تلاشی در مسیر موفقیت

ترنج بوک

- دانلود گام به گام تمام دروس
- دانلود آزمون های قلم چی و گاج + پاسخنامه
- دانلود جزوه های آموزشی و شب امتحانی
- دانلود نمونه سوالات امتحانی
- مشاوره کنکور
- فیلم های انگیزشی

Www.ToranjBook.Net

ToranjBook_Net

ToranjBook_Net

راهنمای پاسخ‌دهی

پرسش‌ها، تمرین‌ها، فعالیت‌ها و مسئله‌های

فصل اول

فیزیک ۲

پایه یازدهم

چاپ اول

۱۳۹۶

ترنج بوک
تلاشی در مسیر موفقیت

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 دانش‌آموز در یک متن آموزشی ضرورت دارد، در این‌جا مورد نگاه نبوده است. مثلاً گاه در پاسخ یک پرسش، بحثی نسبتاً طولانی ارائه شده است که متناسب حوصلهٔ معلم است، نه دانش‌آموز. یا ممکن است در پاسخ یک سؤال، دو یا چند راه‌حل داده شده باشد که قطعاً عرضهٔ همهٔ این پاسخ‌ها به دانش‌آموز، سبب خستگی وی می‌گردد.

۲- قطعاً اساتید بزرگوار، پاسخ‌ها و راه‌حل‌های در خورِ دیگری نیز برای سؤال‌ها و مسائل دارند که ای بسا به ملاحظاتی، پسندیده‌تر از پاسخ‌ها و توضیحات این مجموعه باشد.

۳- تجربهٔ تعاملِ تعلیم و تربیتی با دانش‌آموزان به این نتیجهٔ گران‌بها می‌انجامد که پاسخ ناتمام و ناقصی که دانش‌آموز در زمینهٔ 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 رشتهٔ ریاضی چاپ۱۳۹۶فراهم شده است. با توجه به ساده‌سازی های انجام شده در متن درسی کتاب رشتهٔ تجربی، ضروری است دبیران بزرگوار، متناسب‌سازی‌های لازم را در مباحث این مجموعه، برای همزبان شدن با دانش‌آموزان رشتهٔ 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 دورهٔ متوسطه دوم:
Physics-dept.talif.sch.ir

فصل ۱

پرسش ۱-۱(صفحه۳)

بسته به این‌که روکش پلاستیکی را پیش از کشیدن بر روی ظرف غذا از رُل‌پیچ آن جدا کرده یا مستقیما 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 جداگانهٔ کوچکی رخ می‌دهد. وقتی دو جسم را به یکدیگر مالش می‌دهیم، تعداد این نواحیِ تماسِ 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 رُل‌پیچ 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 رُل‌پیچ 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 جاذبهٔ بین مولکولی‌ای موسوم به نیروی *وان‌درووالس* جذب می‌کنند .

تمرین ۱-۱(صفحه۵)

عدد اتمی، تعداد پروتون‌های هسته است و بنابراین بار الکتریکی هستهٔ اتم $q_{\text{هسته}} = +۹۲e = +۹۲(۱/۶۰ \times ۱۰^{-۱۹}C) = ۱/۴۷ \times ۱۰^{-۱۷}C$ می‌شود. اتم اورانیم به همین تعداد الکترون دارد که مقدار آن منفیِ 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 آن‌صورت درخواهند یافت که نمی‌توانند آن‌ها را بیش‌تر از فاصله‌ای به هم نزدیک کنند.

فعالیت ۱-۲(صفحه۷)

طرزکار دستگاه‌های فتوکپی (و چاپگرهای لیزری) براساس برخی اصول اولیهٔ الکتریسیتهٔ ساکن است. یک استوانهٔ آلومینیمی که با سلنیوم اندود شده است به وسیلهٔ یک الکترود، 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 نبودِ نور، نارسانا است، و در حضور نور، رسانا می‌شود. وقتی تصویر برگهٔ موردنظر روی استوانه می‌افتد، بخش‌هایی از پوشش سلنیومیِ استوانه که نور می‌گیرد، رسانا می‌شود و با تماس با بدنهٔ آلومینیمی استوانه بار مثبت خود را از دست می‌دهد. به این ترتیب، تصویر برگه به‌صورت 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 جاذبهٔ 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 به‌وسیلهٔ تونر بر سطح آن ایجاد شود. اکنون یک برگهٔ سفید که باردار

مثبت شده است و بار مثبت آن بیشتر از بار مثبت استوانه است، روی سطح استوانه می‌پیچد و به‌این ترتیب جاذبهٔ 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.

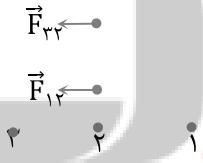
در چاپگر لیزری به جای آنکه تصویر موردنظر را به‌وسیلهٔ اسباب اپتیکی روی سطح استوانه ایجاد کنند، یک قلم لیزری، تصویر یا متن مورد نظر را که به صورت یک فایل در حافظه رایانه ذخیره شده است، روی سطح استوانه ایجاد می‌کند.

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

پرسش ۱-۲(صفحه۸)

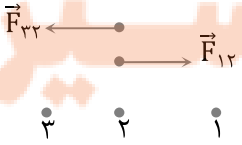
در تعیین نیروی خالص (برایند) توجه کنید که پس از مشخص کردن ذرهٔ موردنظر، نیروی ناشی از ذرات دیگر بر آن را طوری رسم می‌کنیم که **ابتدای** هر کدام از نیروها روی ذرهٔ موردنظر باشد. برای اینکه نیروها را مشخص کنیم، بارها را به‌ترتیب از سمت راست با عددهای ۱، ۲ و ۳ مشخص می‌کنیم.

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



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

ب) در این وضعیت، بار ذرهٔ ۱ منفی است. اکنون نیرویی که بار شمارهٔ ۱ بر بار میانی وارد می‌کند در خلاف جهت وضعیت الف است و بنابراین سوی نیروهای $\vec{F}_{۳۲}$ و $\vec{F}_{۱۲}$ بر خلاف جهت هم می‌شود.



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

تمرین ۱-۲(صفحه۹)

نیروی وارد بر بار $q_۲$، برایند دو نیرویی است که از طرف بارهای $q_۱$ و $q_۳$ بر آن وارد می‌شوند. برای محاسبهٔ این نیرو، نیرویی را که هریک از بارهای $q_۱$ و $q_۳$ در غیاب دیگری بر بار $q_۲$ وارد می‌کند، محاسبه می‌کنیم.

فاصلهٔ بین بارهای $q_۱$ و $q_۲$ را با $r_{۱۲}$ و فاصلهٔ بین بارهای $q_۲$ و $q_۳$ را با $r_{۳۲}$ نشان می‌دهیم. با استفاده از رابطهٔ ۲-۱ داریم:

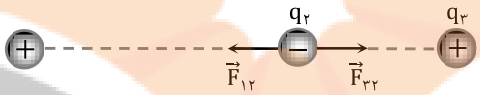
$$F_{۱۲} = k\frac{|q_۱||q_۲|}{r_{۱۲}^۲}$$

$$= (۹/۰ \times ۱۰^۹ \mathrm{N}.\frac{\mathrm{m}^۲}{\mathrm{C}^۲})\ \frac{(۲/۵\times۱۰^{-۶}\mathrm{C})(۱/۰\times۱۰^{-۶}\mathrm{C})}{(۴/۰\mathrm{m})^۲} = ۱/۴ \times ۱۰^{-۳}\mathrm{N}$$

$$F_{۳۲} = k\frac{|q_۳||q_۲|}{r_{۳۲}^۲}$$

$$= (۹/۰ \times ۱۰^۹ \mathrm{N}.\frac{\mathrm{m}^۲}{\mathrm{C}^۲})\ \frac{(۴/۰۱\times۱۰^{-۶}\mathrm{C})(۱/۰\times۱۰^{-۶}\mathrm{C})}{(۲/۰\mathrm{m})^۲} = ۹/۰ \times ۱۰^{-۳}\mathrm{N}$$

نیرویی که بار $q_۱$ بر بار $q_۲$ وارد می‌کند و نیز نیرویی که بار $q_۳$ بر $q_۲$ وارد می‌کند، از نوع ربایشی (جاذبه) است.



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

$$\vec{F}_T = \vec{F}_{۱۲} + \vec{F}_{۳۲} = F_{۱۲}(-\vec{i}) + F_{۳۲}(+\vec{i}) = (F_{۳۲} - F_{۱۲})\vec{i}$$

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

$$F_T = F_{۳۲} - F_{۱۲} = ۹/۰ \times ۱۰^{-۳}\mathrm{N} - ۱/۴ \times ۱۰^{-۳}\mathrm{N}$$

$$= ۷/۶ \times ۱۰^{-۳}\mathrm{N}$$

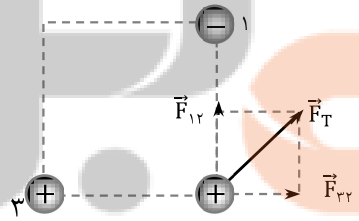
در واقع، بزرگی نیروی $\vec{F}_T$ برابر $۷/۶ \times ۱۰^{-۳}\mathrm{N}$ و جهت آن در سوی مثبت محور x است:

$$\vec{F}_T = (۷/۶ \times ۱۰^{-۳}\mathrm{N})\vec{i}$$

پرسش ۱-۳(صفحه۹)

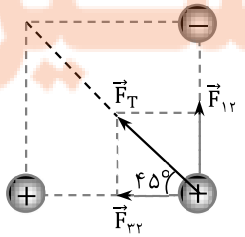
همان‌طور که گفتیم برای تعیین نیروی برایند، نخست باید ذرهٔ موردنظر را انتخاب کنیم و بردارهای نیرو را طوری رسم کنیم که ابتدای آن‌ها بر ذرهٔ مورنظر باشد، در این صورت داریم:

الف) اگر بارها را شماره‌گذاری کنیم داریم:



که در آن $F_{۱۲} = F_{۳۲}$. بنابراین $\vec{F}_T$ با جهت $+\vec{i}$ زاویهٔ ۴۵° می‌سازد.

ب) اکنون علامت بار شمارهٔ ۳ منفی است و بنابراین سوی نیروی $\vec{F}_{۳۲}$ برمی‌گردد و شکلی مانند زیر داریم:

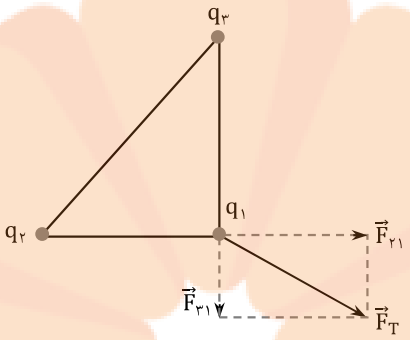


تلاشی درمسیر موفقیت

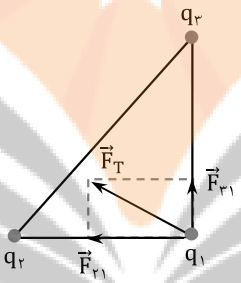
که در آن $F_{۳۲} = F_{۱۲}$. بنابراین اکنون $\vec{F}_T$ با جهت $+\vec{i}$ زاویهٔ ۱۳۵° می‌سازد.

تمرین ۱-۳(صفحه۱۰)

الف) اگر علامت بار $q_۳$ مثبت شود، سوی نیروی $\vec{F}_{۳۱}$ وارونه می‌شود و تصویری مانند زیر خواهیم داشت:



ب) اگر علامت بار $q_۲$ منفی شود، سوی نیروی $\vec{F}_{۲۱}$ وارونه می‌شود و تصویری مانند زیر خواهیم داشت:



پ) خیر. زیرا اندازهٔ نیروی برایند برابر است با

$$F_T = \sqrt{F_{۲۱}^۲ + F_{۳۱}^۲}$$

که با توجه به اینکه مقدار $F_{۲۱}$ و $F_{۳۱}$ تغییری نمی‌کنند، بزرگی نیروی برایند هم تغییر نمی‌کند.

تمرین ۱-۴(صفحه۱۴)

الف) بار پروتون $q = +e = ۱/۶۰ \times ۱۰^{-۱۹}C$ است. بنابراین داریم:

$$E_p = k\frac{|q|}{r^۲} = (۹/۰ \times ۱۰^۹ N.\frac{m^۲}{C^۲})\frac{(۱/۶۰\times۱۰^{-۱۹}C)}{(۵/۳\times۱۰^{-۱۱}m)^۲} = ۵/۱۳ \times ۱۰^{۱۱}\frac{N}{C}$$

خوب است این میدان را با میدان‌های داده شده در جدول ۲-۱ (صفحه ۱۱) کتاب مقایسه کنید تا به بزرگی آن پی ببرید. بزرگترین میدان داده‌شده مربوط به فروریزش الکتریکی در هواست که مرتبهٔ بزرگی آن $۱۰^۵$ بار کوچکتر از این پاسخ است.

ب) همان‌طور که در مثال پیش دیدیم، میدان الکتریکی حاصل از مولّد وان دو گراف در فاصلهٔ $۱/۵m$ از مرکز کلاهک برابر است با

$$E_v = \frac{|q|}{r^۲} = (۹/۰ \times ۱۰^۹ N.m^۲/C^۲)\frac{(۱/۰\times۱۰^{-۶}C)}{(۱/۰m)^۲} = ۹/۰ \times ۱۰^۳\frac{N}{C}$$

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

$$E_P = \frac{|q|}{r^۲} = (۹/۰ \times ۱۰^۹ N.m^۲/C^۲)\frac{(۱/۶۰\times۱۰^{-۱۹}C)}{r^۲} = ۹/۰ \times ۱۰^۳\frac{N}{C}$$

و از آنجا که $r = ۴/۰ \times ۱۰^{-۷}m$ می‌شود. دقت کنید مرتبهٔ بزرگی این فاصله، $۱۰^{۴}$ بار بزرگتر از مرتبهٔ بزرگی شعاع اتم هیدروژن در مدل بور است. بنابراین پاسخ ب نیز مانند پاسخ الف نشان‌دهندهٔ بزرگی بسیار زیاد میدان هستهٔ اتم در محل الکترون‌های اتم است.

تمرین ۱-۵(صفحه۱۶)

در نقطهٔ O، میدان الکتریکی حاصل از هر دو بار با هم جمع می شود و جهت آن رو به سمت چپ خواهد بود. یعنی اگر بار آزمون را در نقطهٔ O قرار دهیم، نیروهای وارد بر آن ناشی از بارهای $q_۱$ و $q_۲$ به سمت چپ خواهد بود و بنابراین میدان الکتریکی خالص در جهت $-\vec{i}$ است. چون بزرگی بارها یکسان و فاصلهٔ آن‌ها تا نقطهٔ O برابر است، بزرگی میدان‌ها با هم برابر است. بنابراین اندازهٔ میدان کل، دو برابر اندازهٔ هر یک از میدان‌ها است:

$$E_O = ۲E = ۲k\frac{|q|}{r^۲} = ۲(۹/۰ \times ۱۰^۹ N.\frac{m^۲}{C^۲})\frac{(۲/۰\times۱۰^{-۹}C)}{(۳/۰\times۱۰^{-۲}m)^۲} = ۴/۰ \times ۱۰^۴ \frac{N}{C}$$

در نتیجه $\vec{E}_O = (-۴/۰ \times ۱۰^۴ \frac{N}{C})\vec{i}$ می‌شود.

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

$$E_M = k\frac{|q|}{r_۱^۲} - k\frac{|q|}{r_۲^۲} = k|q|\,(\frac{۱}{r_۱^۲} - \frac{۱}{r_۲^۲})$$

$$= (۹/۰ \times ۱۰^۹ N.\frac{m^۲}{C^۲})(۲/۰ \times ۱۰^{-۹}C)(\frac{۱}{(۳/۰ \times ۱۰^{-۲}m)^۲} - \frac{۱}{(۹/۰ \times ۱۰^{-۲}m)^۲})$$

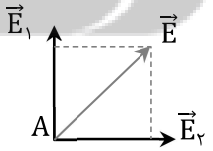
$$= ۱۷/۷۸۴ \frac{N}{C} \approx ۱/۸ \times ۱۰^۴ \frac{N}{C}$$

در نتیجه:

$$\vec{E}_M = (۱/۸ \times ۱۰^۴ \frac{N}{C})\vec{i}$$

تمرین ۱-۶ (صفحه۱۷)

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



$$\vec{E} = E_۲\vec{i} + E_۱\vec{j} = (۵/۰ \times ۱۰^۳ \frac{N}{C})\,\vec{i} + (۵/۰ \times ۱۰^۳ \frac{N}{C})\,\vec{j}$$

و در نتیجه:

$$E = \sqrt{E_۲^۲ + E_۱^۲} = ۷/۱ \times ۱۰^۳ \frac{N}{C}$$

البته این نتیجه را می‌توانستیم براساس تقارن مسئله، با استفاده از پاسخ مثال ۱-۸ نیز به‌راحتی 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 شفافی با عمق مناسب (مثلاً بالُن آزمایشگاه) که حاوی روغن است کاملاً هم بزنید و با استفاده از یک مولّد ولتاژ بالا، آزمایش مشابهی ترتیب دهید.

پرسش ۱-۴(صفحه ۱۹)

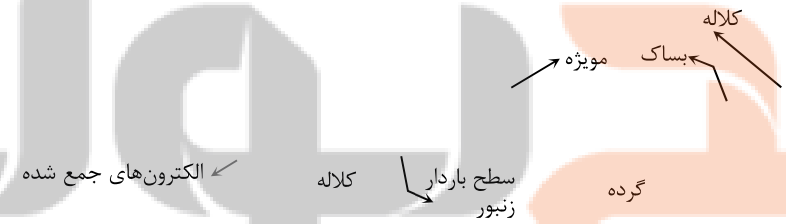
در هر نقطهٔ فضا، یک میدان الکتریکی یکتا وجود دارد که همان *میدان الکتریکی خالص (برایند)* است و چون میدان الکتریکی در آن نقطه از فضا یکتا است، بنابراین میدان الکتریکی برایند دیگری در آنجا وجود ندارد که تقاطع ایجاد کند.

پرسش ۱-۵ (صفحه۱۹)

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 گردهٔ بدون باری روی بساک یک گل (شکل الف) می‌رسند که از لحاظ الکتریکی خنثی است، میدان الکتریکی آن‌ها روی گردهٔ 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 مویژه‌های ریز زنبور قرار می‌گیرند و سپس وقتی زنبور در اطراف کلالهٔ گل دیگری پرواز می‌کند، بارهای منفی را بر روی کلاله القا می‌کند. هرگاه نیروی الکتریکی وارد از کلاله بزرگتر از نیروی الکتریکی وارد از زنبور بر گرده باشد، گرده به سمت کلالهٔ گل کشیده می‌شود (شکل پ) و گرده افشانی صورت می‌گیرد.



الف) اجزای بساک و کلالهٔ یک گل

ب) بر اثر حضور زنبور، روی گردهٔ نزدیک بساک، بار القا شده است.

پ) الکترون‌هایی که در نوک کلاله جمع شده‌اند، گرده را جذب می‌کنند.

تمرین ۱-۷ (صفحه ۲۱)

برای این‌که 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

$$E = \frac{mg}{|q|} = \frac{(۱۰/۰\times۱۰^{-۳}\text{kg})(۹/۸۰\text{N/kg})}{۲۰۰\times۱۰^{-۹}\text{C}} = ۴/۹۰ \times ۱۰^{۵}\ \text{N/C}$$

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

فعالیت ۱–۵ (صفحه ۲۱)

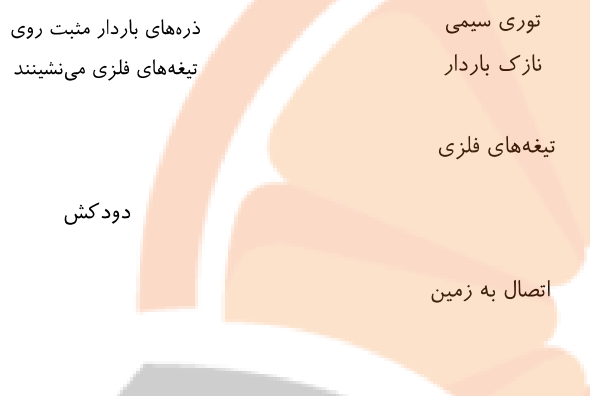
رسوب‌دهنده‌های الکتروستاتیکی یکی از کاربردهای مهم تخلیهٔ الکتریکی است. این وسیله با جداسازی ذرات از گازهای حاصل از احتراق مواد سوختی، سبب کاهش آلودگی هوا می‌شود. به‌کارگیری این وسیله، به‌خصوص در نیروگاه‌های تولید برق که از زغال‌سنگ استفاده می‌کنند و دیگر صنایعی که مقادیر قابل توجهی دود تولید می‌کنند، 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 ۴۰kV تا ۱۰۰kV) بین یک سیم فلزی که از وسط دودکش آن می‌گذرد و دیوارهٔ دودکش برقرار می‌شود، در حالی که دیوارهٔ 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 تخلیهٔ 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_2^-) در خلاف جهت میدان الکتریکی، به سمت دیوارهٔ 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 باردارشدهٔ منفی هستند، این ذرات توسط میدان الکتریکی به سمت دیوارهٔ دودکش کشیده می‌شوند. با تکان دادنِ دودکش، ذرات باردارشدهٔ غبار چسبیده به دیواره پایین می‌ریزد و آنگاه از ته رسوب‌دهنده جمع‌آوری می‌شوند.

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 تخلیهٔ 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.

پاک‌کنندهٔ 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 شبکهٔ توری با بار مثبت عبور داده می‌شود. ذرات آلودگی با برخورد با این شبکه باردار مثبت می‌شوند. سپس، هوا از شبکهٔ توری دیگری که باردار منفی شده است عبور می‌کند. ذرات آلاینده که پیشتر هنگام برخورد با شبکهٔ 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.



تمرین ۱– ۸ (صفحه۲۳)

طبق قضیهٔ کار– انرژی جنبشی داریم:

$$W_E = \Delta K$$

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

$$-\Delta U_E = \frac{۱}{۲}m(v_B^۲ - v_A^۲) \Longrightarrow \Delta U_E = -\frac{۱}{۲}mv_B^۲$$

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

$$\Delta U_E = -|q|\,Ed\cos\theta$$

که در اینجا $\theta = ۰^\circ$ است. بنابراین

$$\Delta U_E = -|q|Ed$$
$$-\frac{۱}{۲}mv_B^۲ = -|q|Ed$$

و در نتیجه:

$$v_B = \sqrt{\frac{۲|q|Ed}{m_p}}$$
$$= \sqrt{\frac{۲(۱/۶۰\times۱۰^{-۱۹}C)\,(۲/۰\times۱۰^{۳}N/C)\,(۱۰\times۱۰^{-۲}m)}{۱/۶۷\times۱۰^{-۲۷}kg}}$$
$$= ۱/۹۶\times۱۰^{۵}m/s \approx ۲/۰\times۱۰^{۵}m/s$$

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

تمرین ۱– ۹ (صفحه ۲۵)

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

الف) رابطه‌های $\Delta V = -|q|Ed\cos\theta$ و $\Delta V = \Delta U/q$ را در نظر بگیرید. اگر بار q مثبت باشد، θ همان زاویهٔ میـان میـدان الکتریکی و جابه‌جایی بار q و در اینجا $\theta = ۰^\circ$ 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، $\theta = ۹۰^\circ$ و در نتیجه $\Delta U = ۰$ و از آنجا $\Delta V = ۰$ می‌شود.

تمرین ۱- ۱۰(صفحه ۲۵)

در این حالت، چون پایانهٔ مثبت را مرجع گرفته‌ایم، $V_+ = ۰$ است. بنابراین

$$\Delta V = V_+ - V_- = ۰ - V_- = ۱۲V$$

و در نتیجه $V_- = -۱۲V$ می‌شود. به عبارتی دیگر، پتانسیل پایانهٔ منفی باتری ۱۲V کمتر از پتانسیل پایانهٔ 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 اتصال‌هایی به نام سیناپس که روی دندریت‌ها قرار دارند، دریافت یا ارسال می‌کنند. اگر محرک به حدّ کافی قوی باشد، نورون یک سیگنال الکتریکی را در امتداد تاری 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 میلی ولت، منفی‌تر از خارج آن است. این اختلاف پتانسیل، *پتانسیل استراحت* 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 ۲۰mV در دو طرف غشا لازم است تا پتانسیل کنش را راه بیندازد. پتانسیل کنش با سرعتی حدود ۳۰m/s امتداد اکسون منتشر می‌شود. در شکل اول تصویری نمایشی از چگونگی آشکارسازی پتانسیل کنش نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می کنید در سمت چپ تحریکی الکتریکی ایجاد

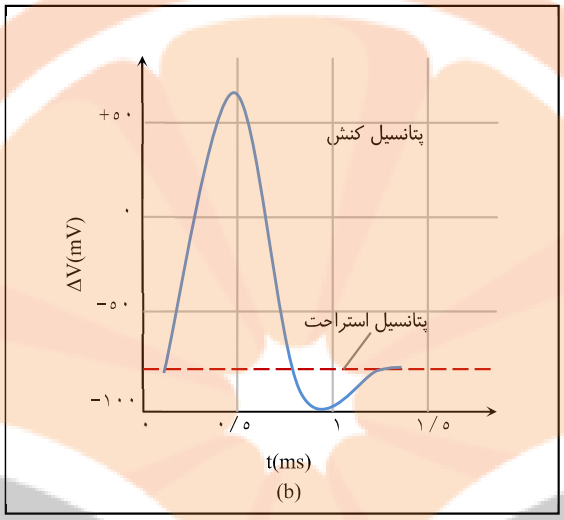
اسیلوسکوپ

مولّد تپ جریان

کاوهٔ اندازه‌گیری ولتاژ

کاوهٔ ورود جریان آکسون

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 صفحهٔ ۴۰ شماره ۶۲ مجلهٔ رشد آموزش فیزیک چاپ شده است که پس از آن می‌توان مقالهٔ دیگری تحت عنوان مدل‌سازی سلول عصبی با مدارهای الکتریکی را مطالعه نمود که در صفحهٔ ۳۶ شمارهٔ 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، $\theta = ۱۸۰^{\circ}$ و $W_E = F_E d\cos\theta$ منفی می‌شود. با توجه به اینکه $\Delta K = ۰$ است، $W_{\text{خارجی}} = -W_E$ می‌شود و بنابراین کار نیروی دست مثبت است.

ب) کار نیروی خارجی برای $\Delta K = ۰$ 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 رابطهٔ $W_{\text{خارجی}} = q\Delta V$، 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 واژهٔ «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 همان‌طور 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.

همان‌طور 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 جعبهٔ رسانا قرار می‌دهیم یا آن را با ورقه‌ای نازک از ماده‌ای رسانا می‌پوشانیم. میدان الکتریکی خارجی، نحوهٔ توزیع الکترون در پوشش رسانا را تغییر می‌دهد به طوری که میدان کل در هر نقطهٔ 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 بدنهٔ 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 بدنهٔ 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 ظرفیا پوشش فلزی سربسته‌ای قرار دهند و به آن زنگ بزنند و ... در مولد واندوگراف نیز همین اصول به کار رفته و بار توسط یک قطعهٔ رسانا از تسمه به روی کلاهک منتقل می‌شود و در نتیجه بار روی کلاهک و میدان اطراف آن به‌سرعت 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 عقربهٔ آن منحرف می‌شود. بعد با قرار دادن همان الکتروسکوپ در درون یک قفس فلزی همین آزمایش را تکرار می‌کنیم و درمی‌یابیم این بار عقربهٔ آن منحرف نمی‌شود.

همچنین می‌توان کاغذهای کوچک دوتا شده‌ای را روی توری قرار داد، طوری که یک تای کاغذ درون و تای 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 فاصلهٔ معینی از دو طرف دوک می‌ایستند به طوری که گلوله‌ای که با نوک تیز تماس پیدا کرده است در زاویهٔ بیشتری نسبت به امتداد قائم قرار می‌گیرد که همان‌طور که در خوب است بدانید تخلیهٔ هاله‌ای(صفحه ۳۱) اشاره کردیم نشان‌دهندهٔ قوی‌تر بودن میدان الکتریکی در نقاط نوک‌تیز 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 به‌تدریج 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 آن‌قدر ادامه می‌یابد تا بار جسم دوکی کاملاً تخلیه شود.

فعالیت ۱– ۹ (صفحه ۳۱)

هدف اصلی برقگیر این است که مسیری ساده برای انحراف ضربهٔ 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، میلهٔ آن باید از بالاترین نقطهٔ 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 کلاهک مولّد وان‌دوگراف به تنهایی در نزدیکی گویی فلزی با دستهٔ عایق قرار دارد که خود توسط سیمی به زمین مولّد وان‌دوگراف متصل است. کلاهک مولّد شبیه یک ابر باردار و گوی فلزی شبیه رأس یک ساختمان بلند است. وقتی مولّد روشن باشد، کلاهک 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 ضربهٔ آذرخش به یک نوک پهن یا رأس یک ساختمان است.

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

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

پرسش ۱– ۶ (صفحه ۳۶)

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

اما توضیح دقیق‌تر و علمی ماجرا آن است که همان‌طور که در متن درس اشاره شد، وقتی دی‌الکتریک قطبی در میدان الکتریکی بین دو صفحهٔ خازن قرار می‌گیرد، مولکول‌های دو قطبی آن در جهت میدان الکتریکی همردیف می‌شوند و وقتی یک دی‌الکتریک غیرقطبی در این میدان قرار گیرد، مولکول‌های آن در راستای میدان قطبیده می‌شوند. چه در مورد دی‌الکتریک‌های قطبی و چه در مورد دی‌الکتریک‌های غیرقطبی، دو قطبی‌های مولکولی در فضای بین دو صفحهٔ خازن میدانی الکتریکی ایجاد می‌کنند، به طوری که میدان الکتریکی حاصل از آن‌ها می‌کوشند 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 برایند داخل دی‌الکتریک ضعیف‌تر از میدان الکتریکی اولیه می‌شود. به عبارتی، حضور دی‌الکتریک در فضای بین دو صفحهٔ خازن، میدان الکتریکی اولیه را تضعیف می‌کند. بنابراین، وقتی خازن به باتری وصل نیست، میدان اولیهٔ بین صفحه‌ها کاهش می‌یابد و در نتیجه اختلاف پتانسیل بین صفحه‌ها نیز کاهش پیدا می‌کند. شکل زیر همردیف شدن مولکول‌های یک دی‌الکتریک قطبی را در میدان دو صفحهٔ خازن نشان می‌دهد.

الف) مولکول‌های دوقطبی در حضور میدان الکتریکی خارجی $\vec{E}$. همردیف شده‌اند.

ب) این همردیفی، بارهایی سطحی را روی دو وجه دی‌الکتریک ایجاد می‌کند که موجب تضعیف میدان الکتریکی

پ) میدان الکتریکی $\vec{E}'$ حاصل از بارهای سطحی در خلاف جهت میدان الکتریکی $\vec{E}$. است. میدان الکتریکی برایند $\vec{E}$ در جهت $\vec{E}$. و کوچک‌تر از آن شده است.

فعالیت ۱– ۱۰(صفحه ۳۷)

در این کیسه‌های هوا، حسگرِ کیسهٔ هوا خازنی است که از دو صفحهٔ فلزی کوچک و نزدیک به هم ساخته شده است که بارهای $+Q$ و $-Q$ دارند. وقتی اتومبیل ناگهان متوقف می‌شود، صفحهٔ عقبی که سبک‌تر است به سمت صفحهٔ سنگین‌تر جلویی حرکت می‌کند. این حرکت موجب تغییر ظرفیت خازن (نسبت Q به اختلاف پتانسیل Vی بین صفحه‌ها) می‌شود و یک مدار الکتریکی این تغییر را آشکارسازی کرده و کیسه‌های هوا را به کار می‌اندازد.

تمرین ۱– ۱۲(صفحه ۳۸)

با استفاده از رابطهٔ ۱ – ۱۸ داریم:

$$C = k\varepsilon.\frac{A}{d} = ۳/۰(۸/۸۵ \times ۱۰^{-۱۲}F/m)\frac{۱/۰\times۱۰^{-۱۰}m^۲}{۱۰/۰\times۱۰^{-۹}m} = ۲/۶۶ \times ۱۰^{-۱۳}F \approx ۰/۲۷pF$$

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

$$Q = C\,\Delta V = (۲/۶۶ \times ۱۰^{-۱۳}F)(۰/۰۸۵V) = ۲/۲۶ \times ۱۰^{-۱۴}C \approx ۲/۳ \times ۱۰^{-۱۴}C$$

بزرگی بار هر یون در هر طرف غشاء برابر $۱/۶۰ \times ۱۰^{-۱۹}C$ است. بنابراین تعداد یون‌ها برابر است با

$$\text{تعداد یون‌ها} = \frac{۲/۲۶\times۱۰^{-۱۴}C}{۱/۶۰\times۱۰^{-۹}C/ion} = ۱/۴۱ \times ۱۰^{۵} \text{ یون}$$

که با توجه به اینکه اختلاف پتانسیل با دو رقم با معنا داده شده است آن را باید به صورت $۱/۴ \times ۱۰^{۵}$ یون بیان کرد.

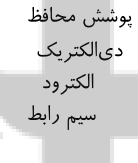
فعالیت ۱- ۱۱(صفحه ۳۸)

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

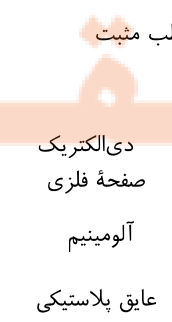
خازن‌های میکا: بین ورقه‌های فلزی نازک قلعی، ورقه‌های نازک میکا قرار می‌دهند و ورقه‌های قلع را یک در میان به یکدیگر وصل می‌کنند. ظرفیت این خازن‌ها حدود ۵۰ تا ۵۰۰ پیکوفاراد است.

خازن‌های ورقه‌ای: این خازن‌ها از دو ورقهٔ قلع یا آلومینیم تشکیل شده‌اند که بین آن‌ها دو ورقهٔ 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 $۱nF$ تا $۱\mu F$ 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 ده‌ها نانوفاراد (nF) است.



خازن‌های الکترولیتی: این خازن‌ها از یک صفحهٔ فلزی اندود شده با اکسید آلومینیوم، به طوری که صفحهٔ فلزی قطب مثبت خازن و لایهٔ 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 $۰/۱F$ می‌رسد.



آَبرخازن: این نوع خازن‌ها از موادی مانند زغال فعال[1] 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 فاصلهٔ جدایی d است که میلیون‌ها بار کوچک‌تر از فاصلهٔ جدایی صفحه‌های یک خازن معمولی است. از طرفی ساختار میکروسکوپی زغال‌های فعال اسفنجی‌شکل است، به طوری که در مقایس نانو سطح تماس بسیار بزرگی با یون‌ها دارند و بدین ترتیب مساحت Aی صفحه‌های این خازن نیز به مراتب بزرگ‌تر از مساحت سطح یک خازن معمولی است. بنابراین این خازن‌ها ظرفیت‌های بسیار بزرگی از مرتبهٔ کیلوفاراد 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 نقلیهٔ الکتریکی می‌شود.

آَبرخازن خازن تخت

طرحی از ساختار یک آَبر خازن در مقایسه با یک خازن تخت معمولی. به تفاوت dها توجه کنید. در عمل این تفاوت به مراتب بیشتر است. d در یک آَبر خازن از مرتبهٔ نانومتر است.

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

[1] Activated charcoal

پرسش و تمرین‌های فصل ۱

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

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

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

(الف) (ب)

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

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

$$n = \frac{۱۲/۸\times۱۰^{-۹}C}{۱/۶۰\times۱۰^{-۱۹}C} = ۸/۰۰ \times ۱۰^{۱۰}$$

۳– الف) بار الکتریکی اتم کربنِ خنثی، صفر است، ولی هستهٔ اتم کربن ۶ پروتون دارد و بنابراین بار آن برابر $q = +۶e$ می‌شود که در آن $e = ۱/۶۰ \times ۱۰^{-۱۹}C$ است: $q = ۶(۱/۶۰ \times ۱۰^{-۱۹}C) = ۹/۶۰ \times ۱۰^{-۱۹}C$.

ب) بار اتم کربن یک بار یونیده $+۱e$ است.

