

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

اللَّهُمَّ صَلِّ عَلَى مُحَمَّدٍ وَآلِ مُحَمَّدٍ وَعَجِّلْ فَرَجَهُمْ

فیزیک (۲)

رشته های ریاضی و فیزیک – علوم تجربی

راهنمای معلم

پایه یازدهم

دوره دوم متوسطه

دانلود سوالات آزمون

راهنمای کامل آزمون



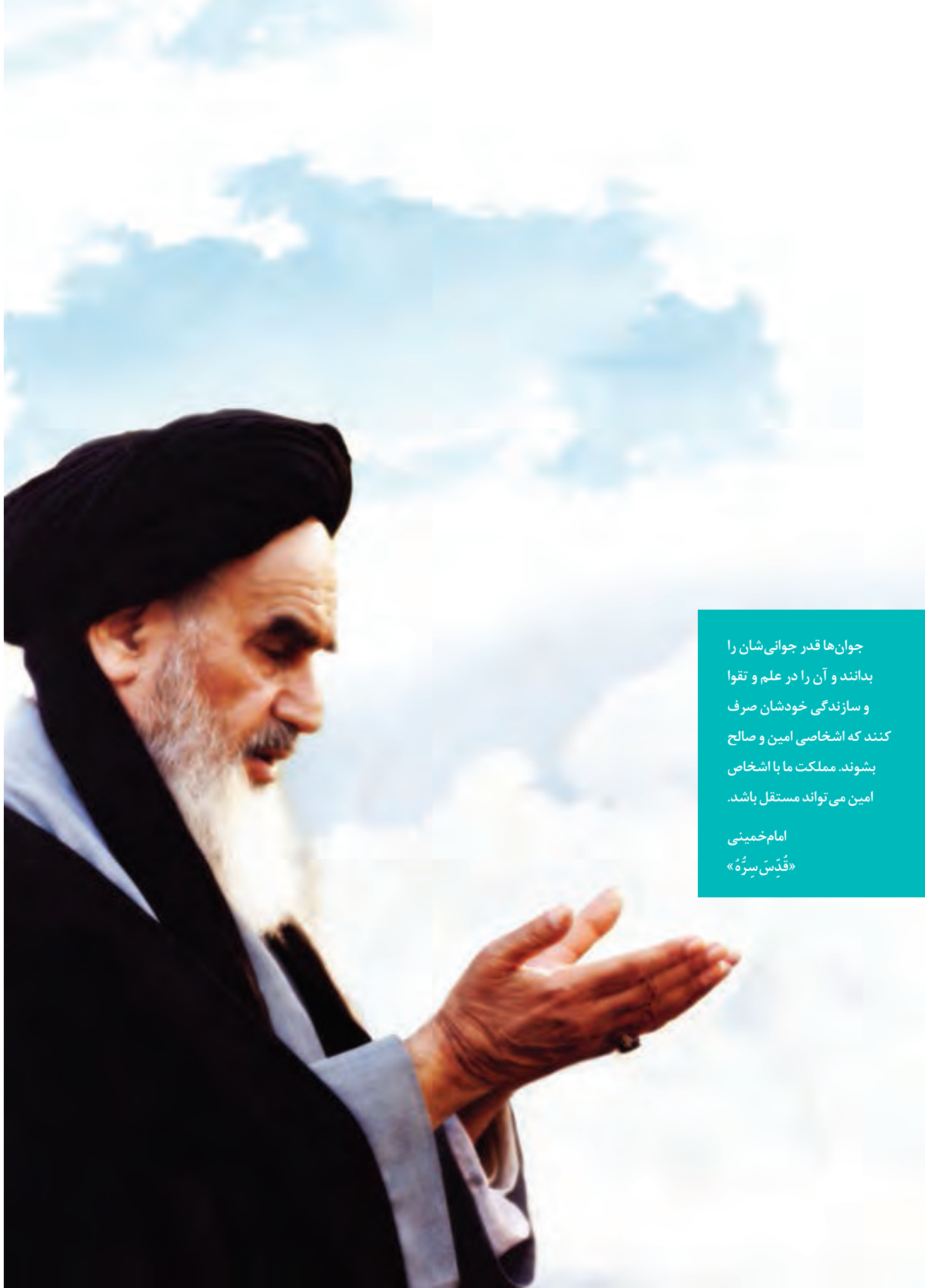
وزارت آموزش و پرورش

سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

نام کتاب: راهنمای معلم فیزیک (۲) - پایه یازدهم دوره دوم متوسطه - ۱۱۳۷۵
پدیدآورنده: سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی
مدیریت برنامه‌ریزی درسی و تألیف: دفتر تألیف کتاب‌های درسی عمومی و متوسطه نظری
شناسه افزوده برنامه‌ریزی و تألیف: محمدرضا خوش‌بین خوش‌نظر، احمد احمدی (فصل‌های ۱ و ۲) و روح‌الله خلیلی بروجنی (فصل‌های ۳ و ۴) (اعضای گروه تألیف)
مدیریت آماده‌سازی هنری: اداره کل نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی
شناسه افزوده آماده‌سازی: احمد رضا امینی (مدیر امور فنی و چاپ) - جواد صفری (مدیر هنری) - رضوان جهانی فریمانی، زهرا راست نسب (صفحه‌آرا) - زهره برهانی زرنندی، زهرا ایمانی نصر، شهلا دالایی، سیما لطفی و حمید ثابت کلاچاهی (امور آماده‌سازی)
نشانی سازمان: تهران: خیابان ایرانشهر شمالی - ساختمان شماره ۴ آموزش و پرورش (شهید موسوی)
تلفن: ۸۸۸۳۱۱۶۱-۹، دورنگار: ۸۸۳۰۹۲۶۶، کد پستی: ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹
وبگاه: www.irtxtbook.ir و www.chap.sch.ir
ناشر: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران تهران - کیلومتر ۱۷ جاده مخصوص کرج - خیابان ۶۱ (دارویخش) تلفن: ۴۴۹۸۵۱۶۱-۵، دورنگار: ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی: ۳۷۵۱۵-۱۳۹
چاپخانه: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران «سهامی خاص»
سال انتشار و نوبت چاپ: چاپ اول ۱۳۹۸

شابک ۹۷۸-۹۶۴-۰۵-۳۴۲۲-۹

ISBN: 978-964-05-3422-9



جوان‌ها قدر جوانی‌شان را
بدانند و آن را در علم و تقوا
و سازندگی خودشان صرف
کنند که اشخاصی امین و صالح
بشوند. مملکت ما با اشخاص
امین می‌تواند مستقل باشد.

امام خمینی
«قُدَسِ سِرَّة»

کلیه حقوق مادی و معنوی این کتاب متعلق به سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی وزارت آموزش و پرورش است و هرگونه استفاده از کتاب و اجزای آن به صورت چاپی و الکترونیکی و ارائه در پایگاه‌های مجازی، نمایش، اقتباس، تلخیص، تبدیل، ترجمه، عکس برداری، نقاشی، تهیه فیلم و تکثیر به هر شکل و نوع، بدون کسب مجوز از این سازمان ممنوع است و متخلفان تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.

فهرست

فصل ۱ : الکتریسته ساکن ۱

- ۱-۱ بار الکتریکی ۵
- ۲-۱ پایداری و کوانتیده بودن بار الکتریکی ۶
- ۳-۱ قانون کولن ۱۳
- ۴-۱ میدان الکتریکی ۲۵
- ۶-۱ خطوط میدان الکتریکی ۳۴
- ۷-۱ انرژی پتانسیل الکتریکی ۴۰
- ۸-۱ پتانسیل الکتریکی ۴۳
- ۹-۱ میدان الکتریکی در داخل رسانا ۴۷
- ۱۰-۱ خازن ۶۴
- ۱۱-۱ خازن با دی الکتریکی ۶۶
- ۱۲-۱ انرژی خازن ۷۹
- راهنمای پاسخ‌یابی پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۱ ۸۵

فصل ۲ : جریان الکتریکی و مدارهای جریان مستقیم ۹۹

- ۱-۲ جریان الکتریکی ۱۰۳
- ۲-۲ مقاومت الکتریکی و قانون اهم ۱۰۷
- ۳-۲ عوامل مؤثر بر مقاومت الکتریکی ۱۰۸
- ۴-۲ نیروی محرکه الکتریکی و مدارها ۱۱۹
- ۵-۲ توان در مدارهای الکتریکی ۱۳۱
- ۶-۲ ترکیب مقاومت‌ها ۱۴۰
- راهنمای پاسخ‌یابی پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۲ ۱۵۸

فصل ۳ : مغناطیس ۱۷۳

- ۱-۳ مغناطیس و قطب‌های مغناطیسی ۱۷۸
- ۲-۳ میدان مغناطیسی ۱۷۹
- ۳-۳ نیروی مغناطیسی وارد بر ذره باردار متحرک در میدان مغناطیسی ۱۹۱
- ۴-۳ میدان مغناطیسی برشیم حامل جریان ۱۹۵
- ۵-۳ میدان مغناطیسی حاصل از جریان الکتریکی ۲۰۰

۲۰۴ ۳-۶ ویژگی های مغناطیسی مواد
۲۱۵ راهنمای پاسخ یابی پرسش ها و مسئله های فصل ۳

فصل ۴ : القای الکترومغناطیسی و جریان متناوب ۲۱۹

۲۲۳ ۴-۱ پدیده القای الکترو مغناطیس
۲۲۴ ۴-۲ قانون القای الکترو مغناطیسی فاراده
۲۳۲ ۴-۳ قانون لنز
۲۳۶ ۴-۴ القاگرها
۲۳۸ ۴-۵ جریان متناوب
۲۴۶ راهنمای پاسخ یابی پرسش ها و مسئله های فصل ۴

سخنی با همکاران

در دنیای امروز، دسترسی به دانش و اطلاعات، بسیار متنوع و آسان شده است؛ از این رو، بی‌اطلاعی از دانش و فناوری روز، ناتوانی در به‌کارگیری و پردازش آنها، عدم مهارت در دستیابی و تحلیل اطلاعات، عدم مهارت در برخورد با یک مسئله جدید و عدم تصمیم‌گیری مبتنی بر پردازش اطلاعات، برای شهروندان دنیای امروز غیرقابل قبول است. به همین منظور، نقش معلمان نسبت به سابق تغییر اساسی کرده است. نقش معلمان دیگر انتقال صرف دانش نیست، بلکه ایجاد نگرش مثبت و یاد دادن چگونگی برخورد با مسئله است؛ یعنی، دانش‌آموزان باید یاد بگیرند که سؤال‌های اساسی در یک مسئله یا یک موضوع را استخراج و اطلاعات موردنیاز خود را جمع‌آوری، پردازش و نتیجه‌گیری کنند. در این راستا، ابتدا معلم با طرح پرسش، نشان دادن یک تصویر یا فیلم، طرح یک فعالیت، آزمایش یا ... در دانش‌آموزان ایجاد انگیزه کرده و آنها را با موضوع درگیر می‌کند و سپس آنها را هدایت می‌کند تا در تولید مفاهیم علمی مشارکت کنند. آموزش باید به گونه‌ای باشد که دانش‌آموزان نحوه برخورد منطقی و علمی با مسائل را بیاموزند؛ لذا شایسته است، ما هم در به‌کارگیری شیوه‌های نوین آموزشی، آشنا شدن با دانش‌های جدید، کسب مهارت‌های مورد نیاز، استفاده از شبکه‌های اطلاعاتی، افزایش خلاقیت خود و ... بکوشیم. ساختار این کتاب پس از مطالعه، تحقیق، بررسی و بحث‌های مفصل بین کارشناسان آموزشی و همچنین مطالعه و بررسی کتاب‌های راهنمایی معلم چند کشور مختلف تنظیم شده است و با ارائه الگوهای، مشارکت هرچه بیشتر دانش‌آموزان را در فرایند یاددهی - یادگیری و کسب تجربه، فراهم می‌کند. در ادامه، به شرح مختصر عناوین مطرح شده در این کتاب می‌پردازیم.

(الف) هدف‌ها : در مواردی که هدف یک بخش، فصل، آزمایش و یا ... خیلی مشخص نیست، پیامدها، هدف‌های دانشی، مهارتی و نگرشی آن آورده شده است.

(ب) دانسته‌های قبلی : در این قسمت، دانسته‌های قبلی دانش‌آموزان که در پایه‌های تحصیلی پایین‌تر مطرح شده و مرتبط با بخش است، آورده شده است.

(پ) محدوده بحث : به منظور تأکید روی مفاهیمی که در کتاب درسی به آنها پرداخته شده است، حوزه و محدوده یادگیری در موارد ضروری، تعیین شده است.

(ت) نشانگر (آیکون) های فیلم : برای عمق بخشیدن به مطالب نظری، فیلم‌های آموزشی تدارک دیده شده است که در کتاب با نشانگر (آیکون) های مشخص شده است. کلیه فیلم‌ها در سایت گروه بارگذاری شده است.

(ث) راهنمای تدریس : در این قسمت، روش‌هایی برای شروع درس به معلم پیشنهاد شده است. این روش‌ها کاملاً انعطاف‌پذیرند و معلم می‌تواند با توجه به امکانات، شرایط و اقتضای کلاس، هر روش دیگری را که بتواند دانش‌آموزان را بیشتر ترغیب کرده و آنها را به موضوع درس علاقه‌مند کند، به کار گیرد. همچنین به منظور شفاف شدن مطالب درسی توصیه‌هایی نیز ارائه شده است.

(ج) فعالیت‌های پیشنهادی : به منظور درک عمیق‌تر مفاهیم درسی و درگیر کردن دانش‌آموزان به منظور تولید مفهوم، در هر واحد یادگیری، تعدادی فعالیت پیش‌بینی شده است که برخی از آنها به صورت فعالیت‌های خارج از کلاس تدارک دیده شده است. تأکید می‌شود که انجام همه این فعالیت‌ها ضروری نیست و یک معلم مجرب، با توجه به وضعیت کلاس یا امکاناتی که در اختیار دارد می‌تواند هر فعالیت دیگری را که مؤثر واقع شود، به دانش‌آموزان پیشنهاد کند.

چ) آزمایش‌های پیشنهادی : در اغلب موارد، قسمت عمده‌ای از یادگیری توسط انجام دادن آزمایش و کارهای عملی صورت می‌گیرد. برای افزایش عمق یادگیری و لذت بیشتر از آموختن و یادگیری تجربی، به آزمایش‌های متنوع و متعددی نیاز است؛ از این رو، در مواردی، آزمایش‌های کتاب تعمیم یافته یا آزمایش‌های ساده و جدیدی پیشنهاد شده است که دانش‌آموزان می‌توانند آنها را در گروه‌های خود انجام دهند.

ح) تمرین‌های پیشنهادی : برای عمق بخشیدن به بخش دانشی مطالب کتاب، تمرین‌های پیشنهادی نیز ارائه شده است که دبیران محترم می‌توانند از آنها به عنوان تکالیف درسی یا مثال استفاده کنند.

خ) دانستنی‌های معلم : برای آشنایی همکاران با برخی از موضوعات مرتبط با هر فصل، مطالبی در غالب «دانستنی‌های ضروری» تدارک دیده شده است. ضرورتی در انتقال این مفاهیم به دانش‌آموزان نیست و تنها می‌توان تحقیق در مورد برخی از آنها را به عنوان فعالیت خارج از کلاس به گروه‌های دانش‌آموزی واگذار کرد. در این کتاب در اغلب موارد نام دانستنی و اینکه در مورد چه موضوعی بحث می‌شود، در جعبه‌هایی آورده شده است و برای دسترسی به آزمایشگاه‌های مجازی و شبیه‌سازهای مناسب هر فصل و همچنین مجموعه آزمایش‌های مرتبط با مفاهیم فصل‌های فیزیک ۲، و همچنین کل دانستنی می‌توانید به سایت گروه فیزیک به آدرس <http://physics-dep.talif.sch.ir> مراجعه نمایید.

د) پاسخ فعالیت‌ها و تمرین‌ها : در بسیاری از موارد ابتدا اهداف تمرین‌ها و فعالیت‌های داخل هر فصل تعیین شده و سپس پاسخ آنها و پاسخ تمرین‌های آخر فصل آورده شده است.

فصل اول

الکتریسیته ساکن

پیامدها

دانش آموزان با درک مفاهیم این فصل :

- با بار الکتریکی، اصول حاکم بر آن، قانون کولن و پیامدهای آن آشنا می شوند.
- با میدان الکتریکی، آثار آن و چگونگی نمایش آن با خطوط آشنا می شوند.
- با میدان الکتریکی در داخل رساناها و تفاوت آن با میدان الکتریکی در داخل دی الکتریک ها آشنا می شوند و به شناختی از چگالی سطحی بار الکتریکی و چگونگی توزیع بار در رسانا می رسند.
- با مفاهیم انرژی پتانسیل الکتریکی، پتانسیل الکتریکی، و اختلاف پتانسیل الکتریکی آشنا می شوند.
- با خازن، تعیین عامل های مؤثر بر ظرفیت خازن های تخت، تأثیر حضور دی الکتریک در خازن ها و انرژی ذخیره شده در خازن ها آشنا می شوند.

چه شناختی مطلوب است؟

- در تجربه هایی مانند مالش اجسام بر یکدیگر، اصل های پایستگی و کوانتیده بودن بار برقرار است.
- نیروی الکتریکی بین دو بار نقطه ای با حاصل ضرب بزرگی آنها متناسب و با مربع فاصله آنها نسبت وارون دارد.
- بارهای الکتریکی در فضای اطراف خود ویژگی ای را ایجاد می کنند که می تواند با مفهوم میدان الکتریکی توصیف شود.
- برای مجسم کردن میدان الکتریکی در فضای اطراف اجسام باردار از خط های جهت داری موسوم به خطوط میدان الکتریکی استفاده می کنیم.
- به یک ذره باردار در میدان الکتریکی، انرژی پتانسیلی الکتریکی وابسته است که با جابه جایی در میدان الکتریکی تغییر می کند. اما نسبت این تغییر انرژی به بار ذره، مستقل از نوع و اندازه بار الکتریکی است که به این نسبت، اختلاف پتانسیل الکتریکی دو نقطه ای می گوئیم که بار در آنها جابه جا شده است.
- میدان الکتریکی داخل یک رسانا صفر است و پدیده القای الکتریکی پیامدی از آن است.
- تراکم و چگالی سطحی بار در نقاط نیز سطح یک جسم رسانای باردار از نقاط دیگر آن بیشتر است.
- خازن وسیله ای است که بار و انرژی الکتریکی را در خود ذخیره می کند.
- ظرفیت یک خازن فقط به شکل هندسی آن و نه به بار و اختلاف پتانسیل دو صفحه آن بستگی دارد و در حضور دی الکتریک، ظرفیت آن افزایش می یابد.
- پدیده قطبش الکتریکی، پیامدی از رفتار یک دی الکتریک در میدان الکتریکی خارجی است.

چه پرسش‌هایی اساسی است و باید در نظر گرفته شود؟

- سری الکتریسیته مالشی (تریوالکتریک) چیست و چگونه اصول پایداری بار و کوانتیده بودن بار در تجربه‌هایی مانند مالش اجسام با یکدیگر برقرار می‌مانند؟
- نیروی الکتریکی بین دو بار نقطه‌ای به چه عواملی بستگی دارد؟
- چگونه نیروی خالص وارد بر یک بار نقطه‌ای از سوی چند بار نقطه‌ای دیگر تعیین می‌شود؟
- میدان الکتریکی حاصل از یک جسم باردار چیست و چگونه تعیین می‌شود؟
- قاعده‌های رسم خطوط میدان الکتریکی چیست؟
- انرژی پتانسیل الکتریکی چیست و چگونه تعیین می‌شود؟
- پتانسیل الکتریکی چیست و چه ارتباطی با انرژی پتانسیل الکتریکی دارد؟
- رابطه اختلاف پتانسیل الکتریکی و بزرگی میدان الکتریکی یکنواخت چیست؟
- میدان الکتریکی داخل رسانا چیست و چگونه پدیده القا را توجیه می‌کند؟
- چگالی بار الکتریکی رسانا چیست و بار الکتریکی داده شده به یک رسانا چگونه روی سطح خارجی آن توزیع می‌شود؟
- خازن چیست و ظرفیت آن به چه عامل‌هایی بستگی دارد؟
- اگر فضای میان صفحه‌های یک خازن با ماده‌ای عایق پر شود، چه تأثیری بر ظرفیت خازن می‌گذارد؟
- فروریزش الکتریکی چیست و حضور دی‌الکتریک در خازن چه تأثیری بر آن می‌گذارد؟
- انرژی خازن چگونه تعیین می‌شود و به چه عواملی بستگی دارد؟

در پایان این واحد یادگیری دانش آموزان چه دانش و مهارت‌های اساسی را کسب می‌کنند؟

دانشی

با مفاهیم بار الکتریکی، پایداری و کوانتیده بودن بار الکتریکی، قانون کولن، برهم‌نهی نیروهای الکتروستاتیکی، میدان الکتریکی، برهم‌نهی میدان‌های الکتریکی، چگونگی رسم خطوط میدان الکتریکی، انرژی پتانسیل الکتریکی، پتانسیل الکتریکی، میدان الکتریکی داخل رساناها و پدیده القا، چگالی سطحی بار، خازن و ظرفیت آن، قطبش بارهای الکتریکی، فروریزش الکتریکی، و انرژی خازن آشنا می‌شوند.

مهارتی

به مهارت کار با الکتروسکوپ، چگونگی تعیین بار دو جسم مختلف که به هم مالش داده می‌شوند، به انجام آزمایشی جهت درک قانون کولن، چگونگی استفاده از مولد وان دوگراف برای ایجاد بار و مشاهده تجربی میدان الکتریکی، چگونگی مشاهده تجربی خطوط میدان الکتریکی، تعیین اختلاف پتانسیل باتری‌ها، ایجاد یک قفس فاراده و انجام آزمایشی‌هایی با آن، چگونگی تعیین توزیع بار روی سطح خارجی یک رسانا، استفاده از خازن در مدارهای الکتریکی و ساخت نمونه‌های ساده‌ای از خازن و انجام آزمایش‌هایی در جهت مشاهده فروریزش الکتریکی دست می‌یابند.

بودجه‌بندی پیشنهادی

بنا به صلاحدید مدرسه ۱۶ جلسه ۹۰ دقیقه‌ای



هر فصل با تصویری شروع می‌شود و هدف آن جلب توجه دانش‌آموزان به اهمیت موضوع و مفاهیمی است که قرار است در آن فصل بررسی شود. توجه دانش‌آموزان را به متن زیر تصویر جلب کنید تا زمینه مناسبی برای ورود به فصل فراهم شود. این تصویر به این دلیل انتخاب شده است که توجه دانش‌آموزان را به یکی از کاربردهای مفاهیم این فصل جلب کند.

۱-۱ بار الکتریکی

الکتریسیته مالشی، یعنی انتقال الکترون از یک جسم به جسم دیگر در نتیجه تماس یا مالش دو جسم با هم، پدیده‌ای کوانتومی است و نباید تلاش کرد با مفاهیم فیزیک کلاسیک توضیح داده شود. می‌توان از ورود به این بحث پرهیز کرد. آنچه موضوع درس ماست، پدیدارشناسی این پدیده است؛ یعنی این که مثلاً به تجربه دیدیم در مالش پارچه پشمی با میله پلاستیکی، میله بار منفی و پارچه بار مثبت پیدا می‌کند که به معنی انتقال تعدادی الکترون از میله به پارچه است.



ممکن است در تماس دو جسم هم جنس با هم، یا مالش آن دو با یکدیگر نیز تعدادی الکترون از یکی به دیگری منتقل شده و هر دو جسم دارای بار شوند. شاید این پدیده را برای دو قطعه کیسه نازک پلاستیکی که با هم مالش داده می‌شوند تجربه کرده باشید.



اشاره به الکتروسکوپ در این درس تنها در حد یک یادآوری ساده است. توضیح بیشتر در مورد الکتروسکوپ و آزمایش‌های مربوط به آن در کتاب آزمایشگاه علوم تجربی ۲ آمده است. با این حال می‌توان برای ایجاد انگیزه، با آزمایش‌های ساده‌ای پرسش‌هایی در مورد بارهای الکتریکی و برهم کنش آنها، روش‌های باردار کردن اجسام و ... مطرح کرد.

در این مجموعه فیلم‌ها چند آزمایش ساده در مورد الکتریسیته ساکن را می‌بینید.





برخی از دانش‌آموزان دقیق با این چالش درگیر می‌شوند که چرا یکایی به بزرگی کولن برای اندازه‌گیری بار الکتریکی انتخاب شده است در حالی که بیشتر بارهای معمولی بسیار کوچکتر از ۱C است. می‌دانیم کولن از یکاهای فرعی SI است و با رابطه $I = q/t$ از روی دو یکای اصلی A و s تعریف می‌شود ($1C = 1A \times 1s$). یکاهای آمپر و ثانیه، این مشکل را ندارند، یعنی بسیاری از جریان‌های معمولی از مرتبه ۱A یا بزرگ‌تر و بسیاری از زمان‌های معمولی از مرتبه ۱s یا بزرگ‌تر هستند. بنابراین ناچاریم به یکای کولن برای بار الکتریکی تن بدهیم.

پاسخ پرسش ۱-۱

بسته به اینکه روکش پلاستیکی را پیش از کشیدن بر روی ظرف غذا از رُل پیچ آن جدا کرده یا مستقیماً روی ظرف غذا بکشیم، پاسخ‌ها متنوع خواهد بود. وقتی روکش پلاستیکی را روی ظرف غذا می‌کشیم بر اثر تماس نزدیک دو جسم، بار در فرایندی موسوم به *الکتریسته‌دار شدن تماسی* بین دو سطح منتقل می‌شود. مثلاً ممکن است پوشش پلاستیکی، بخشی از الکترون‌های روی لبه را به سمت خود بکشد و آن بخش را باردار مثبت کند. آنگاه، پوشش که دارای بار منفی است و لبه که دارای بار مثبت است، یکدیگر را جذب خواهند کرد. البته *تماس* نزدیک در نواحی جداگانه کوچکی رخ می‌دهد. وقتی دو جسم را به یکدیگر مالش می‌دهیم، تعداد این نواحی تماس نزدیک زیادتر می‌شود و بنابراین، این جاذبه هم بیشتر خواهد شد که به این، *الکتریسته‌دار شدن مالشی* می‌گویند. اگر روکش پلاستیکی را پیش از کشیدن روی ظرف، از رُل پیچ آن جدا کرده باشیم، تکه‌هایی از آن در فرایندهای الکتریسته‌دار شدن تماسی یا مالشی باردار می‌شوند. تکه‌های با الکترون اضافی، باردار منفی و تکه‌های با کاستی الکترون، باردار مثبت هستند (در واقع همین امر باعث تا خوردن پوشش‌های پلاستیکی یا نوار چسب بر روی خود یا رُل پیچ آن می‌شود). آنگاه افزون بر آنچه 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، دو قطبی الکتریکی گفته می‌شود و دو قطبی‌های الکتریکی روی دو سطح، همدیگر را بر اثر نیروی جاذبه بین مولکولی‌ای موسوم به *نیروی وان دروالس* جذب می‌کنند.

توجه کنید که این بیان، سطح نازل و ساده‌ای از بحث بایستگی بار الکتریکی است که متناسب با توان یادگیری دانش‌آموزان ارائه گردیده است. دانش‌آموز با تسوای تعداد پروتون‌ها و الکترون‌ها در اتم خنثی آشناست، به‌علاوه آموخته است در الکتریسته مالشی، تعدادی الکترون از جسمی به جسم دیگر منتقل می‌شود. براساس چنین دانسته‌هایی، صفر بودن بار اتم خنثی و بایستگی بار هنگام جابه‌جایی بار بین دو جسم، فهمیدنی است. بیان جدی‌تر بایستگی بار، مبتنی بر «تقارن بار» است. یعنی در عالم برای همه بارهای الکتریکی، باری با علامت مخالف وجود دارد. ولی این به معنی تسوای تعداد پروتون‌ها و الکترون‌ها نیست، بلکه در فیزیک ذرات بنیادی معلوم شده است که برای هر ذره بنیادی دارای بار الکتریکی، پادذره‌ای با همان اندازه بار ولی با علامت مخالف وجود دارد. برای الکترون‌ها، پوزیترون‌ها، برای پروتون‌ها، پادپروتون‌ها، برای مزون‌های π^+ ، برای مزون‌های π^- و ... به‌علاوه، ایجاد بار مثبت بدون ایجاد بار منفی با مقدار مساوی ممکن نیست و همین‌طور در مورد نابودی بار.

در این فیلم ها کار با یک الکتروسکوپ ساده را می بینید.

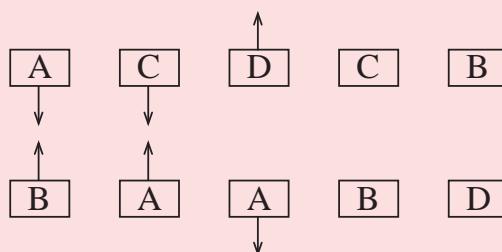


در این فیلم ها روش هایی برای باردار کردن را می بینید.

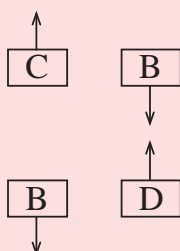


تمرین پیشنهادی

۱ در شکل زیر، پنج جفت ورقه را در مقابل هم می بینید. ورقه های A، B، C و D پوشش پلاستیکی و بار الکتریکی نامعلوم دارند، ورقه C پوشش فلزی دارد و بدون بار است. نیروهای الکتریکی بین بعضی ورقه ها نشان داده شده است. بقیه شکل را به همان ترتیب کامل کنید.



پاسخ:



۲ سه گوی فلزی کاملاً مشابه A، B و C روی پایه های عایقی قرار دارند. بار گوی A برابر $+q$ است و گوی های B و C در ابتدا بدون بار هستند. گوی A نخست به گوی B و سپس به گوی C تماس داده می شود. در پایان این آزمایش، بار گوی A چیست؟ پاسخ: $+q/4$

توجه کنید که در اینجا به تماس بین دو جسم مختلف اشاره داریم، ولی هر تماسی می‌تواند موجب انتقال بار در فرایندی موسوم به **الکتریسیته‌داری شدن تماسی** شود. در این باره حتماً به دانستنی مربوط اشاره شود.

توجه کنید که گسسته بودن و کوانتیده بودن را با هم اشتباه نگیرید. گرچه گسسته بودن شرط لازم برای کوانتیده بودن است، ولی شرط کافی نیست. هر مقدار گسسته‌ای را کوانتیده نمی‌گویند. کوانتیده بودن به معنای گسسته بودن در مقادیر معین و مشخص است. مثلاً اگر واحد پول کشوری x باشد، قیمت یک کالا نمی‌تواند مضرب غیر صحیحی از x باشد. در حالی که از لحاظ ریاضی مقادیری مانند $\frac{x}{3}$ ، $\frac{x}{4}$ ، $\frac{x}{5}$ و... قابل قبول و گسسته‌اند، ولی کوانتیده محسوب نمی‌شوند. اما مقادیری مانند x ، $2x$ ، $3x$ و... افزون بر آن که گسسته‌اند، کوانتیده نیز هستند؛ زیرا مقادیر معین و مشخصی از واحد پول کشور هستند.

البته کوارک‌های سنگین‌تر شگفت (s) ، دلربا (c) ، ته (b) و سر (t) نیز وجود دارند، ولی در هر حال ترکیب کوارک‌ها به گونه‌ای است که نتیجه بار خالص $\pm ne$ می‌شود که n یک عدد صحیح است. همچنین ذرات الکترون مانند سنگین‌تری به نام‌های میوتون (μ) و تاو (τ) وجود دارند که به مجموع این ذرات الکترون مانند لپتون^۷ گفته می‌شود. یعنی ذرات بنیادی مشتمل بر کوارک‌ها و لپتون‌ها هستند.

پاسخ تمرین ۱-۱

عدد اتمی، تعداد پروتون‌های هسته است و بنابراین بار الکتریکی هسته^۸ $q = +92e = +92(1/60 \times 10^{-19} C) = 1/47 \times 10^{-17} C$ می‌شود. اتم اورانیم به همین تعداد الکترون دارد که مقدار آن منفی مقدار بالا می‌شود. بار الکتریکی اتم اورانیم (خنثی) مجموع این دو بار و بنابراین صفر است.



مثال ۱-۱
وقتی روی فرش راه می‌روید و بهتان بار الکتریکی پیدا می‌کند، هنگام دست دادن یا دوستان، ممکن است با انتقال باری در حدود $1nC$ به او شوک خفیفی وارد کنید. در این انتقال بار، حدود چند الکترون بین شما و دوستان منتقل شده است؟
پاسخ: از رابطه ۱-۱ داریم:

$$q = ne$$

$$n = \frac{q}{e} = \frac{1 \times 10^{-9} C}{1.6 \times 10^{-19} C} = 6.25 \times 10^9 \text{ الکترون}$$

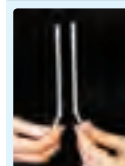
تمرین ۱-۱
عدد اتمی اورانیم $Z = 92$ است. بار الکتریکی هسته اتم اورانیم چقدر است؟ مجموع بار الکتریکی الکترون‌های اتم اورانیم (خنثی) چه مقدار است؟ بار الکتریکی اتم اورانیم (خنثی) چقدر است؟



۳-۱ قانون کولن
همان‌طور که می‌دانیم نیروی الکتریکی که دو جسم باردار برهم وارد می‌کنند می‌تواند جاذبه یا دافعه باشد. اگر بارهای الکتریکی دو جسم همنام باشند، این نیرو دافعه است (شکل ۳-۱). و اگر ناهمنام باشند، این نیرو جاذبه است.

شکل ۳-۱: نیروی دافعه بین دو جسم باردار همنام

فعالیت ۱-۱ (گروه‌های)



مطابق شکل، دو نی لایستی را از ترکیب یک انتهای آنها خم کنید و پس از مالش دادن با پارچه‌ای پشمی نزدیک یکدیگر قرار دهید. اگر نی‌ها به خوبی باردار نشده باشند، نیروی دافعه آنها را نمی‌توانید به وضوح بر روی انگشتان خود حس کنید.

۱- Strange

۲- Charm

۳- bottom

۴- top

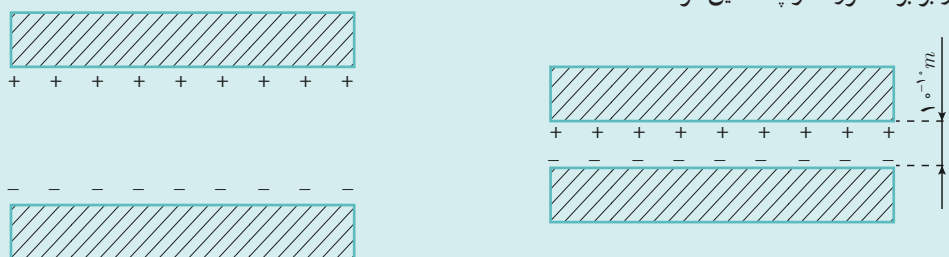
۵- muon

۶- tau

۷- lepton

باردار شدن الکتروستاتیکی

دلیل عمده باردار شدن عبارت است از عبور بخشی از الکترون‌ها از جسمی به جسم دیگر، وقتی که این اجسام در تماس نزدیک قرار می‌گیرند (شکل ۱). در نتیجه، بار مثبت بر سطح جسم اول (کمبود الکترون‌ها) و بار منفی بر سطح جسم دیگر (فزون الکترون‌ها) ظاهر می‌شود. جابه‌جایی الکترون‌ها در این مورد بسیار کوچک و از مرتبه فاصله بین اتمی از مرتبه (10^{-10} m) است. بنابراین، به اصطلاح «لایه الکتریکی دوگانه/ی» که در مرز دو جسم به وجود می‌آید به هیچ وجه در فضای اطراف ظاهر نمی‌شود. ولی، اگر این اجسام را جدا کنیم، آنها در سطوحشان بارهای نا هم نام خواهند داشت (شکل ۲). درستی این امر را می‌توان با قرار دادن هر جسم در برابر الکتروسکوپ تحقیق کرد.

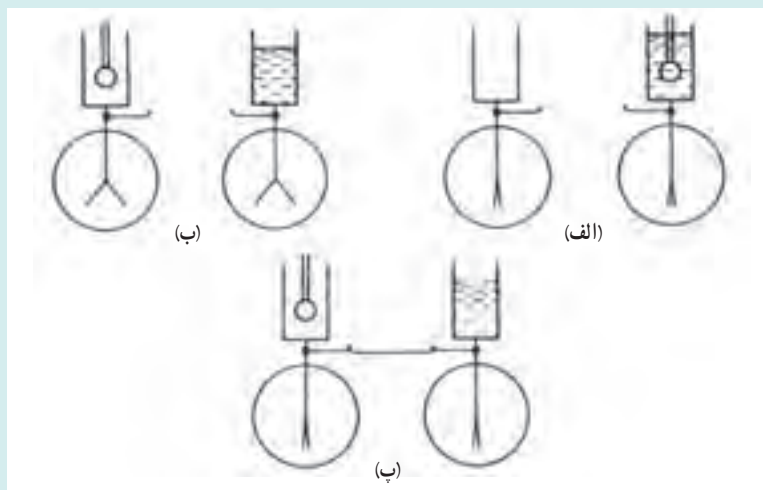


شکل ۲- وقتی که اجسام جدا شدند، معلوم می‌شود که هر کدام از آنها باردارند.

شکل ۱- ظهور لایه الکتریکی دوگانه در تماس دو جسم مختلف

وقتی از «تماس نزدیک» بین دو جسم صحبت می‌کنیم، منظورمان این است که فاصله بین ذرات متعلق به اجسام مختلف با فاصله‌های بین اتمی و بین مولکولی در هر جسم قابل مقایسه می‌شود. فقط در این شرایط است که «به دام اندازی» الکترون‌های یک جسم توسط جسم دیگر امکان‌پذیر است و لایه الکتریکی دوگانه به وجود می‌آید. البته، اجسامی که مورد بحث اند هیچ وقت کاملاً صاف نیستند. به همین دلیل، حتی وقتی که جسمی را به جسم دیگر به سختی می‌فشاریم، تماس نزدیک به مفهومی که در بالا ذکر شد در تمامی سطح رخ نمی‌دهد بلکه فقط در نواحی جداگانه کوچکی رخ می‌دهد. وقتی که جسمی را به جسم دیگری مالش می‌دهیم، تعداد نواحی تماس نزدیک را، که در آنها باردار شدن اتفاق می‌افتد، زیاد می‌کنیم، بنابراین بار گرفته شده توسط هر جسم را پس از جدایی آنها افزایش می‌دهیم. این است خلاصه نقش مالش در باردار کردن اجسام. باردار کردن از طریق مالش اصطلاحی است که تنها اهمیت تاریخی دارد.

آزمایش‌هایی که در شکل ۳ نشان داده‌ایم ما را متقاعد می‌کنند که در واقع همین‌طور هم باید باشد. در تماس نزدیک اجسام مختلف حتی وقتی که مالش به مفهوم کامل بین آنها وجود نداشته باشد باز هم بارهای الکتریکی ظاهر می‌شوند. دو الکتروسکوپ را اختیار و استوانه‌های فلزی بلندی را به ترتیب نشان داده شده در شکل ۳ به کلاهک‌های آنها متصل می‌کنیم. در یک استوانه آب مقطر می‌ریزم و گلوله‌ای از پارافین را که متصل به دسته نارسنایی است در آن فرو می‌بریم (شکل ۳- الف). با بیرون آوردن گلوله از آب، ملاحظه می‌کنیم که برگه‌های الکتروسکوپ از هم جدا می‌شوند (شکل ۳- ب، راست). قطع نظر از اینکه آیا گلوله را در عمق زیاد یا کمی فرو برده‌ایم، یا آن را از آب به‌کندی یا به سرعت خارج کرده‌ایم، تجربه با موفقیت انجام می‌شود. این امر حاکی از آن است که وقتی که گلوله با مایع تماس می‌یابد بارها جدا می‌شوند و در اینجا مالش خودش نقشی ایفا نمی‌کند. با قرار دادن گلوله درون استوانه الکتروسکوپ دوم (شکل ۳- ب، چپ)، ملاحظه می‌کنیم که برگه‌های الکتروسکوپ دوم جدا می‌شوند؛ یعنی گلوله در تماس با آب بار الکتریکی به دست آورده است. حال الکتروسکوپ‌ها را با سیمی به هم متصل می‌کنیم (شکل ۳- پ). برگه‌های دو الکتروسکوپ فرو می‌افتند، و این به معنی این است که بارهای به دست آمده توسط آب و گلوله مساوی و مخالف‌اند.



شکل ۳- باردار کردن الکتروستاتیکی آب و گلوله پارافین غوطه‌ور در آن.

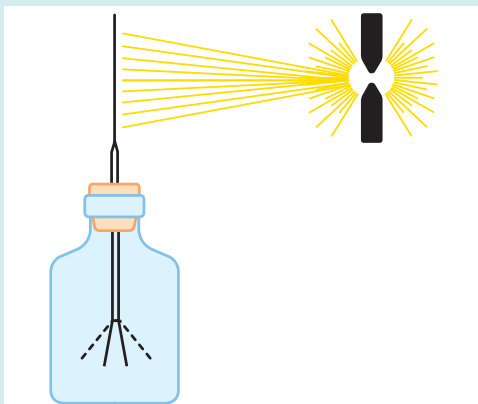
جدایی بارها و بروز لایه الکتریکی دوگانه در حین تماس با هر دو جسم مختلف روی می‌دهد: نارساناها یا رساناها، جامدات، مایعات یا گازها. پس چرا همیشه برای توصیف باردار شدن از طریق مالش فقط نارساناهای خوب (کهریا، شیشه، ابریشم، کائوچو و نظایر آن) را در نظر می‌گیریم؟ در واقع، در هر نارسانا بار در ناحیه‌ای که ظاهر می‌شود باقی می‌ماند و نمی‌تواند به تمام سطح یا دیگر اجسام در تماس با آن منتقل شود. البته، یکی از اجسامی که مالش داده می‌شوند می‌تواند تکه فلزی باشد که به دسته نارسانایی متصل است. ولی آزمایش‌های ما در صورتی که هر دو جسمی که به هم مالش داده می‌شوند فلز باشند، حتی اگر به دسته‌های نارسانایی متصل باشند، بی‌نتیجه خواهند بود. دلیل آن این است که تمام نقاط دو جسم که با هم تماس دارند را نمی‌توان در یک لحظه از یکدیگر جدا کرد. به علت ناصافی اجتناب‌ناپذیر سطوح، همیشه در لحظه جدایی بعضی نقاط در تماس خواهند بود، و چون الکترون‌ها در فلز آزادانه حرکت می‌کنند، تمام الکترون‌های اضافی در آخرین لحظه از این «پل‌ها» جریان خواهند یافت، و دو قسمت از نظر الکتریکی خنثی خواهند بود. البته رساناها را می‌توان به وسیله تابش نور باردار کرد که به این موضوع در دانستنی بعدی خواهیم پرداخت.

دانستنی برای معلم

باردار شدن به وسیله نور؛ اثر فوتوالکتریک

رساناها را می‌توان با نور باردار کرد. بر اثر نور، الکترون‌ها می‌توانند از رسانا به فضای مجاور فرار کنند، و در نتیجه، رسانا بار مثبت به دست می‌آورد. این پدیده اثر فوتوالکتریک نامیده می‌شود.

