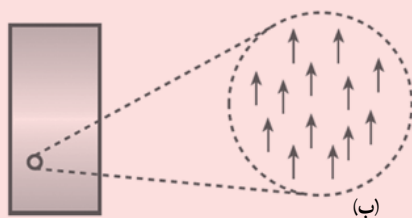
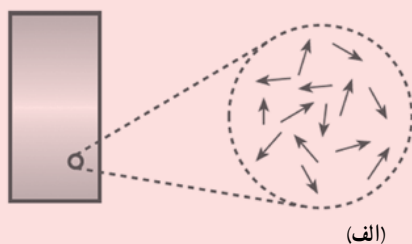
۱ در شکل روبه رو تأثیر وجود یک ماده غیرمغناطیسی (مانند شیشه) و یک ماده مغناطیسی (مانند آهن) در اطراف یک آهنربای میله ای نشان داده شده است.

الف) سمت گیری تقریبی دو قطبی های مغناطیسی را در هر یک از این دو ماده با رسم شکل نشان دهید.

ب) قطب های القا شده در قطعه آهن را تعیین کنید.

۲ الف) در شکل صفحه زیر الف و ب سمت گیری دوقطبی های مغناطیسی در دو ماده مختلف (در مقیاس خیلی ریز) نشان داده است. تفاوت های هر ماده را از لحاظ مغناطیسی بنویسید.

ب) در صورتی که ماده (الف) درون یک میدان مغناطیسی ضعیف قرار گیرد، چه تغییری در سمت گیری دوقطبی های آن رخ می دهد؟ در صورتی که میدان مغناطیسی قوی باشد، چطور؟
پ) اگر ماده (ب) یک آهنربای میله ای باشد، قطب های آن را در دو طرف آهنربا تعیین کنید.

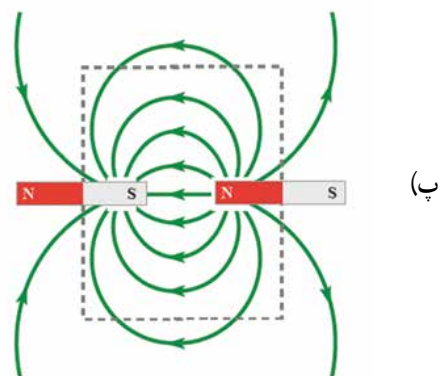
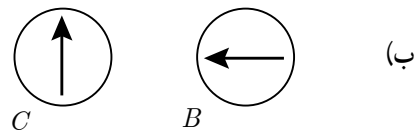


راهنمای پاسخ‌یابی پرسشی‌ها و مسئله‌های فصل ۳

۱ دانش‌آموزان با توجه به شکل ۳-۶ دیدند، جهت قطب‌های آهنربا به سادگی تعیین می‌شود.



۲ الف) اندازه میدان در نقطه A حداقل ممکن و نزدیک به صفر است.



۳ الف) ۱- استفاده از یک آهنربا با قطب‌های مشخص
۲- استفاده از قطب نما

ب) با توجه به تراکم خطوط میدان در مجاورت قطب‌ها آهنربای ۲، اندازه میدان $\vec{B}$ این آهنربا از آهنرباهای (۱) بیشتر است.
۴ الف) نوک ثابت آهنی بر اثر پدیده القای مغناطیسی، به آهنربا تبدیل می‌شود.

ب) به علت آنکه آهن ماده فرومغناطیس نرم است به راحتی به آهنربا تبدیل می‌شود و قادر خواهد بود قطعه بلعیده شده را جذب و به بیرون بکشد.

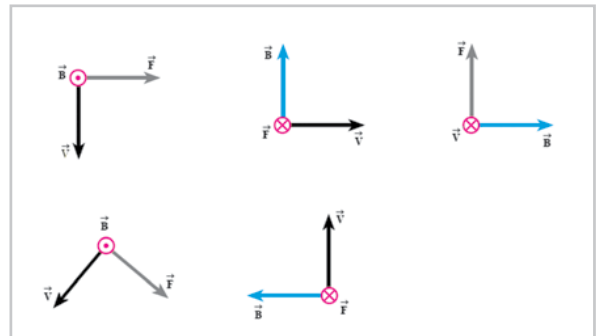
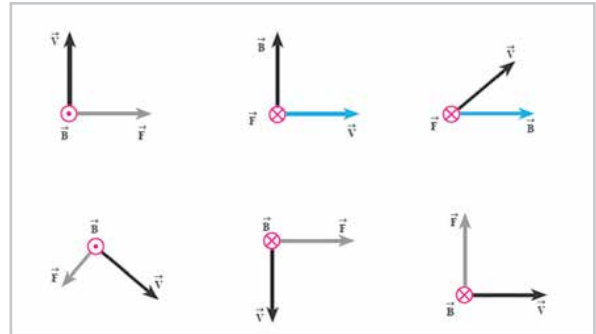
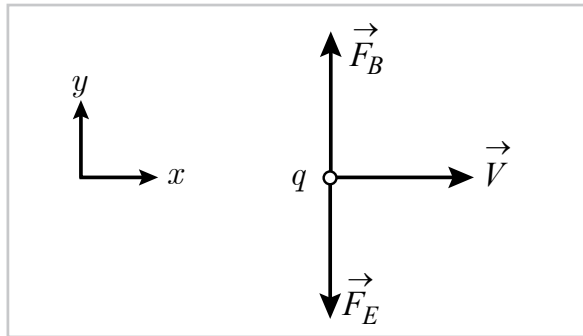


پ) به علت اینکه مجرای گلو دارای فرورفتگی و برآمدگی است.
ت) گیره آهنی کاغذ را می‌توان بیرون آورد زیرا ماده فرومغناطیس نرم است و جذب آهنربا می‌شود.
۵ با استفاده از قاعده دست راست، نوع بار هر ذره را تعیین می‌کنیم زیرا ذره ۱ بار مثبت، ذره‌های ۲ و ۴ بار منفی و ذره ۳ چون از مسیر خود منحرف نشده است، خنثی است.

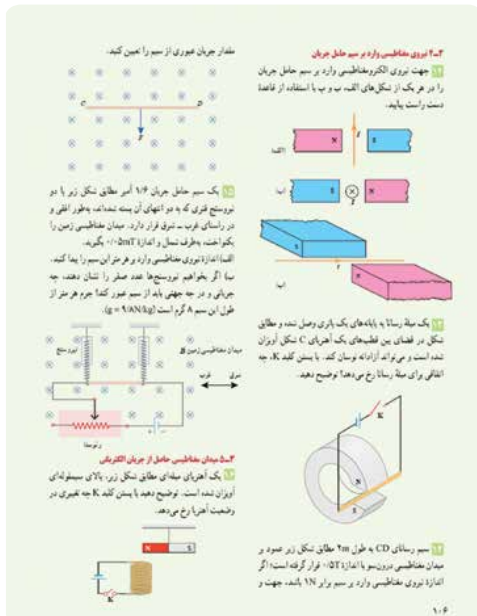


۱۱ برای اینکه ذره باردار در همان امتداد محور x به حرکت خود ادامه دهد، مطابق شکل باید $F_E = F_B$. در این صورت داریم

$$qE = qvB \Rightarrow v = \frac{E}{B} = \frac{45^\circ N}{\circ / \wedge T} = 25^\circ \circ m/s$$



۱۲ با استفاده از قاعده دست راست، جهت نیرو
(الف) به سمت داخل صفحه (درون سو) است.
(ب) به سمت بالا.
(پ) به سمت بالا.



۸ یاد ساعتگرد

$$V = 4/4 \times 10^6 \text{ m/s}, B = 1 \text{ mT}, \theta = 60^\circ$$

$$F = qvB \sin \theta = (1/6 \times 10^{-19} \text{ C}) = (4/4 \times 10^6 \text{ m/s}) \quad (\text{الف})$$

$$\times (1 \times 10^{-3} \text{ T}) \sin 60^\circ \approx 2/5 \times 10^{-15} \text{ N}$$

(ب)

$$F = ma \Rightarrow a = \frac{2/5 \times 10^{-15} \text{ N}}{1/7 \times 10^{-27} \text{ kg}} = 1/4 \times 10^{12} \text{ m/s}^2$$

$$v = 2/4 \times 10^5 \text{ m/s}, F_{\max} = 6/871 \times 10^{-14} \text{ N}, B = ?$$

$$F = qvB \sin \theta \Rightarrow 6/8 \times 10^{-14} \text{ N} = (1/6 \times 10^{-19} \text{ C})$$

$$(2/4 \times 10^5 \text{ m/s}) B$$

$$\Rightarrow B \approx 1/7 \text{ T}$$

۱۳ میله در همان لحظه وصل کلید، روبه جلو پرتاب می‌شود. دانش‌آموزان با توجه به قاعده دست راست و جهت جریان و میدان $\vec{B}$ ، باید جهت نیروی وارد بر میله را تعیین کنند.

چون اندازه نیروی وارد بر الکترون بیشینه فرض شده است $\sin \theta = 1$ گرفته‌ایم. جهت میدان به سمت غرب است (به بار منفی الکترون توجه شود).

فصل سوم : مغناطیس ۴۵

$$l = 2m, B = 0.5 \text{ T}, F = 1 \text{ N}, I = ?$$

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

$$\Rightarrow I = 1 \text{ A}$$

جهت جریان از D به C است.

$$I = 1/6 \text{ A}, B = 0.5 \text{ mT} = 0.5 \times 10^{-3} \text{ T}$$

$$F = IlB \sin \theta = (1/6 \text{ A})(1 \text{ m})(0.5 \times 10^{-3} \text{ T}) \sin 90^\circ$$

$$= 8 \times 10^{-5} \text{ N}$$

$$F = mg \Rightarrow IlB \sin \theta = mg$$

$$I(1 \text{ m})(0.5 \times 10^{-3}) \sin 90^\circ = (8 \times 10^{-3} \text{ kg})(9.8 \text{ N/kg})$$

$$\Rightarrow I = 1568 \text{ A}$$

که جریان بسیار بزرگی است.

۱۶ با بستن کلید، سیملوله آهنربا می شود و با توجه به جهت جریان در آن، پایین سیملوله قطب N و بالای آن قطب S می شود. بنابراین قطب N آهنربای آویزان به طرف سیملوله کشیده می شود.

۱۷ با قرار دادن باتری A درون مدار، جهت خطوط میدان حاصل از سیم حامل جریان سبب انحراف عقربه مغناطیسی به طرف چپ می شود.

۱۸ باتری A ، با توجه به جهت جریان در سیملوله، سمت راست سیملوله قطب S می شود و آهنربای آویزان را به سمت خود جذب می کند.

۱۹ جهت میدان $\vec{B}$ ناشی از سیم ۱ در نقطه A درون سو است. بنابراین باید جهت میدان ناشی از سیم ۲ در نقطه A برون سو باشد تا برآیند آنها بتواند صفر شود.