۴– چون اندازهٔ 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

$$q = \frac{q_۱+q_۲}{۲} = \frac{۴/۰nC-۶/۰nC}{۲} = -۱/۰nC$$

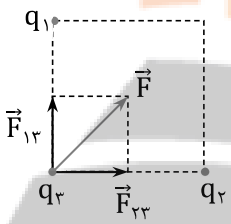
و در نتیجه نیروی بین دو گوی چنین می‌شود:

$$F = k\frac{|q_1||q_2|}{r^2} = k\frac{|q|^2}{r^2}$$
$$= (9/0 \times 10^9 \frac{N.m^2}{C^2})\frac{(1/0\times10^{-9}C)^2}{(0/30m)^2}$$
$$= 1/0 \times 10^{-7}N$$

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 فاصلهٔ بارها از q_3 یکسان است، $F_{23} = F_{13}$ است و از قانون کولن داریم:

$$F_{23} = F_{13} = k\frac{|q_2||q_3|}{r_{23}^2}$$
$$= (9/0 \times 10^9 \frac{N.m^2}{C^2})\frac{(5\times10^{-6}C)(0/2\times10^{-6}C)}{(3m)^2}$$
$$= 0/001N = 1mN$$

در نتیجه نیروی خالص وارد بر بار q_3 چنین می‌شود:

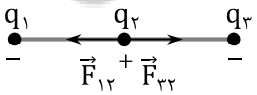
$$\vec{F} = (1mN)\vec{i} + (1mN)\vec{j}$$

می‌توانیم بزرگی این نیرو را نیز محاسبه کنیم

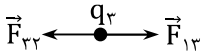
$$F = \sqrt{(0/001N)^2 + (0/001N)^2} = 1/41 \times 10^{-3}N \approx 1mN$$

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

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



همان‌طور که می‌بینیم $\vec{F}_{12}$ در خلاف جهت $\vec{F}_{32}$ است و چون بارهای q_1 و q_3 و فاصلهٔ آن‌ها از q_2 یکسان است، بنابراین $F_{12} = F_{32}$ ، 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 فاصلهٔ بارهای $q_۲$ و $q_۳$ کمتر از فاصلهٔ بارهای $q_۱$ و $q_۳$ است و همچنین $|q_۱| > |q_۳|$ ، است $|\vec{F}_{۲۳}| > |\vec{F}_{۱۳}|$ خواهد بود و نیروی برایند در خلاف جهت مثبت محور x وارد می‌شود. بزرگی این نیروها با استفاده از قانون کولن برابر است با

$$F_{۲۳} = k\frac{|q_۲||q_۳|}{r_{۲۳}^۲}$$
$$= (۹/۰ \times ۱۰^۹ \frac{N.m^۲}{C^۲})\frac{(۵/۰\times۱۰^{-۹}C)(۴/۰\times۱۰^{-۹}C)}{(۰/۰۸۰m)^۲}$$
$$= ۲/۸ \times ۱۰^{-۵}N$$
$$F_{۱۳} = k\frac{|q_۱||q_۳|}{r_{۱۳}^۲}$$
$$= (۹/۰ \times ۱۰^۹ \frac{N.m^۲}{C^۲})\frac{(۴/۰\times۱۰^{-۹}C)(۴/۰\times۱۰^{-۹}C)}{(۰/۱۶m)^۲}$$
$$= ۵/۶۲ \times ۱۰^{-۶}N$$

بنابراین $\vec{F}$ چنین می‌شود:

$$F \approx (۵/۶۲ \times ۱۰^{-۶}N)\vec{i} - (۲/۸ \times ۱۰^{-۵}N)\vec{i}$$
$$\approx ۲/۲ \times ۱۰^{-۵}(-\vec{i})$$

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

$$mg = k\frac{q^۲}{r^۲}$$

و از آنجا

$$q = \sqrt{\frac{mg\,r^۲}{k}}$$
$$= \sqrt{\frac{(۲/۵\times۱۰^{-۳}kg)(۹/۸\frac{N}{kg})(۰/۰۱m)^۲}{۹/۰\times۱۰^۹\ N.\frac{m^۲}{C^۲}}}$$
$$= ۱/۶۵ \times ۱۰^{-۸}C \approx ۱۶nC$$

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

$$n = \frac{q}{e} = \frac{۱/۶۵\times۱۰^{-۸}C}{۱/۶۰\times۱۰^{-۱۹}C} \approx ۱۰^{۱۱}$$ 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 فاصلهٔ بین دو جسم باردار، خیلی بزرگتر از ابعاد هریک از دو جسم باشد و گوی‌هایی که بتوانند بار ۱۶nC را روی خود نگه دارند باید شعاعی در حدود چند سانتی‌متر داشته باشند تا هوای پیرامون‌شان دستخوش فرو ریزش نگردد. وقتی این گوی‌ها در فاصلهٔ ۱cm 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.

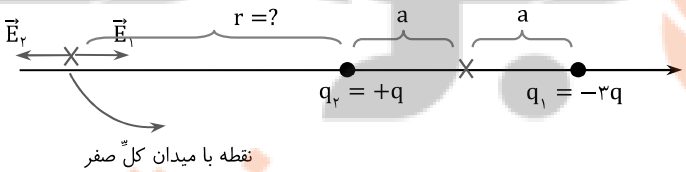
۹– الف) هر پروتون را می‌توان به‌صورت یک ذرهٔ باردار درنظر گرفت. بنابراین بزرگی نیروی دافعهٔ الکتروستاتیکی وارد بر یکی، از سوی دیگری با قانون کولن داده می‌شود:

$$F = k\frac{|q_p||q_p|}{r^2} = k\frac{|q_p|^2}{r^2}$$
$$= (9/0 \times 10^9 N.\frac{m^2}{C^2})\frac{(1/60\times10^{-19}C)^2}{(4/0\times10^{-15}m)^2}$$
$$= 14/4N \approx 14N$$

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

$$E = k\frac{q_{هسته}}{R^2}$$
$$= (9/0 \times 10^9 N.\frac{m^2}{C^2})\frac{26(1/60\times10^{-19}C)}{(1/0\times10^{-10}m)^2}$$
$$= 3/744 \times 10^{12}\frac{N}{C} \approx 3/7 \times 10^{12}\frac{N}{C}$$

۱۰– توجه کنید برای بررسی این موضوع باید بار آزمون را در سه نقطهٔ سمت چپ $+q$ ، در حدّواسط $+q$ و $-3q$، و در سمت راست $-3q$ قرار دهیم. اگر بار آزمون را در سمت راست $-3q$ یا در حدّواسط 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 جاذبهٔ حاصل از بار $-3q$ به دلیل آنکه ناشی از اندازهٔ بار بزرگ‌تری است و نیز در فاصلهٔ کم‌تری از بار $+q$ قرار دارد، امکان ندارد با نیروی دافعهٔ حاصل از $+q$ به تعادل درآید و خنثی شود. اما در خطّ 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 دافعهٔ حاصل از بار $+q$ و نیروی جاذبهٔ حاصل از بار $-3q$ برخلاف جهت یکدیگرند، اما برخلاف وضعیتی که در سمت راست بار $-3q$ هستیم، هر دو پارامتر بزرگی بار و اندازهٔ فاصله، به نفع یک نیرو چربش ندارد. در حالی که بار $+q$ کوچک‌تر است، اما در عوض فاصلهٔ آن هم کم‌تر است و در حالی که فاصلهٔ $-3q$ زیاد است، اما در عوض بزرگی بار آن هم زیاد است.
می‌توانیم محل دقیق صفر شدن میدان کل را نیز به‌دست 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:



$$E_1 = E_2$$
$$k\frac{|q_1|}{r_1^2} = k\frac{|q_2|}{r_2^2}$$
$$k\frac{3q}{(r+2a)^2} = k\frac{q}{r^2}$$

و در نتیجه

$$\frac{\sqrt{3}}{r+2a} = \frac{1}{r}$$

و از آنجا

$$r = \frac{۲}{\sqrt{۳}-۱}a \simeq (\sqrt{۳}+۱)a$$
$$\approx ۲/۷a$$

یعنی نقطهٔ با میدان کل صفر رویم حور x ، در سمت چپ بار $+q$ ، و در فاصلهٔ $r = (\sqrt{۳}+۱)a$ ، 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، درخواهیم یافت که در هر نقطه یک میدان برایند غیر صفر خواهیم داشت و امکان ندارد میدان الکتریکی صفر شود.

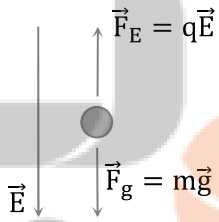
البته در کتاب‌های پیشرفته‌تر، پایداری تعادل بار آزمون در نقطهٔ میدان صفر نیز بررسی می‌شود. به این ترتیب که آیا با جابه‌جا کردن بار آزمون از نقطهٔ با میدان صفر، آیا بار دوباره به محلّ خود (نقطهٔ تعادل) بازمی‌گردد یا خیر. ثابت می‌شود که در حالت کلی، در نقطهٔ با میدان الکتریکی صفر، و صرفاً با حضور نیروهای کولنی، تعادل پایدار نداریم و از این واقعیت به عنوان قضیهٔ Earnshaw یاد می‌شود، به عبارتی، قضیهٔ 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 نقطهٔ O با هم جمع می‌شود:

$$E = k\frac{q}{a^۲}\vec{i} + k\frac{۳q}{a^۲}\vec{i}$$
$$= ۴k\frac{q}{a^۲}\vec{i}$$

بنابراین، بزرگی میدان الکتریکی برایند در مبداء مختصات $E = ۴k\frac{q}{a^۲}$، 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

$$|q|E = mg$$
$$|q| = \frac{mg}{E} = \frac{(۲/۰\times۱۰^{-۳})(۱۰\frac{N}{kg})}{(۵/۰\times۱۰^{۵}\frac{N}{C})}$$
$$= ۴/۰ \times ۱۰^{-۸}C = ۴۰nC$$

۱۲– از تقارن شکل واضح است که همهٔ میدان‌های حاصل از بارهای روی دو مربع همدیگر را دوبه 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 نقطهٔ P، برایند میدان‌های حاصل از میدان این دو بار می‌شود. توجه کنید برای بررسی جهت میدان، باید بار آزمون (مثبت) را در نقطهٔ 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:

$$\vec{E}_P = k\frac{2q}{d^2}(-\vec{i}) + k\frac{q}{d^2})(\vec{i})$$
$$= \frac{kq}{d^2}(-\vec{i})$$

بنابراین، بزرگی میدان در نقطهٔ 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، اندازهٔ 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 حالی‌که 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.

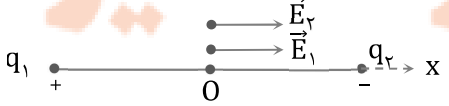
شکل پ:

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 می‌بینند. 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 نقطهٔ O درمی‌یابیم که میدان‌های حاصل از بارهای q_1 و q_2 در یک جهت (سوی $+\vec{i}$) هستند.

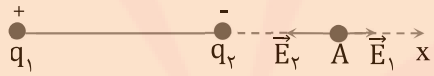


بنابراین در نقطهٔ O داریم:

$$\vec{E}_O = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 = 2\vec{E}_1 = 2k\frac{q_1}{r^2}\vec{i}$$
$$= 2(9/0 \times 10^9 N.m^2/C^2)\frac{(1/0 \times 10^{-9} C)}{(0/030 m)^2}\vec{i}$$
$$= (2/0 \times 10^4 N/C)\,\vec{i}$$

بنابراین، بزرگی میدان در نقطهٔ O برابر با $2/0 \times 10^4 N$ و جهت آن به طرف راست $(+\vec{i})$ است.

در نقطه A، میدان‌ها در خلاف جهت یکدیگرند و بنابراین بزرگی میدان‌ها از کم می‌شود.



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

که چون q_2 به نقطهٔ A نزدیک‌تر است $E_2 > E_1$ می‌شود و میدان الکتریکی برایند در جهت $-\vec{i}$ خواهد بود:

$$\vec{E}_A = (E_2 - E_1)(-\vec{i})$$
$$= (\frac{kq}{r_2^2} - \frac{kq}{r_1^2})(-\vec{i})$$
$$= (9/0 \times 10^9 N.m^2/C^2)(1/0 \times 10^{-9} C)(\frac{1}{(0/030 m)^2} - \frac{1}{(0/090 m)^2})(-\vec{i})$$
$$= 8/9 \times 10^3 N/C\,(-\vec{i})$$

بنابراین، بزرگی میدان در نقطهٔ A برابر $E_A = 8/9 \times 10^3 \frac{N}{C}$ ، 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 برایند صفر باشد، خارج از فاصلهٔ بین دو بار، و در طرف بار با اندازهٔ کوچک‌تر است. با توجه به این‌که در این مسئله، اندازهٔ 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 رابطهٔ $F_E = |q|E$ به‌دست می‌آید. بنابراین چون میدان، یکنواخت است نیروی الکتریکی وارد بر بار q در تمام نقاط مسیر برابر است با

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

ب) کار نیروی الکتریکی از رابطهٔ $W = |q|Ed\cos\theta$ 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:

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

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

پ) می‌دانیم $\Delta U_E = -W_E$ است و بنابراین $\Delta U_E = 0/016\ J$ 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 درنتیجه کار نیروی الکتریکی طبق رابطهٔ $W_E = |q|Ed\cos\theta$، مقداری منفی می‌شود.

ب) چون $\Delta K = ۰$ 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 رابطهٔ $\Delta U = -W_E$ چون $W_E < ۰$ شده است، $\Delta U > ۰$ می‌شود. پس انرژی پتانسیل زیاد می‌شود.

ت) با توجه به رابطهٔ $\Delta V = \Delta U_E/q$ و مثبت بودن ΔU و q ، ΔV نیز مثبت می‌شود. از طرفی $\Delta V = V_B - V_A$ است. چون $\Delta V > ۰$ 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 رابطهٔ $V = \frac{U_E}{q}$، به معنی افزایش پتانسیل است. می‌دانیم به ازای $\Delta K = ۰$ انرژی پتانسیل به کار نیروی خارجی مثبت می‌انجامد و با توجه به این‌که $W_{ext} = -W_E$ 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 همهٔ 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 بقیهٔ 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 نقطهٔ B برای آرایش (ب) بیش‌تر از آرایش (پ) می‌شد، زیرا فاصلهٔ خطوط میدان همهٔ 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 همهٔ شکل‌ها با مقیاس یکسانی رسم شده باشند.)

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

$$E = \frac{|\Delta V|}{d} = \frac{۱۰۰V}{۲/۰۰\times۱۰^{-۲}m} = ۵/۰۰ \times ۱۰^{۳}\ V/m$$

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، صفحهٔ باردار مثبت در پتانسیل بالاتری نسبت به صفحهٔ منفی قرار دارد.

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

$$\Delta U = q(V_۲ - V_۱)$$
$$= (-۴۰ \times ۱۰^{-۹}C)\big(-۱۰V - (-۴۰V)\big) = -۱/۲ \times ۱۰^{-۶}J = -۱/۲\mu J$$

چون $\Delta U < ۰$ شده است، پس انرژی پتانسیل الکتریکی بار q کاهش یافته است.

تلاشی در مسیر موفقیت

ب) چون از انرژی پتانسیل الکتریکی بار کاسته شده است و بار آزادانه حرکت می‌کند، بنابراین از پایستگی انرژی نتیجه می‌گیریم که بر انرژی جنبشی بار افزوده می‌شود و لحظه‌به‌لحظه 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، به‌طوری‌که 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 جاذبهٔ وارد به آونگ بیش‌تر از نیروی دافعهٔ وارد بر آن می‌شود و کره، آونگ را جذب می‌کند. اگر فاصلهٔ کره از آونگ کم باشد، آونگ با کره تماس پیدا می‌کند. اکنون اگر گلولهٔ آونگ هم رسانا باشد، کره و آونگ یک جسم رسانا را تشکیل می‌دهند که باید کلّ 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 القأ صورت می‌گیرد. براده‌های ریز آلومینیومی بدون بار مثل یک رسانای خنثی هستند که در میدان الکتریکی حاصل از صفحهٔ پلاستیکی باردار قرار گرفته‌اند. بسته به اینکه بار صفحهٔ 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 صفحهٔ پلاستیکی می‌شود.

۲۳– با فرض آنکه بار q به‌یکنواخت روی شش وجه مکعبی ماهواره توزیع شده باشد، روی هر وجه آن باری به اندازهٔ $q/۶$ قرار می‌گیرد. بنابراین، چگالی سطحی بار چنین می‌شود:

$$\sigma = \frac{Q}{A} = \frac{q/۶}{a^۲} = \frac{(۲/۰\times۱۰^{-۹}C)/۶}{(۰/۴۰m)^۲} = ۲/۰ \times ۱۰^{-۹}\frac{C}{m^۲} \approx ۲/۱ \times ۱۰^{-۹}\frac{C}{m^۲}$$

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 رابطهٔ $Q = CV$ به‌دست می‌آید. با توجه به اینکه ظرفیت خازن ثابت است، بنابراین برای نمو (تغییر) Q داریم:

$$\Delta Q = C\Delta V = C(V_۲ - V_۱)$$

و از آنجا

$$C = \frac{\Delta Q}{V_۲ - V_۱} = \frac{۱۵\times۱۰^{-۶}C}{۴۰V - ۲۸V} = ۱/۲۵ \times ۱۰^{-۶}F \approx ۱/۲\ \mu F$$

۲۶– وقتی دی‌الکتریکی قطبی مانند آب در میدان الکتریکی خارجی قرار گیرد، مولکول‌های دوقطبی می‌کوشند در جهت میدان الکتریکی هم‌ردیف شوند، به‌طوری که سرِ منفی مولکول‌ها در جهت مقابل پیکانهٔ خطوط میدان الکتریکی، و سرِ مثبت مولکول‌ها در همان جهت پیکانهٔ 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، سرِ مثبت مولکول‌های دوقطبی در برابر آن قرار می‌گیرد. بادکنکِ منفی، سرِ مثبت هر مولکول را جذب و سرِ منفی همان مولکول را دفع می‌کند. با

توجه به مقایسهٔ فاصلهٔ سرهای مثبت و منفی هر مولکول تا بادکنک، نیروی جاذبه قوی‌تر از نیروی دافعه و این باعث جذب آن به طرف بادکنک می‌شود.

۲۷– برای مولکول‌های دوقطبی موجود در کاغذ (مثل مولکول‌های آب)، پاسخ همان پاسخ پرسش ۲۶ است. برای مولکول‌های غیرمولکول‌های غیرقطبی موجود در کاغذ، همان‌طور که شکل نشان می‌دهد، وقتی در میدان الکتریکی خارجی قرار می‌گیرند، مولکول‌ها بر اثر القا، قطبیده می‌شوند و اصطلاحاً مولکول قطبیده می‌شود. میدان الکتریکی باعث می‌شود مرکز بارهای مثبت و منفی از هم جدا شوند، به‌طوری که سرِ منفی آن‌ها در اینجا در مقابل بار مثبت شیشه قرار گیرد و بدین‌ترتیب جذب آن شود.

۲۸– از ظرفیت یک خازن تخت، مساحت صفحه‌های A‌ی آن را به دست می‌آوریم:

$$A = \frac{Cd}{\varepsilon_0} = \frac{(۱/۰\,F)(۱/۰\times۱۰^{-۳}\,m)}{(۸/۸۵\times۱۰^{-۱۲}\frac{F}{m})} = ۱/۱\times۱۰^{۸}\,m^{۲}$$

توجه کنید این مساحت، متناظر با مساحت مربعی به ضلع حدوداً $۱۰\,km$ است. حجم چنین خازنی دست‌کم برابر $Ad = ۱/۱\times۱۰^{۵}\,m^{۳}$ است، یعنی مکعبی به ضلع تقریبی $۵۰\,m$. بنابراین امکان ساختن چنین خازنی به *طریق معمول* ناممکن و یا دست‌کم غیرمعقول است.

جالب است بدانید یکی از شوخی‌ها رایج در قدیم این بود که برخی از اساتید به دانشجویان خود می‌گفتند: «برو از آزمایشگاه یک خازن ۱F بیاور!» البته امروزه می‌توان خازن‌های یک فارادی یا حتی بزرگتری را به ضلع فقط چند سانتی‌متر ساخت. شگرد آن این است که فضای میان صفحه‌ها با مواد مناسبی پر شود. مثلاً آبر خازن‌ها 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 صفحه‌های آن تغییری نمی‌کند. پس گزینهٔ (ب) نادرست است. با دو برابر کردن فاصلهٔ بین صفحه‌ها، ظرفیت خازن طبق رابطهٔ $C = \varepsilon_0\frac{A}{d}$ نصف می‌شود و بنابراین گزینهٔ (پ) نیز نادرست است. با توجه به اینکه ظرفیت خازن کاهش می‌یابد، در حالی که اختلاف پتانسیل ثابت است، بار خازن طبق رابطهٔ $Q = CV$ کاهش پیدا می‌کند و بنابراین گزینهٔ (ت) نیز نادرست است.

تنها گزینهٔ درست، گزینهٔ (الف) است، چرا که طبق رابطهٔ $|\Delta V| = Ed$ ، با توجه به اینکه اختلاف پتانسیل ثابت است و فاصلهٔ صفحه‌ها دو برابر می‌شود، E نصف می‌شود.

۳۰– با استفاده از رابطه‌های $C = kC_0$ و $C_0 = \frac{\varepsilon_0 A}{d}$، داریم:

$$C = k\varepsilon_0\frac{A}{d}$$

$$= (۴/۹)(۸/۸۵\times۱۰^{-۱۲}\,\frac{F}{m})\frac{(۱/۰۰\,m)^{۲}}{(۰/۵۰۰\times۱۰^{-۳}\,m)} = ۸/۶۷\times۱۰^{-۸}\,F \approx ۸۷\,nF$$

۳۱– جرقهٔ حاصل بزرگتر می‌شود. این انرژی از کاری حاصل می‌شود که با افزایش فاصلهٔ صفحات خازن (بر علیه جاذبهٔ الکتریکی صفحه‌ها) توسط ما ایجاد شده است. روش دیگر آن است که بگوییم ظرفیت خازن کم شده است، ولی بار تغییر نکرده است. طبق رابطهٔ $V = \frac{Q}{C}$، این به معنی افزایش اختلاف پتانسیل است. افزایش ولتاژ، خود به معنی افزایش اختلاف

انرژی پتانسیل الکتریکی است. این را به طور مستقیم از رابطهٔ $U=\frac{Q^2}{2C}$ نیز می‌توانستیم دریابیم. پس هنگام تخلیهٔ خازن، جرقهٔ پرانرژی‌تر و بزرگتری خواهیم داشت.

۳۲– با توجه به اینکه بار و ظرفیت خازن در مسئله دخالت دارند از رابطهٔ $U=\frac{Q^2}{2C}$ 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 صفحهٔ خازن برداشته و به نوبت به صفحهٔ 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 درنظر 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 $+۳/۰\text{mC}$ بار از صفحهٔ منفی به صفحهٔ مثبت است.

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

$$\Delta U=\frac{(Q+\Delta Q)^2}{2C}-\frac{Q^2}{2C}=$$
$$\frac{\Delta Q^2+2Q\Delta Q}{2C}=\frac{(۳/۰\times۱۰^{-۳}\text{C})^2+2q(۳/۰\times۱۰^{-۳}\text{C})}{2(۱۲\times۱۰^{-۶}\text{F})}=$$
$$۰/۳۷۵+Q(۰/۲۵\times۱۰^{۳})=۸$$

و در نتیجه $Q=۳/۰۵\times۱۰^{-۲}\text{C}\approx ۳/۱\text{mC}$ می‌شود.

تبصره. خوب است از دیدگاه ریاضی نیز نشان دهیم چرا کار این «موچین سحرآمیز» برابر افزایش انرژی پتانسیل خازن است. در لحظهٔ شروع جابه‌جایی بار، اختلاف پتانسیل دو صفحهٔ خازن $\frac{Q}{C}$ و در پایان جابه‌جایی $(Q+\Delta Q)/C$ است. با توجه به این‌که اختلاف پتانسیل دو صفحهٔ 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 $(2Q+\Delta Q)/2C$ به‌دست می‌آید که ضرب آن در ΔQ ،همان کار نیروی خارجی در این جابه‌جایی بار را به‌دست می‌دهد. از آنجا درخواهیم یافت که $W=\bar{V}\Delta Q$ برابر مقدار محاسبه شده در بالا برای ΔU است. یعنی کار نیروی خارجی بربر افزایش انرژی پتانسیل خازن شده است.

تلاشی در مسیر موفقیت

راهنماي پاسخ‌دهي
پرسش‌ها، تمرين‌ها، فعاليت‌ها و مسئله‌هاي

فصل دوم

فيزيك ۲
پايه يازدهم

چاپ اول
۱۳۹۶

ترنج بوک
تلاشی درمسیر موفقیت

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 دانش‌آموز در یک متن آموزشی ضرورت دارد، در این‌جا مورد نگاه نبوده است. مثلاً گاه در پاسخ یک پرسش، بحثی نسبتاً طولانی ارائه شده است که متناسب حوصلهٔ معلم است، نه دانش‌آموز. یا ممکن است در پاسخ یک سؤال، دو یا چند راه‌حل داده شده باشد که قطعاً عرضهٔ همهٔ این پاسخ‌ها به دانش‌آموز، سبب خستگی وی می‌گردد.

۲- قطعاً اساتید بزرگوار، پاسخ‌ها و راه‌حل‌های در خورِ دیگری نیز برای سؤال‌ها و مسائل دارند که ای بسا به ملاحظاتی، پسندیده‌تر از پاسخ‌ها و توضیحات این مجموعه باشد.

۳- تجربهٔ تعاملِ تعلیم و تربیتی با دانش‌آموزان به این نتیجهٔ گران‌بها می‌انجامد که پاسخ ناتمام و ناقصی که دانش‌آموز در زمینهٔ 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 رشتهٔ ریاضی چاپ۱۳۹۶فراهم شده است. با توجه به ساده‌سازی های انجام شده در متن درسی کتاب رشتهٔ تجربی، ضروری است دبیران بزرگوار، متناسب‌سازی‌های لازم را در مباحث این مجموعه، برای همزبان شدن با دانش‌آموزان رشتهٔ 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 دورهٔ متوسطه دوم:
Physics-dept.talif.sch.ir

فصل ۲

فعالیت ۲-۱ (صفحهٔ 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 مسئلهٔ 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 ۲-۱ (صفحهٔ ۴۸)

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

الف)

$$\Delta t = \frac{۵۰\,Ah}{۵/۰\,A} = ۱۰\,h$$

ب) اکنون داریم

$$\Delta t = \frac{۱۰۰۰\,mAh}{۱۰۰\,\mu A} = \frac{۱۰۰۰\,mAh}{۰/۱۰۰\,mA} = ۱/۰۰ \times ۱۰^{۴}\,h$$

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 (صفحهٔ ۵۸)

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

$$R = (\text{رقم اول})\,(\text{رقم دوم}) \times ۱۰^{(\text{رقم سوم})}$$

$$= (۴)(۷) \times ۱۰^{۲} = ۴۷۰۰\,\Omega$$

بنابراین، مقدار مقاومت نشان داده شده $۴/۷k\Omega$ و با تلرانس ۱۰ درصد است. یعنی مقدار مجاز انحراف $\frac{۱۰}{۱۰۰}(۴۷۰۰\,\Omega) = ۴۷۰\,\Omega$ می‌شود. به عبارتی، مقاومت می‌تواند $۴/۷k\Omega \pm ۰/۴۷۰k\Omega$ باشد.

فعالیت ۲-۳ (صفحهٔ ۵۹)

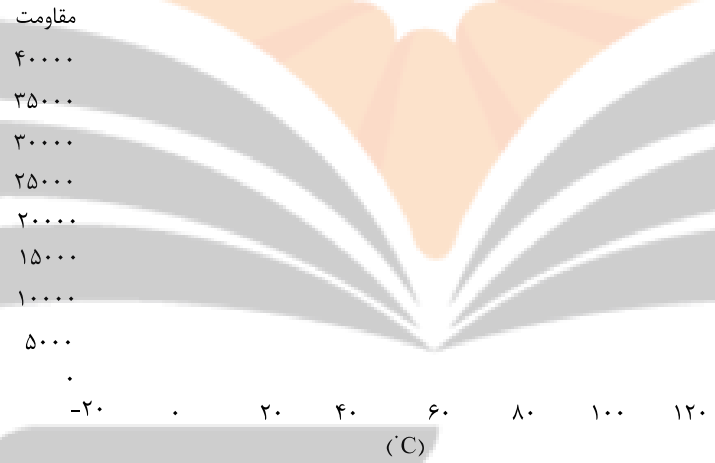
ترمیستورها بر دو نوع NTC[۱] و PTC[۲] هستند. NTCها از نیم‌رساناهای خالص مانند سیلیسیم یا ژرمانیم ساخته شده‌اند که همان‌طور که در مبحث تغییر مقاومت ویژه با دما دیدیم، با افزایش دما بر تعداد حامل‌های بار آن‌ها افزوده می‌گردد و بدین ترتیب از مقاومت آن‌ها کاسته می‌شود. به عبارت دیگر، ضریب دمایی مقاومت ویژه α یِ آن‌ها منفی است (شکل الف).

---

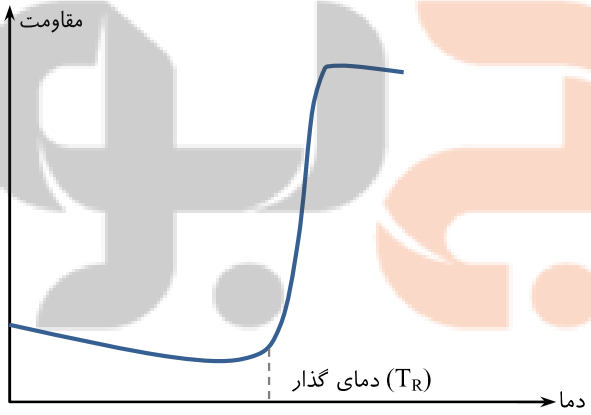
۱. NTC برگرفته از Negative Temperature Coefficient به معنای ضریب دمایی منفی.

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

PTCها خود بر دو نوع‌اند. 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 ویژهٔ آن‌ها مثبت است. نوع دیگر آن‌ها، رفتار ویژه‌ای دارد، به طوری که ضریب دمایی مقاومت ویژهٔ آن‌ها تا پیش از دمایی خاص موسوم به *دمای گذار* (با نماد T_R که به آن *نقطهٔ کوری*[۲] نیز می‌گویند) اندکی منفی است و پس از آن در یک محدودهٔ دمایی تغییر چشمگیری می‌کند و به‌شدت مثبت می‌گردد. به این نوع PTCها، *نوع تعویضی*[۳] گفته می‌شود؛ چرا که ضریب دمایی مقاومت ویژهٔ آن‌ها پس از نقطهٔ کوری تغییر چشمگیری پیدا می‌کند و از یک مقدار کمِ منفی به مقدار مثبت بالایی تعویض می‌شود (شکل ب). به عبارتی، یک تغییر دمای چند درجه‌ای به تغییر مقاومتی با چندین مرتبهٔ بزرگی می‌انجامد. این نوع PTCها اغلب در یک گسترهٔ دمایی ۶۰°C تا ۱۲۰°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 گسترهٔ 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

ترنج بوک
تلاشی در مسیر موفقیت

پرسش ۲-۱ (صفحهٔ ۶۱)

با بستن کلید، جریان در جهت نیروی محرکهٔ 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 ۲-۴ (صفحهٔ 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 ۲-۴ می‌توان مقاومت داخلی یک باتری را به دست آورد. نخست باید کلید قطع باشد و ولتاژ دو سر باتری که ولتاژ بیشینهٔ 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 ادامهٔ درس با مقاومت داخلی و قاعدهٔ 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 ۲-۶ پرداخته‌ایم.

فعالیت ۲-۵ (صفحهٔ ۶۲)

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

تمرین ۲-۳ (صفحهٔ ۶۵)

الف) اگر مدار را در خلاف جهت جریانِ نشان داده شده بپیماییم، با استفاده از قاعدهٔ حلقه داریم

$$-\mathcal{E} + IR + Ir = ۰$$

و از آنجا

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R+r} = \frac{۱۲V}{۴/۰\Omega+۲/۰\Omega} = ۲/۰A$$

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

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

و در نتیجه

$$V_b - V_a = \mathcal{E} - Ir$$
$$= ۱۲V - (۲/۰A)(۲/۰\Omega) = ۸V$$

تلاشی درمسیرموفقیت

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 (صفحهٔ 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 رابطهٔ ۲-۷ می‌توان مقاومت داخلی r را به صورت زیر نوشت:

$$r = \frac{\varepsilon - V}{I}$$

که V و I به ترتیب اختلاف پتانسیل دو سر باتری و جریان آن، پس از بستن کلید و ε اختلاف پتانسیل دو سر باتری پیش از بستن کلید است. مثلاً در یک مدار نوعی ممکن است $\varepsilon = ۱/۲۷V$ و $V = ۱/۱۳V$ به دست آید که تفاوت آن‌ها ۰/۱۴V است. حال اگر آمپرسنج مثلاً ۰/۰۶A را نشان دهد، مقاومت داخلی باتری ۲/۳Ω خواهد شد. یک محاسبه ریاضی با حذف I در رابطهٔ بالا، به رابطهٔ $r=(\frac{\varepsilon}{V}-۱)R$ 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 ε 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 مسئلهٔ ۲۰ پایان فصل مطرح شده است. از آنجا درخواهیم یافت، مقاومت داخلی باتری برابر است با نسبت نیروی محرکهٔ 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 رابطهٔ مفید دیگری نیز برای محاسبهٔ مقاومت داخلی r برسیم:

اختلاف پتانسیل

جریان

$$\varepsilon - Ir - IR = ۰ \implies \varepsilon = I(r + R)$$

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

فعالیت ۲-۷ (صفحهٔ 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 $P = I^۲R = \frac{V^۲}{R} = VI$ 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 اندازهٔ ΔT می‌شود. می‌دانیم گرمای Q با ΔT طبق رابطهٔ 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 C ظرفیت گرمایی است.

پس از آن‌که سیم گرمکنِ گرماسنج به حدّ 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 اعمال‌شده 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 $(mc_w + C_c)\Delta T$، 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 درخواهید یافت که مقادیر V و I 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 بگیرید 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.

آن‌گاه منبع تغذیه را روشن می‌کنیم و جریان را بین ۴/۰A تا ۵/۰A 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 اولیهٔ 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 زمان‌سنج را به کار می‌اندازیم. مقادیر اولیهٔ جریان و ولتاژ ($I_۱$ و $V_۱$) 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 اولیهٔ T_i) را برای هر مقدار اندازه‌گیری‌شدهٔ T محاسبه و یادداشت می‌کنیم. همچنین به ازای هر مقدار اندازه‌گیری‌شدهٔ T، مقدار Q را از رابطهٔ $Q = (m_w c_w + C_c)(T - T_i)$ محاسبه می‌کنیم. برای هر بار، ولتاژ V و جریان I و حاصلضرب VI را یادداشت می‌کنیم. سپس VI متوسط را از رابطهٔ زیر محاسبه می‌کنیم:

$$\overline{VI} = \frac{V_1 I_1 + V_2 I_2 + \cdots V_9 I_9}{9}$$

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

اکنون برای رسم نمودار $\overline{VI}t$ برحسب $(m_w c_w + C_c)\Delta T$ مقادیر به دست آمده از $(m_w c_w + C_c)(T - T_i)$ را روی محور افقی و مقادیر به‌دست آمده برای $\overline{VI}t$ را روی محور عمودی نشانه‌گذاری می‌کنیم و از تلاقی امتداد آن‌ها به نقاطی در صفحهٔ 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 *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 (صفحهٔ ۶۸)

الف) همان‌طور که در صورت فعالیت آمده است، باید از رابطهٔ ۲–۱۰ استفاده کنیم. از این رابطه $R=V^2/P_{\text{مصرفی}}$ دست می‌آید که این مقاومت الکتریکی در دمایی است که دستگاه (لامپ) به ولتاژ اسمی خود متصل شده است. در استفاده از اُهم‌سنج به دانش‌آموزان گوشزد کنید که هنگام استفاده از آن ابتدا سنجه 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 رابطهٔ ۲–۱۰ می‌رسند. مقاومت اندازه‌گیری‌شده حدود ۲۰Ω–۴۰Ω می‌شود، در حالی که همان‌طور که خواهید دید رابطهٔ ۲–۱۰ برای اندازهٔ مقاومت به عددی حدود ۵۰۰Ω می‌انجامد.

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

ب) مقاومت لامپ ۱۰۰ واتی روشن با استفاده از معادلهٔ ۲–۱۰ برابر است با

$$R = \frac{(۲۲۰V)^2}{۱۰۰W} = ۴۸۴\Omega$$

اکنون از رابطهٔ ۲–۴، دمای رشتهٔ لامپ را به‌دست می‌آوریم. در مثال ۲–۴ دیدیم که این معادله به رابطهٔ زیر می‌انجامد:

$$R = R_0[۱ + \alpha(T - T_0)]$$

از اینجا دمای T را محاسبه می‌کنیم:

$$T = T_0 + \frac{R - R_0}{\alpha R_0}$$
$$= ۲۰/۰^\circ C + \frac{(۴۸۴\Omega - ۴۰\Omega)}{(۴/۵ \times ۱۰^{-۳\circ} C^{-۱})(۴۰\Omega)}$$
$$= ۲/۵ \times ۱۰^۳ \,^\circ C$$

تلاشی در مسیر موفقیت

توجه کنید عدد $2500^{\circ}C$ صرفاً برآوردی برای دمای رشتهٔ لامپ است. همچنین توجه کنید که در محاسبهٔ دما فرض کردیم که اهم‌سنج، مقاومت لامپ خاموش را حدود 40Ω به دست می‌دهد، دمای اتاق را $T_0 = 20.0^{\circ}C$ گرفته‌ایم، و ضریب دمایی مقاومت α را نیز از جدول ۲-۱ قرار دادیم.

پرسش ۲-۲ (صفحهٔ ۶۸)

پاسخ این است که همهٔ لامپ‌های رشته‌ای (از جمله لامپ هالوژن) با اتلاف انرژی الکتریکی به صورت گرما، رشته (فیلامان) لامپ را گرم می‌کنند. بخشی از این انرژی به نور مرئی تبدیل می‌شود، اما بیشتر آن به صورت گرما تلف می‌گردد. اما در LEDها، بخش بزرگی از انرژی الکتریکی داده شده به حامل‌های بار، با حرکت دادن حامل‌های بار و عبور جریان از LED موجب گسیل نور توسط آن‌ها می‌شود. به عبارتی، بخش عمدهٔ انرژی الکتریکی داده شده موجب گسیل نور می‌شود و تنها مقدار ناچیزی از آن به صورت گرما تلف می‌گردد.