شکل زیر آزمایش ساده‌ای را برای مشاهده ایجاد بارهای الکتریکی در رساناها بر اثر نور شرح می‌دهد. یک صفحه فلزی (ترجیحاً روی) که از اکسیدها پاک شده است روی کلاهک الکتروسکوپی که به طور منفی باردار شده است نصب می‌شود. اگر عایق‌بندی آن به قدر کافی خوب باشد، فزونی الکترون‌ها برای مدتی طولانی روی الکتروسکوپ محفوظ می‌ماند، و برگه‌های آن در وضعیت دور از هم، باقی می‌مانند.



آزمایشی دربارهٔ اثر فوتوالکتریک. نور صفحه‌ای را که به‌طور منفی باردار و روی الکتروسکپی نصب شده است روشن می‌کند. بر اثر تابش نور، الکترون‌ها از صفحه به بیرون رانده می‌شوند، بار منفی الکتروسکوپ کاهش می‌یابد، و برگه‌هایش فرو می‌افتند.

حال اگر صفحه‌ی روی را با لامپ پروژکتور روشن می‌کنیم، برگه‌ها فوراً فرو می‌افتند. این امر به معنی این است که صفحه‌ی روی، الکترون‌های اضافی‌اش را از دست داده است. بر اثر تابش نور، صفحه‌ی روی به‌طور منفی باردار می‌شود و الکترون‌های اضافی را از خود دور می‌کند؛ این الکترون‌ها از روی جدا و در محیط پیرامون پراکنده می‌شوند. حال به صفحه بار مثبت می‌دهیم و آزمایش را تکرار می‌کنیم. خواهیم دید که در این مورد نور اثری ایجاد نمی‌کند، و برگه‌های الکتروسکوپ منحرف‌شده باقی می‌مانند. الکترون‌های آزاد شده به علت جاذبهٔ شدید بار مثبت نمی‌توانند صفحه را ترک کنند. از طرف دیگر، بارهای مثبت توسط نور از فلز قابل کنده شدن نیستند.

این نتیجه نشان می‌دهد که شدت پیوندهای تشکیل شده توسط بارهای مثبت و منفی با فلز متفاوت‌اند. با تابش نور فقط بارهای منفی، یعنی الکترون‌ها، می‌توانند آزاد شوند.

اگر این آزمایش را با صفحه‌ای خنثی انجام دهیم، برگه‌های الکتروسکوپ معمولی از هم باز نخواهند شد. ولی اگر وسیلهٔ بسیار حساس‌تری را به کار گیریم، نشان می‌دهد که نور بار مثبت کوچکی بر صفحه ایجاد کرده است که خیلی سریع به مقدار بیشینه‌اش می‌رسد. توضیح اینکه چرا باردار کردن الکتروستاتیکی صفحه بر اثر نور متوقف می‌شود مشکل نیست. به محض اینکه که تعداد معینی از الکترون‌ها صفحه را ترک کنند و به این ترتیب صفحه به‌طور مثبت باردار شود، همان‌طور که در بالا ذکر شد خارج کردن بیشتر الکترون‌ها به فضای مجاور ناممکن می‌شود. در کتاب فیزیک ۳، اثر فوتوالکتریک را با تفصیل بیشتری مطالعه خواهیم کرد.

دانستنی برای معلم

وقتی دو بلور یخ خنثی با دماهای مختلف با یکدیگر برخورد می‌کنند، بلور گرم‌تر دارای بار منفی و بلور سردتر دارای بار مثبت می‌شود. به این مشاهدات، *مشاهدهٔ تاکاهاشی*^۱ نیز می‌گویند، ولی هنوز فرایندی که در طی آن این پدیده رخ می‌دهد درک نشده است. همچنین اگر دو سر یک بلور یخی خنثی در دماهای متفاوتی باشند، انتهای گرم‌تر دارای بار مثبت و انتهای سردتر دارای بار منفی می‌شود. خاکی که توسط یک توفان وزیده می‌شود نیز عموماً در تماس با سطح زمین و سایر دانه‌های خاک، باردار می‌شود. اینکه خاک دارای بار مثبت می‌شود یا منفی به جنس خاک و زمین بستگی دارد. مواردی بوده است کسانی که درون یک قیف دیوباد^۲ (توفان‌های پیچنده) گرفتار شده‌اند و جان سالم به در برده‌اند، درون آن یک روشنایی سوسو زن دیده‌اند. یک دیوباد نه تنها توسط خاکی که از زمین بلند می‌کند، بلکه توسط بارهای الکتریکی در توفان‌های تندری بزرگی که آن را به وجود می‌آورند نیز باردار می‌شود. بنابراین نورهایی که در یک قیف دیوباد دیده می‌شود به احتمال زیاد ناشی از تخلیهٔ بار بین ناحیه‌های باردار خاک و بقیه خاک است.

^۱ Takahashi's Observation

^۲ Tornado

تمرین پیشنهادی

یک قطعه پلاستیکی بزرگ دارای بار خالص $1 \mu\text{C}$ (الف) تعداد الکترون‌های این قطعه چه تعداد بیشتر از تعداد پروتون‌های آن است؟ (ب) فرض کنید وقتی یک میله شیشه‌ای با پارچه‌ای ابریشمی مالش داده شود، بار خالص 1 nC پیدا می‌کند. اگر این میله دارای 1 mol مولکول باشد، چه کسری از مولکول‌ها، الکترون از دست داده‌اند؟ پاسخ: الف) هر الکترون بار e دارد. بنابراین تعداد الکترون‌ها چنین می‌شود:

$$N = \frac{-1 \times 10^{-6} \text{ C}}{-1.6 \times 10^{-19} \text{ C/الکترون}} = 6.25 \times 10^{12} \text{ الکترون} \approx 6.25 \times 10^{12}$$

(ب) نخست تعداد یون‌های مثبت بار خالص 1 nC را با فرض اینکه هر یون بار e دارد، به دست می‌آوریم:

$$N_{\text{یون}} = \frac{1 \times 10^{-9} \text{ C}}{1.6 \times 10^{-19} \text{ C}} = 6.25 \times 10^9$$

با توجه به اینکه تعداد مولکول‌های موجود در یک مول برابر با عدد آووگادرو (6.02×10^{23}) است، بنابراین کسری از مولکول‌ها که یونیده شده‌اند برابر می‌شود با

$$\frac{N_{\text{یون}}}{6.02 \times 10^{23}} = \frac{6.25 \times 10^9}{6.02 \times 10^{23}} \approx 1.04 \times 10^{-14}$$

فعالیت پیشنهادی

بخشی از یک میله عایق را توسط مالش با یک پارچه باردار می‌کنیم و سپس آن بخش میله را که مالش داده نشده است به الکتروسکوپ نزدیک می‌کنیم. الکتروسکوپ انحرافی نشان نخواهد داد. از این آزمایش چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟ اکنون با تعیین جنس میله عایق، آن را به مواد مختلفی که در سری تریوالکتریک در بالا یا پایین آن قرار دارند مالش می‌دهیم و به الکتروسکوپ نزدیک می‌کنیم. مشاهدات خود را توجیه کنید.

الکتریسیته ساکن

مثال ۱-۱

وقتی روی فرش راه می‌روید و بدنتان بار الکتریکی پیدا می‌کند، هنگام دست دادن با دوستان، ممکن است با انتقال باری در حدود ۱۰۰nC به او شوک خفیفی وارد کنید. در این انتقال بار، حدود چند الکترون بین شما و دوستان منتقل شده است؟ پاسخ: از رابطه $q = ne$ داریم:

$$n = \frac{q}{e} = \frac{1 \times 10^{-10} \text{C}}{1.6 \times 10^{-19} \text{C}} = 6 \times 10^8 \text{ الکترون}$$

تمرین ۱-۱

همان‌طور که می‌دانیم تئوری الکتریکی که دو جسم باردار برهم وارد می‌کنند می‌تواند (خشتی) چه مقدار است؟ بار الکتریکی آم اورانیم (خشتی) چقدر است؟

۳-۱ قانون کولن

همان‌طور که می‌دانیم تئوری الکتریکی که دو جسم باردار برهم وارد می‌کنند می‌تواند (خشتی) چه مقدار است؟ بار الکتریکی آم اورانیم (خشتی) چقدر است؟



شکل ۱-۱: گوی‌های باردار هم‌نام یکدیگر را با نیرویی هم‌انرازه دفع کرده‌اند.

فعالیت ۱-۱ (کار در کلاس)



مطابق شکل، دو تی بلاستیکی را از نزدیکی یک انتهای آنها خم کنید و پس از مالش دادن با پارچه‌ای پنبه‌ای نزدیک یکدیگر قرار دهید. اگر تی‌ها به خوبی باردار شده باشند، نیروی دافعه آنها را می‌توانید به وضوح و روی انگشتان خود حس کنید.

۵

۳-۱ قانون کولن

در آزمایش‌های تحقیق قانون کولن و یا آزمایش‌هایی مانند فعالیت ۱-۱ که مبتنی بر این قانون هستند، بهتر است محیط آزمایشگاه کاملاً خشک باشد.

در فعالیت ۱-۱ جالب است از دانش‌آموزان بخواهید که بگویند نی‌ها را از انتهای بالایی به هم تماس دهند. در آن صورت در خواهند یافت که نمی‌توانند آنها را بیشتر از فاصله‌ای به هم نزدیک کنند.

اگرچه در این‌جا در توضیح ترازوی پیچشی کولن بارهای دوگویی که با هم برهم‌کنش می‌کنند نام‌فرض شده است، ولی همچنین ممکن است که این دو بار هم‌نام باشند و اندازه‌گیری ترازو براساس نیروی دافعه دو بار انجام شود. به هر حال هر دو نوع آزمایش در کتاب‌ها و منابع آموزشی آمده است.



در این فیلم چگونگی کار یک ترازوی پیچشی کولن را می‌بینید.



فیلم

می‌توان بیان ریاضی قانون کولن را به گونه‌ای انجام داد که اندازه و جهت نیرو، هر دو را شامل شود. اگر بخواهیم نیروی وارد به بار q_2 از طرف بار q_1 را بیابیم، بردار \vec{r} را به صورت برداری که از مکان بار q_1 آغاز و به مکان بار q_2 ختم می‌شود در نظر می‌گیریم. نیرویی که بار q_1 به بار q_2 وارد می‌کند برابر می‌شود با،

$$\vec{F}_{12} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{r}$$

در این رابطه، q_1 و q_2 با علامت جبری ظاهر می‌شوند.

در صورتی که بارهای نقطه‌ای q_1 و q_2 درون محیطی عایق (مثلاً نفت) قرار داشته باشند، قطبش (پلاریزه شدن) این محیط به دلیل حضور این بارها سبب می‌شود که نیروی مؤثر بر هر بار متفاوت از حالتی شود که این دو بار در خلأ قرار دارند. در چنین حالتی نیروی مؤثر بر هر بار هنوز هم از قانون کولن به دست می‌آید، با این توضیح که $F = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$ است و ϵ که ضریب گذردهی الکتریکی محیط عایق است از رابطه $\epsilon = K\epsilon_0$ به دست می‌آید که در آن ϵ_0 ضریب گذردهی الکتریکی خلأ و K ثابت دی‌الکتریک محیط است.

نمادگذاری برخی کتاب‌ها در این مورد متفاوت است. مثلاً کتاب مبانی فیزیک \vec{F}_{12} را به معنی نیروی وارد به بار q_1 از طرف بار q_2 در نظر گرفته است.



همان‌طور که در مثال ۱-۶ خواهیم دید، در صورتی که بار الکتریکی در یک گوی یا روی سطح آن به طور یکنواخت توزیع شده باشد نیز می‌توان کل این بار را به شکل یک بار نقطه‌ای متمرکز در مرکز گوی فرض کرد و برهم کنش این بار با بارهای دیگر را با استفاده از قانون کولن محاسبه کرد.

به علاوه در محاسبه نیروی الکتروستاتیکی که دو بار ساکن غیر نقطه‌ای بر یکدیگر وارد می‌کنند نیز هنوز به هر حال مبنای محاسبه، همان قانون کولن است؛ با این توضیح که هر بار را به بی‌شمار بار نقطه‌ای ذهنی خرد می‌کنند، برهم کنش بارهای نقطه‌ای دو جسم را با استفاده از قانون کولن به دست می‌آورند، و سپس نیروهای وارد به این بارهای نقطه‌ای ذهنی در هر جسم را به روش‌های ریاضی (حساب دیفرانسیل و انتگرال) با هم جمع می‌کنند.



در مثال ۲-۱ توجه شود که تحلیل و بررسی خود مدل بور موردنظر نبوده و تحلیل این مدل به دانشی فراتر نیاز دارد. ولی باید توجه کرد که خود این مدل نیز مدلی نیمه کلاسیکی محسوب می شود و در واقع اختصاص مداری مشخص به الکترون ناممکن است و از این رو از ابر الکترونی صحبت می کنیم. این مدل، و به طور اخص این مثال، یک ساده سازی از واقعیت ماجرا است.

پاسخ فعالیت ۲-۱

طرز کار دستگاه های فتوکپی (و چاپگرهای لیزری) براساس برخی اصول اولیه الکتروسیستم ساکن است. یک استوانه آلومینیومی که با سلنیوم اندود شده است به وسیله یک الکتروود، باردار مثبت می شود. سپس استوانه در معرض تابش نوری قرار می گیرد که تصویری را از برگه ای که می خواهیم رونوشت آن را تهیه کنیم روی سطح استوانه ایجاد می کند. سلنیوم اصطلاحاً یک رسانای نوری (photoconductor) است؛ یعنی در نبود نور، نارسانا است، و در حضور نور، رسانا می شود. وقتی تصویر برگه مورد نظر روی استوانه می افتد، بخش هایی از پوشش سلنیومی استوانه که نور می گیرد، رسانا می شود و با تماس با بدنه آلومینیومی استوانه، بار مثبت خود را از دست می دهد. به این ترتیب، تصویر برگه به صورت توزیعی از بار مثبت بر سطح استوانه نقش می بندد. پس از این مرحله، استوانه در تماس با پودر سیاه رنگی (موسوم به تونر) که دارای بار منفی شده است قرار می گیرد. نیروی جاذبه الکتریکی بین پودر باردار منفی و بخش هایی از استوانه که دارای بار مثبت است سبب می شود این پودر بر سطح استوانه بنشیند و تصویری سیاه رنگ از برگه به وسیله تونر بر سطح آن ایجاد شود. اکنون یک برگه سفید که باردار مثبت شده است و بار مثبت آن بیشتر از بار مثبت استوانه است، روی سطح استوانه می پیچید و به این ترتیب جاذبه الکتریکی بین پودر باردار منفی که روی سطح استوانه قرار دارد و سطح باردار مثبت کاغذ سفید، موجب انتقال تصویر از استوانه به کاغذ می شود. گام آخر، عبور کاغذ (که اینک پودر تونر تصویری بر سطح آن ایجاد کرده است) از میان غلتک های داغ است. اکنون تونر بر اثر گرما کاملاً بر سطح کاغذ «تثبیت» می گردد و بدین ترتیب فرایند فتوکپی به پایان می رسد.

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

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

نقشی که توسط باریکه لیزری ایجاد شده است.



ث) استوانه چاپگر لیزری

باریکه لیزری



ت) انتقال تصویر از تونر به کاغذ



پ) تماس استوانه با تونر منفی



ب) افتادن تصویر برگه روی استوانه



الف) باردار کردن استوانه شده با سلتیوم

منظور از چنین دانستنی‌هایی آن است که دانش‌آموزان دریابند که نیروهای الکتریکی در طبیعت کاربرد دارند و چیزهایی صرفاً انتزاعی نیستند. برای توجه دانش‌آموزان به اهمیت نیروهای الکتریکی می‌توانیم به منشأ نیروهای بین الکترون‌های هر اتم و هسته آن، نیروهای پیوندی اتم‌ها در تشکیل مولکول و نیروهایی که برای تشکیل جامدها و مایع‌ها، اتم یا مولکول‌ها را به هم پیوند می‌دهند اشاره کنیم. در این زمینه مقاله‌ای با عنوان «مولکول‌ها، اتم‌ها و ساختار داخلی اتم‌ها» در شماره ۷۲ مجله رشد آموزش فیزیک وجود دارد که اطلاعات خوبی به دانش‌آموزان می‌دهد.

گاهی دانش‌آموزان در رسم نیروها خطا می‌کنند. خوب است تأکید شود که مبدأ بردار نیروی وارد بر ذره باید خود ذره باشد. برای تعیین نیروی خالص وارد بر یک ذره باردار معین که در احاطه چند ذره باردار دیگر است، پس از مشخص کردن ذره موردنظر، بردارهای نیروی ناشی از ذرات دیگر را باید طوری رسم کرد که ابتدا (و نه انتهای) هر کدام از این نیروها، بر روی ذره موردنظر باشد.

وقتی بزرگی نیروی الکتریکی بین دو ذره را بررسی می‌کنیم مهم نیست بزرگ‌ترین نیرویی که کدام یک بر دیگری وارد کرده مورد محاسبه قرار گرفته است، زیرا این دو نیرو هم اندازه‌اند. اما وقتی تعداد بارها زیاد شود، بزرگی نیروی برآیند وارد بر هر یک می‌تواند با بقیه متفاوت باشد.

در این فیلم‌ها طرز کار یک دستگاه فتوکپی را می‌بینید.

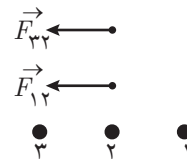




پاسخ پرسش ۲-۱

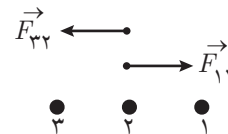
در تعیین نیروی خالص (برایند) توجه کنید که پس از مشخص کردن ذره موردنظر، نیروی ناشی از ذرات دیگر بر آن را طوری رسم می‌کنیم که ابتدای هر کدام از نیروها روی ذره موردنظر باشد. برای اینکه نیروها را مشخص کنیم، بارها را به ترتیب از سمت راست با عددهای ۱، ۲ و ۳ مشخص می‌کنیم.

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



بنابراین برایند نیروی وارد بر ذره میانی، رو به سمت چپ (جهت \hat{i} -) می‌شود.

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



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

برای اطمینان از مهارت‌یابی دانش‌آموزان در حل این مثال‌ها، می‌توانیم مسئله‌های مشابهی را به‌عنوان فعالیت کلاسی طرح کنیم تا دانش‌آموزان مهارت لازم را بیابند.

پاسخ تمرین ۲-۱

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

فاصله بین بارهای q_1 و q_2 را با r_{12} و فاصله بین بارهای q_2 و q_3 را با r_{23} نشان می‌دهیم. با استفاده از رابطه ۱-۲ داریم:

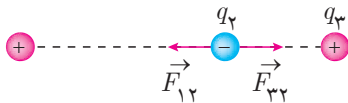
$$F_{12} = k \frac{|q_1||q_2|}{r_{12}^2}$$

$$= (9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{C}^2}) \frac{(2/5 \times 10^{-6} \text{ C})(1/5 \times 10^{-6} \text{ C})}{(4/5 \text{ m})^2} = 1/4 \times 10^{-3} \text{ N}$$

$$F_{23} = k \frac{|q_2||q_3|}{r_{23}^2}$$

$$= (9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{C}^2}) \frac{(4/5 \times 10^{-6} \text{ C})(1/5 \times 10^{-6} \text{ C})}{(2/5 \text{ m})^2} = 9/5 \times 10^{-3} \text{ N}$$

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



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

$$\vec{F}_T = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{23} = F_{12}(-\vec{i}) + F_{23}(+\vec{i}) = (F_{23} - F_{12})\vec{i}$$

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

$$F_T = F_{23} - F_{12} = 9/5 \times 10^{-3} \text{ N} - 1/4 \times 10^{-3} \text{ N}$$

$$= 7/6 \times 10^{-3} \text{ N}$$

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

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

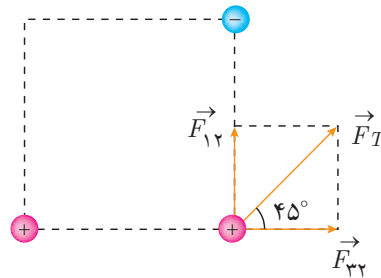




پاسخ پرسش ۳-۱

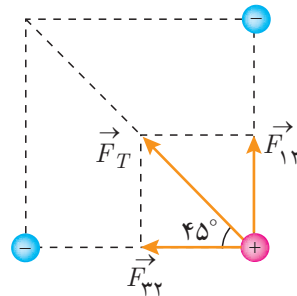
همان‌طور که گفتیم برای تعیین نیروی برآیند، نخست باید ذره موردنظر را انتخاب کنیم و بردارهای نیرو را طوری رسم کنیم که ابتدای آنها بر ذره موردنظر باشد.

الف) اگر بارها را شماره‌گذاری کنیم داریم:



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

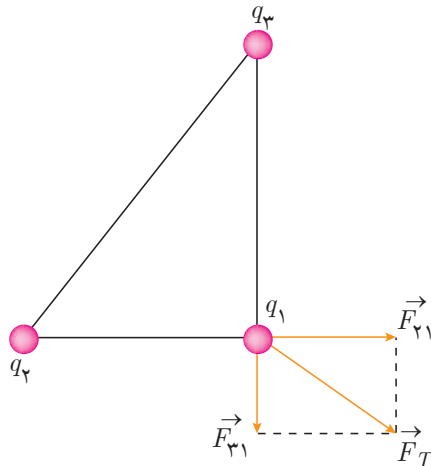
ب) اکنون علامت بار شماره ۳ منفی است و بنابراین سوی نیروی \vec{F}_{32} بر می‌گردد و شکلی مانند زیر داریم:



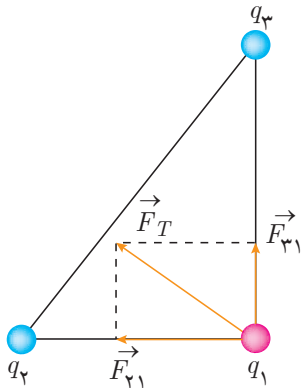
که در آن $F_{12} = F_{32}$. بنابراین اکنون \vec{F}_T با جهت $\vec{i} + \vec{j}$ زاویه 135° می‌سازد.

پاسخ تمرین ۳-۱

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



ب) اگر علامت بار q_2 منفی شود، سوی نیروی \vec{F}_{21} وارونه می‌شود و تصویری مانند زیر خواهیم داشت :



ب) خیر. زیرا اندازه نیروی برابند برابر است با

$$F_T = \sqrt{F_{21}^2 + F_{31}^2}$$

که با توجه به اینکه مقدار F_{21} و F_{31} تغییری نمی‌کنند، بزرگی نیروی برابند هم تغییر نمی‌کند.



در ابتدای این مبحث برای ایجاد انگیزه می‌توان دانش‌آموزان را دوباره به فعالیت ۲-۱ ارجاع داد و پرسید چگونه جاذبه الکتریکی بین تونر و بخشی از استوانه که دارای بار مثبت است موجب نشست تونر بر سطح استوانه می‌شود. همچنین می‌توانیم پیش از آن، اشاره به تعریف میدان در حالت کلی (و نیز دانستنی مربوط به آن) کنیم و سپس با بیان مثال‌های آشنایی مانند نیرویی که دو آهنربا بر هم دارد می‌کنند یا جاذبه نیروی زمین، به این واسطه اعمال نیرو اشاره کنیم و آنگاه به بیان مفهوم میدان الکتریکی بپردازیم.

منشأ تفکر $F_e \propto \frac{1}{r^2}$

نخستین سر نخ دربارهٔ سرشت «قانون کولن» به صورت غیر مستقیم به دست آمده است. در حدود سال ۱۷۷۵ میلادی بنیامین فرانکلین دریافت که اگر چوب پنبه‌ای کوچک در نزدیک قوطی فلزی بارداری خارج از قوطی آویزان باشد، به شدت جذب آن می شود. اما وقتی که به وسیلهٔ ریسمان در داخل قوطی آویزان شود، چوب پنبه در هر جایی داخل قوطی باشد، نیرویی بر آن وارد نخواهد شد. فرانکلین نفهمید که چرا دیواره‌های قوطی چوب پنبه را هنگامی که داخل قوطی است نمی ربايند، ولی وقتی که خارج قوطی است می ربايند.

جوزف پرستلی دانشمند انگلیسی نتیجه‌های فرانکلین را بررسی کرد و از آنها به نتیجه‌ای درخشان دست یافت. او به یاد آورد که بنا بر آنچه در کتاب «اصول نیوتون» مطرح شده است، نیروهای گرانشی نیز به همین ترتیب رفتار می کنند. در داخل سیاره‌ای تو خالی، نیروی گرانشی مؤثر بر یک جسم (مجموع همهٔ نیروهایی که از همهٔ اجزای سیاره وارد می شوند) دقیقاً صفر خواهد بود. همین طور می توان این نتیجه را به طور ریاضی از قانونی به دست آورد که براساس آن نیروی گرانشی بین هر دو جرم منفرد با مجذور فاصلهٔ بین آنها نسبت عکس دارد.

بنابراین پرستلی بیان کرد که نیروهایی که بارها به هم وارد می کنند درست مانند نیروهای میان دو جرم منفرد با مجذور فاصلهٔ آنها نسبت عکس دارد. درست همان طور که نیروی میان اجسام جرم دار نیروی «گرانشی» نامیده شده، نیروی میان دو جسم باردار نیز نیروی «الکتریکی» می نامند.

پیشنهاد پرستلی مبتنی بر استدلال از راه قیاس بود. این استدلال به تنهایی نمی توانست ثابت کند که نیروهای الکتریکی با عکس مجذور فاصله‌ی میان بارها متناسب اند، اما فیزیکدانان دیگر را تشویق کرد که فرضیهٔ پرستلی را با آزمایش بررسی کنند.

مقدار ثابت در قانون کولن

اگر بتوان دو کره را باردار کرد و آنها را بین دو صفحهٔ باردار قرار داد و بارهای q_1 و q_2 را اندازه گرفت می توان با ثابت نگه داشتن یک کره و متصل کردن کرهٔ دیگر به یک ترازوی فنری نیروی بین آنها را در فاصلهٔ ثابت r اندازه گرفت و عدد k را محاسبه کرد. اما برای انجام این کار یک اشکال فنی وجود دارد. نیروهای بین دو کرهٔ کوچک که در آزمایش مربوط به اندازه گیری بار آنها استفاده کردیم، بسیار کوچک تر از آن هستند که بتوان آنها را اندازه گرفت. این کره‌ها بار کافی را بر روی خود نگه نمی دارند. کره‌های بزرگ تر هم نمی توانند بین دو صفحه بیش از چند میلی متر از هم فاصله بگیرند. برای قابل اجرا شدن آزمایش، باید فاصلهٔ صفحه‌ها و نیز اختلاف پتانسیل اعمال شده به صفحه‌ها را بزرگ کرد طوری که نسبت اختلاف پتانسیل به فاصلهٔ صفحه‌ها ثابت بماند. اگر کره‌ها را بزرگ کنیم، باید بار آنها نیز بیشتر باشد.

$$F' = q'E$$

$$\frac{F'}{F} = \frac{q'E}{qE} = \frac{q'}{q} \Rightarrow q' = q \frac{F'}{F}$$

در آزمایش با کره‌های بسیار کوچک، وقتی کره در میدان به حالت سکون درمی آمد، فاصلهٔ صفحه‌ها از هم $1 \times 10^{-2} \text{ m}$ و اختلاف پتانسیل اعمال شده 270 V ولت بود و نیروی وارد بر کره $2 \times 10^{-11} \text{ N}$ به دست آمد و معلوم شد هر کره دارای ۲ بار بنیادی بوده است.

اگر یک کره فلزی با قطر چند سانتی متر را باردار کنیم و به کره‌ای کاملاً مشابه خودش تماس دهیم تا هر دو بار یکسان داشته باشند، با استفاده از ترازوی فنری، نیروی بین دو کره وقتی از هم 15m° فاصله دارند، $6/7 \times 10^{-4}\text{N}$ اندازه‌گیری می‌شود. سپس یکی از کره‌ها را در میدان یکنواختی به اندازه میدان مربوط به کره‌های کوچک قرار داده و نیروی وارد بر آن را $3/55 \times 10^{-2}\text{N}$ به دست آوردند. آنگاه بار هر کره فلزی بزرگ چنین به دست می‌آید:

$$q' = q \frac{F'}{F} = 2e \frac{3/55 \times 10^{-2}\text{N}}{2/8 \times 10^{-14}\text{N}} = 2/5 \times 10^{11}e$$

و با معلوم بودن فاصله کره‌ها از هم و نیروی برهم کنش آنها، مقدار k محاسبه می‌شود:

$$6/7 \times 10^{-4}\text{N} = \frac{k(2/5 \times 10^{11}e)^2}{(0/15\text{m})^2} \Rightarrow ke^2 = 2/4 \times 10^{-28}\text{N.m}^2$$

دقیقترین مقدار ke^2 براساس آزمایش‌های متعدد $2/3 \times 10^{-28}\text{N.m}^2$ به دست آمده است.

پرسش‌های پیشنهادی

۱ دو کره کاملاً مشابه و کوچک A و B روی سطح بدون اصطکاکی به فاصله r از هم قرار گرفته‌اند. کره A دارای بار خالص q و کره B دارای بار خالص $4q$ است. کره‌ها در لحظه یکسانی رها می‌شوند و از هم فاصله می‌گیرند. بزرگی شتاب آنها چگونه است؟

پاسخ: طبق قانون سوم نیوتون بزرگی نیروی وارد به هر دو کره یکسان است و چون کره‌ها جرم برابری دارند، شتاب آنها نیز یکسان خواهد بود. اما طبق قانون کولن، نیرو با عکس مجذور فاصله رابطه دارد. بنابراین، با فاصله گرفتن کره‌ها از هم، شتاب آنها مدام کاهش می‌یابد.

۲ دو کره رسانای بزرگ به شعاع $R = 5/^\circ\text{cm}$ به فاصله 3°cm از هم قرار دارند. بزرگی بار روی کره اول $2/^\circ\mu\text{C}$ و روی کره دوم $5/^\circ\mu\text{C}$ است. کدام گزینه در مورد اندازه نیروی الکتریکی وارد بر هر کره توسط کره دیگر درست است و چرا؟

(الف) 1N (ب) بیشتر از 1N (پ) کمتر از 1N

پاسخ: پ درست است. توجه کنید چون کره‌ها بزرگ‌اند، بار روی سطح آنها پخش می‌شود و هر نقطه از یک کره با تمام نقاط باردار کره دیگر برهم کنش خواهد داشت و بر اثر دافعه الکتریکی بین بارها، توزیع یکنواخت بار روی کره‌های فلزی به هم می‌خورد. در این حالت دیگر نمی‌توان با کره‌ها مانند بار نقطه‌ای رفتار کرد، چرا که نه بسیار کوچک‌اند و نه فاصله آنها نسبت به شعاع‌شان چنان بزرگ است که بتوان آنها را نقطه‌ای فرض کرد. در وضعیت این پرسش، در هر حال فاصله بارها بیشتر از عدد داده شده است و بنابراین نیرویی که کره‌ها به هم وارد می‌کنند کمتر از 1N می‌شود.

تمرین‌های پیشنهادی

۱) بزرگی نیروی الکتروستاتیکی میان دو یون مشابه که به فاصله $5/0 \times 10^{-10} \text{ m}$ از هم قرار گرفته‌اند برابر $3/7 \times 10^{-9} \text{ N}$ است. الف) بار هر یون چقدر است؟ ب) هر یون، چند الکترون از دست داده است؟ پاسخ:

الف) از قانون کولن داریم

$$F = \frac{kq^2}{r^2}$$

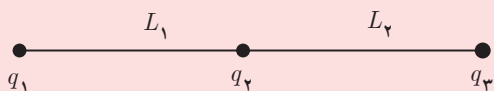
و در نتیجه:

$$q = r \sqrt{\frac{F}{k}} = (5/0 \times 10^{-10} \text{ m}) \sqrt{\frac{3/7 \times 10^{-9} \text{ N}}{9/0 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2}} = 3/2 \times 10^{-19} \text{ C}$$

ب) N در واقع تعداد الکترون‌هایی است که هر یون فاقد آن است:

$$N = \frac{q}{e} = \frac{3/2 \times 10^{-19} \text{ C}}{1/60 \times 10^{-19} \text{ C}} = 2/0$$

۲) در شکل زیر، سه ذره باردار روی محور x قرار دارند. ذره‌های ۱ و ۲ در جای خود ثابت شده‌اند، ولی ذره ۳ می‌تواند آزادانه حرکت کند. نیروی الکتروستاتیکی خالص وارد بر این ذره در جایی برابر صفر می‌شود. با فرض اینکه در این مکان فاصله‌های L_1 و L_2 برابر باشد، نسبت q_1/q_2 چقدر است؟



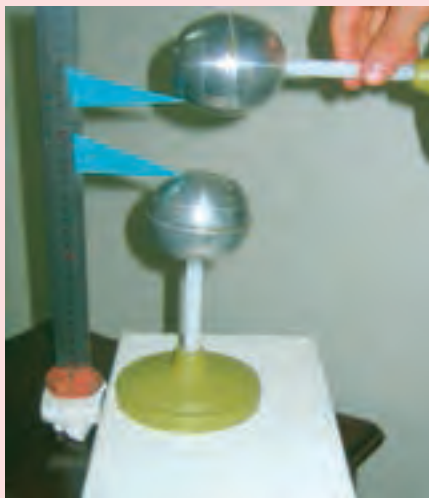
پاسخ: ۴-

فعالیت‌های پیشنهادی

۱ ورقه‌ای آلومینیومی به ابعاد $3\text{ cm} \times 4\text{ cm}$ را مجاله کنید و به صورت یک کره کوچک درآورید و سپس آن را به کمک یک تکه نخ خشک آویزان کنید. آونگ را توسط مولد وان دوگراف باردار کنید. سپس گویی باردار با بار مشابه را به آونگ نزدیک کنید. گوی را در فاصله معینی از آونگ نگه دارید و زاویه انحراف آونگ از وضعیت قائم را توسط یک نقاله که به دیوار نصب شده است اندازه بگیرید. این کار را در فاصله‌های معین دیگری نیز انجام دهید و زاویه انحراف از امتداد قائم را یادداشت کنید. با انجام این فعالیت، می‌توان وارون بودن نیرو با مجذور فاصله را تحقیق کرد.



۲ دو گوی کوچک فلزی باردار مشابه را که روی پایه‌های عایقی سوارند، اختیار کنید. یکی از آنها را به طور قائم بر روی ترازوی دیجیتال قرار دهید و ترازو را روی صفر تنظیم کنید. خط کش را مطابق شکل کنار ترازو قرار دهید. اکنون گلوله دوم را به آرامی از بالا به گلوله روی ترازو نزدیک کنید و در فاصله‌های مختلف، نیرو را اندازه‌گیری و یادداشت کنید. از این فعالیت به چه نتیجه‌ای می‌رسید؟





اگر بر روی این مثال کمی بیشتر از انجام محاسبات و عملیات ریاضی وقت بگذاریم، می‌تواند زمینه‌ای برای ورود به بحث برهم نهی میدان‌های الکتریکی باشد. در اینجا بار آزمون تحت تأثیر نیرویی برآیند قرار گرفته است و بنابراین این مثال می‌تواند گشایشی در مورد بحث برهم نهی میدان‌ها نیز باشد.

دانشتنی برای معلم

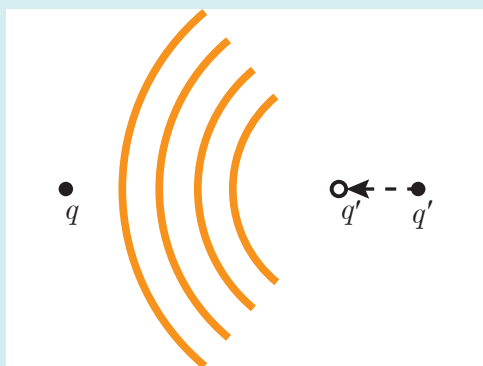
اندیشه وجود میدان

اندیشه وجود میدان نخستین بار در میانه قرن هجدهم میلادی توسط *تئونارد/ولر* (۱۷۸۳-۱۷۰۷ م.) ریاضیدان و فیزیکدان سوئیسی برای شاره‌ها ابداع شد. در واقع میدان‌های مختلف بسیاری وجود دارند که در علوم و مهندسی مورد استفاده قرار می‌گیرند. مثلاً میدان دما در یک تالار، توزیع دماهایی است که از اندازه‌گیری دما در نقاط مختلف تالار به دست می‌آید.

به همین ترتیب می‌توان میدان فشار را در یک استخر شنا یا جو اطراف زمین تعریف کرد. اینها نمونه‌هایی از میدان‌های نرده‌ای هستند، زیرا دما و فشار کمیت‌هایی نرده‌ای‌اند که فقط بزرگی دارند و فاقد جهت هستند، در حالی که میدان الکتریکی مربوط به نیرو است که هم بزرگی و هم جهت دارد.

تعبیر میدان الکتریکی

مطابق تعبیر سادهٔ کنش از دور قانون کولن، بار q' نیروی مستقیمی بر بار q وارد می‌آورد، اگرچه این بارها به فاصلهٔ زیادی از هم واقع و تماسی نداشته باشند. اما، این تعبیر کنش از دور میدان الکتریکی در مورد بارهای متحرک با مشکلات جدی مواجه می‌شود. فرض کنید بار q' را ناگهان به بار q نزدیک‌تر کنیم؛ در این صورت نیروی الکتریکی باید افزایش یابد. اما این افزایش بی‌درنگ رخ نمی‌دهد؛ این افزایش را می‌توان سیگنالی از q' به q



یک آشفتگی از بار q' سرچشمه می‌گیرد و به بار q می‌رسد.

تلقی کرد، و یکی از اصول بنیادی فیزیک، براساس نظریهٔ نسبیت، این است که هیچ سیگنالی نمی‌تواند با سرعتی بیش از سرعت نور منتشر شود. پس نتیجه می‌گیریم، وقتی مانند شکل، ناگهان بار q' را حرکت می‌دهیم، نوعی آشفتگی از q' به سمت q در فضا منتشر می‌شود و نیروی الکتریکی را با مقدار افزودهٔ جدید تنظیم می‌کند. بدین‌سان، بارها با تولید آشفتگی‌هایی در فضای پیرامونشان، بر یکدیگر نیرو وارد می‌آورند. این آشفتگی‌ها را میدان الکتریکی می‌گویند.

میدان، انرژی و تکانه دارد و بنابراین به معنای مادی وجود دارد. در این صورت با توجه به مثال بالا، به آسانی پی می‌بریم که

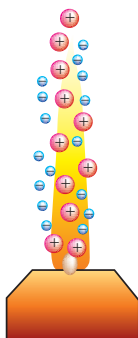
چرا آشفتگی، یا میدان، که بر اثر جابه‌جایی ناگهانی q' ایجاد شد، باید تکانه داشته باشد: وقتی q' را ناگهان به سوی q حرکت می‌دهیم، نیروی وارد بر q' بنا بر قانون کولن فوراً افزایش می‌یابد، اما افزایش نیروی وارد بر q با تأخیر روی می‌دهد تا سیگنال انتشار یافته از q' فرصت داشته باشد اطلاعات مربوط به تغییر موضع q را منتقل می‌کند. بدین‌سان، موازنهٔ کنش و واکنش موقتاً از بین می‌رود. هرگونه عدم تعادل کنش و واکنش ایجاب می‌کند که تکانهٔ سامانه، متشکل از دو ذرهٔ باردار ما، پایسته نماند. بنابراین برای حفظ پایستگی تکانهٔ کل، تکانهٔ گم‌شدهٔ ذرات q و q' باید به میدان منتقل شود، یعنی میدان باید تکانه کسب کند.

هرچند استدلال بالا برای وجود میدان‌ها مبتنی بر بارهای متحرک است، ولی این تعبیر را می‌پذیریم که هر بار ساکن در فضای پیرامون خود یک آشفتگی ایستا، و دائمی ایجاد می‌کند، و این آشفتگی در تماس با بارهای دیگر نیروهایی بر آنها وارد می‌آورد. پس، این دیدگاه را اختیار می‌کنیم که برهم کنش بین بارها کنش از طریق تماس است؛ تغییر q' میدانی الکتریکی ایجاد می‌کند که در فضای پیرامون خود نفوذ می‌کند و بر بار دیگری که با آن تماس پیدا کند، نیرو وارد می‌آورد. مطابق این طرح، میدان الکتریکی به منزلهٔ واسطه یا میانجی نیروها عمل می‌کند:

نیروی وارد بر بار $q \rightarrow$ میدان الکتریکی بار $q' \rightarrow$ بار q'

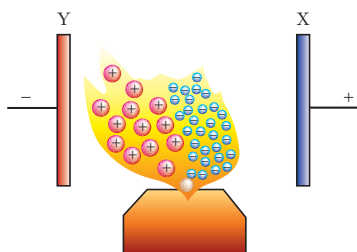
در این فیلم، نمایشی برای تفهیم وجود میدان را می‌بینید.





شکل ۱

در مورد مشاهده تجربی مثال ۱-۶ به چند مورد توجه شود. نخست اینکه در اینجا بدیهی است که باد یونی نقشی در انحراف شعله ندارد، زیرا کلاهک کروی است و اتصال نوک تیزی هم نداریم. دیگر آنکه در اینجا صرفاً تأکیدی بر چگونگی مشاهده تجربی این مثال بوده است و تأثیری که میدان الکتریکی می‌گذارد. اینکه شعله شمع در چه جهتی کشیده می‌شود، موضوعی جداگانه است که مورد نظر این مثال نبوده است. اما در هر حال، برای خوانندگان ریزین تر می‌توان مباحثی از این دست نیز مطرح کرد. در آن صورت باید اشاره کرد که حرارت شعله شمع الکترون‌ها را از مولکول‌های هوای اطراف شعله می‌کند و بدین ترتیب مولکول‌ها یونیده می‌شوند. در نتیجه، شعله در احاطه تعداد زیادی یون‌های مثبت و منفی قرار دارد (شکل ۱).



شکل ۲

حال اگر این شمع میان دو صفحه متصل به اختلاف پتانسیل بالا قرار گیرد، یون‌های مثبت به سمت صفحه منفی و یون‌های منفی به سمت صفحه مثبت کشیده می‌شوند. اما این پخش شدن به‌طور یکنواخت نیست. این به دلیل آن است که یون‌های مثبت بزرگ‌تر از یون‌های منفی هستند و بنابراین شکلی مانند شکل ۲ خواهیم داشت.

اکنون می‌توان مثال‌هایی از این دست را نیز مطرح کرد که مثلاً کدام یک از شکل‌های زیر نمایشی درست‌تر از شعله شمع در میدان الکتریکی را نشان می‌دهند؟



شکل ۳



در این فیلم چگونگی آزمایش مثال ۱-۶ و انحراف شعله در میدان الکتریکی را می‌بینید.



پاسخ تمرین ۴-۱

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

$$E_p = k \frac{|q|}{r^2} = (9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{C}^2}) \frac{(1.6 \times 10^{-19} \text{ C})}{(5.3 \times 10^{-11} \text{ m})^2} = 5.13 \times 10^{11} \frac{\text{N}}{\text{C}} \approx 5.1 \times 10^{11} \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

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

ب) همان‌طور که در مثال پیش دیدیم، میدان الکتریکی حاصل از مولد وان دو گراف در فاصله 10^0 m از مرکز کلاهک برابر است با

$$E_v = k \frac{|q|}{r^2} = (9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{C}^2}) \frac{(1.0 \times 10^{-6} \text{ C})}{(1.0 \text{ m})^2} = 9.0 \times 10^3 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

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

$$E_p = k \frac{|q|}{r^2} = (9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{C}^2}) \frac{(1.6 \times 10^{-19} \text{ C})}{r^2} = 9.0 \times 10^3 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

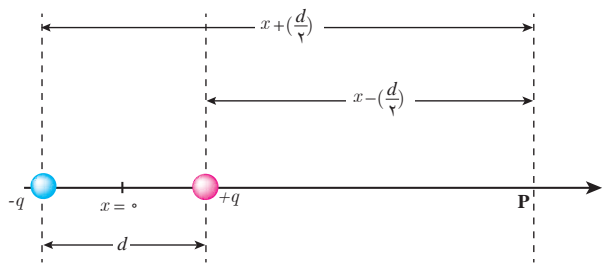
و از آنجا که $r = 4.0 \times 10^{-7} \text{ m}$ می‌شود. توجه کنید مرتبه بزرگی این فاصله، 10^4 بار بزرگ‌تر از مرتبه بزرگی شعاع اتم هیدروژن در مدل بور است. بنابراین پاسخ ب نیز مانند پاسخ الف نشان دهنده بزرگی بسیار زیاد میدان هسته اتم در محل الکترون‌های اتم است.