بنابراین باید جهت جریان در سیم ۲، بر خلاف جهت جریان در سیم ۱ باشد.

$$N = 250, l = 0.14 \text{ m}, I = 8 \text{ A}, B = ?$$

$$B = \frac{\mu_0 NI}{l} = \frac{(4\pi \times 10^{-7} \text{ T.m/A})(250)(8 \text{ A})}{0.14 \text{ m}} \approx 1.8 \times 10^{-3} \text{ T}$$

$$N_P = 200, N_Q = 300, I_Q = 1 \text{ A}, I_P = ?$$

$$l_P = l_Q$$

شرط صفر بودن برآیند میدان $\vec{B}$ ناشی از دو سیملوله در نقطه M عبارت است از

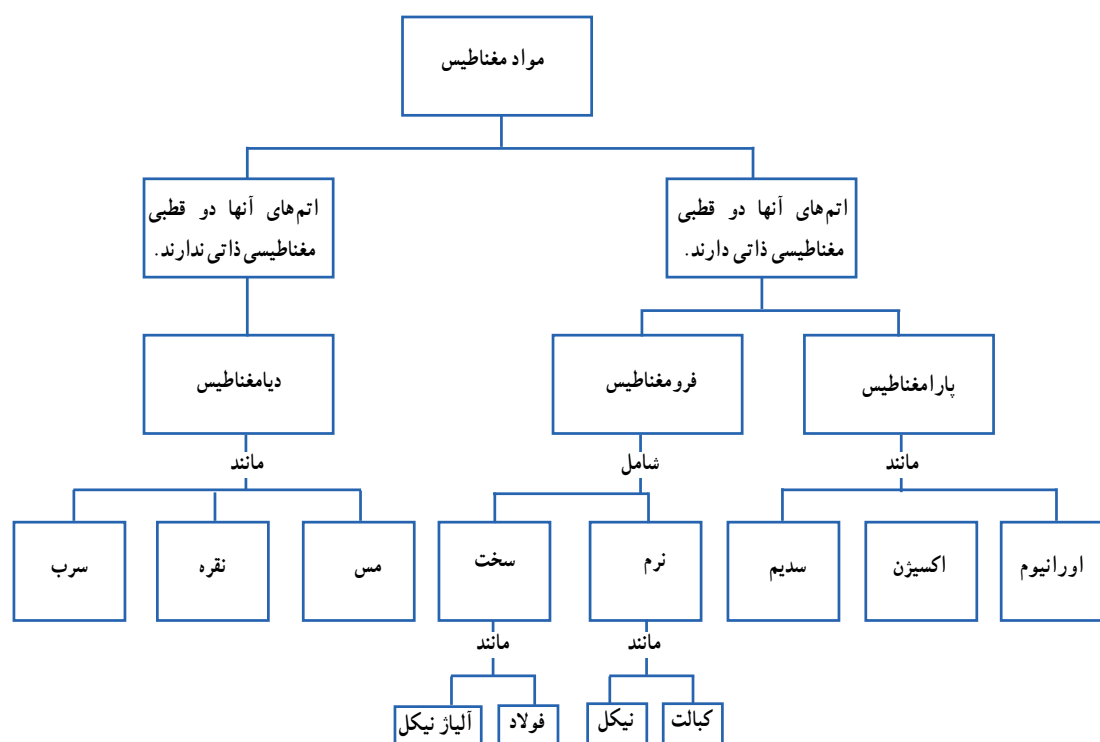
$$B_P = B_Q \Rightarrow \frac{\mu_0 N_P I_P}{l_P} = \frac{\mu_0 N_Q I_Q}{l_Q}$$

$$\Rightarrow 200 \cdot I_P = 300 \cdot 1 \text{ A} \Rightarrow I_P = \frac{3}{2} \text{ A}$$



۲۲ چون پس از حذف $\vec{B}$ ، جهت گیری حوزه های مغناطیسی ماده فرومغناطیسی به طور کاتوره ای درآمده است نوع ماده فرومغناطیس، نرم است.

۲۳ با توجه به آنچه در بخش ویژگی های مغناطیسی مواد دیدید، نقشه مفهومی زیر را کامل کنید.

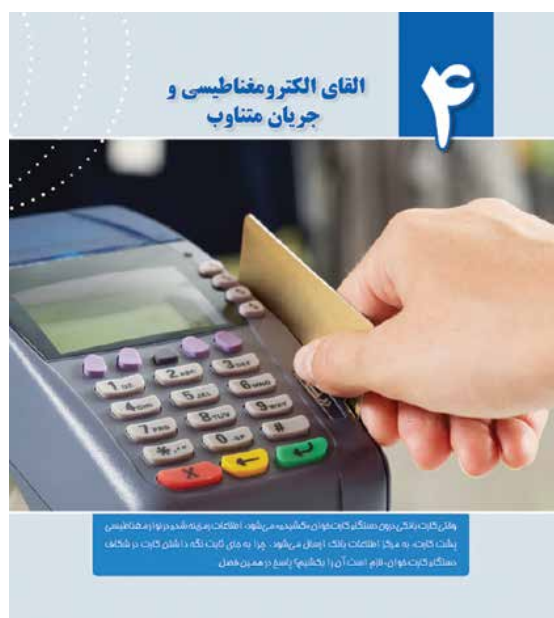


فصل چهارم

القای الکترومغناطیسی و جریان متناوب

هدف‌های فصل

- آشنایی با پدیده القای الکترومغناطیسی و کاربردهای آن در زندگی روزمره (مثل تولید جریان متناوب)
- شناخت عامل‌های مؤثر بر اندازه جریان القایی و چگونگی تعیین جهت آن
- آشنایی با اثر خود القاوری و ضریب خود القاوری سیم‌لوله.
- آشنایی با پدیده القای متقابل
- آشنایی با جریان متناوب و ویژگی‌های آن
- آشنایی با اساس کار مبدل‌ها و انواع آنها



راهنمای تدریس : ابتدا توجه دانش‌آموزان را به تصویر ورودی فصل و متن زیر آن جلب کنید تا زمینه مناسب برای ورود به فصل فراهم شود.

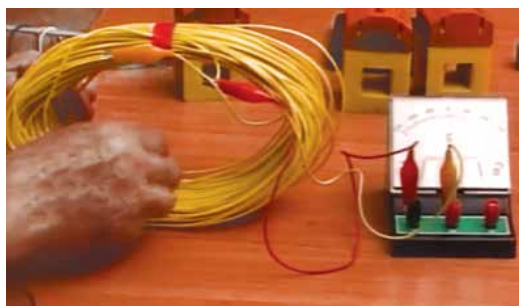
برای بررسی بیشتر این موضوع، مطابق آزمایش پیشنهادی که در مجموعه فیلم‌های مرتبط با آزمایش‌های فیزیک ۲ آمده است، ابتدا به کمک دانش‌آموزان بررسی کنید که نوار سیاه رنگ پشت کارت‌های بانکی، یک نوار مغناطیسی با خاصیت آهنربایی نسبتاً ضعیف است.





اگر وسیله‌ای فلزی در بین دروازه‌های این آشکارسازها قرار گیرد میدان مغناطیسی متغیر روی آن جریانی القای می‌کند که سوی آن به‌گونه‌ای است که میدان مغناطیسی اولیه را تضعیف کند و تجهیزات الکترونیکی این تغییر میدان را ثبت و مدار آژیر را فعال می‌کنند.

چنانچه یک کلاف سیم برق‌کشی در اختیار داشته باشید، دوسر کلاف را به یک گالوانومتر حساس یا میلی ولت‌سنج وصل کنید. در حضور یک میدان مغناطیسی نسبتاً قوی (ایجاد شده توسط آهنربای دائم یا آهنربای الکتریکی) حالت‌های مختلف شکل ۴-۲ و شکل ۴-۳ (کتاب درسی) را انجام دهید تا دانش‌آموزان با عوامل متفاوتی که می‌توانند منجر به ایجاد نیروی محرکه القایی یا جریان القایی به‌طور عملی آشنا شوند و قانون القای الکترومغناطیس فاراده را تحقیق کنید.



۴-۲- قانون القای الکترومغناطیسی فاراده

راهنمای تدریس : با انجام فعالیت‌های ساده‌ای مطابق شکل‌های الف و ب، می‌توانید دانش‌آموزان را با مفهوم شار و کمیت‌های وابسته به آن آشنا کنید.

تمرین: همواره در جهت برای رسم نیم‌خط عمود بر یک سطح من وجود دارد. علامت شار مغناطیسی عبوری از این سطح نیز به انتخاب این جهت بستگی دارد. برای مثال، در شکل ۴-۳، نیم‌خط عمود را در طرفی از سطح رسم کرده‌ایم که زاویه بین آن و جهت میدان $\vec{B}$ کمتر از 90° است و در نتیجه شار عبوری از سطح مثبت می‌شود. اگر نیم‌خط عمود را در طرف دیگر سطح انتخاب کنیم، در این صورت، زاویه آن با جهت میدان $\vec{B}$ بیشتر از 90° خواهد شد و شار عبوری از سطح منفی می‌شود. هر دو انتخاب به یک اندازه، طبعی و ولی در حل یک مسئله، همواره باید یکی را انتخاب کنیم و با بایان آن را تغییر دهیم.

مثال ۴-۱: (الف) مطابق شکل الف، سطح حلقه رسانایی به شکل مربع با ضلع 4.0 cm ، عمود بر میدان مغناطیسی یکنواختی به بزرگی 2.0 G قرار دارد. شار عبوری از این حلقه را به دست آورید. (ب) اگر حلقه را بچرخانیم به طوری که سطح حلقه موازی با خط‌های میدان مغناطیسی شود، شار مغناطیسی عبوری از آن چقدر می‌شود؟ (ج) شار مغناطیسی عبوری از حلقه را وقتی از وضعیت شکل الف به وضعیت شکل ب می‌چرخد به دست آورید. (د) اگر این تغییر شار مغناطیسی در بازه زمانی $\Delta t = 0.1\text{ s}$ رخ داده باشد، آنگاه تغییر شار $\Delta\Phi$ را پیدا کنید.

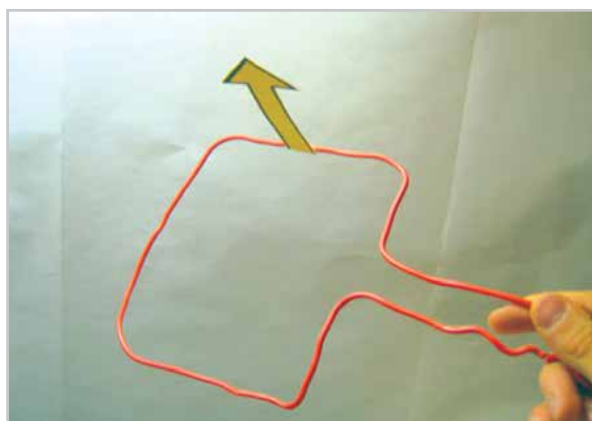
پاسخ: (الف) وقتی مطابق شکل الف، سطح حلقه عمود بر خط‌های میدان مغناطیسی قرار می‌گیرد، زاویه بین میدان $\vec{B}$ و نیم‌خط عمود بر سطح حلقه و برای صاف می‌شود. به این ترتیب، شار عبوری از سطح حلقه برابر است با:

$$\Phi = B \cdot A \cdot \cos \theta = (2.0 \times 10^{-4} \text{ T}) \cdot (0.04 \text{ m})^2 \cdot \cos(0^\circ) = 3.2 \times 10^{-8} \text{ Wb}$$

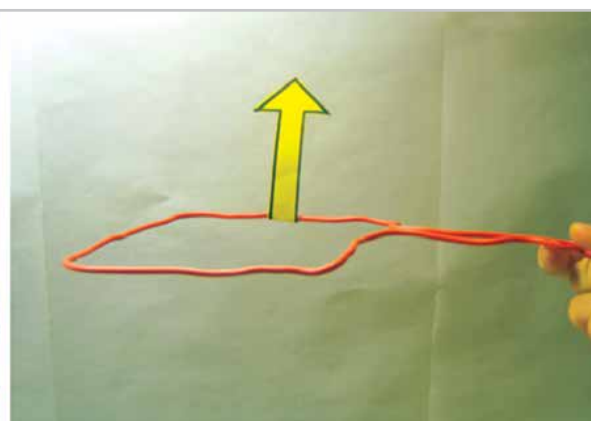
(ب) در این حالت، چون سطح حلقه موازی با خط‌های میدان مغناطیسی قرار می‌گیرد، زاویه بین $\vec{B}$ و نیم‌خط عمود بر سطح حلقه برابر 90° می‌شود. از آنجا که $\cos 90^\circ = 0$ است، در این شرایط، هیچ شاری از سطح حلقه عبور نمی‌کند. به این معنی، شار عبوری از سطح حلقه در وضعیت شکل الف و ب، به ترتیب برابر $\Phi_a = 3.2 \times 10^{-8} \text{ Wb}$ و $\Phi_b = 0$ است. به این ترتیب، تغییر شار عبوری از سطح حلقه برابر $\Delta\Phi = \Phi_b - \Phi_a = -3.2 \times 10^{-8} \text{ Wb}$ می‌شود. علامت منفی نشان می‌دهد در حین چرخش حلقه از وضعیت شکل الف به وضعیت شکل ب، شار مغناطیسی عبوری از سطح آن کاهش یافته است. لذا با توجه به نتیجه قسمت ب، آنگاه تغییر شار $\Delta\Phi$ برابر است با:

$$\Delta\Phi = -3.2 \times 10^{-8} \text{ Wb}$$

در شکل الف، سطح حلقه بر جریان آب خروجی عمود است، در شکل ب نیم‌خط عمود بر سطح حلقه با امتداد جریان آب، زاویه می‌سازد و در شکل پ از دو حلقه با سطح متفاوت استفاده شده است. همان‌طور که در «قسمت توجه» نیز اشاره شده است برای رسم نیم‌خط عمود بر یک سطح دو جهت وجود دارد که انتخاب هر کدام به یک اندازه مفید است ولی در حل یک مسئله، همواره باید به انتخاب یک جهت پایبند باشیم. شکل زیر می‌تواند درک خوبی از نیم‌خط عمود بر سطح حلقه برای دانش‌آموزان فراهم کند.