تمرین ۲-۴ (صفحهٔ ۷۰)

در یک مدار ساده شامل یک باتری آرمانی و مقاومت، قاعدهٔ حلقه به صورت $\mathcal{E} - IR = 0$ و یا $\mathcal{E} = IR$ درمی‌آید. حال اگر دو طرف این رابطه را در $I\Delta t$ ضرب کنیم به رابطهٔ $\mathcal{E}I\Delta t = I^2R\,\Delta t$ می‌رسیم. با توجه به اینکه $I\Delta t = \Delta q$ است و با استفاده از تعریف نیروی محرکهٔ 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 می‌دانیم که توان الکتریکی مصرفی در رسانایی با مقاومت R برابر RI^2 است. بنابراین طرف راست معادلهٔ بالا در واقع مقدار انرژی است که در مقاومت به انرژی گرمایی تبدیل شده است. پس رابطهٔ بالا چیزی جز پایستگی انرژی نیست و انرژی تأمین‌شده توسط باتری آرمانی به صورت انرژی گرمایی در مقاومت ظاهر شده است.

تمرین ۲-۵ (صفحهٔ ۷۱)

الف) مقاومت‌ها به طور متوالی بسته شده‌اند. بنابراین برای مقاومت معادل مقاومت‌های R_1 ، R_2 و R_3 داریم:

$$R_{123} = R_1 + R_2 + R_3$$
$$= 3.0\Omega + 6.0\Omega + R_3 = 13.0\Omega$$

در نتیجه $R_3 = 4.0\Omega$ می‌شود.

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

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R_{123}+r} = \frac{7.0V}{13.0\Omega+1.0\Omega}$$
$$= 0.50A$$

پ) گرچه در متن درس نشان دادیم، دوباره می‌خواهیم رابطهٔ ۲-۱۱ را به دست آوریم. از رابطهٔ $P=I\Delta V$ استفاده کنیم. از طرفی اختلاف پتانسیل دو سر یک باتری واقعی از رابطهٔ $\Delta V = \mathcal{E} - Ir$ به دست می‌آید. بنابراین برای توان خروجی باتری داریم:

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

که در اینجا چنین می‌شود:

$$P_{\text{خروجی}} = (7.0V)(0.50A) - (1.0\Omega)(0.50A)^2$$
$$= 3.25W$$

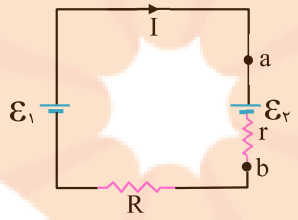
از طرفی برای توان‌های مصرفی در مقاومت‌های $R_۱$، $R_۲$ و $R_۳$ داریم

$$P_{\text{مصرفی}} = I^۲(R_۱ + R_۲ + R_۳) = I^۲R_{۱۲۳}$$

$$= (۰/۵۰A)^۲(۱۳/۰\Omega) = ۳/۲۵W$$

توجه کنید که در حل چنین مسائلی از گرد کردن و به‌کارگیری محاسبات رقم‌های بامعنا در نتیجهٔ 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 مداری برقرار نیست. مثلاً مدار شکل زیر را در نظر بگیرید که در آن $\varepsilon_۱ > \varepsilon_۲$ 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 رابطهٔ زیر به دست می‌آید:

$$\Delta V = \varepsilon_۲ + Ir$$

البته برای محاسبهٔ توان باتری ۲ باید $V_b - V_a$ را در نظر گرفت و بنابراین رابطهٔ $P = I\Delta V$ به $-I(\varepsilon_۲ + Ir)$ تبدیل می‌شود و قدر مطلق آن همان توان ورودی به باتری ۲ است:

$$P_{\text{ورودی}} = |P| = \varepsilon_۲ I + rI^۲$$

پرسش ۲–۳ (صفحهٔ ۷۲)

در نقطهٔ انشعاب نشان داده شده، جریان‌های $I_۱$، $I_۳$ و $I_۴$ وارد می‌شوند، در حالی که جریان $I_۲$ خارج می‌گردد. بنابراین

$$I_۱ + I_۳ + I_۴ = I_۲$$

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

$$I_۱ - I_۲ + I_۳ + I_۴ = ۰$$

فعالیت ۲–۹ (صفحهٔ ۷۳)

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

تمرین ۲–۶ (صفحهٔ ۷۴)

الف) توجه کنید $۱/۶\Omega$ مقاومت معادلِ مقاومت‌های $R_۱$، $R_۲$ و $R_۳$ است. این سه مقاومت به طور موازی بسته شده‌اند و برای مقاومت معادل آن‌ها داریم

$$\frac{۱}{R_{۱۲۳}} = \frac{۱}{R_۱} + \frac{۱}{R_۲} + \frac{۱}{R_۳}$$

$$\frac{۱}{۱/۶\Omega} = \frac{۱}{۳/۰\Omega} + \frac{۱}{۶/۰\Omega} + \frac{۱}{R_۳} = \frac{۱}{۲/۰\Omega} + \frac{۱}{R_۳}$$

از آنجا داریم

$$\frac{۱}{R_۳} = \frac{۱}{۱/۶\Omega} - \frac{۱}{۲/۰\Omega} = \frac{۲/۰\Omega - ۱/۶\Omega}{(۱/۶\Omega)(۲/۰\Omega)}$$
$$= \frac{۰/۴۰\Omega}{۳/۲\Omega^۲} = ۰/۱۲۵\Omega^{-۱}$$

و در نتیجه $R_۳ = ۸/۰\Omega$ می‌شود.

ب) مقاومت معادل مقاومت‌های $R_۱$، $R_۲$ و $R_۳$ با مقاومت r متوالی هستند و بنابراین مقاومت معادل کل مقاومت‌های مدار (که شامل مقاومت باتری نیز می‌شود) برابر است با

$$R_{eq} = R_{۱۲۳} + r = ۱/۶\Omega + ۱/۰\Omega = ۲/۶\Omega$$

بنابراین جریانی که آمپرسنج نشان می‌دهد برابر است با

$$I = \frac{\varepsilon}{R_{eq}} = \frac{۳/۰V}{۲/۶\Omega} \approx ۱/۲A$$

ولی توجه کنید در حل قسمت پ به جای I از کسر $\frac{۳/۰V}{۲/۶\Omega}$ استفاده خواهیم کرد، زیرا در چنین محاسباتی مجاز به گرد کردن داده‌ها نیستیم.

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

$$P_{\text{خروجی}} = \varepsilon I - rI^۲$$
$$= (۳/۰V)(\frac{۳/۰V}{۲/۶\Omega}) - (۱/۰\Omega)(\frac{۳/۰V}{۲/۶\Omega})^۲$$
$$= ۲/۱۳۰W$$

از طرفی، مجموع مقاومت‌های مصرفی در مقاومت‌ها برابر است با

$$P_{\text{مصرفی}} = \frac{V_۱^۲}{R_۱} + \frac{V_۲^۲}{R_۲} + \frac{V_۳^۲}{R_۳}$$

اما می‌دانیم ولتاژ مقاومت‌های موازی با هم برابر است. این ولتاژ برابر با حاصلضرب جریان عبوری از مدار در مقاومت معادل $R_{۱۲۳}$ است:

$$V_۱ = V_۲ = V_۳ = IR_{۱۲۳}$$

در نتیجه برای توان مصرفی داریم

$$P_{\text{مصرفی}} = (IR_{۱۲۳})^۲(\frac{۱}{R_۱} + \frac{۱}{R_۲} + \frac{۱}{R_۳}) = (IR_{۱۲۳})^۲(\frac{۱}{R_{۱۲۳}})$$
$$= I^۲R_{۱۲۳} = \left(\frac{۳/۰V}{۲/۶\Omega}\right)^۲ (۱/۶\Omega) = ۲/۱۳۰W$$

تمرین ۲–۷ (صفحهٔ ۷۶)

الف) مقاومت‌های $R_۱$ و $R_۲$ متوالی‌اند و مقاومت معادل آن‌ها را $R_{۱۲}$ می‌نامیم. همین‌طور مقاومت‌های $R_۴$ و $R_۵$ متوالی‌اند و مقاومت معادل آن‌ها را $R_{۴۵}$ می‌نامیم. پس اکنون مقاومت‌های $R_{۱۲}$، $R_۳$ و $R_{۴۵}$ موازی‌اند. بنابراین برای مقاومت کل مدار بین نقطه‌های F و H داریم:

$$\frac{۱}{R_{eq}} = \frac{۱}{R_{۱۲}} + \frac{۱}{R_۳} + \frac{۱}{R_{۴۵}}$$
$$= \frac{۱}{۸/۰۰\Omega + ۸/۰۰\Omega} + \frac{۱}{۸/۰۰\Omega} + \frac{۱}{۸/۰۰\Omega + ۸/۰۰\Omega}$$
$$= \frac{۲}{۸/۰۰\Omega} = ۰/۲۵۰\Omega^{-۱}$$

و در نتیجه

$$R_{eq} = \frac{۱}{۰/۲۵۰\Omega^{-۱}} = ۴/۰۰\Omega$$

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

$$R_{۱۲} = R + R = ۲R \quad \text{و} \quad R_{۳} = R \quad \text{و} \quad R_{۴۵} = R + R = ۲R$$

و از آنجا

$$\frac{۱}{R_{eq}} = \frac{۱}{۲R} + \frac{۱}{R} + \frac{۱}{۲R} = \frac{۴}{۲R} = \frac{۲}{R}$$

بنابراین $R_{eq} = R/۲ = ۴/۰۰\Omega$ می‌شود.

ب) اکنون مانند قسمت الف، $R_۱$ و $R_۲$ متوالی‌اند و مقاومت معادل آن‌ها نیز با $R_۴$ موازی است. ولی در اینجا مقاومت معادل این سه مقاومت با مقاومت $R_۵$ متوالی و مقاومت معادل کل آن‌ها با مقاومت $R_۴$ موازی است. بنابراین برای مقاومت معادل کل داریم:

$$\frac{۱}{R_{eq}} = \frac{۱}{R_۴} + \frac{۱}{R_{۱۲۳۵}} \quad (۱)$$

که در آن $R_{۱۲۳۵}$ خود برابر است با

$$R_{۱۲۳۵} = R_{۱۲۳} + R_۵ \quad (۲)$$

و $R_{۱۲۳}$ خود از رابطهٔ زیر به دست می‌آید:

$$\frac{۱}{R_{۱۲۳}} = \frac{۱}{R_{۱۲}} + \frac{۱}{R_۳} = \frac{۱}{۸/۰۰\Omega + ۸/۰۰\Omega} + \frac{۱}{۸/۰۰\Omega} = \frac{۳}{۱۶/۰\Omega}$$

در نتیجه

$$R_{۱۲۳} = \frac{۱۶/۰\Omega}{۳} = ۵/۳۳\Omega$$

اکنون با استفاده از رابطهٔ (۲) داریم:

$$R_{۱۲۳۵} = ۵/۳۳\Omega + ۸/۰\Omega = ۱۳/۳۳\Omega$$

که قرار دادن آن در رابطهٔ (۱)، چنین به‌دست می‌دهد:

$$\frac{۱}{R_{eq}} = \frac{۱}{۸/۰۰\Omega} + \frac{۱}{۱۳/۳۳\Omega} = ۰/۲۰۰\Omega^{-۱}$$

و در نتیجه R_{eq} چنین می‌شود:

$$R_{eq} = \frac{۱}{۰/۲۰۰\Omega^{-۱}} = ۵/۰۰\Omega$$

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:

$$R_{۱۲} = R + R = ۲R \quad \text{و} \quad \frac{۱}{R_{۱۲۳}} = \frac{۱}{۲R} + \frac{۱}{R} = \frac{۳}{۲R} \Rightarrow R_{۱۲۳} = \frac{۲R}{۳}$$

$$R_{۱۲۳۵} = \frac{۲R}{۳} + R = \frac{۵R}{۳}$$

در نتیجه

$$\frac{۱}{R_{eq}} = \frac{۱}{(۵R/۳)} + \frac{۱}{R} = \frac{۸}{۵R}$$

در نتیجه $R_{eq} = ۵R/۸$ و یا به عبارتی $R_{eq} = \frac{۵}{۸}(۸/۰۰\Omega) = ۵/۰۰\Omega$ می‌شود.

تلاشی درمسیر موفقیت

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 رابطهٔ $R = V/I$، جریان عبوری از لامپ را به دست می‌آوریم:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{۴/۰V}{۵/۰\Omega} = ۰/۸۰A$$

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

$$\Delta q = I(\Delta t) = (۰/۸۰A)(۵ \times ۶۰s)$$
$$= ۲۴۰C = ۲/۴ \times ۱۰^{۲}C$$

از آنجایی که $q = ne$ و $e = ۱/۶۰ \times ۱۰^{-۱۹}C$ است، تعداد الکترون عبوری از لامپ چنین می‌شود:

$$n = \frac{\Delta q}{e} = \frac{۲/۴\times۱۰^{۲}C}{۱/۶۰\times۱۰^{-۱۹}C/\text{الکترون}} = ۱/۵ \times ۱۰^{۲۱} \text{ الکترون}$$

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 احتمالا برق‌گرفتگی می‌شود. ، در حالی که در وضعیت شکل (ب)، جریان از طریق سیم اتصال زمین(که معمولا 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 رابطهٔ $\Delta U = q\Delta V$ داریم

$$q = \frac{\Delta U}{\Delta V} = \frac{۱/۰\times۱۰^{۹}J}{۵/۰\times۱۰^{۷}V} = ۲۰C$$

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

$$I = \frac{۲۰C}{۰/۲۰s} = ۱۰۰A = ۱/۰ \times ۱۰^{۲}A$$

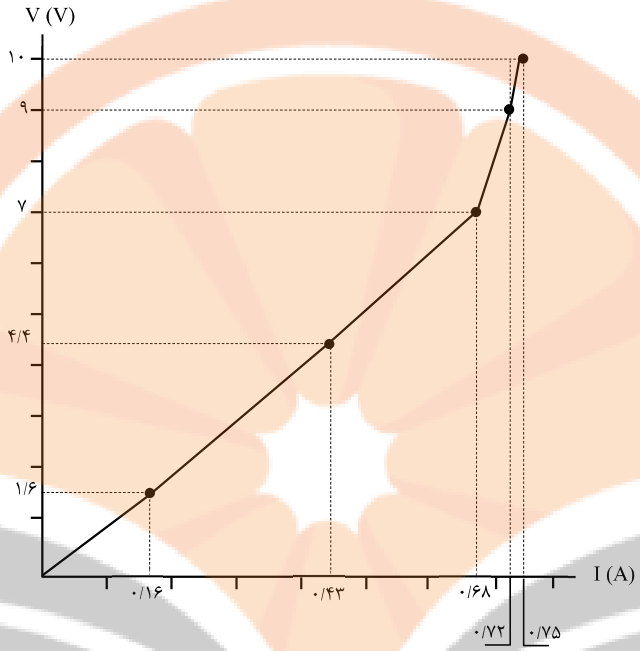
(پ) با توجه به اینکه $P = U/t$ است، برای توان الکتریکی آزاده شده داریم

$$P = \frac{۱/۰\times۱۰^{۹}J}{۰/۲۰s} = ۵/۰ \times ۱۰^{۹}W = ۵/۰GW$$

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

$$P = I\Delta V = (۱۰۰A)(۵/۰ \times ۱۰^{۷}V) = ۵/۰GW$$

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:



همان‌طور که می‌بینیم تا انتهای بازهٔ سوم تقریباً از قانون اهم پیروی می‌کند و از آن به بعد خیر.

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

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

$$R_A = \rho\frac{L}{\pi r_A^2} = \rho\frac{L}{\pi d_A^2/4} = \rho\frac{4\rho L}{\pi d_A^2}$$
$$= \frac{4\rho L}{\pi(1/0\,mm)^2}$$

و

$$R_B = \rho\frac{L}{\pi\Delta r_B^2} = \frac{\rho L}{\pi[(2/0\,mm)^2-(1/0\,mm)^2]}$$
$$= \frac{\rho L}{\pi(3/0\,mm^2)}$$

و از آنجا

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

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

الف) نخست مساحت مقطع A را محاسبه می‌کنیم:

$$A = \pi d^2/4 = \pi(8\times10^{-4}m)^2/4 = 5/03\times10^{-7}m^2$$

و در نتیجه

$$R = \rho\frac{L}{A} = (۱/۷ \times ۱۰^{-۸}\Omega.\,m)\frac{۳۰m}{۵/۰۳\times۱۰^{-۷}m^{۲}}$$
$$= ۱/۰\Omega$$

که با توجه به اینکه قطر با یک رقم بامعنا داده شده است باید پاسخ به صورت ۱Ω بیان شود.

ب) اکنون مساحت مقطع A چنین می‌شود:

$$A = \pi d^{۲}/۴ = \pi(۱۳ \times ۱۰^{-۴}m)۲/۴ = ۱/۳۲۷ \times ۱۰^{-۶}m^{۲}$$

و در نتیجه

$$R = \rho L/A = (۱/۶۹ \times ۱۰^{-۸}\Omega.\,m)\ \frac{(۷۰m)}{۱/۳۲۷\times۱۰^{-۶}m^{۲}}$$
$$= ۰/۹۰\Omega$$

۹. نخست رابطهٔ $R = R_{.}(۱ + \alpha\Delta T)$ را اثبات می‌کنیم. این رابطه در متن درس بدون اثبات آمده است. از رابطهٔ $R = \rho L/A$ داریم:

$$\frac{R}{R_{.}} = \frac{\rho L/A}{\rho_{.} L/A} = \frac{\rho}{\rho_{.}} = ۱ + \alpha\Delta T$$

از آنجا برای $R_{.}$ داریم:

$$R_{.} = \frac{R}{۱+\alpha\Delta T} = \frac{۴۴\Omega}{۱+(۴/۰\times۱۰^{-۴}\cdot C^{-۱})(۱۱۸۰\cdot C)}$$
$$= ۲۹/۸۹\Omega \approx ۳۰\Omega$$

که در آن برای ضریب دمایی مقاومت ویژهٔ 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 فاصلهٔ بین برخورد با میخ‌ها شتاب می‌گیرند. میخ‌ها مشابه یون‌های شبکهٔ 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 مداری 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 محرکهٔ مجموعهٔ باتری‌ها همان ۱۲V 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:

$$\mathcal{E} - Ir - IR = ۰$$

بنا به فرض، $\mathcal{E} - Ir = ۱۰/۹V$ است. از اینجا، با توجه به اینکه R را داریم، جریان عبوری I را به دست می‌آوریم:

$$۱۰/۹\ V - I\ (۱۰/۰\Omega) = ۰$$

و در نتیجه

$$I = ۱/۰۹\ A$$

تلاشی درمسیر موفقیت

حال با توجه به اینکه $\mathcal{E} = ۱۲/۰V$ است، داریم:

$$(۱۲/۰V) - (۱/۰۹A)r - (۱/۰۹A)\,(۱۰/۰\Omega) = ۰$$

از اینجا r چنین می‌شود:

$$r = \frac{۱۲/۰V}{۱/۰۹A} - ۱۰/۰\Omega = ۱/۰\Omega$$

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

$$V_A - IR_۱ + \mathcal{E}_۱ - Ir_۱ - IR_۴ - IR_۳ - Ir_۳ - \mathcal{E}_۳ - IR_۲ - \mathcal{E}_۲ = V_A$$
$$\Rightarrow -I(R_۱ + r_۱ + R_۴ + R_۳ + r_۳ + R_۲) + \mathcal{E}_۱ - \mathcal{E}_۲ - \mathcal{E}_۳ = ۰$$

و در نتیجه

$$I = \frac{\mathcal{E}_۱ - \mathcal{E}_۲ - \mathcal{E}_۳}{R_۱ + r_۱ + R_۴ + R_۳ + r_۳ + R_۲}$$
$$= \frac{۱۴V - ۲/۰V - ۴/۰V}{۴/۰\Omega + ۱/۰\Omega + ۲/۰\Omega + ۱/۵\Omega + ۰/۵۰\Omega + ۳/۰\Omega}$$
$$\approx ۰/۶۷A$$

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

$$V_A + \mathcal{E}_۲ + IR_۲ + \mathcal{E}_۳ + Ir_۳ = V_B$$

و از آنجا

$$V_B - V_A = \mathcal{E}_۲ + \mathcal{E}_۳ + I(R_۲ + r_۳)$$
$$= ۲/۰V + ۴/۰V + (۰/۶۷A)(۳/۰\Omega + ۰/۵۰\Omega)$$
$$\approx ۸/۳V$$

خوب است همین نتیجه را با پیمودن مسیر شاخهٔ پایینی نیز وارسی کنیم:

$$V_A - IR_۱ + \mathcal{E}_۱ - Ir_۱ - IR_۴ - IR_۳ = V_B$$

و از آنجا

$$V_B - V_A = -I(R_۱ + r_۱ + R_۴ + R_۳) + \mathcal{E}_۱$$
$$= -(۰/۶۷A)(۴/۰\Omega + ۱/۰\Omega + ۲/۰\Omega + ۱/۵\Omega) + ۱۴V$$
$$= ۸/۳V$$

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

$$V_A + \mathcal{E}_۱ - Ir_۱ - IR - Ir_۲ - \mathcal{E}_۲ = V_A$$

در نتیجه جریان I چنین می‌شود:

$$I = \frac{\mathcal{E}_۱ - \mathcal{E}_۲}{r_۱ + r_۲ + R} = \frac{۶/۰V - ۳/۰V}{۰/۵۰\Omega + ۱/۰\Omega + ۱/۵\Omega} = ۱/۰A$$

بنابراین، جهت جریان، واقعاً ساعتگرد است.

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

تلاش در مسیر موفقیت

$$V_A + \mathcal{E}_۱ - Ir_۱ = V_B \Rightarrow V_B - V_A = \mathcal{E}_۱ - Ir_۱$$

و در نتیجه

$$V_B - V_A = ۶/۰V - (۱/۰A)(۰/۵۰\Omega) = ۵/۵V$$

و برای منبع ۲

$$V_A + \mathcal{E}_۲ + r_۲I = V_E \Rightarrow V_E - V_A = \mathcal{E}_۲ + Ir_۲$$

و در نتیجه

$$V_E - V_A = ۳/۰V + (۱/۰A)(۱/۰\Omega) = ۴/۰V$$

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

$$V_A + \mathcal{E}_۱ - Ir_۱ - IR = V_E = ۰$$

در نتیجه

$$V_A = -I(r_۱ + R) - \mathcal{E}_۱ = (۱/۰A)(۰/۵۰\Omega + ۱/۵\Omega) - ۶/۰V = -۴/۰V$$

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

$$V_A + \mathcal{E}_۲ + Ir_۲ = V_E = ۰$$

و در نتیجه

$$V_A = -\mathcal{E}_۲ - Ir_۲ = -۳/۰V - (۱/۰A)(۱/۰\Omega) = -۴/۰V$$

۱۵. لامپ B پرنورتر خواهد بود. با توجه به اینکه ولتاژ هر دو لامپ یکسان است، توان مصرفی در هر لامپ با توجه به رابطهٔ $P_{\text{مصرفی}} = |VI|$ فقط به جریان عبوری از آن بستگی دارد. رشته (فیلامان) ضخیم‌تر، با توجه به رابطهٔ $R = \rho\frac{L}{A}$، مقاومت کمتری در برابر عبور جریان از خود نشان می‌دهد. بنابراین، لامپ B که رشتهٔ 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 رابطهٔ $P_{\text{مصرفی}} = |VI|$ برای توان مصرفی استفاده می‌کنیم. برای اتو داریم $P = ۸۵۰W$ و $V = ۲۲۰V$، و در نتیجه

$$|I| = \frac{P}{|V|} = \frac{۸۵۰W}{۲۲۰V} = ۳/۸۶A$$

و برای کتری $P = ۲۴۰۰W$ و $V = ۲۲۰V$ داده شده است و در نتیجه

$$|I| = \frac{P}{|V|} = \frac{۲۴۰۰W}{۲۲۰V} = ۱۰/۹A$$

ب) می‌توانیم از رابطه‌های $P = I^۲R$ و $P = V^۲/R$ استفاده کنیم. چون مقادیر جریان را گرد کرده‌ایم، بهتر است از رابطهٔ $P = V^۲/R$ استفاده کنیم. به ترتیب برای اتو و کتری داریم:

$$R_{\text{اتو}} = \frac{V^۲}{P} = \frac{(۲۲۰V)^۲}{۸۵۰W} = ۵۶/۹\Omega$$

$$R_{\text{کتری}} = \frac{V^۲}{P} = \frac{(۲۲۰V)^۲}{۲۴۰۰W} = ۲۰/۲\Omega$$

۱۷. با استفاده از رابطهٔ $R = R_۰[۱ + \alpha(T - T_۰)]$، دمای T را محاسبه می‌کنیم:

$$T = T_۰ + \frac{R - R_۰}{\alpha R_۰}$$

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

$$R = \frac{V}{I} = \frac{۲/۹V}{۰/۳۰A} = ۹/۶۷\Omega \approx ۹/۷\Omega$$

حال با توجه به اینکه $R_{۰} = ۱/۱\Omega$ ، $T_{۰} = ۲۰^{\circ}C$ و ضریب دمایی مقاومت ویژهٔ تنگستن برابر $۴/۵ \times ۱۰^{-۳\,^{\circ}C^{-۱}}$ است، برای دمای رشتهٔ لامپ خواهیم داشت:

$$T = ۲۰^{\circ}C + \frac{۹/۶۷\Omega - ۱/۱\Omega}{(۴/۵ \times ۱۰^{-۳\,^{\circ}C^{-۱}})(۱/۱\Omega)}$$

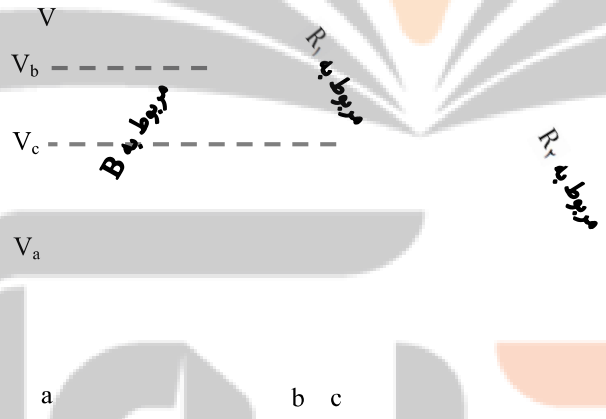
$$= ۱/۷۵ \times ۱۰^{۳\,^{\circ}C} \approx ۱/۸ \times ۱۰^{۳\,^{\circ}C}$$

که معادل مقدار قابل توجه $۱۸۰۰\ ^{\circ}C$ است.

۱۸. الف) چون جریان به طور پادساعتگرد حرکت می‌کند، قطب منفی، پایانهٔ سمت چپ و قطب مثبت، پایانهٔ سمت راست جعبهٔ B است. به عبارتی، نیروی محرکهٔ الکتریکی که آن را در بسیاری از کتاب‌ها با پیکانه‌ای مشخص می‌کنند، از سمت چپ به سمت راست خواهد بود.

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

پ) می‌دانیم اگر از مقاومت R هم‌سو با جریان I عبور کنیم، پتانسیل به اندازهٔ IR کم می‌شود. در عبور از مقاومت $R_{۱}$ درمی‌یابیم $V_c<V_b$ و در عبور از مقاومت $R_{۲}$ درمی‌یابیم $V_a<V_c$ 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 رابطهٔ $U = qV$ و مثبت بودن بار q، انرژی پتانسیل الکتریکی متناسب با پتانسیل الکتریکی است. بنابراین داریم:

$$U_b > U_c > U_a$$

۱۹. الف) از رابطهٔ $U = Pt$ استفاده می‌کنیم. توان‌های مصرفی، بستگی به نوع لامپ یا تلویزیون دارد. لامپ‌های رشته‌ای قدیمی معمولاً ۱۰۰W هستند، در حالی که لامپ‌های کم‌مصرف توان مصرفی کمتری دارند. همچنین تلویزیون‌های لامپی قدیمی توان مصرفی بیشتری از تلویزیون‌های جدید دارند. برای همین، در اینجا صرفاً برای یک لامپ ۱۰۰W مسئله را حل می‌کنیم تا روش حل چنین مسائلی را دریابید. (در این حل فرض کرده‌ایم ۸ ساعت که در صورت مسئله آمده، دقیق و بدون خطاست.)

$$U = Pt = (۱۰۰W)(۳۰\ \text{روز})\left(۸\frac{\text{ساعت}}{\text{روز}}\right) = ۲۴۰۰۰Wh$$

$$= ۲۴kWh$$

ب) بهای برق مصرفی چنین می‌شود:

$$\text{بها} = (۲۴kWh)\left(۵۰\frac{\text{تومان}}{kWh}\right) = ۱۲۰۰\ \text{تومان}$$

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:

$$U = (۱۰۰W)(۳۰\ \text{روز})\left(۳\frac{\text{ساعت}}{\text{روز}}\right) = (۲/۵ \times ۱۰^{۶})$$

$$= ۲/۲۵ \times ۱۰^{۱۰}Wh = ۲/۲۵ \times ۱۰^{۷}kWh$$

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

$$\varepsilon - Ir = P/I$$

در نتیجه می‌توانیم دستگاه معادلات زیر را تشکیل دهیم:

$$\begin{cases} \varepsilon - I_۱ r = P_۱/I_۱ \\ \varepsilon - I_۲ r = P_۲/I_۲ \end{cases}$$

از آنجا مقاومت داخلی r را به دست می‌آوریم:

$$r = \frac{P_۱/I_۱ - P_۲/I_۲}{I_۲ - I_۱} = \frac{\frac{۹/۵۰W}{۵/۰۰A} - \frac{۱۲/۶W}{۷/۰۰A}}{۷/۰۰A - ۵/۰۰A}$$

$$= ۵/۰۰ \times ۱۰^{-۲}\Omega$$

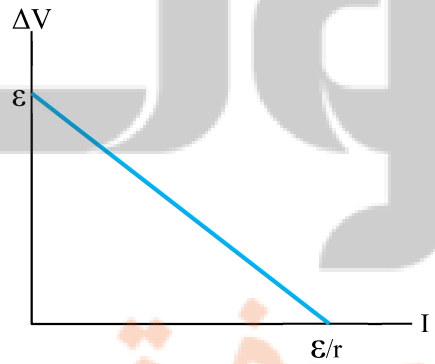
و اکنون با دانستن r، نیروی محرکهٔ الکتریکی منبع، چنین می‌شود:

$$\varepsilon = I_۱ r + \frac{P_۱}{I_۱}$$

$$= (۵/۰۰A)\,(۵/۰۰ \times ۱۰^{-۲}\Omega) + \frac{۹/۵۰W}{۵/۰۰A}$$

$$= ۲/۱۵V$$

ب) به این پرسش، بیشتر در فعالیت ۲-۶ نیز پرداختیم. اختلاف پتانسیل دو سر منبع نیروی محرکهٔ الکتریکی از رابطهٔ $\Delta V = \varepsilon - Ir$ به‌دست 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 برحسب 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 کلّ مدار و خاموش شدن همهٔ لامپ‌ها می‌شود. به همین دلیل است که چراغ‌های خودرو به طور موازی بسته می‌شود تا با سوختن یک لامپ، همهٔ 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 همهٔ 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 آن‌که 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 $۲A + ۲A + ۳A + ۴A = ۱۱A$ و مجموع جریان‌های خروجی برابر $۲A + ۱A = ۳A$ است. بنابراین، بزرگی جریان I در سیم پایین برابر با $۱۱A - ۳A = ۸A$ 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 رابطهٔ $I = \mathcal{E}/(R + r)$ زیاد می‌شود. از طرفی، طبق رابطهٔ $V = \mathcal{E} - Ir$ 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 رابطهٔ $P_{\text{مصرفی}} = V^۲/R$ به دست می‌آوریم. اکنون کافی است مقاومت معادل را در دو حالت متوالی و موازی مقایسه کنیم. در حالت متوالی $R'_{eq} = ۲R$ و در حالت موازی $R_{eq} = R/۲$ می‌شود. بنابراین داریم:

$$\frac{P_{\text{موازی}}}{P_{\text{متوالی}}} = \frac{V^۲/R_{eq}}{V^۲/R'_{eq}} = \frac{R'_{eq}}{R_{eq}} = \frac{۲R}{R/۲}$$

$$= ۴$$

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 نقطهٔ A به طور ساعتگرد دور بزنیم، خواهیم داشت:

$$V_A - IR_۱ + \mathcal{E}_۲ - Ir_۲ - IR_۲ - Ir_۱ - \mathcal{E}_۱ = V_A$$

از اینجا $\mathcal{E}_۲$ را محاسبه می‌کنیم:

$$\mathcal{E}_۲ = IR_۱ + Ir_۲ + IR_۲ + Ir_۱ + \mathcal{E}_۱$$
$$= I(R_۱ + r_۲ + R_۲ + r_۱) + \mathcal{E}_۱$$
$$= (۱/۲A)\,(۲/۰\Omega + ۰/۵۰\Omega + ۱/۵\Omega + ۱/۰\Omega) + ۱۲V = ۱۸V$$

برای محاسبهٔ $V_A - V_B$، مسیر $A \to B$ را در شاخهٔ بالا در جهت جریان طی می‌کنیم:

$$V_A - IR_۱ + \mathcal{E}_۲ - Ir_۲ - IR_۲ = V_B$$

در نتیجه

$$V_A - V_B = I(R_۱ + r_۲ + R_۲) - \mathcal{E}_۲$$
$$= (۱/۲A)\,(۲/۰\Omega + ۰/۵۰\Omega + ۱/۵\Omega) - ۱۸V$$
$$= -۱۳/۲V$$

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

$$V_A + \mathcal{E}_۱ + Ir_۱ = V_B$$

و در نتیجه

$$V_A - V_B = -\mathcal{E}_۱ - Ir_۱ = -۱۲V - (۱/۲A)(۱/۰\Omega) = -۱۳/۲V$$

ب) انرژی مصرف‌شده در هریک از مقاومت‌های $R_۱$ و $R_۲$ را می‌توانیم با استفاده از معادلهٔ ۲-۹ به دست آوریم. با توجه بـه اینکـه $U=Pt$ است، داریم:

$$U = Pt = (RI^۲)t$$

بنابراین

$$U_۱ = (R_۱)(I)^۲(t) = (۲/۰\Omega)(۱/۲A)^۲(۵/۰s) = ۱۴/۴J \approx ۱۴J$$
$$U_۲ = (R_۲)(I)^۲(t) = (۱/۵\Omega)(۱/۲A)^۲(۵/۰s) = ۱۰/۸J \approx ۱۱J$$

و مجموع این دو انرژی $U = U_۱ + U_۲ = ۲۵/۲J \approx ۲۵J$ می‌شود.

۲۸. در حالت متوالی می‌دانیم جریان عبوری از همهٔ مقاومت‌ها یکسان است. از طرفی، مقاومت معادل برابر است با

$$R_{eq} = ۳R_۱ = ۳(۱۲\Omega) = ۳۶\Omega$$

و در نتیجه جریان عبوری از همهٔ مقاومت‌ها چنین می‌شود:

$$I = \frac{V}{R_{eq}} = \frac{۱۲V}{۳۶\Omega} = ۰/۳۳A$$

در حالت موازی، چون مقاومت‌ها یکسان‌اند، مقاومت معادل برابر است با

$$R_{eq} = \frac{R_۱}{۳} = \frac{۱۲\Omega}{۳} = ۴/۰\Omega$$

اکنون می‌توانیم جریان کل را به دست آوریم:

$$I_t = \frac{V}{R_{eq}} = \frac{۱۲V}{۴/۰\Omega} = ۳/۰A$$

این جریان، در هر سه شاخهٔ موازی به طور مساوی تقسیم می‌شود. بنابراین جریان عبوری از هر مقاومت $۱/۰A$ می‌شود.