در مورد برهم نهی میدان‌های الکتریکی نیز خوب است به همان ظرایفی که در برهم نهی نیروهای الکتریکی بیان شد اشاره کرد.



برای اطمینان از مهارت‌یابی دانش‌آموزان در حل این مثال‌ها، می‌توانیم مسئله‌های مشابهی را به‌عنوان فعالیت کلاسی طرح کنیم.

در تکمیل این موضوع خوب است بدانید می‌توان برای دانش‌آموزان مستعدتر، چگونگی محاسبه میدان الکتریکی حاصل از این دوقطبی در نقطه‌ای دلخواه مانند P را نیز توضیح داد (به‌خصوص آنکه در تمرین ۱-۵ با نمونه‌ای از آن آشنا می‌شوند). به این منظور، مانند شکل زیر، $x=0$ را بر مرکز دو قطبی اختیار کنید. برای میدان الکتریکی برآیند در نقطه P خواهیم داشت:



$$\vec{E} = \vec{E}_+ + \vec{E}_- = E_+ \vec{i} - E_- \vec{i}$$

که در آن \vec{E}_+ میدان الکتریکی ناشی از بار مثبت و \vec{E}_- میدان الکتریکی ناشی از بار منفی است. با توجه به رابطه ۱-۴ خواهیم داشت

$$\vec{E} = k \frac{q}{r_1^2} \vec{i} - k \frac{q}{r_2^2} \vec{i}$$

که در آن r_1 و r_2 به ترتیب فاصله نقطه P از بارهای مثبت و منفی است. بنابراین داریم

$$\vec{E} = \left[k \frac{qe}{(x-d/2)^2} - k \frac{qe}{(x+d/2)^2} \right] \vec{i}$$

که d با استفاده از مثلث نشان داده شده در شکل برابر $d = \Delta r \cos \theta / 2$ است. اکنون با داشتن θ ، Δr و x می‌توانیم \vec{E} را محاسبه کنیم. مثلاً به ازای $m \times 10^{-1} = x = 3^\circ \times 10^{-1}$ به میدانی در حدود $3 \times 10^{-1} \text{ N/C}$ در جهت \vec{i} می‌رسیم.



پاسخ تمرین ۵-۱

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

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

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

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

$$\begin{aligned} E_M &= k \frac{|q|}{r_1^2} - k \frac{|q|}{r_2^2} = k|q| \left(\frac{1}{r_1^2} - \frac{1}{r_2^2} \right) \\ &= (9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{C}^2}) (2 \times 10^{-9} \text{ C}) \left(\frac{1}{(3 \times 10^{-2} \text{ m})^2} - \frac{1}{(9 \times 10^{-2} \text{ m})^2} \right) \\ &= 17784 \frac{\text{N}}{\text{C}} \approx 1.8 \times 10^4 \frac{\text{N}}{\text{C}} \end{aligned}$$

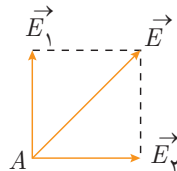
در نتیجه:

$$\vec{E}_M = (1.8 \times 10^4 \frac{\text{N}}{\text{C}}) \vec{i}$$



پاسخ تمرین ۶-۱

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



$$\vec{E} = E_1 \vec{i} + E_2 \vec{j} = (5 \times 10^3 \frac{N}{C}) \vec{i} + (5 \times 10^3 \frac{N}{C}) \vec{j}$$

و در نتیجه :

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} = 7.1 \times 10^3 \frac{N}{C}$$

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

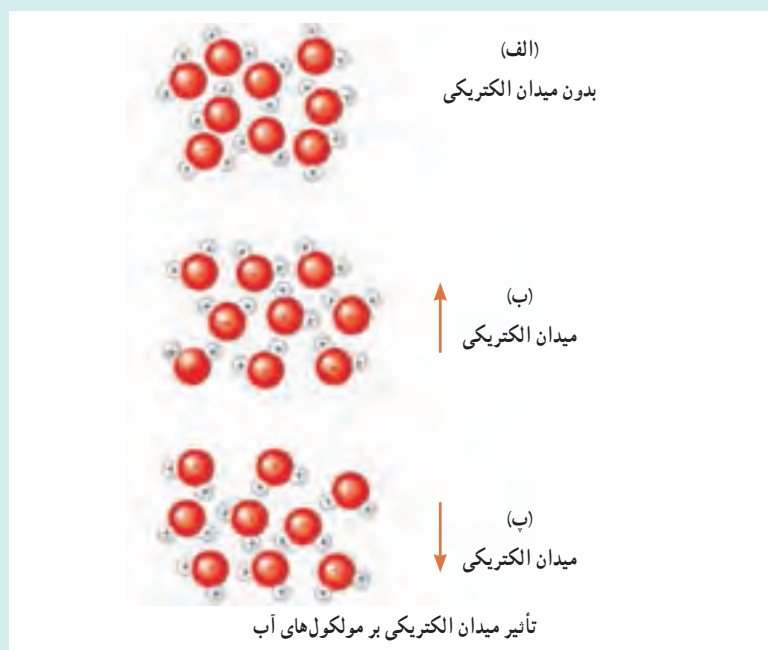


دانستنی برای معلم

اجاق میکروموج

غذایی می تواند در اجاق میکروموج گرم و پخته شود که حاوی آب باشد، زیرا مولکول های آب دوقطبی الکتریکی اند. وقتی اجاق میکروموج را روشن می کنید، چشمه میکروموج یک میدان الکتریکی نوسانی سریع را هم در داخل اجاق و هم در داخل غذا ایجاد می کند. این میدان الکتریکی بر دوقطبی های الکتریکی، گشتاور نیرویی وارد می کند و می کوشد آنها را مانند شکل همسو با میدان الکتریکی کند. انرژی از میدان الکتریکی به انرژی گرمایی آب (و بنابراین غذا) که در آن سه مولکول آب به شکل یک گروه به هم پیوند خورده اند منتقل می شود. به عبارتی، وقتی میدان الکتریکی به نوسان درآید، مولکول های آب نیز نوسان می کنند. وقتی بسامد نوسان با بسامد طبیعی مولکول های آب هماهنگ شود، مولکول های آب با انرژی زیادی به حرکت درمی آیند. وقتی مولکول های الکتریکی آب (یا هر مولکول قطبی دیگری) حرکت خود را به مولکول های اطراف منتقل کنند، غذا پخته می شود. برای آنکه به تصویری از این اتفاق برسید محفظه ای از توپ های پینگ پونگ را در نظر بگیرید که با چند باتوم در بین آنها، همگی در حال سکون اند. اکنون فرض کنید که باتوم ها ناگهان مانند ملخ های هواپیمایی بطور نیم چرخان به سرعت نوسان کنند و به توپ های مجاور برخورد کنند. توپ ها انرژی می گیرند و در تمام جهت ها به حرکت درمی آیند. اجاق میکروموج هم به همین ترتیب عمل می کند. باتوم ها، مولکول های آب (یا هر مولکول قطبی دیگری) اند که در محفظه اجاق با ضرباهنگ منظمی حرکت رفت و برگشتی می کنند و توپ های پینگ پونگ مولکول های غیرقطبی اند که بخش اصلی غذای در حال پخت را تشکیل می دهند. اگر مولکول های آب دوقطبی الکتریکی نبودند ما اجاق های میکروموج هم نداشتیم. کاغذ خشک، بشقاب های اسفنجی و سایر موادی

که برای استفاده در این اجاق‌ها توصیه می‌شود حاوی آب یا سایر مولکول‌های قطبی نیستند و بنابراین امواج میکروموج بدون هیچ تأثیری از آنها می‌گذرند. جالب است برای یخ نیز که در آن مولکول‌های آب در جای خود قفل شده‌اند نیز همین‌طور است.



پرسش‌های پیشنهادی

۱ در اتاقک خلأ، میدان الکتریکی یکنواختی رو به پایین برقرار شده است. اگر یک الکترون به طور افقی در این ناحیه گسیل شود، شتاب آن :

الف) رو به پایین و ثابت ب) رو به بالا و ثابت
پ) رو به بالا و متغیر ت) رو به پایین و متغیر
خواهد بود.

پاسخ : ب

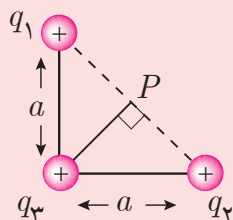
۲ ذره‌ای با بار q ، میدانی الکتریکی ایجاد می‌کند. در نقطه P واقع در $m/36^\circ$ در غرب این ذره، بزرگی میدان الکتریکی برابر است با 4° N/C و جهت آن به سمت غرب است. در نقطه‌ای به فاصله $m/36^\circ$ واقع در شرق این ذره، میدان برابر است با

الف) 4° N/C ، رو به غرب ب) 4° N/C ، رو به شرق
پ) 8° N/C ، رو به غرب ت) 8° N/C ، رو به شرق

پاسخ : میدان الکتریکی ذره، شعاعی است. پس نتیجه می‌گیریم بار این ذره مثبت بوده است و چون فاصله تغییر نکرده است، بزرگی‌اش تغییر نمی‌کند. پس پاسخ درست، ب است.

تمرین پیشنهادی

سه ذره با بارهای $q_1 = q_2 = +e$ و $q_3 = +2e$ در مکان‌های خود، مطابق شکل زیر، ثابت شده‌اند. فاصله $a = 6/00 \mu\text{m}$ است. بزرگی میدان الکتریکی خالص در نقطه P چقدر است؟



پاسخ: میدان‌های حاصل از بارهای q_1 و q_2 همدیگر را در نقطه P خنثی می‌کنند و می‌ماند میدان حاصل از $q_3 = +2e$ که باید آن را محاسبه کنیم. فاصله بار q_3 تا نقطه P با استفاده از قضیه فیثاغورس به دست می‌آید:

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

بنابراین بزرگی میدان خالص چنین می‌شود:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2e}{r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2e}{(a/2)^2}$$

$$= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2e}{a^2} = (9/0 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2) \frac{2(1/600 \times 10^{-6} \text{ C})}{(6/00 \times 10^{-6} \text{ m})^2} = 160 \text{ N/C}$$

فعالیت پیشنهادی

مولد واندوگراف را مدتی روشن بگذارید تا بار الکتریکی قابل ملاحظه‌ای روی کلاهک آن ایجاد شود. اکنون یک لامپ فلوئورسانت را در بالای کلاهک و نزدیک آن بگیرید و مشاهدات خود را یادداشت کنید.

۱-۶ خطوط میدان الکتریکی

در آزمایش‌هایی از این دست، برای آنکه بتوانید طرح خطوط میدان را به صورت سه بُعدی ببینید، می‌توانید به جای بذر چمن از بریده‌های کوچک نخ استفاده کنید و اسباب آزمایش را در ظرف شیشه‌ای شفاف با عمق مناسب که حاوی روغن است به کار برید.

در این فیلم آزمایشی مشابه فعالیت ۱-۳ را می‌بینید.



فیلم

در این شکل‌ها حتماً با رسم بزرگ‌شده این تصاویر، به اندازه بردارهای میدان الکتریکی که به تدریج کوچک و کوچک‌تر می‌شوند اشاره کنید. همچنین اشاره به میدان‌های دما و فشار که بیشتر در دانستنی اندیشه وجود میدان به آن پرداختیم، می‌تواند آموزنده باشد.

در مورد قاعده رسم ۲ خطوط میدان الکتریکی خوب است اشاره شود که تعداد خطوط میدان متناسب با قدر مطلق بارها است. در این مورد خوب است پرسش پیشنهادی مربوط (پرسش پیشنهادی ۲) مطرح گردد.

در این فیلم‌ها نمایشی از طرح خطوط میدان الکتریکی دو بار را می‌بینید.



فیلم

در این فیلم نمایشی از چگونگی رسم خطوط میدان الکتریکی دو بار هم نام را می‌بینید.



فیلم



پاسخ پرسش ۴-۱

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

پاسخ پرسش ۵-۱

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 الکتریکی است.



پاسخ فعالیت ۴-۱

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



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

در مثال ۹-۱ توجه شود که تحلیل دقیق آزمایش میلیکان مورد نظر نبوده است و صرفاً یک تحلیل ساده از این آزمایش برای ارائه مثالی در مورد تعادل در میدان الکتریکی ارائه شده است. هم ساز و کار آزمایشگاهی این آزمایش و هم تحلیل آن پیچیده تر از آن است که در این مطلب متن آمده است. در ساز و کار آزمایشگاهی، بیشتر منابع به این مطلب اشاره داشته اند که یک منبع پرتوی ایکس با یونیده کردن مولکول های هوای بین صفحه های عایق بندی شده موجب باردار شدن قطره ها، افزون بر باردار شدن آنها از طریق مالش، می شود. همچنین تحلیل ریاضی این آزمایش نیز به دانشی فراتر از دانش فعلی دانش آموزان نیاز دارد.



در این فیلم چگونگی آزمایش قطره - روغن میلیکان را در نوع کامل تر آن می بینید.

فیلم

پاسخ تمرین ۷-۱

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:

$$F_E = mg \Rightarrow |q|E = mg$$

و از آنجا

$$E = \frac{mg}{|q|} = \frac{(1.0 \times 10^{-3} \text{ kg})(9.8 \text{ N/kg})}{2.0 \times 10^{-9} \text{ C}} = 4.9 \times 10^5 \text{ N/C}$$

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





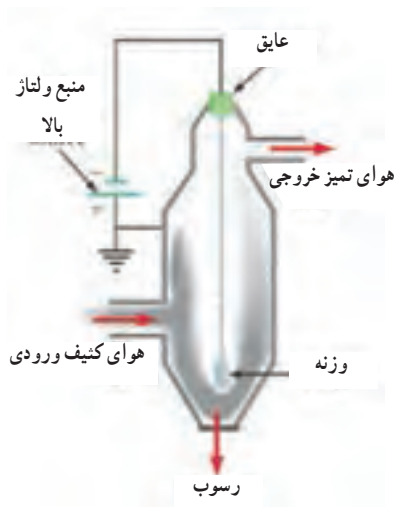
رسوب‌دهنده‌ها اقسام متفاوتی دارند که در پاسخ به این فعالیت به سه‌تای آنها اشاره شده است. می‌توان دانش‌آموزان را به جستجو در مورد انواع دیگر رسوب‌دهنده‌ها تشویق کرد.

در این فیلم ساز و کار رسوب‌دهنده‌های الکتروستاتیکی را می‌بینید.



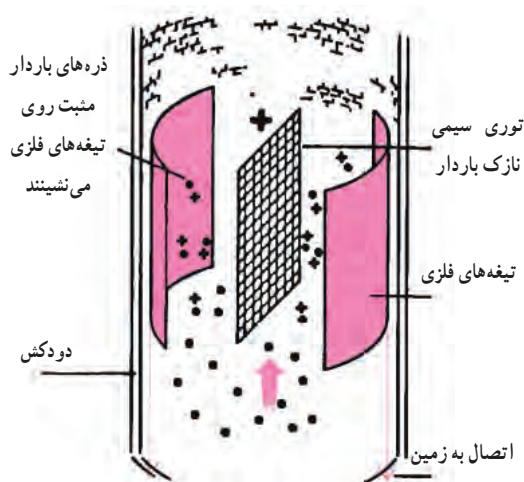
پاسخ فعالیت ۷-۱

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



در رسوب‌دهنده‌ای که در شکل اول می‌بینید، ولتاژ بالایی (نوعاً از ۴۰ kV تا ۱۰۰ kV) بین یک سیم فلزی که از وسط دودکش آن می‌گذرد و دیواره دودکش برقرار می‌شود، در حالی که دیواره دودکش به زمین متصل است. پتانسیل سیم فلزی، منفی‌تر از پتانسیل دیواره است و لذا میدان الکتریکی‌ای به وجود می‌آید که جهت آن به سمت سیم است. در نزدیکی سیم، میدان الکتریکی چنان قوی است که می‌تواند سبب تخلیه الکتریکی در این فضا گردد و به این ترتیب یون‌های مثبت و منفی و تعدادی الکترون ایجاد می‌شود. الکترون‌ها و یون‌های منفی (از قبیل O^-) در خلاف

جهت میدان الکتریکی، به سمت دیواره دودکش شتاب می گیرند. ذرات غبار موجود در دودی که از دودکش می گذرد با یون های منفی و الکترون ها برخورد کرده و با به دام انداختن آنها باردار می شوند؛ چون بیشتر ذرات غبار باردار شده منفی هستند، این ذرات توسط میدان الکتریکی به سمت دیواره دودکش کشیده می شوند. با تکان دادن دودکش، ذرات باردار شده غبار چسبیده به دیوار پایین می ریزد و آنگاه از ته رسوب دهنده جمع آوری می شوند.

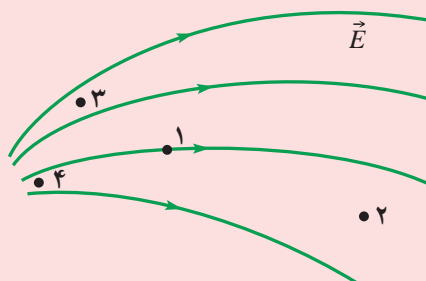


نوع دیگر رسوب دهنده ها در شکل دوم نشان داده شده است. در این رسوب دهنده، توری سیمی که به میزان زیادی باردار مثبت شده است بین تیغه های فلزی متصل به زمین قرار دارد، به گونه ای که تخلیه الکتریکی مدامی بین توری و این تیغه ها روی می دهد. این تخلیه، جریان پیوسته ای از یون ها را به همراه دارد که خود را به ذره های غبار در گازی که از دودکش بالا می رود، متصل می کنند. ذره های باردار عبوری به سوی تیغه های متصل به زمین رانده می شوند و در آنجا رسوب می کنند. پس از مدتی، این تیغه ها را با زدن ضربه می تکانند و به این ترتیب، ذره ها را جدا می کنند. پاک کننده هوای الکتروستاتیکی دستگاه مشابه دیگری از این دست به منظور ایجاد هوای مطبوع برای مبتلایان به آلرژی

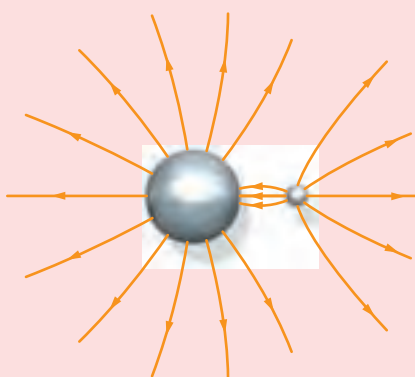
است. در این دستگاه، هوای آلوده نخست از میان یک شبکه توری با بار مثبت عبور داده می شود. ذرات آلودگی با برخورد با این شبکه باردار مثبت می شوند. سپس، هوا از شبکه توری دیگری که باردار منفی شده است عبور می کند. ذرات آلاینده که بیشتر هنگام برخورد با شبکه توری مثبت، باردار مثبت شده بودند، با نیروی الکتروستاتیکی جذب شبکه توری منفی می شوند و روی این شبکه رسوب می کنند و به این ترتیب هوای خروجی از دستگاه عاری از درصد زیادی از ذرات آلاینده است.



پرسش‌های پیشنهادی

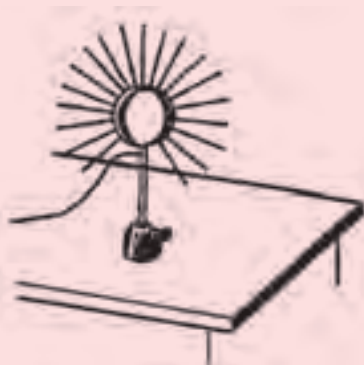


۱ در شکل روبه رو، نقاط ۱ تا ۴ را به ترتیب بزرگی میدان الکتریکی از کمترین تا بیشترین مرتب کنید.
پاسخ: ۲، ۱، ۳، ۴



۲ خطوط میدان الکتریکی برای دو کره رسانای باردار در شکل زیر نشان داده شده است. علامت بار روی هر کره و نسبت بزرگی بار روی کره‌ها چقدر است؟
پاسخ: علامت بارها مثبت و اندازه آنها برابر است. بارها مثبت‌اند، زیرا خطوط میدان از گوی‌ها خارج شده‌اند. همچنین نسبت بارها برابر تعداد خطوطی است که از هر گوی خارج و یا در آن پایان می‌پذیرند. اگر بررسی کنید می‌بینید این برای هر دو گوی برابر است و بنابراین اندازه بارهای آنها یکسان است.

فعالیت پیشنهادی



سرنخ‌ها را به محیط یک حلقه فلزی وصل می‌کنیم و سپس توسط سیم رابط و گیره سوسماری، کلاهک واندوگراف را به حلقه دایره‌ای متصل می‌کنیم. پس از روشن شدن واندوگراف نخ‌ها از هم باز شده و به صورت شعاعی درمی‌آیند. دلیل آن را توضیح دهید.

۷-۱- انرژی پتانسیل الکتریکی

ممکن است دانش آموزان با واژه پتانسیل الکتریکی از پیش آشنا باشند. خوب است اشاره شود که این مبحث راهی برای تعریف آن مفهوم را پیش می‌کشد و با پتانسیل الکتریکی ارتباط دارد، ولی اساساً این دو کمیت، کمیت‌های متفاوتی هستند. اما تشابه انرژی پتانسیل الکتریکی با انرژی پتانسیل گرانشی کاملاً مفهومی و منطقی است و بر خلاف پتانسیل الکتریکی، در اینجا باید به تشابه این دو مفهوم اشاره کامل کرد و با مقایسه تغییرات انرژی پتانسیل گرانشی و انرژی جنبشی در مثال‌هایی مانند سقوط اجسام، بر این همانندسازی تأکید کرد تا دانش آموزان به درکی عمیق از مفهوم انرژی پتانسیل دست یابند.



در این مبحث حتماً اشاره شود که در اینجا (برخلاف کتاب‌های دانشگاهی) θ زاویه بین نیروی الکتریکی (و نه میدان الکتریکی) و جابه‌جایی بار است و به تعریف $|q|$ از دانش ریاضی دانش آموزان اشاره گردد.



پاسخ تمرین ۸-۱

طبق قضیه کار - انرژی جنبشی داریم :

$$W_E = \Delta K$$

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

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

چون جهت میدان الکتریکی نسبت به مثال ۱-۱۰ عوض شده است، پروتون در جهت این میدان (به طرف راست) شتاب می گیرد. تغییر انرژی پتانسیل آن برابر است با

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

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

$$\Delta U_E = -|q|Ed$$

$$-\frac{1}{2}mv_B^2 = -|q|Ed$$

و در نتیجه :

$$v_B = \sqrt{\frac{2|q|Ed}{m}}$$

$$= \sqrt{\frac{2(1.6 \times 10^{-19} \text{ C})(2 \times 10^3 \text{ N/C})(1 \times 10^{-2} \text{ m})}{1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}}}$$

$$= 1.96 \times 10^5 \text{ m/s} \approx 2 \times 10^5 \text{ m/s}$$

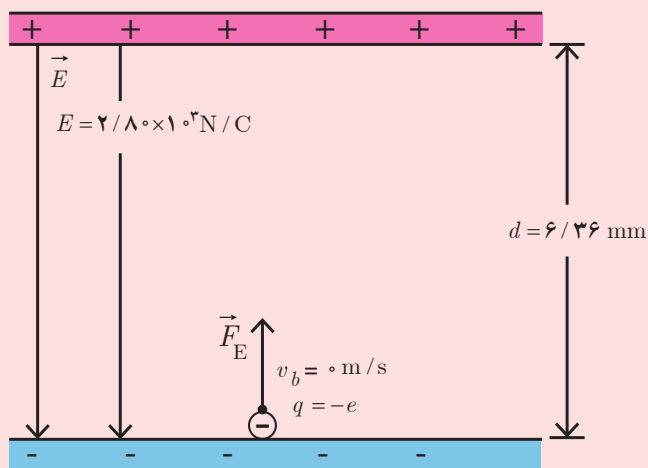
البته این را می توانستیم بدون محاسبه و با توجه به پاسخ قسمت ب مثال ۱-۱۰ نیز حدس بزنیم.



تمرین های پیشنهادی

۱ دو صفحه باردار با علامت‌های مختلف به فاصله $6/36 \text{ mm}$ از هم قرار دارند و میدان الکتریکی یکنواختی به بزرگی $2/8 \times 10^3 \text{ N/C}$ بین صفحه‌های آن ایجاد شده است. الکترونی از صفحه منفی به سمت صفحه مثبت حرکت می‌کند. میدان الکتریکی چه مقدار کار روی الکترون انجام می‌دهد؟

پاسخ: همان‌طور که در شکل می‌بینیم، نیرو و جابه‌جایی موازی هم‌اند و بنابراین داریم:



$$W = F_e d = eEd$$

$$= (1/6 \times 10^{-19} \text{ C}) (2/8 \times 10^3 \text{ N/C}) (6/36 \times 10^{-3} \text{ m}) = 2/85 \times 10^{-18} \text{ J}$$

به عبارتی، میدان الکتریکی کاری مثبت روی الکترون انجام می‌دهد و اگر تنها نیروی وارد بر الکترون ناشی از میدان الکتریکی باشد، انرژی جنبشی الکترون زیاد می‌شود.

۸-۱ - پتانسیل الکتریکی

در اینجا خوب است به دانش آموزان خاطر نشان کنید که همان طور که میدان الکتریکی، برخلاف نیروی الکتریکی، یک ویژگی ذاتی اجسام باردار است و به بار آزمون بستگی ندارد، به طور مشابهی می توان یک ویژگی ذاتی دیگر نیز برای اجسام باردار در مقایسه با انرژی پتانسیل الکتریکی تعریف کرد که به بار آزمون بستگی نداشته باشد، که این همان اختلاف پتانسیل الکتریکی است.

گاهی اوقات دانش آموزان پتانسیل الکتریکی را با انرژی پتانسیل الکتریکی اشتباه می گیرند. گرچه این دو کمیت به هم مربوطند، ولی آنها با هم تفاوت زیادی دارند و حتی در کتاب مبانی فیزیک اشاره شده است که انتخاب این نام جنبه تاریخی دارد و به زمان های دور برمی گردد و شاید مناسب آن بود که نامی دیگر برای آن برگزیده می شد تا این کج فهمی ایجاد نگردد.

پاسخ تمرین ۹-۱

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

الف) رابطه های $\Delta U = -|q|Ed \cos \theta$ و $\Delta V = \Delta U/q$ را در نظر بگیرید. اگر بار q مثبت باشد، θ همان زاویه میان میدان الکتریکی و جابه جایی بار q است، و در اینجا $\theta = 0^\circ$ می شود و بنابراین

$$\Delta V = -Ed$$

و اگر بار q منفی باشد، نیرو در خلاف جهت میدان اثر می کند و با توجه به اینکه جابه جایی هم سو 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 $\Delta U = -qEd$ می شود. 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، $\Delta V = +Ed$ می شود که به معنی افزایش پتانسیل است.

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



خوب است همان طور که در فعالیت ۶-۱ نیز اشاره شده است، توجه دانش آموزان را به این نکته جلب کنیم که پهنه استفاده از مفهوم اختلاف پتانسیل، پدیده‌های زیستی را نیز شامل می‌شود. افزون بر فعالیت ۶-۱ می‌توان مثلاً به دستگاه الکتروکاردیوگرام نیز اشاره کرد که توسط آن نوار قلب تهیه می‌شود. این دستگاه طرحی را نشان می‌دهد که چیزی جز نمودار تغییرات اختلاف پتانسیل بین الکترودهای متصل شده به بدن نیست.



تأکید شود پتانسیل نسبت به یک مرجع معنی دارد. می‌توانیم با مثال‌هایی غیرفیزیکی نیز ذهن دانش آموزان را نسبت به مفهوم «پتانسیل» آشنا کنیم. مثلاً برخی‌ها طبقه هم کف ساختمان را طبقه اول و برخی آن را طبقه صفر می‌نامند. حال اگر علی ساکن طبقه هم کف باشد و بر فرض فرهاد از او سؤال کند منزل شهرام در کدام طبقه است و او پاسخ دهد سه طبقه بالاتر از خانه من است، بسته به اینکه طبقه هم کف را طبقه صفر یا طبقه اول بنامیم، خانه شهرام در طبقه سوم یا چهارم واقع است. پس بیان مرجع در بیان «طبقه» مهم است.

پاسخ تمرین ۱-۱۰

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

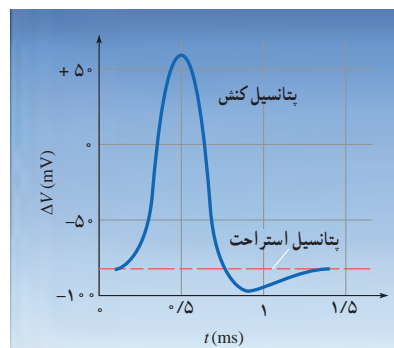
$$\Delta V = V_+ - V_- = 0 - V_- = 12V$$

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

پاسخ فعالیت ۶-۱

به طور اختصار می توان گفت که اساساً نورون، متشکل از یک جسم سلولی است که پیام های الکتریکی را از طریق اتصال هایی به نام سیناپس که روی دندریت ها قرار دارند، دریافت یا ارسال می کند. اگر محرک به حد کافی قوی باشد، نورون یک سیگنال الکتریکی را در امتداد تار به نام اکسون ارسال می کند. اکسون یا تار عصبی که قطر آن 10° تا 20° میکرومتر است و طول آن ممکن است به یک متر برسد، سیگنال الکتریکی را به ماهیچه ها و نورون های دیگر می برد. در دو طرف سطح یا غشای هر نورون اختلاف پتانسیلی ناشی از وجود یون های منفی بیشتر در داخل غشا نسبت به خارج آن وجود دارد و اصطلاحاً به آن نورون قطبیده گفته می شود. پتانسیل داخل سلول عموماً 60° تا 90° میلی ولت، منفی تر از خارج آن است. این اختلاف پتانسیل، پتانسیل استراحت نورون نامیده می شود. وقتی نورون تحریک می شود، در محل تحریک، تغییر لحظه ای بزرگی در پتانسیل استراحت رخ می دهد. این تغییر پتانسیل که پتانسیل کنش نام دارد، به صورت سیگنالی در امتداد اکسون منتشر می شود. تحریک می تواند از طریق عواملی از قبیل گرما، سرما، نور، صوت و بو، به وجود آید. اگر تحریک، الکتریکی باشد فقط در حدود 20 mV در دو طرف غشا لازم است تا پتانسیل کنش را راه بیندازد. پتانسیل کنش با سرعتی حدود 30 m/s امتداد اکسون منتشر می شود. 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 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 مقاله ای تحت عنوان «درآمدی بر فیزیولوژی اعصاب» در صفحه ۴۰ شماره ۶۲ مجله رشد آموزش فیزیک چاپ شده است که پس از آن می توان مقاله دیگری تحت عنوان «مدل سازی سلول عصبی با مدارهای الکتریکی» مطالعه نمود که در صفحه ۳۶ شماره ۷۷ همان مجله به چاپ رسیده است.





در این فیلم ها چگونگی انتقال سیگنال های عصبی را می بینید.



در تمرین ۱۱-۱ و کلاً مباحث این بخش اشاره شود که رویکردی مبتنی بر حرکت با تندی ثابت نیز در برخی کتاب ها مطرح شده است که به همین نتایج می انجامد.

پاسخ تمرین ۱۱-۱

چون بار q در خلاف جهت میدان جابه جا شده است و نیروی الکتریکی هم سو با میدان است، $\theta = 18^\circ$ و $W_E = F_E d \cos \theta$ منفی می شود. با توجه به اینکه $\Delta K = 0$ است، $W_{\text{خارجی}} = -W_E$ می شود و بنابراین کار نیروی دست مثبت است.

ب) کار نیروی خارجی برای $\Delta K = 0$ برابر $q \Delta V$ است. بنابراین، چون کار نیروی خارجی مثبت شده است، و علامت بار جابه جا شده نیز مثبت است، بار q به نقطه ای 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 ۹-۱ می دانیم با حرکت بار مثبت در خلاف جهت میدان الکتریکی، پتانسیل الکتریکی V افزایش می یابد و با توجه به اینکه بار مثبت است و با استفاده از رابطه $q \Delta V = W_{\text{خارجی}}$ ، درمی یابیم 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 انرژی پتانسیل گرانشی U زیاد می شود.

در اینجا خوب است به یکای الکترون ولت نیز اشاره شود.

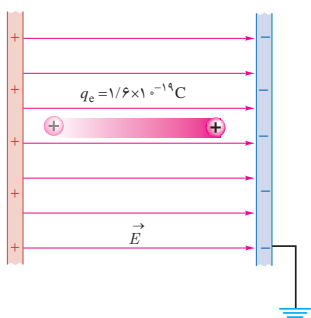
الکترون ولت: در فیزیک اتمی و زیراتمی یکای ژول برای انرژی مناسب نیست، چرا که مقدار بزرگی است؛ در حالی که در آنجا با انرژی‌های بسیار کوچک‌تری سروکار داریم. برای این موارد یکای مناسب‌تر (که البته یکای SI نیست)، الکترون ولت (eV) است که طبق تعریف انرژی لازم برای حرکت دادن ذره‌ای با بار بنیادی e در اختلاف پتانسیلی برابر ۱V است. مثلاً فرض کنید مطابق شکل ذره‌ای با بار $q_e = +e$ در یک میدان الکتریکی، از نقطه‌ای با پتانسیل ۱V به نقطه دیگری با پتانسیل ۰V جابه‌جا می‌شود. بنابراین طبق رابطه ۷-۱ ($W_E = -\Delta U_E$) بزرگی کار نیروی الکتریکی برای این جابه‌جایی برابر است با

$$|W_E| = |-\Delta U_E| = | -q\Delta V | = -(+e)(-1V) = (1/6 \times 10^{-19} C)(1J/C) = 1/6 \times 10^{-19} J$$

که به آن اصطلاحاً یک الکترون ولت (۱eV) گفته می‌شود.

البته تعریف دیگری نیز برای تعریف یک الکترون ولت به کار می‌رود که به این صورت است:

یک الکترون ولت، انرژی است که یک الکترون وقتی آزادانه در اختلاف پتانسیل یک ولت رها می‌شود، به دست می‌آورد.



ذره‌ای با بار $+e$ در اختلاف پتانسیل ۱V حرکت می‌کند و انرژی پتانسیل آن به اندازه ۱eV کاهش می‌یابد.

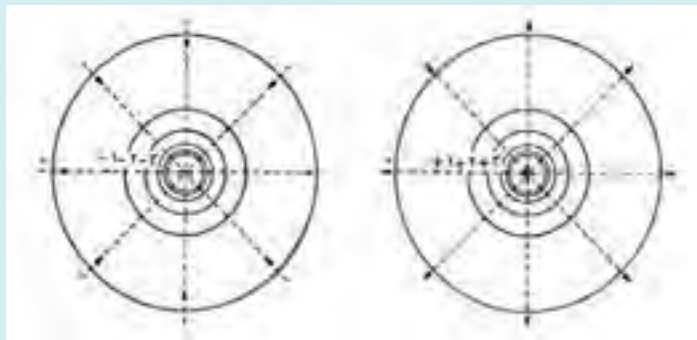
۹-۱ میدان الکتریکی در داخل رسانا

دانستنی برای معلم

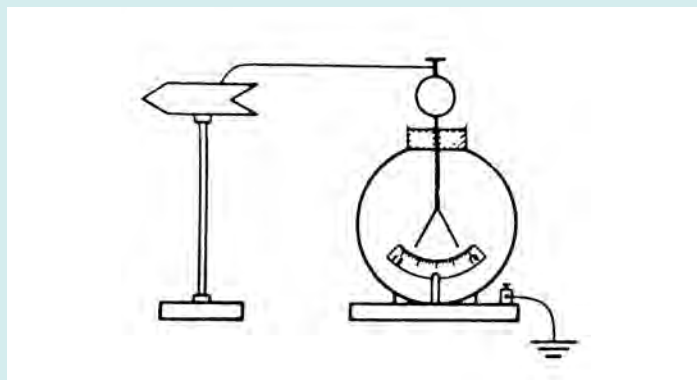
سطوح هم پتانسیل، الکترومتر، و کاوه الکتریکی

سطوحی را تصور کنید که روی آن اختلاف پتانسیل بین هر دو نقطه‌ای برابر صفر است. چنین سطحی را سطح هم پتانسیل می‌نامند. سطح مقطع این سطح با صفحه شکل، خط هم پتانسیل را تشکیل می‌دهد. طبق رابطه‌های ۷-۱ و ۹-۱ کاری که نیروهای الکتریکی برای جابه‌جا کردن بار روی چنین سطحی انجام می‌دهند برابر صفر است. در این صورت بنا بر رابطه ۸-۱، نیروی وارد بر بار باید بر راستای جابه‌جایی عمود باشد. این به معنی آن است که در هر نقطه، سطح هم پتانسیل بر خطوط میدان الکتریکی عمود است. برعکس، هر سطحی که تمام نقاط آن بر خطوط میدان عمود باشد، یک سطح هم پتانسیل است. خطوط هم پتانسیل، تصویری از تغییر اختلاف پتانسیل در یک میدان معین را به دست می‌دهند. بهتر است این خطوط را طوری رسم کنیم که اختلاف پتانسیل بین هر دو خط مجاور یک اندازه (مثلاً ۱V) باشد. برای نشان دادن این اختلاف، یکی از خطوط هم پتانسیل را به اختیار انتخاب می‌کنیم و آن را خط هم پتانسیل صفر می‌گیریم و بقیه خطوط را نسبت به آن با عددهای $+1$ ، $+2$ ، $+3$ و ... یا -1 ، -2 ، -3 و ... نشان می‌دهیم.

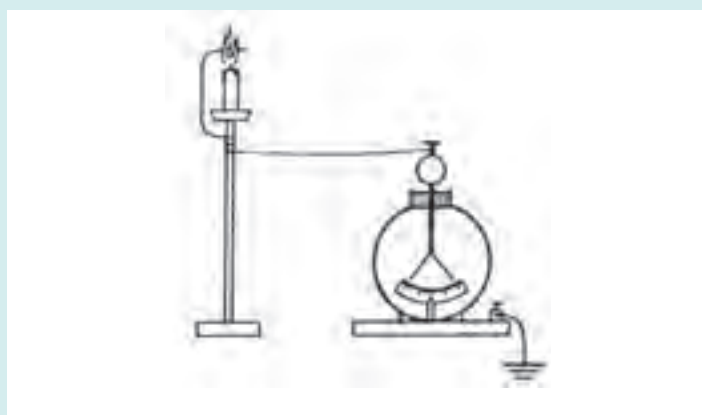
انتخاب خط صفر (سطح صفر) کاملاً اختیاری است، زیرا فقط اختلاف پتانسیل بین دو سطح معنای فیزیکی دارد. برای نمونه، می‌خواهیم خطوط هم‌پتانسیل را برای بارهای نقطه‌ای مثبت و منفی رسم کنیم. برای بار نقطه‌ای، خطوط میدان شعاعی و مستقیم هستند. بنابراین، سطوح هم‌پتانسیل کره‌هایی هم‌مرکز عمود بر این خطوط می‌شوند. خطوط هم‌پتانسیل دایره‌های هم‌مرکزی هستند که در شکل‌های ۱ رسم شده‌اند. هنگام رسم این نقش، دایره‌ای به اختیار به عنوان خط صفر فرض می‌شود و سپس دایره‌های اختلاف پتانسیل ۱، ۲، ۳ و غیره (نسبت به دایره صفر) رسم می‌شوند.



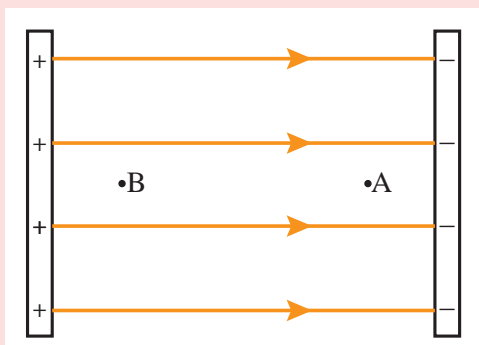
اسباب اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل را الکترومتر می‌نامند. نوع قدیمی این اسباب یک الکتروسکوپ معمولی است که دارای محفظه‌ای فلزی و صفحه‌ای مدرج برای خواندن اندازه‌گیری‌ها است. محفظه این اسباب را با زمین و کلاهک آن را با جسم باردار اتصال می‌دهند. بخشی از بار به میله می‌رود و برگه‌ها با زاویه معینی از هم دور می‌شوند. هرچه اختلاف پتانسیل بالاتر باشد، شدت میدان در نزدیکی برگه‌ها بزرگ‌تر و در نتیجه زاویه انحراف بیشتر است. با ایجاد اختلاف پتانسیل‌های یکسان بین برگه‌ها و محفظه، مشاهده می‌شود که برگه‌ها انحراف یکسانی پیدا می‌کنند. بنابراین، باز شدن برگه‌ها در یک اسباب مشخص به اختلاف پتانسیل بین محفظه و آنها بستگی دارد. در نتیجه، از روی زاویه باز شدن برگه‌ها می‌توان اختلاف پتانسیل را از صفحه مدرج اندازه گرفت. با حرکت دادن سیم اتصال الکترومتر به رسانا می‌توان دید که انحراف برگه‌ها تغییر نمی‌کند که این به معنای آن است که سطح رسانا یک سطح هم‌پتانسیل است و شکل آن در این امر دخالتی ندارد.



اگر بخواهیم اختلاف پتانسیل بین نقطه‌ای در هوا و زمین را اندازه بگیریم، با آوردن سیم از کلاهک الکترومتر تا آن نقطه از فضا، تضمینی جهت تساوی پتانسیل کلاهک و آن ناحیه وجود ندارد. زیرا در شرایط عادی، هوا دارای الکترون‌های آزاد نیست که بر اثر میدان الکتریکی به حرکت درآیند تا اینکه اختلاف پتانسیل بین آن ناحیه از فضا و سیمی که به الکترومتر وصل است صفر شود. جهت اطمینان از تساوی این پتانسیل‌ها، باید برای آن ناحیه الکترون‌های آزاد فراهم کرد. یعنی آنجا را به رسانا تبدیل کرد. این کار را می‌توان با روش‌های مختلفی انجام داد. مثلاً به کمک شعله می‌توان هوای مجاور را یونیده کرد. با قرار دادن شعله در نقاط مختلف، می‌توانیم آرایش سطوح هم‌پتانسیل در هوا را با این کاوه الکتریکی، «بکاویم». به این دلیل، چنین اسبابی را کاوه (کاوه شعله‌ای) می‌نامند.



پرسش‌های پیشنهادی



۱ در میدان الکتریکی یکنواختی، مطابق شکل زیر بار q از نقطه A به سمت نقطه B جابه‌جا می‌شود. علامت‌های ΔU و ΔV را تعیین کنید، هرگاه الف) q مثبت و ب) q منفی باشد.

پاسخ: الف) هر دو مثبت ب) $\Delta U < 0$ و $\Delta V > 0$.