(ب)



(الف)

تمرین ۱-۴ (الف)

$$A_1 = 25 \text{ cm}^2 = 2/5 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$B = 0.3 \text{ T}, \Phi_1 = ?, \theta = 0^\circ$$

$$\Phi_1 = BA_1 \cos \theta$$

$$= (0.3 \text{ T}) (2/5 \times 10^{-3} \text{ m}^2) \cos 0^\circ$$

$$= 7/5 \times 10^{-5} \text{ Wb}$$

(ب)

$$A_2 = 1/5 \times 10^{-3} \text{ m}^2, \Phi_2 = ?$$

$$\Phi_2 = BA_2 \cos \theta = 3/5 \times 10^{-5} \text{ Wb}$$

(پ)

$$\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = \frac{(3/5 \times 10^{-5} \text{ Wb}) - (7/5 \times 10^{-5} \text{ Wb})}{2 \text{ s}} = -2/5 \times 10^{-5} \text{ Wb/s}$$

پرسش ۱-۴

هدف از این پرسش این است که قبل از معرفی رابطه قانون القای فاراده، دانش‌آموزان با یکای آهنگ تغییرات شار (Wb/s) که از جنس نیروی محرکه الکتریکی است (با یکای ولت) آشنا شوند.

تغییر شار مغناطیسی و جریان القایی

تمرین ۱-۳
الف) جلفه‌ای به مساحت 10 cm^2 درون میدان مغناطیسی یکواخت درون سویی به اندازه 0.22 A قرار دارد (شکل الف). شار مغناطیسی عبوری از حلقه را به دست آورید.
ب) اگر حلقه‌ای شکل ب و بدون تغییر 2 cm^2 مساحت سطح حلقه را به 1 cm^2 رسانیم، شار مغناطیسی عبوری از حلقه را در این وضعیت به دست آورید.
پ) اگر این تغییر شار در بازه زمانی 0.2 s رخ داده باشد، آهنگ تغییر شار $(\Delta \Phi / \Delta t)$ را پیدا کنید.

پرسش ۱-۳
کدام یک از یکاهای زیر معادل یکای ویر به تابه (Wb/s) است؟
 Ω ☐ A ☐ V ☐ V/A ☐

اکنون که با تعریف و مفهوم شار مغناطیسی آشنا شدید دوباره نگاهی می‌کنیم به جمله القای الکترومغناطیسی که در بخش قبل بررسی کردیم. همان‌طور که گفتیم عامل مشترک در تمامی پدیده‌های که منجر به تولید جریان القایی در مدار می‌شود، تغییر شار مغناطیسی عبوری از پهنه یا مسطحه است. بکار قانون فاراده، هرگاه شار مغناطیسی که از مدار بستای می‌گذرد تغییر کند، نیروی محرکه‌ای در آن القا می‌شود که بزرگی آن با آهنگ تغییر شار مغناطیسی متناسب است. حتی هرچه آهنگ تغییر شار مغناطیسی بیشتر باشد، نیروی محرکه القایی و در نتیجه جریان القایی تولید شده در مدار بیشتر خواهد بود. مثلاً در آزمایش‌های مربوط به تشکیل‌های 10^{-3} A و $3 \times 10^{-3} \text{ A}$ هرچه حرکتی که سبب تغییر شار مغناطیسی می‌شود، سریع‌تر انجام شود، قطره‌ها گلو از سوز بیشتر متصرف می‌شود و در این نشان می‌دهد که جریان القایی بزرگ‌تری به وجود آمده است.

قانون فاراده، برای پهنه یا مسطحه‌ای که از Δt دور مشابه تشکیل شده باشد، رابطه زیر بیان می‌شود:

$$\mathcal{E} = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \quad (1-3)$$

در این رابطه $\mathcal{E}$ نیروی محرکه القایی متوسط بر حسب ولت و $\Delta \Phi / \Delta t$ آهنگ تغییر شار مغناطیسی بر حسب ویر به تابه (Wb/s) است. اگر مقاومت پهنه یا مسطحه را R باشد، جریان القایی متوسط در آن از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R} \quad (1-4)$$

همان‌طور که از رابطه $1-4$ دیده می‌شود، هرچه مقاومت پهنه یا مداری که در آن شار مغناطیسی تغییر می‌کند، بیشتر باشد، جریان کوچک‌تری در آن القا می‌شود.

تغییر شار مغناطیسی و جریان القایی

تمرین ۱-۳
پهنه‌ای شکل الف دور که مساحت هر حلقه آن 10 cm^2 است، مطابق شکل روی دوین لطف‌های یک آهنربای الکتریکی قرار گرفته است که میدان مغناطیسی یکواخت تولید می‌کند. سطح‌های میدان بر سطح پهنه عبور دارند. اگر اندازه میدان در بازه زمانی 0.2 s از 0.1 T به 0.3 T افزایش یابد،

الف) نیروی محرکه القایی متوسط ایجاد شده در پهنه چقدر است؟
ب) اگر مقاومت پهنه 1Ω باشد، جریان القایی متوسط که از پهنه عبور می‌کند، چقدر است؟

پاسخ: الف) ابتدا توسط نمودار سطح حلقه‌های پهنه را محاسبه می‌کنیم. با توجه به داده‌های مسئله داریم:

$$\Delta t = 0.2 \text{ s}, \quad A = 10 \text{ cm}^2, \quad \mathcal{E} = ?$$

$$B_1 = 0.1 \text{ T}, \quad B_2 = 0.3 \text{ T}, \quad \theta = 0^\circ$$

$$\Phi_1 = BA_1 \cos \theta = (0.1 \text{ T})(10 \times 10^{-4} \text{ m}^2) \cos 0^\circ = 1 \times 10^{-5} \text{ Wb}$$

$$\Phi_2 = BA_2 \cos \theta = (0.3 \text{ T})(10 \times 10^{-4} \text{ m}^2) \cos 0^\circ = 3 \times 10^{-5} \text{ Wb}$$

$$\Delta \Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = (3 \times 10^{-5} \text{ Wb}) - (1 \times 10^{-5} \text{ Wb}) = 2 \times 10^{-5} \text{ Wb}$$

$$\mathcal{E} = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = -1 \times \frac{2 \times 10^{-5} \text{ Wb}}{0.2 \text{ s}} = -1 \times 10^{-4} \text{ V}$$

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R} = \frac{-1 \times 10^{-4} \text{ V}}{1 \Omega} = -1 \times 10^{-4} \text{ A}$$

$$\mathcal{E} = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = -1 \times \frac{2 \times 10^{-5} \text{ Wb}}{0.2 \text{ s}} = -1 \times 10^{-4} \text{ V}$$

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R} = \frac{-1 \times 10^{-4} \text{ V}}{1 \Omega} = -1 \times 10^{-4} \text{ A}$$

$$\mathcal{E} = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = -1 \times \frac{2 \times 10^{-5} \text{ Wb}}{0.2 \text{ s}} = -1 \times 10^{-4} \text{ V}$$

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R} = \frac{-1 \times 10^{-4} \text{ V}}{1 \Omega} = -1 \times 10^{-4} \text{ A}$$

$$\mathcal{E} = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = -1 \times \frac{2 \times 10^{-5} \text{ Wb}}{0.2 \text{ s}} = -1 \times 10^{-4} \text{ V}$$

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R} = \frac{-1 \times 10^{-4} \text{ V}}{1 \Omega} = -1 \times 10^{-4} \text{ A}$$

$$\mathcal{E} = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = -1 \times \frac{2 \times 10^{-5} \text{ Wb}}{0.2 \text{ s}} = -1 \times 10^{-4} \text{ V}$$

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R} = \frac{-1 \times 10^{-4} \text{ V}}{1 \Omega} = -1 \times 10^{-4} \text{ A}$$

$$\mathcal{E} = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = -1 \times \frac{2 \times 10^{-5} \text{ Wb}}{0.2 \text{ s}} = -1 \times 10^{-4} \text{ V}$$

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R} = \frac{-1 \times 10^{-4} \text{ V}}{1 \Omega} = -1 \times 10^{-4} \text{ A}$$

$$\mathcal{E} = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = -1 \times \frac{2 \times 10^{-5} \text{ Wb}}{0.2 \text{ s}} = -1 \times 10^{-4} \text{ V}$$

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R} = \frac{-1 \times 10^{-4} \text{ V}}{1 \Omega} = -1 \times 10^{-4} \text{ A}$$

تمرین ۴-۲

$$\Delta t = 0.001 \text{ s}, A = 1 \text{ cm}^2$$

$B_1 = 0.28T$ رو به بالا

$B_r = 0.17 \text{ T}$ رو به پایین

(جهت بالا را مثبت فرض کرده ایم.)

(الف)

$$\bar{\mathcal{E}}_{=}?$$

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

تغییرات شار ناشی از تغییرات جهت و اندازه میدان است.

به این ترتیب

$$\Phi_{\lambda} = B_{\lambda} A \cos \theta_{\lambda} = (\circ/\Upsilon \wedge T)(\lambda \circ^{-\Upsilon} m^{\Upsilon}) \cos \circ^{\circ}$$

$$= 2/\lambda \times 10^{-3} \text{ Wb}$$

$$\Phi_{\gamma} = B_{\gamma} A \cos \theta_{\gamma} = (0.144 \text{ T})(1.0^{-2} \text{ m}^2) \cos 1.10^{\circ}$$

$$= -1/\gamma \times 10^{-3} \text{ Wb}$$

$$\Delta\Phi = \Phi_{\gamma} - \Phi_{\lambda} = -1/\gamma \times 10^{-7} Wb - 2/\lambda \times 10^{-7} Wb$$

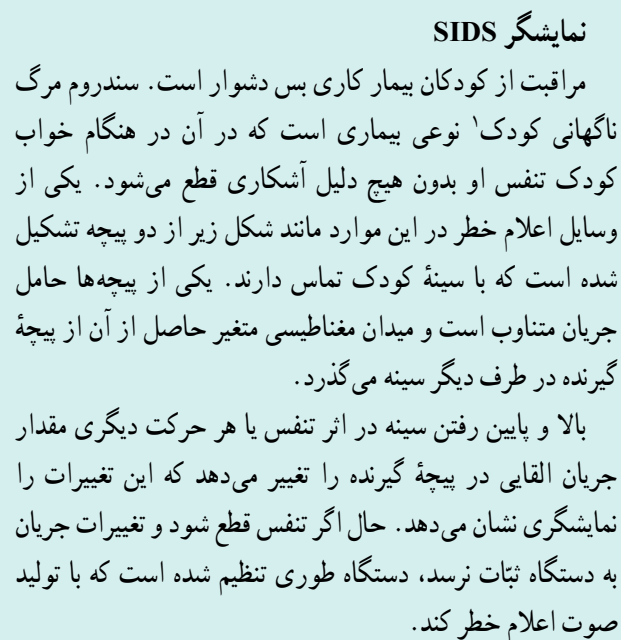
$$= -4/5 \times 10^{-3} \text{ Wb}$$

$$\bar{\mathcal{E}} = - \frac{(-4/5 \times 10^{-7} \text{ Wb})}{0.45 \text{ s}} = 10^{-7} \text{ V}$$

(ب)

$$I=|\bar{\mathcal{E}}|/R=(\lambda \circ^{-r} v)/(\lambda \circ \Omega)=\lambda \circ^{-r} A=\lambda mA$$





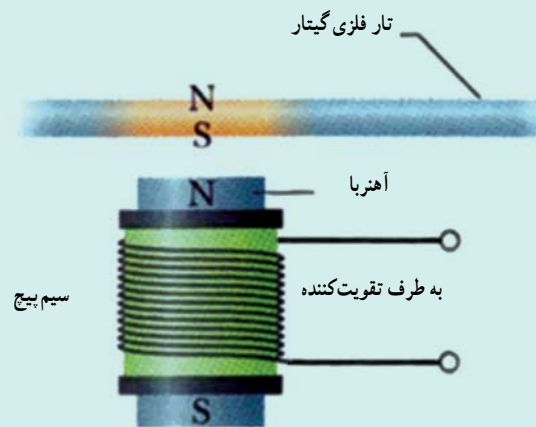
گیتار الکتریکی

صدای یک گیتار آکوستیکی ناشی از نوسان تارهای آن و تشدید صوت در بدنهٔ توخالی آن است. در حالی که در گیتار الکتریکی این اتفاق رخ نمی‌دهد. در گیتار الکتریکی نوسان تارهای فلزی به سیگنال الکتریکی تبدیل شده و توسط یک مدار الکتریکی تقویت می‌شود. سپس سیگنال تقویت شده به بلندگوها فرستاده می‌شود.