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

$$I_t = I_۲ = I_۳ = \frac{V}{R} = \frac{۱۲V}{۱۲\Omega} = ۱/۰A$$

۲۹. توان مصرفی را از رابطهٔ $P_{\text{مصرفی}} = V^۲/R$ به دست می‌آوریم که در آن V اختلاف پتانسیل است. پس کافی اسـت اخـتلاف پتانسیل دو سر مقاومت $۶/۰\ \Omega$ را محاسبه کنیم. به این منظور، شکل مسئله را چنین رسم می‌کنیم:

تلاشی درمسیر موفقیت

برای محاسبهٔ اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت $۶/۰\ \Omega$ باید نخست جریان کل را محاسبه کنیم. برای محاسبهٔ جریان کل، به مقاومت معادل نیاز داریم:

$$R_{eq} = R_۱ + R_{۲۳} = R_۱ + \frac{R_۲R_۳}{R_۲+R_۳}$$
$$= ۲/۰\Omega + \frac{(۶/۰\Omega)(۱۲\Omega)}{(۶/۰\Omega+۱۲\Omega)} = ۲/۰\Omega + ۴/۰\Omega$$
$$= ۶/۰\Omega$$

و در نتیجه

$$I = \frac{V}{R_{eq}} = \frac{۳۶V}{۶/۰\Omega} = ۶/۰A$$

اکنون می‌توانیم اختلاف پتانسیل دو سر $R_{۲۳}$ را، که همان اختلاف پتانسیل دو سر $R_۲$ است، به دست آوریم:

$$V_۲ = V_{۲۳} = I_tR_{۲۳} = (۶/۰A)(۴/۰\Omega)$$
$$= ۲۴V$$

حال می‌توانیم توان مصرفی در مقاومت $۶/۰\Omega$ را به دست آوریم:

$$P_{\text{مصرفی}} = \frac{V_{۲۳}^۲}{R_۲} = \frac{(۲۴V)^۲}{۶/۰\Omega} = ۹۶W$$

۳۰. مقاومت $۴/۰\Omega$ را با $R_۱$ ، مقاومت $۳/۰\Omega$ را با $R_۲$ و مقاومت $۶/۰\Omega$ را با $R_۳$ نمایش می‌دهیم. نخست، مقاومت معادل این مجموعه را به دست می‌آوریم. توجه کنید که مقاومت‌های $R_۲$ و $R_۳$ با هم موازی و مقاومت معادل آن‌ها با مقاومت $R_۱$ متوالی است. بنابراین داریم:

$$R_{eq} = \frac{R_۲R_۳}{R_۲+R_۳} + R_۱$$
$$= \frac{(۳/۰\Omega)(۶/۰\Omega)}{۳/۰\Omega+۶/۰\Omega} + ۴/۰\Omega$$
$$= ۲/۰\Omega + ۴/۰\Omega = ۶/۰\Omega$$

از اینجا می‌توان جریان کل را به دست آورد که همان جریان $I_۱$ نیز هست:

$$I_۱ = \frac{۱۸V}{۶/۰\Omega} = ۳/۰A$$

و از طرفی، از قاعدهٔ انشعاب جریان‌ها داریم:

$$I_۱ = I_۲ + I_۳ = ۳/۰A \quad (۱)$$

همچنین دیدیم که مقاومت‌های $R_۲$ و $R_۳$ موازی‌اند و بنابراین اختلاف پتانسیل دو سر آن‌ها با هم برابر است:

$$I_۲R_۲ = I_۳R_۳$$

و یا

$$I_۲ = I_۳(\frac{R_۳}{R_۲}) = ۲I_۳ \quad (۲)$$

تلاشی در مسیر موفقیت

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

$$۲I_۳ + I_۳ = ۳I_۳ = ۳/۰A$$

بنابراین $I_۳ = ۱/۰A$ و در نتیجه $I_۲ = ۲/۰A$ است.

۳۱. اگر توجه کنید درمی‌یابید تمام مقاومت‌های $۴/۰\Omega$ با هم موازی‌اند. بنابراین، عملاً چنین مداری داریم:

پس مقاومت معادل مدار چنین می‌شود:

$$R_{eq} = \frac{۲}{۳}\Omega + ۲\Omega + ۲\Omega = \frac{۱۴}{۳}\Omega$$

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

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R_{eq}} = \frac{۱۴V}{\frac{۱۴}{۳}\Omega} = ۳/۰A$$

اکنون برای محاسبهٔ جریان مقاومت‌های $۴/۰\Omega$، گام به گام می‌رویم. توجه کنید که این جریان $۳/۰A$ از سه مقاومت موازی $۴/۰\Omega$ می‌گذرد و مثلاً شکلی مانند شکل زیر داریم:

I I'

I'

I'

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

$$I = ۳I' \Rightarrow I' = \frac{I}{۳}$$

خود این $I' = \frac{I}{۳}$ از مقاومت‌های موازی $۴/۰\Omega$ می‌گذرد؛ مثلاً شکلی مثل زیر داریم:

I''

I'

I''

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

$$I'' = \frac{I'}{۲} = \frac{I}{۶} = \frac{۳/۰A}{۶} = ۰/۵۰A$$

۳۲. چون همهٔ لامپ‌ها از هر لحاظ یکسان هستند، پیش از بستن کلید، اختلاف پتانسیل دو سر همه یکسان و برابر با ε /۳ است ، که ε نیروی محرکهٔ باتری است:

$$V_{۱A} = V_{۱B} = V_{۱C} = \frac{\varepsilon}{۳}$$

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

$$V_{۲A} = V_{۲B} = \frac{\varepsilon}{۲}$$

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

$$\frac{V_{۲A}}{V_{۱A}} = \frac{V_{۲B}}{V_{۱B}} = \frac{\varepsilon/۲}{\varepsilon/۳} = ۱/۵$$

اکنون اگر به گزینه‌های مسئله نگاه کنیم درمی‌یابیم گزینه‌های پ و ت درست هستند. گزینهٔ پ از آن رو درست است که در بالا نشان دادیم $V_{۲A} = ۱/۵V_{۱A}$ و $V_{۲B} = ۱/۵V_B$ می‌شود که این به معنی افزایش ۵۰٪ اختلاف پتانسیل دو سرشان است. گزینهٔ 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 به‌راحتی با استفاده از رابطهٔ $P = V^۲/R$ به دست آورد:

$$R_{\text{اتو}} = \frac{V^۲}{P_{\text{اتو}}} = \frac{(۲۲۰V)^۲}{۱۱۰۰W} = ۴۴/۰\Omega$$

$$R_{\text{توستر}} = \frac{V^۲}{P_{\text{توستر}}} = \frac{(۲۲۰V)^۲}{۱۸۰۰W} = ۲۶/۹\Omega$$

$$R_{\text{لامپ‌ها}} = \frac{V^۲}{P_{\text{لامپ‌ها}}} = \frac{(۲۲۰V)^۲}{۵(۱۰۰W)} = ۹۶/۸\Omega$$

$$R_{\text{بخاری}} = \frac{V^۲}{P_{\text{بخاری}}} = \frac{(۲۲۰V)^۲}{۱۱۰۰W} = ۴۴/۰\Omega$$

از طرفی داریم $I = V/R_{eq}$ که $۱/R_{eq}$ از رابطهٔ زیر به دست می‌آید:

$$\frac{۱}{R_{eq}} = \frac{۱}{R_{\text{اتو}}} + \frac{۱}{R_{\text{توستر}}} + \frac{۱}{R_{\text{لامپ}}} + \frac{۱}{R_{\text{بخاری}}}$$

$$= \frac{۱}{۴۴/۰\Omega} + \frac{۱}{۲۶/۹\Omega} + \frac{۱}{۹۶/۸\Omega} + \frac{۱}{۴۴/۰\Omega}$$

$$= ۹/۳۰ \times ۱۰^{-۲}\Omega^{-۱}$$

تلاشی درمسیر موفقیت

بنابراین جریان عبوری از مقاومت چنین می‌شود:

$$I = \frac{V}{R_{eq}} = V(\frac{۱}{R_{eq}})$$
$$= (۲۲۰V)(۹/۳۰ \times ۱۰^{-۲}\Omega^{-۱})$$
$$= ۲۰/۴۶A = ۲۰/۵A$$

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

ترنج بوک
تلاشی درمسیر موفقیت

فصل سوم

مغناطیس

ترنج بوک
تلاشی در مسیر موفقیت

هدف‌های فصل

- آشنایی با مفهوم خاصیت مغناطیسی و میدان مغناطیسی، رسم و تعیین جهت خطوط میدان مغناطیسی
- آشنایی با مفهوم میدان مغناطیسی در اطراف کرهٔ زمین و پدیده‌های مربوط به آن.
- تعریف میدان مغناطیسی با استفاده از نیروی وارد بر ذرهٔ 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 سیم‌لوله و حل مسئله‌های مربوط به پیچه و سیم‌لوله
- آشنایی با نیروی بین سیم‌های موازی حامل جریان و تعیین جهت آن
- بررسی خاصیت مغناطیسی مواد و طبقه‌بندی و شناخت کاربردهای آن

۳

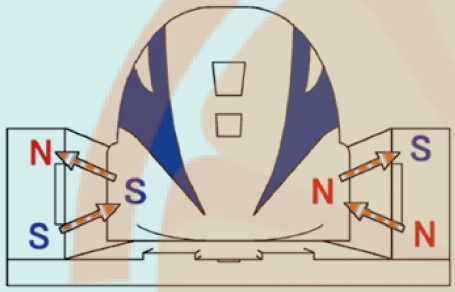
مغناطیس

دانستنی برای معلم

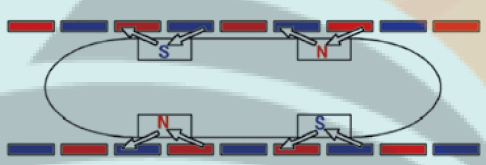
قطارهای مغناطیسی

قطارهای مغناطیسی که به اختصار به آنها Maglev می‌گویند (megnetic levitation) وسایل حمل‌ونقل 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 هدایت‌کنندهٔ قطار قرار گرفته‌اند. این نیرو قطار را بین ۱ تا ۱۰ سانتی‌متر 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



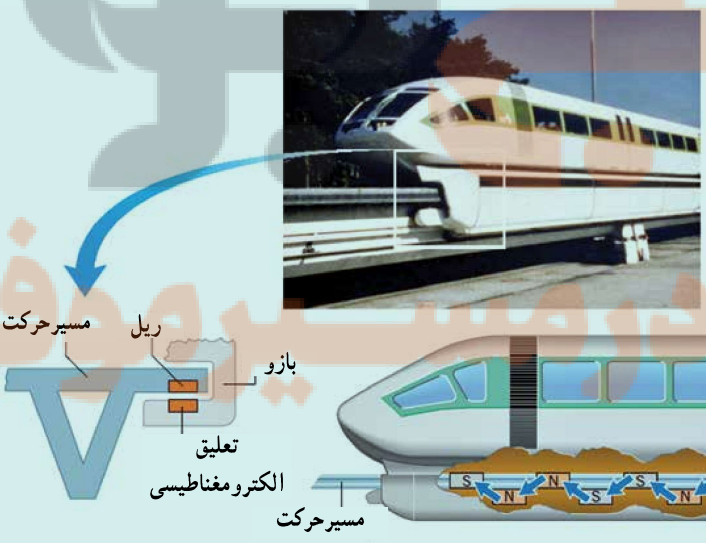
ب

هم باعث ثبات و هم هدایت قطار در طول سفر می‌شوند. جریان برقراری در سیم‌لوله‌های موجود در دیوارهٔ دالان راهبر قابل تغییر است. وقتی هم‌قدرت و هم‌جهت میدان آهنرباهای الکتریکی قابل تغییر باشد هم بتوانند به‌عنوان جلوبر عمل کنند و هم به‌عنوان 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 به‌سوی عقب پیدا می‌کرد 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 ۵۰۰ km/h حرکت کنند.

در نوع آلمانی که سرعتی در حدود ۴۰۰ 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 ۱cm 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 به‌صورت 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، روندی 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 مغناطیسی به شیوه‌های سنتی شده‌است، با وجود این، ذخیرهٔ اطلاعات به‌صورت صفر و یک، هنوز هم در بیشتر روش‌ها به محیط‌های مغناطیسی وابسته است.

مغناطیس و آهنرباها همچنین در بلندگوها، گوشی‌های تلفن همراه، رایانه‌ها، کارت‌های بانکی، موتورهای الکتریکی، بخچال‌ها، و اغلب سامانه‌های هشدار و ایمنی کاربرد دارد. پزشکی امروز نیز در تشخیص بیماری‌ها به کمک دستگاه‌هایی از قبیل ام‌آرآی (MRI)، بهرهٔ فراوانی از مغناطیس و آثار آن می‌برد.

۳ــ۱ مغناطیس و قطب‌های مغناطیسی

آثار مغناطیسی دست‌کم ۲۵۰۰ سال پیش در تکه‌هایی 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 ۳ــ۱). چینی‌های باستان نیز با ویژگی‌های مغناطیسی برخی از سنگ‌های آهنربایی آشنایی داشتند و از آنها در ساخت قطب‌نما برای جهت‌یابی استفاده می‌کردند (شکل ۳ــ۲).

در علوم هشتم دیدید که هرگاه آهنربایی 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 ۳ــ۳).

پرسش ۳ــ۱

فرض کنید دو میلهٔ 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 وسیلهٔ دیگر، بتوان میله‌ای را که از جنس آهنرباست مشخص 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 ۳ــ۴). اگر این سوزن را به آرامی روی سطح آب درون ظرفی شناور کنیم، با آن را توسط ریسمانی از وسط آن بیاویزیم 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 گواه تجربی بر وجود تک قطبی مغناطیسی وجود ندارد؛ قطب‌های مغناطیسی همواره به‌صورت زوج ظاهر می‌شوند.

۸۲

شکل ۳ــ۱ سنگ آهنربای طبیعی. تالس که اغلب از او به عنوان پدر علم یونان یاد می‌شود، حدود ۶۰۰ پ.م. را که ویژگی آهنربایی دارد می‌شناخت.

شکل ۳ــ۲ از گذشته‌های دور، برای جهت‌یابی در دریانوردی از قطب‌نما استفاده می‌شده است.

شکل ۳ــ۳ در آهنربا، در ناحیه ویژه دارد که خاصیت مغناطیسی در آنجا بسیار بیشتر از قسمت‌های دیگر است.

شکل ۳ــ۴ وقتی یکی از قطب‌های یک آهنربای دائمی را چندین بار و در یک جهت به یک سوزن ته‌گرد بکشید، سوزن برای مدتی دارای خاصیت مغناطیسی می‌شود.

توجه

در شکل ۳ــ۴ 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 ۳ــ۲

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

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

۳ــ۲ میدان مغناطیسی

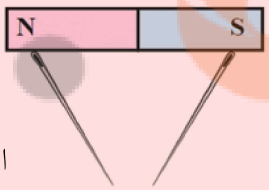
راهنمای تدریس : از آنجا که دانش‌آموزان در فصل اوّل به اندازهٔ کافی با مفهوم میدان الکتریکی و خطوط وابسته به آنها آشنا شده‌اند این بخش را با مشابهت‌سازی می‌توانید دنبال کنید.

پرسش پیشنهادی

نیروی مغناطیسی وارد بر عقربه مغناطیسی از طرف زمین، بزرگ‌تر، کوچک‌تر یا مساوی با نیروی مغناطیسی‌ای است که از طرف عقربهٔ مغناطیسی بر زمین وارد می‌شود؟

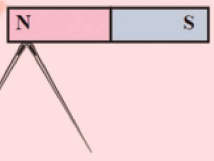
جواب : مساوی است.

پرسش پیشنهادی : الف) بگویید که چرا دو سوزن که به دو سر یک آهنربا آویزان باشند به یکدیگر متمایل می‌شوند؟



الف

ب) چرا انتهای دو سوزن که به یک قطب یک آهنربا آویزان باشند، یکدیگر را دفع می‌کنند؟

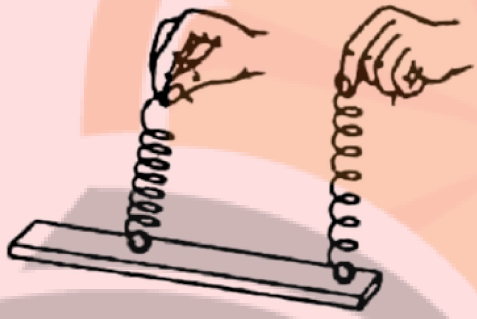


ب

پاسخ : الف) در اثر خاصیت القای مغناطیسی دو سر سوزن‌ها، قطب‌های مخالف می‌شوند و به طرف یکدیگر می‌آیند.

ب) دو انتهای سوزن‌ها قطب‌های همنام شده و یکدیگر را دفع می‌کنند.

فعالیت پیشنهادی

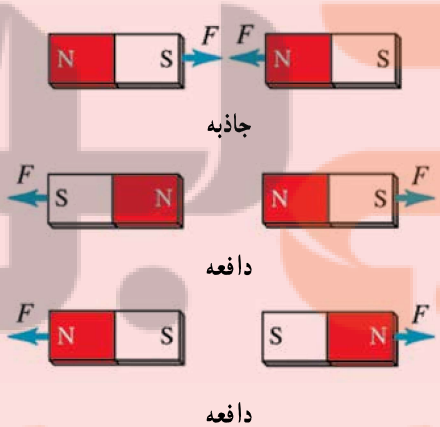


یک گوی آهنی را به یک طرف فنر مارپیچی وصل کنید. این گوی را به نقطه‌ای از سطح یک آهنربا تماس دهید و سپس با کشیدن فنر آن را جدا کنید. افزایش طول فنر به هنگام جدا کردن نشانهٔ نیروی لازم برای غلبه بر نیروی جاذبهٔ وارد بر گوی در نقطهٔ تماس با آهنربا است. گوی را در نقطه‌های دیگر (مثلاً در وسط آهنربا) قرار دهید مشاهده‌های 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 به‌صورت یک نقشهٔ مفهومی بنویسید.

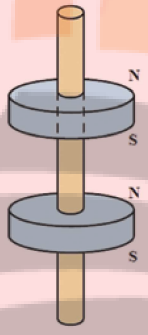


فعالیت پیشنهادی

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 به‌صورت افقی بگیرید چرا با حرکت دادن یکی از آهنرباها خواهید دید که بقیه آنها هم جابه‌جا می‌شوند؟

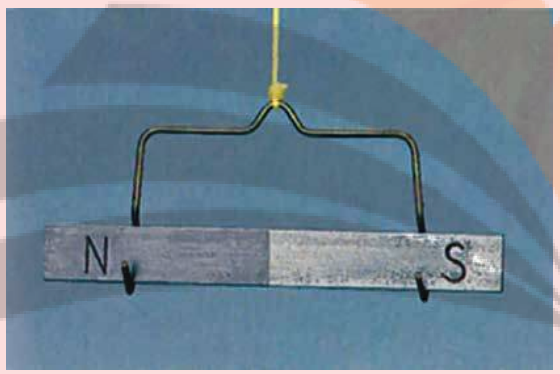
پاسخ : به دلیل نیروی دافعهٔ مغناطیسی بین قطب‌های همنام آهنرباها.

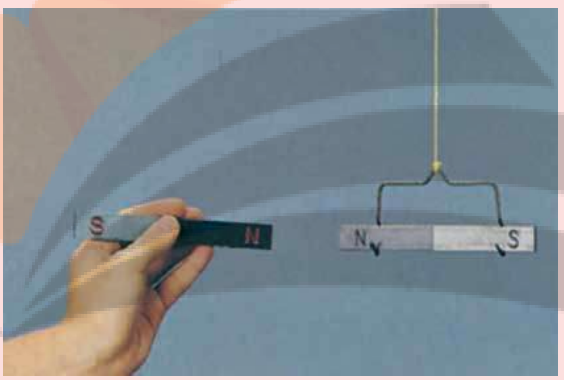
تلاشی درمسیر موفقیت

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 حالتِ 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 مقایسهٔ آنها

الف) مطابق شکل فنری را از یک طرف آویزان کنید. طول آن را اندازه بگیرید.

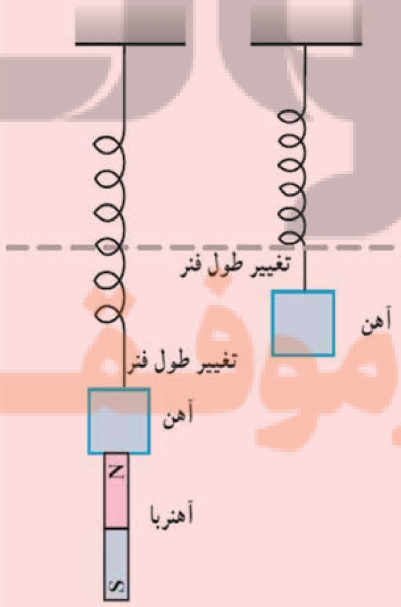
ب) قطعه‌ای آهنی را به انتهای آن بیاویزید و تغییر طول فنر را اندازه بگیرید.

پ) چه عاملی باعث تغییر طول فنر می‌شود؟

ت) یک آهنربای میله‌ای را از زیر، به تدریج به قطعهٔ آهنِ آویخته به فنر، نزدیک کنید. مشاهدات خود را بیان کنید.

ث) آهنربا را در دورترین فاصله‌ای قرار دهید که منجر به جذب قطعهٔ 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 قطعهٔ آهنی وارد می‌شود.

ت) آهن به تدریج پایین کشیده می‌شود و جذب آهنربا می‌گردد، افزایش طول فنر را مشاهده می‌کنیم.

ج) نیروی مغناطیسی که علاوه‌بر نیروی گرانشی بر قطعهٔ آهنی وارد می‌شود.

فعالیت پیشنهادی

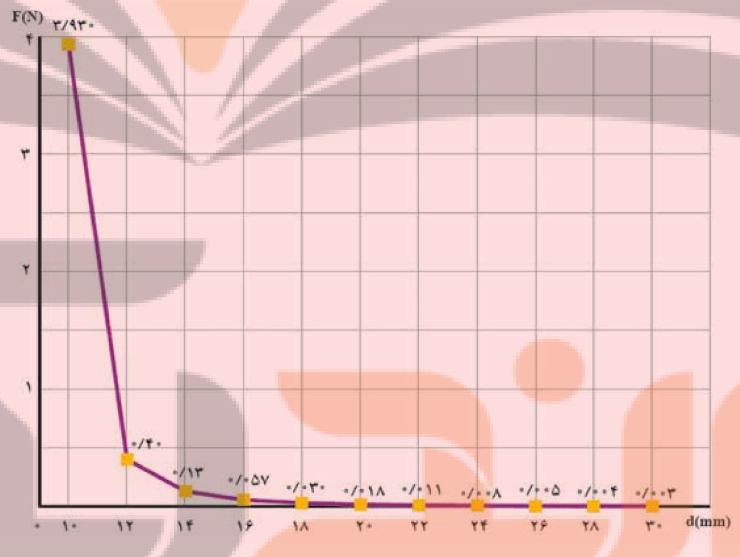
فعالیت پیشنهادی

نیروی دافعه بین دو قطب همنام دو آهنربا بر اساس فاصلهٔ آنها از یکدیگر اندازه‌گیری شده و در جدول زیر ثبت شده است.

نمودار نیروی مغناطیسی بر حسب فاصلهٔ دو قطب همنام دو آهنربا را رسم کنید (برای رسم نمودار می‌توانید از نرم‌افزار Excel استفاده کنیم)

جدول (۱)

فاصله d(mm)	نیرو F(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 :

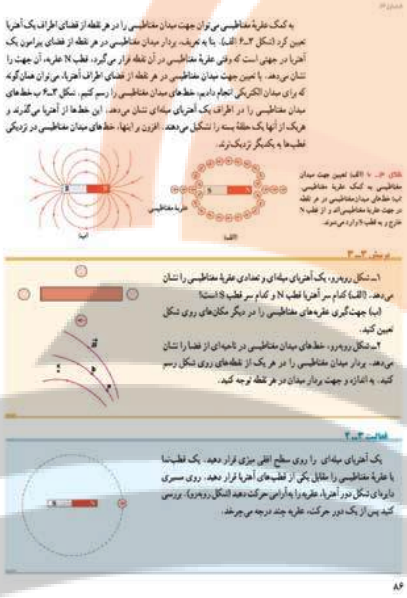
سپس از دانش‌آموزان می‌خواهیم تا نمودار نیروی مغناطیسی برحسب عکس مجذور فاصلهٔ دو قطب همنام دو آهنربا را رسم کنند و با توجه به شکل، نمودار F برحسب $\frac{۱}{d^۲}$ بیان کنند که آیا نمودار خط راست است؟ نتیجه را با نیروی بین دو بار الکتریکی برحسب مجذور گروه از یکدیگر (قانون کولن) مقایسه کنند.

برای مشاهدهٔ نحوهٔ انجام فعالیت ۳ــ۱ و همچنین فعالیت پیشنهادی مرتبط با شکل ۳ــ۶ می‌توانید به فیلم مرتبط با آزمایش‌های فیزیک ۲ مراجعه کنید (سایت گروه فیزیک).

پرسش ۳ــ۳

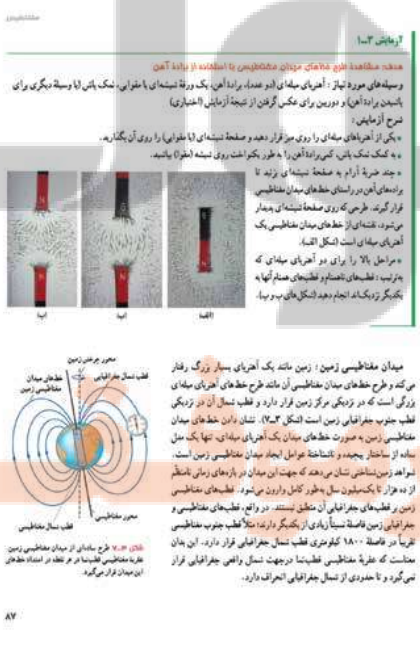
۱ــ با توجه به شکل ۳ــ۶ الف،دانش‌آموزان به سادگی می‌توانند جهت عقربه‌های مغناطیسی را در پرسش ۱ تعیین کنند.

۲ــ همان‌طور که اشاره کردیم چون دانش‌آموزان در فصل ۱ به اندازهٔ 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 دانش‌آموزان گوشزد شود). با توجه به فاصلهٔ خطوط از یکدیگر، اندازهٔ 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 اندازهٔ بردار $\vec{B}$ هم توجه کنند.



فعالیت ۳ــ۲

این فعالیت نیز به‌صورت 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 دانش‌آموزان انجام شود و پس از انجام آن نتیجه را گزارش کنند. (پاسخ نهایی فعالیت : ۷۲۰ درجه).



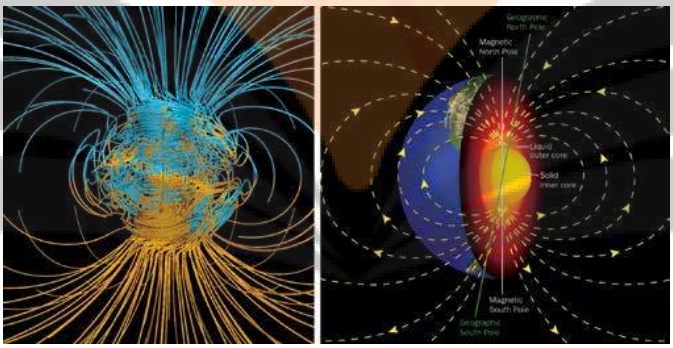
آزمایش ۳ــ۱

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 دانش‌آموزان دنبال کنید.

میدان مغناطیسی زمین

در شکل ۳ـ۷ تنها مدل بسیار ساده از طرح خطوط میدان مغناطیسی در اطراف کرهٔ زمین نشان داده شده است. لازم است در این قسمت به این نکتهٔ مهم اشاره شود که در مشابهت‌سازی و ومدل‌سازی میدان مغناطیسی زمین با یک آهنربای میله‌ای، بسیار ساده ساده‌سازی شده است.

شکل‌های زیر مدل‌سازی کامل‌تری از خطوط میدان مغناطیسی در اطراف کرهٔ زمین را نشان می‌دهد.



توضیح در خصوص چند زاویهٔ مغناطیسی

زاویهٔ میل مغناطیس (**magnetic declination angle**) همان‌طور که در کتاب درسی نیز اشاره شده است چون محور مغناطیسی زمین با محور جغرافیایی آن (محور چرخش زمین) به‌طور کامل موازی نیست، در نتیجه خواندهٔ یک قطب‌نما تا حدودی از شمال جغرافیایی انحراف دارد. این انحراف که با مکان تغییر می‌کند **زاویه میل** مغناطیسی نامیده می‌شود. در برخی منابع برای این زاویه از عبارت **وردش مغناطیسی** (**magnetic variation**) نیز استفاده شده است.

همچنین میدان مغناطیسی در بشتر نقاط روی سطح زمین افقی نیست، زاویه آن به سمت بالا یا پایین را **شیب مغناطیسی** (**magnetic inclination angle**) می‌نامند.

در خصوص عبارت **زاویهٔ انحراف مغناطیسی** (**magnetic deviation angle**) نیز لازم به ذکر است که این عبارت تنها برای شرایطی به کار می‌رود که قطب‌نما 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 جهت‌گیری عقربه مغناطیسی و در نتیجه عددی که برای میل مغناطیسی گزارش می‌شود به وجود می‌آید.

آزمایش پیشنهادی

هدف : مشاهدهٔ راستای میدان مغناطیسی در فضای سه بعدی

برای مشاهدهٔ میدان مغناطیسی در فضای سه‌بعدی می‌توان از آهنربای میله‌ای که در محفظه‌ای پر شده از محلول گلیسیرین حاوی برادهٔ آهن است استفاده کرد. با قرار گرفتن آهنربای میله‌ای در این فضا با نگاه کردن به محفظه از جهت‌های مختلف خط‌های میدان مغناطیسی توسط براده‌های آهن در یک فضای سه‌بعدی نشان داده می‌شود.

براده‌های آهن بر روی منحنی‌هایی قرار می‌گیرند که این منحنی‌ها، خطوط میدان مغناطیسی هستند.

میدان مغناطیسی آهنربای میله‌ای در سه‌بعد

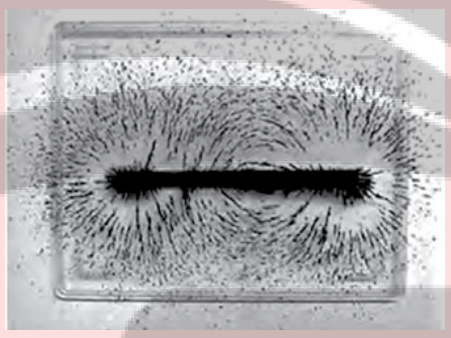
تلاشی درمسیر موفقیت

آزمایش پیشنهادی

روشی برای ثبت کردن طرح خط‌های میدان مغناطیسی روی کاغذ

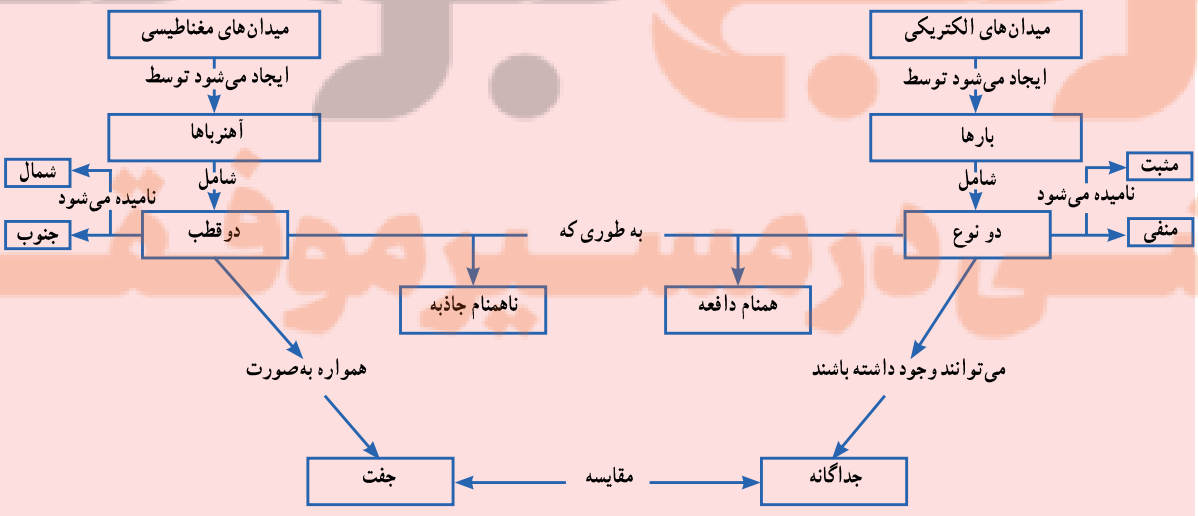
وسایل لازم : آهنربای میله‌ای ــ کاغذ یا مقوا ــ سینی پلاستیکی ــ موم یا شمع ــ نمک‌پاش و برادهٔ آهن

روش کار : کاغذ را موم‌اندود 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 بچسبد. بعد از سرد شدن طرح میدان روی کاغذ ثابت می‌ماند.



فعالیت پیشنهادی

نقشهٔ مفهومی زیر را به‌صورت یک متن سادهٔ فیزیکی بنویسید به طوری که این متن برای دانش‌آموزی که با این موضوع آشنایی ندارد، قابل فهم باشد.



فعالیت ۳ــ۳

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.

دانستنی برای معلم

میدان مغناطیسی زمین

نخستین‌بار سر ویلیام گیلبرت عنوان کرد که زمین آهنربای بزرگی است که قطب و استوای مغناطیسی دارد. در آن زمان تصور می شد 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 درجهٔ 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 می کند. علاوه‌بر این، خاصیت مغناطیسی مشاهده شده در صخره‌های آهن‌دار در پوستهٔ زمین نشان می‌دهد که گاهی جهت میدان مغناطیسی زمین به‌طور کامل وارون شده است. زمین و حداقل سه سیاره از چهار سیارهٔ منظومهٔ غول‌پیکر شمسی، دارای میدان مغناطیسی هستند. برای اینکه سیاره بتواند میدان مغناطیسی داشته باشد، لازم است دارای مرکز رسانای الکتریسیته باشد و به سرعت بچرخد؛ به طوری که مایع در آنها به چرخش درآید. کرهٔ ماه و کرهٔ مریخ مرکز مایع ندارند، بنابراین فاقد میدان مغناطیسی هستند.

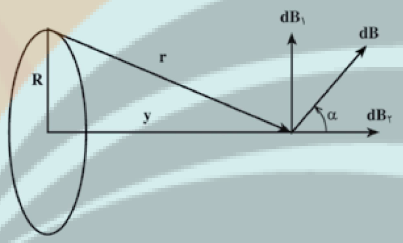
همهٔ شواهد این باور را تأیید می‌کنند که میداان مغناطیسی زمین به جای اینکه از آهنربای دائمی سرچشمه گرفته باشد، می‌تواند از جریان‌های الکتریکی که به دور هستهٔ نیکل ــ آهنی این سیاره می‌چرخند، به وجود آمده باشد. جریان الکتریکی در داخل زمین می‌تواند درست به‌گونهٔ جریانی که در یک پیچه برقرار است، میدان مغناطیسی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

دانستنی برای معلم

اندازه‌گیری میدان مغناطیسی زمین

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

$$B=\int dB_{۲}=\int dB\cos\alpha=\frac{\mu IR}{۴\mu r^{۳}}\int dI \Rightarrow B=\frac{\mu IR^{۲}}{۲r^{۳}}$$



اندازهٔ شدت میدان مغناطیسی حلقه برابر است با :

$$H=\frac{B}{\mu_{۰}}=\frac{IR^{۲}}{۲(R^{۲}+y^{۲})^{۳/۲}} \quad (۱)$$

اگر N حلقه داشته باشیم، رابطهٔ ۱ به‌صورت زیر درمی‌آید :

$$H=\frac{NIR^{۲}}{۲(R^{۲}+y^{۲})^{۳/۲}} \quad (۲)$$

در دستگاه گاوسی، رابطهٔ ۲ به‌صورت زیر در می‌آید :

$$H=\frac{۲\mu IR^{۲}N}{(R^{۲}+y^{۲})^{۳/۲}} \quad (۳)$$

در این سیستم R و y برحسب سانتی‌متر، I برحسب آمپر و H برحسب گاوس است. جهت H با کمک قانون دست راست به‌دست 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 مؤلفهٔ افقی و قائم قابل تجزیه است، عقربهٔ مغناطیسی تحت‌تأثیر مؤلفهٔ افقی منحرف می‌شود. حال اگر از سیم پیچ جریان عبور کند، عقربهٔ 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.

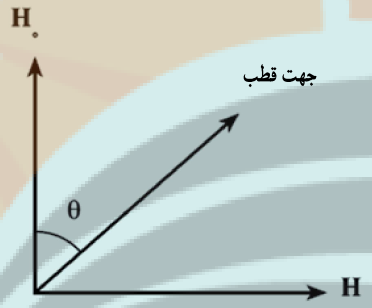
اگر عقربهٔ مغناطیسی را طوری قرار دهیم که جهت میدان مغناطیسی زمین عمود بر میدان حاصل از سیم‌پیچ آن باشد، آن‌گاه طبق شکل پایین می‌توان نوشت :

$$tg\theta=\frac{H}{H_{۰}} \quad (۴)$$

با اندازه‌گیری θ و معلوم بودن مقدار H می‌توان $H_{\circ}$ را از رابطهٔ ۴ به‌دست آورد. چون میدان H را با عبور جریان از سیم‌پیچ تولید می‌کنیم، از رابطه‌های ۳ و ۴ داریم :

$$H = H_{\circ} tg\theta \Rightarrow \frac{۲\mu N I R^{۲}}{(R^{۲}+y^{۲})^{۳/۲}} = H_{\circ} tg\theta \qquad (۵)$$

$$\Rightarrow I = \frac{(R^{۲}+y^{۲})^{۳/۲}}{۲\pi N I R^{۲}} H_{\circ} tg\theta$$



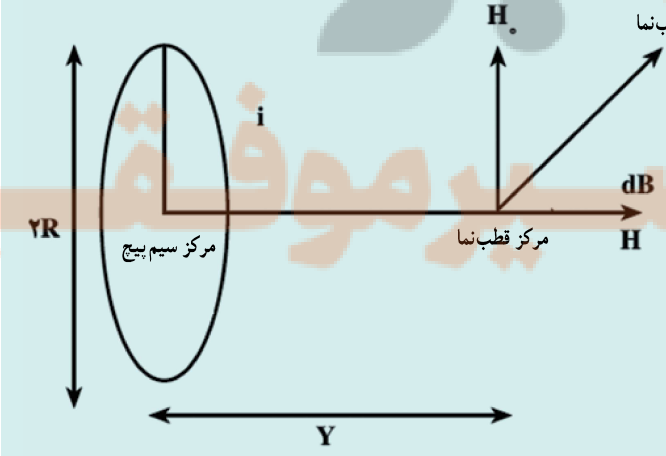
که می‌توان رابطهٔ ۵ را به‌صورت زیر نوشت :

$$I = mtg\theta \qquad (۶)$$

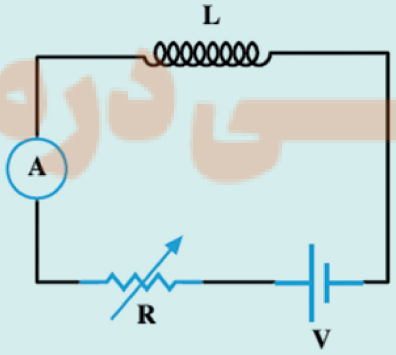
حال می‌توان نمودار I را برحسب $tg\theta$ رسم کرد. شیب‌خط حاصل یعنی m را اندازه گرفت و $H_{\circ}$ (شدت میدان مغناطیسی زمین) را به‌دست آورد :

$$H_{\circ} = \frac{۲\pi N R^{۲} m}{(R^{۲}+y^{۲})^{۳/۲}} \qquad (۷)$$

نحوهٔ انجام آزمایش : ابتدا قطب‌نما را روی میز آن‌قدر جابه‌جا کنید که قطب شمال آن تقریباً در راستای شمال ــ جنوب جغرافیایی قرار گیرد (برای این کار می‌توان آزمایش را روی زمین انجام داد تا از اثرات احتمالی میدان‌های میز آهنی بر قطب نما جلوگیری شود). سپس سیم‌پیچ را آن‌قدر حرکت دهید تا محور عمود بر سیم‌پیچ، بر قطب‌نما عمود باشد. شکل‌های (۱) و (۲) مدار آزمایش و نحوهٔ 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 دامنهٔ آمپرمتر را روی ۱۰ آمپر قرار دهید و با تغییر درجهٔ 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 ۰/۱ آمپر به جریان‌های قبلی اضافه کنید. پس از اینکه برای هشت جریان اندازه‌گیری شده زاویهٔ 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 θها میانگین بگیرید و نمودار I را برحسب $tg\theta$ رسم کنید و شیب آن را اندازه بگیرید.