۲ اگر باری مثبت را عمود بر خطوط میدانی یکنواخت حرکت دهیم، انرژی پتانسیل الکتریکی بار چگونه تغییر می‌کند؟ پاسخ: تغییر نمی‌کند.

تمرین های پیشنهادی

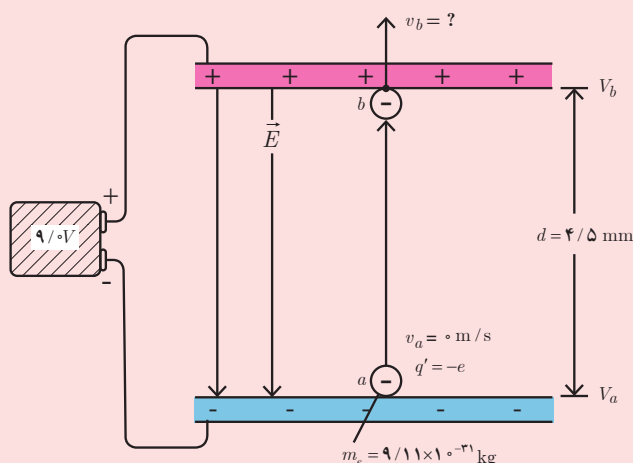
۱ هرگاه برای بردن بار الکتریکی $q = ۲/۰ \text{ C}$ از نقطه A به نقطه B ، مقدار ۴۰ J انرژی مصرف شده باشد، الف) اختلاف پتانسیل الکتریکی نقطه B نسبت به نقطه A چقدر است؟ ب) برای جابه جایی بار $q' = -۵/۰ \text{ C}$ چند ژول انرژی مصرف می شود؟

پاسخ :

$$V_B - V_A = \frac{\Delta U}{q} = \frac{۴۰ \text{ J}}{۲/۰ \text{ C}} = ۲۰ \text{ V} \quad \text{الف)}$$

$$\Delta U' = q'(V_B - V_A) = (-۵/۰ \text{ C})(۲۰ \text{ V}) = -۱۰۰ \text{ J} \quad \text{ب)}$$

یعنی ۱۰۰ J انرژی آزاد می شود.



۲ یک باتری $۹/۰ \text{ V}$ به دو سر صفحه هایی وصل شده است که فاصله آنها $۴/۵ \text{ mm}$ است.

الف) میدان الکتریکی در فضای بین صفحه ها چقدر است؟
ب) یک الکترون از حالت سکون از صفحه منفی رها می شود. اگر تنها نیروی وارد بر الکترون، نیروی الکتریکی حاصل از میدان الکتریکی صفحه ها باشد، تندی الکترون وقتی به صفحه مثبت می رسد چقدر است؟ جرم الکترون $m_e = ۹/۱۱ \times ۱۰^{-۳۱} \text{ kg}$ است.

پاسخ :

الف) با استفاده از رابطه ۱-۱۱ داریم :

$$E = \frac{V_b - V_a}{d} = \frac{۹/۰ \text{ V}}{۴/۵ \times ۱۰^{-۳} \text{ m}} = ۲/۰ \times ۱۰^۳ \text{ V/m}$$

ب) از پایستگی انرژی استفاده می کنیم :

$$K_a + U_a = K_b + U_b$$

$$\begin{aligned} K_b &= U_a - U_b = -e(V_a - V_b) \\ &= +e(V_b - V_a) \\ &= (۱/۶۰ \times ۱۰^{-۱۹} \text{ C})(۹/۰ \text{ V}) \\ &= ۱/۴۴ \times ۱۰^{-۱۸} \text{ J} \end{aligned}$$

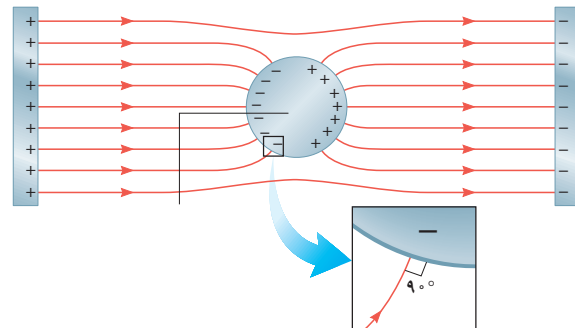
و با استفاده از $K = \frac{1}{2}mv^2$ ، تندی v در نقطه b به دست می آوریم :

$$v_b = \sqrt{\frac{2K_b}{m_e}} = \sqrt{\frac{2(۱/۴۴ \times ۱۰^{-۱۸} \text{ J})}{۹/۱۱ \times ۱۰^{-۳۱} \text{ kg}}} = ۱/۸ \times ۱۰^۶ \text{ m/s}$$



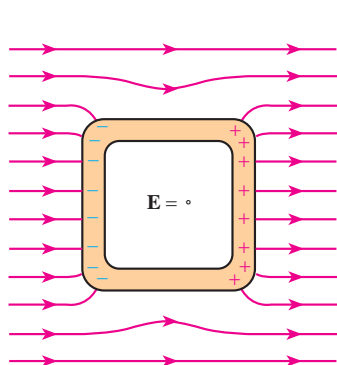
توجه کنید که در این مبحث به تعادل الکتروستاتیکی اشاره شده است. چه در آزمایش فاراده و چه در پدیده القا، اگر میدان داخل رسانا پس از زمان اندکی صفر نشود، این میدان باید بر الکترون‌های آزاد داخل رسانا نیرو وارد کند و در نتیجه باید جریان در داخل رسانا ایجاد شود. ولی چون چنین جریانی مشاهده نمی‌شود، این بدان معناست که بارها در تعادل الکتروستاتیکی هستند. همچنین توجه کنید که این توضیح برای داخل رسانا است و در سطح رسانا، میدان صفر نیست و همان‌طور که در بالا اشاره کردیم عمود بر سطح رسانا است. عمود بودن میدان بر سطح رسانا، موجب هم‌پتانسیل بودن نقاط روی سطح رسانا و در نتیجه هم‌پتانسیل بودن کل نقاط داخل و روی سطح رسانا می‌شود و در واقع رسانا یک حجم هم‌پتانسیل است.

در اینجا خوب است به این نکته اشاره شود که با توجه به شرط تعادل الکتروستاتیکی، میدان الکتریکی باید عمود بر سطح رسانا باشد. چرا که در غیر این صورت، میدان الکتریکی مؤلفه‌ای مماس بر سطح رسانا خواهد داشت و این مؤلفه باعث حرکت الکترون‌های آزاد بر سطح رسانا می‌گردد که این در تناقض با شرط تعادل الکتروستاتیکی است.



پاسخ فعالیت ۷-۱

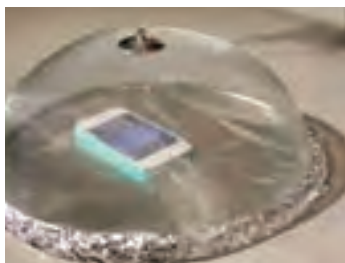
الف) قفس فاراده از موارد جالبی است که می‌توان دانش‌آموزان را تشویق کرد که با جست‌وجوی واژه «Faraday's cage» به مطالب و تصاویر جالبی دست یابند و آنها را به کلاس ارائه کنند. در هر حال همان‌طور که در متن فعالیت آمده، قفس فارادی در واقع به انواع و اقسام مجموعه‌هایی گفته می‌شود که بر مبنای آزمایش فاراده موجب حفاظت الکتروستاتیکی می‌شوند. در واقع 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 در داخل 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 جعبه رسانا قرار می‌دهیم یا آن را با ورقه‌ای نازک از ماده‌ای رسانا می‌پوشانیم. میدان الکتریکی خارجی، نحوه توزیع الکترون در پوشش رسانا را تغییر می‌دهد به طوری که میدان کل در هر نقطه درون این جعبه، صفر شود. البته توزیع جدید بار، شکل خطوط میدان در مجاور آن را نیز تغییر می‌دهد. بنابراین، عملاً شکلی مانند شکل ۳۱-۱ کتاب خواهیم داشت، با این تفاوت که درون این شکل‌ها را خالی در نظر بگیرید تا بدین ترتیب، محلی برای ایجاد حفاظ ایجاد شود.

ب) چنین اتومبیلی درست مثل یک قفس فاراده، عمل می‌کند. بنابراین، اگر آذرخشی به اتومبیلی اصابت کند، بار روی سطح خارجی بدنه اتومبیل، باقی می‌ماند. (در مواقع اضطراری، موقع خروج از اتومبیلی که به هر دلیلی دچار اصطلاحاً برق گرفتگی شده است، توجه کنید یک دست بر بدنه و پا روی زمین نباشد، بلکه باید جفت پا به بیرون پیرید.) همچنین توجه کنید که اگر بدنه اتومبیل لاستیکی و یا سقف آن تاشو (و یا نارسانا) باشد، ممکن است هیچ محافظتی ایجاد نشود.

هوایماها نیز به همین ترتیب، برای سرنشینان خود محافظت ایجاد می‌کنند، اما با این وجود، هوایماها آسیب‌پذیرتر از اتومبیل‌ها هستند.



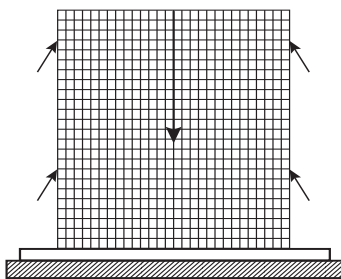
ب) دانش‌آموزان باید بر مبنای اصولی که در قسمت الف بیان شد، به طراحی چنین وسایلی بپردازند یا با وسایل موجود مانند اجاق میکروموج (در این مورد آزمایش‌های جالبی در اینترنت پیدا می‌شود)، تلفن همراه و ... این نظریه‌ها را محک بزنند. مثلاً تلفن همراه خود را در ظرفی با پوشش فلزی سر بسته‌ای قرار دهند و به آن زنگ بزنند و ...

در مولد و اندوگراف نیز همین اصول به کار رفته و بار توسط یک قطعه رسانا از تسمه به روی کلاهک منتقل می‌شود و در نتیجه بار روی کلاهک و میدان اطراف آن

به سرعت بزرگ‌تر و بزرگ‌تر می‌شود. با خود و اندوگراف نیز می‌توان آزمایش‌های جالبی را طراحی کرد. مثلاً یکی از آزمایش‌های مشهور این است که نخست یک الکتروسکوپ توسط واندوگراف باردار کنیم و مشاهده کنیم عقربه آن منحرف می‌شود. بعد با قرار دادن همان الکتروسکوپ در درون یک قفس فلزی همین آزمایش را تکرار می‌کنیم و درمی‌یابیم این بار عقربه آن منحرف نمی‌شود.



همچنین می‌توان کاغذهای کوچک دوتا شده‌ای را روی توری قرار داد، طوری که یک 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.



در این فیلم نمایشی از نوعی قفس فاراده را می‌بینید.



در این فیلم چگونگی محافظت از یک برق‌گرفتگی ناشی از یک کابل فشار قوی را می‌بینید.



توجه کنید در عمل باردار شدن قطره‌های روغن معمولاً نیاز به اعمال یک پتانسیل خارجی نیز هست، ولی در اینجا منظور نشان دادن اصول چنین رنگ‌آمیزی‌ای بوده است.

در این فیلم‌ها نمایشی از یک رنگ‌پاشی الکتروستاتیکی را می‌بینید.



توجه کنید در این کتاب هرجا با بارهای نقطه‌ای سروکار داریم آن را با q و هرجا با توزیع بار پیوسته سروکار داریم آن را با Q مشخص کرده‌ایم.



خوب است تأکید کنید برای رساناهایی با شکل نامشخص، گرچه چگالی در نواحی مختلف سطح متفاوت است ولی سطح چنین رسانایی هم پتانسیل است.

در این فیلم نوعی از آزمایش توزیع بار روی سطح مخروط فلزی را می‌بینید.



در توضیح فعالیت ۸-۱، این فعالیت را در کنار خوب است بدانید تخلیه هاله‌ای مطرح کنید و به خصوص شکل (الف) آن را در کلاس توضیح دهید.

پاسخ فعالیت ۸-۱

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

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

در این فیلم چگونگی آزمایش فعالیت ۸-۱ را می‌بینید.



در این فیلم نوعی از تخلیه هاله‌ای را می‌بینید.

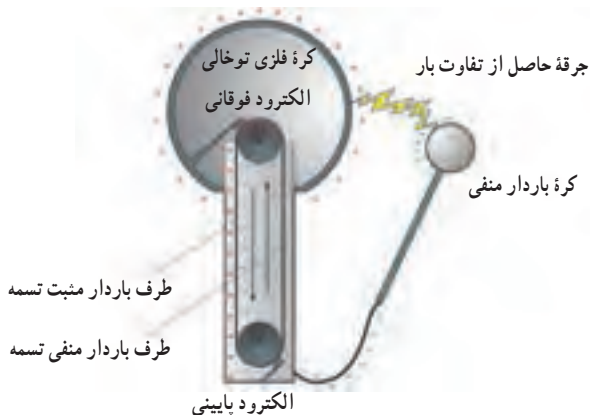
فیلم

پاسخ فعالیت ۹-۱

هدف اصلی برقریر آن است که مسیری ساده برای انحراف ضربه یک آذرخش به سمت زمین را مهیا کند. بنابراین، برای آنکه برقریر عمل کند باید به قسمت مرطوب و رسانای زیر سطح زمین، متصل گردد. برای عمل کردن برقریر، میله آن باید از بالاترین نقطه ساختمان بالاتر باشد. در آن صورت، نشان داده شده است که برقریر، محافظتی شبیه یک قیف وارونه ایجاد می‌کند که رأس آن در نوک برقریر است و آذرخشی که وارد این مخروط فرضی می‌شود، به جای برخورد با ساختمان، با برقریر برخورد می‌کند. برخی بر این باورند که انتهای بالای برقریر 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 برقریر را افزایش می‌دهد که این خود باعث کاهش اثر حفاظتی برقریر 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 مولد وان دوگراف به تنهایی در نزدیکی گوی فلزی با دسته عایق قرار دارد که خود توسط سیمی به زمین مولد وان دوگراف متصل است. کلاهک مولد شبیه یک ابر باردار و گوی فلزی شبیه رأس یک ساختمان بلند است. وقتی مولد 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 ضربه آذرخش به یک نوک پهن یا رأس یک ساختمان است.



در قسمت دوم آزمایش، میله نوک تیز L شکلی را که با سیم به زمین مولد وصل شده است، در بالای مولد قرار می‌دهیم. این میله نوک تیز L شکل، مشابه میله برقی است، در حضور میله نوک تیز، تخلیه بار تدریجی بین کلاهک مولد و این میله رخ می‌دهد و دیگر خبری از جرقه‌های بین کلاهک مولد و گوی فلزی نخواهد بود. در این حالت اگر فضای آزمایشگاه را تاریک کنیم، هاله روشنی در نزدیکی نوک تیز میله مشاهده خواهیم کرد که نشانه تخلیه تدریجی بار است. جالب است که این پدیده حتی در حالتی که میله نوک تیز در فاصله دورتری از کلاهک، نسبت به فاصله گوی فلزی تا کلاهک، باشد همچنان رخ خواهد داد. به عبارتی، میله نوک تیز، با تخلیه تدریجی، گوی را از برخورد جرقه محافظت کرده است.



در این فیلم تخلیه هاله‌ای در برج میلاد را می‌بینید.

فیلم

- چه اصولی را باید رعایت کنیم تا بار مولد و اندوگراف پیشینه باشد.
- ۱- جاروبک‌ها هنگام چرخش دستگاه با سطح بیرونی تسمه مالش خیلی جزئی داشته باشند.
 - ۲- تسمه علاوه بر غلتش روی غلتک‌ها، اندکی لغزش هم داشته باشد (تسمه نه زیاد شل و نه زیاد محکم باشد).
 - ۳- تسمه و غلتک‌ها باید کاملاً تمیز باشند (می‌توان با الکل آنها را پاک کرد).
 - ۴- پهنای تسمه با پهنای غلتک‌ها یکسان باشد.
 - ۵- تسمه نباید سیاه رنگ باشد زیرا امکان دارد دارای کربن باشد، و اجسام با ترکیب‌های کربنی می‌توانند رسانا باشند.
 - ۶- سرعت چرخش موتور حتی الامکان زیادتر باشد.
 - ۷- در روزهای گرم و مکان‌های با رطوبت زیاد نتیجه کار دستگاه (مثل سایر آزمایش‌های الکتریسته ساکن) مناسب نمی‌تواند باشد.



در این فیلم چگونگی و اساس کار مولد وان دو گراف را می‌بینید.

فیلم

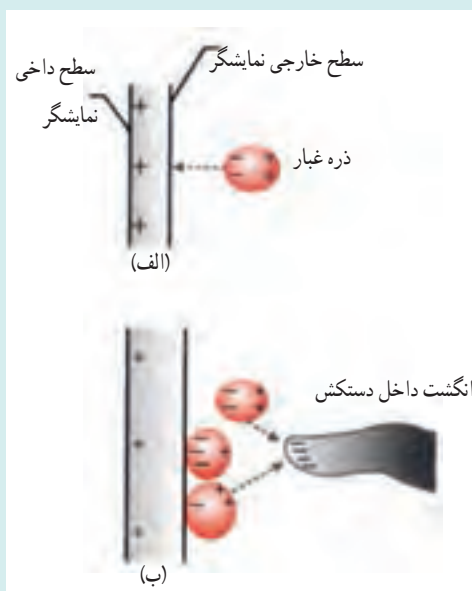
آلودگی میکروبی در بیمارستان و الکتروستاتیک

نیروهای الکتروستاتیکی می‌توانند نقش پنهانی در آلودگی میکروبی یک بیمارستان، مثلاً در حین یک عمل آندوسکوپی، داشته باشند. در عمل آندوسکوپی، یک جراح درون بدن بیمار را روی صفحه نمایش یک ویدئو نگاه می‌کند. در یک نمایشگر (لامبی) قدیمی (نه در «نمایشگرهای با صفحه تخت»)، تصویر توسط الکترون‌هایی ایجاد می‌شود که مستقیماً به سمت صفحه‌ای حرکت می‌کنند که به‌طور مثبت باردار شده است. این صفحه باردار، همچنین ذرات معلق در هوا، از قبیل ضایعات پنبه، گرد و غبار، و سلول‌های پوست را که در اطراف اتاق جراحی شناورند، به خود جذب می‌کند. اگر یک ذره معلق در هوا باردار منفی باشد، روی سطح خارجی این نمایشگر کشیده می‌شود. ولی اگر ذره از لحاظ الکتریکی خنثی باشد، برخی از الکترون‌های رسانش آن می‌توانند به آن سمتی کشیده شوند که در نزدیک‌ترین فاصله با صفحه قرار دارد، و بدین ترتیب در آن ذره، بار القا کنند (شکل الف). آنگاه چنین ذره‌ای به سمت سطح خارجی کشیده می‌شود.

چون بسیاری از ذراتی که روی سطح خارجی نمایشگر جمع شده‌اند حامل میکروب هستند، صفحه نمایشگر با میکروب‌ها آلوده می‌شود. فرض کنید انگشت دست جراحی که دستکش به دست کرده است، برای اشاره به بخش خاصی از تصویر، مثلاً برای توضیح نکته جراحی مهمی به سایر اعضای تیم جراحی، به چند سانتی‌متری صفحه نمایشگر برسد. صفحه نمایشگر که باردار مثبت است، الکترون‌ها را از داخل انگشت به سمت نوک آن می‌کشد (شکل ب). آنگاه نوک انگشتان که به‌طور منفی باردار شده است موجب جمع

شدن ذرات (ذرات معلق در هوا یا روی صفحه) بر روی نوک انگشت دستکش می‌شوند. وقتی در پی این کار، جراح با دستکش آلوده به بیمار دست می‌زند، میکروب‌ها روی آن می‌روند (یا بدتر از آن) داخل بدن بیمار می‌شوند. امروزه برای پرهیز از این خطر، جراحان آگاه شده‌اند که نباید انگشتان خود را نزدیک صفحه نمایشگر ببرند.

آلودگی مشابهی می‌تواند با پیش‌بندهای پلاستیکی ای رخ دهد که معمولاً پرسنل بیمارستان برای مصون داشتن خود از خون بیماران، می‌پوشند. این پیش‌بندها موقع کنده شدن یا وقتی که مدام به لباس‌های زیر یا پوست بدن مالش پیدا می‌کنند، به‌خصوص در هوایی خشک، به میزان زیادی باردار می‌شوند. وقتی یک پیش‌بند باردار می‌شود، می‌تواند میکروب‌ها و غبارهای آلوده هوا را به خود جذب کند. چون پرسنل بیمارستان هر از گاهی دست‌شان به پیش‌بند می‌خورد، میکروب‌ها ممکن است در حین یک آزمایش یا عمل جراحی به راحتی به بدن بیمار منتقل شوند.



مقطع صفحه یک نمایشگر ویدئویی قدیمی (لامبی). صفحه که به‌طور مثبت باردار شده است، در طرف نزدیک ذره غبار خنثی بار القا میکند (ب) انگشت داخل دستکش (به مقیاس نیست) که به نزدیکی صفحه نمایشگر آمده است دارای بار القایی است و می‌تواند غبار را از هوا و صفحه نمایشگر جذب کند.

برخی از خطرات تخلیه الکتریکی

برخی از انواع پارچه‌ها هنگام تماس با پوست یا لباسی دیگر باعث انتقال بار می‌شوند. در این میان، پولور به خاطر تخلیه جرقه‌ای به هنگام از تن درآوردن آن در یک هوای خشک شهره است. بچه‌ای که از یک سرسره پلاستیکی سُر می‌خورد، ممکن است چنان باردار شود که در پایین سرسره پتانسیل الکتریکی‌ای برابر با ۱۰۰۰۰ ولت داشته باشد. اگر این بچه به جسم دیگری، به خصوص رسانایی متصل به زمین دست بزند، ممکن است جرقه بسیار دردناکی بین بچه و جسم جهش کند تا موجب خنثی شدن بار بچه شود.

تخلیه جرقه‌ای در عمل جراحی می‌تواند یک خطر بسیار جدی باشد. اگر بخار قابل اشتعالی وجود داشته باشد، یک جرقه می‌تواند بخار را آتش بزند. ولی استفاده گسترده از مواد بیهوشی قابل اشتعال در دهه ۵۰ میلادی پایان یافت و در نتیجه این خطر کاهش یافته است. تخلیه جرقه‌ای بین دو سطح، اگر یکی از آن دو در داخل بدن باشد نیز می‌تواند شخص را به کشتن دهد. در حالت طبیعی، پوست مقاومت زیادی در برابر جریان الکتردها از خود نشان می‌دهد و بدین ترتیب از قلب محافظت می‌کند. ولی اگر جریان الکتردها مستقیماً با شماره‌های رسانای درون بدن تماس پیدا کند، این جریان در قلب می‌تواند برای اختلال در تنظیم الکتریکی طبیعی ضربان قلب، کافی باشد. احتمال وقوع چنین میکروشوک‌های چنان برای تیم‌های جراحی نگران‌کننده است که لباس آنها طوری انتخاب می‌شود که احتمال تخلیه جرقه‌ای را کاهش دهد، و کفش‌های آنها معمولاً قدری رسانا هستند تا بار الکتریکی به محض ایجاد، به کف اتاق منتقل شود. کف اتاق نیز قدری رساناست تا این بار الکتریکی بتواند به سمت یک اتصال زمینی حرکت کند.

کارمندان اداری و صنعتی‌ای که از رایانه یا تجهیزات الکترونیکی حساس دیگر استفاده می‌کنند اغلب از میج‌بندهایی متصل به زمین استفاده می‌کنند تا یک مسیر رسانش در بین آنها و زمین ایجاد شود. رسانایی این مسیر معمولاً خیلی زیاد نیست تا بار الکتریکی روی بدن شخص، نه به سرعت یک تخلیه جرقه‌ای، بلکه به تدریج کاهش یابد.

یک اتومبیل در حال حرکت بر اثر تماس بین لاستیک چرخ و آسفالت، که الکتردها را از یک سطح به سطح دیگر منتقل می‌کند، باردار می‌شود؛ زیرا نیروهای الکتریکی جاذب وارد بر یک سطح بر نیروهای الکتریکی جاذب وارد بر سطح دیگری غلبه می‌کنند. فرض کنید الکتردها از آسفالت به سمت چرخ کشیده می‌شوند. در آن صورت، این الکتردها می‌توانند در چرخ و در اتصالات فلزی اتومبیل به حرکت درآیند و اتومبیل را تا پتانسیلی برابر با ۱۰۰۰۰ ولت و یا حتی بیشتر، باردار کنند.

اگر اتومبیل، و نیز در نتیجه انتقال بار در تماس بین چرخ و آسفالت، متوقف شود، بار اتومبیل از طریق چرخ‌ها خارج می‌شود. ولی سرعت این تخلیه بار به میزان رسانایی لاستیک چرخ‌ها بستگی دارد. اگر آنها از سیاه‌کربنی^۱ رسانا (که توسط پلیمرها به هم چسبیده شده‌اند) ساخته شده باشند (که توسط پلیمرها به یکدیگر پیوند خورده‌اند)، ممکن است تخلیه بار زمان زیادی به طول انجامد. فرض کنید لاستیک چرخ‌های اتومبیل شما رسانای نسبتاً خوبی باشد، و در نتیجه بیش از یک دقیقه طول بکشد تا بار الکتریکی اتومبیل تا حد زیادی تخلیه شود. همچنین فرض کنید به محض توقف اتومبیل بخواهید از آن خارج شوید و فقط یک دسته پلاستیکی (نارسانا) را لمس می‌کنید تا در آن باز شود. [بعد از خروج] وقتی برمی‌گردید که در فلزی را فشار دهید تا بسته شود، الکتردهای فراوان روی اتومبیل در فاصله هوای بین اتومبیل و انگشت شما جهش می‌کنند، و در نتیجه مقداری از آنها می‌تواند در بدن شما پخش شوند و یا از طریق بدن شما به سمت زمین حرکت کنند. بنابراین، جرقه‌ای بین اتومبیل و شما جهش می‌کند. این یک شیوه غیرکافیتی برای بیدار شدن پس از رانندگی به سمت محل کار یا دانشگاه در اوّل صبح است. ولی اگر می‌خواهید

۱- carbon black. ماده‌ای است که از سوختن ناقص مواد نفتی غلیظ مانند قیر حاصل می‌شود و با دوده (soot) متفاوت است چرا که نسبت مساحت سطح به حجم آن از دوده بیشتر است.

از این شوک الکتریکی دوری کنید، یا چند دقیقه بیشتر صبر کنید تا به بار اجازه دهید که تخلیه شود و یا در با پا و یا باسن خود ببندید. یک جسم پهن مثل باسن شما، احتمال یونیدگی مولکول‌های هوا را که باعث تخلیه جرقه‌ای می‌شود، کاهش می‌دهد.

وقتی سوار اتومبیل هستید، اگر فقط قسمت‌های پلاستیکی (نارسانای) داخل اتومبیل را لمس کنید، از لحاظ الکتریکی خنثی باقی خواهید ماند. ولی همچنان بر اثر القا، باردار می‌شوید. یعنی، الکترون‌های متحرک در بدن شما می‌خواهند از الکترون‌هایی که روی بخش‌های رسانای اتومبیل در اطراف شما جمع شده‌اند، دور شوند. فرض کنید در همان حالی که چنین باردار شده‌اید به سمت یک باجه عوارضی رانندگی می‌کنید. اگر شما و متصدی باجه عوارضی (متصل به زمین)، برای مبادله پول یا کارت عوارضی، فوراً دست خود را بیرون بیاورید، از آنجا که الکترون‌های روی بدن شما سعی می‌کنند از یکدیگر دور شوند، ممکن است جرقه‌ای بین شما و متصدی باجه جهش می‌کند.

بعید است چنین جرقه‌ای در روزهای مرطوب ایجاد شود، زیرا رطوبت هوا سریعاً هم بار روی شما و هم بار روی اتومبیل را خنثی می‌کند. بنابراین، احتمالاً در یک روز خشک، متصدی باجه عوارضی پیش از بیرون آوردن دست خود چند ده ثانیه صبر می‌کند تا اجازه دهد بار الکتریکی اتومبیل تخلیه و بار الکتریکی القا شده بر روی شما کاهش یابد. ولی، اگر در صف ایستاده باشید، احتمالاً این بارهای الکتریکی تا زمان رسیدن شما به باجه، تخلیه شده‌اند.

برخی آتش‌ها در پمپ‌های بنزین که بر اثر جریان بنزین به درون باک ایجاد می‌شود، ناشی از نحوه طراحی در باک بوده است، اما امروزه این نحوه طراحی اصلاح شده است. مشکل این بود که بنزین هنگام جریان یافتن در لوله یا شیلنگ بنزین باردار می‌شود. آن بخشی از بنزین که دقیقاً چسبیده به جداره لوله است، و لایه مرزی خوانده می‌شود، حرکت نمی‌کند. وقتی بقیه بنزین از کنار این لایه مرزی می‌گذرد، الکترون‌ها از لایه مرزی به بنزین متحرک، انتقال می‌یابند. در نتیجه، لایه مرزی دارای بار مثبت می‌شود و بنزینی که باردار منفی شده است وارد باک می‌گردد.

اگر باک پلاستیکی و در نتیجه نارسانا باشد، این بار منفی بر روی سطح داخلی باک جمع می‌شود و الکترون‌ها را در هر بخش رسانای اتومبیل که نزدیک آن باشد، دفع می‌کند. این الکترون‌های دفع شده، از باک دور می‌شوند و برخی از آنها ممکن است در نزدیکی شیلنگ بنزین قرار گیرند. اگر آنها به شیلنگ جرقه بزنند، این جرقه می‌تواند بخار بنزینی را که در حین جریان یافتن بنزین آزاد شده است، مشتعل کند. برای حل این مشکل، کاری کرده‌اند که شیلنگ، اتومبیل را به زمین اتصال دهد تا بار الکتریکی بتواند بر روی اتومبیل و در نزدیکی شیلنگ جمع شود.

حتی اگر اتومبیل حرکت نکند نیز شخص می‌تواند در درون اتومبیل، باردار شود؛ زیرا ارتباط بین لباس شخص و صندلی اتومبیل می‌تواند به انتقال بار زیادی بیانجامد. فرض کنید شخصی با گذاشتن پمپ در حالت خودکار، شروع به بنزین زدن کند و سپس بنا به دلایلی دوباره به اتومبیل خود برگردد. او پس از سر خوردن بر روی صندلی اتومبیل، با بار الکتریکی فراوان به محل پمپ بازمی‌گردد. اگر جرقه‌ای بین این شخص و پمپ جهش کند، می‌تواند بخار بنزین را مشتعل سازد و موجب شروع آتشی شود. شخص می‌تواند با نرفتن به درون اتومبیل و یا با خنثی کردن این بار با لمس یک میله فلزی پیش از تماس با نازل، از این خطر دوری کند.

یک اتومبیل مسابقه پس از حرکت بسیار سریع و در نتیجه انباشتن مقدار زیادی بار الکتریکی بر اثر تماس چرخ با جاده، ممکن است در یک ایستگاه سرویس‌دهی توقف کند. خدمه ایستگاه اغلب بایستی به سرعت سوخت‌رسانی به اتومبیل را، با یک شیلنگ و یا گالن‌های سوخت، آغاز کنند. این عمل باعث ایجاد سریع بخار سوخت در باک اتومبیل می‌گردد. برای اجتناب از جرقه‌زنی در این بخار، که می‌تواند فاجعه‌آمیز باشد، یا اتومبیل به محض توقف به زمین اتصال داده می‌شود (می‌توان یک میله رسانای بلند را به بدنه فلزی اتومبیل وصل کرد) و یا از چرخ‌هایی برای اتومبیل استفاده کرد که رسانای خوبی باشند تا بار الکتریکی به سرعت

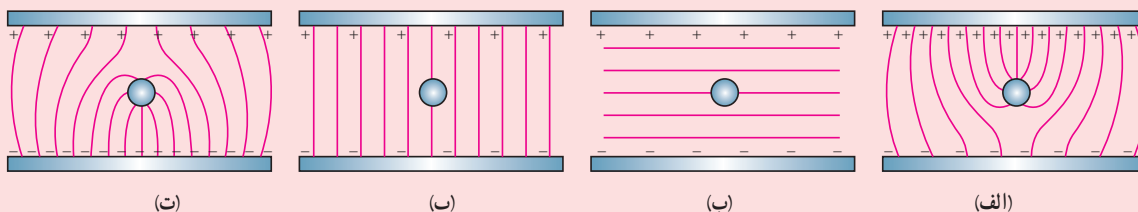
از طریق آنها تخلیه گردد. اما، راه حل دوم همیشه مطلوب نیست، زیرا چرخ‌های رسانا (به یاد آورید که آنها از سیاه کرین ساخته می‌شوند) سریع‌تر از چرخ‌هایی که رسانا نیستند (که از سیلیس ساخته می‌شوند) می‌پوسند.

در دهه ۷۰ میلادی، یک انفجار در گرد خرده‌های شکلات هنگامی رخ داد که این گرده‌ها از طریق لوله‌های پلاستیکی به سیلویی دمیده شدند. وقتی ذرات گرد از کیسه‌ها به درون لوله‌ها تکانه می‌شد، و هنگامی که آنها در حین عبور از لوله‌ها به یکدیگر و به جداره لوله‌ها می‌خوردند، باردار شدند. وقتی آنها از آخرین لوله به درون سیلو پرتاب شدند، جرقه‌ای بین دانه‌ها و نقطه‌ای متصل به زمین در سیلو جهش نمود. ممکن است این جرقه، با فرو افتادن دانه‌های معلق بر روی تلی که از قبل در سیلو شکل گرفته بود، و یا هنگامی که دانه‌ها از شیب تل به پایین سر می‌خوردند، در نوک مخروطی که روی تل شکل گرفته بود آغاز شده باشد. (میدان الکتریکی در نوک این مخروط و یا در نزدیکی آن بیشترین مقدار را داشت، و بنابراین تخلیه جرقه‌ای که در آن یک میدان الکتریکی قوی مولکول‌های هوا را یونیده می‌کند، می‌توانست از آنجا آغاز شده باشد.)

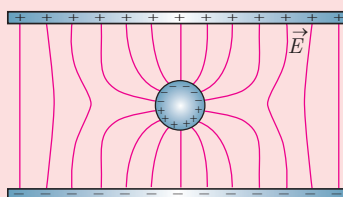
در واقع، احتمالاً جرقه‌های متعددی در سیلو رخ داده بود، که البته انرژی‌ای کافی برای مشتعل ساختن دانه‌ها را نداشت. انفجار هنگامی رخ داد که، تصادفاً، انرژی یک جرقه (یا شاید ترکیبی از چند جرقه تقریباً هم‌زمان) بیشتر از مقدار کمینه لازم برای یک انفجار شد. مهندسان نمی‌توانند بار استاتیک و تخلیه جرقه‌ای در صنایع پودری را حذف کنند، بلکه تلاش می‌کنند انرژی جرقه‌زنی را پایین‌تر از مقدار کمینه لازم نگه دارند.

پرسش‌های پیشنهادی

۱ آیا هیچ کدام از شکل‌های زیر میدان خالص درون یک خازن در حضور رسانای خنثی را به درستی نشان می‌دهد؟



پاسخ: هیچ کدام. در حضور میدان الکتریکی، در سطح بالایی کره خنثی، بار مثبت و در سطح پایینی آن بار منفی القا می‌شود و شکلی مانند شکل زیر خواهیم داشت.



۲ دو گوی بدون بار X و Y روی پایه عایقی قرار گرفته‌اند و به آنها گوی باردار مثبت Z را نزدیک می‌کنیم. سپس گوی‌های X و Y با سیم رسانایی به هم متصل می‌گردند. پس از برداشتن این سیم و دور کردن گوی Z ، بار گوی‌های X و Y چگونه می‌شود؟ پاسخ: گوی X بار مثبت و گوی Y بار منفی پیدا می‌کند.

۳ با توجه به اینکه شدت میدان الکتریکی در سطح زمین حدود 130 V/m است، بنابراین باید اختلاف پتانسیلی بیش از 200 V بین سر و پای هر شخص وجود داشته باشد. پس چرا کسی این میدان را حس نمی‌کند؟ پاسخ: بدن انسان رسانا است و بنابراین سطح آن در میدانی که بارها در تعادل‌اند باید هم‌پتانسیل باشد و در نتیجه بین نقاط مجزای آن نمی‌تواند اختلاف پتانسیلی وجود داشته باشد. وقتی شخص در این فضا قرار می‌گیرد، میدان الکتریکی مانند شکل روبه‌رو تغییر شکل می‌دهند.



۴ چرا اگر یک قوطی اسپری را به یک شعله روباز اسپری کنید، ممکن است اسپری شعله بکشد؟

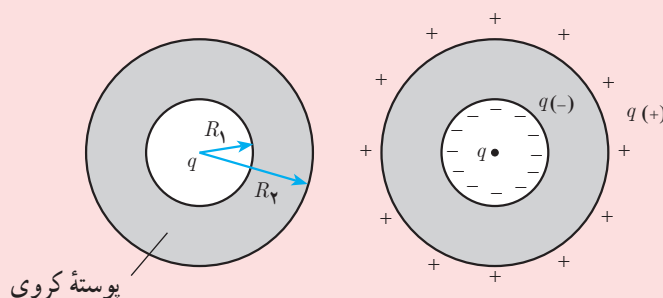
پاسخ: وقتی یک پودر را اسپری می‌کنید، دانه‌های پودر و خود قوطی ممکن است باردار شوند. اگر قوطی با جسم رسانایی (مثل یک شخص) در تماس باشد، بار الکتریکی می‌تواند آنقدر افزایش یابد تا اینکه برای قوطی و پودر اسپری‌شده باری کافی برای جرقه زدن در یکدیگر ایجاد شود. اگر این جرقه انرژی لازم را فراهم آورد، پودر اسپری می‌تواند مشتعل شود.

۵ چرا اگر یک نوار چسب را در نزدیکی آنتن رادیویی که بر روی یک کانال تنظیم شده است از غلتک آن جدا کنید، نوفه (نویزی) در رادیو ایجاد می‌شود؟

پاسخ: وقتی نوار چسب از غلتک جدا می‌شود، بارهای مثبت و منفی در تکه‌هایی بر روی دو سطح جمع می‌شوند. از تخلیه این بارها در هوا که عمدتاً از مولکول‌های نیتروژن تشکیل شده است، این مولکول‌ها تقریباً بی‌درنگ با گسیل نوری در انتهای آبی طیف مرئی وا انگیخته می‌شوند و تابش ضعیفی در امتداد خطی که نوار در آنجا از غلتک جدا می‌گردد ایجاد می‌شود که ممکن است در فضایی کاملاً تاریک دیده شوند. این جرقه‌ها در طیف بسامد رادیویی نیز گسیل می‌شوند. بنابراین وقتی نوار چسب در نزدیکی یک آنتن رادیو کننده می‌شود، آنتن برخی از این گسیل‌ها در محدوده بسامد رادیویی را نیز دریافت می‌کند.

تمرین‌های پیشنهادی

۱ بار $q = +8 \mu\text{C}$ که در مرکز یک پوسته کروی فلزی قرار دارد، بر اثر القا، بارهای الکتریکی منفی و مثبت را در سطوح داخلی و خارجی پوسته ایجاد می‌کند. اگر شعاع داخلی این پوسته 4 cm و شعاع خارجی آن 8 cm باشد، چگالی سطحی بار را در سطوح داخلی و خارجی محاسبه کنید.



پاسخ: همان طور که در شکل نشان داده شده است، بر روی پوسته داخلی، بار منفی و بر روی پوسته خارجی، بار مثبت القا می شود که اندازه آن همان $8/0 \mu C$ است. بنابراین، با توجه به تعریف چگالی سطحی بار داریم:

$$\sigma_{\text{داخلی}} = \frac{q_{\text{داخلی}}}{\text{مساحت سطح داخلی}} = \frac{-8/0 \times 10^{-6} C}{4\pi (4/0 \times 10^{-2} m)^2} = 3/9 \times 10^{-4} C/m^2$$

$$\sigma_{\text{خارجی}} = \frac{q_{\text{خارجی}}}{\text{مساحت سطح خارجی}} = \frac{+8/0 \times 10^{-6} C}{4\pi (8/0 \times 10^{-2} m)^2} = 9/9 \times 10^{-5} C/m^2$$

همان طور که می بینیم، با اینکه بار القا شده بر روی دو سطح یکسان است، اما بزرگی چگالی بار الکتریکی در سطح داخلی چهار برابر سطح خارجی شده است.

فعالیت های پیشنهادی



۱ استوانه شفاف را اختیار کنید که دو قاعده آن رسنا هستند. گلوله های سبک رسانایی را درون استوانه قرار می دهیم. وقتی استوانه به کلاهک مولد و اندوگراف وصل شود، گلوله ها شروع به حرکت رفت و برگشت می کنند و پس از مدتی، گلوله ها به حالت معلق درمی آیند. دلیل آن را توضیح دهید.

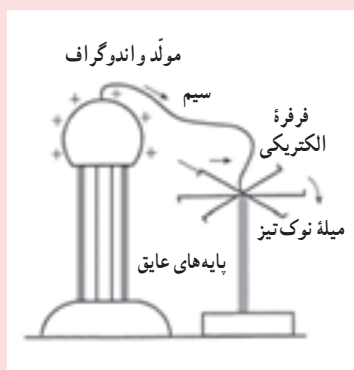
پاسخ: وقتی استوانه به کلاهک وصل می شود، قاعده پایینی و گلوله های دارای بار الکتریکی همنام می شوند، در نتیجه گلوله به طرف بالا پرتاب می شوند. گلوله ها با برخورد به قاعده بالایی، بار خود را به قاعده بالایی داده، می افتند و دوباره باردار شده و به بالا پرتاب می شوند. این عمل آنقدر ادامه پیدا می کند تا دو صفحه هم پتانسیل شوند. در این حال گلوله ها به حالت معلق در استوانه درمی آیند.

در این فیلم نوعی از این فعالیت را می بینید.



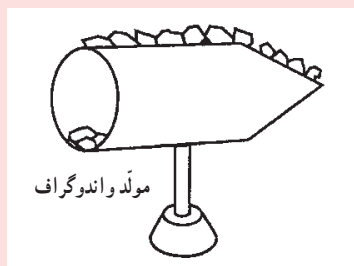
فیلم

۲ یک کره فلزی توپ بدون بار را که دارای دسته عایقی است توسط یک ماژیک یا روان نویس به دو قسمت تقسیم می کنیم و سپس یک قسمت آن را به کلاهک مولد واندوگراف تماس می دهیم. قسمتی که با مولد در تماس نبود را به یک الکتروسکوپ نزدیک می کنیم. عقربه الکتروسکوپ انحراف نشان می دهد. از این آزمایش چه نتیجه ای می گیرید؟
پاسخ: بار داده شده به جسم رسانا در محل داده شده ساکن نمانده است و در جسم توزیع شده است.



۳ الف) مطابق شکل، فرفره ای فلزی را روی سوزنی نوک تیز قرار داده و توسط سیم، مرکز فرفره را به کلاهک مولد واندوگراف وصل می کنیم. با روشن کردن مولد واندوگراف، فرفره شروع به چرخش می کند و در جهت نشان داده شده می چرخد. علت را توضیح دهید.

پاسخ: مولکول های هوا وقتی به نوک تیز فرفره که تراکم بار در آنجا زیاد است، برخورد می کنند، یونیده می شوند و نوک فرفره این مولکول های یونیده را به عقب می راند. طبق قانون سوم نیوتون مولکول ها نیز به فرفره نیرویی در خلاف جهت، وارد می کنند که سبب چرخش فرفره می شود.