اساس کار در گیتار الکتریکی به این صورت است که سیم پیچی به دور یک هستهٔ مغناطیسی پیچیده شده است. این مجموعه در مجاورت تار گیتار قرار می‌گیرد. میدان مغناطیسی آهنربا در بخشی از تار فلزی واقع در بالای آهنربا یک قطب شمال و یک قطب جنوب به وجود می‌آورد. پس، این بخش از تار نیز خود دارای میدان مغناطیسی می‌شود. وقتی به تار آن زخمه زده می‌شود و آن را به نوسان در می‌آورد حرکت تار نسبت به پیچه سبب تغییر شار میدان مغناطیسی عبوری از پیچه و القای جریان می‌شود. هنگام ارتعاش تار و دور و نزدیک شدن آن به پیچه جهت جریان القایی با همان بسامد نوسان تار تغییر می‌کند و سیگنالی با این بسامد به تقویت کننده و بلندگو منتقل می‌کند.

می‌توان این پرسش را مطرح کرد.

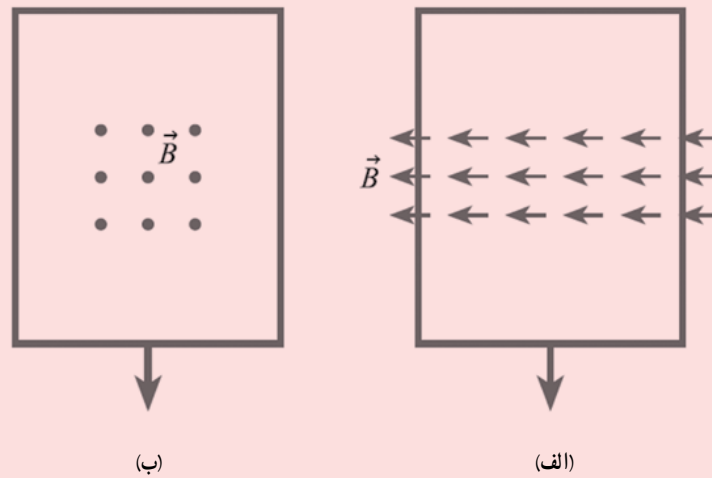
پرسش : به نظر شما تغییر کدام کمیت در گیتار الکتریکی جریان الکتریکی القایی را به وجود می‌آورد؟



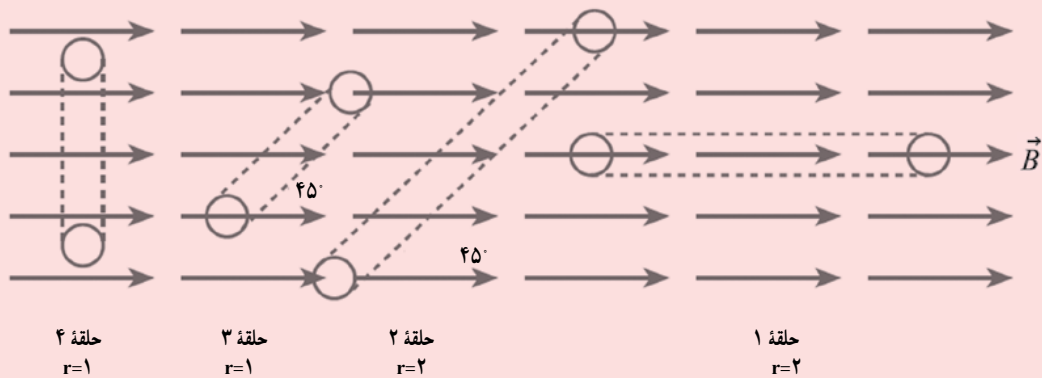
پاسخ : تغییر اندازهٔ بردار مغناطیسی چون با تکان‌های سیم گیتار، مقدار بردار در مکان‌های مختلف فرق می‌کند.

پرسش‌های پیشنهادی بخش‌های ۱-۴ و ۲-۴

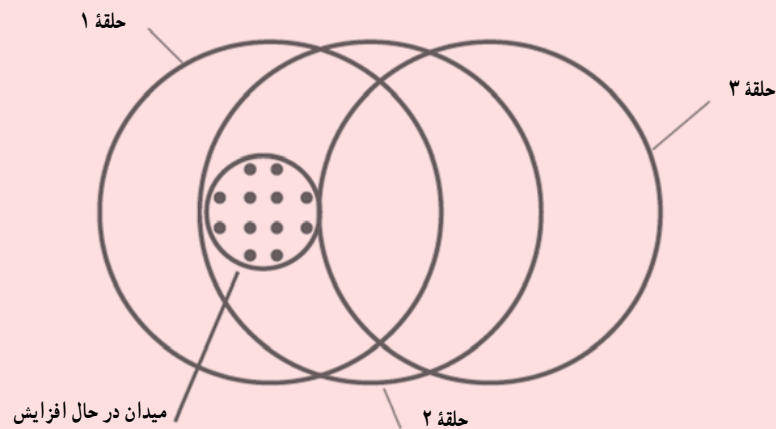
۱ در شکل‌های الف و ب دو حلقهٔ رسانا در جهت نشان داده شده و با وجود میدان مغناطیسی یکنواختی کشیده می‌شوند. در کدام حالت جریان القایی در حلقه ایجاد می‌شود؟ توضیح دهید.



۲ شکل زیر چهار حلقهٔ دایره‌ای را عمود بر صفحهٔ کاغذ و با وجود میدان مغناطیسی یکنواختی نشان می‌دهد. شعاع حلقه‌های ۱ و ۲ دو برابر حلقه‌های ۳ و ۴ است. شار عبوری از هر حلقه را از بیشترین تا کمترین مقدار به ترتیب بنویسید.



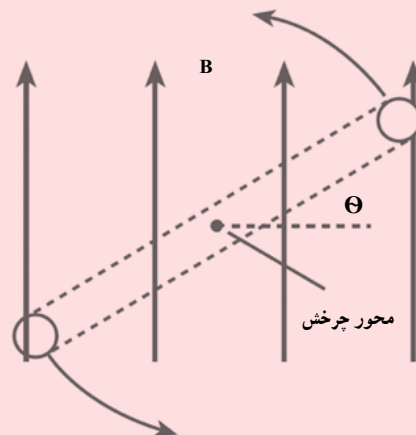
۳ سه حلقهٔ رسانای مشابه مطابق شکل زیر نسبت به هم قرار دارند و میدان مغناطیسی در حال افزایشی در ناحیهٔ نشان داده شده وجود دارد. حلقه‌ها را به ترتیب از بیشترین تا کمترین نیروی محرکهٔ القایی ایجاد شده در آنها بنویسید.



۴ یک حلقهٔ دایره‌ای با سرعت ثابت حول محوری که از مرکز آن می‌گذرد، مطابق شکل زیر از زاویهٔ صفر تا 36° درجه می‌چرخد. این حلقه عمود بر صفحهٔ کاغذ است و میدان مغناطیسی یکنواختی به طرف بالا وجود دارد.

الف) در چه زاویه یا زاویه‌هایی شار عبوری از حلقه بیشینه است؟

ب) در چه زاویه یا زاویه‌هایی شار عبوری از حلقه کمینه است؟

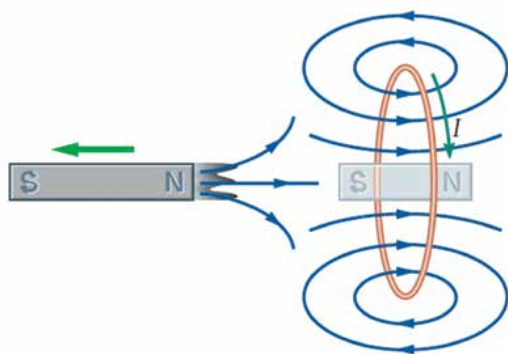


٤-٣- قانون لنز

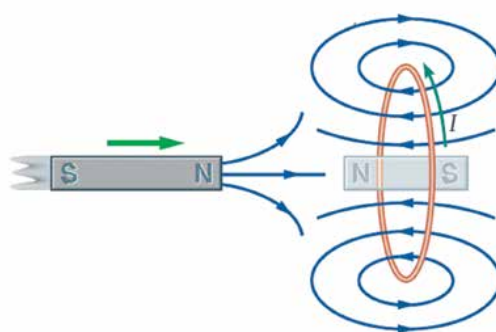
راهنمای تدریس : قانون لنز هرچند بیان ساده و روشنی دارد با این وجود بررسی‌های مختلف نشان داده است که دانش‌آموزان در کاربرد آن و تعیین جهت جریان القایی در یک مولد معمولاً دچار اشتباه می‌شوند.

در کتاب‌های درسی از دو رهیافت نزدیک به هم برای بیان این قانون و چگونگی تعیین جهت جریان القایی استفاده می‌شود که یک رهیافت آن در شکل ۴-۵ آمده است.

رهیافت دیگر، که در ادامه توضیح داده شده است نیز به همان اندازهٔ رهیافت کتاب مفید است. مطابق رهیافت دوم، وقتی آهنربایی مثلاً با قطب N به حلقه‌ای رسانا نزدیک می‌شود، سمتی از حلقه که روبه‌روی آهنرباست، مانند قطبی همنام با آهنربا رفتار می‌کند و می‌خواهد با نزدیک شدن آهنربا مخالفت کند (شکل الف). همچنین هنگام دور شدن آهنربا از حلقه، سمتی از حلقه که روبه‌روی آهنرباست، مانند قطبی ناهمنام با آهنربا رفتار می‌کند و می‌خواهد با دور شدن آهنربا از حلقه مخالفت کند (شکل ب).



(c)



(الف)

همان‌طور که دیده می‌شود، رهیافت کتاب مبتنی بر مخالفت با تغییر شار است، درحالی‌که رهیافت دوم مبتنی بر مخالفت با حرکت آهن‌بست.

لازم است دانش‌آموزان توجه کنند که قانون لنز برای مدارهای بسته‌ای که به هر دلیل در آنها جریان القا می‌شود کاربرد دارد

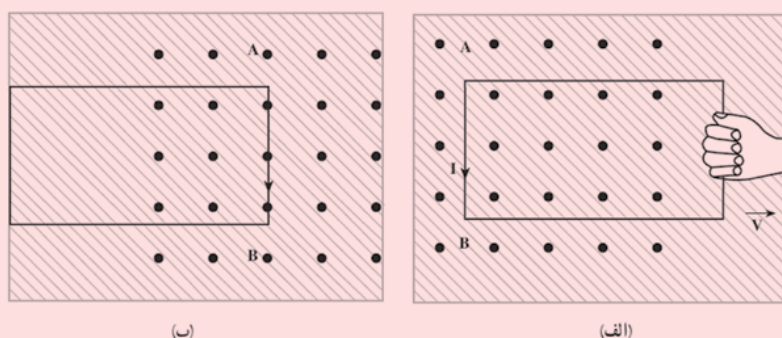
(شکل الف)، در حالی که اگر مدار بسته نباشد، مشابه (حلقه ناکامل) شکل ب، نه جریانی در مدار القا می شود و نه می توان از قانون لنز برای تعیین جهت آن استفاده کرد.