نتیجه‌های تجربی به‌دست آمده در آزمایشگاه : قطر داخلی سیم‌پیچ برابر ۴/۵ سانتی‌متر و قطر خارجی آن ۶/۵ سانتی‌متر است. بنابراین برای به‌دست آوردن قطر سیم‌پیچ، میانگین دو عدد را به‌دست می‌آوریم :

$$\text{قطر}\ \frac{۶/۵+۴/۵}{۲}=\frac{۱۱}{۲}=۵/۵\Rightarrow R=۲/۷۵\,\text{cm}$$

با توجه به شکل ۲ در صفحه قبل، فاصلهٔ مرکز حلقه تا قطب‌نما را در آزمایشی که برقرار شد، ۱۰/۴ سانتی‌متر گرفتیم و N هم برابر ۱۰۰۰ دور است. مقادیر به‌دست آمده را در جدول (۱) ثبت کرده‌ایم که در آن I برحسب میلی‌آمپر است. حال اگر نمودار I برحسب θ را رسم کنیم، شیب آن معرف m است. از طرف دیگر، برای به دست آوردن $H_{\circ}$ باید شیب‌خط یعنی همین m را داشته باشیم :

$$m=\frac{۱/۱۹-۰/۸۴}{۵۰-۳۵}=\frac{۰/۳۵}{۱۵}=۰/۰۲۳$$

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

$$H_{\circ}=\frac{۲\pi NR^{۲}m}{(R^{۲}+y^{۲})^{۳/۲}}=\frac{۲\pi(۱۰۰۰)(۲/۷۵)^{۲}(۰/۰۲۳)}{\left((۲/۷۵)^{۲}+(۱۰/۴)^{۲}\right)^{۳/۲}}=۰/۸۷$$

جدول ۱

I	۱۰۴	۹۳	۵۰	۳۷	۳۵	۲۷/۲	۱۲	۱۶/۵	۱۰/۳
θ	۷۰	۶۰	۵۰	۴۰	۴۰	۳۰	۱۵	۲۰	۱۰
$tg\theta$	۲/۷۵	۱/۷۳	۱/۱۹	۰/۸۴	۰/۸۴	۰/۵۸	۰/۲۷	۰/۳۶	۰/۱۸

تلاشی در مسیر موفقیت

اندازه‌گیری میدان مغناطیسی در هر نقطه

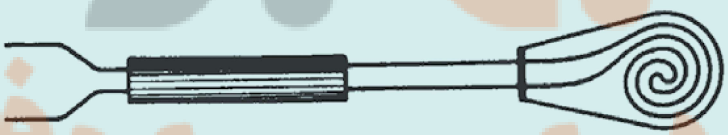
یکی از وسایل اندازه‌گیری میدان‌های مغناطیسی، سوزن مغناطیسی است که از رشتهٔ کشسانی آویزان است و اساس کار آن شبیه ترازوی پیچشی کولن است. برای اندازه‌گیری زاویه‌های پیچش رشته صفحهٔ مدرجی در بالا به آن نصب شده است و محل نوک‌های سوزن با کمک درجه‌ها روی استوانهٔ بیرونی معین می‌شود. در این دستگاه سوزن فقط وقتی در تعادل است که گشتاور نیروی حاصل از میدان برابر و مخالف گشتاور نیروی رشتهٔ پیچیده باشد. اگر سوزن در امتداد مغناطیسی سمت‌گیری کرده باشد ($\alpha = ۰$) یعنی گشتاور صفر و رشته نباید پیچیده باشد.

با پیچش رشته به اندازهٔ زاویهٔ معین، می‌توان برای هر سمت‌گیری سوزن به تعادل رسید. گشتاور نیروی وارد بر رشته با محاسبات یا درجه‌بندی اولیهٔ وسیله از روی زاویهٔ پیچش معین می‌شود. پس می‌توانیم بیشترین نیرو که به ازای $\alpha = ۹۰^\circ$ 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 اندازهٔ کافی حساس و دقیق نیستند. پس در بسیاری موارد بهتر این است که گشتاور نیروی وارد بر سوزن مغناطیسی با مشاهدهٔ 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 ناچیز باشد قبل از توقف چندین نوسان می‌کند. بنابراین دورهٔ نوسان‌ها را می‌توان با دقت اندازه‌گیری کرد. محاسبات نشان می‌دهد که هرچه گشتاور نیروی وارد بر سوزن بزرگ‌تر، یعنی هرچه میدان قوی‌تر باشد دورهٔ نوسان‌ها کمتر است. پس با مقایسهٔ 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 به‌کار رفته‌اند.

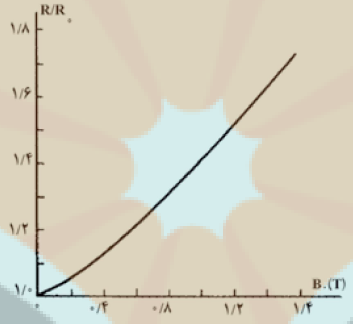
بزرگی میدان مغناطیسی را به کمک پدیده‌های دیگری هم می‌توان اندازه گرفت. مثلاً با توجه به اینکه مقاومت الکتریکی بیسموت بر اثر میدان تغییر می‌کند می‌توان مغناطیس‌سنج ساخت. مارپیچ مسطحی که از سیم بیسموت ساخته شده است در میدان مغناطیسی بررسی می‌شود و مقاومت آن در درون و خارج میدان اندازه‌گیری می‌شود. می‌توان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



مارپیچ بیسموت

تلاشی درمسیر موفقیت

مثال : در نمودار شکل زیر R مقاومت بیسموت در میدانی به بزرگی B و $R_{\circ}$ مقاومت آن در خارج میدان انتخاب شده است.



شکل (۹۷)

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

پاسخ :

$$R / R_{\circ} = \frac{۲۶}{۲۰} = ۱/۳$$

$$R = ۲۶\Omega$$

$$R_{\circ} = ۲۰\Omega$$

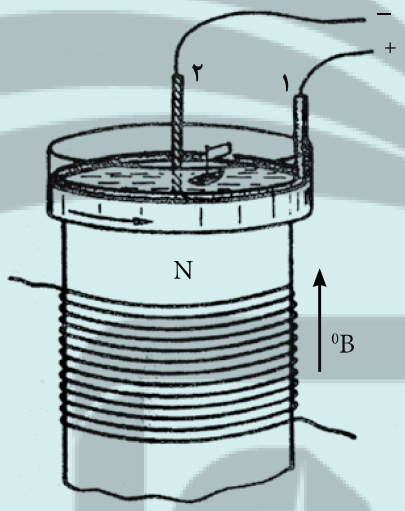
با توجه به نمودار $B = ۰/۸\mathrm{T}$ است.

۳ـ۳ نیرویی وارد بر ذرهٔ باردار در میدان مغناطیسی

راهنمای تدریس : در این قسمت دانش‌آموزان باید افزون بر آشنایی با تعیین جهت نیرویی وارد بر ذرهٔ باردار متحرک در حضور میدان مغناطیسی $\vec{B}$ ، با محاسبهٔ اندازهٔ این نیرو که در رابطهٔ ۳ـ۱ 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 حلقهٔ ۱ و میلهٔ 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، به‌گونه‌ای که میدان مغناطیسی در راستای قائم و به طرف بالا باشد و با راستای حرکت یون‌ها زاویهٔ 90° بسازد. نیروهای وارد بر بار الکتریکی متحرک می‌خواهند، یون‌ها را در امتداد پیکان در صفحهٔ افقی در دایره‌هایی، عمود بر شعاع‌های ظرف جابه‌جا کنند به‌طوری 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 هستهٔ آهنی مناسب

۳ یک ظرف شیشه‌ای استوانه‌ای شکل به ارتفاع تقریبی 5cm و قطر 10cm

۴ میله‌های فلزی رسانا که به انتهای یکی از آن دو یک حلقهٔ رسانا به قطر تقریبی 8cm 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 هستهٔ آهنی را درون سیم‌پیچ قرار می‌دهیم و سیم‌پیچ را به منبع تغذیه dc متصل می‌کنیم (با تماس یک قطعهٔ فلزی به هستهٔ آهنی، میدان مغناطیسی را آزمایش می‌کنیم و در صورت نیاز آن را تقویت می‌کنیم).

۳ ظرف شیشه‌ای محتوی محلول را مطابق شکل روی سطح هستهٔ آهنی و سیم‌پیچ قرار داده و دو میلهٔ فلزی را با گیره درون ظرف قرار می‌دهیم و آن را به دو قطب مثبت و منفی منبع تغذیهٔ 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 میلهٔ فلزی درون محلول بایستی به‌طور 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 مشاهدهٔ چرخش محلول الکترولیت در ظرف شیشه‌ای و توجیه 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 دایرهٔ این حلقه است، جهت اعمال

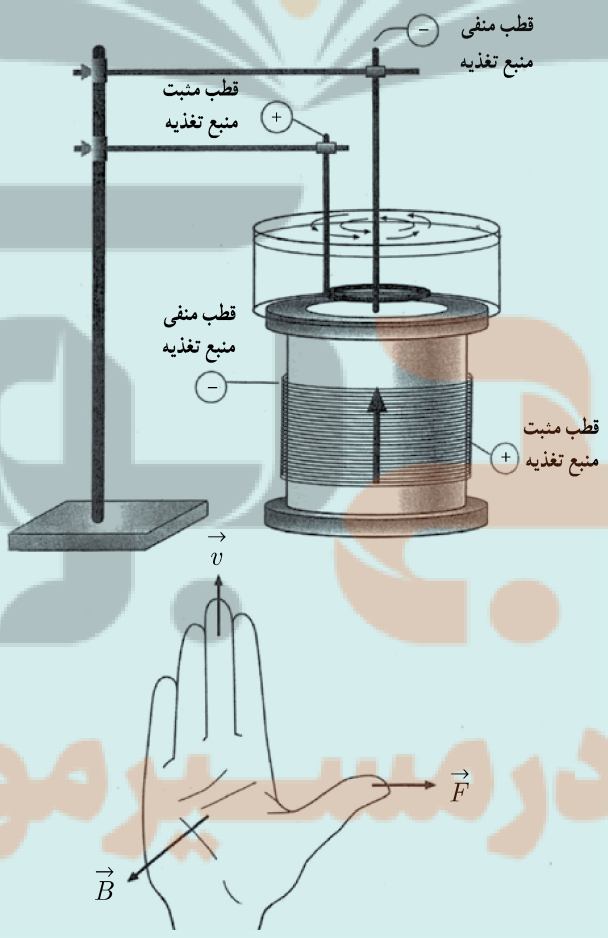
نیرو به‌صورت مماس بر دایره است و مجموعهٔ این نیروها باعث چرخش می‌شود. (برای مشاهده بهتر چرخش، تعدادی قایق کاغذی کوچک بر سطح محلول شناور کنید)

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 رابطهٔ $F = qvB\sin\theta$ را بررسی کنید.

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

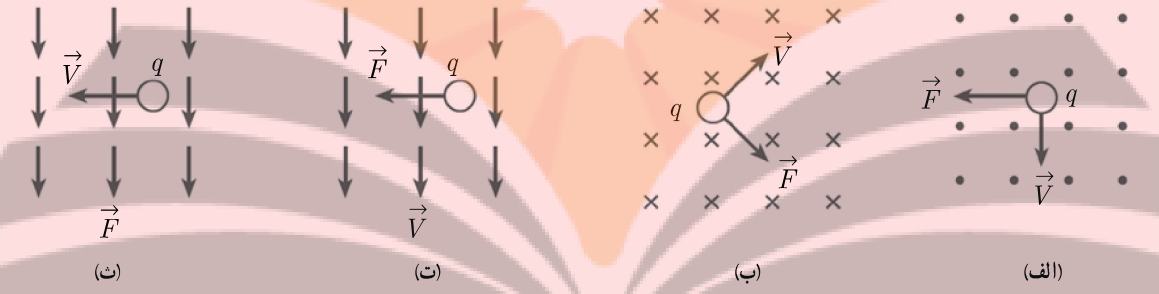
۴ با استفاده از حلقه‌های ورودی جریان، با شعاع‌های مختلف می‌توان فاصله‌های کاتد و آند را کم و زیاد کنیم و در نتیجه سرعت واکنش را تغییر دهیم و نقش آن را در بزرگی F بررسی می‌کنیم.

۵ می‌توان به جای $CuSO_4$ از محلول‌های الکترولیت دیگری نیز استفاده کرد که بزرگی یون‌ها q با Cu^{+4} و SO_4^{-2} تفاوت داشته و نقش بزرگی بار، در بزرگی F را بررسی نمود.

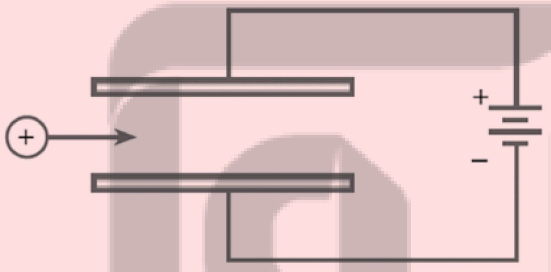


پرسش پیشنهادی

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.



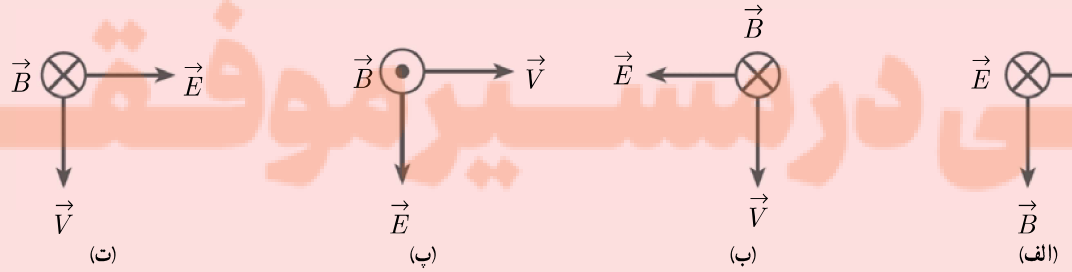
۲ **یون مثبتی مطابق شکل روبه‌رو به فضای بین صفحه‌های خازن مسطحی پرتاب می‌شود.**

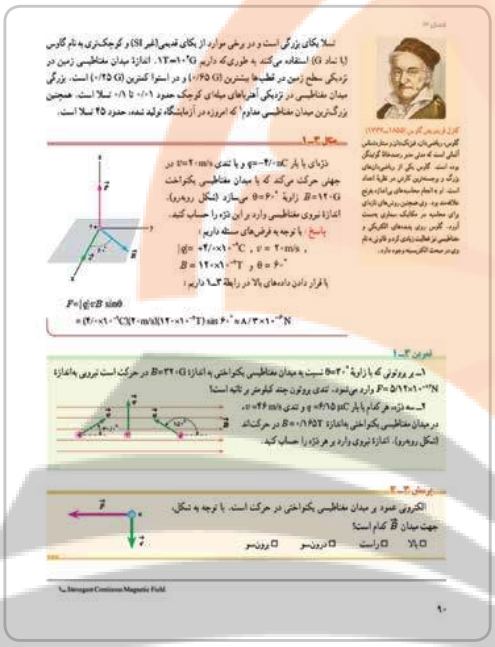


الف) جهت نیروی الکتریکی وارد بر این یون را رسم کنید.

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؟





تمرین ۳ــ۱

۱ $\theta = ۳۰^\circ , B = ۳۲۰\,G = ۳/۲۰ \times ۱۰^{-۲}\ T$

$F = ۵/۱۲ \times ۱۰^{-۱۴}\ N , v = ?$

$F = qvB\sin\theta$

$۵/۱۲ \times ۱۰^{-۱۴}\ N = (۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}\ C)\ v$

$(۳/۲۰ \times ۱۰^{-۲}\ T)\ \sin ۳۰^\circ$

$\Rightarrow v = ۲/۰ \times ۱۰^{۷}\ m/s$

پرسش ۳ــ۴

با توجه به قاعدهٔ درست و با توجه به این که بار الکترون منفی است، جهت میدان $\vec{B}$ به‌صورت درون‌سو است.

۳ــ۴ نیروی مغناطیسی وارد بر سیم حاوی جریان

راهنمای تدریس

از آنجا که دانش‌آموزان در علوم هشتم با موتورهای الکتریکی و همچنین در بخش قبل با نیروی مغناطیسی وارد بر ذرهٔ باردار متحرک درون میدان مغناطیسی آشنا شده‌اند، لذا توجه دانش‌آموزان به طرح سادهٔ موتور الکتریکی در شکل ۳ــ۱۱ می‌تواند شروع مناسبی برای این بخش باشد. دانش‌آموزان باید به جهت حرکت حامل بار درون سیم رسانا، قطب‌های باتری و جهت میدان $\vec{B}$ که حلقهٔ 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 ۳ــ۲

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 جریان‌اند (یعنی بارهای الکتریکی در آنها در حرکت‌اند) و آهن‌رباهایی نیز وجود دارند که بر بارهای متحرک نیرو وارد می‌کنند. از این رو، بر هر سیم حامل جریان، نیروی مغناطیسی وارد می‌شود و این نیروها حلقه را می‌چرخانند.

آزمایش ۳ــ۲

هدف: بررسی نیروی وارد بر یک هادی حامل جریان

وسیله‌های مورد نیاز: آهن‌ربای نعلی شکل، سیم مسی ضخیم، سیم رابط، پایه، بَنِ و باتری

شرح آزمایش:

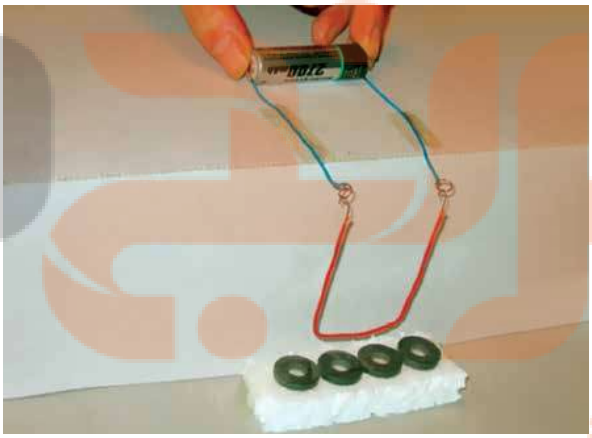
- مداری مطابق شکل الف ببندید تا جریان از سیم مسی بگذرد. آنچه را که مشاهده می‌کنید، در گروه خود به بحث بگذارید.
- در صورتی که وسیله‌ای مشابه شکل ب را در آزمایشگاه مدرسه در اختیار دارید می‌توانید از آن استفاده کنید.
- مدار را قطع کنید و جهت جریان را تغییر داده و مراحل بالا را دوباره انجام دهید.
- نتیجهٔ آزمایش را به کلاس گزارش دهید.

اورسته (فیزیک‌دان دانمارکی) با انجام آزمایش‌هایی شبیه آزمایش ۳ــ۲ و اندازه‌گیری نیرویی که بر سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی وارد می‌شود، نشان داد:

نیرویی 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 قاعدهٔ دست راست تعیین کرد (شکل ۳ــ۱۲).

شکل ۳ــ۱۲ الف) نیروی مغناطیسی وارد بر سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی. ب) نیروی مغناطیسی وارد بر سیم در حالی که جهت جریان وارونه شده است. ج) قاعدهٔ دست راست برای تعیین جهت نیروی مغناطیسی وارد بر سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی (شکل ب)

۹۲



تلاش دبیر موفقیت

برای بررسی رابطهٔ ۳ــ۳، 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.

عامل‌های مؤثر بر نیروی مغناطیسی وارد بر سیم راست رسانای حامل جریان :

آزمایش‌های مشابه آزمایش ۳ـ۲ نشان می‌دهند که نیروی مغناطیسی وارد بر یک سیم رسانای حامل جریان در میدان مغناطیسی یکنواخت، به عامل‌های مختلفی بستگی دارد که این عامل‌ها در رابطهٔ زیر بیان شده‌اند :

$$F = IlB\sin\theta \qquad (۳ـ۳)$$

در این رابطه l طول بخشی از سیم رسانا است که در میدان مغناطیسی یکنواخت B قرار دارد. زاویه‌ای را که امتداد سیم با خطوط میدان مغناطیسی می‌سازد با θ نشان داده‌ایم (شکل ۳ـ۱۳).

پرسش ۳ـ۵

اگر در شکل ۳ـ۱۳ سیم حامل جریان در امتداد میدان مغناطیسی قرار گیرد، نیروی مغناطیسی وارد بر آن چقدر خواهد بود؟ در چه حالتی بزرگی این نیرو بیشینه می‌شود؟

مثال ۳ـ۲

یک سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی یکنواختی به بزرگی ۲۰۰G در راستای قرار داده که با جهت میدان زاویهٔ ۳۰° می‌سازد. اگر جریان عبوری از سیم ۵/۰A باشد، بزرگی نیروی مغناطیسی وارد بر ۱/۰m از این سیم را حساب کنید.

پاسخ : با توجه به فرض‌های مسئله داریم :

$B = ۲۰۰\times۱۰^{-۴}\,T \;,\; \theta = ۳۰^{\circ} \;,\; I = ۵/۰A \;,\; l = ۱/۰m$

با قرار دادن داده‌های بالا در رابطهٔ ۳ـ۳ داریم :

$F = IlB\sin\theta = (۵/۰A)(۱/۰m)(۲۰۰\times۱۰^{-۴}T)\sin۳۰^{\circ} = ۰/۱۰N$

تمرین ۳ـ۲

سیم مستقیمی به طول ۲/۴m حامل جریان ۲/۵A از شرق به غرب است. اندازهٔ میدان مغناطیسی زمین در محل این سیم ۰/۴۵G و جهت آن از جنوب به شمال است. اندازه و جهت نیروی مغناطیسی وارد بر این سیم را تعیین کنید.

(نماد میدان مغناطیسی زمین به طرف شما)

فعالیت ۳ـ۲

آزمایشی را طراحی کنید که به کمک آن پیمان نیروی مغناطیسی وارد بر سیم حامل جریان الکتریکی درون میدان مغناطیسی را اندازه‌گیری کرد؛ در صورت لزوم، برای اجرای این آزمایش می‌توانید از ترازوهای دیجیتال (رقمی) با دقت ۰/۰۱g استفاده کنید.

۹۳

پرسش ۳ــ۵

با توجه به فرض پرسش، سیم حامل جریان در جهت میدان مغناطیسی قرار می‌گیرد، در این صورت $\theta = ۰$ و در نتیجه $\sin\theta = ۰$ 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 $\theta = ۹۰^{\circ}$ و $\sin۹۰^{\circ}=۱$ خواهد بود و در نتیجه نیروی وارد بر سیم حامل جریان از طرف میدان $\vec{B}$ بیشینه است.

تمرین ۳ــ۲

$l = ۲/۴m \;,\; I = ۲/۵A \;,\; B = ۰/۴۵G \;,\; V = ۹۰^{\circ}$

$F = IlB\sin\theta = (۲/۵A)\,(۲/۴m)$

$(۰/۴۵\times۱۰^{-۴}\,T)\sin۹۰^{\circ}$

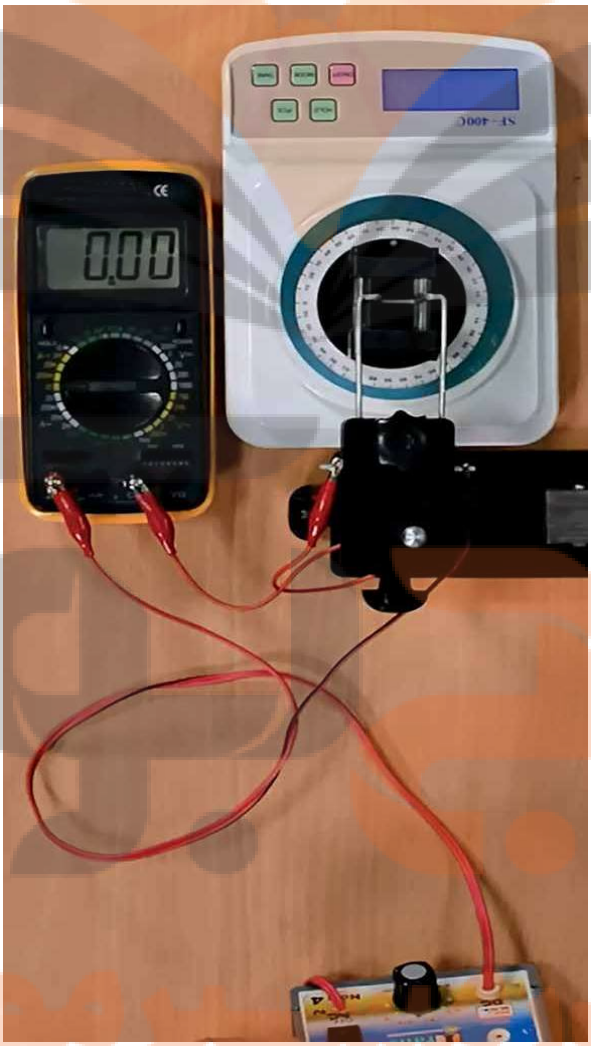
$F = ۲/۷\times۱۰^{-۴}\,N$

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

تلاشی درمسیرموفقیت

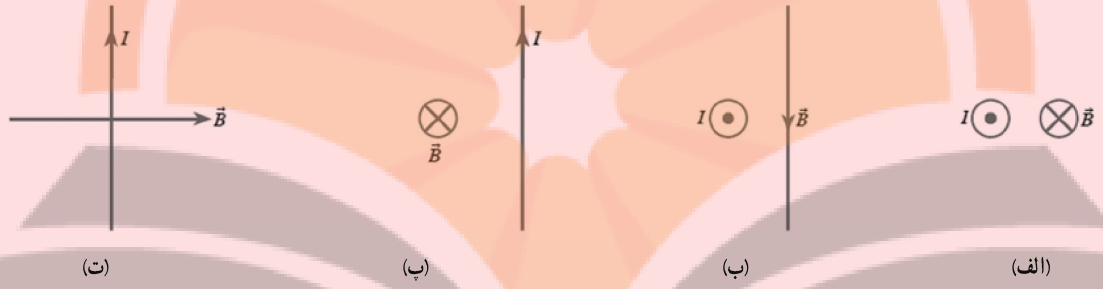
فعالیت ۳ــ۴

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



پرسش پیشنهادی

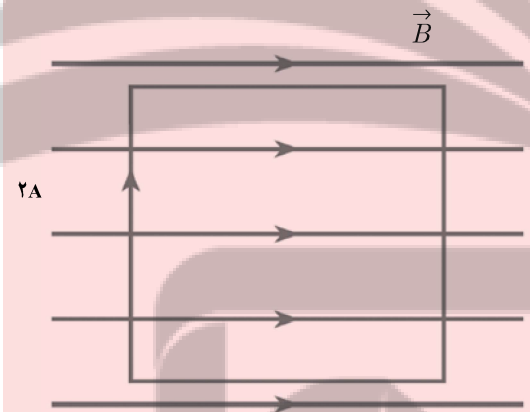
جهت نیروی وارد بر سیم حامل جریان را در هر یک از نمودارهای شکل زیر تعیین کنید.



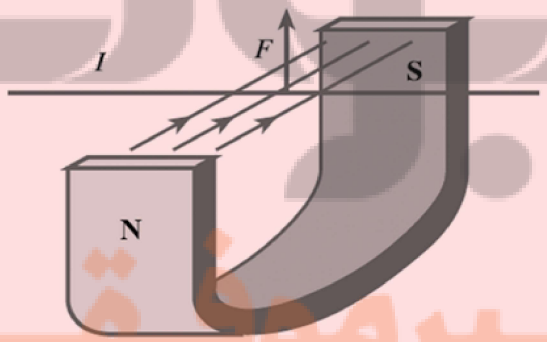
حلقه‌ای مربع شکل از سیم رسانا حامل جریان $2A$ است. این حلقه مطابق شکل روبه‌رو در میدان مغناطیسی یکنواختی به بزرگی $10mT$ واقع است به‌طوری که دو ضلع حلقه در امتداد میدان قرار دارند. طول هر ضلع مربع را $20cm$ در نظر بگیرید.

الف) جهت نیروی الکترومغناطیسی وارد بر هر ضلع حلقه در کدام جهت است؟

ب) بزرگی برآیند نیروی وارد بر حلقه چه‌قدر است؟



با توجه به جهت نیروی وارد بر سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی شکل زیر، جهت جریان را در سیم تعیین کنید.



تلاشی درمسیر موفقیت

۳ــ۵ 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.

۳ــ۵ میدان مغناطیسی حاصل از جریان الکتریکی

تا اینجا بی بردیم که در فضای اطراف آهن‌رباهای دائمی میدان مغناطیسی وجود دارد. در ادامهٔ آن فصل با چشمه‌های دیگر ایجاد میدان مغناطیسی آشنا خواهیم شد.

اورستد دانشمند دانمارکی، در سال ۱۸۲۰ میلادی ضمن انجام برخی آزمایش‌های الکتریسیته، مشاهده کرد که عقربهٔ مغناطیسی در کنار سیم حامل جریان الکتریکی منحرف می‌شود (شکل ۳ــ۱۴). او با انجام دادن آزمایش‌های بیشتر کشف کرد که عبور جریان الکتریکی از یک سیم رسانا، در اطراف آن یک میدان مغناطیسی به‌وجود می‌آورد. این کشف اورستد گام مهمی در راه درک رابطهٔ بین الکتریسیته و مغناطیس بود که به گسترش مبحث الکترومغناطیس انجامید. در این بخش، به بررسی میدان مغناطیسی حاصل از جریان الکتریکی در سیم‌ها می‌پردازیم.

تلاشی برای پیروزی موفقیت

آزمایش ۳ـ۳

هدف: بررسی آثار مغناطیسی جریان الکتریکی (آزمایش اورستد)

وسیله‌های مورد نیاز : باتری، سیم مسی نسبتاً ضخیم، صفحهٔ مقوایی، عقربهٔ مغناطیسی (قطب‌نما)، رئوستا و سیم رابط

شرح آزمایش :

- سیم مسی را از صفحهٔ مقوایی بگذرانید و با آن مداری مطابق شکل روبه‌رو تشکیل دهید.
- قبل از برقراری جریان الکتریکی، عقربهٔ مغناطیسی را درمجاورت سیم، روی مقوا قرار دهید و به راستای قرارگرفتن آن توجه کنید.
- با وصل کردن مدار، جریان الکتریکی را از سیم مسی عبور دهید و به جهت‌گیری عقربهٔ مغناطیسی توجه کنید.
- عقربهٔ مغناطیسی را در نقطه‌های مختلف روی مقوا قرار دهید و جهت آن را بررسی کنید.
- با توجه به جهت گیری عقربه در نقاط مختلف صفحهٔ مقوایی، چند خط میدان مغناطیسی را رسم کنید.
- این آزمایش را بار دیگر با جریانی در جهت مخالف تکرار کنید.
- به کمک چند باتری دیگر یا تغییر مقاومت رئوستا، تحقیق کنید که افزایش یا کاهش جریان چه تأثیری در نتیجهٔ آزمایش دارد؟
- نتیجهٔ این آزمایش را در گروه خود بحث کنید و آن را به کلاس گزارش دهید.

با انجام این آزمایش می‌بینید که خط‌های میدان مغناطیسی حاصل از یک سیم حامل جریان، مطابق شکل ۳ـ۱۵ به صورت دایره‌های هم‌مرکز در اطراف سیم حامل جریان هستند. جهت خط‌های میدان مغناطیسی سیم مستقیم حامل جریان را می‌توان به کمک عقربهٔ مغناطیسی تعیین کرد. علاوه بر آن، با استفاده از قاعدهٔ دست راست نیز می‌توان این جهت را تعیین کرد؛ مطابق این قاعده، اگر سیم را در دست راست خود بگیرید به‌گونه‌ای که انگشت شست در جهت جریان الکتریکی باشد، جهت خم شدن چهار انگشت دست شما جهت خط‌های میدان مغناطیسی را در اطراف سیم نشان می‌دهد.

شکل ۳ـ۱۵ قاعدهٔ دست راست برای تعیین جهت $\vec{B}$ اطراف سیم باشد مستقیم حامل جریان

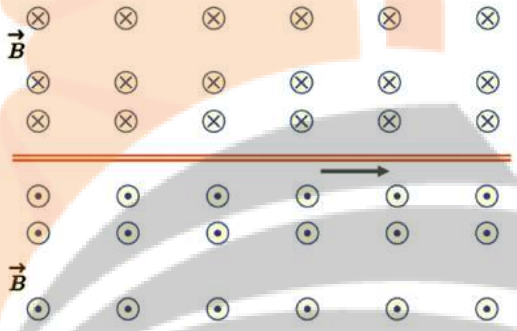
پرسش ۳ـ۵

شکل روبه‌رو، جهت میدان مغناطیسی در اطراف یک سیم افقی و مستقیم حامل جریان را نشان می‌دهد. در ناحیهٔ بالای سیم، جهت میدان مغناطیسی درون‌سو و در ناحیهٔ پایین آن برون‌سو است. جهت جریان را در سیم تعیین کنید.

۹۵

پرسش ۳ـ۶

با توجه به قاعدهٔ دست راست، جهت جریان مشخص می‌شود (شکل زیر).



پرسش ۳ـ۷

دریافت خود را از شکل‌های الف و ب بیان کنید. در بیان خود، به چگونگی تغییر جهت و اندازهٔ میدان $\vec{B}$ در اطراف سیم حامل جریان اشاره کنید.

تمرین ۳ـ۴

جهت میدان مغناطیسی برایند (خالص) را ناشی از سیم‌های موازی و بلند حامل جریان را در هر یک از نقطه‌های a، b و c پیدا کنید. نقطهٔ b در فاصلهٔ مساوی از دو سیم قرار دارد.

فناوری و کاربردهای میدان‌های مغناطیسی متغیر

تمام بافت‌های زندهٔ بدن انسان به‌طور الکتریکی فعال‌اند. جریان‌های الکتریکی ضعیف در بدن، میدان‌های مغناطیسی ضعیف ولی قابل اندازه‌گیری تولید می‌کنند. اندازهٔ میدان‌های حاصل از عضله‌های اسکلتی کوچک‌تر از 10^{-3} T، یعنی در حدود یک میلیونم میدان مغناطیسی زمین است. میدان‌های مغناطیسی حاصل از مغز بسیار ضعیف‌تر و در حدود 10^{-12} T هستند و برای اندازه‌گیری آنها باید مغناطیس‌سنج‌های بسیار حساس به کار برد. در حال حاضر، چنین مغناطیس‌سنج‌هایی به نام اسکوید[1] ساخته شده‌اند. شکل روبه‌رو یک دستگاه اسکوید را نشان می‌دهد که در حال اندازه‌گیری میدان مغناطیسی تولید شده در مغز است.

نیروی بین سیم‌های موازی حامل جریان : در آزمایش اورستد، دیدیم که در فضای اطراف هر سیم حامل جریان، میدان مغناطیسی وجود دارد. همچنین در بخش ۳ـ۴ با نیروی مغناطیسی وارد بر سیم حامل جریان آشنا شدیم. حال فرض کنید برای تولید میدان مغناطیسی به جای آهنربا، از یک سیم حامل جریان استفاده کنیم. اگر سیم حامل جریان دیگری را در نزدیکی این سیم قرار دهیم، آیا نیرویی بر آن وارد می‌شود؟ آزمایش نشان می‌دهد که پاسخ این پرسش مثبت است. به طوری که اگر جریان‌ها در یک جهت از دو سیم موازی بگذرند، نیروی بین آنها رباینی است (شکل ۳ـ۱۶ الف). همچنین اگر جریان‌ها در دو جهت مخالف از دو سیم موازی بگذرند، نیروی بین آنها رانشی است (شکل ۳ـ۱۶ ب).