۴ تکه های کاغذ سبک را داخل و بیرون مخروط فلزی قرار دهید و آن را به مولد واندوگراف وصل کنید. تکه های کاغذ در کدام قسمت از بقیه قسمت ها بیشتر پرتاب می شوند؟ تکه های کاغذ در کدام قسمت، پرتاب نمی شوند؟ از این آزمایش چه نتیجه ای می گیرید؟
پاسخ: با انجام این آزمایش یا معادل آن دانش آموزان نتیجه می گیرند که «چگالی سطحی بار در نقاط نوک تیز یا برجسته از سایر مکان ها بیشتر است».



۵ مولد واندوگرافی را باردار می کنیم و آونگی با گلوله کوچک فلزی را به کلاهک دستگاه نزدیک می کنیم تا جذب شود و آن را طوری نگه می داریم تا بتواند با کلاهک تماس پیدا کند و سپس رانده شود. از دانش آموزان می خواهیم آنچه مشاهده کردند را شرح دهند و علت جذب اولیه و دفع شدن بعدی را توضیح دهند.
در حالی که آونگ از کلاهک رانده و دور می شود از یکی از دانش آموزان می خواهیم کف دست خود را طوری به گلوله آونگ نزدیک کند تا با آن تماس پیدا کند. گلوله بین دست او و کلاهک رفت و برگشت می کند که صحنه جذابی است. از دانش آموزان می خواهیم همراه با گروه خود علت این رفتار آونگ را بررسی و نتیجه را به کلاس گزارش کنند.

۶ مقاله زیر که داندلود آن آزاد است، آزمایش هایی از این دست را با جزئیات بیشتر و تصاویر آموزشی توضیح می دهد رجوع به آن را حتماً توصیه می کنیم.

Electrostatics experiments with sharp metal points. Phys. Edu. 51 (2016) 065019

در این فیلم ها نوعی از آونگ های الکتریکی را می بینید.



در این مورد می‌توانید به عکاسی استروبوسکوپی نیز اشاره کنید. مثلاً شکل زیر، مربوط به عبور گلوله از درون یک سیب است. در عکاسی استروبوسکوپی از فلاشی استفاده می‌شود که دارای انرژی بسیار و توان بالایی هستند که در زمان بسیار کوچک انرژی را آزاد می‌کنند. در شکل، گلوله با سرعت 900 m/s حرکت می‌کند و نور فلاش در بازه زمانی $3 \mu\text{s}$ جرقه می‌زند. این مطلب نشان می‌دهد که گلوله طی زمان فلاش زدن 3 mm حرکت کرده است. توان لازم برای عکس انداختن از سیب در این حالت 15 MW است. اشاره شود که به این موضوع در مبحث انرژی خازن خواهید پرداخت.



۱-۱-۱ خازن

توجه کنید باری که جریان می‌یابد همان الکترون‌هایی هستند که توسط میدان الکتریکی‌ای که باتری در سیم‌ها ایجاد می‌کند در طول سیم‌ها به حرکت واداشته می‌شوند. میدان الکتریکی، الکترون‌ها را از صفحه متصل به پایانه مثبت باتری به حرکت درمی‌آورد. در نتیجه، این صفحه با از دست دادن الکترون دارای بار مثبت می‌شود. این میدان، درست همین تعداد الکترون را از پایانه منفی باتری به صفحه‌ای می‌راند که از طریق کلید به پایانه منفی باتری متصل است. در نتیجه، این صفحه با به دست آوردن الکترون دارای بار منفی می‌شود که درست به همان اندازه‌ای است که صفحه دیگر با از دست دادن الکترون دارای بار مثبت شده است.





گرچه در متن به طور نهان اشاره شده است، ولی خوب است دانش آموزان به وضوح دریابند که در خازن محدودیتی در افزایش مقدار بار بر اثر افزایش اختلاف پتانسیل الکتریکی وجود دارد که این محدودیت را عاملی به نام ظرفیت خازن بروز می دهد و همچنین خوب است به ولتاژ بیشینه اشاره شود که بیشترین ولتاژی است که می تواند بین دو صفحه خازن برقرار شود بی آنکه به ساختمان خازن صدمه زده شود. در واقع دلیل اینکه با زدن دو شاخه تلفن به پرز برق، تلفن اصطلاحاً «می سوزد» همین است. در اثر وصل شدن خازن به ولتاژ 220V برق شهر، خازن تاب نمی آورد و می سوزد. البته بحث کامل تر آن را می توانید با توضیح مبحث فروشکست و حاشیه ای که برای آن آمده است، ارائه کنید.

در اینجا خوب است در مورد چگونگی باردار شدن خازن و اینکه واقعاً چرا بار دو صفحه از نظر اندازه با هم برابر می شوند توضیح دهید. به خصوص این استدلال برای مبحث انرژی خازن نیز به کار می آید.

یک خطای رایج آن است که برخی تصور می کنند باتری با تولید بار، خازن را باردار می کند. تأکید شود آنچه باتری انجام می دهد صرفاً ایجاد میدان الکتریکی در سیم ها است. باری که از طریق سیم رسانا جریان می یابد همان الکترون هایی هستند که توسط میدان الکتریکی ای که باتری در سیم ها ایجاد می کند در طول سیم ها به حرکت واداشته می شوند. میدان الکتریکی، الکترون ها را از صفحه متصل به پایانه مثبت باتری به حرکت در می آورد. در نتیجه، این صفحه با از دست دادن الکترون دارای بار مثبت می شود. این میدان، درست همین تعداد الکترون را از پایانه منفی باتری به صفحه ای می راند که از طریق کلید به پایانه منفی باتری متصل است. در نتیجه، این صفحه با به دست آوردن الکترون دارای بار منفی می شود که درست به همان اندازه ای است که صفحه دیگر با از دست دادن الکترون دارای بار مثبت شده است. این شارش بار تا هنگامی ادامه پیدا می کند که اختلاف پتانسیل میان دو صفحه خازن با اختلاف پتانسیل میان دو پایانه باتری یکسان شود. از این لحظه به بعد در سیم ها دیگر میدان الکتریکی نداریم و الکترون ها دیگر به حرکت واداشته نمی شوند. در این لحظه خازن باردار شده است. با توجه به اینکه صفحه های خازن رساناست تمام نقاط هر صفحه پتانسیل یکسانی دارد و خطوط میدان الکتریکی عمود بر این صفحه ها و از صفحه مثبت به سمت صفحه منفی است. وقتی یک خازن باردار می شود، صفحه های آن دارای بارهایی با بزرگی یکسان، ولی علامت مخالف می شود: $+Q$ و $-Q$.

از لحاظ جنبه تاریخی خوب است اشاره شود که در واقع در سال ۱۷۴۵ میلادی دو آزمایشگر آلمانی به نام‌های جی. فون کلايست^۱ و بی. وان ماسنبروک^۲ به طور مستقل این خازن ابتدایی را طراحی کرده و ساختند.



در این فیلم با اساس کار بطری لیدن آشنا شوید.



۱۱-۱- خازن با دی الکتریک

دانشنی برای معلم

مفهوم ظرفیت خازن و رابطه آن با اختلاف پتانسیل الکتریکی

در شکل ۱- الف ارتفاع آب در دو ظرف با ظرفیت‌های متفاوت یکی است. همان‌طور که می‌دانیم، اختلاف پتانسیل گرانشی سطح آب در دو ظرف به ارتفاع سطح آب در آنها بستگی دارد. چون ارتفاع سطح آب در دو ظرف یکسان است، بنابراین اختلاف پتانسیل گرانشی سطح آب در دو ظرف مساوی است. از شباهت ظرف‌های آب با مداری که در آن یک خازن و باتری (با اختلاف پتانسیل الکتریکی V) وجود دارد می‌توان مفهوم ظرفیت خازن و رابطه آن با اختلاف پتانسیل الکتریکی و مقدار بار روی خازن را بهتر بیان کرد.

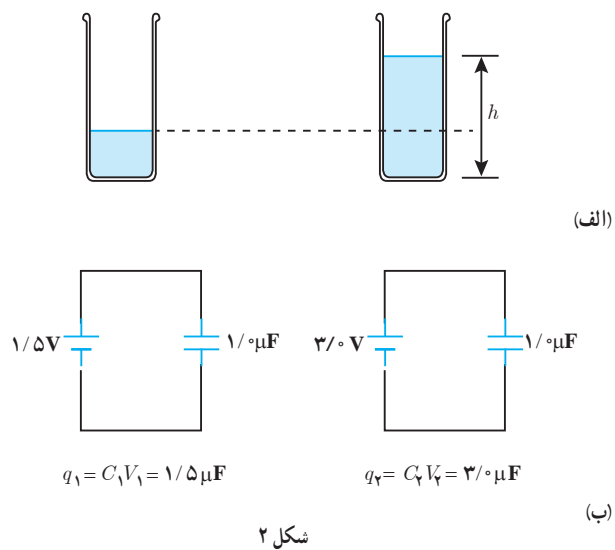
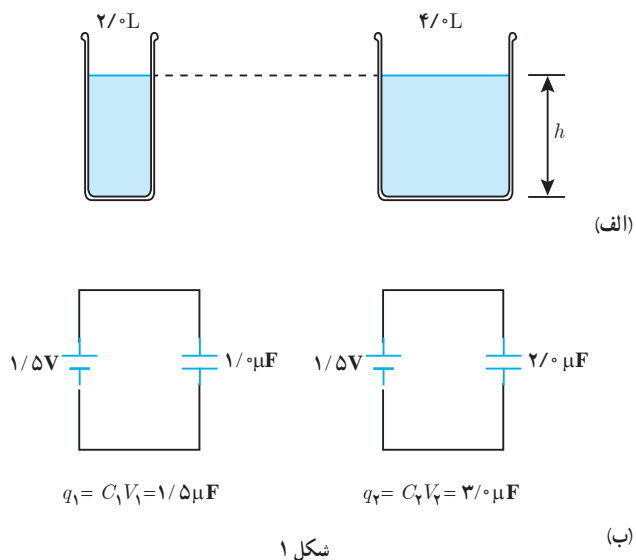
با وجود اینکه اختلاف پتانسیل گرانشی در دو ظرف یکی است، به دلیل بزرگ‌تر بودن یکی از ظرف‌ها، مقدار آب موجود در آن بیشتر است. و با وجود اینکه اختلاف پتانسیل الکتریکی در دو خازن یکی است، به دلیل بیشتر بودن ظرفیت یکی از خازن‌ها، مقدار بار الکتریکی ذخیره شده در آن بیشتر است.

مطلب بالا را می‌توان برای دو ظرف با ظرفیت‌های یکسان ولی مقدار آب مختلف (ارتفاع آب در آنها متفاوت است زیرا سطح مقطع ظرف‌ها را یکی فرض می‌کنیم) و تشابه آن با دو خازن با ظرفیت‌های مساوی ولی متصل به باتری‌هایی با اختلاف پتانسیل‌های الکتریکی متفاوت تعمیم داد (شکل ۲).

^۱ G. Von Kliest

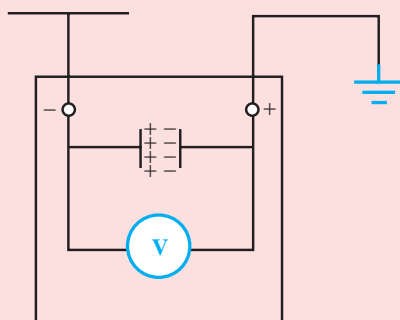
^۲ P. Van Musschenbroek

با وجود اینکه ظرفیت دو ظرف یکی است، به دلیل اختلاف پتانسیل گرانشی سطح آب‌ها در دو ظرف، مقدار آب موجود در آنها متفاوت است. و با وجود اینکه ظرفیت دو خازن یکی است، به دلیل اختلاف پتانسیل الکتریکی متصل به صفحه‌های خازن‌ها، مقدار بار الکتریکی ذخیره شده در آنها متفاوت است.



پرسش‌های پیشنهادی

- ۱ آیا می‌توان مولد واندوگراف را به‌عنوان مخزن و انباری برای ذخیره کردن بارهای الکتریکی در نظر گرفت؟ چگونه می‌توان از ذخیره شدن بارهای الکتریکی در آن مطمئن شد؟
- پاسخ: بله، با نزدیک شدن گلوله‌ای رسانا که بر روی پایه عایقی قرار دارد می‌توانیم پدیده تخلیه الکتریکی را که ناشی از حرکت بارهای ذخیره‌شده در مولد واندوگراف در اثر نزدیک شدن گلوله است مشاهده کرد.
- ۲ الف) اگر یکی از دو صفحه رسانای موازی هم‌اندازه، مقابل و نزدیک یکدیگر را به اندازه $+q$ باردار کنیم، به نظر شما تأثیر بارها بر روی صفحه رسانای دیگر که وصل به زمین است، چیست؟



- پاسخ: بار $+q$ صفحه رسانای اول در اثر القای الکتریکی، بار $-q$ را در صفحه مقابل القا می‌کند.
- ب) اگر دو صفحه رسانای حالت الف را با یک سیم رسانا به یکدیگر وصل کنیم چه اتفاقی می‌افتد؟ آیا بار ذخیره شده کاهش می‌یابد؟ تا چه اندازه؟
- پاسخ: بارهای منفی از طریق سیم رسانا به صفحه باردار مثبت می‌روند و در نهایت، بار دو صفحه چون مساوی و مخالف یکدیگرند، بار کل صفر می‌شود.
- پ) آیا می‌توان گفت در حالت اول بار ذخیره‌شده روی صفحه‌ها q و در حالت دوم بار ذخیره‌شده صفر است؟
- پاسخ: بله.



در اینجا خوب است برای دانش آموزان مستعدتر مبحث کامل شود و همان‌طور که در پاسخ پرسش ۱-۶ اشاره شده است با رسم شکل نشان داد که میدان‌های الکتریکی حاصل از دو قطبی‌ها می‌کوشند میدان الکتریکی اعمال شده خارجی را تضعیف کنند. به عبارتی میدان الکتریکی‌ای ایجاد می‌شود که جهت آن در خلاف جهت میدان الکتریکی اولیه بین صفحه‌های خازن است و بنابراین میدان الکتریکی برآیند، گرچه همچنان در جهت میدان الکتریکی اولیه است، ولی بزرگی آن کوچک‌تر است و موجب تضعیف میدان الکتریکی اولیه می‌شود. با تضعیف میدان الکتریکی، اختلاف پتانسیل بین صفحه‌ها نیز کاهش می‌یابد و بدین ترتیب ظرفیت خازن افزایش پیدا می‌کند. در این استدلال توجه کنید که خازن به باتری متصل نیست.

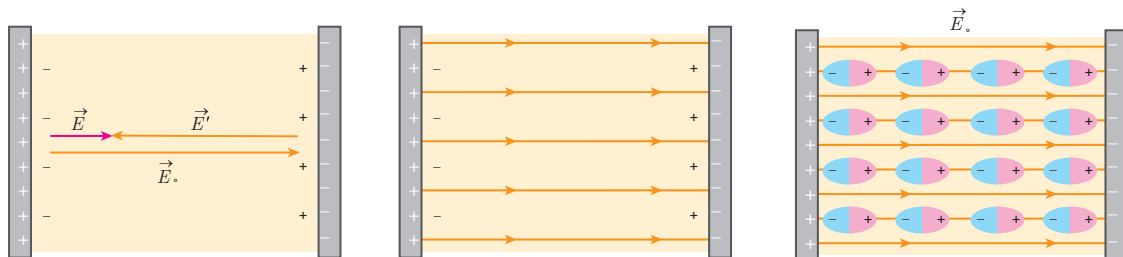
پاسخ پرسش ۱-۶

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

اما توضیح دقیق‌تر و علمی‌تر ماجرا آن است که همان‌طور که در متن درس اشاره شد، وقتی دی الکتریک قطبی در میدان الکتریکی بین دو صفحه خازن قرار می‌گیرد، مولکول‌های دوقطبی آن در جهت میدان الکتریکی هم‌ردیف می‌شوند و وقتی یک دی الکتریک غیرقطبی در این میدان قرار گیرد، مولکول‌های آن در راستای میدان قطبیده می‌شوند. چه در مورد دی الکتریک‌های قطبی و چه در مورد دی الکتریک‌های غیرقطبی، دوقطبی‌های مولکولی در فضای بین دو صفحه 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 برآیند داخل دی الکتریک ضعیف‌تر از میدان الکتریکی اولیه می‌شود. به عبارتی،



حضور دی الکتریک در فضای بین دو صفحه خازن، میدان الکتریکی اولیه را تضعیف می کند. بنابراین، وقتی خازن به باتری وصل نیست، میدان اولیه بین صفحه ها کاهش می یابد و در نتیجه اختلاف پتانسیل بین صفحه ها نیز کاهش پیدا می کند. شکل زیر هم ردیف شدن مولکول های یک دی الکتریک قطبی را در میدان دو صفحه خازن نشان می دهد.



(پ) میدان الکتریکی \vec{E} حاصل از بارهای سطحی در خلاف جهت میدان الکتریکی \vec{E}_0 است. میدان الکتریکی برآیند \vec{E} در جهت \vec{E}_0 و کوچک تر از آن شده است.

(ب) این هم ردیفی، بارهایی سطحی را روی دو وجه دی الکتریک ایجاد می کند که موجب تضعیف میدان الکتریکی می شود.

(الف) مولکول های دوقطبی در حضور میدان الکتریکی خارجی \vec{E}_0 هم ردیف شده اند.

پاسخ فعالیت ۱-۱۰

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

خوب است بدانید که کلاً سه نوع برهم کنش در دسته نیروی وان در والس قرار می گیرد: ۱- برهم کنش دوقطبی - دوقطبی، ۲- برهم کنش دوقطبی القایی - دوقطبی و ۳- برهم کنش دوقطبی لحظه ای - دوقطبی القایی. توضیح مفصل این ها را می توانید در کتاب های شیمی دوره متوسطه بیابید.



در این فیلم چگونگی بالا رفتن مارمولک بر دیوار را می بینید.



فیلم

مقدار بیشینه میدان الکتریکی که دی الکتریک می تواند بدون فروریزش عمل کند، قدرت دی الکتریک گفته می شود. گرچه این مفهوم جزو تدریس نیست ولی می توان اشاره ای ضمنی به آن داشت. جدول زیر برخی از قدرت های دی الکتریک را که یکای آن kV/mm است نشان می دهد. به لحاظ میکروسکوپی، فروریزش الکتریکی ناشی از کنده شدن الکترون های اتم های ماده دی الکتریک توسط میدان الکتریکی و سپس رانده شدن این الکترون ها توسط میدان الکتریکی و ایجاد یک مسیر رسانایی درون دی الکتریک (نقش های لیچنبرک) است وقتی دی الکتریک درون یک خازن قرار می گیرد، آنگاه اختلاف پتانسیلی بین صفحه های خازن وجود خواهد داشت که از آن پس، دی الکتریک دستخوش فروریزش الکتریکی می شود. به این بیشینه، پتانسیل فروریزش گفته می شود. جدول زیر قدرت دی الکتریک برخی مواد را نشان می دهد.

ماده دی الکتریک	قدرت دی الکتریک (kV/mm)
هوای 1 atm	۳
تفلون	۶۰
پارافین	۱۰
پلی استرین	۲۴
میلار	۲۸۰
PVC (پلی وینیل کلراید)	۲۹
کاغذ	۱۶
کوارتز	۸
شمیشه پیرکس	۱۴
میکا	۱۵۰
آب	۶۵
تیتانید استرانسیوم	۸



پاسخ تمرین ۱-۱۲

با استفاده از رابطه ۱-۱۸ داریم:

$$C = k\varepsilon \frac{A}{d} = 3/0 (8/85 \times 10^{-12} \text{ F/m}) \frac{1/0 \times 10^{-10} \text{ m}^2}{10/0 \times 10^{-9} \text{ m}} = 2/66 \times 10^{-13} \text{ F} \approx 0/27 \text{ pF}$$

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

$$Q = C\Delta V = (2/66 \times 10^{-13} \text{ F})(0/85 \text{ V}) = 2/26 \times 10^{-14} \text{ C} \approx 2/3 \times 10^{-14} \text{ C}$$

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

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

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



پاسخ فعاليت ۱-۱۱



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

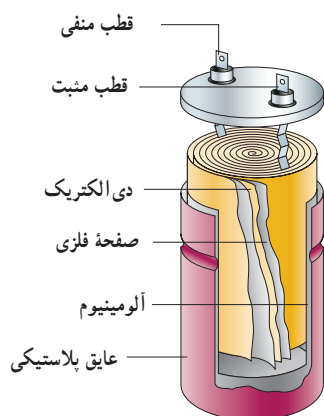
خان‌های ميكا : بين ورقه‌های فلزی نازک قلعي، ورقه‌های نازک ميكا قرار می‌دهند و ورقه‌های قلع را يك در ميان به يكدیگر وصل می‌کنند. ظرفيت اين خازن‌ها حدود 50° تا 500° پيكوفاراد است.



خازن‌های ورقه‌ای : اين خازن‌ها از دو ورقه قلع يا آلومينيوم تشكيل شده‌اند که بين آنها دو ورقه دي الكتريك مانند کاغذ يا پلاستيك جا داده می‌شود. اين ورق‌ها را لوله می‌کنند و به صورت يك استوانه در می‌آورند و در محفظه‌ای پلاستيکی قرار می‌دهند. ظرفيت اين نوع خازن‌ها از 1nF تا $1\mu\text{F}$ است

خازن‌های سراميکی : دي الكتريك اين خازن‌ها سراميک است که با استفاده از انواع سيليكات‌ها در دمای بالا تهيه می‌شود. ثابت دي الكتريك اين خازن‌ها زياد و در حدود 1000° است. خازن‌های سراميکی به شکل عدس تهيه می‌شوند و حجم آنها کم است. صفحه‌های رسانای آنها نيز با ذوب نقره در دو طرف سراميک تهيه می‌شود. ظرفيت اين خازن‌ها حدود ده‌ها نانوفاراد (nF) است.

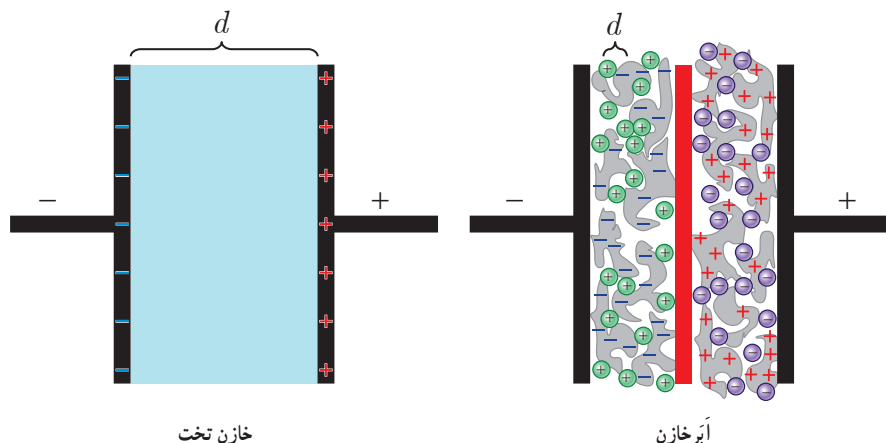





خازن های الکترولیتی: این خازن ها از یک صفحه فلزی اندود شده با اکسید آلومینیوم، به طوری که صفحه فلزی قطب مثبت خازن و لایه اکسید، دی الکتریک آن باشد. تشکیل شده اند. الکترولیت جامد یا مایع (که غالباً کاغذی آغشته به مایع الکترولیت است) به عنوان قطب منفی خازن عمل می کند. ظرفیت این خازن ها بالاست و تا حدود 10^6 F می رسد.

آبر خازن: این نوع خازن ها از موادی مانند زغال فعال^۱ پر شده اند که خود درون نوعی الکتریک قرار گرفته اند. زغال ها پس از قرار گرفتن در دو سوی خازن که توسط غشای عایق و نفوذ پذیری به نام جدا کننده از هم جدا شده اند بارهایی با علامت مخالف می گیرند. با توجه به نفوذ پذیری جدا کننده، یون های موجود در الکترولیت از غشای جدا کننده عبور می کنند به طوری که یون های منفی در سمت زغال های باردار مثبت و یون های مثبت در سمت زغال های باردار منفی قرار می گیرند. هر یک از جفت بارهای مثبت و منفی زغال – یون به مثابه خازنی با فاصله جدایی d است که میلیون ها بار کوچک تر از فاصله جدایی صفحه های یک خازن معمولی است. از طرفی ساختار میکروسکوپی زغال های فعال اسفنجی شکل است، به طوری که در مقیاس نانو سطح تماس بسیار بزرگی با یون ها دارند و بدین ترتیب مساحت A صفحه های این خازن نیز به مراتب بزرگ تر از مساحت سطح یک خازن معمولی است. بنابراین این خازن ها ظرفیت های بسیار بزرگی از مرتبه کیلو فاراد دارند که میلیون ها برابر ظرفیت خازن های معمولی است. یکی از ویژگی های این خازن ها آن است که خیلی سریع تر از باتری های شارژ شنی، شارژ می شوند و می توان آنها را به دفعاتی تا هزاران بار بیشتر از باتری ها شارژ کرد. همین ویژگی است که باعث استفاده از این خازن ها در وسایل نقلیه الکتریکی می شود.

^۱ – Activated charcoal



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

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

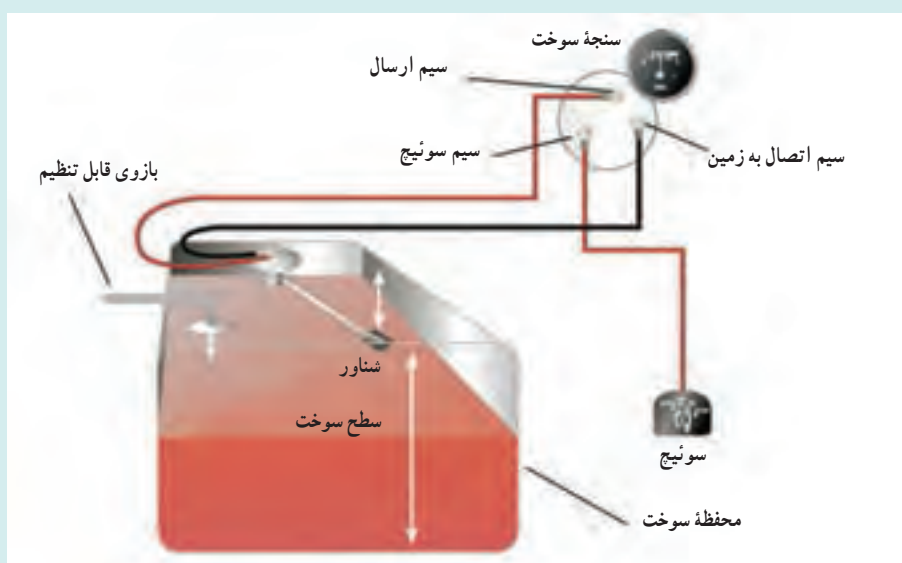
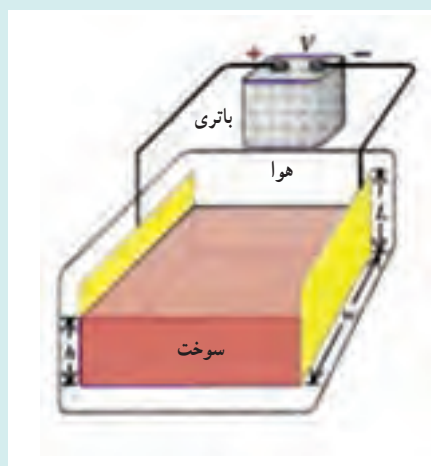


در این فیلم با چند خازن آشنا می‌شوید.



سنجه اندازه گیری مقدار سوخت اتومبیل

دستگاه اندازه گیری مقدار سوخت اتومبیل (عقره بنزین) دارای یک خازن است که سوخت، مانند شکل زیر بین دو صفحه آن قرار دارد. ثابت دی الکتریک مؤثر k_r ، برحسب اینکه خازن پر یا خالی باشد، بین یک و k تغییر می کند. ماده دی الکتریک، بنزین یا گازوئیل است. یک مدار الکترونیکی ثابت دی الکتریک مؤثر را اندازه می گیرد. اساس کار دستگاه اندازه گیری سوخت اتومبیل با تعیین رابطه بین مؤثر k_r و ارتفاع h بنا شده است.



پرسش های پیشنهادی

۱ دو خازن تخت مساحت صفحه های یکسان A و بار یکسان Q دارند، ولی فاصله بین صفحه های خازن ۱ برابر با d و فاصله بین صفحه های خازن ۲ برابر $2d$ است. اگر ولتاژ بین صفحه های خازن ۱ برابر V باشد، ولتاژ بین صفحه های خازن ۲ چیست؟ پاسخ: $2V$.

۲ آیا می شود پدیده فروشکست را برای آذرخش نیز مطرح کرد؟

پاسخ: بله. ایر و زمین مانند صفحه های خازن و هوا به عنوان دی الکتریک عمل می کند. بر اثر تجمع بیش از حد بارها، اختلاف پتانسیل زیاد شده و پدیده فروشکست رخ می دهد.

۳ چه چیزی موجب تابش نوری از تخته اسکی می شود که گاهی اسکی بازان در شب متوجه آن می گردند؟

پاسخ: تخته اسکی عموماً از جنس فلز نیست. وقتی تخته اسکی بر روی برف می سُرَد، بار الکتریکی بین تخته اسکی و برف منتقل می شود و در این صورت تخته اسکی به طور الکتریکی قطبیده می شود و در نتیجه یک میدان الکتریکی در دو طرف تخته ایجاد می شود. مثلاً پایین تخته اسکی دارای بار منفی، و بالای آن دارای بار مثبت می شود (به عبارتی تخته اسکی تبدیل به یک خازن شده است). وقتی تخته اسکی روی برف سُر می خورد، جرقه های کوچک بسیاری می تواند بین برف و صفحه های بالا و پایین تخته اسکی جهش کند و اسکی بازی که چشمانش به تاریکی عادت دارد می تواند تعدادی از آنها را ببیند.

تمرین های پیشنهادی

۱ فاصله بین صفحه های یک خازن تخت $5/00 \text{ mm}$ و مساحت صفحه های آن $2/00 \text{ m}^2$ است. اختلاف پتانسیل $10/0 \text{ kV}$ به صفحه ها اعمال می شود. مطلوب است الف) ظرفیت خازن، ب) بار روی هر صفحه، پ) بزرگی میدان الکتریکی بین صفحه ها. پاسخ:

الف) با استفاده از رابطه ۱-۱۷ به $C = 3/54 \times 10^{-9} \text{ F}$ می رسیم.

ب) با استفاده از رابطه ۱-۱۵ به $Q = 35/4 \text{ } \mu\text{C}$ می رسیم.

پ) با استفاده از رابطه $E = |\Delta V|/d$ به $E = 2/00 \times 10^6 \text{ V/m}$ می رسیم.

۲ یک خازن تخت پر شده از هوا دارای ظرفیت $1/3 \text{ pF}$ است. فاصله صفحه های آن را دو برابر می کنیم و میان آنها موم قرار می دهیم. ظرفیت جدید خازن $2/6 \text{ pF}$ می شود. ثابت دی الکتریک موم را پیدا کنید.

پاسخ: $4/0$

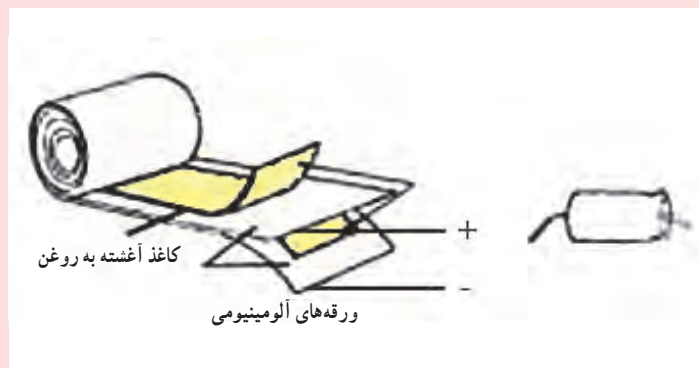
فعالیت های پیشنهادی

۱ صفحه فلزی متصل به یک دسته عایق را باردار کنید (در صورت لزوم می توانید از مولد واندوگراف استفاده کنید). صفحه فلزی را به کلاهک الکتروسکوپ نزدیک کنید و به روش القا، الکتروسکوپ را باردار کنید (فعلاً صفحه فلزی را از کلاهک دور نکنید). در ورقه های الکتروسکوپ چه تغییری مشاهده می کنید؟ (بار القایی در الکتروسکوپ مخالف و هم اندازه با بار الکتریکی صفحه فلزی است. در این حالت مجموعه صفحه فلزی و کلاهک الکتروسکوپ، یک خازن را تشکیل می دهند. برای فاصله معینی بین صفحه فلزی و کلاهک الکتروسکوپ، رابطه $C = \frac{Q}{V}$ صدق می کند). اکنون به تدریج صفحه فلزی را از کلاهک الکتروسکوپ دور کنید، فاصله بین ورقه های الکتروسکوپ چه تغییری می کند؟

پاسخ: بیشتر می شود.

۲ خازن بسازید.

دو نوار بسیار باریک به پهنای ۵/۵ سانتی متر از ورقه های آلومینیومی به طول ۵ cm را برش بزنید. به همین اندازه دو نوار کاغذی را که آغشته به روغن مایع شده است نیز آماده کنید. کاغذها را بین دو نوار ورقه های آلومینیومی قرار داده و آنها را به صورت بسیار فشرده بپیچانید. سیم های اتصالی به انتهای ورقه های آلومینیومی متصل کنید که نقش آند و کاتد را بازی خواهند کرد. این مجموعه را می توانید در یک کپسول داروی آنتی بیوتیک جاسازی کرده و دو سر خروجی آنها را بیرون بکشید.



۱-۱۲- انرژی خازن

برای شارژ کردن یک خازن، یعنی ایجاد اختلاف پتانسیل بین دو صفحه آن، باید مقداری کار انجام گیرد. بنابراین خازن پر مقداری انرژی پتانسیل در خود ذخیره دارد که این انرژی برابر با کاری است که در جریان باردار کردن خازن مصرف شده است. هنگام باردار کردن خازن، در داخل آن یک میدان الکتریکی ایجاد می‌کنیم و موقع خالی شدن خازن، این میدان از دست می‌رود. کار انجام شده صرف ایجاد میدان الکتریکی شده است، در حالی که کاری که در خالی شدن خازن انجام می‌شود نتیجه از بین رفتن این میدان است. به عبارتی، هر میدانی مقداری انرژی پتانسیل در خود ذخیره دارد که هنگام از بین رفتن میدان، آزاد می‌شود.

خوب است در اینجا به چگونگی باردار شدن خازن توسط باتری که پیشتر توضیح داده شد، دوباره اشاره شود.

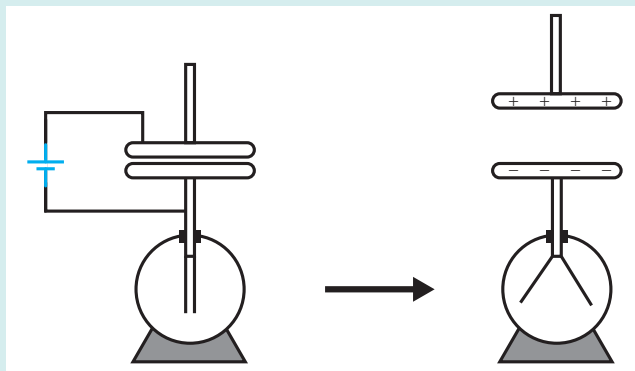
خوب است تأکید شود که انرژی در میدان الکتریکی ذخیره می‌شود و اگر بر فرض در یک خازن تخت می‌گوییم انرژی در فضای بین صفحات ذخیره شده است، به این دلیل است که میدان الکتریکی در بین دو صفحه برقرار شده است. در این مورد پیشنهاد می‌شود پرسش پیشنهادی ۱ در همین جا مطرح شود. همچنین خوب است به تفاوت خازن با باتری اشاره شود. همان‌طور که گفتیم در خازن انرژی الکتریکی در میدان الکتریکی ذخیره می‌شود، در حالی که یک باتری انرژی بتانسیل خود را به شکل شیمیایی ذخیره می‌کند.



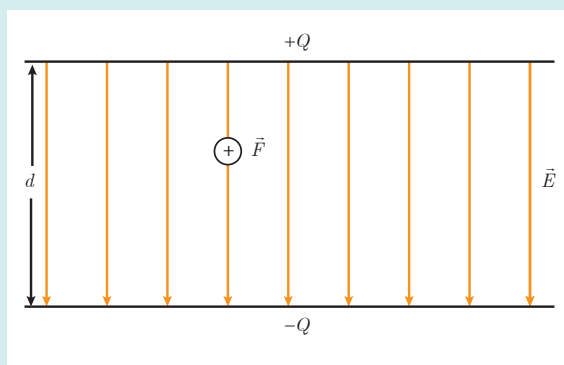
بررسی انرژی الکتریکی ذخیره شده در خازن با استفاده از الکتروسکوپ

برای انباشتن بار منفی روی یک صفحه و بار مثبت روی صفحه دیگر و غلبه بر جاذبه بین این بارهای مخالف یا به عبارت صحیح تر برای شارژ (پُر) کردن یک خازن باید کار انجام داد. وقتی خازن تخلیه می شود و بارها به همدیگر جذب می شوند، نیروهای الکتریکی همان کار را انجام می دهند. بنابراین، خازن پُر دارای انرژی پتانسیل است. این انرژی برابر با کاری است که در جریان شارژ کردن خازن مصرف شده است.

می توان با کمک یک باتری و اتصال پایانه های آن به صفحه ای فلزی و کلاهک الکتروسکوپ در آنها بار الکتریکی و انرژی پتانسیل الکتریکی ذخیره کرد (شکل ۱). به علت وجود اختلاف پتانسیل بین پایانه های باتری و صفحه هایی که به آن متصل شده اند، بارهای الکتریکی شروع به جابه جا شدن می کنند. وقتی اختلاف پتانسیل خازن با باتری برابر شد فرایند باردار شدن متوقف می شود. با باردار کردن خازن و انجام کار، در بین صفحه های آن یک میدان الکتریکی به وجود می آوریم. بنابراین هر میدان الکتریکی مقداری انرژی پتانسیل دارد که این انرژی به هنگام از بین رفتن میدان (تخلیه خازن) آزاد می شود.



شکل ۱



شکل ۲

اکنون خازن تختی با صفحه های نامتناهی را در نظر بگیرید. با توجه به اینکه میدان هر صفحه یکنواخت و میدان صفحه ها با هم برابرند بزرگی میدان E بین صفحه های خازن را می توان برابری دو میدان الکتریکی با بزرگی های E_1 (ناشی از بار مثبت روی یک صفحه) و E_2 (ناشی از بار منفی روی صفحه دیگر) در نظر گرفت. این دو میدان در یک راستایند (شکل ۲)؛ به طوری که $E_1 = E_2 = E$ و $E_1 + E_2 = E$ بنابراین $E_1 = E_2 = \frac{1}{2}E$.

نیروی برهم کنش صفحه‌ها \vec{F} ، نیرویی است که در آن میدان \vec{E}_1 ناشی از بار مثبت صفحه بالایی روی بار منفی صفحه پایینی اثر می‌کند و آن را به طرف خود می‌کشد و برعکس با توجه به اینکه مقدار بار خازن با تغییر فاصله بین صفحه‌های آن تغییر نمی‌کند نیروی جاذبه \vec{F} نیز بدون تغییر می‌ماند و کاری که باید انجام شود تا صفحه‌ها را از حالت فاصله صفر به فاصله d حرکت دهیم برابر است با $W = Fd$. انرژی یک خازن پر (U) برابر است با کاری که به هنگام پر کردن آن انجام می‌شود (Fd) و در نتیجه:

$$F = E_1 Q = E_2 Q = \frac{1}{2} EQ$$

$$U = W = Ed = \frac{1}{2} EQd$$

با توجه به اینکه در خازن تخت میدان یکنواخت است و شدت آن برابر با $E = \frac{V}{d}$ است، انرژی خازن تخت را می‌توان به صورت زیر نوشت:

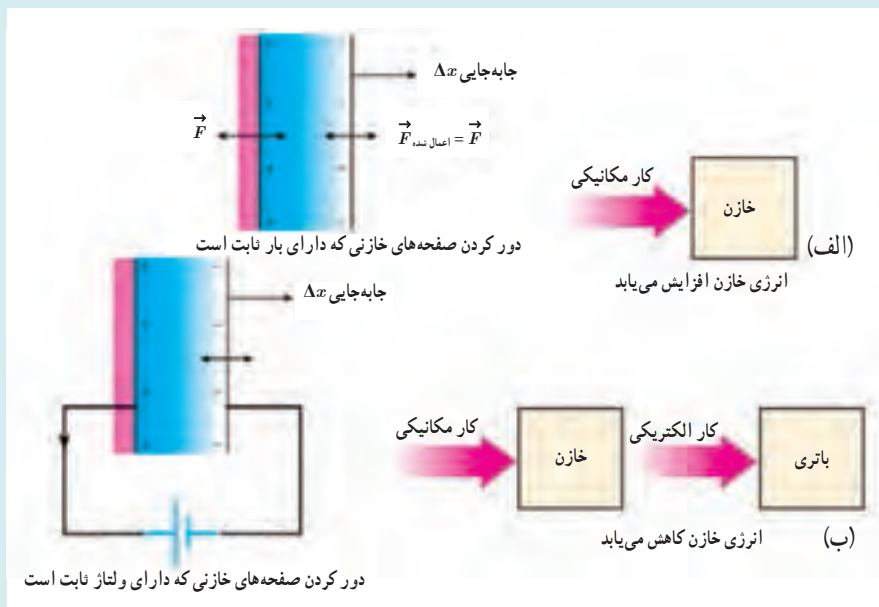
$$U = \frac{1}{2} QV$$

گرچه این رابطه را برای خازنی تخت ثابت کردیم، ولی نشان داده می‌شود برای هر خازنی برقرار است.

دانستنی برای معلم

تغییر کمیت‌های خازن و اثر آن بر انرژی خازن

صفحه‌های خازن بارداری را از هم دور می‌کنیم. اگر بار خازن ثابت بماند (خازن پر و به باتری وصل نباشد) انرژی خازن افزایش می‌یابد و اگر ولتاژ خازن ثابت بماند (دو سر خازن به باتری وصل باشد) انرژی خازن کاهش می‌یابد.



طبق شکل الف نیروی وارد شده، صفحه منفی را با سرعت ثابت به طرف راست حرکت می‌دهد، در حالی که صفحه مثبت، ساکن نگه داشته شده است. بار خازن Q ثابت است و ظرفیت خازن کاهش می‌یابد. در این حالت کار مکانیکی مثبت است، این کار مثبت انجام شده (به وسیله نیروی وارد شده) انرژی ذخیره شده خازن را افزایش می‌دهد. به عبارتی، با ثابت ماندن بار Q و کاهش ظرفیت C ی خازن، انرژی خازن طبق رابطه $U = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$ کاهش می‌یابد.

طبق شکل ب صفحه منفی در حالی که اختلاف پتانسیل دو سر خازن ثابت نگه داشته شده است به طرف راست حرکت داده می‌شود. در این فرایند نیز، ظرفیت خازن کم می‌شود، و چون اختلاف پتانسیل ثابت است بار خازن کاهش می‌یابد، و مقداری از بار خازن به باتری منتقل می‌شود. یعنی بخشی از انرژی خازن به درون باتری تخلیه می‌شود. انرژی از عامل خارجی به داخل خازن جریان می‌یابد اما مقدار بیشتری انرژی از خازن خارج می‌شود و روی باتری کار الکتریکی انجام می‌دهد. بنابراین انرژی ذخیره شده در خازن کاهش می‌یابد. به عبارتی، با ثابت ماندن V و کاهش ظرفیت C ی خازن، انرژی خازن طبق رابطه $U = \frac{1}{2} CV^2$ کاهش می‌یابد.