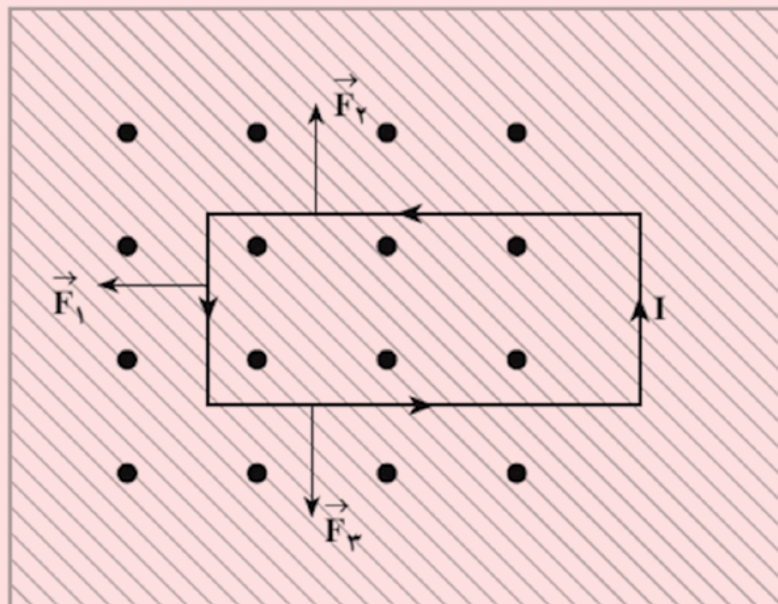
دانستنی برای معلم

بررسی میکروسکوپی یک قانون لنز با استفاده از قانون پایستگی انرژی

یک حلقه مستطیل شکل را که در صفحه ای عمود بر میدان مغناطیسی یکنواخت B (شکل زیر) قرار دارد، در نظر بگیرید و فرض کنید که شخصی این حلقه را از چپ به راست می کشد. اگر مسئله را از دید یک ناظر بیرونی (مثلاً سوار بر آهنربا) بررسی کنیم، متوجه می شویم که از دید این ناظر، بر حامل های بار مثبت، نیرویی طبق رابطه $\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B}$ وارد می شود. از قاعده دست راست در می یابیم که امتداد اثر این نیرو در شاخه AB رو به پایین است. از آنجا که جهت قراردادی جریان، جهت حرکت بارهای مثبت فرضی است پس با کشیدن حلقه به سمت راست، جریانی پاد ساعتگرد در حلقه تولید می شود. جالب آنکه اگر حلقه را از راست به چپ به درون هل دهیم در حلقه جریان ساعتگرد ایجاد می شود. حال بیایید مسئله را از دید ناظری سوار بر حلقه بررسی کنیم؛ از آنجا که این ناظر، حرکت حلقه را مشاهده نمی کند، باید برقراری جریان را، که چیزی واقعی است و نباید به ناظرها وابسته باشد، طوری دیگر توجیه کند. این ناظر بالاخره مجبور می شود به این نتیجه منطقی برسد که چون در نبود حرکت حلقه نیرویی که می تواند بارها را در حلقه به حرکت درآورد، نیرویی الکتریکی است، پس یک میدان مغناطیسی متغیر میدان الکتریکی ای تولید می کند که بارها را در جهت پادساعتگرد به حرکت درمی آورد.



حال با توجه به اینکه می‌دانیم بر یک رسانای حامل جریان در میدان مغناطیسی، نیروی برابر $\vec{F} = I \vec{l} \times \vec{B}$ وارد می‌شود، آنگاه با استفاده از قاعده دست راست در می‌یابیم که بر اضلاع مستطیل، نیروهای مطابق شکل زیر وارد می‌شوند. بدیهی است که $\vec{F}_1$ و $\vec{F}_3$ یکدیگر را خنثی می‌کنند و بنابراین، این فقط $\vec{F}_2$ است که در برابر حرکت مقاومت می‌کند. توجه کنید که اگر حلقه را به طرف داخل میدان حرکت می‌دادیم، جهت جریان ساعتگرد و در نتیجه جهت نیروی $\vec{F}_1$ ، خلاف جهت قبلی و دوباره در جهت مخالفت با عامل به وجود آورنده آن می‌شد.



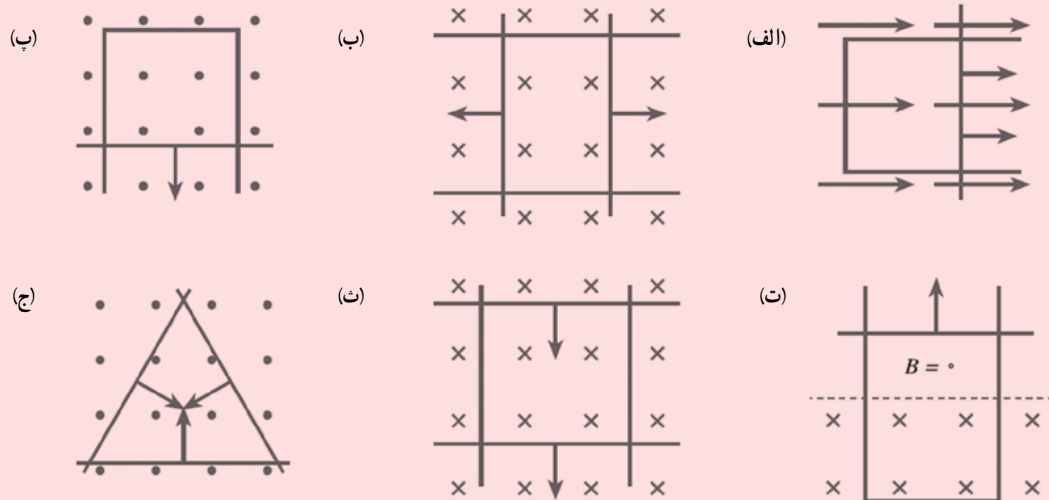
حال می‌خواهیم ثابت کنیم که قانون لنز در واقع چیزی جز پایداری انرژی نیست. دیدیم که ناظر سوار بر حلقه وجود جریان را به نیروی الکتریکی نسبت می‌دهد. بدیهی است که مقدار این نیرو باید با نیروی مغناطیسی که ناظر سوار بر آهنربا محاسبه می‌کرد، برابر باشد: $qE = qvB$ ، و از آنجا $E = vB$ به دست می‌آید. از طرفی، اختلاف پتانسیل دو سر میله AB از رابطه $\mathcal{E} = El$ به دست می‌آید که با در نظر گرفتن رابطه بالا به $\mathcal{E} = vBl$ خواهد انجامید. می‌دانیم که جریان موجود در مدار را می‌توان از رابطه $I = \frac{\mathcal{E}}{R}$

که R مقاومت مدار است، محاسبه کرد؛ چون $\mathcal{E} = vBl$ است، پس $I = \frac{vBl}{R}$ و از آنجا $F = IlB = \frac{l^2 B^2 v}{R}$ خواهد شد.

بنابراین، عاملی که حلقه را می‌کشد، با توان ثابت $P = Fv = \frac{B^2 l^2 v^2}{R}$ کار انجام می‌دهد. حال اگر آهنگ تولید انرژی در مدار از رابطه $P = I^2 R$ محاسبه کنیم، دوباره به رابطه بالا می‌رسیم. به عبارت دیگر، قانون لنز چیزی جز تبدیل کار مکانیکی به انرژی گرمایی نیست. کار انجام شده روی سیستم، درست برابر با انرژی داخلی القا شده در سیم است؛ زیرا اینها تنها انرژی‌هایی هستند که در سیستم به یکدیگر تبدیل می‌شوند.

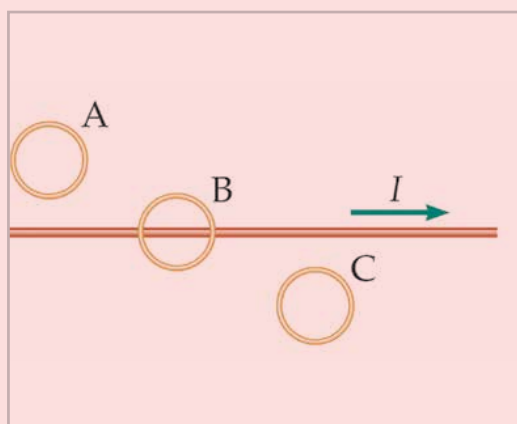
پرسش‌های پیشنهادی بخش ۴—۳

۱ در شکل زیر یک یا چند قسمت از حلقه‌های رسانا با سرعت ثابتی درون میدان مغناطیسی یکنواختی حرکت می‌کنند. جهت جریان القایی را در هر حلقه تعیین کنید.

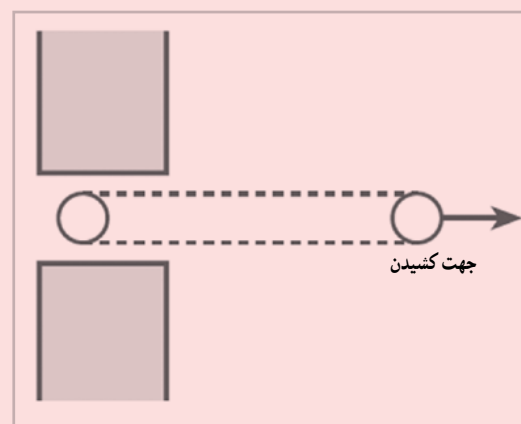


۲ در شکل چ مقطع حلقه‌ای نشان داده شده است که در حال کشیده شدن از بین قطب‌های دو آهنرباست. جهت جریان القایی را در هر مقطع حلقه با علامت $\bullet$ یا $\times$ مشخص کنید.

۳ جریان عبوری از سیم راست افقی در حال افزایش است (شکل ح). جهت جریان القایی را در هر یک از حلقه‌ها تعیین کنید.



(ح)



(ج)

پرسش ۳-۴

الف) با توجه به قانون لنز، آهنربا در حال دور شدن از پیچه است؛ یعنی رو به پایین حرکت می‌کند.

ب) جهت میدان $\vec{B}$ ناشی از سیم حامل جریان I ، در محل حلقه برون سو است. چون جریان I در حال افزایش است، بنابه قانون لنز باید جهت جریان در حلقه، ساعتگرد باشد تا با افزایش شار عبوری از حلقه، مخالفت کند.



قانون است و مانند اثر دینامیکس
چرخش هر الکترون به دین هسته آن را می‌توان به صورت یک حلقه میکروسکوپی جریان مدلسازی کرد. هر گاه مدای در یک میدان مغناطیسی خارجی قرار گیرد، شار مغناطیسی گذرنده از هر یک از این حلقه‌های میکروسکوپی افزایش می‌یابد و در نتیجه پیکر قانون لنز، در این حلقه‌ها یک میدان مغناطیسی در خلاف جهت میدان مغناطیسی خارجی القا می‌شود. به این روشی که در اتوهای همه مواد در حضور یک میدان مغناطیسی خارجی رخ می‌دهد، پدیده را اثر دینامیکس گفته می‌شود. اگر دینامیکس در موادی نظیر پسموت، جیوه، نقره، برنج، مس و کربن مشاهده می‌شود، زیرا اینها آهنربا هستند. قانون دو قطب‌های مغناطیسی دایمی است. از آنجا که اگر دو قطب‌های مغناطیسی دایمی در مواد فرو مغناطیسی و پارامغناطیسی بسیار بیشتر از اثر دو قطب‌های القایی است، اثر دینامیکس در این گروه مواد نمود کمی دارد.



الف) و ب) در هر دو صورت، شار مغناطیسی گذرنده از حلقه‌های میکروسکوپی افزایش می‌یابد و در نتیجه پیکر قانون لنز، در این حلقه‌ها یک میدان مغناطیسی در خلاف جهت میدان مغناطیسی خارجی القا می‌شود. به این روشی که در اتوهای همه مواد در حضور یک میدان مغناطیسی خارجی رخ می‌دهد، پدیده را اثر دینامیکس گفته می‌شود. اگر دینامیکس در موادی نظیر پسموت، جیوه، نقره، برنج، مس و کربن مشاهده می‌شود، زیرا اینها آهنربا هستند. قانون دو قطب‌های مغناطیسی دایمی است. از آنجا که اگر دو قطب‌های مغناطیسی دایمی در مواد فرو مغناطیسی و پارامغناطیسی بسیار بیشتر از اثر دو قطب‌های القایی است، اثر دینامیکس در این گروه مواد نمود کمی دارد.

۴-۴- القاگرها

راهنمای تدریس : تا اینجا دانش آموزان آزمایش‌های مربوط به القای الکترومغناطیسی را با پیچه‌های مختلف (که نوعی القاگر هستند) انجام داده‌اند هرچند برای آنها، نام القاگر به کار نبرده‌اند.

در این بخش شکل ۴-۶ دانش آموزان را با انواع مختلف القاگر آشنا کنید. به این منظور، انواع القاگر که در آزمایشگاه موجود است را به کلاس درس ببرید و در اختیار دانش آموزان قرار دهید تا با انواع القاگر آشنا شوند و در صورت لزوم به کاربرد آنها در

مدارهای مختلف نیز می‌توانید اشاره کنید.