۱. SQUID (Superconducting Quantum Interference Device)

۹۶

پرسش ۳ـ۷

انتظار می‌رود با توجه به مفهوم میدان و خطوط میدان، دانش‌آموزان در پاسخ به این پرسش به موارد زیر اشاره کنند :

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

شکل ب) در این شکل به نوعی دیگر، کاهش اندازهٔ 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.

تلاشی درمسیر موفقیت

تمرین ۳ــ۳

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

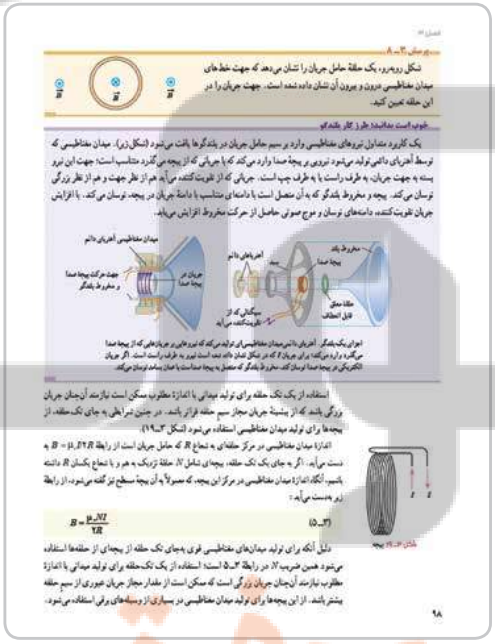
در نقطهٔ b، میدان ناشی از سیم بالایی درون سو و میدان ناشی از سیم پایینی، برون سو است، لذا با توجه به اینکه فاصله b از دو سیم یکسان و جریان مساوی از دو سیم می‌گذرد، برآیند میدان در نقطهٔ b صفر است.

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

در شکل ۳ــ۱۶، خطوط میدان $\vec{B}$ اطراف دو سیم حامل جریان با توجه به الگوی دو ذرهٔ باردار رسم شده است. لازم است دانش‌آموزان توجه کنند که خطوط رسم شده حاصل میدان برآیند دو سیم حامل جریان است.

پرسش ۳ــ۸

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



توجه

در مجموعه فیلم‌های مرتبط با آزمایش‌های فیزیک ۲، آزمایش پیشنهادی در خصوص نحوهٔ 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.

تلاشی در مسیر موفقیت

تمرین ۳ــ۴

$B = ۳ \times ۱۰^{-۸}\,G = ۳ \times ۱۰^{-۱۲}\,T$

$R = ۸cm = ۸ \times ۱۰^{-۲}\,m$

$I = ?$

$$B = \frac{\mu_۰ I}{۲R}$$

$$۳\times۱۰^{-۱۲} T = \frac{(۴\pi\times۱۰^{-۷}\,T.m/A)}{(۲\times۸\times۱۰^{-۲}\,m)} I$$

$$\Rightarrow I \approx ۳/۸ \times ۱۰^{-۳} A = ۳/۸mA$$

تمرین ۳ــ۵

$l = ۴۰/۰cm\ ,\ I = ۱/۲A$

$B = ۲۷۰G = ۲/۷ \times ۱۰^{-۲}\,T$

$N = ?$

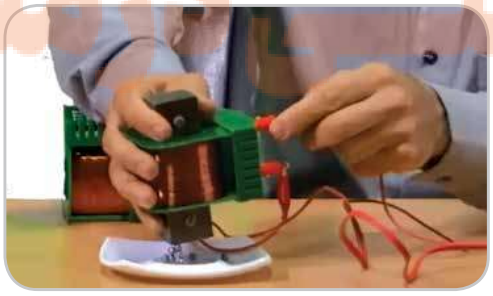
$$B = \frac{\mu_۰ NI}{l}$$

$$۲/۷\times۱۰^{-۲} T = \frac{۴\pi\times۱۰^{-۷}\,T.m/A)N(۱/۲A)}{۰/۴۰m}$$

$$\Rightarrow N \approx ۷۰۰۰ \text{ دور}$$

فعالیت ۳ــ۶

آزمایشی مشابه این فعالیت در مجموعهٔ فیلم‌های مرتبط با آزمایش‌های فیزیک ۲ انجام شده است که می‌توانید از نتایج و شیوهٔ آن نیز استفاده کنید.



۳ــ۶ ویژگی‌های مغناطیسی مواد

راهنمای تدریس : به‌طور کلی اتم‌های مواد یا به‌طور ذاتی دارای دوقطبی مغناطیسی‌اند یا فاقد آن هستند. توجه به این نگاه که اساس تقسیم مواد از لحاظ مغناطیسی است و در تمرین پایانی فصل نیز به‌صورت نقشهٔ مفهومی به آن پرداخته شده است، اهمیت زیادی دارد.

توجه

تقسیم‌بندی از لحاظ مغناطیسی، با توجه به چگونگی وجود آنها در طبیعت انجام می‌شود. برای مثال هیدروژن به‌صورت اتمی، دارای دوقطبی مغناطیسی ذاتی است ولی نکتهٔ قابل توجه این است که هیدروژن به‌صورت تک اتمی در طبیعت وجود ندارد و به‌صورت مولکولی H_2 در طبیعت یافت می شود. به همین دلیل هیدروژن جزو مواد دیامغناطیس رده‌بندی می‌شود.

عامل گشتاور دوقطبی ذاتی اتم‌ها به چرخش الکترون‌ها دور خودشان (حرکت اسپینی) و چرخش الکترون‌ها دور هسته (حرکت مدار) مربوط می شود. 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 ۳ــ۷

در انجام این فعالیت باید به‌گونه‌ای لولهٔ 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.

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

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

پرسش ۳ــ۹

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

الف) چون میله‌ها از جنس ماده فرومغناطیس هستند، آهنربا می‌شوند و از یکدیگر دور می شوند.

ب) از آنجا که وقتی کلید باز می‌شود، میله‌ها به محل اولیه باز می‌گردند، نتیجه این می‌شود که میله‌ها از جنس فرومغناطیس 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 الکتروآنسفالوگرام EEG منحنی تغییرات اختلاف پتانسیل تولید شده در مغز برحسب زمان را نشان می‌دهد. ECG یک وسیلهٔ ضروری برای تشخیص بیماری‌های قلبی و EEG وسیلهٔ بسیار با ارزشی برای تشخیص بعضی اختلالات مغزی است.

تلاشی درمسیر موفقیت

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 به‌وسیلهٔ این جریان‌ها را اندازه‌گیری کنند.

جریان نسبتاً زیاد قلب، میدان مغناطیسی تقریبی ۱×۱۰^{-۶} گاوس را در اطراف قفسهٔ سینه به‌وجود می‌آورد و جریان‌های ضعیف در مغز، میدان مغناطیسی تقریبی ۳×۱۰^{-۸} گاوس را در اطراف سر تولید می‌کنند. این میدان‌ها از میدان مغناطیسی زمین (۰/۵ گاوس) یا حتی از میدان‌های مربوط به جریان‌های سیم‌های برق در منازل (۵×۱۰^{-۲} گاوس) ضعیف‌ترند و برای اندازه‌گیری آنها از روش‌های ویژه‌ای استفاده می‌شود.

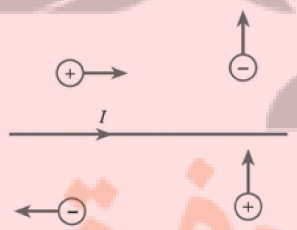
در یکی از این روش‌ها بدن انسان را در داخل اتاقی قرار می‌دهند که به وسیلهٔ دیوارهای آهنی از تأثیر میدان‌های مغناطیسی خارجی محفوظ است. روش دیگر، اندازه‌گیری اختلاف شدت میدان مغناطیسی در دو نقطهٔ نزدیک بدن است. اثر میدان‌های مغناطیسی دور در این نقطه یکسان‌اند و حذف می‌شوند، در حالی که میدان بدن انسان در 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.

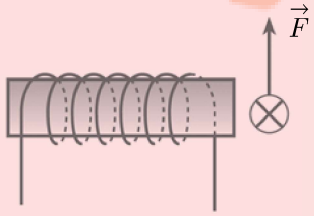
انتظار می‌رود که روش‌های آشکارسازی میدان‌های مغناطیسی بسیار ضعیف، به‌تدریج کامل شوند و دریچهٔ کاملاً جدیدی را به روی اعمال انسان بگشایند.

پرسش های پیشنهادی

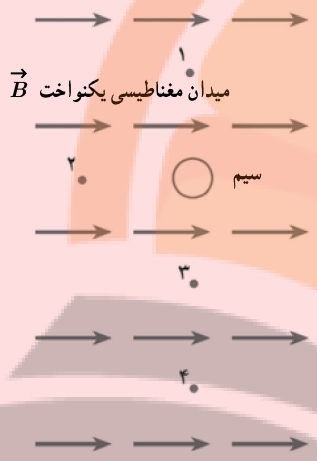
۱ در شکل زیر جهت نیروی وارد بر هر یک از ذره‌های باردار، ناشی از میدان مغناطیسی سیم حامل جریان، به کدام طرف است؟



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 عمودبر صفحهٔ کتاب مطابق شکل روبه‌رو درون میدان مغناطیسی یکنواختی قرار دارد. برآیند میدان مغناطیسی در نقطهٔ ۳ صفر است.



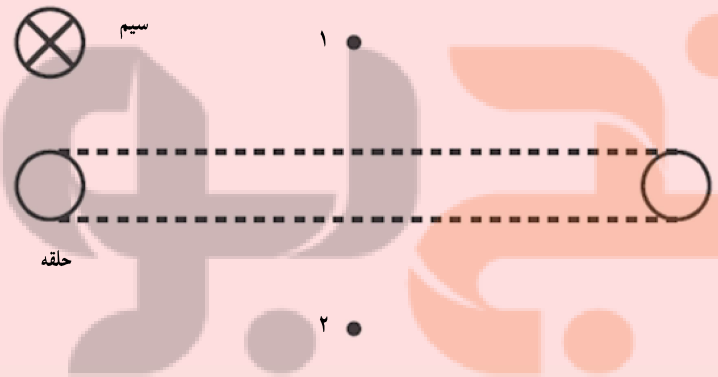
الف) جهت جریان الکتریکی را در سیم (روی شکل) مشخص کنید.

ب) فاصلهٔ نقطه‌های ۱ و ۲ از سیم همانند نقطهٔ ۳ و فاصلهٔ نقطه ۴ از سیم بیشتر از فاصلهٔ نقطهٔ 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 حلقهٔ حامل جریانی قرار دارد (شکل زیر). سیم و حلقه عمود بر صفحه کتاب‌اند و میدان مغناطیسی برآیند در نقطهٔ 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 نقطهٔ 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 فری‌مغناطیس.
به‌طور کلی سه عامل در منشأ مغناطیسی مواد مؤثر است.

تلاشی در مسیر موفقیت

الف) گشتاور اسپینی

ب) گشتاور مداری الکترون‌ها

ج) گشتاور القایی ناشی از میدان مغناطیسی خارجی

دو مورد اوّل در خاصیت پارا، فرو، پادفرو و فری‌مغناطیسی مواد نقش اساسی دارد و مورد سوم در خاصیت دیامغناطیسی مواد.

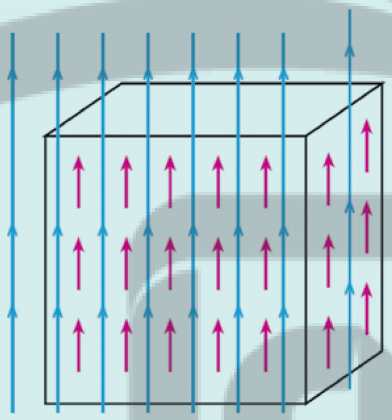
۱ **دیامغناطیسی** : هرگاه یک ماده در معرض یک میدان مغناطیسی خارجی قرار بگیرد برهم‌کنش بین الکترون‌های هر اتم و میدان مغناطیسی خارجی باعث القای یک گشتاور مغناطیسی در اتم می‌شود، این پدیده را دیامغناطیس می‌نامند. از آنجایی که همهٔ مواد از اتم تشکیل شده‌اند، این پدیده در تمام مواد رخ می‌دهد. اما این ساختار 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، دی‌اکسید کربن، شیشه و... چند مادهٔ دیامغناطیس هستند.

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.

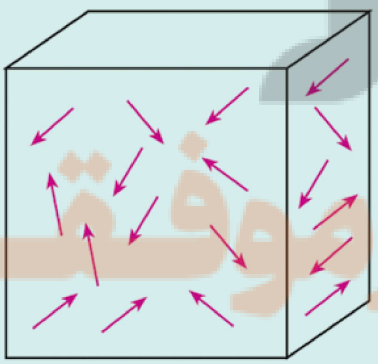
ب) در غیاب میدان مغناطیسی خارجی، جهت گشتاورهای دائمی اتم‌های آنها به‌طور کاتوره‌ای در داخل ماده توزیع شده‌اند. زیرا نیرویی که باعث جفت‌شدگی بین این گشتاورها در داخل ماده می‌شود ضعیف است. این نیرو به نیروی تبادلی موسوم است منشأ آن کوانتومی است.

ج) اگر این مواد در معرض یک میدان مغناطیسی خارجی قرار بگیرند، علاوه‌بر 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.



یک ماده پارامغناطیس در حضور یک میدان مغناطیسی خارجی قوی.

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.

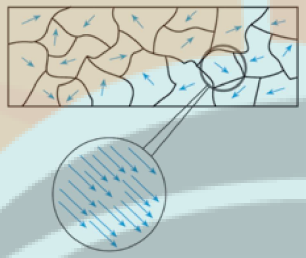


یک ماده پارامغناطیس در غیاب میدان مغناطیسی خارجی.

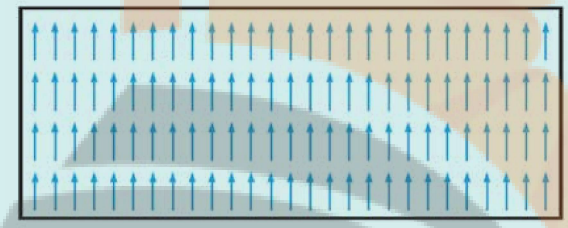
منگنز، پلاتین، آلومینیوم، هوا و... جزء مواد پارامغناطیس محسوب می‌شوند.

۳ **فرو، پادفرو و فری‌مغناطیس** : اگر برهم‌کنش 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 فری‌مغناطیس تقسیم می‌شوند.

در مواد فرومغناطیس گشتاورهای مغناطیسی اتم‌های ماده به‌صورت 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. به‌طوری که جهت‌گیری گشتاورهای مغناطیسی در هر حوزهٔ مغناطیسی یکسان است ولی در مجموع گشتاور مغناطیسی برآیند کل نمونه (مغناطش نمونه) برابر صفر است.



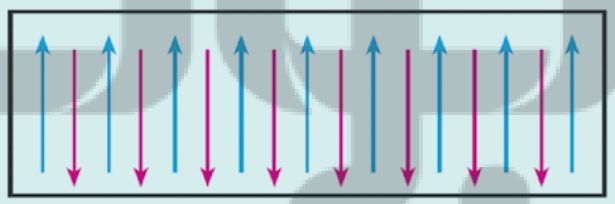
یک ماده فرومغناطیسی در غیاب میدان مغناطیسی



یک ماده فرومغناطیسی در حضور میدان مغناطیسی خارجی

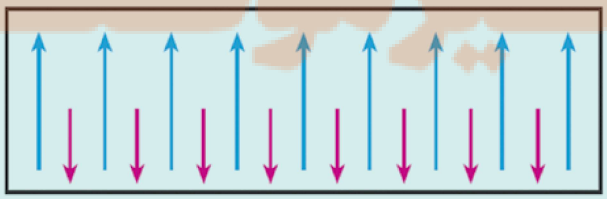
حال اگر یک مادهٔ فرومغناطیس را در معرض یک میدان مغناطیسی خارجی قرار می‌دهیم، گشتاور مغناطیسی حوزه‌هایی که در جهت (یا تقریباً در جهت) میدان هستند هم‌جهت با آن قرار می‌گیرند، به‌طوری که با افزایش شدت میدان به تدریج گشتاورهای مغناطیسی حوزه‌های دیگر نیز در جهت میدان ردیف می‌شوند و در نهایت ماده به یک تک حوزهٔ 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، گادودیینم و دیسپرسیم جزء مواد فرومغناطیس محسوب می‌شوند.

مواد پادفرومغناطیس نیز از حوزه‌هایی تشکیل شده‌اند که هر حوزه نیز از شبکه‌هایی شامل دو زیر شبکهٔ A و B تشکیل شده است به‌طوری که جهت گشتاورهای مغناطیسی در زیر شبکه‌های A و B به‌صورت پاد موازی یکدیگرند (شکل زیر). موادی مانند MnO، MnS، FeO و ... جزءِ مواد پادفرومغناطیس هستند.



یک حوزهٔ مربوط به ماده پادفرومغناطیس، در مواد پادفرومغناطیس برآیند گشتاورهای مغناطیسی در هر شبکه صفر است.

مواد فری‌مغناطیس نیز مانند مواد پادفرومغناطیس می‌باشند با این تفاوت که اندازهٔ 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).

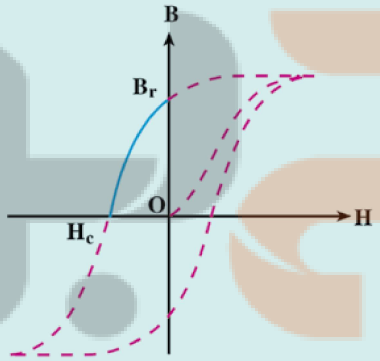


یک حوزهٔ مغناطیسی مربوط به مادهٔ فری‌مغناطیس، در مواد فری‌مغناطیس برآیند گشتاورهای مغناطیسی در هر شبکه مخالف صفر است.

تلاشی درمسیر موفقیت

هرگاه یک مادهٔ فری‌مغناطیس در یک میدان مغناطیسی خارجی نسبتاً قوی قرار بگیرد برآیند همهٔ 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 بازنمی‌گردند و جسم خاصیت مغناطیسی را به‌صورت 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 به‌طوری که به اختصار آنها را فریت می‌نامند. رابطهٔ شیمیایی این مواد به‌صورت MFe_2O_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 فری‌مغناطیس : یکی از بارزترین مشخصات این مواد، منحنی مغناطیدگی یا چرخهٔ 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 (صفحهٔ 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 هم‌جهت (یا تقریباً هم‌جهت) 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 هم‌جهت می‌شوند و کل نمونه به‌صورت یک تک حوزهٔ مغناطیسی درمی‌آید. اکنون اگر میدان مغناطیسی خارجی را به تدریج کاهش دهیم گشتاورهای حوزه‌های مغناطیسی به حالت اولیه خود بازنمی‌گردند، 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 چرخهٔ پسماند) یک مادهٔ فرو یا فری‌مغناطیس

در این نمودار B_r پسماند مغناطیسی در ماده است و H_e میدان وادارندهٔ جسم است که خاصیت مغناطیسی را در جسم حفظ می‌کند که معمولاً به آن نیروی وادارندگی می‌گویند. در مواد فرومغناطیس نیروی وادارندهٔ H_e کوچک است به همین دلیل با حذف میدان مغناطیسی خارجی جسم پس از مدت زمانی کوتاه به حالت اولیه خود بازمی‌گردد. در حالی‌که در مواد فری‌مغناطیس نیروی وادارندهٔ H_e بزرگ است و مانع آن می‌شود که در غیاب میدان خارجی جسم خاصیت (باقی‌ماندگی) مغناطیسی خود را از دست بدهد. آن بخش از منحنی پسماند را که در ناحیهٔ دوم قرار دارد (خط پیوسته در شکل بالا) منحنی وامغناطیدگی جسم می‌نامند.

چرا مواد فری‌مغناطیس برای ذخیرهٔ اطلاعات مناسب‌اند؟ با توجه به آنچه گفته شد یک محیط مناسب برای ذخیره اطلاعات باید دارای شرایط زیر باشد :

الف) ذخیرهٔ 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

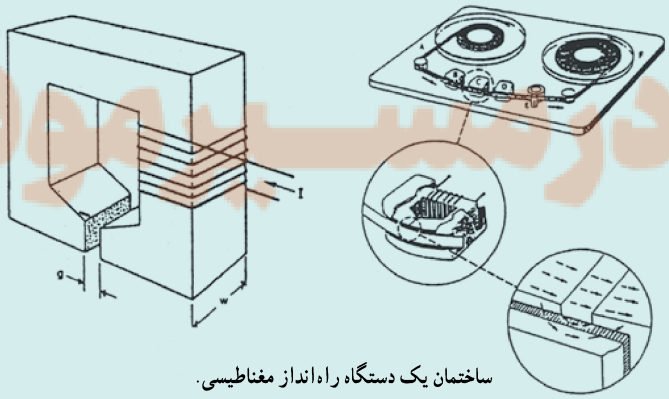
سه ویژگی بالا در مواد فری‌مغناطیس وجود دارد و از این جهت این مواد برای ذخیره اطلاعات مناسب‌اند.

تاریخچهٔ ضبط (ذخیره) مغناطیسی : ضبط مغناطیسی با استفاده از تبدیل نوسان‌های صوتی به نوسانات الکتریکی (توسط میکروفون و تقویت‌کننده) و تبدیل این جریان الکتریکی به یک میدان مغناطیسی توسط یک هد (که باید از جنس یک مادهٔ فرومغناطیس باشد) و اعمال این میدان مغناطیسی بر روی یک محیط مغناطیسی مناسب (از جنس یک مادهٔ فری‌مغناطیس) امکان‌پذیر است. ضبط صدای انسان نخستین‌بار در سال ۱۸۹۸ میلادی توسط پولسن (Poulsen) ابداع گردید. او نوسان‌های صوتی را توسط یک آهنربای الکتریکی که به یک میکروفون وصل شده بود بر روی یک میلهٔ فولادی (آهن با ۱ درصد کربن) ذخیره نمود. مجموعهٔ دستگاهی که ایشان فراهم نمود بود به تلگرافون موسوم بود. عیب عمدهٔ این دستگاه نوفهٔ (Noise) زیاد در هنگام بازیافت اطلاعات ذخیره شده بود.

در سال ۱۹۲۰ با بهبود کیفیت تقویت‌کننده‌ها، بازیافت اطلاعات با نوفهٔ کمتری همراه شد. در سال ۱۹۲۱ با اختراع روش ضبط با پیش‌ولت ac این نوفه‌ها به میزان قابل توجهی کاهش یافت.

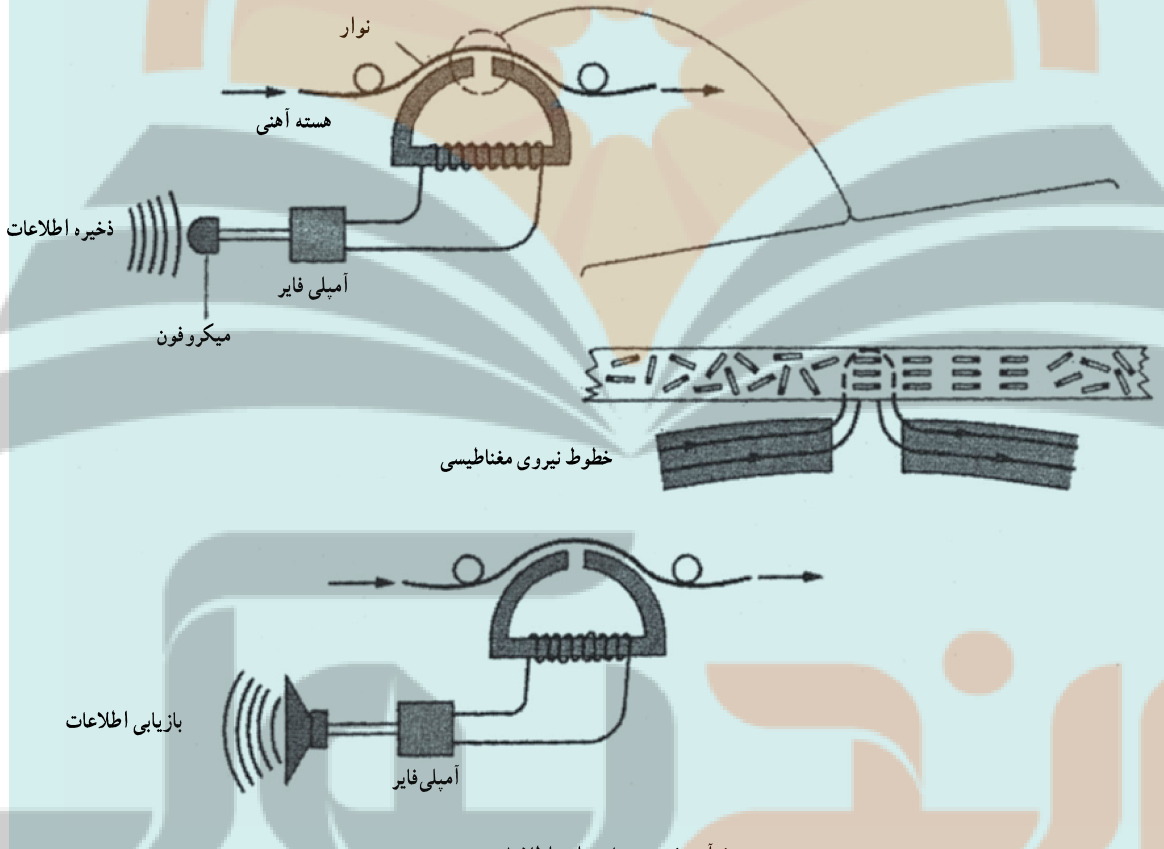
نوارهای ضبط شنیداری ATR نخستین‌بار با آغشته کردن یک نوار کاغذی مخصوص با یک مایع فری‌مغناطیس در سال ۱۹۲۷ توسط یک شرکت آمریکایی ابداع گردید و هم‌زمان در آلمان این نوارها با استفاده از نوار کاغذی آغشته به پودر آهن ساخته شدند. در سال ۱۹۴۷ با همکاری سه شرکت آمریکایی نوارهای اکسید آهن ابداع شدند و در سال ۱۹۵۰ نوارهای ضبط دیداری VTR و همچنین درایوهای دیسک مغناطیسی MDD ساخته شدند. در اواخر دههٔ ۱۹۶۰ میلادی نوارهایی از جنس دیوکسیدکروم و در اوایل دههٔ 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 محیط‌های مغناطیسی : همان‌طور که گفته‌شد عمل ذخیره‌سازی 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 راه‌انداز و اعمال این میدان بر روی یک محیط مغناطیسی مناسب امکان‌پذیر است (شکل زیر).



ساختمان یک دستگاه راه‌انداز مغناطیسی.

برای بازیافت اطلاعات فرایند بالا برعکس می‌شود. یعنی نوار را از مقابل یک راه‌انداز مغناطیسی عبور می‌دهند، در نتیجه بر اثر خاصیت مغناطیسی نوار، یک میدان مغناطیسی در دستگاه راه‌انداز القا می‌شود و این میدان مغناطیسی باعث ایجاد یک جریان الکتریکی می‌شود که توسط یک مبدل به نوسان‌های صوتی تبدیل می‌شود (شکل صفحهٔ بعد).



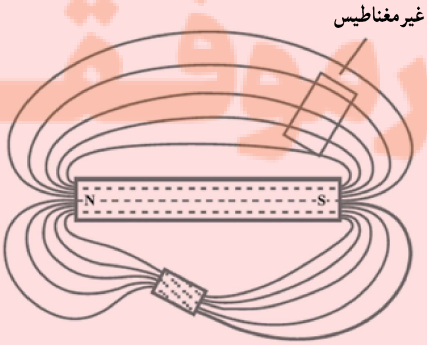
فرآیند ذخیره و بازخوانی اطلاعات

پرسش‌های پیشنهادی

۱ در شکل روبه‌رو تأثیر وجود یک مادهٔ غیرمغناطیسی (مانند شیشه) و یک مادهٔ مغناطیسی (مانند آهن) در اطراف یک آهنربای میله‌ای نشان داده شده است.

الف) سمت‌گیری تقریبی دوقطبی‌های مغناطیسی را در هر یک از این دو ماده با رسم شکل نشان دهید.

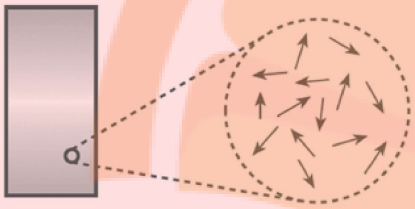
ب) قطب‌های القا شده در قطعهٔ آهن را تعیین کنید.



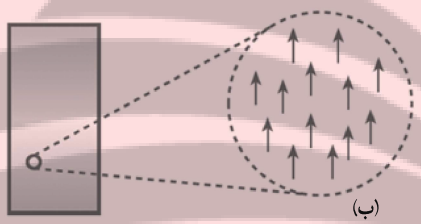
۲ الف) در شکل صفحه زیر الف و ب سمت‌گیری دوقطبی‌های مغناطیسی در دو مادهٔ مختلف (در مقیاس خیلی ریز) نشان داده است. تفاوت‌های هر ماده را از لحاظ مغناطیسی بنویسید.

ب) در صورتی که مادهٔ (الف) درون یک میدان مغناطیسی ضعیف قرار گیرد، چه تغییری در سمت‌گیری دوقطبی‌های آن رخ می‌دهد؟ در صورتی که میدان مغناطیسی قوی باشد، چطور؟

پ) اگر مادهٔ (ب) یک آهنربای میله‌ای باشد، قطب‌های آن را در دو طرف آهنربا تعیین کنید.



(الف)



(ب)

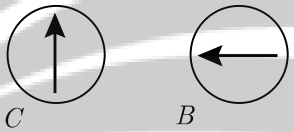
ترنج بوک
تلاشی در مسیر موفقیت

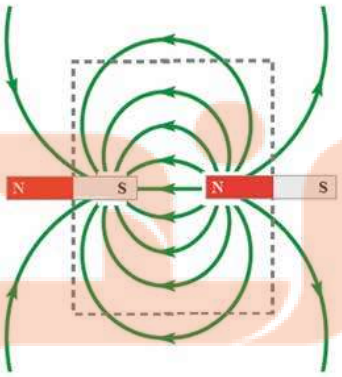
راهنمای پاسخ‌یابی پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۳

۱ دانش‌آموزان با توجه به شکل ۳ـ۶ دیدند، جهت قطب‌های آهنربا به سادگی تعیین می‌شود.

۲ الف) اندازهٔ میدان در نقطه A حداقل ممکن و نزدیک به صفر است.

ب)





پ)

۳ الف) ۱ـ استفاده از یک آهنربا با قطب‌های مشخص

۲ـ استفاده از قطب نما

ب) با توجه به تراکم خطوط میدان در مجاورت قطب‌ها آهنربای ۲، اندازه میدان $\vec{B}$ این آهنربا از آهنرباهای (۲) بیشتر است.

۴ الف) نوک ثابت آهنی بر اثر پدیدهٔ القای مغناطیسی، به آهنربا تبدیل می‌شود.

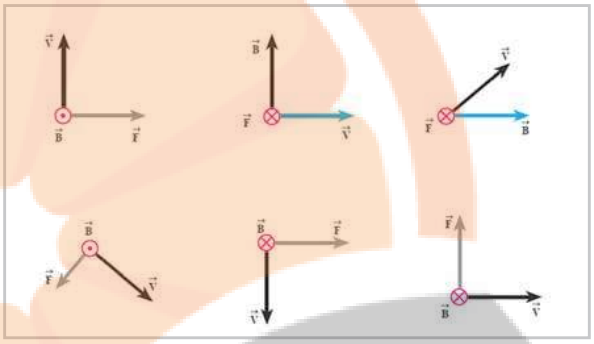
ب) به علت آنکه آهن مادهٔ فرومغناطیس نرم است به راحتی به آهنربا تبدیل می‌شود و قادر خواهد بود قطعهٔ بلعیده شده را جذب و به بیرون بکشد.

پ) به علت اینکه مجرای گلو دارای فرورفتگی و برآمدگی است.

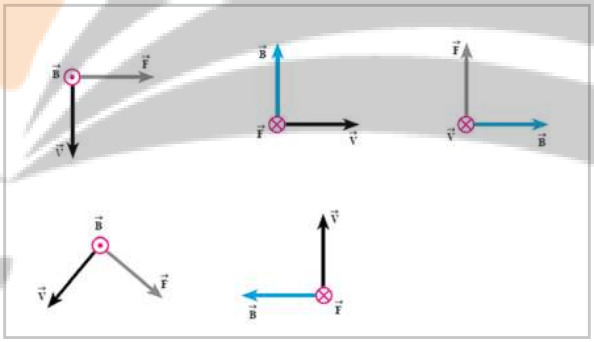
ت) گیرهٔ آهنی کاغذ را می‌توان بیرون آورد زیرا مادهٔ فرومغناطیس نرم است و جذب آهنربا می‌شود.

۵ با استفاده از قاعدهٔ دست راست، نوع بار هر ذره را تعیین می‌کنیم زیرا ذرهٔ ۱ بار مثبت، ذره‌های ۲ و ۴ بار منفی و ذرهٔ ۳ چون از مسیر خود منحرف نشده است، خنثی است.

۶



۷



۸ پاد ساعتگرد

۹ $V = ۴/۴ \times ۱۰^{۶}\ \text{m/s}\ ,\ B = ۱۸\text{mT}\ ,\ \theta = ۶۰^{\circ}$

الف) $F = qvB\sin\theta = (۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}\ c) = (۴/۴ \times ۱۰^{۶}\ \text{m/s}) \times (۱۸ \times ۱۰^{-۳}\ T)\sin ۶۰^{\circ} \approx ۲/۵ \times ۱۰^{-۱۵}\ N$

ب)

$$F = ma \Rightarrow a = \frac{۲/۵ \times ۱۰^{-۱۵}\ N}{۱/۷ \times ۱۰^{-۲۷}\ kg} = ۱/۴ \times ۱۰^{۱۲}\ m/s^{۲}$$

۱۰ $v = ۲/۴ \times ۱۰^{۵}\ \text{m/s}\ ,\ F_{max} = ۶/۸۷۱ \times ۱۰^{-۱۴}\ N\ ,\ B = ?$

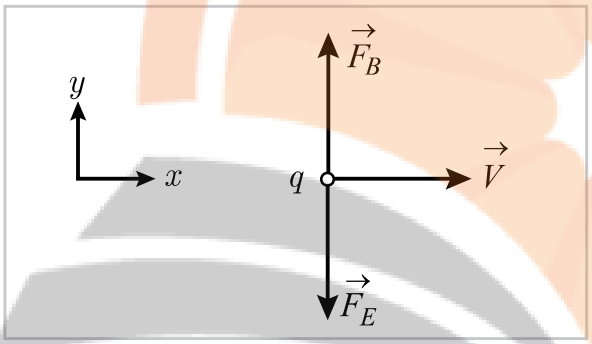
$F = qvB\sin\theta \Rightarrow ۶/۸ \times ۱۰^{-۱۴}\ N = (۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}\ c)(۲/۴ \times ۱۰^{۵}\ \text{m/s})\ B$

$\Rightarrow B \simeq ۱/۷\ \text{T}$

چون اندازهٔ نیروی وارد بر الکترون بیشینه فرض شده است $\sin\theta = ۱$ گرفته‌ایم. جهت میدان به سمت غرب است (به بار منفی الکترون توجه شود).

۱۱ برای اینکه ذرهٔ باردار در همان امتداد محور x به حرکت خود ادامه دهد، مطابق شکل باید $F_E = F_B$. در این صورت داریم

$$qE = qvB \Rightarrow v = \frac{E}{B} = \frac{۴۵۰N}{۰/۱۸T} = ۲۵۰۰m/s$$

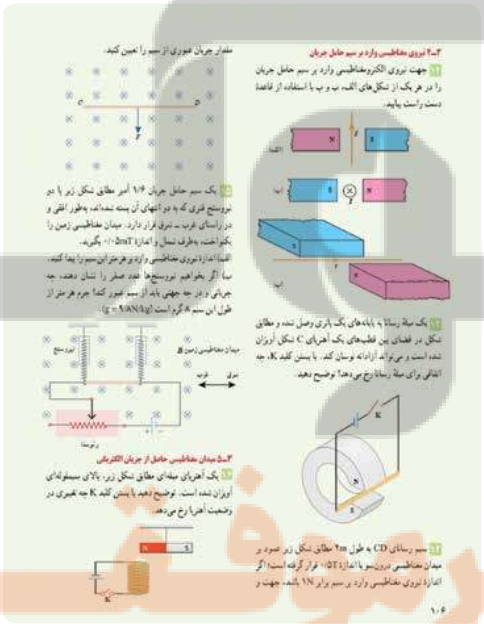


۱۲ با استفاده از قاعده دست راست، جهت نیرو

الف) به سمت داخل صفحه (درون سو) است.

ب) به سمت بالا.

پ) به سمت بالا.



۱۳ میله در همان لحظهٔ وصل کلید، روبه جلو پرتاب می‌شود. دانش‌آموزان با توجه به قاعدهٔ دست راست و جهت جریان و میدان $\vec{B}$، باید جهت نیروی وارد بر میله را تعیین کنند.