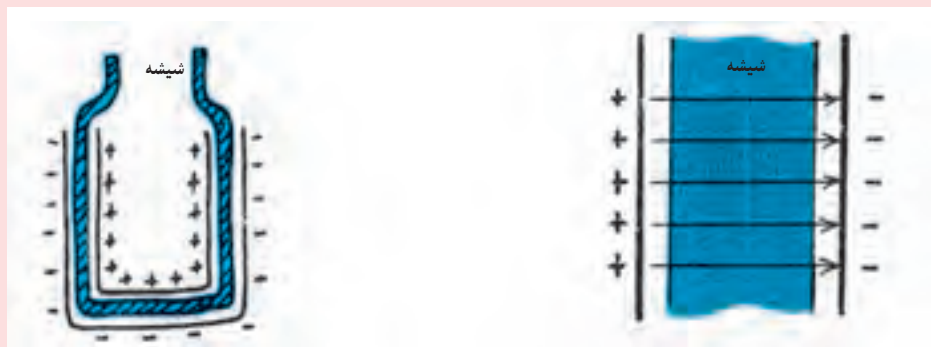
پرسش‌های پیشنهادی

۱ در بطری لیدن، انرژی الکتریکی واقعاً در کجا ذخیره می‌شود؟

الف) روی ورقه فلزی بیرون بطری ب) روی ورقه فلزی درون بطری

پ) در شیشه بین دو ورقه ت) در داخل بطری

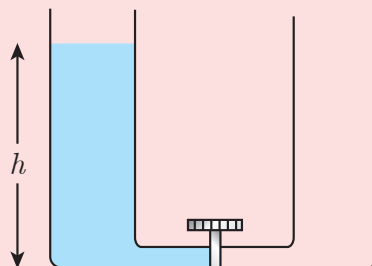
پاسخ: پاسخ درست پ است. در واقع چنین شکلی داریم



یعنی جهت خطوط میدان الکتریکی از بار مثبت به سمت بار منفی است. چون انرژی الکتریکی در میدان ذخیره می‌شود، این بدین معنی است انرژی در شیشه ذخیره می‌گردد.

۲ انرژی پتانسیلی که باتری فراهم می‌آورد از رابطه $U_{\text{باتری}} = qV$ به دست می‌آید. از طرفی انرژی خازن طبق رابطه ۱-۱۹ برابر $U_{\text{خازن}} = \frac{1}{2} qV$ است. آیا به نظر شما پایداری انرژی نقض شده است؟

پاسخ: این پرسشی مشهور و متداول است که پاسخ معمول آن نیز این است که مقداری از انرژی به صورت گرما در سیم‌ها تلف می‌شود و همین باعث تفاوت این دو مقدار شده است. اما پرسش هوشمندانه‌ای که بی‌درنگ مطرح می‌شود این است که آیا با استفاده از سیم‌های نازک‌تر این تفاوت کمتر می‌شود؟ که قاعداً باید چنین شود. در حالی که این نتیجه همواره برقرار است و هیچ ربطی به مقاومت سیم‌ها ندارد. بنابراین، برای دانش‌آموزان هوشمند باید پاسخ قانع‌کننده‌ای ارائه کرد. به این منظور، از مثالی دیگر کمک می‌گیریم. ظرفی U شکل را در نظر بگیرید که از پایین توسط لولهٔ باریکی به یک شیر متصل شده است و شاخهٔ سمت چپ آن پر از آب است.



انرژی پتانسیل اولیه $U = mg(\frac{h}{4})$ است. حال بینیم بعد از باز کردن شیر چه اتفاقی می‌افتد. پس از چند رفت و برگشت، آب در ارتفاع $h/2$ در هر دو شاخهٔ ظرف به سکون می‌رسد. بنابراین اکنون برای انرژی پتانسیل دستگاه داریم:

$$U = (m/2)g(h/4) + (m/2)g(h/4) = \frac{mg}{4}h + \frac{mg}{4}h = \frac{mg}{2}h$$

می‌بینید که جواب دقیقاً نصف وضعیت اولیه شد. پس در اینجا نیز می‌توان این پرسش را مطرح ساخت که آیا انرژی گم و پایستگی انرژی نقض شده است؟ یقیناً نه. سعی می‌کنیم از این مثال پاسخی بیابیم که برای مسئله اصلی ما هم راهگشا باشد.

اگر آب را به بار موجود در دستگاه، اختلاف ارتفاع را به اختلاف پتانسیل الکتریکی، نوسان آب را به نوسان بارهای الکتریکی و اصطکاک در لولهٔ رابط را به مقاومت سیم‌ها تشبیه کنیم، می‌توان گفت که انرژی در گذار از حالت اولیه به نهایی تلف می‌شود همان‌طور که در لولهٔ U شکل انرژی تلف شده به صورت گرما ظاهر می‌شود در اینجا نیز در اثر عبور جریان در سیم‌های رابط، انرژی الکتریکی به انرژی گرمایی تبدیل می‌شود. همان‌طور که شکل ظرف، لوله‌های رابط و سایر پارامترهای فیزیکی مسئله، صرفاً بر زمان رسیدن به شرایط نهایی اثر می‌گذارد، در اینجا نیز نوع سیم به کار رفته تنها زمان رسیدن به تعادل را تغییر می‌دهد و نقشی در میزان انرژی تلف‌شده، ندارد.

تمرین های پیشنهادی

۱ خازنی به ظرفیت $C = ۸/۰ \mu F$ به اختلاف پتانسیل $V = ۱۲۰ V$ متصل است. الف) بزرگی بار Q و ب) انرژی کل ذخیره شده در خازن، وقتی نصف آن پر شده است، چقدر است؟

پاسخ:

$$Q = CV = (۸/۰ \mu F)(۱۲۰ V) = ۹۶۰ \mu F$$

الف)

$$U = \frac{1}{2} QV$$

ب)

$$= \frac{1}{2} (۹۶۰ \times ۱۰^{-۶} C)(۱۲۰ V) = ۰/۰۵۸ J$$

۲ NIF یک لیزر پر قدرت برای ایجاد واکنش های گداخت است. این لیزر مشتمل بر ۱۹۲ واحد خازنی است که هر کدام با ظرفیت معادل $۶/۰۰ mF$ دارند و تحت اختلاف پتانسیل $۲۴ V$ باردار می شوند. این خازن ها در یک بازه $۹۰ s$ پر شده و سپس در $۴۰۰ \mu s$ تخلیه می شوند.

الف) انرژی ذخیره شده در خازن های NIF چقدر است؟

$$U = \frac{1}{2} C (\Delta V)^2 = \frac{1}{2} (۶/۰۰ \times ۱۰^{-۲} F)(۲۴ \times ۱۰^۲ V)^2 = ۱/۷۳ MJ$$

بنابراین، انرژی کل ذخیره شده در خازن های NIF برابر است با

$$U_{\text{کل}} = ۱۹۲ (۱/۷۳ MJ) = ۳۳۲ MJ$$

ب) توان متوسط آزاد شده در حین هر پالس چقدر است؟

$$P = \frac{\Delta U}{\Delta t} = \frac{۳۳۲ MJ}{۴۰۰ \mu s} = \frac{۳۳۲ \times ۱۰^۶ J}{۴۰۰ \times ۱۰^{-۶} s} = ۸/۳۰ \times ۱۰^{۱۱} W = ۰/۸۳۰ TW$$

۳ هزار قطره باران باردار مشابه، طوری به هم می چسبند که بار تک قطره حاصل برابر با مجموع بار تک قطرات می شود. با فرض اینکه قطرات کروی شکل باشند، انرژی الکتریکی جدید قطرات نسبت به انرژی الکتریکی اولیه آنها چقدر است؟ (راهنمایی: هر گوی باردار را می توان خازنی با ظرفیت $4\pi\epsilon_0 R$ در نظر گرفت).

پاسخ: بدیهی است $Q = nq$ و نیز

$$\frac{4}{3}\pi R^3 = n \frac{4}{3}\pi r^3$$

که در آن شعاع قطره بزرگ حاصل و r شعاع هر قطره است. بنابراین $C_1/C_2 = R/r = \sqrt[3]{n}$ است. انرژی خازن برابر $Q^2/2C$ است. بنابراین داریم:

$$\frac{U_{\text{کل}}}{U_1} = ۱۰۰$$

راهنمای پاسخ یابی پرسشی ها و مسئله های فصل ۱



۱ این تمرین مروری است بر آنچه در کتاب علوم تجربی پایه هشتم تدریس شده و خوب است دانش آموزان به مرور آن مطالب تشویق شوند.
الف) میله پلاستیکی یا میله شیشه ای باردار را به کلاهک الکتروسکوپ بدون بار نزدیک می کنیم و با فاصله گرفتن صفحات آن، به باردار بودن میله ها پی می بریم.

ب) نخست مثلاً توسط یک میله پلاستیکی باردار الکتروسکوپ را از طریق تماس میله با کلاهک آن باردار می کنیم. حال اگر به کلاهک الکتروسکوپ باردار، میله رسانا را (در حالی که آن را با دست خود گرفته ایم) تماس دهیم الکتروسکوپ تخلیه می شود، ولی میله عایق نمی تواند الکتروسکوپ را تخلیه کند.

پ) اکنون باید میله باردار شیشه ای یا پلاستیکی را به الکتروسکوپ باردار شده نزدیک کنیم. اگر الکتروسکوپ پیشتر باردار منفی شده باشد با نزدیک شدن میله باردار منفی صفحه های آن بیشتر فاصله می گیرند، در حالی که نزدیک شدن میله باردار مثبت صفحات را به هم نزدیک می کند و اگر الکتروسکوپ پیشتر باردار مثبت شده باشد، برعکس.

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

ب) با توجه به اینکه $q = ne$ است، از اینجا می توانیم تعداد n الکترون های منتقل شده را بیابیم:

$$n = \frac{12/8 \times 10^{-9} \text{ C}}{1/60 \times 10^{-19} \text{ C/الکترون}} = 8/0 \times 10^{10} \text{ الکترون}$$

۳ الف) بار الکتریکی اتم کربن خنثی، صفر است، ولی هسته اتم کربن ۶ پروتون دارد و بنابراین بار آن برابر $q = +6e$ می شود که در آن $e = 1/60 \times 10^{-19} \text{ C}$ است:

$$q = 6(1/60 \times 10^{-19} \text{ C}) = 9/60 \times 10^{-19} \text{ C}$$

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





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

$$q = \frac{q_1 + q_2}{2} = \frac{4 \times 10^{-6} \text{ C} - 6 \times 10^{-6} \text{ C}}{2} = -1 \times 10^{-6} \text{ C}$$

و در نتیجه نیروی بین دو گوی چنین می‌شود:

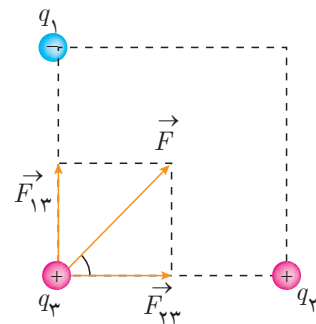
$$F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2} = k \frac{|q|^2}{r^2}$$

$$= (9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2}) \frac{(1 \times 10^{-6} \text{ C})^2}{(0.3 \text{ m})^2}$$

$$= 1 \times 10^{-7} \text{ N}$$

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_2 را رسم می‌کنیم.



در نتیجه نیروی خالص وارد بر بار q_2 چنین می‌شود:

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

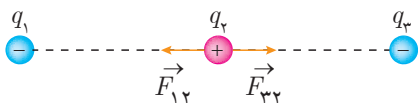
می‌توانیم بزرگی این نیرو را نیز محاسبه کنیم:

$$F = \sqrt{(1 \times 10^{-3} \text{ N})^2 + (1 \times 10^{-3} \text{ N})^2} = 1.41 \times 10^{-3} \text{ N}$$

$$\approx 1 \text{ mN}$$

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

۶ نیروهای وارد بر بار q_2 مانند شکل زیر می‌شود:



از آنجا داریم

$$\vec{F} = F_{23} \vec{i} + F_{12} \vec{j}$$

که با توجه به اینکه $q_1 = q_2$ و فاصله بارها از q_2 یکسان است، $F_{23} = F_{12}$ است و از قانون کولن داریم:

$$F_{23} = F_{12} = k \frac{|q_2||q_3|}{r_{23}^2}$$

$$= (9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2}) \frac{(5 \times 10^{-6} \text{ C})(2 \times 10^{-6} \text{ C})}{(3 \text{ m})^2}$$

$$= 1 \times 10^{-3} \text{ N} = 1 \text{ mN}$$



همان‌طور که می‌بینیم $\vec{F}_{۱۲}$ در خلاف جهت $\vec{r}_{۲۱}$ است و چون بارهای q_1 و q_2 و فاصله آنها از q_2 یکسان است. بنابراین $F_{۱۲}=F_{۲۱}$ ، و در نتیجه نیروی خالص وارد بر q_2 برابر صفر می‌شود. اما در مورد q_3 داریم:

$$\vec{F}_{۱۳} \quad \vec{F}_{۲۳}$$

دوباره نیروها در خلاف جهت هم هستند، ولی چون فاصله بارهای q_2 و q_3 کمتر از فاصله بارهای q_1 و q_3 است و همچنین $|q_1| > |q_2|$ است، $|\vec{F}_{۲۳}| > |\vec{F}_{۱۳}|$ خواهد بود و نیروی برآیند در خلاف جهت مثبت محور x وارد می‌شود. بزرگی این نیروها با استفاده از قانون کولن برابر است با

$$\begin{aligned} F_{۲۳} &= k \frac{|q_2||q_3|}{r_{۲۳}^2} \\ &= (9 \times 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}) \frac{(5 \times 10^{-9} C)(4 \times 10^{-9} C)}{(0.08 m)^2} \\ &= 2.8 \times 10^{-5} N \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{۱۳} &= k \frac{|q_1||q_3|}{r_{۱۳}^2} \\ &= (9 \times 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}) \frac{(4 \times 10^{-9} C)(4 \times 10^{-9} C)}{(0.16 m)^2} \\ &= 5.62 \times 10^{-6} N \end{aligned}$$

بنابراین \vec{F} چنین می‌شود:

$$\begin{aligned} \vec{F} &= (5.62 \times 10^{-6} N) \vec{i} - (2.8 \times 10^{-5} N) \vec{i} \\ &\approx 2.2 \times 10^{-5} (-\vec{i}) \end{aligned}$$

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

$$\begin{array}{c} \vec{F}_E \\ \uparrow \\ (+) \\ \downarrow \\ W \end{array}$$

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

و از آنجا

$$q = \sqrt{\frac{mgr^2}{k}}$$

$$= \sqrt{\frac{(2/5 \times 10^{-3} \text{ kg})(9/8 \frac{\text{N}}{\text{kg}})(0/01 \text{ m})^2}{9/0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{C}^2}}}$$

$$= 1/65 \times 10^{-8} \text{ C} \approx 16 \text{ nC}$$

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

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

خوب است توجه کنید پاسخ‌های به دست آمده در این مسئله فقط تخمین‌هایی از مقادیر واقعی هستند؛ زیرا همان‌طور که در متن درس بیان کردیم شرط استفاده از قانون کولن آن است که فاصله بین دو جسم باردار، خیلی بزرگ‌تر از ابعاد هر یک از دو جسم باشد و گوی‌هایی که بتوانند بار 16 nC را روی خود نگه دارند باید شعاعی در حدود چند سانتی‌متر داشته باشند تا هوای پیرامون‌شان دستخوش فرو ریزش نگردد. وقتی این گوی‌ها در فاصله 1 cm از هم باشند، شرط ذره‌ای بودن برآورده نمی‌شود. **۸** با توجه به یکنواخت بودن میدان الکتریکی و با توجه به اینکه $\vec{F} = q\vec{E}$ است، نیروی وارد بر ذره در هر دو نقطه برابر است.

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



$$F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2} = k \frac{|q_p|^2}{r^2}$$

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

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

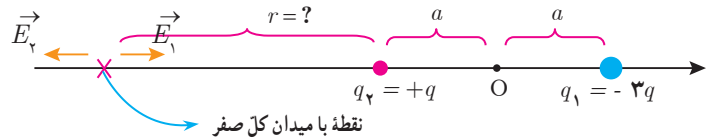
(ب) هسته شامل ۲۶ پروتون است. بنابراین $q_{\text{هسته}} = 26e$ داریم:

$$E = k \frac{q_{\text{هسته}}}{R^2}$$

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

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

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



$$E_1 = E_2$$

$$k \frac{|q_1|}{r_1^2} = k \frac{|q_2|}{r_2^2}$$

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

و در نتیجه

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

و از آنجا

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

$$\approx 2.73a$$

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



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

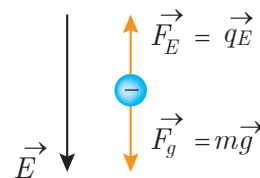
ب) جهت نیروهای وارد بر بار آزمون واقع بر مبدأ هر دو در سوی مثبت محور x است و بنابراین، بزرگی میدان‌های الکتریکی در نقطه O با هم جمع می‌شود:

$$E = k \frac{q}{a^2} \vec{i} + k \frac{3q}{a^2} \vec{i}$$

$$= 4k \frac{q}{a^2} \vec{i}$$

بنابراین، بزرگی میدان الکتریکی برآیند در مبدأ مختصات $E = 4k \frac{q}{a^2}$ ، و جهت آن 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

$$|q|E = mg$$

$$\Rightarrow |q| = \frac{mg}{E} = \frac{(2 \times 10^{-3})(1 \times 10^{-3} \frac{N}{kg})}{(5 \times 10^5 \frac{N}{C})}$$

$$= 4 \times 10^{-6} C = 4 \text{ nC}$$

۱۲ از تقارن شکل واضح است که همه میدان‌های حاصل از بارهای روی دو مربع همدیگر را دو به دو خنثی می‌کند، به جز دو باری که در وسط دو ضلع سمت و چپ و راست مربع بزرگ قرار دارند. در این صورت، میدان الکتریکی در نقطه P ، برآیند میدان‌های حاصل از میدان این دو بار می‌شود. توجه کنید برای بررسی جهت میدان، باید بار آزمون (مثبت) را در نقطه P قرار دهیم. بار آزمون توسط هر دو بار جذب می‌شود، اما چون بار سمت چپ بزرگ‌تر است، جهت میدان برآیند به سوی آن است. بنابراین، خواهیم داشت:

$$\vec{E}_P = k \frac{3q}{d^2} (-\vec{i}) + k \frac{q}{d^2} (\vec{i})$$

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

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



۱۲ 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 نزدیکی بار q_1 ، درمی‌یابیم بزرگی بار q_1 بیشتر است. این را می‌توان از تعداد خطوط میدان خروجی از بار q_1 و ورودی به بار q_2 نیز دریافت. به عبارتی هرچه تعداد خطوط خروجی از یک بار مثبت (یا ورودی به یک بار منفی) بیشتر باشد، به معنی بزرگ‌تر بودن، اندازه آن بار است.

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

شکل الف:

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

شکل ب:

یکی از موارد نادرست در این شکل آن است که خطوط میدان، در نقاط غیرواقع بر خطّ واصل دو بار، جهت میدان برآیند را به درستی 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.

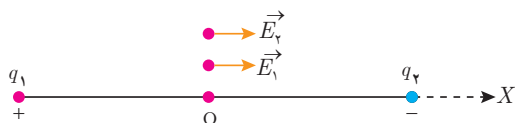
شکل پ:

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

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

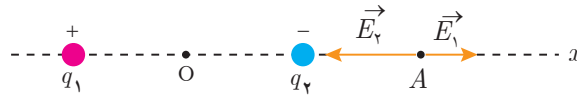


بنابراین در نقطه O داریم:

$$\begin{aligned}\vec{E}_O &= \vec{E}_1 + \vec{E}_2 = 2\vec{E}_1 = 2k \frac{q_1}{r_1^2} \vec{i} \\ &= 2(9 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2) \frac{(1 \times 10^{-9} \text{ C})}{(0.3 \text{ m})^2} \vec{i} \\ &= (2 \times 10^4 \text{ N/C}) \vec{i}\end{aligned}$$

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

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



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

که چون، به نقطه A نزدیک‌تر است $E_2 < E_1$ می‌شود و میدان الکتریکی برآیند در جهت $-\vec{i}$ خواهد بود:

$$\vec{E}_A = (E_2 - E_1)(-\vec{i})$$

$$= \left(\frac{kq}{r_2^2} - \frac{kq}{r_1^2} \right) (-\vec{i})$$

$$= (9 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2) \left(\frac{1}{(0.03 \text{ m})^2} - \frac{1}{(0.09 \text{ m})^2} \right) (-\vec{i})$$

$$= 8.9 \times 10^3 \text{ N/C} (-\vec{i})$$

بنابراین، بزرگی میدان در نقطه A برابر $E_A = 8.9 \times 10^3 \text{ N/C}$ ، جهت آن به طرف چپ $(-\vec{i})$ است.

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

۱۶ الف) نیرو از رابطه $F_E = |q|E$ به دست می‌آید. بنابراین چون میدان،

یکنواخت است نیروی الکتریکی وارد بر بار q در تمام نقاط مسیر برابر است با

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

(ب) کار نیروی الکتریکی از رابطه $W = |q|Ed \cos \theta$ به دست می‌آید.

بنابراین در مسیر AB که $\theta = 90^\circ$ است. $W_{AB} = 0$ می‌شود، ولی در مسیر BC جابه‌جایی در خلاف جهت نیروی الکتریکی و $\theta = 180^\circ$ است، داریم:

$$W_{BC} = -|q|Ed$$

$$= -(5 \times 10^{-4} \text{ C})(8 \times 10^5 \text{ N/C})(0.4 \text{ m})$$

$$= -0.16 \text{ J}$$





کار نیروی الکتریکی در مسیر ABC برابر با حاصل جمع کار نیروی الکتریکی در مسیرهای AB و BC است، و بنابراین برابر همان 16 J است. می شود.

پ) می دانیم $\Delta U = -W_E$ است و بنابراین $\Delta U = 16\text{ J}$ می شود.

۱۷ الف) چون بار آزمون در خلاف جهت میدان جابه جا شده است و نیروی الکتریکی وارد به میدان هم سو با میدان است، $\theta = 18^\circ$ است، و در نتیجه کار نیروی الکتریکی طبق رابطه $W = |q|Ed \cos \theta$ ، مقداری منفی می شود.

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

پ) طبق رابطه $\Delta U = -W_E$ چون $W_E < 0$ شده است، $\Delta U > 0$ می شود. پس انرژی پتانسیل زیاد می شود.

ت) با توجه به رابطه $\Delta V = \Delta U/q$ و مثبت بودن ΔU و q ، ΔV نیز مثبت می شود. از طرفی $\Delta V = V_B - V_A$ است. چون $\Delta V > 0$ است، بنابراین پتانسیل B از پتانسیل A بیشتر است.

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

یک پرسش تکمیلی که می توان برای این پرسش مطرح کرد این است که بار را در مسیرهای غیرمستقیمی از A به B نزدیک کرد و دوباره همین پرسش ها را مطرح نمود.



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

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

$$E = \frac{|\Delta V|}{d} = \frac{10^3 \text{ V}}{2 \times 10^{-2} \text{ m}} = 5 \times 10^4 \text{ V/m}$$

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

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

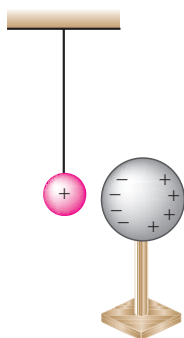
$$\begin{aligned}\Delta U &= q(V_f - V_i) \\ &= (-4 \times 10^{-9} \text{ C})(-10 \text{ V} - (-40 \text{ V})) = -1/2 \times 10^{-6} \text{ J} \\ &= -1/2 \mu\text{J}\end{aligned}$$

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

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

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

میدان الکتریکی خالص داخل آن صفر باشد. پس به بیانی ساده، آونگ بارهای منفی کره را خنثی می‌کند و آونگ و کره هر دو دارای بار مثبت می‌شوند و بنابراین آونگ از کره دفع می‌گردد.



۲۲ این پدیده نیز بر اثر القا صورت می گیرد. براده های ریز آلومینیومی بدون بار مثل یک رسانای خنثی هستند که در میدان الکتریکی حاصل از صفحه پلاستیکی باردار قرار گرفته اند. بسته به اینکه بار صفحه پلاستیکی، مثبت یا منفی باشد، در سطح مقابل آن در براده ها، بار منفی یا مثبت القا می شود که این با توجه به توضیحی که در پاسخ پرسش ۲۱ ارائه شد، موجب جذب براده ها به صفحه پلاستیکی می شود.

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

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

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

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

$$Q = CV = C(V_f - V_i)$$

و از آنجا

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





۲۶ وقتی دی الکتریکی قطبی مانند آب در میدان الکتریکی خارجی قرار گیرد، مولکول‌های دوقطبی می‌کوشند در جهت میدان الکتریکی هم‌ردیف شوند، به‌طوری که سر منفی مولکول‌ها در جهت مقابل پیکانه خطوط میدان الکتریکی، و سر مثبت مولکول‌ها در همان جهت پیکانه خطوط میدان الکتریکی قرار گیرند. بنابراین وقتی آب در میدان الکتریکی خارجی قرار می‌گیرد. مولکول‌های دوقطبی با میدان هم‌سو می‌شوند و مثلاً اگر بادکنک بار منفی پیدا کرده باشد، سر مثبت مولکول‌های دوقطبی در برابر آن قرار می‌گیرد. بادکنک منفی، سر مثبت هر مولکول را جذب و سر منفی همان مولکول را دفع می‌کند. با توجه به مقایسه فاصله سرهای مثبت و منفی هر مولکول تا بادکنک، درمی‌یابیم نیروی جاذبه قوی‌تر از دافعه است 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 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 سر منفی آنها در اینجا در مقابل بار مثبت شیشه قرار گیرد و بدین ترتیب جذب آن شود.

۲۸ از ظرفیت یک خازن تخت، مساحت صفحه‌های A ی آن را به‌دست می‌آوریم:

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

توجه کنید این مساحت، متناظر با مساحت مربعی به ضلع حدوداً 10^4 km است. حجم چنین خازنی دست کم برابر $Ad = 1/1 \times 10^8 \text{ m}^2$ است، یعنی مکعبی به ضلع تقریبی 50 m . بنابراین امکان ساختن چنین خازنی به طریق معمول ناممکن و یا دست کم غیر معقول 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 1 F بیاور!» البته امروزه می‌توان خازن‌های یک فارادی یا حتی با ظرفیت‌های بزرگ‌تری را به ضلع فقط چند سانتی‌متر ساخت. شگرد آن این است

که فضای میان صفحه‌ها با مواد مناسبی پر شود. مثلاً آبرخازن‌ها که در فایات ۱-۱۱ به آن پرداختیم، از این دست خازن‌ها هستند.

۲۹ توجه کنید که در این مسئله، خازن همچنان به باتری بسته شده است و بنابراین اختلاف پتانسیل بین صفحه‌های آن تغییری نمی‌کند. پس گزینه (ب) نادرست است. با دو برابر کردن فاصله بین صفحه‌ها، ظرفیت خازن طبق رابطه $C = \epsilon A/d$ نصف می‌شود و بنابراین گزینه (پ) نیز نادرست است. با توجه به اینکه ظرفیت خازن کاهش می‌یابد، در حالی که اختلاف پتانسیل ثابت است، بار خازن طبق رابطه $Q = CV$ کاهش پیدا می‌کند و بنابراین گزینه (ت) نیز نادرست است.

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

٣٠ با استفاده از رابطه‌های $C = kC$ و $C = \frac{\epsilon A}{d}$ داریم:

$$C = k\epsilon \cdot \frac{A}{d}$$

$$= (4/9)(8/85 \times 10^{-12} \frac{F}{m}) \frac{(1/100 m)^2}{(0/500 \times 10^{-3} m)} = 8/67 \times 10^{-8} F \approx 87 nF$$



٣١ جرقه حاصل، بزرگ‌تر می‌شود. این انرژی از کاری حاصل می‌شود که با افزایش فاصله صفحات خازن (بر علیه جاذبه الکتریکی صفحه‌ها) توسط ما ایجاد شده است. روش دیگر آن است که بگویم ظرفیت خازن کم شده است، ولی بار تغییر نکرده است. طبق رابطه $V = Q/C$ ، این به معنی افزایش اختلاف پتانسیل است. افزایش ولتاژ، خود به معنی افزایش اختلاف انرژی پتانسیل الکتریکی است. این را به‌طور مستقیم از رابطه $U = Q^2/2C$ نیز می‌توانستیم دریابیم. پس هنگام تخلیه خازن، جرقه پرا انرژی‌تر و بزرگ‌تری خواهیم داشت.

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

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

$$\begin{aligned}\Delta U &= \frac{(Q + \Delta Q)^2}{2C} - \frac{Q^2}{2C} = \frac{\Delta Q^2 + 2Q\Delta Q}{2C} \\ &= \frac{(3 \times 10^{-3} \text{ C})^2 + 2Q(3 \times 10^{-3} \text{ C})}{2(12 \times 10^{-6} \text{ F})} \\ &= 0.375 + Q(0.25 \times 10^{-2}) = 8\end{aligned}$$

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

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



فصل دوم

جریان الکتریکی و مدارهای جریان مستقیم

پیامدها

دانش‌آموزان با درک مفاهیم این فصل :

- با جریان الکتریکی و سرعت سوق الکترون‌های آزاد آشنا می‌شوند.
- با مقاومت الکتریکی، قانون اهم و عوامل مؤثر بر مقاومت الکتریکی آشنا می‌شوند.
- تأثیر دما بر مقاومت الکتریکی را می‌شناسند.
- با انواع مقاومت‌ها، مقاومت‌های خاص و دیودها آشنا می‌شوند.
- با مفهوم نیروی محرکه الکتریکی و نقش آن در مدارهای الکتریکی آشنا می‌شوند.
- فرق منبع نیروی محرکه الکتریکی واقعی و آرمانی را می‌شناسد.
- با مفهوم افت پتانسیل، و توان تولیدی و مصرفی در مدارهای الکتریکی آشنا می‌شوند.
- با روش بستن متوالی و موازی مقاومت‌ها و چگونگی تعیین مقاومت معادل آنها آشنا می‌شوند.
- توان خروجی یک منبع نیروی محرکه واقعی را می‌شناسند.

چه شناختی مطلوب است؟

- همه بارهای متحرک، جریان ایجاد نمی‌کنند. جهت واقعی حرکت بارها برخلاف جهت قراردادی است و سرعت سوق الکترون‌ها متفاوت از سرعت انتشار میدان الکتریکی است.
- جریان عبوری از یک مقاومت اهمی همواره با اختلاف پتانسیل اعمال شده به دوسر آن رابطه مستقیم دارد.
- مقاومت یک رسانا به طول، مساحت مقطع و جنس آن بستگی دارد.
- افزایش دما، موجب افزایش برخورد حامل‌های بار با شبکه اتمی رسانای فلزی و در نتیجه افزایش مقاومت رسانا در برابر عبور جریان می‌شود.
- مقاومت‌های پیچیده‌ای (از جمله رئوستا) و مقاومت‌های ترکیبی از انواع مقاومت‌ها هستند و ترمیستور و مقاومت‌های نوری، به ترتیب مقاومت‌های وابسته به دما و نور هستند. دیود قطعه‌ای است که به عنوان یکسوکننده جریان در مدارهای الکتریکی عمل می‌کند.
- برای اینکه بارهای الکتریکی را در یک مدار به حرکت واداریم، به وسیله‌هایی مانند باتری نیاز داریم تا بارهای مثبت را در خلاف جهت میدان الکتریکی از پتانسیل پایین‌تر به پتانسیل بالاتر ببرند.
- هرگاه در جهت جریان مقاومتی عبور کنیم، پتانسیل کاهش می‌یابد و بالعکس. هرگاه از پایانه منفی منبع نیروی محرکه به سمت پایانه مثبت آن حرکت کنیم، پتانسیل افزایش می‌یابد و بالعکس.
- در هر دور زدن کامل حلقه‌ای از مدار، جمع جبری اختلاف پتانسیل‌های اجزای مدار صفر است.
- منبع‌های نیروی محرکه الکتریکی واقعی همواره دارای مقاومت داخلی هستند.
- یک جزء مدار که اختلاف پتانسیلی در دوسر آن برقرار است، می‌تواند بسته به آنکه توان آن مثبت یا منفی باشد به بقیه مدار انرژی بدهد یا از بقیه مدار انرژی بگیرد.
- مجموع جریان‌هایی که به هر نقطه انشعاب وارد می‌شوند برابر با مجموع جریان‌هایی است که از آن نقطه خارج می‌شوند.
- با دانستن مقاومت‌ها، مقاومت‌های معادل مقاومت متوالی یا موازی به دست می‌آید.

چه پرسش‌هایی اساسی است و باید در نظر گرفته شوند؟

- جهت قراردادی جریان چیست و آیا هر شارشی از بارهای متحرک لزوماً جریان الکتریکی ایجاد می‌کند؟
- فرق سرعت سوق الکترون‌های آزاد و سرعت انتشار میدان الکتریکی در مدار چیست؟
- فرق تعریف مقاومت و قانون اهم چیست و به چه رساناهایی، رسانای اهمی گفته می‌شود؟
- عوامل مؤثر بر مقاومت الکتریکی یک رسانا چیست؟
- رفتار مقاومت یک رسانا با دما چگونه است و چرا در نیم‌رساناها این رفتار متفاوت است؟
- انواع مقاومت‌ها و ساختار آنها چیست؟
- مقاومت‌های خاص و دیودها و کاربردهای آنها کدامند؟
- چگونه منبع‌های نیروی محرکه الکتریکی، جریان ثابتی را در مدار برقرار می‌کنند؟
- فرق یک منبع نیروی محرکه الکتریکی آرمانی با یک منبع نیروی محرکه واقعی چیست؟
- هرگاه در یک مدار در جهت جریان از مقاومتی عبور کنیم، پتانسیل چگونه تغییر می‌کند؟
- هرگاه در یک مدار از پایانه منفی به طرف پایانه مثبت یک منبع نیروی محرکه حرکت کنیم، پتانسیل چگونه تغییر می‌کند؟
- در هر دور زدن کامل حلقه‌ای از مدار، جمع جبری اختلاف پتانسیل چگونه می‌شود؟
- فرق توان تولیدی در مدارهای الکتریکی با توان مصرفی چیست و در چه صورت یک جز مدار به بقیه مدار انرژی می‌دهد و یا این جز از بقیه مدار انرژی می‌گیرد؟
- توان خروجی یک منبع نیروی محرکه چیست؟
- انواع ترکیب مقاومت‌ها چگونه است و مقاومت معادل ترکیبی از مقاومت‌ها را چگونه محاسبه می‌کنند؟
- در هر نقطه انشعاب، جریان‌ها چگونه رفتار می‌کنند؟

در پایان این واحد یادگیری دانش آموزان چه دانش و مهارت‌های اساسی را کسب می‌کنند؟

دانشی

با مفاهیم جریان الکتریکی، سرعت سوق، مقاومت الکتریکی و قانون اهم، عوامل مؤثر بر مقاومت الکتریکی، مقاومت ویژه، تغییر مقاومت با دما و رفتار مقاومت رساناها و نارساناها، انواع مقاومت‌ها و کدگذاری رنگی مقاومت‌های کربنی، مقاومت‌های خاص از جمله ترمیستور و مقاومت‌های نوری، و دیودها، منبع نیروی محرکه الکتریکی واقعی و آرمانی، قاعده‌های حلقه و انشعاب، توان تولیدی و توان مصرفی در مدارهای الکتریکی، توان خروجی یک منبع نیروی محرکه واقعی، ترکیب مقاومت‌ها و تعیین مقاومت معادل در اتصال‌های متوالی و موازی آشنا می‌شوند.

مهارتی

به مهارت بستن مدارهای الکتریکی ساده، شناسایی باتری‌ها از روی آمپر-ساعت آنها، مهارت انجام آزمایش تحقیق قانون اهم، مهارت انجام آزمایش تعیین عوامل مؤثر بر مقاومت الکتریکی، تعیین مقاومت یک لامپ رشته‌ای، چگونگی کار یک مقاومت پلاتینی، نمره‌بندی مهندسی سیم‌ها، تشخیص انواع مقاومت‌ها از یکدیگر و خواندن مقاومت مقاومت‌های ترکیبی از روی حلقه‌های روی آنها، مهارت انجام آزمایش با ترمستور، مقاومت‌های نوری، دیود و کاربردهای آنها، تشخیص آثار تخریبی الکتریسیته بر بدن، محاسبه مقاومت داخلی باتری‌ها و تشخیص تفاوت یک باتری نو از فرسوده، چگونگی تعیین قیمت برق مصرفی، مهارت انجام آزمایش ژول، لامپ‌های سهرابه و کاربردهای آنها و نیز کلیدهای الکترونیکی و طرز کار آمپرسنج، ولت‌سنج و اهم‌سنج آشنا می‌شوند.

بودجه‌بندی پیشنهادی

بنا به صلاحدید مدرس، ۱۴ جلسه ۹۰ دقیقه‌ای

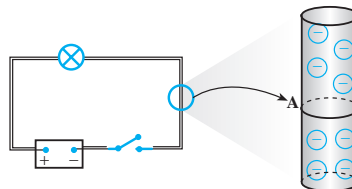


توجه دانش‌آموزان را به تصویر ورودی فصل و متن زیر آن جلب کنید تا به اهمیت دانشی که در این فصل می‌آموزند آگاه شوند. این تصویر بدان جهت انتخاب شده است که به یکی از کاربردهای مفاهیم این فصل اشاره شود. افزون بر این تصویر می‌توانید با مثال‌های کاربردی دیگر، زمینه مناسبی را برای ورود به فصل مهیا سازید.

۱-۲- جریان الکتریکی

خوب است با توجه به دانشی که دانش‌آموزان از فصل پیش کسب کرده‌اند، علاوه بر جهت جریان، جهت میدان الکتریکی نیز پرسیده شود که برخلاف جهت حرکت خالص بارهای منفی است و بنابراین در جهت جریان قرار دادی می‌شود.

می‌توانید به گونه‌ای ملموس با طرح پرسش‌هایی که دانش‌آموزان می‌توانند با دانشی که از فصل ۱ به دست آورده‌اند به آنها پاسخ دهند، این بحث را بیشتر بشکافید. مثلاً برای مدار شکل ۵-۲، شکلی مانند زیر رسم کنید و اشاره کنید که با بستن کلید، بین دو رسانا اختلاف پتانسیل ایجاد می‌شود و از آنها بخواهید حرکت الکترون‌های آزاد و اینکه جهت جریان آیا از پتانسیل بیشتر است به سمت پتانسیل کمتر یا برعکس، توضیح دهند. انتظار داریم دانش‌آموزان به برقراری میدان الکتریکی در داخل رسانا اشاره کنند و براساس آن، نیروی وارد بر بار الکتریکی را توضیح دهند و نتیجه بگیرند شارش آرامی از الکترون‌های آزاد در خلاف جهت میدان الکتریکی به وجود می‌آید و اینکه اگر در جهت میدان حرکت کنیم در واقع به طرف نقطه‌هایی با پتانسیل الکتریکی کمتر می‌رویم.



در این فیلم ایجاد نوعی جریان الکتریکی را مشاهده می‌کنید.

فیلم

خوب است تأکید شود که آنچه اصطلاحاً سرعت جریان می‌نامیم عبارت از سرعت انتشار تغییرات میدان الکتریکی در امتداد رسانا است و ابداً سرعت حرکت (سوق) حامل‌های بار نیست. مثال مکانیکی مشابه دیگر سوخت‌رسانی از یک شهر به شهر دیگر است. با افزایش فشار در شهر مبدأ، سوخت با سرعت زیادی انتقال می‌یابد و در زمان کوتاهی به شهر دوم می‌رسد. ولی حرکت ذرات خود سوخت بسیار کند است و ممکن است روزها طول بکشد تا ذره معینی از سوخت، از شهر اول به شهر دوم برسد.



خوب است در مورد شکل ۷-۲ اشاره شود که در حضور میدان الکتریکی، در واقع امر، هر بخش مسیر زیگزاگ اندکی خمیده می‌شود.



پاسخ فعالیت ۱-۲

وقتی کلید را می‌زنیم، میدان الکتریکی با سرعتی نزدیک به سرعت نور برقرار می‌شود و الکترون‌های آزاد در سرتاسر سیم به‌طور هم‌زمان تحت تأثیر این میدان قرار می‌گیرند. توجه کنید 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 سرباز (در تشابه با الکترون‌ها) را در نظر بگیرید که به حالت خبردار ایستاده‌اند. وقتی دستور قدم رو صادر می‌شود (در تشابه با زده شدن کلید) این دستور با سرعت صوت (در تشابه با سرعت نور در مسئله ما) به گوش سربازان (الکترون‌ها) می‌رسد و آنها هم‌زمان گام برمی‌دارند؛ زیرا این سرعت بسیار سریع‌تر از سرعت حرکت سربازان (الکترون‌ها) است و به همین علت است که سربازان (الکترون‌ها) تقریباً هم‌زمان شروع به حرکت می‌کنند.



خوب است تأکید شود انتقال بار $+q$ در یک جهت، یا بار $-q$ در خلاف جهت آن کاملاً مشابه یکدیگرند. بنابراین باری که در رابطه ۱-۲ ظاهر شده حاکی از مجموع بارهایی است که عملاً توسط حامل‌های بار مثبت در جهت قراردادی جریان، و توسط حامل‌های بار منفی در خلاف این جهت انتقال یافته است.



پاسخ تمرین ۱-۲

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

$$\Delta t = \frac{5 \cdot \text{Ah}}{5 \cdot \text{A}} = 1 \cdot \text{h} \quad (\text{الف})$$

(ب) اکنون داریم:

$$\Delta t = \frac{1000 \cdot \text{mAh}}{1000 \cdot \mu\text{A}} = \frac{1000 \cdot \text{mAh}}{1 \cdot \text{mA}} = 1000 \cdot \text{h}$$

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



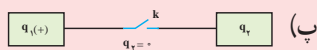
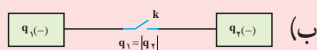
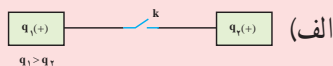
توجه داده شود که یکای آمپر – ساعت یکای غیر SI (متری) بار الکتریکی و معادل $3600^\circ C$ است که عموماً برای آنچه ظرفیت باتری گفته می‌شود به کار برده می‌شود. بار الکتریکی یکای غیرمتری دیگری از جمله ثابت فاراد نیز دارد که بار یک مول الکترون تقریباً برابر $26/8Ah$ است.

در این فیلم، تزریق دارو به روش یون رانی را می‌بینید.



پرسی های پیشنهادی

- ۱ چرا هنگام آذرخش، وقتی که برق می‌زند، همه چیز بی حرکت به نظر می‌رسد؟ پاسخ: علت آن است که برق مانند هر جرقه الکتریکی دیگری، مدت زمان بسیار کوتاهی طول می‌کشد و در این مدت کوتاه، کمتری چیزی می‌تواند آتقدر تغییر مکان دهد تا با چشم دیده شود.
- ۲ در هر یک از شکل های زیر با بستن کلید k، بارهای الکتریکی از کدام جسم به دیگری منتقل می‌شود؟ اجسام و سیم های رابط، رسانا هستند و اندازه اجسام با هم برابر است.