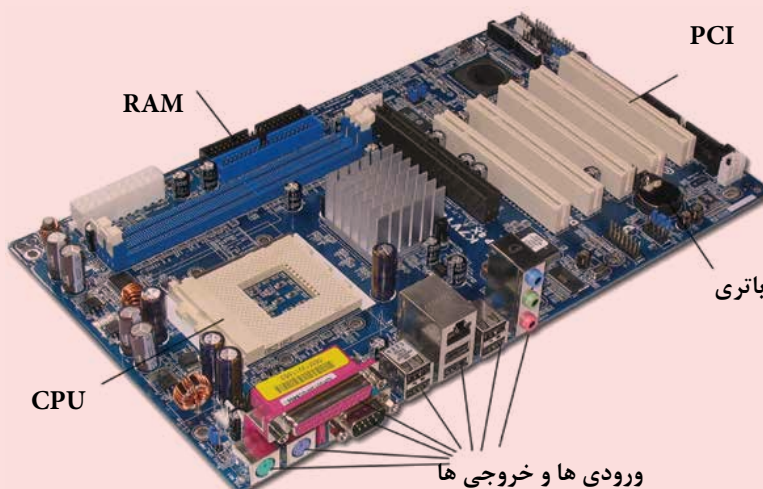
به عنوان یک فعالیت ساده می‌توانید،

مادربرد^۱ یک رایانه را به کلاس درس ببرید و ضمن اینکه دانش آموزان با برخی از قطعات آن که تاکنون با آنها آشنا شده‌اند (مقاومت و خازن) با القاگرهای تعبیه شده روی مادربرد نیز آشنا شوند.

آزمایش ۴-۲، که آزمایشی ساده و مفید برای دیدن پدیده خود-القاوری است به چندین روش در مجموعه فیلم‌های مربوط به آموزش مجازی فیزیک ۲ آمده است که توصیه می‌شود آن را مشاهده کنید.

اثبات ضریب القاوری مربوط به

سیملوله، جزو اهداف این کتاب نیست و صرفاً مطابق رابطه ۴-۴ باید گزارش شود و دانش آموزان باید به عوامل دخیل در مقدار این کمیت آشنا شوند.



تمرین ۴-۴

$$\ell = 22 \text{ cm}, A = 0.44 \text{ cm}^2$$

$$N = 2000, I = 1/7 \text{ A}$$

$$L = \mu \cdot \frac{AN^2}{\ell}$$

$$= (4\pi \times 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m} / \text{A})$$

$$= \frac{(0.44 \times 10^{-4} \text{ m}^2)(2000)^2}{22 \times 10^{-2} \text{ m}}$$

$$\Rightarrow L \approx 10^{-3} \text{ H} = 1 \text{ mH}$$

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

$$= \frac{1}{2} (1 \times 10^{-3} \text{ H})(1/7 \text{ A})^2$$

$$\Rightarrow v = 1/44 \times 10^{-3} \text{ J} = 1/44 \text{ mJ}$$

شکل ۴-۳

همان‌طور که نتیجه مسئله قبل نشان می‌دهد، ضریب القایی لازم، بسیار بیشتر از ضریب القایی یک القاگر معمولی (در حد میلی‌هاری) است که در آزمایشگاه از آن استفاده می‌کنیم. اکنون بر این همان‌طور که در فصل ۲ به پیوسته‌های معمولی که بتوانند جریان ۲۰۰۰ را از خود عبور دهند، باید نظر بسیار زیادی داشته باشند. در نتیجه اندازه یک القاگر ۹۸/۱۱ که از سیم‌های معمولی ساخته شده باشد و بتواند چنین جریانی را تحمل کند، باید خیلی بزرگ (به اندازه یک اتاق بزرگ) باشد. با توجه به فناوری‌های موجود این ایده، غیرعملی است و توجیه اقتصادی ندارد.

۴-۳

سیم‌لوله آرمانی بدون هسته‌ای به طول 22 cm و با حلقه‌هایی به مساحت 0.44 cm^2 ، شامل 2000 حلقه نزدیک به هم است و جریان $1/7 \text{ A}$ از آن می‌گذرد. ضریب القایی و انرژی ذخیره شده در سیم‌لوله را حساب کنید.

فشاری و گذر بر روی انرژی از برای هر یک از سیم‌لوله‌ها

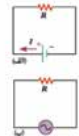
انرژی ذخیره شده در میدان مغناطیسی کشش مؤثری بر دستگاه‌های استراحت خودروسازی با موتور برقی دارد. پیچش اولیه با حدود 250 دور به باری خودروساز پیچش شده است و میدان مغناطیسی قوی‌ای تولید می‌کند. این پیچش، درون یک پیچش ثانویه با 2500 دور سیم‌خلافی بزرگ قرار گرفته است. برای هر یک از سیم‌لوله‌ها، جریان در پیچش اولیه قطع می‌شود و میدان مغناطیسی به سرعت به صفر می‌رسد و نیروی محرکه الکتریکی در سیم‌خلافی در پیچش ثانویه القا می‌کند. در نتیجه انرژی ذخیره شده در میدان مغناطیسی همواره با جریانی لحظه‌ای از پیچش ثانویه به طرف سیم‌لوله می‌رود و جریانی تولید می‌کند که سیم‌خلافی را سوسخت و هوا در سیم‌خلافی‌ها می‌شود (شکل روی‌پرو).

انرژی لازم برای پیچش سیم‌خلافی در سیم‌خلافی، از انرژی ذخیره شده در میدان مغناطیسی پیچش اولیه تأمین می‌شود.

۴-۵ سیم‌خلافی

در آزمایش فرکانس‌های هم‌بستگی، به سیم‌خلافی‌های داخلی بین ترمینال‌های خروجی و سیم‌خلافی‌های دربارا بهترین روش انتقال انرژی الکتریکی از محل تولید تا محل مصرف صورت گرفت. آدیسون موافق جریان مستقیم (DC) بود. در حالی که سیم‌خلافی‌ها از جریان متناوب (AC) حمایت می‌کرد. موافقین سیم‌خلافی‌ها پیروز شدند و پس از آن سیم‌خلافی‌های انتقال و توزیع برق و بیشتر وسایل خانگی با جریان متناوب به کار افتادند.

شکل ۴-۵ دو مدار ساده جریان مستقیم و جریان متناوب را نشان می‌دهد. همان‌طور که می‌بینید، جهت جریان در مدار جریان مستقیم معین است. در حالی که در مدار جریان متناوب به دلیل تغییر مسافت، که در آن جریان با گذشت زمان، نمی‌توان جهت معینی را برای جریان در نظر گرفت. شش نیروگاه‌های تغییر جهت، مدار ساده جریان متناوب که در آن دلف و جریان با گذشت زمان به طور مستمر تغییر می‌کند.

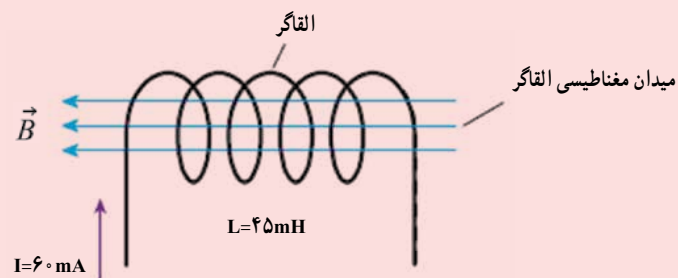


شکل ۴-۵: مدار ساده جریان مستقیم و مدار ساده جریان متناوب. جهت جریان در مدار جریان مستقیم معین است. در حالی که در مدار جریان متناوب به دلیل تغییر مسافت، که در آن جریان با گذشت زمان، نمی‌توان جهت معینی را برای جریان در نظر گرفت. شش نیروگاه‌های تغییر جهت، مدار ساده جریان متناوب که در آن دلف و جریان با گذشت زمان به طور مستمر تغییر می‌کند.

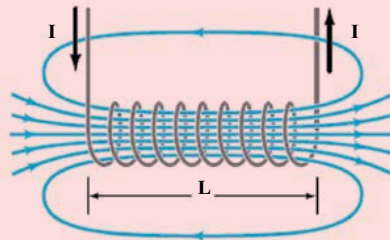
۱۲۲

پرسش های پیشنهادی بخش ۴-۴

۱ انرژی ذخیره در القاگر شکل زیر چقدر است؟



۲ سطح مقطع و طول سیملوله شکل زیر به ترتیب 2 cm^2 و 8 cm است. اگر تعداد حلقه های این سیملوله برابر 1000 باشد، ضریب خودالقایی آن را پیدا کنید.



۳ ضریب خودالقایی القاگری 1 mH است. چه جریانی باید از این القاگر بگذرد تا 2 mJ انرژی در آن ذخیره شود؟

دانستنی برای معلم

به طور سنتی، کارخانه‌های ریخته‌گری از کوره‌های آتش برای ذوب فلزها استفاده می‌کنند. ولی، بسیاری از کارخانه‌های ریخته‌گری امروزی برای پرهیز از آلودگی‌های ناشی از این کوره‌ها، از کوره‌های القایی استفاده می‌کنند که در آنها فلزها با جریان سیم‌های عایقی گرم می‌شوند که به دور ظرفی که فلزها را در خود جای داده است، پیچیده شده‌اند.



۴-۵- جریان متناوب

راهنمای تدریس : همان‌طور که در کتاب نیز اشاره شده است، بهتر است با تاریخچه‌ای از بحث‌های علمی در خصوص مزیت جریان متناوب و جریان مستقیم ارائه کنید؛ حتی فیلم‌های مستندی در این خصوص نیز تولید شده است که مشاهده آنها می‌تواند انگیزه مناسبی در دانش‌آموزان ایجاد کند.

تولید جریان متناوب : یکی از کاربردهای مهم اثر القای الکترومغناطیسی، تولید جریان متناوب است. پیش از این دیدیم که برای تولید نیروی محرکه القایی باید شار مغناطیسی را تغییر داد. همین دیدیم که در موتور میدان مغناطیسی بکوشا، شاری که از پیچ می‌گردد از رابطه $\Phi = BA \cos \theta$ عبور می‌کند که در آن θ زاویه بین نیم سطح عمود بر سطح حلقه‌های پیچ و میدان مغناطیسی است. راجع به این روش برای تغییر شار و در نتیجه تولید جریان القایی، تغییر زاویه θ است. شکل ۱۲-۴ جریان پیچ‌های را نشان می‌دهد که می‌تواند در میدان مغناطیسی بکوشا تحت دور موتور ω بچرخد.

شکل ۱۲-۴: تولید جریان متناوب در یک موتور الکتریکی. در این تصویر، یک پیچ در یک میدان مغناطیسی B قرار دارد. پیچ با سرعت زاویه‌ای ω می‌چرخد. این حرکت باعث تغییر شار مغناطیسی عبوری از پیچ می‌شود و در نتیجه یک نیروی محرکه القایی $\mathcal{E}$ در پیچ القا می‌گردد. این نیروی محرکه القایی در مدار بسته، جریان I را در پیچ و سیم‌های متصل به آن القا می‌کند. اگر مدار را به یک بار الکتریکی R وصل کنیم، می‌توانیم از این نیروی محرکه القایی برای تولید انرژی الکتریکی استفاده کنیم. در این صورت، پیچ به یک موتور الکتریکی تبدیل می‌شود. در این حالت، پیچ در میدان مغناطیسی B قرار دارد و با سرعت ω می‌چرخد. این حرکت باعث تغییر شار مغناطیسی عبوری از پیچ می‌شود و در نتیجه یک نیروی محرکه القایی $\mathcal{E}$ در پیچ القا می‌گردد. این نیروی محرکه القایی در مدار بسته، جریان I را در پیچ و سیم‌های متصل به آن القا می‌کند. اگر مدار را به یک بار الکتریکی R وصل کنیم، می‌توانیم از این نیروی محرکه القایی برای تولید انرژی الکتریکی استفاده کنیم.