تلاشی دانش‌آموزی

۱۴ $l = ۲\text{m}\ ,\ B = ۰/۵\ \text{T}\ ,\ F = ۱\text{N}\ ,\ I = ?$

$F = IlB\sin\theta \Rightarrow ۱\text{N} = I(۲\text{m})\,(۰/۵\text{T})\sin۹۰^\circ$

$\Rightarrow I = ۱\,A$

جهت جریان از D به C است.

۱۵ $I = ۱/۶A\ ,\ B = ۰/۰۵\text{mT} = ۰/۰۵\times۱۰^{-۳}\ \text{T}$

الف) $F = IlB\sin\theta = (۱/۶A)\,(۱\text{m})\,(۰/۰۵\times۱۰^{-۳}\ \text{T})\sin۹۰^\circ$

$= ۸\times۱۰^{-۵}N$

ب) $F = mg \Rightarrow IlB\sin\theta = mg$

$I(۱\text{m})\,(۰/۰۵\times۱۰^{-۳})\sin۹۰^\circ = (۸\times۱۰^{-۳}\text{kg})\,(۹/۸\text{N/kg})$

$\Rightarrow I = ۱۵۶۸\,A$

که جریان بسیار بزرگی است.

۱۶ با بستن کلید، سیملوله آهنربا می‌شود و با توجه به جهت جریان در آن، پایین سیملوله قطب N و بالای آن قطب S می‌شود. بنابراین قطب N آهنربای آویزان به طرف سیملوله کشیده می‌شود.

۱۷ با قرار دادن باتری A درون مدار، جهت خطوط میدان حاصل از سیم حامل جریان سبب انحراف عقربهٔ مغناطیسی به طرف چپ می‌شود.

۱۸ باتری A، با توجه به جهت جریان در سیملوله، سمت راست سیملوله قطب S می‌شود و آهنربای آویزان را به سمت خود جذب می‌کند.

۱۹ جهت میدان $\vec{B}$ ناشی از سیم ۱ در نقطه A درون‌سو است. بنابراین باید جهت میدان ناشی از سیم ۲ در نقطه A برون‌سو باشد تا برآیند آنها بتواند صفر شود.

بنابراین باید جهت جریان در سیم ۲، بر خلاف جهت جریان در سیم ۱ باشد.

۲۰ $N = ۲۵۰\ ,\ l = ۰/۱۴\text{m}\ ,\ I = ۰/۸\text{A}\ ,\ B = ?$

$$B = \frac{\mu_۰ NI}{l} = \frac{(۴\pi\times۱۰^{-۷}\,T.\text{m/A})(۲۵۰)(۰/۸\,\text{A})}{۰/۱۴\text{m}} \approx ۱/۸\times۱۰^{-۳}\,\text{T}$$

۲۱ $N_P = ۲۰۰\ ,\ N_Q = ۳۰۰\ ,\ I_Q = ۱\,A\ ,\ I_P = ?$

$l_P = l_Q$

شرط صفر بودن برآیند میدان $\vec{B}$ ناشی از دو سیملوله در نقطهٔ M عبارت است از

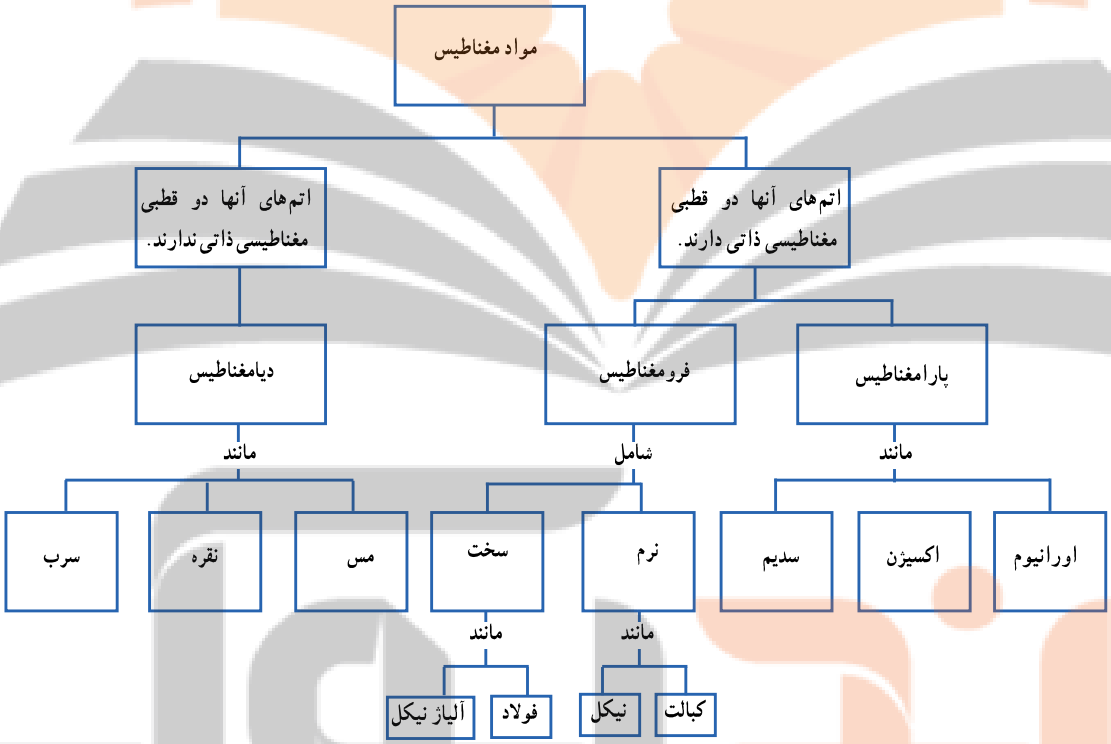
$$B_P = B_Q \Rightarrow \frac{\mu_۰ N_P I_P}{l_P} = \frac{\mu_۰ N_Q I_Q}{l_Q}$$

$$\Rightarrow ۲۰۰ I_P = ۳۰۰\times۱\text{A} \Rightarrow I_P = \frac{۲}{۳}\text{A}$$

تلاشی درمسیر موفقیت

۲۲ چون پس از حذف $\vec{B}$ ، جهت‌گیری حوزه‌های مغناطیسی مادهٔ فرومغناطیسی به‌طور کاتوره‌ای درآمده است نوع مادهٔ فرومغناطیس، نرم است.

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



تلاشی درمسیرموفقیت

فصل چهارم

القای الکترومغناطیسی و جریان متناوب

ترنج بوک
تلاشی در مسیر موفقیت

هدف‌های فصل

- آشنایی با پدیدهٔ القای الکترومغناطیسی و کاربردهای آن در زندگی روزمره (مثل تولید جریان متناوب)
- شناخت عامل‌های مؤثر بر اندازهٔ جریان القایی و چگونگی تعیین جهت آن
- آشنایی با اثر خودالقاوری و ضریب خودالقاوری سیملوله.
- آشنایی با پدیدهٔ القای متقابل
- آشنایی با جریان متناوب و ویژگی‌های آن
- آشنایی با اساس کار مبدل‌ها و انواع آنها

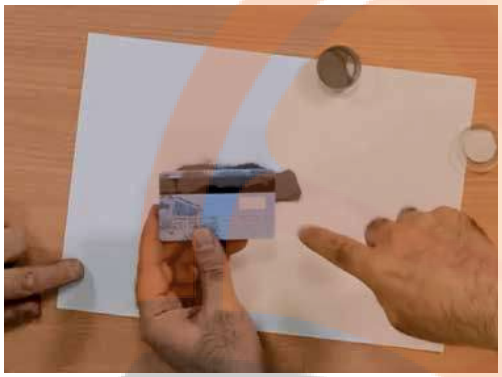
راهنمای تدریس : ابتدا توجه دانش‌آموزان را به تصویر ورودی فصل و متن زیر آن جلب کنید تا زمینهٔ مناسب برای ورود به فصل فراهم شود.

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.

در ادامه دانش‌آموزان با جزئیات بیشتری می‌توانند به پرسش زیر تصویر پاسخ دهند و دلیل کشیده شدن کارت بانکی را درون دستگاه کارت‌خوان توضیح دهند.

افزون بر مثال مربوط به کارت‌خوان، می‌توانید به کاربردهای دیگری از پدیده القای الکترومغناطیسی اشاره کنید. مثلاً در فروشگاه‌های بزرگ لباس برای جلوگیری از به‌سرقت رفتن لباس‌ها امروزه در ورودی فروشگاه دروازه‌هایی تعبیه می‌شود و روی هر یک از لباس‌ها هم یک قطعهٔ فلزی نصب می‌کنند.

اگر لباسی که فروشنده قطعهٔ محافظ آن را جدا نکرده باشد از دروازه بگذرد آژیر به صدا درمی‌آید. در ورودی فرودگاه یا مکان‌های مهم امنیتی که می‌خواهند وجود اشیای خاص فلزی مثل انواع اسلحه‌های سرد و گرم را ردیابی کنند به جای بازدید بدنی افراد را از دروازهٔ یک دستگاه آشکارساز فلز عبور می‌دهند. در این‌گونه مواقع از افراد می‌خواهند تا قبل از ورود به دستگاه وسایل فلزی همراه خود را تحویل دهند.



۴ـ۱ـ پدیده القای الکترومغناطیسی

راهنمای تدریس : مطابق الگوی کتاب، ابتدا به کمک آزمایش دانش‌آموزان را با پدیدهٔ القای الکترومغناطیسی فاراده آشنا کنید. این آزمایش را به شکل‌های مختلف و با ابزارهای متفاوتی می‌توان انجام داد که تعدادی از این روش‌ها در مجموعه فیلم‌های مرتبط با آزمایش‌های کتاب فیزیک ۲ موجود است و از طریق سایت گروه فیزیک می‌توانید به آنها دسترسی داشته باشید. از آنجا که آهنرباهای دائم به شکل فعلی در اختیار فاراده نبود، مطابق شکل ۴ـ۱، وی از آهنربای الکتریکی برای مشاهده و بررسی این پدیده استفاده کرد.

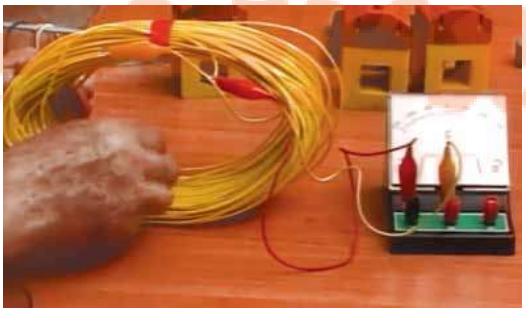
آشکارسازهای فلز در ورودی فرودگاه یا ساختمان‌های دولتی

در هنگام ورود به یک فرودگاه معمولاً چمدان‌ها و وسایل را از دستگاه پرتو X عبور می‌دهیم و خودمان از آشکارساز فلز می‌گذریم.

آشکارسازهای فلز در همهٔ فرودگاه‌ها معمولاً از نوع PI (Pulse Induction) است. در این نوع آشکارسازها پیچه‌هایی از سیم در دو طرف دروازه به‌عنوان فرستنده و گیرنده گذاشته می‌شوند که در آنها متناوباً جریان‌هایی فرستاده می‌شود. هر تپ جریان الکتریکی که تغییرات چند میکروثانیه‌ای دارد میدان مغناطیسی کوچک و متغیری تولید می‌کند. تغییر میدان مغناطیسی روی پیچهٔ مقابل جریان دیگری القا می‌کند. این جریان القایی را تپ بازتابی می‌نامیم که فقط حدود ۳۰ میکروثانیه دوام دارد. سپس تپ بعدی ارسال و این فرآیند دوباره تکرار می‌شود. در این آشکارسازها معمولاً در هر ثانیه حدود ۱۰۰ تپ فرستاده می‌شود. البته تعداد تپ‌های ارسالی بسته به کارخانهٔ سازنده می‌تواند از ۲۵ تا ۱۰۰۰ تپ در ثانیه باشد.

اگر وسیله‌ای فلزی در بین دروازه‌های این آشکارسازها قرار گیرد میدان مغناطیسی متغیر روی آن جریانی القا 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 ۴ــ۲ و شکل ۴ــ۳ (کتاب درسی) را انجام دهید تا دانش‌آموزان با عوامل متفاوتی که می‌توانند منجر به ایجاد نیروی محرکهٔ القایی یا جریان القایی به‌طور عملی آشنا شوند و قانون القای الکترومغناطیسی فاراده را تحقیق کنید.

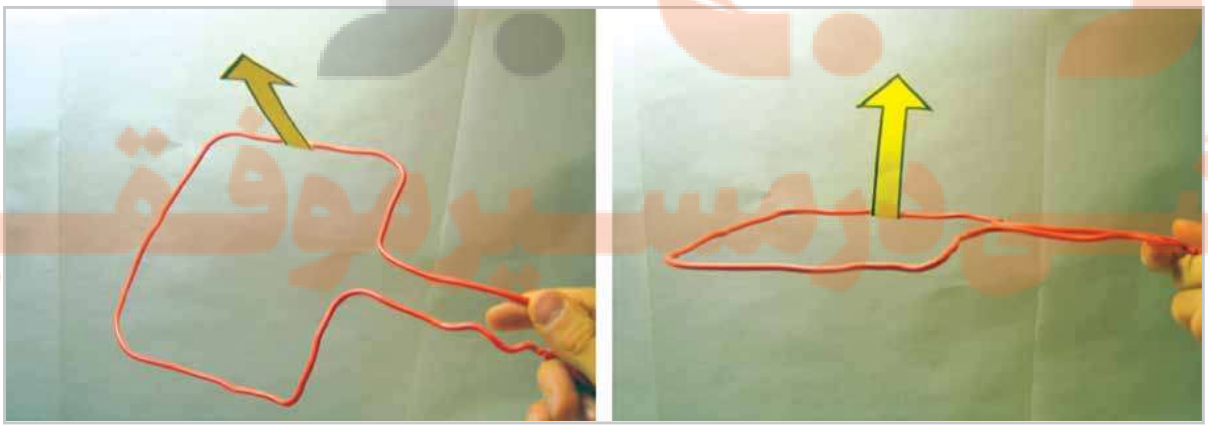


تلاشی درمسیر موفقیت

۴ـ۲ـ 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.

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 ۴ــ۱

الف)

$$A_1 = ۲۵\text{cm}^۲ = ۲/۵\times ۱۰^{-۳}\text{m}^۲$$

$$B = ۰/۰۳\text{T}\ ,\ \Phi_1 = ?\ ,\ \theta = ۰$$

$$\Phi_1 = BA_1\cos\theta$$

$$= (۰/۰۳\text{T})(۲/۵\times ۱۰^{-۳}\text{m}^۲)\cos ۰^\circ$$

$$= ۷/۵\times ۱۰^{-۵}\text{Wb}$$

ب)

$$A_2 = ۱/۰\times ۱۰^{-۳}\text{m}^۲\ ,\ \Phi_2 = ?$$

$$\Phi_2 = BA\cos\theta = ۳/۰\times ۱۰^{-۵}\text{Wb}$$

پ)

$$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{(۳/۰ - ۷/۵)\times ۱۰^{-۵}\text{ Wb}}{۰/۲\text{s}} = -۲/۲۵\times ۱۰^{-۵}\text{ Wb/s}$$

پرسش ۴ــ۱

هدف از این پرسش این است که قبل از معرفی رابطهٔ قانون القای فاراده، دانش‌آموزان با یکای آهنگ تغییرات شار (Wb/s) که از جنس نیروی محرکهٔ الکتریکی است (با یکای ولت) آشنا شوند.

القای الکترومغناطیسی و جریان متناوب

تمرین ۴ــ۱

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

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

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

پرسش ۴ــ۱

کدام‌یک از یکاهای زیر معادل یکای ولت است؟ (Wb/s)

Ω ☐ A ☐ V ☐ V/A ☐

اکنون که با تعریف و مفهوم شار مغناطیسی آشنا شدیم دوباره نگاهی می‌کنیم به پدیدهٔ القای الکترومغناطیسی که در بخش قبل بررسی کردیم. همان‌طور که گفتیم عامل مشترک در تمامی پدیده‌هایی که منجر به تولید جریان القایی در مدار می‌شود، تغییر شار مغناطیسی عبوری از پیچه یا سیملوله است. بنابر قانون فاراده، هرگاه شار مغناطیسی‌ای که از مدار بسته‌ای می‌گذرد تغییر کند، نیروی محرکه‌ای در آن القا می‌شود که بزرگی آن با آهنگ تغییر شار مغناطیسی متناسب است؛ یعنی هرچه آهنگ تغییر شار مغناطیسی بیشتر باشد، نیروی محرکهٔ القایی و در نتیجه جریان القایی تولید شده در مدار بیشتر خواهد بود. مثلاً در آزمایش‌های مربوط به شکل‌های ۴ــ۱۰، ۴ــ۲ و ۴ــ۳ هرچه حرکتی که سبب تغییر شار مغناطیسی می‌شود، سریع‌تر انجام شود، عقربهٔ گالوانومتر بیشتر منحرف می‌شود، و این نشان می‌دهد که جریان القایی بزرگ‌تری به‌وجود آمده است.

قانون فاراده برای پیچه یا سیملوله‌ای که از N دور مشابه تشکیل شده باشد را با رابطهٔ زیر بیان می‌شود:

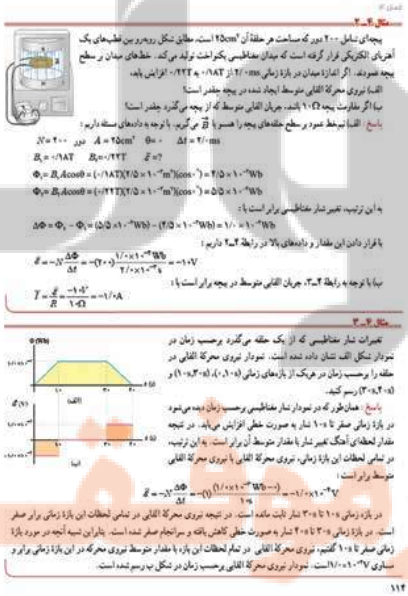
$$\mathcal{E} = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \qquad (۴ــ۲)$$

در این رابطه $\mathcal{E}$ نیروی محرکهٔ القایی متوسط برحسب ولت و $\Delta\Phi/\Delta t$ آهنگ تغییر شار مغناطیسی برحسب وبر بر ثانیه (Wb/s) است. اگر مقاومت پیچه یا سیملوله برابر R باشد، جریان القایی متوسط در آن از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R} \qquad (۴ــ۳)$$

همان‌طور که از رابطهٔ ۴ــ۳ دیده می‌شود، هرچه مقاومت پیچه یا ساری که در آن شار مغناطیسی تغییر می‌کند، بیشتر باشد، جریان کوچک‌تری در آن القا می‌شود.

۱۱۳


مثال ۴ــ۲

پیچه‌ای شامل ۲۰۰ دور که مساحت هر حلقهٔ آن $۲۵\text{cm}^۲$ است، مطابق شکل روبه‌رو بین قطب‌های یک آهربای الکتریکی قرار گرفته است که میدان مغناطیسی یکنواخت تولید می‌کند. خط‌های میدان بر سطح پیچه عمودند. اگر اندازهٔ میدان در بازهٔ زمانی ۲/۰ms از ۰/۱۸T به ۰/۲۲T افزایش یابد،

الف) نیروی محرکهٔ القایی متوسط ایجاد شده در پیچه چقدر است؟

ب) اگر مقاومت پیچه ۱۰Ω باشد، جریان القایی متوسط که از پیچه می‌گذرد چقدر است؟

پاسخ: الف) شار خط عمود بر سطح حلقه‌های پیچه را همسو با $\vec{B}$ می‌گیریم. با توجه به داده‌های مسئله داریم:

$N = ۲۰۰$ دور $\quad A = ۲۵\text{cm}^۲ \quad \theta = ۰ \quad \Delta t = ۲/۰\text{ms}$

$B_1 = ۰/۱۸\text{T} \quad B_2 = ۰/۲۲\text{T} \quad \mathcal{E} = ?$

$\Phi_1 = B_1 A\cos\theta = (۰/۱۸\text{T})(۲/۵\times ۱۰^{-۳}\text{m}^۲)(\cos ۰^\circ) = ۴/۵\times ۱۰^{-۳}\text{Wb}$

$\Phi_2 = B_2 A\cos\theta = (۰/۲۲\text{T})(۲/۵\times ۱۰^{-۳}\text{m}^۲)(\cos ۰^\circ) = ۵/۵\times ۱۰^{-۳}\text{Wb}$

به این ترتیب، تغییر شار مغناطیسی برابر است با:

$\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = (۵/۵\times ۱۰^{-۳}\text{Wb}) - (۴/۵\times ۱۰^{-۳}\text{Wb}) = ۱/۰\times ۱۰^{-۳}\text{Wb}$

با قرار دادن این مقدار و داده‌های بالا در رابطهٔ ۴ــ۲ داریم:

$$\mathcal{E} = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -(۲۰۰)\frac{۱/۰\times ۱۰^{-۳}\text{Wb}}{۲/۰\times ۱۰^{-۳}\text{s}} = -۱۰\text{V}$$

با توجه به رابطهٔ ۴ــ۳، جریان القایی متوسط در پیچه برابر است با:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R} = \frac{-۱۰\text{V}}{۱۰\Omega} = -۱/۰\text{A}$$

مثال ۴ــ۳

تغییرات شار مغناطیسی که از یک حلقه می‌گذرد برحسب زمان در نمودار شکل الف نشان داده شده است. نمودار نیروی محرکهٔ القایی در حلقه را برحسب زمان در هریک از بازه‌های زمانی (۰,۰۱)، (۰۱,۰۳) و (۰۳,۰۴) رسم کنید.

پاسخ: همان‌طور که در نمودار شار مغناطیسی برحسب زمان دیده می‌شود در بازهٔ زمانی صفر تا ۰۱ شار به صورت خطی افزایش می‌یابد. در نتیجه مقدار لحظه‌ای آهنگ تغییر شار یا مقدار متوسط آن برابر است. به این ترتیب، در تمامی لحظات این بازهٔ زمانی، نیروی محرکهٔ القایی یا نیروی محرکهٔ القایی متوسط برابر است:

$$\mathcal{E} = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -(۱)\frac{(۱/۰\times ۱۰^{-۳}\text{Wb} - ۰)}{۱\text{s}} = -۱/۰\times ۱۰^{-۳}\text{V}$$

در بازهٔ زمانی ۰۱ تا ۰۳ شار ثابت مانده است. در نتیجه نیروی محرکهٔ القایی در تمامی لحظات این بازهٔ زمانی برابر صفر است. در بازهٔ زمانی ۰۳ تا ۰۴ شار به صورت خطی کاهش یافته و سرانجام صفر شده است. بنابراین شیب آنچه در مورد بازهٔ زمانی صفر تا ۰۱ گفتیم، نیروی محرکهٔ القایی در تمام لحظات این بازه، با مقدار متوسط نیروی محرکه در این بازهٔ زمانی برابر و مساوی $-۱/۰\times ۱۰^{-۳}\text{V}$ است. نمودار نیروی محرکهٔ القایی برحسب زمان در شکل ب رسم شده است.

۱۱۴

تمرین ۴ــ۲

$\Delta t = ۰/۴۵s\ ,\ A = ۱۰۰cm^۲$

$B_۱ = ۰/۲۸T$ رو به بالا

$B_۲ = ۰/۱۷T$ رو به پایین

(جهت بالا را مثبت فرض کرده‌ایم.)

الف)

$\bar{\mathcal{E}} = ?$

$$\bar{\mathcal{E}} = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

تغییرات شار ناشی از تغییرات جهت و اندازهٔ میدان است.

به این ترتیب

$$\Phi_۱ = B_۱A\cos\theta_۱ = (۰/۲۸T)(۱۰^{-۲}m^۲)\cos۰^\circ$$
$$= ۲/۸\times۱۰^{-۳}Wb$$
$$\Phi_۲ = B_۲A\cos\theta_۲ = (۰/۱۷T)(۱۰^{-۲}m^۲)\cos۱۸۰^\circ$$
$$= -۱/۷\times۱۰^{-۳}Wb$$
$$\Delta\Phi = \Phi_۲ - \Phi_۱ = -۱/۷\times۱۰^{-۳}Wb - ۲/۸\times۱۰^{-۳}Wb$$
$$= -۴/۵\times۱۰^{-۳}Wb$$

$$\bar{\mathcal{E}} = -\frac{(-۴/۵\times۱۰^{-۳}Wb)}{۰/۴۵s} = ۱۰^{-۲}V$$

ب)

$$I = |\bar{\mathcal{E}}|/R = (۱۰^{-۲}v)/(۱۰\Omega) = ۱۰^{-۳}A = ۱mA$$

پرسش ۴ـ۲

دانش‌آموزان با توجه به آشنایی با پدیدهٔ القای الکترومغناطیسی فاراده به سادگی می‌توانند به این پرسش پاسخ دهند. با هر بار عبور آهنربا از جلوی پیچه، جریانی در آن القا می‌شود. تندرسنج با شمارش تعداد تیپ‌های جریان در واحد زمان، تندی دوچرخه را گزارش می‌دهد.

دانستنی برای معلم

نمایشگر SIDS

مراقبت از کودکان بیمار کاری بس دشوار است. سندروم مرگ ناگهانی کودک[1] نوعی بیماری است که در آن در هنگام خواب کودک تنفس او بدون هیچ دلیل آشکاری قطع می‌شود. یکی از وسایل اعلام خطر در این موارد مانند شکل زیر از دو پیچه تشکیل شده است که با سینهٔ کودک تماس دارند. یکی از پیچه‌ها حامل جریان متناوب است و میدان مغناطیسی متغیر حاصل از آن از پیچهٔ گیرنده در طرف دیگر سینه می‌گذرد.

بالا و پایین رفتن سینه در اثر تنفس یا هر حرکت دیگری مقدار جریان القایی در پیچهٔ گیرنده را تغییر می‌دهد که این تغییرات را نمایشگری نشان می‌دهد. حال اگر تنفس قطع شود و تغییرات جریان به دستگاه ثبات نرسد، دستگاه طوری تنظیم شده است که با تولید صوت اعلام خطر کند.

۱ـ Sudden Infant Death Syndrom

دانستنی برای معلم

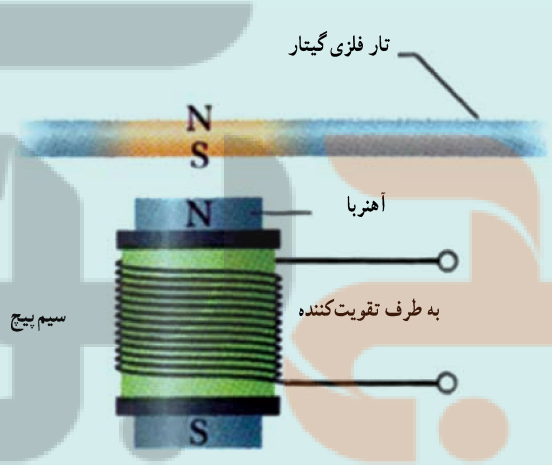
گیتار الکتریکی

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 سیم‌پیچی 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 به‌وجود 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 نزدیک‌شدن آن به پیچه جهت جریان القایی با همان بسامد نوسان تار تغییر می‌کند و سیگنالی با این بسامد به تقویت‌کننده و بلندگو منتقل می‌کند.

می‌توان این پرسش را مطرح کرد.

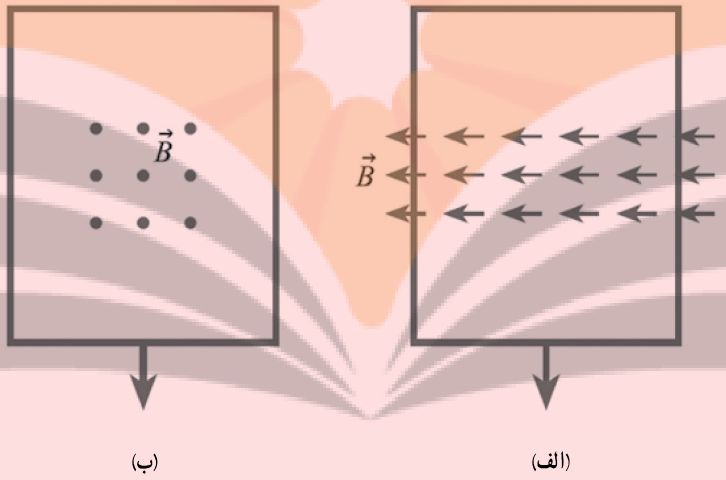
پرسش : به نظر شما تغییر کدام کمیت در گیتار الکتریکی جریان الکتریکی القایی را به‌وجود می‌آورد؟



پاسخ : تغییر اندازهٔ بردار مغناطیسی چون با تکان‌های سیم گیتار، مقدار بردار در مکان‌های مختلف فرق می‌کند.

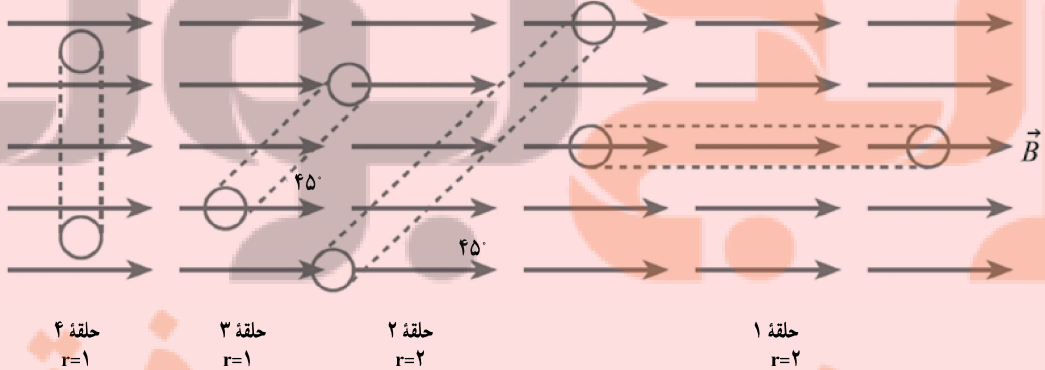
پرسش‌های پیشنهادی بخش‌های ۴ـ۱ و ۴ـ۲

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.



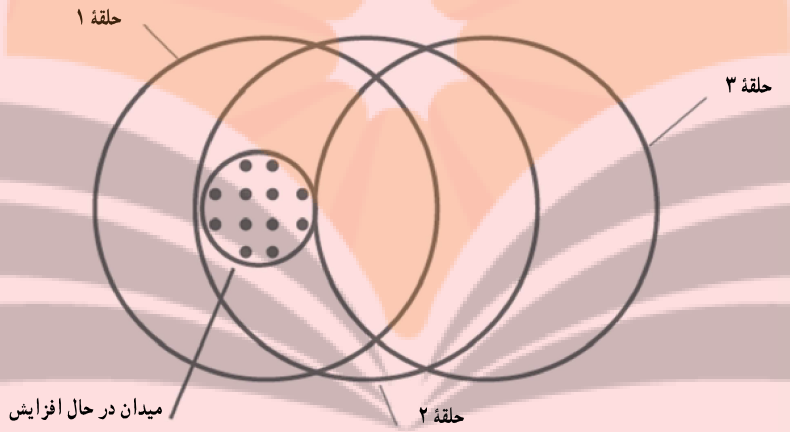
(ب) (الف)

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.



تلاشی درمسیر موفقیت

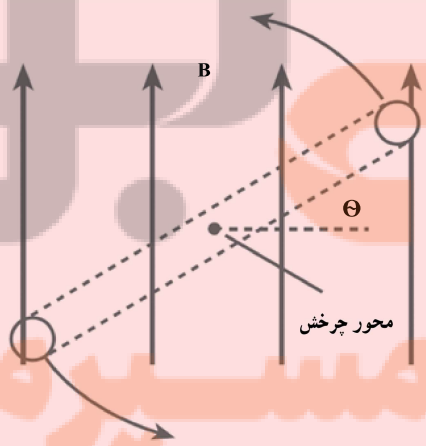
۳ سه حلقهٔ رسانای مشابه مطابق شکل زیر نسبت به هم قرار دارند و میدان مغناطیسی در حال افزایشی در ناحیهٔ نشان داده شده وجود دارد. حلقه‌ها را به ترتیب از بیشترین تا کمترین نیروی محرکهٔ القایی ایجاد شده در آنها بنویسید.



۴ یک حلقهٔ دایره‌ای با سرعت ثابت حول محوری که از مرکز آن می‌گذرد، مطابق شکل زیر از زاویهٔ صفر تا ۳۶۰ 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؟

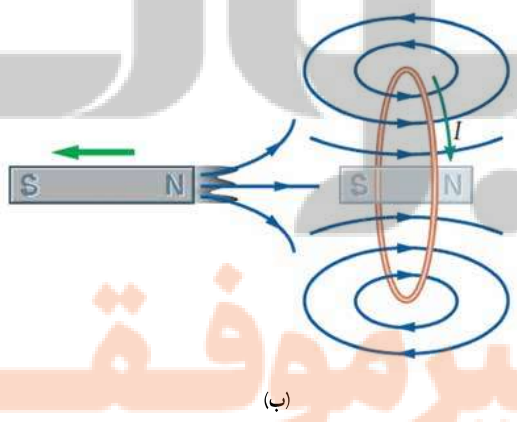


۴ـ۳ـ قانون لنز

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 ۴ـ۵ 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 دورشدن آهنربا از حلقه مخالفت کند (شکل ب).



(ب) (الف)

همان‌طور که دیده می‌شود، رهیافت کتاب مبتنی بر مخالفت با تغییر شار است، درحالی‌که رهیافت دوم مبتنی بر مخالفت با حرکت آهنرباست.

لازم است دانش‌آموزان توجه کنند که قانون لنز برای مدارهای بسته‌ای که به هر دلیل در آنها جریان القا می‌شود کاربرد دارد

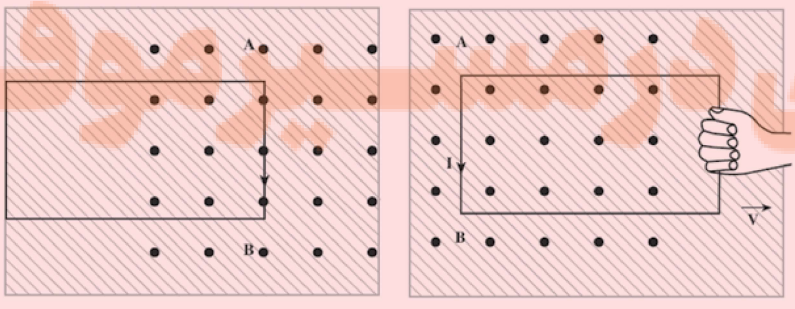
(شکل الف)، در حالی که اگر مدار بسته نباشد، مشابه (حلقهٔ ناکامل) شکل ب، نه جریانی در مدار القا می‌شود و نه می‌توان از قانون لنز برای تعیین جهت آن استفاده کرد.

(ب) (الف)

دانستنی برای معلم

بررسی میکروسکوپیک قانون لنز با استفاده از قانون پایستگی انرژی

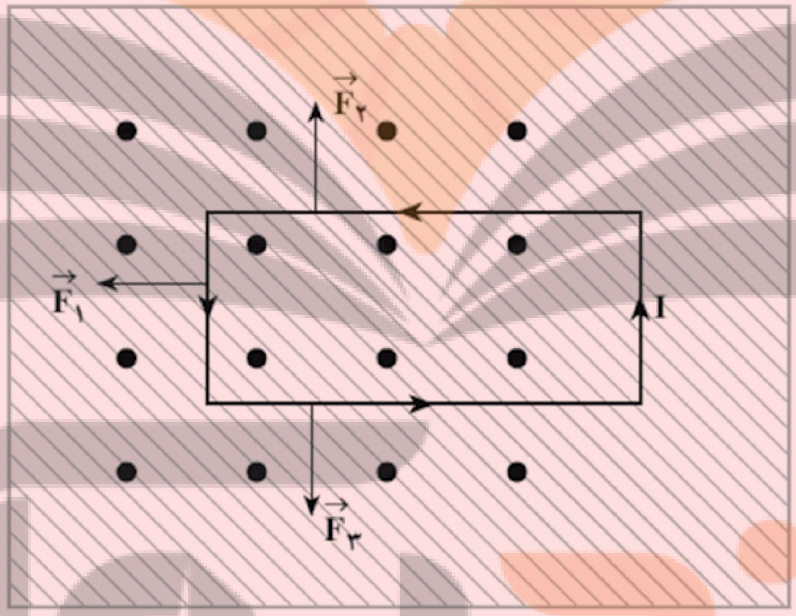
یک حلقهٔ مستطیل شکل را که در صفحه‌ای عمود بر میدان مغناطیسی یکنواخت B (شکل زیر) قرار دارد، درنظر بگیرید و فرض کنید که شخصی این حلقه را از چپ به راست می‌کشد. اگر مسئله را از دید یک ناظر بیرونی (مثلاً سوار بر آهنربا) بررسی کنیم، متوجه می‌شویم که از دید این ناظر، بر حامل‌های بارِ مثبت، نیرویی طبق رابطه $\vec{F}=q\,\vec{v}\times\vec{B}$ وارد می‌شود. از قاعدهٔ دست راست در می‌یابیم که امتداد اثرِ این نیرو در شاخهٔ AB رو به پایین است. از آنجا که جهت قراردادیِ جریان، جهت حرکت بارهای مثبت فرضی است پس با کشیدن حلقه به سمت راست، جریانی پاد ساعتگرد در حلقه تولید می‌شود. جالب آنکه اگر حلقه را از راست به چپ به درون هُل دهیم در حلقه جریان ساعتگرد ایجاد می‌شود. حال بیایید مسئله را از دید ناظری سوار بر حلقه بررسی کنیم؛ از آنجا که این ناظر، حرکت حلقه را مشاهده نمی‌کند، باید برقراری جریان را، که چیزی واقعی است و نباید به ناظرها وابسته باشد، طوری دیگر توجیه کند. این ناظر بالاخره مجبور می‌شود به این نتیجهٔ منطقی برسد که چون در نبود حرکت حلقه نیرویی که می‌تواند بارها را در حلقه به حرکت درآورد، نیرویی الکتریکی است، پس یک میدان مغناطیسی متغیّر میدان الکتریکی‌ای تولید می‌کند که بارها را در جهت پادساعتگرد به حرکت درمی‌آورد.