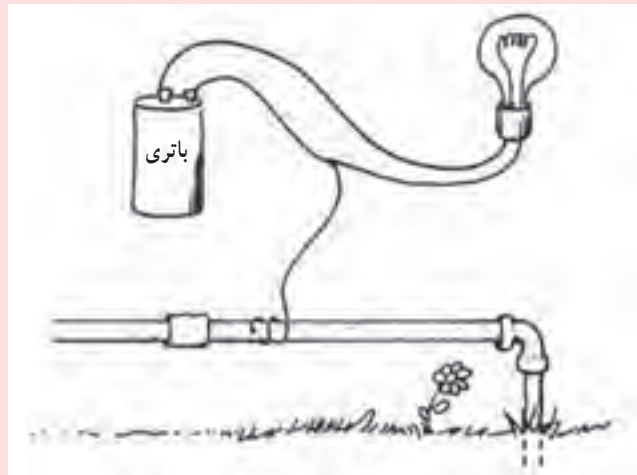


پاسخ: می‌دانیم در رساناها، الکترون های آزاد جابه جا می‌شوند. بنابراین:

الف) الکترون‌ها از جسم (۲) به جسم (۱) آنقدر جابه‌جا می‌شوند تا بار دو جسم یکی شود؛ یعنی بار هر دو جسم $(\frac{q_1 + q_2}{2})$ می‌شود.
 ب) الکترون‌ها از جسم (۲) به جسم (۱) جابه‌جا می‌شوند و چون اندازه دو بار یکسان است، سرانجام هر دو جسم بدون بار می‌شوند.
 پ) از جسم (۲) آنقدر الکترون‌ها به سمت جسم (۱) جابه‌جا می‌شود تا بار هر دو جسم یکسان شود؛ یعنی بار هر دو جسم $(\frac{+q_1}{2})$ می‌شود.

ت) از جسم (۱) الکترون‌ها به سمت (۲) آنقدر جابه‌جا می‌شود تا بار دو جسم یکسان شود؛ یعنی هر دو جسم دارای بار منفی $(\frac{-q}{2})$ شوند.

۳ اگر مطابق شکل زیر یک سیم اتصال به زمین شود، آیا لامپ روشن خواهد ماند؟



پاسخ : بله.

تمرین‌های پیشنهادی

یکی از مدارهای یک وسیله الکتریکی با جریان $2/5 \text{ mA}$ کار می‌کند. در مدت $1/10 \text{ s}$ چه تعداد الکترون به این بخش وسیله وارد و از آن خارج می‌شود؟
 پاسخ : از رابطه ۱-۲ داریم :

$$\Delta Q = I \Delta t = (2/5 \times 10^{-3} \text{ A}) (1/10 \text{ s}) = 2/5 \times 10^{-3} \text{ C}$$

هر الکترون بار $e = 1/60 \times 10^{-19} \text{ C}$ دارد. بنابراین تعداد الکترون برابر است با

$$N = \frac{\Delta Q}{e} = \frac{2/5 \times 10^{-3} \text{ C}}{1/60 \times 10^{-19} \text{ C}} = 1/6 \times 10^{16}$$



۲-۲ - مقاومت الکتریکی و قانون اهم
خوب است دوباره اشاره شود که اختلاف پتانسیل را در اینجا با نماد V مشخص کرده ایم.

برای اطلاعات عمومی می توان اشاره کرد که وارون مقاومت الکتریکی، رسانای الکتریکی نام دارد و یکای آن زیمنس (Siemens) نامیده می شود. اما کمیتی که معمولاً در کتاب های الکتریسته معرفی می شود، رسانندگی الکتریکی است که وارون مقاومت ویژه است.



خوب است پیش از معرفی اسباب تحقیق قانون اهم از دانش آموزان بخواهیم مروری بر دانش های قبلی خود در دوره اول متوسطه داشته باشند و اجزای ساده مدار و نمادهای آن را به خاطر آورند و مثلاً بتوانند مداری مانند مدار شکل زیر را ببینند و آن را با علامت های اختصاری این اجزا نمایش دهند.



خوب است دوباره تأکید شود قانون اهم درباره همه رسانهها برقرار نیست. این قانون درباره رسانههایی برقرار است که مقاومتشان به ولتاژ اعمال شده و جریان بستگی نداشته باشد. به همین دلیل، گازهای یونیده که رسانای جریان هستند، از قانون اهم پیروی نمی کنند؛ زیرا مقاومت این گازها به ولتاژ اعمال شده بستگی دارد.



۳-۲- عوامل مؤثر بر مقاومت الکتریکی

انجام فعالیت ۲-۲ بسیار اهمیت دارد و با انجام آن دانش آموزان حدس می‌زنند مقاومت یک رسانای فلزی به چه عامل‌هایی بستگی دارد و از آنجا به رابطه بین مقاومت و متغیرهای مرتبط دست می‌یابند.



دانستنی برای معلم

خطر برخی از تجهیزات پزشکی

برخی از تجهیزات پزشکی، مسیر مستقیمی از جریان را به قلب فراهم می کنند. ولی این کار مثل یک شمشیر دو دم است. زیرا در این صورت جریان های خیلی کوچک نیز می توانند خطر آفرین باشند. مثلاً سوندها را به منظورهای بسیاری در دستگاه گردش خون و گاهی هم در داخل خود قلب قرار می دهند. مقاومت خون و محلول های نمک ناچیز است، و البته رگ های خون نیز مسیرهای مستقیمی را به قلب فراهم می کنند و این به معنی آن است که یک ولتاژ اندک هم می تواند جریان های مرگباری تولید کند. پس، هر وسیله پزشکی که مسیر الکتریکی مستقیمی را به قلب فراهم می کند باید استانداردهای ایمنی سختی داشته باشد و به همین دلیل در مؤسسه های پزشکی، استانداردهای شدیدی برای محدود ساختن جریان هایی وضع شده است که ممکن است تصادفاً از بدن بیمار عبور کنند.

تمرین های پیشنهادی

۱ جدول های زیر، جریان I را که از دو وسیله به ازای چند مقدار اختلاف پتانسیل می گذرد، نشان می دهد. با استفاده از این داده ها تعیین کنید کدام یک از این دو وسیله از قانون اهم پیروی می کنند؟

وسيلة ۱

I (A)	V (V)
۴/۵۰	۲/۰۰
۰/۷۵	۳/۰۰
۹/۰۰	۴/۰۰

وسيلة ۲

I (A)	V (V)
۱/۵۰	۲/۰۰
۲/۲۰	۳/۰۰
۲/۸۰	۴/۰۰

پاسخ : وسیله ۲.

۲ مقاومت بدن انسان می تواند چندین ده هزار اهم باشد. این مقاومت را مساوی 36000Ω بگیرید. جریانی را محاسبه کنید که با لمس سیم $V 220$ از بدن شخص می گذرد.

پاسخ : $6/1 \text{ mA}$.

این تشابه را می‌توان به طول لوله نیز تعمیم داد. مقاومت لوله بلند در برابر آب بیشتر از مقاومت لوله کوتاه است. همچنین اگر لوله را با پنبه یا ماسه نیم‌مسدود کنند، این مانند مقاومت ویژه عمل می‌کند که مقاومت در برابر جاری شدن آب را زیاد می‌کند. آهنگ جاری شدن آب مانند جریان الکتریکی، و اختلاف فشار مانند اختلاف پتانسیل است.

در استفاده از معادله ۴-۲ توجه داده شود که چون دما به صورت اختلاف ظاهر شده است، می‌توان از هر دو مقیاس کلون و سلیسیوس استفاده کرد. همچنین خوب است تذکر داده شود که دانش‌آموزان α در اینجا را برای ضریب انبساط که در سال گذشته خوانده‌اند اشتباه نگیرند. البته می‌توان برای اینکه این تمایز جا بیفتد به تشابهات دو رابطه و نیز تمایز آنها اشاره شود.

در اینجا فعالیت پیشنهادی این بخش حتماً مطرح شود.

این اسلاید شامل یک جدول با مشخصات فیزیکی مواد مختلف (مانند چوب، پلاستیک، فلزات) است. همچنین یک نمودار مدار الکتریکی و متنی در مورد رابطه بین طول و مقاومت ارائه می‌دهد.

این اسلاید شامل دو بخش اصلی است. بخش بالا یک نمودار از یک سیم که توسط جریان الکتریکی گرم می‌شود را نشان می‌دهد و به رابطه بین جریان، مقاومت و گرما می‌پردازد. بخش پایین یک نمودار از یک سیم که خم می‌شود را نشان می‌دهد و به رابطه بین طول، مساحت مقطع و مقاومت می‌پردازد.

این اسلاید شامل یک نمودار از یک سیم که خم می‌شود و یک گراف است که رابطه بین مقاومت و طول را برای سیم‌هایی با مساحت مقطع ثابت نشان می‌دهد. گراف یک رابطه خطی را نشان می‌دهد.

در این فیلم رفتار یک مایع آبشار را می‌بینید.



خوب است دلیل استفاده از مقاومت‌های متغیر بیان شود. این مقاومت‌ها برای هدف‌های مختلف از جمله محدود کردن جریان در مدار، ایجاد اختلاف پتانسیل‌هایی که بتوان به عنوان سیگنال به کار برد، یا فراهم آوردن ایمنی به کار می‌روند. به همین منظور در آزمایشگاه‌ها از مقاومت‌های متغیر استفاده می‌کنند. در آزمایشگاه معمولاً ابتدا مدارها را در حالت بیشترین مقاومت تنظیم می‌کنند و سپس مقاومت آن را به تدریج تغییر می‌دهند تا به جریان دلخواه برسند. دلیل این امر آن است که معمولاً عبور جریان زیاد از یک قطعه الکتریکی سبب سوختن آن می‌شود. وقتی مقاومت زیاد باشد، جریان کمی از مدار می‌گذرد و با تنظیم مقاومت می‌توان به جریان مناسب دست یافت.



خوب است اشاره شود که مقاومت‌ها را می‌توان گذشته از مقاومت الکتریکی، توسط پیشینه توان مصرفی مجاز نیز طبقه‌بندی کرد. همان‌طور که خواهیم دید توان مصرفی مقاومت‌ها از رابطه V^2/R به دست می‌آید. بنابراین وقتی مقاومت به ولتاژ بالایی وصل شود، بسیار بیشتر از زمانی که به ولتاژ کمی وصل شده است، گرم می‌شود. اگر توان مصرفی از حدّ معینی فراتر رود، دمای مقاومت چنان بالا می‌رود که به خود و اجزای مجاور صدمه می‌زند. پیشینه توان مصرفی می‌تواند از $\frac{1}{4}$ وات در وسیله‌های الکتریکی تا ۱۰۰ وات یا بیشتر در صنایع غذایی باشد.

در این فیلم سوختن مقاومت بر اثر جریان الکتریکی زیاد را می‌بینید.



فیلم

پاسخ تمرین ۲-۲

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

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

$$= (۴)(۷) \times 10^2 = ۴۷۰۰ \Omega$$

بنابراین، مقدار مقاومت نشان داده شده $47k\Omega$ و با تolerانس 1% درصد است. یعنی مقدار مجاز انحراف $4700\Omega = (4700 \pm 47) \Omega$ می شود. به عبارتی، مقاومت می تواند $47k\Omega \pm 470\Omega$ باشد. (توجه کنید تolerانس به بیان آماری در واقع انحراف معیار توزیع میانگین این نوع مقاومت های کارخانه سازنده در اندازه گیری های مقاومت الکتریکی است.)



در این فیلم ها چگونگی کار نوعی ترمیستور در مدار را می بینید.

فیلم

توجه کنید روشنایی (با یکای LUX) یا شدت روشنایی (با یکای Candela) که در کتاب فیزیک (۱) آمده متفاوت است ولی با آن رابطه دارد. یک مقدار نور مشخص اگر بر سطح بزرگ تری پخش شود، روشنایی کمتری ایجاد خواهد کرد. رابطه I_x با cd برابر است با

$$1 I_x = 1 cd \cdot sr/m^2$$

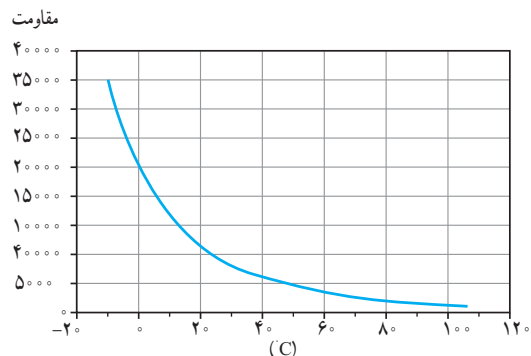
که در آن یکای SI زاویه فضایی است.



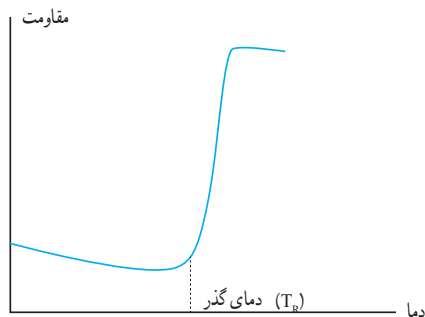
پاسخ فعالیت ۲-۳

ترمیستورها بر دو نوع NTC^1 و PTC^2 هستند. NTC ها از نیم رساناهای خالص مانند سیلیسیم یا ژرمانیم ساخته شده‌اند که همان‌طور که در مبحث تغییر مقاومت ویژه با دما دیدیم، با افزایش دما بر تعداد حامل‌های بار آنها افزوده می‌گردد و بدین ترتیب از مقاومت آنها کاسته می‌شود. به عبارت دیگر، ضریب دمایی مقاومت ویژه α ی آنها منفی است (شکل الف).

PTC ها خود بر دو نوع‌اند. یک نوع که به نام سیلیستور^۳ 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 PTC ها مانند فلزات رفتار کرده و مقاومت آنها با افزایش دما زیاد می‌شود. به عبارت دیگر، ضریب دمایی مقاومت ویژه آنها مثبت است. نوع دیگر آنها، رفتار ویژه‌ای دارد، به طوری که ضریب دمایی مقاومت ویژه آنها تا پیش از دمایی خاص موسوم به دمای گذار (با نماد T_R که به آن نقطه کوری^۴ نیز می‌گویند) اندکی منفی است و پس از آن در یک محدوده دمایی تغییر چشمگیری می‌کند و به شدت مثبت می‌گردد. به این نوع PTC ها، نوع تعویضی^۵ گفته می‌شود؛ چرا که ضریب دمایی مقاومت ویژه آنها پس از نقطه کوری تغییر چشمگیری پیدا می‌کند و از یک مقدار کم منفی به مقدار مثبت بالایی تعویض می‌شود (شکل ب). به عبارتی، یک تغییر دمای چنددرجه‌ای به تغییر مقاومتی با چندین مرتبه بزرگی می‌انجامد. این نوع PTC ها اغلب در یک گستره دمایی $60^\circ C$ تا $120^\circ C$ طراحی شده‌اند. از PTC ها برای تنظیم جریان و جلوگیری از افزایش آن در مدارهای الکتریکی استفاده می‌شود.



الف) مقاومت برحسب اهم در یک گستره دمایی برای یک نمونه ترمیستور NTC



ب) نمودار مقاومت دما برای نوع تعویضی PTC ها (نمودار به مقیاس نیست)



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

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

^۳ Silistor برگرفته از Silicon Thermistor

^۴ Curie point

^۵ Switching

چه در مورد ترمیستور و چه در مورد LDR با توجه به اینکه مقاومت با دما یا تابش نور تغییر می‌کند، توجه داده شود که یکی از کاربردهای مهم این دو مقاومت خاص در تقسیم ولتاژ است. در این مورد می‌توانید مثال ۲-۱۶ را که در آن یک LDR این وظیفه را انجام داده است، بدون تفصیل فرمولی مطرح کنید. مقاومت خاص دیگری از این دست، سنج‌های کرنشی (strain gauges) هستند که می‌توانید از دانش‌آموزان بخواهید در مورد آنها نیز تحقیق کنند.



در این فیلم‌ها چگونگی کار نوعی LDR در مدار را می‌بینید.

فیلم

پاسخ پرسش ۲-۱

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



فاجعه هیندنبُِرگ

یکی از افتخارات کشور آلمان و یکی از عجایب آن زمان، کشتی هوایی هیندنبُِرگ^۱ بود که طولی تقریباً سه برابر یک زمین فوتبال داشت – این بزرگ‌ترین ماشین پروازی بود که تا آن زمان ساخته شده بود. هرچند این کشتی توسط ۱۶ مخزن هیدروژن که به طرز خطرناکی قابل اشتعال بود در هوا نگه داشته می‌شد، با این حال بدون هیچ‌گونه حادثه‌ای، سفرهای زیادی بر فراز اقیانوس اطلس انجام داده بود. در واقع، برای کشتی‌های هوایی آلمان که پرواز همگی آنها متکی بر هیدروژن بود، هیچ حادثه‌ای که ناشی از وجود هیدروژن باشد، رخ نداده بود. ولی، در ۶ مه ۱۹۳۷، وقتی هیندنبُِرگ برای فرود بر پایگاه نیروی دریایی آمریکا واقع در لاکه‌هَرسْت^۲ نیوجرسی آماده می‌شد، آتش گرفت.

خدمه کشتی که منتظر مانده بودند تا باد و باران تقریباً منطقه را ترک کند، طناب‌هایی را برای خدمه پایگاه زمینی انداختند. در همین زمان بود که موج‌هایی در اطراف کشتی به فاصله حدود یک سوم از عقب آن مشاهده شد. چند ثانیه بعد، آتش در آن ناحیه زبانه کشید و نور قرمز رنگی، درون کشتی را روشن ساخت. پس از حدود ۳۰ ثانیه این کشتی سوزان سقوط کرد، ۳۶ نفر را کشت و موجب سوختگی خیلی‌های دیگر شد. در اینجا می‌خواهیم بررسی کنیم چرا پس از آن همه پروازهای مطمئنی که کشتی‌های هوایی انجام داده بودند، این کشتی هوایی آتش گرفت.



وقتی هیندنبُِرگ آماده فرود بود، و پس از انداخته شدن طناب‌ها به سوی خدمه روی زمین، طناب‌ها در باران خیس شدند (و در نتیجه توانستند جریان الکتریکی را رسانش دهند). طناب‌ها اسکلت فلز کشتی را که به آن متصل بودند به زمین/تصال دادند؛ یعنی، آنها مسیری رسانا را بین اسکلت فلزی کشتی و زمین تشکیل دادند، که این موجب هم‌پتانسیل شدن پتانسیل الکتریکی اسکلت با پتانسیل الکتریکی زمین شد. بدنه بیرونی کشتی نیز بایستی متصل به زمین می‌شد، اما هیندنبُِرگ نخستین کشتی هوایی بود که بدنه آن با چندین لایه مختلف که دارای مقاومت الکتریکی بالایی بودند، بتونه شده بود (و در نتیجه جریان را به میزان ناچیزی رسانش می‌داد). بنابراین، پتانسیل الکتریکی بدنه در همان پتانسیل الکتریکی جو، در ارتفاع حدوداً ۴۳ متری کشتی هوایی، باقی ماند. به دلیل وجود باران، این پتانسیل نسبت به پتانسیل زمین، بزرگ بود.

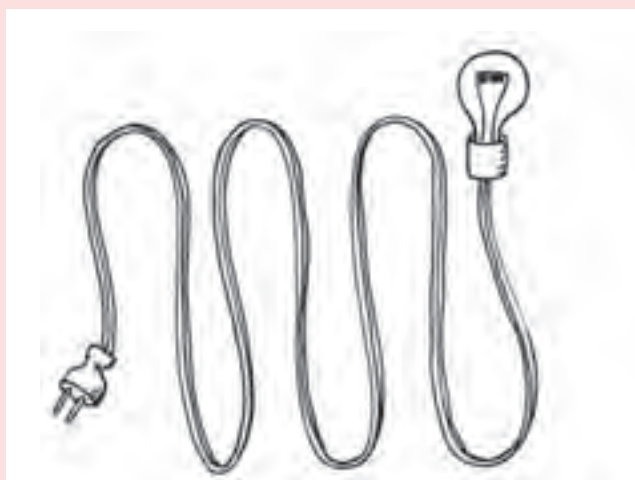
۱- Hindenburg

۲- Lakehurst

چنین وضعیتی خطرناک بود: بدنه کشتی در پتانسیل کاملاً متفاوتی با اسکلت فلزی کشتی قرار داشت. ظاهراً بار الکتریکی بر روی سطح خیس بیرونی بدنه جاری شد، و سپس رو به داخل، به سمت اسکلت فلزی کشتی جرقه زد. دو استدلال مهم درباره اینکه چگونه این تخلیه جرقه‌ای موجب آتش‌سوزی شد، وجود دارد. یک استدلال این است که جرقه باعث احتراق لایه‌های بتونه شد. استدلال دیگر آن است که یکی از مخازن هیدروژن از هم گسیخت، و باعث آزاد شدن هیدروژن بین آن مخزن و بدنه خارجی کشتی شد. (موج‌های مشاهده شده در اطراف بدنه، این استدلال را تقویت می‌کند.) سپس بر اثر تخلیه جرقه‌ای، این هیدروژن آتش گرفت. در هر دو استدلال، اشتعال به سرعت مخازن هیدروژن را به آتش کشید و کشتی را پایین کشاند. اگر بتونه بدنه خارجی هیندنبرگ رسانایی بیشتر می‌داشت (مانند کشتی‌های هوایی قبل و بعد از آن) احتمالاً فاجعه هیندنبرگ رخ نمی‌داد.

پرسش‌های پیشنهادی

۱ مقاومت سیم پهن (cord) که به لامپ متصل است بیشتر است یا مقاومت خود لامپ؟



پاسخ: خود لامپ. در غیر این صورت، سیم داغ‌تر از لامپ می‌شد.

۲ دو سیم از جنس مس خالص، مقاومت‌های متفاوتی دارند. دلیل آن چه می‌تواند باشد؟

(الف) طول (ب) سطح مقطع (پ) مقاومت ویژه (ت) همه موارد

پاسخ: توجه کنید که در صورت پرسش به دمای یکسان اشاره نشده است. بنابراین اگر دما متفاوت باشد، مقاومت ویژه نیز می‌تواند تغییر کند. پس گزینه درست ت است.

تمرین‌های پیشنهادی

۱ یک سیم رابط به طول $m \ 3^\circ$ از دو سیم مسی نمرة ۱۹ ساخته شده است که از آنها جریان‌های یکسانی در دو جهت مخالف می‌گذرد. الف) مقاومت دو سیم در دمای $20^\circ C$ چقدر است؟ (قطر سیم نمرة ۱۹ برابر 0.912 mm است. ب) اگر این سیم مسی با سیمی آلومینیومی با همان طول جایگزین شود، کوچک‌ترین قطر لازم چقدر باشد تا سیم جدید مقاومتی بیشتر از سیم قبلی نداشته باشد؟

پاسخ: الف) می‌دانیم $R = \rho \frac{L}{A}$ است، که در آن $A = \frac{1}{4} \pi d^2 = \frac{1}{4} \pi (9/12 \times 10^{-4} \text{ m})^2 = 6/533 \times 10^{-9} \text{ m}^2$ از طرفی $\rho_{\text{Cu}} = 1/67 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ است و بنابراین $R = 0.767 \Omega$ می‌شود.

ب) می‌خواهیم مقاومت سیم آلومینیومی کمتر یا مساوی مقاومت سیم مسی باشد $(R_{\text{AL}} \leq R_{\text{Cu}})$:

$$\frac{\rho_{\text{AL}} L}{\frac{1}{4} \pi d_{\text{AL}}^2} \leq \frac{\rho_{\text{Cu}} L}{\frac{1}{4} \pi d_{\text{Cu}}^2}$$

$$\Rightarrow d_{\text{AL}} \geq d_{\text{Cu}} \sqrt{\frac{\rho_{\text{AL}}}{\rho_{\text{Cu}}}}$$

$$= (0.912 \text{ mm}) \sqrt{\frac{2/68 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}}{1/67 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}}} = 1.15 \text{ mm}$$

۲ فرض کنید می‌خواهید دستگاه پخش صوت خود را به دو بلندگوی آن متصل کنید. الف) اگر طول سیم $m \ 2^\circ$ باشد، قطر هر سیم مسی باید چقدر باشد تا مقاومت در هر متر 0.1Ω گردد؟

ب) اگر جریان هر بلندگو $A \ 4/^\circ$ باشد، افت پتانسیل در هر سیم چقدر می‌شود؟

پاسخ: الف) با توجه به اینکه $R = \rho L/A$ است داریم:

$$A = \rho \frac{L}{R} = (1/67 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}) (2^\circ \text{ m}) / (0.1 \Omega) = 3/4 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

مساحت مقطع دایره‌ای $A = \pi r^2$ است. بنابراین

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = 1/0.4 \times 10^{-3} \text{ m} = 1/0.4 \text{ mm}$$

ب) با استفاده از رابطه $V = RI$ داریم:

$$V = (0.1 \Omega) (4^\circ \text{ A}) = 0.4^\circ \text{ V}$$

۳ در دمای $20^\circ C$ سیمی به قطر $4/0^\circ \text{ mm}$ و طول $m \ 1^\circ$ مقاومت ویژه‌ای برابر $1/70 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ دارد. ضریب دمایی مقاومت ویژه مس در این آزمایش $K^{-1} \ 3/9 \times 10^{-2}$ است. بر اثر عبور جریان $A \ 1/0^\circ$ ، میدانی به بزرگی $V/m \ 1/35 \times 10^{-2}$ ایجاد می‌شود. الف) اختلاف پتانسیل دو سر سیم چقدر است؟ ب) مقاومت سیم چقدر است؟ پ) وقتی این سیم در دماسنجی

برای اندازه‌گیری نقطه ذوب فلز ایندیوم استفاده شود، مقاومت محاسبه شده در قسمت (ت) به 0.207Ω افزایش می‌یابد. نقطه ذوب ایندیوم چقدر است؟

پاسخ:

$$|\Delta V| = EL = (1/353 \times 10^{-3} \text{ V/m})(1 \text{ m}) = 1/353 \times 10^{-2} \text{ V} \approx 1/35 \times 10^{-2} \text{ V} \quad (\text{الف})$$

$$R = \rho L / A = (1/77 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}) \frac{1 \text{ m}}{\pi (2/0.0 \times 10^{-3} \text{ m})^2} = 0.135 \Omega \quad (\text{ب})$$

$$\Delta R = \alpha R_0 \Delta T \quad (\text{پ})$$

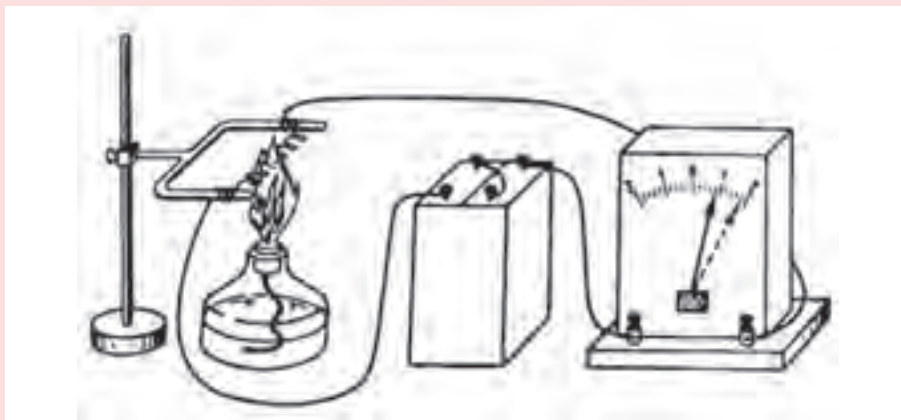
$$\Rightarrow \Delta T = \frac{R - R_0}{\alpha R_0} = \frac{0.207 \Omega - 0.135 \Omega}{(3/9 \times 10^{-3} \text{ C})(0.135 \Omega)} = 136/8^\circ \text{C} \approx 137^\circ \text{C}$$

چون $T_0 = 2^\circ \text{C}$ است، نقطه ذوب ایندیوم چنین می‌شود:

$$T = T_0 + \Delta T = 2^\circ \text{C} + 136/8^\circ \text{C} = 156/8^\circ \text{C} \approx 157^\circ \text{C}$$

فعالیت پیشنهادی

مداری شامل یک مقاومت فلزی (که می‌تواند سیم آهنی نازکی به قطر 1 mm تا 2 mm به شکل حلقوی باشد)، یک منبع تغذیه و یک آمپرسنج را به ترتیب طرح شکل زیر می‌بندیم. بهتر است مقاومت را طوری انتخاب کنیم که عقربه آمپرسنج در دمای اتاق تقریباً تا آخرین درجه منحرف شود. آن درجه را یادداشت می‌کنیم و سپس به کمک شعله‌ای، حلقه را گرم می‌کنیم. دیده می‌شود که با گرم شدن مقاومت، جریانی که آمپرسنج نشان می‌دهد کاهش می‌یابد و این حاکی از افزایش مقاومت فلز با دما است.





پاسخ پرسش ۱-۲

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

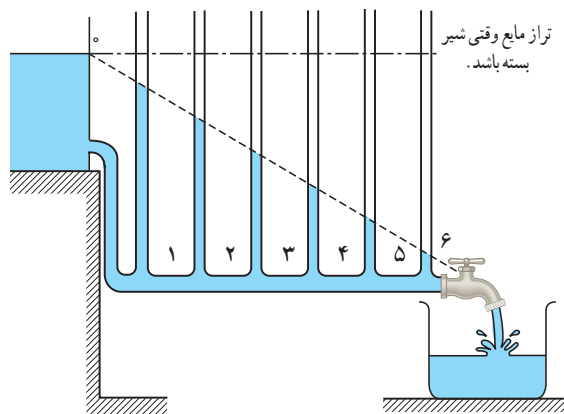
در این فیلم با بیانی ساده با مقاومت‌ها و انواع آن آشنا می‌شوید.



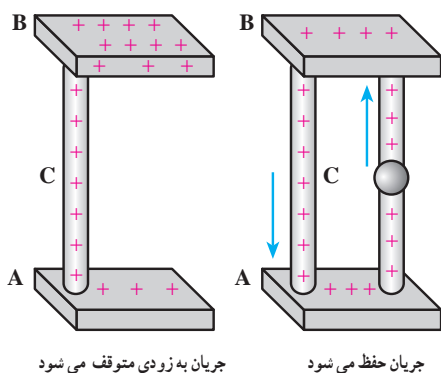
فیلم

۴-۲ - نیروی محرکه الکتریکی و مدارها

این مشابه‌سازی اصلاً بی‌راه نیست و اختلاف پتانسیل موجود بین هر دو نقطه از یک رسانای حامل جریان کاملاً مشابه افت فشار در مایعی است که در لوله دارای اصطکاکی جریان دارد. این تشابه را می‌توان به کمک وسیله‌ای که در شکل زیر نشان داده شده است، توضیح داد. اگر شیر واقع در انتهای سمت راست بسته شود، جریانی وجود نخواهد داشت و ارتفاع مایع در تمام لوله‌ها یکسان خواهد بود. ولی وقتی شیر باز شود، با جاری شدن مایع، سطوح مایع در ستون‌های مختلف در امتداد خط مورب قرار می‌گیرند که نشانه افت فشار در امتداد لوله است.



در اینجا خوب است با مثال‌هایی ذهن دانش‌آموزان را برای شروع بحث آماده کنید. مثلاً پرسید در شکل‌های زیر، دو صفحه رسانای A و B دارای بار مثبت‌اند. اگر آنها را به دو روش نشان داده شده به یکدیگر وصل کنیم چه اتفاقی می‌افتد؟





خوب است به تفاوت باتری با خازن اشاره کنید. دیدیم که در خازن، انرژی الکتریکی در میدان الکتریکی ذخیره می‌شود، در حالی که انرژی پتانسیل الکتریکی باتری به شکل انرژی شیمیایی ذخیره است. همچنین توجه کنید که در باتری برخلاف خازن، باری ذخیره نمی‌شود و باتری با ایجاد اختلاف پتانسیل موجب حرکت بار الکتریکی در مدار می‌گردد.

پاسخ فعالیت ۲-۴

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



پاسخ فعالیت ۲-۵

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

فیلم



پاسخ تمرین ۲-۳

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

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

و از آنجا
$$I = \frac{\mathcal{E}}{R+r} = \frac{12V}{4/\Omega + 2/\Omega} = 2/\text{A}$$

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

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

و در نتیجه

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

$$= 12V - (2/\text{A})(2/\Omega) = 8V$$

بنابراین می بینید 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 می رسیم.



پاسخ فعالیت ۲-۶

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

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

که V و I به ترتیب اختلاف پتانسیل دوسر باتری و جریان آن، پس از بستن کلید و \mathcal{E} اختلاف پتانسیل دوسر باتری پیش از بستن کلید است. مثلاً در یک مقدار نوعی ممکن است $\mathcal{E} = 1.27V$ و $V = 1.13V$ به دست آید که تفاوت آنها $0.14V$ است. حال اگر آمپرسنج مثلاً $0.6A$ را نشان می دهد، مقاومت داخلی باتری $2/3 \Omega$ خواهد شد. یک محاسبه ریاضی با حذف I در رابطه بالا، به رابطه $r = (1 - \frac{V}{\mathcal{E}})R$ می انجامد. در یک باتری فرسوده، به ازای مقاومت خارجی R یکسان، V از مقدار به دست آمده برای همان باتری نو خیلی کوچک تر است، در حالی که \mathcal{E} کاهش چندانی پیدا نمی کند. بنابراین، کاهش V ، به بزرگ شدن r می انجامد. همچنین خوب است نمودار



برحسب جریان عبوری I را نیز رسم کنیم که این در مسئله ۲۰ پایان فصل مطرح شده است. از آنجا در خواهیم یافت، مقاومت داخلی باتری برابر است با نسبت نیروی محرکه الکتریکی به جریان پیشینه. در هر نقطه‌ای از این نمودار، با اندازه‌گیری ولتاژ و جریان می‌توان مقاومت داخلی را از این نسبت به دست آورد. همچنین در این مسئله می‌توانستیم با در نظر گرفتن حلقه‌ای که شامل مقاومت R باشد، به رابطه مفید دیگری نیز برای محاسبه مقاومت داخلی r برسیم:

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

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



در این فیلم چگونگی آزمایش فعالیت ۲-۶ را می‌بینید.



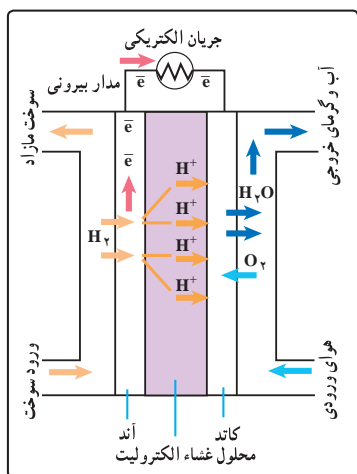
فیلم

دانستنی برای معلم

پیل‌های سوختی

می‌دانیم باتری وسیله‌ای برای ذخیره‌سازی انرژی است. انرژی شیمیایی ذخیره شده پس از تبدیل به انرژی الکتریکی تمام می‌شود. در این صورت باید (اگر باتری یک‌بار مصرف باشد) آن را دور انداخت یا با جریان الکتریسیته شارژ کرد.

ولی پیل سوختی، مادامی که سوخت آن تأمین شود، انرژی شیمیایی سوخت را به صورت پیوسته و نامحدود به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند و نیاز به شارژ مجدد ندارد. در نوعی از آن، سوخت هیدروژن در واکنش شیمیایی با اکسیژن هوا، الکترون و یون (به همراه آب) تولید می‌کند. یونها به صورت داخلی در یک طرف پیل روان می‌شوند و الکترون‌ها در مدار خارجی متصل به آن در جهت دیگر روانه می‌شوند (شکل روبه‌رو). چون این واکنش انرژی شیمیایی را مستقیماً به الکتریسیته تبدیل می‌کند، کارآمدتر از سوزاندن سوخت برای تولید گرماست، که سپس بخار لازم برای چرخاندن توربین‌های تولید الکتریسیته را تأمین می‌کند، ضمن آنکه آلاینده‌های شیمیایی و آلودگی‌های زیست‌محیطی را نیز ندارد. تنها «محصول زاید» این پیل سوختی آب خالص مناسب آشامیدن است!



در این پیل سوختی اتم‌های هیدروژن به یون‌های هیدروژن و الکترون شکسته می‌شوند. یون‌های هیدروژن به غشاء نفوذ کرده و به سمت کاتد می‌روند اما الکترون‌ها نمی‌توانند از غشاء عبور کنند و مجبور به طی مدار خارجی می‌شوند که همین باعث تولید جریان الکتریکی می‌شود.

در این فیلم چگونگی ساخت یک پیل سوختی ساده را می‌بینید.



فیلم

شاتل‌های فضایی از پیل‌های سوختی هیدروژنی برای انرژی الکتریکی مورد نیاز خود استفاده می‌کنند (هم هیدروژن و هم اکسیژن را در محفظه‌های تحت فشار به شاتل می‌برند). این پیل‌ها بیش از ۱۰۰ گالن آب آشامیدنی را برای مأموریت عادی یک هفته‌ای فضانوردان تأمین می‌کنند. پژوهشگران روی زمین، پیل‌های سوختی را برای اتوبوس‌ها و اتومبیل‌ها توسعه داده‌اند. اتوبوس‌های آزمایشی با پیل سوختی هم‌اکنون در شهرهایی مانند ونکوور در بریتیش کلمبیا، و شیکاگو در ایلینویز، کار می‌کنند. در آینده، شاید ساختمان‌های تجاری و نیز خانه‌ها مجهز به سلول‌های سوختی به جای دریافت الکتریسیته از نیروگاه‌های برق محلی شوند.

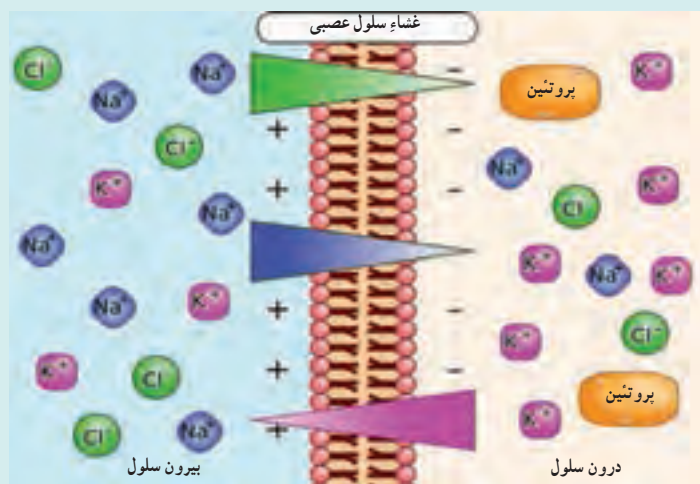
پس چرا پیل‌های سوختی اکنون چندان متداول نیستند؟ در حال حاضر، این پیل‌ها گران‌تر از سایر وسیله‌های تولید انرژی، مانند موتورهای بنزینی یا دیزلی‌اند. در واقع، به ازای واحد انرژی تولید شده تقریباً ۱۰۰ برابر گران‌تر هستند. همچنین در اینجا مسئله در دسترس بودن سوخت مورد نیاز - هیدروژن - هم هست. گرچه هیدروژن فراوان‌ترین عنصر موجود در عالم و در محیط اطراف مانیز فراوان است، اما در مولکول‌های آب و هیدروکربن‌ها محبوس است. هیدروژن به صورت آزاد وجود ندارد. برای جدا کردن آن از مولکول‌هایی که با آنها پیوندی محکم دارد انرژی لازم است. اکنون انرژی لازم برای تولید هیدروژن را منابع انرژی معمولی تأمین می‌کنند.

در واقع، هیدروژن عملاً محیط ذخیره‌سازی انرژی است. هیدروژن هم مانند الکتریسیته، در جایی تولید می‌شود و در جای دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرد. پیل‌های سوختی در آینده وقتی جذاب خواهند شد که هیدروژن لازم برای سوخت آنها را منابع دیگر انرژی، مانند قدرت باد، تولید کند.

دانستنی برای معلم

مدل‌سازی سلول عصبی با مدارهای الکتریکی

معمولاً مدرسان فیزیک از نبود مثال‌های ملموسی از کاربردهای مطالب درسی فیزیک رنج می‌برند و دانش‌آموزان نیز عملاً می‌پندارند که مطالب فیزیک صرفاً به درد کتاب‌های درسی می‌خورند. علم بین رشته‌ای علوم اعصاب دارای مثال‌های خوبی از کاربردهای فیزیک در علم زیست‌شناسی است که می‌توانند در کلاس‌های درس مطرح شوند. در اینجا ضمن مروری سریع بر یکی از آن مباحث، نشان می‌دهیم که چگونه می‌توان با استفاده از مبحث ساده مدارهای الکتریکی به تشریح یکی از رفتارهای سلول عصبی پرداخت.



شکل ۱

جدول ۱- غلظت‌های یونی در داخل و خارج سلول عصبی*

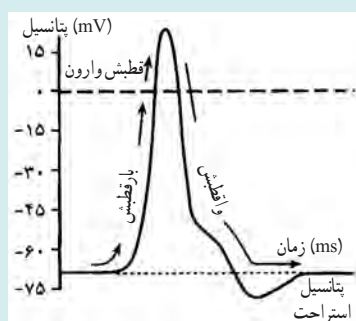
غلظت خارج سلول (mM)	غلظت داخل سلول (mM)	نوع یون
۲۰	۴۰۰	K^+
۴۴۰	۵۰	Na^+
۵۶۰	۵۲	Cl^-

* در اینجا غلظت آنیون‌های آلی (که با A^- نمایش داده می‌شوند) را نادیده گرفته‌ایم، زیرا فقط در داخل سلول هستند و نقشی ندارند.

مروری اجمالی بر فیزیولوژی غشاء تحریک‌پذیر یک سلول عصبی

در داخل یک سلول عصبی (شکل ۱) غلظت K^+ بسیار زیاد و غلظت Na^+ و Cl^- بسیار کم است و این امر در بیرون سلول برعکس می‌شود (جدول ۱). غشاء این سلول نسبت به یون‌های K^+ و Cl^- تراواست ولی در نبود یک محرک عصبی نسبت به Na^+ سدبار کمتر تراواست و بنابراین این تنها K^+ و Cl^- هستند که در نبود یک محرک عصبی، از طریق غشاء سلول یخش می‌شوند و میزان نفوذ Na^+ بسیار کم است. بدیهی است که یون‌های K^+ و Cl^- در خلاف جهت هم و به طرف ناحیه‌های با غلظت‌های پایین یخش می‌شوند، یعنی K^+ به طرف خارج و Cl^- به طرف داخل سلول عصبی.

ولی این روند حرکتی بالاخره در جایی متوقف می‌شود. زیرا پس از مدتی بر روی غشاء بار مثبت فراوان و در داخل آن بار منفی فراوان جای می‌گیرد و بدین ترتیب میدان الکتریکی بزرگی از بیرون سلول به طرف داخل آن برقرار می‌شود. می‌دانیم که ذره باردار مثبت در جهت میدان و ذره باردار منفی در خلاف جهت میدان شتاب می‌گیرند. بنابراین این میدان الکتریکی که خود زائیده حرکت بارهای K^+ و Cl^- است پس از مدتی از ادامه این روند جلوگیری می‌کند و در اینجا سست که وضعیت/استراحت رخ می‌دهد؛ به پتانسیل دو سر غشاء در این حالت، پتانسیل/استراحت (RP) می‌گویند. حال اگر محرکی، سلول عصبی را تحریک کند Na^+ نقش مهمی را بازی خواهد کرد. در این وضعیت تراوایی غشاء نسبت به Na^+ که در حالت عادی 10^6 برابر کمتر از دوتای دیگر بود افزایش می‌یابد و هزار بار تراواتر می‌شود و بدین ترتیب پتانسیل داخل سلول از حدود -65 تا -70 میلی‌ولت به حدود $+15$ تا $+30$ میلی‌ولت افزایش می‌یابد (مرحله بازقطبش^۲).