در دور چرخش پیچ، مدار $\mathcal{E}$ را می‌توانیم به صورت $\mathcal{E} = BA \omega \sin \theta$ بنویسیم. اگر پیچ به صورت یکدست بچرخد و هر دور چرخش آن T ثانیه طول بکشد، پیچ در مدت t ثانیه، به اندازه $\frac{t}{T}$ دور خواهد چرخید. در نتیجه اگر سطح پیچ در لحظه $t = 0$ عمود بر میدان مغناطیسی باشد ($\theta = 0$)، پس از گذشت t ثانیه، زاویه θ برابر $\theta = \omega t$ خواهد بود. راجع به این موضوع، زمان یک دور چرخش کامل پیچ T را دور، یا زمان نوب می‌نامند. شاری که در لحظه t از پیچ می‌گذرد برابر است با:

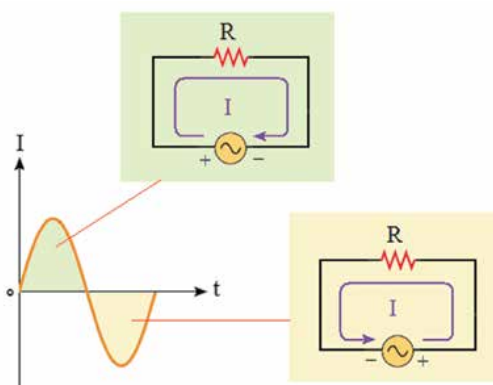
$$\Phi = BA \cos \omega t$$

به کمک قانون فاراد، می‌توان نشان داد نیروی محرکه القایی در پیچ در لحظه t از رابطه زیر بدست می‌آید:

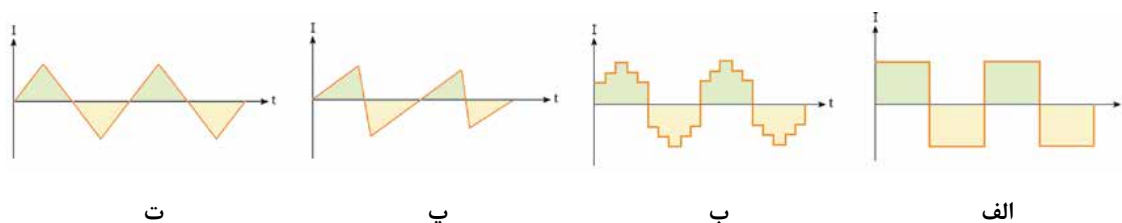
$$\mathcal{E} = - \frac{d\Phi}{dt} = BA \omega \sin \omega t$$

که در آن $\mathcal{E}$ پهنای شار مغناطیسی در پیچ است. این رابطه نشان می‌دهد که نیروی محرکه القایی به صورت دورانی نسبت به زمان تغییر می‌کند. در ادامه این رابطه، شار از اندازه و به سمت آن نگاه کنید.

برای درک بهتر شکل ۱۳-۴ کتاب درسی، خوب است شکل زیر را نیز روی تابلو رسم کنید تا تغییر جهت جریان در جریان متناوب بهتر تبیین شود.

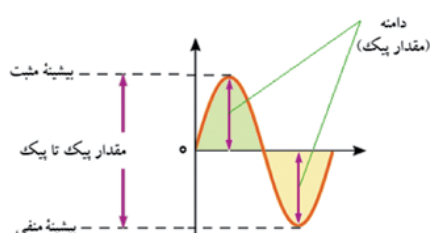


در ادامه می‌توانید نمونه‌های دیگری از موج متناوب را به دانش‌آموزان معرفی کنید که به منظور خاصی تولید می‌شوند و در کاربردهای روزمره متداول نیستند (شکل مقابل)

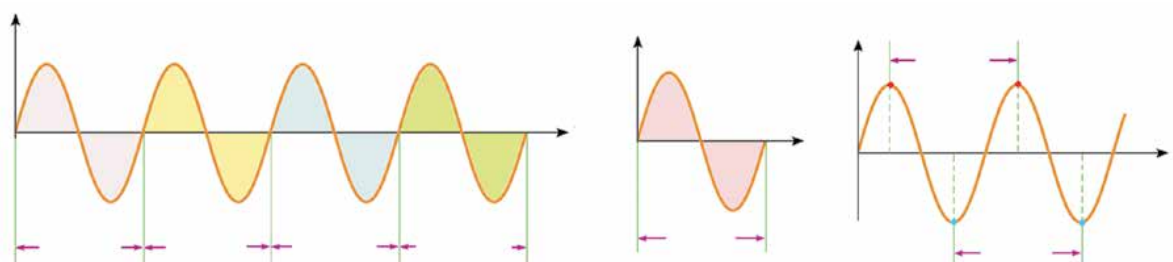


چند نمونه از شکل‌های موج جریان متناوب (الف) موج مربعی، (ب) موج پله‌ای، (پ) موج دندان اره‌ای، (ت) موج مثلثی.

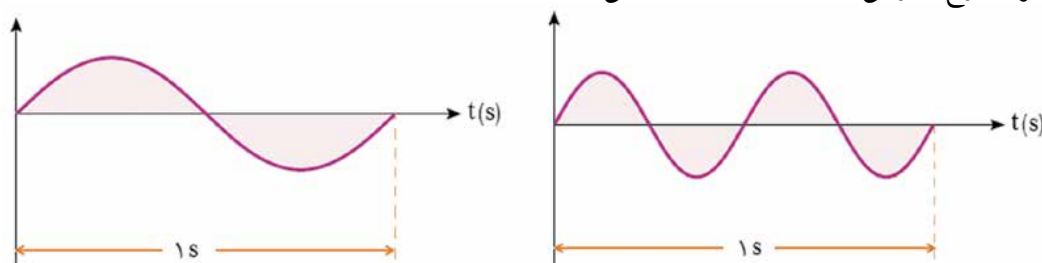
در کتاب‌های مهندسی معمولاً فاصله بیشینه مثبت تا بیشینه منفی را در جریان متناوب، مقدار پیک تا پیک می‌گویند که دو برابر دامنه موج است (شکل رو به رو).



از آنجا که دانش‌آموزان در دوره اول متوسطه با مفاهیم مرتبط با نوسان و موج آشنایی پیدا نکرده‌اند، لذا در این قسمت نگاهی اجمالی به برخی از مفاهیم اولیه مورد نیاز در این بخش داشته باشید. با رسم شکل‌هایی مشابه شکل‌های زیر، مفهوم چرخه و دوره تناوب را برای دانش‌آموزان معرفی کنید.



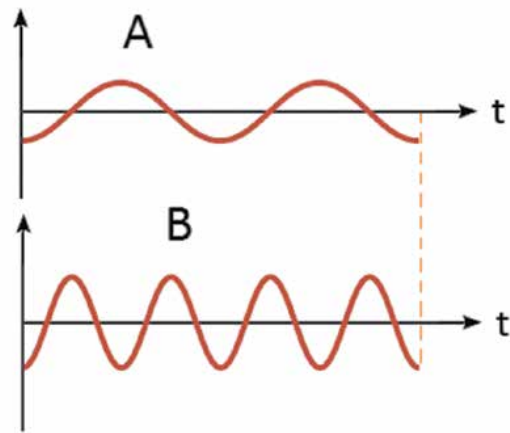
مفهوم بسامد را نیز می‌توانید در ادامه همین قسمت به دانش‌آموزان معرفی کنید. تعداد چرخه‌ها در یکای زمان، بسامد نامیده می‌شود و وارون دوره تناوب است ($f = \frac{1}{T}$). یکای بسامد چرخه بر ثانیه یا عکس ثانیه (S^{-1}) است که هرترز (Hz) نامیده می‌شود. شکل زیر دو موج سینوسی با بسامد متفاوت را نشان می‌دهد.



از آنجا که دانش‌آموزان در این پایه تحصیلی با مفهوم مشتق در درس ریاضی خود آشنا نشده‌اند، لذا رابطه ۴-۶ بدون اثبات و صرفاً به صورت نتیجه‌گیری از قانون القای الکترومغناطیسی فاراده به دانش‌آموزان معرفی شود.

پیشنهادهای

نسبت دوره تناوب و بسامد دو نمودار جریان متناوب A و B را به ترتیب به دست آورید.

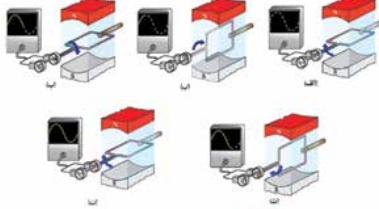


اگر مقاومت کل مدار چینه برابر R باشد، با توجه به رابطه $R = \frac{V}{I}$ ، جریانی که در چینه القا می‌شود برابر است با:

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

در این رابطه I_m بیشینه جریان القا شده در چینه و برابر R است. رابطه $V_m = I_m R$ همچنین نشان می‌دهد که جریانی القا در چینه، به‌طور سینوسی تغییر می‌کند، به همین سبب به آن **جریان متناوب** می‌گویند. نمودار این جریان و حسب زمان، در یک دوره در شکل ۱۵-۲ رسم شده است.

شکل ۱۵-۲ تولد جریان متناوب سینوسی در مدار یک دوره را نشان می‌دهد. در $t = 0$ سطح چینه بر خطوط میدان مغناطیسی عمود است و جریانی در مدار وجود ندارد (شکل ۱۵-۲). چینه یک چهارم دور می‌چرخد تا در وضعیت شکل ۱۵-۳ قرار گیرد. در حین این چرخش، شار عبوری از چینه تغییر می‌کند و جریان از صفر به مقدار بیشینه مثبت می‌رسد (در نتیجه اول چرخش). چینه به چرخش ادامه می‌دهد تا در وضعیت شکل ۱۵-۴ قرار گیرد. در نتیجه جریان از مقدار بیشینه مثبت به صفر می‌رسد (دوم چرخش). پس از آن چینه از وضعیت شکل ۱۵-۴ به 180° پ به وضعیت شکل ۱۵-۵ می‌رسد. در حین این چرخش، جریانی از صفر به مقدار بیشینه منفی می‌رسد (در نتیجه اول چرخش). سرانجام چینه یک دور دیگر می‌چرخد و به این ترتیب یک چرخه کامل را طی می‌کند و به وضعیت شکل ۱۵-۲ می‌رسد و در نتیجه جریانی از مقدار بیشینه منفی به صفر می‌رسد. این حرکت به‌طور متناوب (یادری) توسط چینه ادامه می‌یابد و جریانی متناوب تولد می‌شود.



شکل ۱۵-۲ تولد جریان متناوب سینوسی در یک چرخه کامل

۱۱۲

تمرین ۴-۵

الف) دانش‌آموزان به سادگی می‌توانند با جایگذاری زمان t در معادله جریان - زمان مولد، جریان را در هر لحظه دلخواه پیدا کنند. برای مثال در لحظه $t = 2 \times 10^{-3} \text{ s}$ داریم

$$I = (4 \times 10^{-3}) \sin 250\pi \times 2 \times 10^{-3}$$

$$= 4 \times 10^{-3} \sin \frac{\pi}{2} = 4 \times 10^{-3} \text{ A}$$

$$= 4 \text{ mA}$$

ب) دانش‌آموزان با مقایسه معادله داده شده با شکل کلی معادله می‌توانند دوره تناوب را به دست آورند که برابر

$$\frac{2\pi}{T} = 250\pi \Rightarrow T = \frac{1}{125} \text{ s}$$

تولید الکترومغناطیسی و جریان متناوب

در تئوری تولید برق برای تولید جریان متناوب از مولدهای خاصی استفاده می‌شود که به آنها مولدهای صنعتی جریان متناوب می‌گویند. در مولدهای صنعتی به‌جای ساکن‌آه و آهنربای الکتریکی در آنها می‌چرخد (شکل ۱۶-۲). در تئوری تولید برق در ایران، آهنربای الکتریکی در هر تابلو ۵۰ دور درون چینه می‌چرخد. این نسبت را بسازد برق تولد شده می‌باشد و به‌صورت ۵۰-۱۱۵ بیان می‌کنند. بکای 50×115 (هرتز) است.



شکل ۱۶-۲ مولد صنعتی با جریانی متناوب سینوسی در چینه

شکل ۱۶-۲ مولد صنعتی با جریانی متناوب سینوسی را نشان می‌دهد که یک مولد جریان متناوب تولد کرده است. معادله جریانی بر حسب زمان را بنویسید.

پاسخ: چون ربع چرخه در $50 \times 10^{-3} \text{ s}$ طی شده است، دوره تناوب برای $T = 4 \times 10^{-3} \text{ s}$ است. همچنین با توجه به نمودار، بیشینه جریانی $I_m = 4 \times 10^{-3} \text{ A}$ است. در نتیجه از رابطه $I = I_m \sin \frac{2\pi}{T} t$ داریم:

$$I = 4 \times 10^{-3} \sin \frac{2\pi}{4 \times 10^{-3}} t = 4 \times 10^{-3} \sin 500\pi t$$

نتیجه نهایی بر حسب بکای 50×115 نوشته شده است.

تمرین ۴-۵

معادله جریانی - زمان یک مولد جریان متناوب بر حسب بکای 50×115 به‌صورت $I = 4 \times 10^{-3} \sin 500\pi t$ است. اقله جریانی در دو لحظه $2 \times 10^{-3} \text{ s}$ و $4 \times 10^{-3} \text{ s}$ چقدر است؟

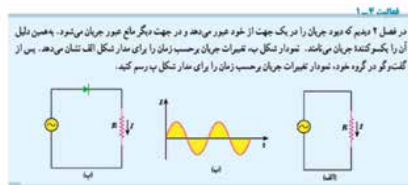
پیدا دوره تناوب جریانی را به دست آورید و نمودار جریانی - زمان را در یک دوره کامل رسم کنید.