(ب) (الف)

حال با توجه به اینکه می‌دانیم بر یک رسانای حامل جریان در میدان مغناطیسی، نیرویی برابر $\vec{F} = I\,\vec{l}\times\vec{B}$ وارد می‌شود، آنگاه با استفاده از قاعدهٔ دست راست در می‌یابیم که بر اضلاع مستطیل، نیروهایی مطابق شکل زیر وارد می‌شوند. بدیهی است که $\vec{F}_۲$ و $\vec{F}_۴$ یکدیگر را خنثی می‌کنند و بنابراین، این فقط $\vec{F}_۱$ 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 $\vec{F}_۱$، خلاف جهت قبلی و دوباره در جهت مخالفت با عاملِ به‌وجود آورندهٔ آن می‌شد.



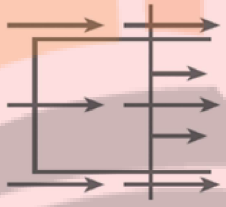
حال می‌خواهیم ثابت کنیم که قانون لنز در واقع چیزی جز پایستگی انرژی نیست. دیدیم که ناظر سوار بر حلقه وجود جریان را به نیرویی الکتریکی نسبت می‌دهد. بدیهی است که مقدار این نیرو باید با نیروی مغناطیسی که ناظر سوار بر آهنربا محاسبه می‌کرد، برابر باشد: $qE = qvB$، و از آنجا $E = vB$ به‌دست می‌آید. از طرفی، اختلاف پتانسیل دو سر میلهٔ AB از رابطهٔ $\mathscr{E} = El$ به‌دست می‌آید که با درنظر گرفتن رابطهٔ بالا به $\mathscr{E} = vBl$ خواهد انجامید. می‌دانیم که جریانِ موجود در مدار را می‌توان از رابطهٔ $I = \frac{\mathscr{E}}{R}$ که R مقاومت مدار است، محاسبه کرد؛ چون $\mathscr{E} = vBl$ است، پس $I = \frac{vBl}{R}$ و از آنجا $F = IlB = \frac{l^۲B^۲v}{R}$ خواهد شد.

بنابراین، عاملی که حلقه را می‌کشد، با توان ثابت $P = Fv = \frac{B^۲l^۲v^۲}{R}$ کار انجام می‌دهد. حال اگر آهنگ تولید انرژی در مدار از رابطهٔ $P = I^۲R$ محاسبه کنیم، دوباره به رابطهٔ 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.

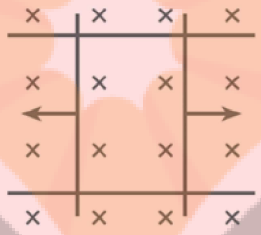
پرسش‌های پیشنهادی بخش ۴ــ۳

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.

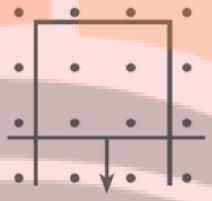
(الف)



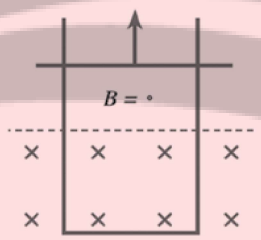
(ب)



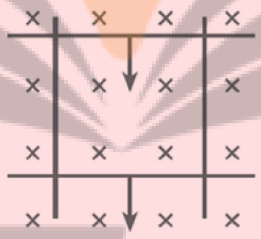
(پ)



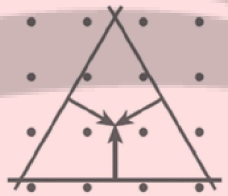
(ت)



(ث)

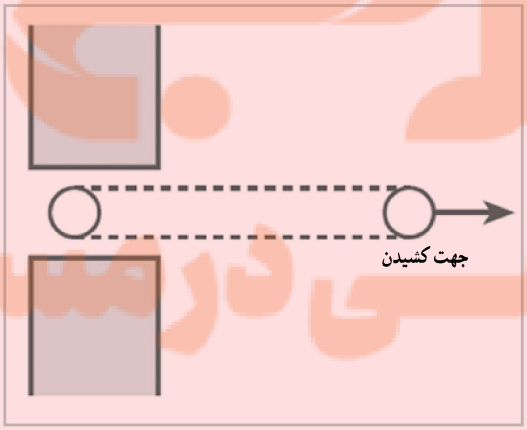


(ج)

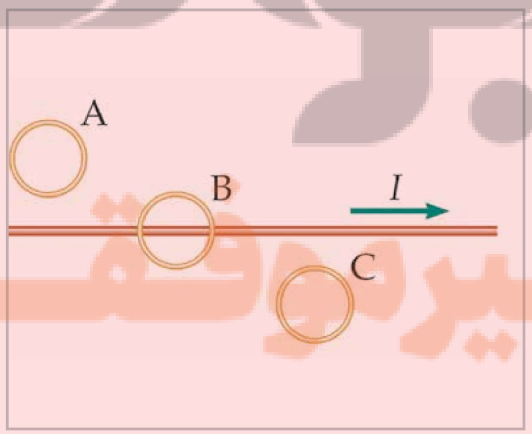


۲ در شکل چ مقطع حلقه‌ای نشان داده شده است که در حال کشیده شدن از بین قطب‌های دو آهنرباست. جهت جریان القایی را در هر مقطع حلقه با علامت • یا × مشخص کنید.

۳ جریان عبوری از سیم راست افقی در حال افزایش است (شکل ح). جهت جریان القایی را در هریک از حلقه‌ها تعیین کنید.



(چ)



(ح)

پرسش ۴ــ۳

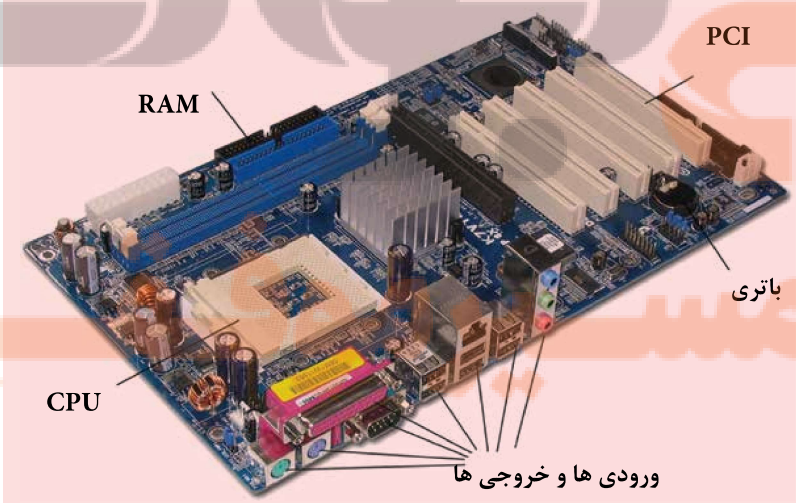
الف) با توجه به قانون لنز، آهنربا در حال دورشدن از پیچه است؛ یعنی رو به پایین حرکت می‌کند.

ب) جهت میدان $\vec{B}$ ناشی از سیم حامل جریان I، در محل حلقه برون‌سو 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.

۴ــ۴ــ القاگرها

راهنمای تدریس : تا اینجا دانش‌آموزان آزمایش‌های مربوط به القای الکترومغناطیسی را با پیچه‌های مختلف (که نوعی القاگر هستند) انجام داده‌اند هرچند برای آنها، نام القاگر به‌کار نبرده‌اند.

در این بخش شکل ۴ــ۶ دانش‌آموزان 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 دانش‌آموزان قرار دهید تا با انواع القاگر آشنا شوند و در صورت لزوم به‌کاربرد آنها در مدارهای مختلف نیز می‌توانید اشاره کنید.



به‌عنوان یک فعالیت ساده می‌توانید، مادربرد[1] یک رایانه را به کلاس درس ببرید و ضمن اینکه دانش‌آموزان با برخی از قطعات آن‌که تاکنون با آنها آشنا شده‌اند (مقاومت و خازن) با القاگرهای تعبیه شده روی مادربرد نیز آشنا شوند.

آزمایش ۴ــ۲، که آزمایشی ساده و مفید برای دیدن پدیدهٔ خودــالقاوری 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 رابطهٔ ۴ــ۴ باید گزارش شود و دانش‌آموزان باید به عوامل دخیل در مقدار

توجه

همان طور که نتیجهٔ مثال ۴ــ۵ نیز نشان می‌دهد $1H$ برای ضریب القاوری یک القاگر عدد بسیار بزرگی است و برای سیملوله‌ای با حدود ۲۰۰۰ دور و طول ۰/۶m، این ضریب از مرتبهٔ میلی هانری (mH) است. این موضوع در بخش اول تمرین ۴ــ۳ مورد توجه قرارگرفته است.

تمرین ۴ــ۳

۱

$N = ?\ ,\ l = ۲/۸\text{m}$

$A = ۱۰\,\text{cm}^۲\ ,\ L = ۱\text{H}$

$$L = \mu_۰ \frac{AN^۲}{\ell}$$

$$۱\text{H} = (۴\pi \times ۱۰^{-۷}\ T.m/A) = \frac{(۱۰ \times ۱۰^{-۴}\,\text{m}^۲)N^۲}{۲/۸ \times ۱۰^{-۲}\,\text{m}}$$

$$\Rightarrow N^۲ = \frac{۲/۸}{۴\pi \times ۱۰^{-۹}} \simeq ۲/۲ \times ۱۰^{۸}$$

در این صورت $N \simeq ۱۵۰۰۰$ دور خواهد شد که تعداد دور بالایی است.

۲

$N_۱ = N_۲$ و $\ell_۱ = ۲\ell_۲$ و $L_۱ / L_۲ = ?$

با توجه به رابطهٔ ضریب القاوری سیملوله به سادگی خواهیم داشت $L_۱ = \frac{۱}{۲} L_۲$.

تمرین ۴ــ۴

$\ell = ۲۲cm \ , A = ۰/۴۴cm^۲$

$N = ۲۰۰۰$ دور , $I = ۱/۷A$

$$L = \mu \cdot \frac{AN^۲}{\ell}$$

$$=(۴\pi \times ۱۰^{-۷}\ T.m/A)$$

$$= \frac{(۰/۴۴\times ۱۰^{-۴}m^۲)(۲۰۰۰)^۲}{۲۲\times ۱۰^{-۲}m}$$

$$\Rightarrow L \simeq ۱۰^{-۳}H = ۱mH$$

$$v = \frac{۱}{۲}LI^۲$$

$$= \frac{۱}{۲}(۱\times ۱۰^{-۳}H)(۱/۷A)^۲$$

$$\Rightarrow v = ۱/۴۴ \times ۱۰^{-۳}J = ۱/۴۴mJ$$

همان طور که نتیجهٔ صفحهٔ قبل نشان می‌دهد ضربِ القاوری لازم، بسیار بیشتر از ضریب القاوری یک القاگر معمولی (در حد میلی‌هانری) است که در آزمایشگاه از آن استفاده می‌کنیم. اکنون بر این همان‌طور که در فصل ۲ دیدیم سیم‌پیچ‌های معمولی که می‌توانند جریان ۲۰۰۸ را از خود عبور دهند باید قطر بسیار بزرگی داشته باشند. درنتیجه اندازهٔ یک القاگر ۱۴-۱۸ که از سیم‌پیچ‌های معمولی ساخته نشده باشد و بتواند چنین جریانی را تحمل کند باید خیلی بزرگ (به اندازهٔ یک اتاق بزرگ) باشد. با توجه به فناوری‌های موجود این ایده غیرعملی است و توجیه اقتصادی ندارد.

تمرین ۴ــ۴

سیملولهٔ آرمانی بدون هسته‌ای به طول ۲۲cm و با حلقه‌هایی به مساحت $۰/۴۴cm^۲$، شامل ۲۰۰۰ حلقهٔ تزدیک به هم است و جریان ۱/۷۸ از آن می‌گذرد. ضریب القاوری و انرژی ذخیره شده در سیملوله را حساب کنید.

فناوری و کاربرد: انرژی لازم برای جرقه‌زدن شمع خودرو

انرژی ذخیره شده در میدان مغناطیسی شکل مؤثری در دستگاه‌های احتراق خودروهای با موتور بنزینی دارد. پیچهٔ اولیه با حدود ۲۵۰ دور به باتری خودرو بسته شده است و میدان مغناطیسی قوی‌ای تولید می‌کند. این پیچه، درون یک پیچهٔ ثانویه با ۲۵۰۰ دور سیم خیلی نازک قرار گرفته است. برای جرقه زدن شمع، جریان در پیچهٔ اولیه قطع می‌شود و میدان مغناطیسی به سرعت به صفر می‌رسد و تیزی محرکهٔ الکتریکی ده‌ها هزار ولتی در پیچهٔ ثانویه القا می‌کند. درنتیجه انرژی ذخیره شده در میدان مغناطیسی همراه با جریانی لحظه‌ای از پیچهٔ ثانویه به طرف شمع می‌رود و جرقه‌ای تولید می‌کند که سبب احتراق مخلوط سوخت و هوا در سیلندرهای موتور می‌شود (شکل روبه‌رو).

انرژی لازم برای جرقه‌زدن شمع خودرو، از انرژی ذخیره شده در میدان مغناطیسی پیچهٔ احتراق تأمین می‌شود.

۴ــ۵ جریان متناوب

در اواخر قرن نوزدهم، بحث‌های داغی بین توماس ادیسون و جورج وستینگهاوس دربارهٔ بهترین روش انتقال انرژی الکتریکی از محل تولید تا محل مصرف صورت گرفت. ادیسون موافق جریان مستقیم (dc) بود، در حالی که وستینگهاوس از جریان متناوب (ac) حمایت می‌کرد. سرانجام، وستینگهاوس پیروز شد و پس از آن سامانه‌های انتقال و توزیع برق و بیشتر وسایل خانگی با جریان متناوب به کار افتادند.

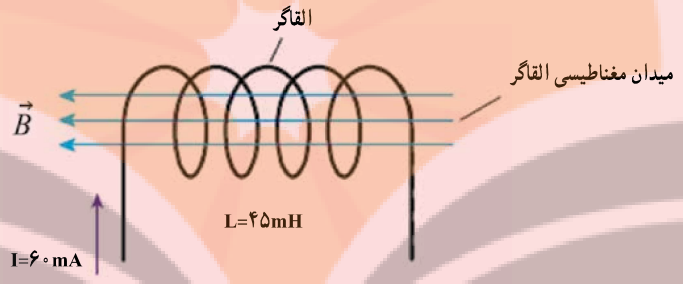
شکل ۴ــ۱۲ دو مدار سادهٔ جریان مستقیم و جریان متناوب را نشان می‌دهد. همان‌طور که می‌بینید جهت جریان در مدار جریان مستقیم ثابت است، درحالی که در مدار جریان متناوب، به دلیل تغییر جهت جریان با گذشت زمان، نمی‌توان جهت معینی را برای جریان در نظر گرفت. تمامی نیروگاه‌های تولید برق در دنیا و از جمله ایران، جریان متناوب تولید می‌کنند که ناشی سینوسی از زمان است و به همین دلیل، جریان متناوب سینوسی نامیده می‌شود (شکل ۴ــ۱۳).

شکل ۴ــ۱۲ (الف) مدار سادهٔ جریان مستقیم، که در آن جریان با گذشت زمان تغییر نمی‌کند. (ب) مدار سادهٔ جریان متناوب، که در آن جریان با گذشت زمان به طور سینوسی تغییر می‌کند.

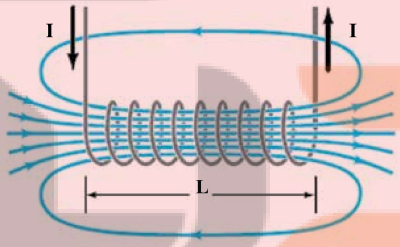
۱۲۲

پرسش های پیشنهادی بخش ۴ــــ۴

۱ انرژی ذخیره در القاگر شکل زیر چقدر است؟



۲ سطح مقطع و طول سیملولهٔ شکل زیر به ترتیب $۲۰\,cm^۲$ و ۸۰cm است. اگر تعداد حلقه‌های این سیملوله برابر ۱۰۰۰ باشد، ضریب خودالقایی آن را پیدا کنید.



۳ ضریب خودالقایی القاگری ۱۰mH است. چه جریانی باید از این القاگر بگذرد تا ۲۰mJ انرژی در آن ذخیره شود؟

تلاشی درمسیر موفقیت

دانستنی برای معلم

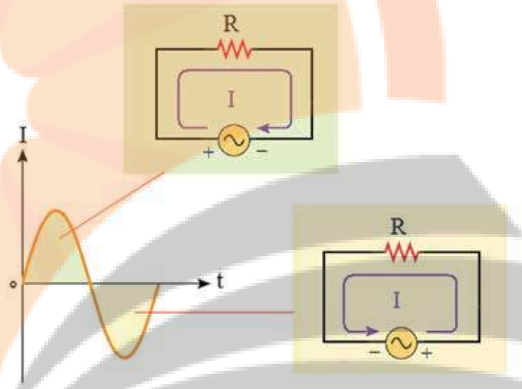
به‌طور سنتی، کارخانه‌های ریخته‌گری از کوره‌های آتش برای ذوب فلزها استفاده می‌کنند. ولی، بسیاری از کارخانه‌های ریخته‌گری امروزی برای پرهیز از آلودگی‌های ناشی از این کوره‌ها، از کوره‌های القایی استفاده می‌کنند که در آنها فلزها با جریان سیم‌های عایقی گرم می‌شوند که به دور ظرفی که فلزها را در خود جای داده است، پیچیده شده‌اند.

۴ــ۵ــ جریان متناوب

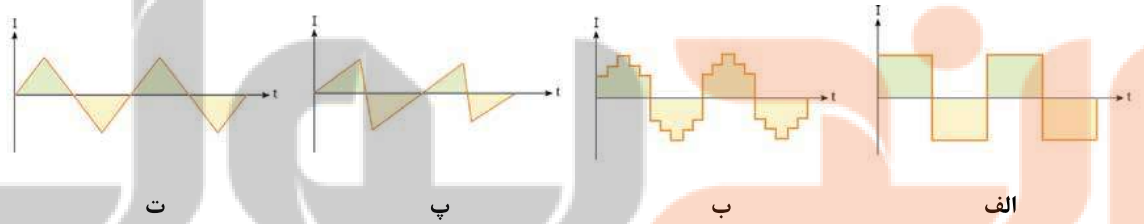
راهنمای تدریس : همان‌طور که در کتاب نیز اشاره شده است، بهتر است با تاریخچه‌ای از بحث‌های علمی در خصوص مزیت جریان متناوب و جریان مستقیم ارائه کنید؛ حتی فیلم‌های مستندی در این خصوص نیز تولید شده است که مشاهدهٔ آنها می‌تواند انگیزه مناسبی در دانش‌آموزان ایجاد کند.

تلاشی درمسیرموفقیت

برای درک بهتر شکل ۴ــ۱۳ کتاب درسی، خوب است شکل زیر را نیز روی تابلو رسم کنید تا تغییر جهت جریان در جریان متناوب بهتر تبیین شود.

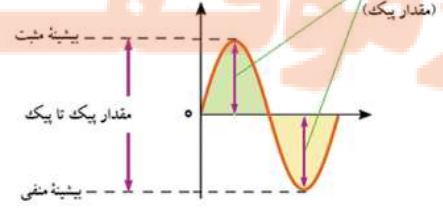


در ادامه می‌توانید نمونه‌های دیگری از موج متناوب را به دانش‌آموزان معرفی کنید که به منظور خاصی تولید می‌شوند و در کاربردهای روزمره متداول نیستند (شکل مقابل)

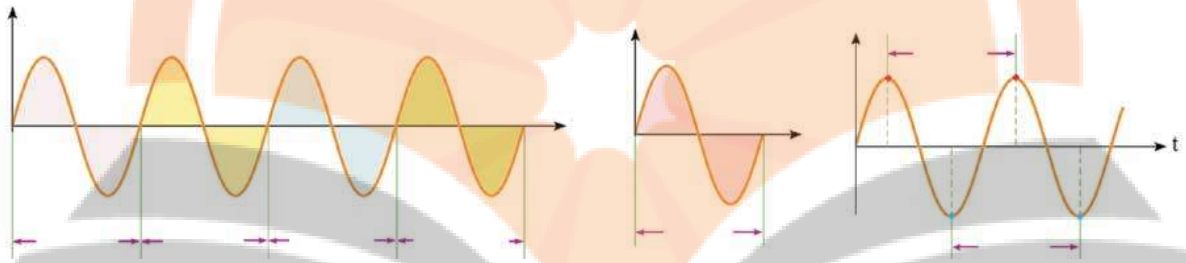


چند نمونه از شکل‌های موج جریان متناوب (الف) موج مربعی، ب) موج پله‌ای، (پ) موج دندانه اره‌ای، (ت) موج مثلثی.

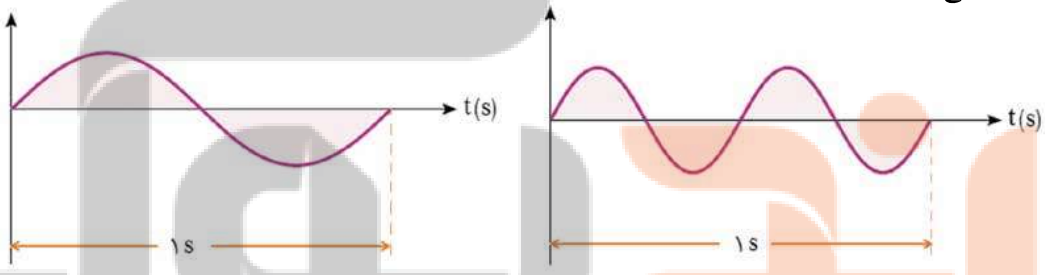
در کتاب‌های مهندسی معمولاً فاصلهٔ بیشینهٔ مثبت تا بیشینهٔ منفی را در جریان متناوب، مقدار پیک تا پیک می‌گویند که دو برابر دامنهٔ موج است (شکل رو به رو).



از آنجا که دانش‌آموزان در دورهٔ اول متوسطه با مفاهیم مرتبط با نوسان و موج آشنایی پیدا نکرده‌اند، لذا در این قسمت نگاهی اجمالی به برخی از مفاهیم اولیه موردنیاز در این بخش داشته باشید. با رسم شکل‌هایی مشابه شکل‌های زیر، مفهوم چرخه و دورهٔ تناوب را برای دانش‌آموزان معرفی کنید.



مفهوم بسامد را نیز می‌توانید در ادامهٔ همین قسمت به دانش‌آموزان معرفی کنید. تعداد چرخه‌ها در یکای زمان، بسامد نامیده می‌شود و وارون دورهٔ تناوب است ($f = \frac{۱}{T}$). یکای بسامد چرخه بر ثانیه یا عکس ثانیه ($S^{-۱}$) است که هرتز (Hz) نامیده می‌شود. شکل زیر دو موج سینوسی با بسامد متفاوت را نشان می‌دهد.

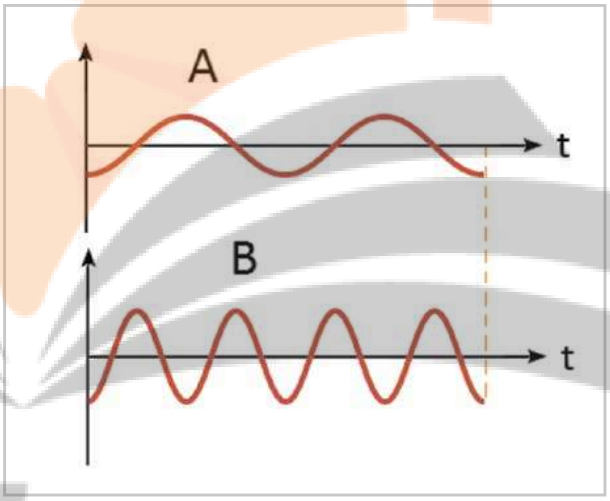


از آنجا که دانش‌آموزان در این پایهٔ تحصیلی با مفهوم مشتق در درس ریاضی خود آشنا نشده‌اند، لذا رابطهٔ ۴ــ۶ بدون اثبات و صرفاً به‌صورت نتیجه‌گیری از قانون القای الکترومغناطیسی فاراده به دانش‌آموزان معرفی شود.

تلاشی درمسیر موفقیت

پرسش پیشنهادی

نسبت دورهٔ تناوب و بسامد دو نمودار جریان متناوب A و B را به ترتیب به‌دست آورید.



تمرین ۴ــ۵

الف) دانش‌آموزان به سادگی می‌توانند با جایگذاری زمان t در معادلهٔ جریان ــ زمان مولد، جریان را در هر لحظهٔ دلخواه پیدا کنند. برای مثال در لحظهٔ $t = ۲/۰\ \text{ms}$ داریم

$$I = (۴/۰\times ۱۰^{-۳})\sin ۲۵۰\pi \times ۲ \times ۱۰^{-۳}$$

$$= ۴/۰\times ۱۰^{-۳}\sin\frac{\pi}{۲} = ۲/۰ \times ۱۰^{-۳}\text{A}$$

$$= ۲/۰\ \text{mA}$$

ب) دانش‌آموزان با مقایسه معادله داده شده با شکل کلی معادله می‌توانند دورهٔ تناوب را به‌دست آورند که برابر $\frac{۲\pi}{T} = ۲۵۰\pi \Rightarrow T = \frac{۱}{۱۲۵}\text{s}$ است.

تلاشگر درمسیر موفقیت

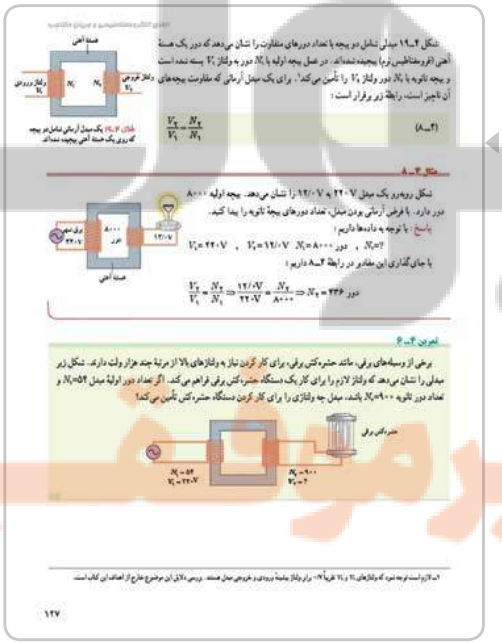
فعالیت ۴ــ۱

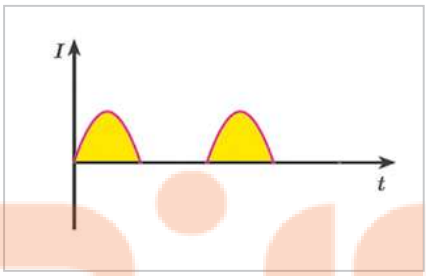
انتظار می‌رود دانش‌آموزان با آشنایی مختصری که از دیود و یسکو بودن انتقال جریان الکتریکی در آن به‌دست آورده‌اند به سادگی بتوانند نمودار شکل (ب) را برای مدار شکل (پ) دوباره رسم کنند.

نتیجه را می‌توانند به‌صورت نمودار شکل (الف) یا نمودار شکل (ب) رسم کنند.

تمرین ۴ــ۶

مشابه مثال ۴ــ۸ است و دانش‌آموزان به سادگی می‌توانند این تمرین را حل کنند ($V_2 \approx ۳۷۰۰\ V$).





(الف)

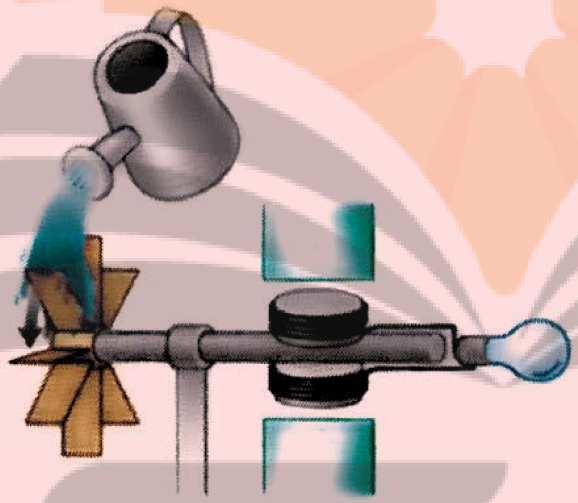
(ب)

تلاشی در مسیر موفقیت

پرسش‌ها و تمرین‌های پیشنهادی بخش ۴ـ۵

۱ الف) برای افزایش روشنایی لامپ به‌وسیلهٔ مولد سادهٔ 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 پیچهٔ یک مولد جریان متناوب در هر ۱ms یک دور می‌چرخد. این پیچه در هر یک از زمان‌های ۱μs و ۱s چه زاویه‌ای برحسب رادیان می‌چرخد؟

۳ معادلهٔ جریان متناوبی در SI به‌صورت $I = ۲\times۱۰^{-۲}\sin ۲۰\pi t$ است.

الف) دورهٔ تناوب این جریان چقدر است؟

ب) در چه لحظه‌ای برای اولین بار جریان بیشینه می‌شود؟

پ) در لحظهٔ $t = ۷۵\text{ms}$ جریان چقدر است؟

۴ معادلهٔ نیروی محرکهٔ القایی در مداری به مقاومت ۱۰Ω در SI به صورت زیر است

$$\varepsilon = ۰/۴\cos ۲۰\pi t$$

الف) زمان تناوب را حساب کنید.

ب) در چه لحظه‌ای برای اولین بار نیروی محرکهٔ القایی بیشینه می‌شود؟

پ) جریان بیشینه را در مدار پیدا کنید.

ت) معادلهٔ جریان را در مدار بنویسید.

ث) در چه لحظه‌هایی برای اولین و دومین بار مقدار جریان عبوری از مدار بیشینه می‌شود؟

تلاشی در مسیر موفقیت

راهنمای پاسخ‌یابی پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۴

۱ دانش‌آموزان باید به شرایط یکسان آزمایش و بیشتر بودن تعداد دور مدار شکل (ب) توجه کنند و توضیح دهند که چرا ولت‌سنج حساس در مدار شکل (ب) عدد بزرگ‌تری را می‌خواند.

۲ دانش‌آموزان باید به شرایط یکسان آزمایش و حرکت سریع‌تر آهنربا به طرف مدار شکل (ب) توجه کنند و توضیح دهند که چرا ولت‌سنج حساس در مدار شکل (ب) عدد بزرگ‌تری را می‌خواند.

۳ الف) با چرخش میله، آهنربای درون فضای پیچه می‌چرخد. دانش‌آموزان باید بر همین اساس و با توجه قانون القای الکترومغناطیسی فاراده به این پرسش پاسخ دهند.

ب) با توجه به آنچه در پرسش ۲ قسمت (ب) دیدند به سادگی می‌توانند به این پرسش پاسخ دهند. یا به رابطهٔ قانون القای الکترومغناطیسی فاراده و وجود Δt در مخرج این رابطه توجه کنند.

پ) استفاده از آهنربای قوی‌تر و پیچه با تعداد دور بیشتر. همچنین استفاده از ولت‌سنج حساس‌تر می‌تواند به بهبود نتیجه اندازه‌گیری بینجامد.

۴ اگر نیم‌خط عمود بر سطح پیچه را به سمت راست فرض کنیم در این صورت

$$\Phi_1 = B_1 A\cos\theta_1 = (0/40\,T)(50\times10^{-4}m^2)\cos0^\circ$$
$$= 2\times10^{-4}Wb$$
$$\Phi_2 = B_2 A\cos\theta_2 = (0/40\,T)(50\times10^{-4}m^2)\cos180^\circ$$
$$= -2\times10^{-4}Wb$$
$$\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = -2\times10^{-4} - 2\times10^{-4} = -4\times10^{-4}Wb$$

دانش‌آموزان باید توجه کنند برای محاسبه Φ_2، باید جهت نیم‌خط عمود بر پیچه که به سمت راست انتخاب شده بود را تغییر ندهند.

$$|\varepsilon| = |-N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}| = |-1000\frac{(-4\times10^{-4}\,Wb)}{10^{-2}\,s}| = 40V$$

۵ در این مسئله نیز نیم‌خط عمود بر پیچه را عمود بر خطوط میدان مغناطیسی زمین فرض کنیم بنابراین $\theta_1 = 0^\circ$ است. در حالتی که پیچه می‌چرخد و سطح حلقه‌های آن موازی میدان مغناطیسی زمین می‌شود $\theta_2 = 90^\circ$ می‌شود. ادامهٔ مسئله مشابه مسئله ۴ حل می‌شود.

۶ جریان القایی در جهت ساعتگرد است.

۷ دانش‌آموزان باید با توجه به قانون القای الکترومغناطیسی فاراده و قانون لنز، توضیح قانع‌کننده‌ای ارائه دهند که چرا آهنربایی که از حلقه‌های رسانا عبور می‌کند، فرورفتگی کمتری هنگام برخورد با زمین نرم ایجاد می‌کند.

۸ الف)ساعتگرد،ب)پادساعتگرد،پ)جریانی القانمی‌شود.

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 محرکهٔ باتری ثابت است، با افزایش مقاومت رئوستا، جریان عبوری از مدار کاهش می‌یابد، با توجه به تعیین جهت میدان مغناطیسی در محل حلقهٔ رسانا، و همچنین کاهش جریان در مدار، جهت جریان القایی در حلقهٔ رسانا پادساعتگرد است.

۱۱ در حلقهٔ سمت راست، جریان به‌صورت ساعتگرد القا می‌شود.

در حلقهٔ 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.

$$\Phi = BA\cos\theta$$
$$= (۲۰\times۱۰^{-۳}\mathrm{T})(۱۰۰\times۱۰^{-۴}\mathrm{m}^۲)\cos۰^\circ$$
$$=۲\times۱۰^{-۴}\mathrm{Wb}$$

فرض شده است که نیم‌خط عمود بر حلقه، در جهت درون سو است.

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 رابطهٔ $U=\frac{۱}{۲}LI^۲$ و همچنین عوامل دخیل در ضریب القاوری سیملوله $L=\mu_۰\frac{AN^۲}{l}$ ، توجه کنند و براساس آن پیشنهادهای خود را ارائه دهند. در این مدار فرض شده است که باتری غیرقابل تعویض است و نیروی محرکهٔ آن ثابت است.

۱۸ الف) با جایگذاری مقادیر داده شده در رابطهٔ $L=\mu_{\circ}\frac{NA^{۲}}{l}$ به سادگی این ضریب محاسبه می‌شود.

ب) دانش‌آموزان باید از رابطهٔ $U=\frac{۱}{۲}LI^{۲}$ استفاده کنند. در ضمن باید توجه کنند که در این رابطه، یکای انرژی باید برحسب ژول (J) نوشته شود.

۱۹ الف) دانش‌آموزان باید از رابطهٔ ۴ــ۷، برای حل این مسئله استفاده کنند. با جایگذاری مقادیر داده شده داریم

$$I=(۲/۰\text{A})\sin\frac{۲\pi}{۰/۰۲\text{s}}t=(۲/۰\text{A})\sin ۱۰۰\pi t$$

در $t=\frac{۱}{۲۰۰}\text{s}$ داریم

$$I=(۲/۰\text{A})\sin ۱۰۰\pi(\frac{۱}{۲۰۰}\text{s})=(۲/۰\text{A})\sin\frac{\pi}{۲}=۲/۰\text{A}$$

به این ترتیب در لحظهٔ $t=\frac{۱}{۲۰۰}\text{s}$ برای اولین بار، جریان به بیشینهٔ خود می‌رسد. با توجه به مقاومت رسانا داریم:

$$\varepsilon_m=RI_m=(۵\pi)(۲/۰A)=۱۰\text{V}.$$

ب) $\sqrt{۲}\text{A}$.

۲۰ دانش‌آموزان باید از رابطهٔ ۴ــ۸ استفاده کنند. در این صورت بیشینهٔ ولتاژ مولد برابر ۴/۵ ولت به‌دست می‌آید.

ترنج بوک
تلاشی درمسیر موفقیت

تلاشی در مسیر موفقیت

ترنج بوک

- دانلود گام به گام تمام دروس
- دانلود آزمون های قلم چی و گاج + پاسخنامه
- دانلود جزوه های آموزشی و شب امتحانی
- دانلود نمونه سوالات امتحانی
- مشاوره کنکور
- فیلم های انگیزشی

Www.ToranjBook.Net

ToranjBook_Net

ToranjBook_Net