۱۱۵

فعالیت ۱-۴

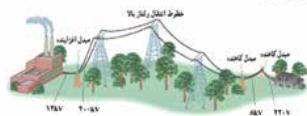
انتظار می‌رود دانش‌آموزان با آشنایی مختصری که از دیود و یسکو بودن انتقال جریان الکتریکی در آن به دست آورده‌اند به سادگی بتوانند نمودار شکل (ب) را برای مدار شکل (پ) دوباره رسم کنند.

نتیجه را می‌توانند به صورت نمودار شکل (الف) یا نمودار شکل (ب) رسم کنند.



مدل‌ها، یکی از مزیت‌های مهم توزیع توان الکتریکی است بر تکه آن است که افزایش و کاهش ولتاژ است. بسیار آسان‌تر از تکه است. برای انتقال توان الکتریکی در فاصله‌های دور، با جایی که امکان دارد باید از ولتاژهای بالا و جریان‌های کم استفاده کنید. این کار انتقال توان را در خط‌های انتقال کاهش می‌دهد. همچنین با توجه به کاهش جریان می‌توان از سیم‌های نازک‌تری استفاده و در مصرف مواد اولیه ساخت سیم صرفه‌جویی کرد.

خط‌های انتقال توان الکتریکی به طور معمول از ولتاژهای در حدود 200 kV استفاده می‌کنند. شکل (۱۸-۳) از طرف دیگر، ملاحظات ایمنی و الزامات مایع‌دهی در ساخت وسایل خانگی و صنعتی، ولتاژی به نسبت پایین‌تری را در محل مصرف انرژی ضروری می‌کند. ولتاژ استاندارد برای سیستم‌های خانگی در ایران و بسیاری از کشورهای دیگر 220 V است. تبدیل ولتاژ مورد نیاز با استفاده از مدل‌ها صورت می‌گیرد.

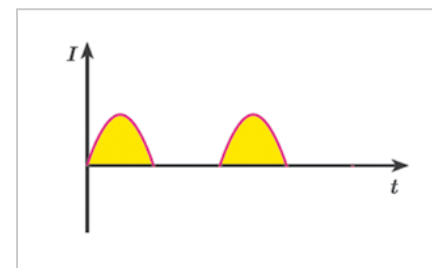


نکته: در شکل (۱۸-۳) قبل از انتقال توان الکتریکی از تور کاهنده مدل‌های اولیه، ولتاژ را تا حدود 100 kV افزایش می‌دهند. در انتقال سیم، مدل‌های کاهنده، ولتاژ را کاهش می‌دهند تا توان الکتریکی با کمترین تلفات به محل مصرف برسد.

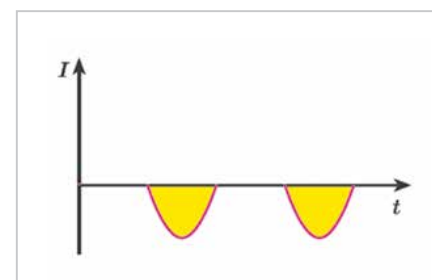
۱۲۶

تمرین ۴-۶

مشابه مثال ۴-۸ است و دانش‌آموزان به سادگی می‌توانند این تمرین را حل کنند ($V \approx 37^\circ V$).



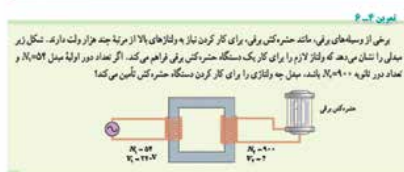
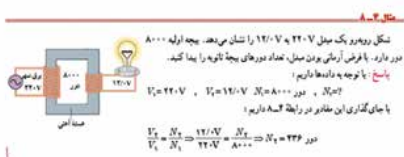
(الف)



(ب)



نکته: اگر V_1 یک مدل از یک منبع ولتاژ باشد، گوییم مدل منبع ولتاژ می‌باشد.

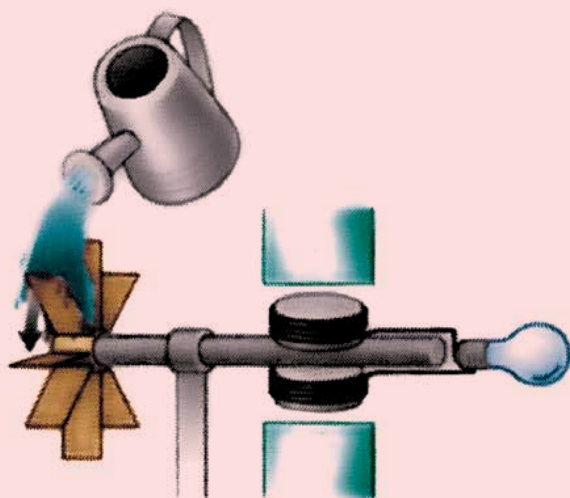


در تمام سیم‌ها، جریان و ولتاژ نسبتاً یکسان است و در سیم‌ها، جریان و ولتاژ نسبتاً یکسان است. در سیم‌ها، جریان و ولتاژ نسبتاً یکسان است.

۱۲۷

پرسش‌ها و تمرین‌های پیشنهادی بخش ۴-۵

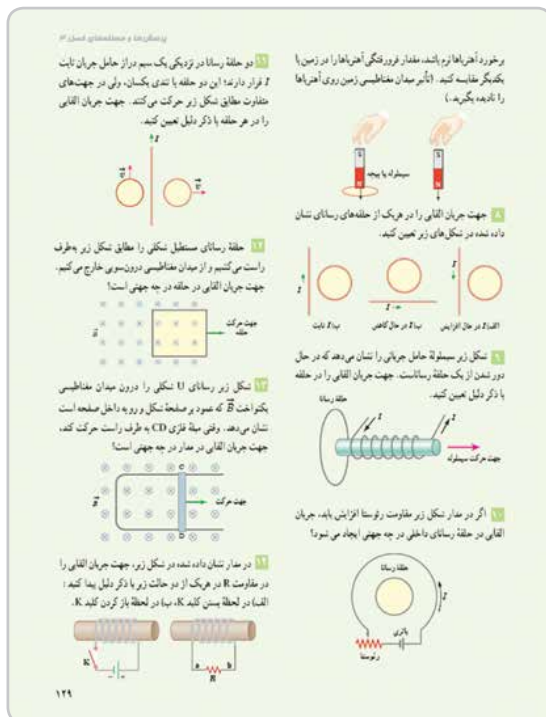
- ۱ الف) برای افزایش روشنایی لامپ به وسیله مولد ساده شکل زیر سه راه پیشنهاد کنید.
 ب) تبدیل‌های انرژی زیر را در یک نیروگاه برق آبی کامل کنید. انرژی تولید شده توسط ژنراتور → انرژی
 توربینی → انرژی آب



- ۲ پیچۀ یک مولد جریان متناوب در هر 1 ms یک دور می‌چرخد. این پیچه در هر یک از زمان‌های $1\text{ }\mu\text{s}$ و 1 s چه زاویه‌ای بر حسب رادیان می‌چرخد؟
 ۳ معادله جریان متناوبی در SI به صورت $I = 2 \times 10^{-2} \sin 2\pi t$ است.
 الف) دوره تناوب این جریان چقدر است؟
 ب) در چه لحظه‌ای برای اولین بار جریان بیشینه می‌شود؟
 پ) در لحظه $t = 75\text{ ms}$ جریان چقدر است؟
 ۴ معادله نیروی محرکه القایی در مداری به مقاومت $10\text{ }\Omega$ در SI به صورت زیر است

$$\varepsilon = 0.4 \cos 2\pi t$$

- الف) زمان تناوب را حساب کنید.
 ب) در چه لحظه‌ای برای اولین بار نیروی محرکه القایی بیشینه می‌شود؟
 پ) جریان بیشینه را در مدار پیدا کنید.
 ت) معادله جریان را در مدار بنویسید.
 ث) در چه لحظه‌هایی برای اولین و دومین بار مقدار جریان عبوری از مدار بیشینه می‌شود؟



ب) در حالتی که حلقه وارد میدان می‌شود یا از آن در حال خارج شدن است.

در حالت ورود : پادساعتگرد، دانش‌آموزان برای پاسخ خود باید دلایل کافی ارائه دهند.

در حالت خروج : ساعتگرد، دانش‌آموزان برای پاسخ خود باید دلایل کافی ارائه دهند.

۱۶ در حالت ۱ : روبه بالا (پادساعتگرد)

در حالت ۲ : جریانی القا نمی‌شود.

در حالت ۳ : رو به پایین (ساعتگرد)

۱۷ دانش‌آموزان باید به رابطه $U = \frac{1}{2}LI^2$ و همچنین عوامل دخیل در ضریب القاوری سیملوله

توجه کنند و براساس آن پیشنهادهای خود را ارائه دهند. در این مدار فرض شده است که باتری غیرقابل تعویض است و نیروی محرکه آن ثابت است.

۸ الف) ساعتگرد، ب) پادساعتگرد، ج) جریانی القا نمی‌شود.

۹ پادساعتگرد، دانش‌آموزان باید به جهت حرکت سیملوله، جهت جریان و جهت میدان ایجاد شده در سیملوله توجه کنند و سرانجام با توجه به قانون لنز جهت جریان القایی را در حلقه تشخیص دهند.

۱۰ دانش‌آموزان باید توجه داشته باشند که چون نیروی محرکه باتری ثابت است، با افزایش مقاومت رئوسا، جریان عبوری از مدار کاهش می‌یابد، با توجه به تعیین جهت میدان مغناطیسی در محل حلقه رسانا، و همچنین کاهش جریان در مدار، جهت جریان القایی در حلقه رسانا پادساعتگرد است.

۱۱ در حلقه سمت راست، جریان به صورت ساعتگرد القا می‌شود.

در حلقه سمت چپ، جریانی القا نمی‌شود. دانش‌آموزان باید به فرض دراز بودن سیم، که در صورت مسئله آمده است توجه داشته باشند.

۱۲ ساعتگرد، دانش‌آموزان باید دلیل کافی برای پاسخ خود ارائه دهند.

۱۳ پادساعتگرد، دانش‌آموزان باید دلیل کافی برای پاسخ خود ارائه دهند.

۱۴ الف) b به a. دانش‌آموزان باید دلیل کافی برای پاسخ خود ارائه دهند.

ب) a به b. دانش‌آموزان باید دلیل کافی برای پاسخ خود ارائه دهند.

۱۵ الف) با توجه به تعریف شار و عوامل مرتبط با آن، انتظار می‌رود دانش‌آموزان به سادگی بتوانند به این پرسش پاسخ دهند.

$$\begin{aligned}\Phi &= BA \cos \theta \\ &= (2 \times 10^{-3} \text{ T})(1 \times 10^{-4} \text{ m}^2) \cos 0^\circ \\ &= 2 \times 10^{-7} \text{ Wb}\end{aligned}$$

فرض شده است که نیم خط عمود بر حلقه، در جهت درون سو است.

۱۸ الف) با جایگذاری مقادیر داده شده در رابطه $L = \mu_0 \frac{NA^2}{l}$ به سادگی این ضریب محاسبه می‌شود.

ب) دانش‌آموزان باید از رابطه $U = \frac{1}{2}LI^2$ استفاده کنند. در ضمن باید توجه کنند که در این رابطه، یکای انرژی باید برحسب ژول (J) نوشته شود.

۱۹ الف) دانش‌آموزان باید از رابطه ۷-۴، برای حل این مسئله استفاده کنند. با جایگذاری مقادیر داده شده داریم

$$I = (2/^\circ A) \sin \frac{2\pi}{^\circ/^\circ s} t = (2/^\circ A) \sin 1^\circ \pi t$$

$$\text{در } t = \frac{1}{2^\circ} s \text{ داریم}$$

$$I = (2/^\circ A) \sin 1^\circ \pi \left(\frac{1}{2^\circ} s\right) = (2/^\circ A) \sin \frac{\pi}{2} = 2/^\circ A$$

به این ترتیب در لحظه $t = \frac{1}{2^\circ} s$ برای اولین بار، جریان به بیشینه خود می‌رسد. با توجه به مقاومت رسانا داریم:

$$\varepsilon_m = RI_m = (5\pi)(2/^\circ A) = 1^\circ V$$

$$\text{ب) } \sqrt{2}A$$

۲۰ دانش‌آموزان باید از رابطه ۸-۴ استفاده کنند. در این صورت بیشینه ولتاژ مولد برابر ۴/۵ ولت به دست می‌آید.