شکل ۲

$$E_x \equiv \frac{58mV}{Z} \log \frac{[x_o]}{[x_i]}$$

البته در این مرحله، غشاء نسبت به K^+ نیز تراوا می‌شود ولی این تراوایی نسبت به تراوایی به Na^+ ناچیز است. ولی تراوایی برای Na^+ بسیار زود فرو می‌افتد و با ادامه تراوایی نسبت به K^+ ، پتانسیل غشاء به طرف پتانسیل استراحت خود حرکت می‌کند. البته این پتانسیل در وهله نخست حتی منفی تراز پیش می‌شود (آبرقطبش^۳) و سپس با سازوکاری که در اینجا به آن پرداخته نشده است (سازوکار ATP^4) به پتانسیل استراحت بازخواهد گشت (مرحله و/تغیض^۵) (شکل ۲).

تبادل میان شیب غلظت و نیروی حاصل از میدان الکتریکی یک تعادل انرژی است. معادله‌ای که این تعادل را توصیف می‌کند به معادله نرنست^۶ معروف است. معادله نرنست، ولتاژ حاصل از تفاوت غلظت‌ها را در صورتی که غشاء فقط به یک یون تراوا باشد به دست می‌دهد.

که در آن Z ظرفیت یونی، $[x_o]$ غلظت در بیرون غشاء و $[x_i]$ غلظت در داخل غشای آن یون است.

۱- Resting Potential

۲- hyperpolarization

۵- Repolarization

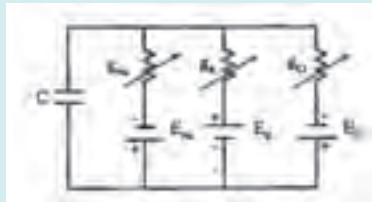
۲- depolarization

۴- Active Transport Pump

۶- Nernst

مدل سازی سلول عصبی با مدارهای الکتریکی

اگر به مبحث قبل به خوبی توجه کرده باشید درمی یابید که می توان معادل سازی های زیر را انجام داد. کانال های یونی را می توان با رساناها یا مقاومت هایی جایگزین کرد؛ گرادیان غلظت های یونی که عملاً باعث انتقال یون ها در دو سوی غشاء می شوند، را می توان معادل باتری گرفت، و سرانجام دو سر غشاء که روی دو طرف آنها بارهای منفی و مثبت قرار گرفته اند را می توان معادل یک خازن در نظر گرفت. پس عملاً یک سلول عصبی را می توان با مدار ساده شکل ۱ جایگزین کرد.



شکل ۱

توجه کنید که در اینجا نیز مانند کتاب های علوم اعصاب از رسانندگی های ویژه (که عکس مقاومت هستند) به جای مقاومت در مدار استفاده شده است. مقدارهای این رسانندگی ها به ترتیب عبارت اند از $g_{Cl} = 2/5 \times 10^{-6} S$ و $g_K = 1 \times 10^{-6} S$ و $g_{Na} = 0.5 \times 10^{-6} S$ که یکای رسانندگی ویژه موسوم به زیمنس است. همین طور E ها همان پتانسیل های نرنست هستند که با استفاده از معادله نرنست و جدول ۱ چنین می شوند: $E_{Cl} = -69 mV$ و $E_K = -75 mV$ و $E_{Na} = +55 mV$. حال، پایداری بار (جریان الکتریکی) چنین حکم می کند:

$$C \frac{dV}{dt} = - \sum_i I_i$$

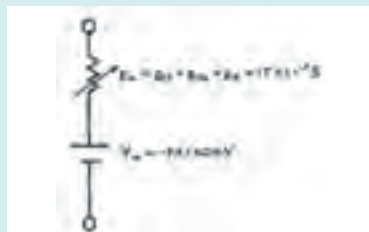
که در آن V پتانسیل دو سر غشاء و $\sum_i I_i$ مجموع جریان های یونی است. برای محاسبه پتانسیل استراحت، با توجه به اینکه «ثابت V » است، از معادله بالا داریم:

$$0 = - \sum_i I_i = -g_{Na}(V - E_{Na}) - g_K(V - E_K) - g_{Cl}(V - E_{Cl})$$

که در آن از قانون اهم استفاده کردیم. از آنجا برای پتانسیل استراحت خواهیم داشت:

$$V = \frac{g_{Na} E_{Na} + g_K E_K + g_{Cl} E_{Cl}}{g_{Na} + g_K + g_{Cl}}$$

که با گذاشتن مقدارهای عددی به $V = -68.85 mV \approx -69 mV$ می انجامد. بنابراین می توان در وضعیت استراحت، یک سلول عصبی را با مدار ساده شکل ۲ جایگزین کرد:



شکل ۲

توجه کنید که اگر بخواهیم تحریک سلول عصبی را در نظر بگیریم، دیگر dV/dt برابر صفر نخواهد بود و به علاوه برای محرک عصبی باید جریان موسوم به $I_{app}(t)$ را به معادله پایستگی جریان (که حالا وابسته به زمان است) افزود :

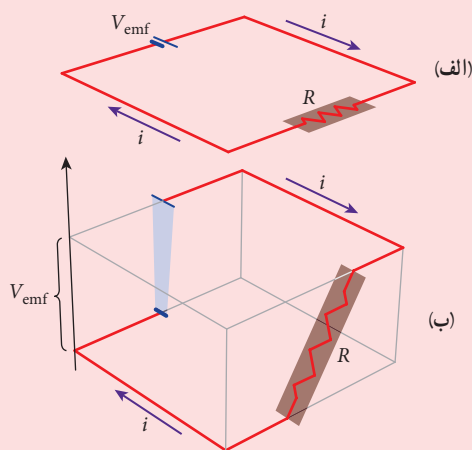
$$C \frac{dV}{dt} = -\sum_i I_i(t) + I_{app}(t)$$

بررسی و حل این معادله خارج از سطح این مقاله است. مدلی که بر مبنای این معادله و حل آن به بررسی رفتار سلول عصبی در حضور محرک عصبی می پردازد به مدل هاچکین – هاکسلی^۱ معروف است که مدلی بسیار مشهور در کتاب های علوم اعصاب است. مقاله زیر به طور اجمالی به این مدل پرداخته است :

Electrical circuits as the Nerve cells, Physics Education (India) (2016) by M. R. Khoshbin-e-Khoshnazar

پرسی های پیشنهادی

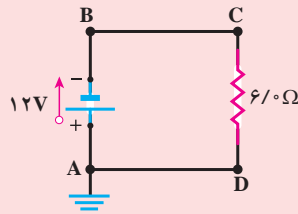
۱ در مورد مشابهت سازی مدار الکتریکی شکل (الف) با نمایش سه بعدی همان مدار که پتانسیل ها را در هر نقطه مدار نشان می دهد (شکل ب) توضیح دهید.



۲ اگر شما دندان پر شده ای از یک ماده فلزی داشته باشید و اگر به هر دلیلی چیزی مانند یک زرورق آلومینیومی را بجوید، متوجه گزگز در لثه های خود می شوید. دلیل آن چیست؟

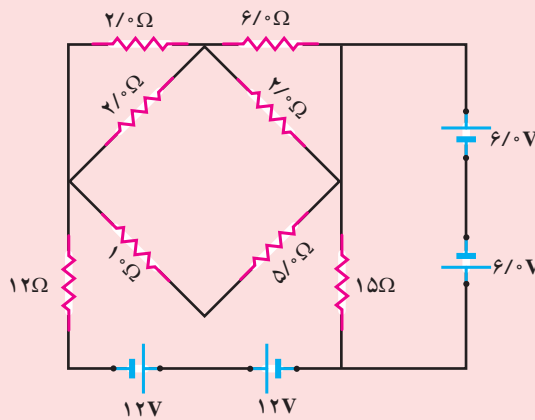
پاسخ : وقتی زرورق آلومینیومی با فلز پرکننده دندان تماس پیدا می کند، در حالی که بزاق بین این دو سطح قرار دارد، از دست رفتن و به دست آوردن الکترونی، مانند آنچه درون باتری رخ می دهد، صورت می پذیرد. مجموعه زرورق – بزاق – فلز مانند یک باتری عمل می کند و جریان را از طریق نقاط تماس مستقیم بزاق با زرورق و فلز راه می اندازد، که شما را با گزگز در لثه های خود حس می کنید.

۳ ولتاژ در نقطه‌های B، C و D شکل زیر چقدر است؟



پاسخ: ولتاژ B و C برابر ۱۲ V- و A و D صفر است

۴ در شکل زیر، جریان عبوری از مقاومت‌های $10\ \Omega$ و $15\ \Omega$ چقدر است؟



پاسخ: توجه کنید که سوی نیروهای محرکه الکتریکی در باتری‌های 60 V در خلاف جهت یکدیگر و سوی نیروهای محرکه الکتریکی در باتری‌های 12 V نیز در خلاف جهت یکدیگرند و بنابراین چهار منبع، هیچ نیروی محرکه‌ای ایجاد نمی‌کنند و جریان عبوری از مقاومت‌ها صفر است.

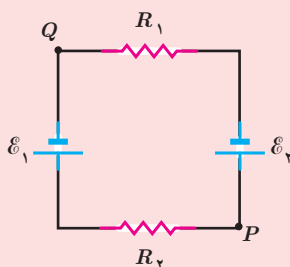
تمرین‌های پیشنهادی

۱ نیروی محرکه الکتریکی یک باتری قلمی فرسوده تقریباً ثابت می‌ماند، ولی مقاومت داخلی آن افزایش می‌یابد. فرض کنید نیروی محرکه الکتریکی یک باتری $1/5 \text{ V}$ و مقاومت داخلی آن ناچیز است. وقتی تصمیم گرفته می‌شود که این باتری عوض شود، emf آن همچنان $1/5 \text{ V}$ است، اما مقاومت داخلی آن به 1000Ω افزایش یافته است. اگر این باتری فرسوده به کار برده شود، جریانی به اندازه $1/0 \text{ mA}$ در چراغ قوه برقرار می‌گردد. ولتاژ دو سر این باتری چقدر است؟

پاسخ:

$$V_{ab} = \mathcal{E} - Ir = 1/5 \text{ V} - (1/0 \times 10^{-3} \text{ A})(1000 \Omega) = 0/5 \text{ V}$$

۲ در شکل زیر، emf باتری‌های آرمانی عبارت‌اند از: $\mathcal{E}_1 = 150 \text{ V}$ و $\mathcal{E}_2 = 50 \text{ V}$ و مقاومت‌ها عبارت‌اند از $R_1 = 3/0 \Omega$ و $R_2 = 2/0 \Omega$. اگر پتانسیل در نقطه P برابر 100 V باشد، پتانسیل در نقطه Q چقدر است؟



پاسخ: از مقایسه emf نتیجه می‌گیریم که جریان در سوی پادساعتگرد است. حال از نقطه P در جهت جریان به سوی نقطه Q حرکت می‌کنیم:

$$V_P - \mathcal{E}_2 - IR_2 = V_Q$$

که در آن $\mathcal{E}_2 = 50 \text{ V}$ و $R_2 = 2/0 \Omega$ است. برای محاسبه V_Q به جریان I مدار نیاز داریم. به این منظور، مدار را به طور کامل دور می‌زنیم و از قاعده حلقه استفاده می‌کنیم:

$$-\mathcal{E}_2 - IR_2 + \mathcal{E}_1 - IR_1 = 0$$

و از آنجا I چنین می‌شود:

$$I = \frac{\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2}{R_1 + R_2} = \frac{150 \text{ V} - 50 \text{ V}}{3/0 \Omega + 2/0 \Omega} = 20 \text{ A}$$

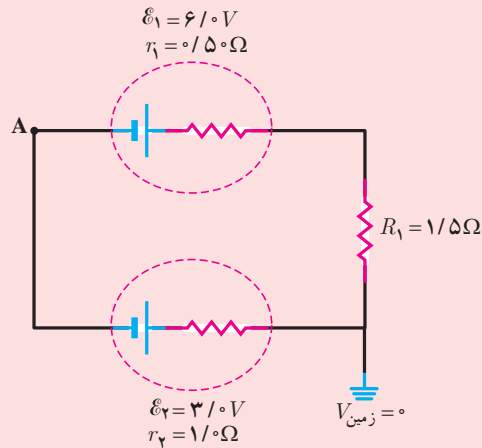
اکنون می‌توانیم V_Q را از رابطه اول به دست آوریم:

$$V_Q = 100 \text{ V} - 50 \text{ V} - (20 \text{ A})(2/0 \Omega) = -10 \text{ V}$$

می‌توانیم V_Q را از مسیر دیگری (خلاف جهت جریان) نیز محاسبه کنیم:

$$V_Q = V_P + IR_2 - \mathcal{E}_2 = 100 \text{ V} + (20 \text{ A})(2/0 \Omega) - 150 \text{ V} = -10 \text{ V}$$

۳ در شکل زیر، پتانسیل نقطه A را محاسبه کنید. (نماد \perp اتصال به زمین را نشان می‌دهد که به آن پتانسیل $V_{\text{زمین}} = 0$ را اختصاص می‌دهند).



پاسخ: به این منظور، نخست جریان را در مدار به دست می‌آوریم. با حرکت پادساعتگرد از نقطه A و بازگشتن به آن خواهیم داشت:

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

در نتیجه جریان I چنین می‌شود:

$$I = \frac{\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2}{r_1 + r_2 + R_1} = \frac{6V - 3V}{5\Omega + 1\Omega + 1\Omega} = 1A$$

بنابراین، جهت جریان پادساعتگرد است. اکنون برای محاسبه V_A ، معادله اختلاف پتانسیل‌ها را بین نقطه‌های A و E (زمین) می‌نویسیم:

$$V_A + \mathcal{E}_1 - Ir_1 - IR_1 = V_E = 0$$

در نتیجه:

$$V_A = I(r_1 + R_1) - \mathcal{E}_1 = (1A)(5\Omega) - 6V = -4V$$

خوب است از مسیر شاخه پایین هم بررسی کنیم:

$$V_A + \mathcal{E}_2 + Ir_2 = V_E = 0$$

در نتیجه:

$$V_A = -\mathcal{E}_2 - Ir_2 = -3V - (1A)(1\Omega) = -4V$$



۵-۲- توان در مدارهای الکتریکی

خوب است دوباره تأکید شود که گرچه رابطه ۸-۲ هم برای توان تولیدی و هم توان مصرفی برقرار است، ولی رابطه های ۹-۲ و ۱۰-۲ فقط برای توان های مصرفی برقرارند. همچنین اگر علاوه بر گرما، کار مکانیکی نیز تولید شود (مثل چیزی که در موتور رخ می دهد) رابطه ۸-۲ با رابطه های ۹-۲ و ۱۰-۲ برابر نیست، زیرا بخشی از توان صرف انجام کار مکانیکی می شود.

در مورد دو رابطه توان مصرفی، خوب است با بیان این پرسش که آیا وسیله ای که مقاومت بیشتر دارد، توان مصرفی آن بیشتر است یا کمتر، کلاس را به چالش بکشید. چرا که در یک رابطه P متناسب با R و در رابطه ای دیگر متناسب با عکس R است. در اینجا باید توجه دانش آموزان را به شرایط مسئله و اینکه آیا جریان ثابت است یا اختلاف پتانسیل، جلب کنیم.

خوب است پیش از این مثال دانش آموزان را با طرح پرسش هایی با مفهوم فیزیکی چنین مسائلی آشنا کنید. مثلاً اینکه اداره برق با صدور قبض برق، بهای چه چیزی را از شهروندان مطالبه می کند.

همچنین خوب است در این مبحث به توان اسمی نیز اشاره شود که آن توانی است که دستگاه در ولتاژ اسمی (یعنی اختلاف پتانسیل مطلوب وسیله) دارد. اگر ولتاژ دو سر وسیله برابر ولتاژ اسمی آن نباشد، بدیهی است توان آن دستگاه نیز در توان اسمی (مطلوب) آن نخواهد بود. مثلاً اگر در منطقه ای اُفت ولتاژ داشته باشیم، بدیهی است که کارایی وسیله ها کمتر خواهد بود و مثلاً شدت نور یک لامپ، ضعیف تر از هنگامی می شود که با توان اسمی خود کار می کند.

پاسخ فعالیت ۷-۲

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

Physics Laboratory Manual, 3th edition, David H. Loyd, Thomson Brooks (2006).

توضیح نظری

وقتی از مقاومتی به مقاومت R جریان I تحت ولتاژ V بگذرد، توان جذب شده در مقاومت از $P = I^2 R = \frac{V^2}{R} = VI$ به دست می‌آید. از طرفی، توان، انرژی برواحد زمان است و بنابراین انرژی U برابر Pt می‌شود. از طرفی با گرماسنجی در فیزیک دهم آشنا شدیم. با گرم شدن مقاومت، دمای آن افزایش می‌یابد و این سبب انتقال گرمای Q از مقاومت به آب و ظرف گرماسنج می‌گردد. گرمای Q باعث افزایش دمای آنها به اندازه ΔT می‌شود. می‌دانیم گرمای Q با تغییر دمای ΔT طبق رابطه زیر به هم مربوط می‌شوند :

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

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 آن که سیم گرمکن گرماسنج به حد کافی گرم شد و به دمای تقریباً ثابتی رسید، انرژی الکتریکی مصرفی در این مقاومت کاملاً به گرما تبدیل می‌شود و داریم :

$$VI t = (m_w c_w + C_c) \Delta T$$

اگر ولتاژ اعمال شده به مقاومت غوطه‌ور در آب درون گرماسنج در طی آزمایش ثابت باقی می‌ماند و در نتیجه جریان مقاومت نیز ثابت می‌ماند، در آن صورت نمودار $VI t$ برحسب $(m_w c_w + C_c) \Delta T$ ، یک خط راست می‌شد و به ازای هریک از نقاط نمودار که

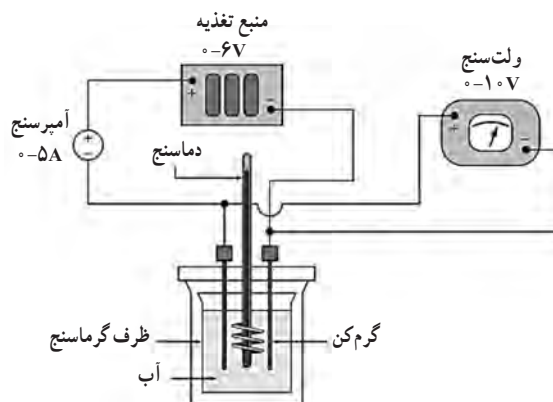
حاصل اندازه‌گیری است، نسبت $\frac{VI t}{(m_w c_w + C_c) \Delta T}$ برابر یک

می‌شد. اما هنگام انجام آزمایش در خواهید 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

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





آن‌گاه منبع تغذیه را روشن می‌کنیم و جریان را بین 4°A تا 5°A تنظیم می‌کنیم. بلافاصله پس از اینکه به جریان موردنظر رسیدیم. منبع تغذیه را خاموش می‌کنیم و نمی‌گذاریم آب به میزان زیادی گرم می‌شود. اکنون آب را به هم می‌زنیم تا به تعادل گرمایی برسد. پس از چند دقیقه هم‌زدن، دمای اولیه T_i را یادداشت می‌کنیم و سپس دوباره منبع تغذیه را درحالی که همان جریان خروجی قبلی را به دست می‌دهد، روشن می‌کنیم و هم‌زمان زمان‌سنج را به کار می‌اندازیم. مقادیر اولیه جریان و ولتاژ (I_1 و V_1) را در جدول یادداشت می‌کنیم. دمای T ، جریان I ، ولتاژ V را هر 60° ثانیه یک بار، برای مدت ۸ دقیقه اندازه می‌گیریم، درحالی که آب را همچنان به هم می‌زنیم. داده‌ها را در جدولی یادداشت می‌کنیم. $\Delta T = T - T_i$ (افزایش دما نسبت به دمای اولیه T_i) را برای هر مقدار اندازه‌گیری شده T محاسبه و یادداشت می‌کنیم. همچنین به ازای هر مقدار اندازه‌گیری شده T ، مقدار Q را از رابطه $Q = (m_w c_w + C_c)(T - T_i)$ محاسبه می‌کنیم. برای هر بار، ولتاژ V و جریان I و حاصل ضرب VI را یادداشت می‌کنیم. سپس VI متوسط را از رابطه زیر محاسبه می‌کنیم:

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

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

اکنون برای رسم نمودار $\overline{VI}t$ برحسب ΔT ($m_w c_w + C_c$) مقادیر به دست آمده از $(T + T_i)$ را روی محور افقی و مقادیر به دست آمده برای $\overline{VI}t$ را روی محور عمودی نشانه‌گذاری می‌کنیم و از تلاقی امتداد آنها به نقاطی در صفحه نمودار می‌رسیم. اینک خط راستی را رسم می‌کنیم که از مبدأ مختصات بگذرد و به بهترین شکل از بین این نقاط عبور کند (اصطلاحاً به این عمل *برزش 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 هر یک از نقاط این خط، نسبت $\frac{\overline{VI}t}{(m_w c_w + C_c)\Delta T}$ با دقت مناسب برابر واحد باشد.

پاسخ فعالیت ۸-۲

الف) همان‌طور که در صورت فعالیت آمده است، باید از رابطه $۱۰^{-۲}$ استفاده کنیم. از این رابطه مصرفی $R = V^2/P$ به دست می‌آید که این مقاومت الکتریکی در دمایی است که دستگاه (لامپ) به ولتاژ اسمی خود متصل شده است. در استفاده از اهم‌سنج به دانش‌آموزان گوشزد کنید که هنگام استفاده از آن ابتدا سنج را روی حداکثر مقاومت قابل اندازه‌گیری تنظیم کنند و دوم اینکه همان‌طور که در صورت فعالیت نیز آمده، وسیله (اینجا لامپ) باید خاموش (در دمای اتاق) باشد و هیچ جریانی از آن نگذرد. این آزمایش، آزمایش مهمی است و دانش‌آموزان پس از انجام آن به تفاوت زیادی بین مقاومت اندازه‌گیری شده و مقاومت حاصل از رابطه $۱۰^{-۲}$ می‌رسند. مقاومت اندازه‌گیری شده حدود $۴۰\Omega - ۲۰\Omega$ می‌شود، درحالی که همان‌طور که خواهید دید رابطه $۱۰^{-۲}$ برای اندازه‌ی 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 موضوع قسمت ب فعالیت است.

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

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

اکنون از رابطه $۴۰^{-۲}$ ، دمای رشته لامپ را به دست می‌آوریم. در مثال $۴۰^{-۲}$ دیدیم که این معادله به رابطه زیر می‌انجامد:

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

از این‌جا دمای T را محاسبه می‌کنیم:

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

توجه کنید عدد 2500°C صرفاً برآوردی برای دمای رشته لامپ است. همچنین توجه کنید که در محاسبه دما فرض کردیم که اهم‌سنج، مقاومت لامپ خاموش را حدود 40Ω نشان داده است. دمای اتاق را $T_0 = 20^\circ\text{C}$ گرفته‌ایم، و ضریب دمایی مقاومت a را نیز از جدول ۱-۲ قرار دادیم.



در این فیلم چگونگی فعالیت ۸-۲ را می‌بینید.



فیلم



پاسخ پرسش ۲-۲

پاسخ این است که همه لامپ‌های رشته‌ای (از جمله لامپ هالوژن) با تبدیل انرژی الکتریکی به صورت گرما، رشته (فیلامان) لامپ را گرم می‌کنند. فقط بخشی از این انرژی به نور مرئی تبدیل می‌شود. بنابراین 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 عمده انرژی الکتریکی داده شده موجب گسیل نور می‌شود و تنها مقدار ناچیزی از آن به صورت گرما تلف می‌گردد. به عبارت دیگر بازده لامپ‌های LED خیلی بیشتر از لامپ‌های رشته‌ای است. بنابراین برای تولید نور یکسان توسط این دو لامپ، لامپ‌های LED انرژی بسیار کمتری مصرف می‌کنند.

پرسش‌های پیشنهادی

۱) کدام جمله درست است؟

(الف) موتور الکتریکی، الکتریسته مصرف می‌کند.

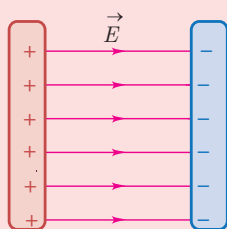
(ب) موتور الکتریکی انرژی الکتریکی مصرف می‌کند.

(پ) مولد الکتریکی، الکتریسته تولید می‌کند.

(ت) مولد الکتریکی انرژی الکتریکی تولید می‌کند.

پاسخ : جمله‌های ب و ت. (در مورد ب توجه کنید بار الکتریکی‌ای که وارد یک موتور الکتریکی می‌شود و از آن خارج می‌گردد یکسان است. آنچه تغییر می‌کند پتانسیل الکتریکی است. مثل ماشین بخار که بخار خروجی آن فشار کمتری دارد).

۲) در دستگاهی مانند شکل زیر اگر بار مثبت را در نزدیکی صفحه مثبت رها کنید، تغییر انرژی پتانسیل و جنبشی آن را براساس قانون پایستگی انرژی توضیح دهید.



پاسخ: بار مثبت هم جهت با میدان شروع به حرکت می کند و لحظه به لحظه بر سرعت آن افزوده می شود، یعنی انرژی پتانسیل الکتریکی آن به انرژی جنبشی تبدیل می شود.

۳ برای خرید یک کتری برقی به مغازه ای مراجعه می کنیم. فرض کنید فروشنده دو کتری را پیشنهاد می دهد: گنجایش هر دو یکسان و به اندازه دو لیوان آب است. هر دو با برق 220°C ولت کار می کنند، ولی کتری A در مدت ۵ دقیقه می تواند آب حدود 20°C را به جوش آورد، در حالی که کتری B همین عمل را در مدت ۳ دقیقه انجام می دهد.

الف) کدام کتری برای جوش آوردن ۲ لیوان آب 20°C انرژی بیشتری مصرف می کند؟

ب) کدام کتری را برای خرید انتخاب می کنید؟

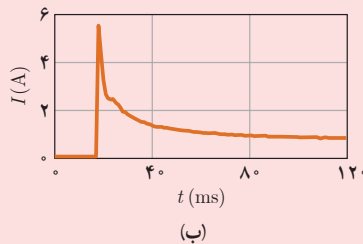
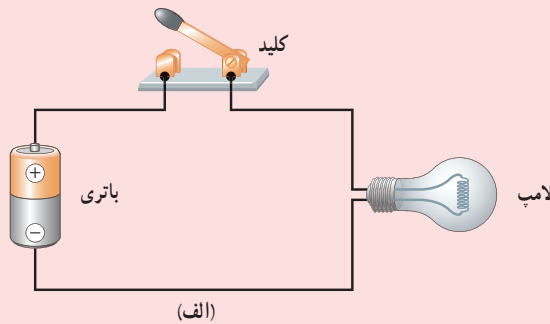
پ) کدام کمیت فیزیکی در این دو کتری متفاوت است؟

پاسخ: الف) انرژی مصرفی هر دو یکسان است. زیرا $Q = mc \Delta\theta$ برای هر دو یکسان است.

ب) بستگی به نظر خریدار دارد. اگر می خواهد در زمان کوتاه تری به نتیجه مطلوب برسد، کتری B مناسب است.

پ) بچه ها نخست به زمان اشاره می کنند. از اینجا می توانید آنها را به توان مصرفی جلب کنید که در دو کتری متفاوت است.

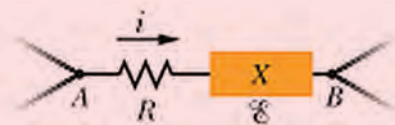
۴ وقتی در مدار شکل الف، کلید بسته می شود، جریان لامپ مانند شکل ب رفتار می کند. الف) چرا جریان در ابتدا بزرگ تر از مقدار ثابت نهایی می شود؟ ب) چرا جریان در نهایت ثابت می ماند؟



پاسخ: الف) زیرا در ابتدای روشن شدن لامپ، رشته لامپ (که از جنس فلز است) نسبتاً سرد است. بنابراین مقاومت آن نسبت به حالتی که از روشن بودن لامپ مدتی می گذرد، کمتر است. مقاومت پایین تر به معنی جریان بیشتر است.

ب) پس از مدتی که از روشن شدن لامپ می گذرد، انرژی ای که از باتری به رشته لامپ می رسد با همان آهنگ در رشته داغ، به انرژی گرمایی تبدیل می شود. تحت این شرایط، دمای رشته و بنابراین مقاومت آن ثابت می ماند.

تمرین‌های پیشنهادی



۱ در شکل روبه‌رو بخش AB ی مدار، وقتی جریان $I = 1/9 \text{ A}$ در جهت نشان داده شده از آن می‌گذرد، انرژی را با آهنگ 5 W جذب می‌کند. اندازه مقاومت $R = 2/5 \Omega$ است.

الف) اختلاف پتانسیل میان A و B چقدر است؟ منبع نیروی محرکه‌ای که با X مشخص شده است، مقاومت داخلی ندارد.
 ب) نیروی محرکه الکتریکی آن چقدر است؟ آیا نقطه B به پایانه مثبت X وصل شده است یا به پایانه منفی آن؟
 پاسخ : الف) اگر I جریان ΔV اختلاف پتانسیل باشد، آنگاه توان جذب شده با $P = I \Delta V$ می‌شود. توجه کنید که چون انرژی جذب می‌شود، پتانسیل A از B بیشتر و $\Delta V_{AB} > 0$ است. در نتیجه داریم :

$$\Delta V_{AB} = \frac{P}{I} = \frac{5 \text{ W}}{1/9 \text{ A}} = 5 \text{ V}$$

ب) از نقطه A به سوی نقطه B در جهت جریان حرکت کرده و اختلاف پتانسیل را محاسبه می‌کنیم :

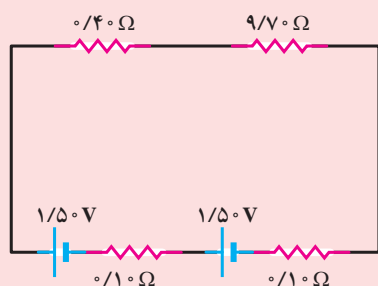
$$V_A - IR - \mathcal{E} = V_B$$

که \mathcal{E} نیروی محرکه الکتریکی منبع X است. از آنجا \mathcal{E} چنین می‌شود :

$$\mathcal{E} = V_A - V_B - IR = 5 \text{ V} - (1/9 \text{ A})(2/5 \Omega) = 4.8 \text{ V}$$

پ) مقدار مثبت \mathcal{E} نشان می‌دهد که سوی نیروی محرکه الکتریکی به سمت چپ است. یعنی پایانه منفی آن در نقطه B قرار دارد.

۲ یک چراغ قوه توسط دو باتری واقعی که به‌طور متوالی بسته شده‌اند روشن می‌شود. هر یک از باتری‌ها نیروهای محرکه



1.5 V و مقاومت داخلی 0.1Ω دارد. باتری‌ها توسط سیم‌هایی با مقاومت کل 0.4Ω به لامپی وصل هستند که در دمای اتاق مقاومت برابر $9/7 \Omega$ دارد. الف) توان تلف شده در لامپ یعنی آهنگی که با آن انرژی به‌صورت گرما و نور در لامپ از دست می‌رود چقدر است؟ ب) توان تلف شده در سیم‌ها و پ) توان خالصی که توسط باتری‌ها داده می‌شود، چقدر است؟

الف) نخست جریان I را به دست می‌آوریم. با استفاده از قاعده حلقه به $I = 0.2913 \text{ A}$ می‌رسیم. آنگاه برای توان تلف شده در لامپ خواهیم داشت :

$$P_l = I^2 R_l = (0.2913 \text{ A})^2 (9/7 \Omega) = 0.823 \text{ W}$$

ب) توان تلف شده در سیم‌ها برابر است با

$$P_r = I^2 R_r = (0.2913 \text{ A})^2 (0.4 \Omega) = 0.34 \text{ W}$$

پ) توان خالص داده شده توسط باتری برابر است با

$$P_{\text{باتری}} = \mathcal{E} I - I^2 r = (3/0 \text{ V})(0.2913 \text{ A}) - (0.2913 \text{ A})^2 (0.2 \Omega) = 0.857 \text{ W}$$

که برابر $P_l + P_r$ است.

فعالیت‌های پیشنهادی

وسایل : دو باتری، دو لامپ، سیم رابط.

- ۱ همراه با گروه خود مدار ساده‌ای شامل یک باتری و یک لامپ ببندید و به نور لامپ توجه کنید (شکل الف).
- ۲ یک لامپ دیگر به مدار اضافه کنید و در مورد تغییر نور لامپ و علت آن بحث کنید (شکل ب).
- ۳ یک باتری دیگر به مدار اضافه کنید و در مورد تغییر نور لامپ‌ها و علت آن بحث کنید (شکل پ).
- ۱ یکی از باتری‌ها را از مدار جدا کنید و با عوض کردن محل قطب‌ها، آن را دوباره به مدار وصل کنید. در مورد تغییر نور لامپ‌ها و علت آن بحث کنید (شکل ت).
- پاسخ : بارها ضمن عبور از مقاومت انرژی از دست می‌دهند. پس با ثابت ماندن تعداد باتری اگر تعداد لامپ‌ها بیشتر شود سهم انرژی هر لامپ کم می‌شود و نور آن نیز کم می‌گردد.
- ۲ بارها ضمن عبور از باتری انرژی می‌گیرند. پس هر چه تعداد باتری‌ها بیشتر باشد انرژی بارهای عبوری بیشتر می‌شود و می‌توانند در لامپ انرژی بیشتری را به نور تبدیل کنند.
- ۳ اگر بارها ضمن حرکت از پایانه مثبت باتری به سمت پایانه منفی بروند (یعنی در جهت میدان حرکت کنند) نه تنها انرژی کسب نمی‌کنند بلکه انرژی خود را از دست می‌دهند و اگر باتری‌ها مشابه باشند هر قدر یکی انرژی بدهد، دیگری می‌گیرد. پس انرژی‌ای برای روشن شدن لامپ‌ها باقی نمی‌ماند.
- توجه : اگر در مدرسه یا کلاس امکان انجام آزمایش و بستن مدارها وجود ندارد فعالیت پیشنهادی را تبدیل به یک پرسش می‌کنیم و عکس‌های واقعی از مدار را به دانش‌آموزان نشان می‌دهیم و از آنها می‌خواهیم که نماد مداری برای هر کدام رسم کنند و در مورد نور لامپ‌ها پیشگویی کنند.



(ب)



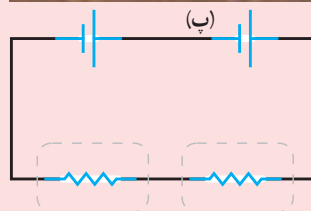
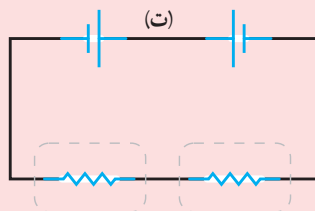
(الف)



(ت)

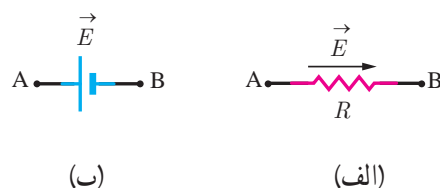


(پ)





در پاسخ به تمرین ۲-۴ می‌توانستیم به‌طور مستقل راه دیگری نیز برویم و آن اینکه از پایداری انرژی به‌قاعده حلقه برسیم. در این مورد می‌توانیم دوباره یادآوری کنیم که بار مثبت با حرکت در جهت میدان، انرژی الکتریکی از دست می‌دهد و بار منفی بالعکس انرژی الکتریکی به‌دست می‌آورد و با حرکت در خلاف جهت میدان ماجرا برعکس می‌شود. بعد می‌توانیم یک مدار تک‌حلقه ساده را مشتمل بر دو بخش بگیریم.



می‌خواهیم تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی بار مثبتی را که در این شکل‌ها از A به B می‌رود بررسی کنیم. در شکل الف $V_A > V_B$ و جهت جریان از A به B است و انرژی پتانسیل الکتریکی به اندازه q (IR) کاهش می‌یابد. پس داریم

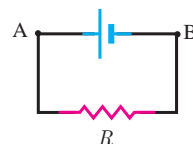
$$U_A - IRq = U_B$$

در شکل ب دوباره $V_A > V_B$ است، اما جهت انتقال بار از B به A است و بار الکتریکی مثبت در خلاف جهت میدان جابه‌جا می‌شود و انرژی پتانسیل آن افزایش می‌یابد:

$$U_B + q\mathcal{E} = U_A$$

از تلفیق این دو رابطه به رابطه زیر می‌رسیم:

$$U_A - IRq = U_A - q\mathcal{E} \Rightarrow \mathcal{E} - IR = 0$$



یعنی وقتی اینها حلقه بسته‌ای را تشکیل می‌دهند، قاعده حلقه برقرار می‌شود.

پاسخ تمرین ۲-۴

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

۲-۶- ترکیب مقاومت ها

در ترکیب مقاومت ها معمولاً فقط از روابط ریاضی استفاده می شود. خوب است پیش از شروع بحث با پرسش هایی از زندگی روزمره شروع کنیم؛ مثلاً

– تعدادی از مصرف کننده های الکتریکی در خانه را نام ببرید. در خانه منبع تولید کننده انرژی الکتریکی چیست و اتصال مصرف کننده ها به آنها از چه طریق است؟

– در حالت عادی برای قطع جریان برق در یک مصرف کننده از چه وسیله ای استفاده می کنیم؟ (پاسخ: کلید)

– موردی را بیان کنید که قطع کردن کلید به خاموش شدن (قطع جریان الکتریکی) هم زمان در چند مصرف کننده الکتریکی بینجامد. (پاسخ: لامپ های یک لوستر خانگی)

– موردی را بیان کنید که قطع کردن کلید به خاموش شدن هم زمان چند مصرف کننده الکتریکی بینجامد. (پاسخ: لامپ روشنایی اتاق و تلویزیون)

– تفاوت عملکرد مصرف کننده های الکتریکی در دو مورد اخیر در چیست؟ (پاسخ: در به هم بستن مصرف کننده ها).

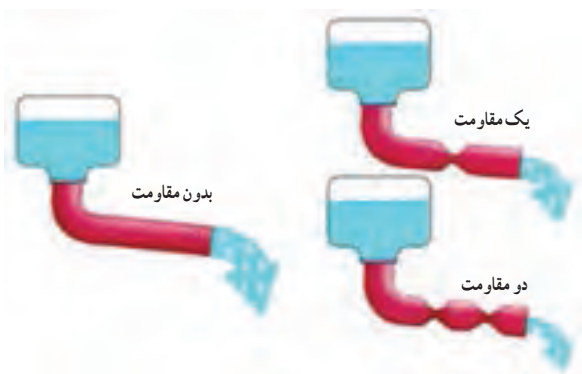
بر این نکته تأکید کنید که به هم بستن مقاومت ها نقش مهمی در کاربرد آنها دارد و بسته به نوع استفاده ای که از مصرف کننده های الکتریکی می کنیم، به هم بستن آن متفاوت است.

در اینجا خوب است با ذکر مثال هایی از ترکیب های مقاومت هایی که به ظاهر متوالی بسته شده اند ولی در بین آنها اشعاعی وجود دارد، به تفهیم این موضوع بپردازید.

The image shows a page from a textbook. At the top, there is a photograph of a household circuit setup with a battery, switches, and light bulbs. Below the photo, there is Persian text explaining the concept of parallel connection. The text describes how components are connected in a circuit and how the current flows through them. A circuit diagram is also shown, illustrating a parallel connection of two light bulbs. The text continues to explain the characteristics of parallel circuits, such as the independent operation of each branch.



در اتصال موازی، مشابهت‌سازی‌ای با شارش آب آمده است. می‌توان چنین مشابهت‌سازی را برای اتصال متوالی نیز به کاربرد. بنابراین شکل‌هایی مثل شکل زیر آموزنده است.



پاسخ تمرین ۵-۲

الف) مقاومت‌ها به‌طور 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 رابطه ۱۱-۲ را به‌دست آوریم. از رابطه $P = I\Delta V$ استفاده کنیم. از طرفی اختلاف پتانسیل دو سر یک باتری واقعی از رابطه $\Delta V = \mathcal{E} - Ir$ به‌دست می‌آید. بنابراین برای توان خروجی باتری داریم:

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

که در اینجا چنین می‌شود:

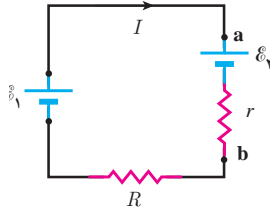
$$P_{\text{خروجی}} = (7/0V)(0/50A) - (1/0\Omega)(0/50A)^2 = 3/25W$$

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

$$P_{\text{مصرفی}} = I^2(R_1 + R_2 + R_3) = I^2 R_{123} = (0/50A)^2 (13/0\Omega) = 3/25W$$

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

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



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

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

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

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

خوب است این بیان را به طور ریاضی نیز بررسی کنیم. اگر مثلاً ولت‌سنج با مقاومت R_V را به طور موازی با وسیله‌ای با مقاومت R_d ببنسیم، مقاومت کل چنین می‌شود:

$$R = \frac{R_V R_d}{R_V + R_d} = \frac{R_d}{1 + R_d / R_V}$$

هرچه مقاومت R_V ولت‌سنج در مقایسه با مقاومت R_d وسیله بزرگ‌تر باشد، اختلاف بین مقاومت کل آنها و مقاومت R_d وسیله کوچک‌تر است و بر ولت‌سنج تأثیر کمتری می‌گذارد. پس مقاومت ولت‌سنج باید تا آنجا که ممکن است بزرگ اختیار شود. به این منظور، گاهی یک مقاومت اضافی را که ممکن است مقاومتش به چند هزار اهم برسد به طور متوالی به ولت‌سنج می‌بندند.

برخلاف ولت‌سنج، آمپرسنج باید مقاومت بسیار کوچکی داشته باشد. اگر مقاومت آمپرسنج را با R_a و مقاومت مدار را با R_c نمایش دهیم، مقاومت کل مدار (همراه با آمپرسنج) چنین می‌شود:

$$R = R_c + R_a = R_c \left(1 + \frac{R_a}{R_c} \right)$$





پاسخ پرسش ۳-۲

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

$$I_1 + I_2 + I_4 = I_3$$

که آن را می‌توان (آن‌طور که در بسیاری از کتاب‌ها مرسوم است)

به‌صورت زیر نوشت :

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

فعالیت ۹-۲

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



در اینجا می‌توان با ذکر مثال ساده‌ای که در آن در مدار شکل ۳۹-۲، مقاومت‌ها با لامپ‌هایی جایگزین شده باشند، و با بیان این پرسش که اگر یکی از لامپ‌ها را از مدار خارج کنیم آیا لامپ‌های دیگر خاموش می‌شوند، طرح درس خود را آغاز کنیم.

در اینجا خوب است علاوه بر شکل ۳۹-۲، به ترکیب مقاومت‌های دیگری که ظاهر موازی ندارند ولی «به‌صورت موازی» بسته شده‌اند، دانش‌آموزان را درگیر این مفهوم سازیم.

پاسخ تمرین ۲-۶

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

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

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

از آنجا داریم:

$$\frac{1}{R_3} = \frac{1}{1/6\Omega} - \frac{1}{2/0\Omega} = \frac{2/0\Omega - 1/6\Omega}{(1/6\Omega)(2/0\Omega)} = \frac{0/4\Omega}{3/2\Omega^2} = 0/125\Omega^{-1}$$

و در نتیجه $R_3 = 8/0\Omega$ می‌شود.

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

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

بنابراین جریانی که آمپرسنج نشان می‌دهد برابر است با

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

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

ب) با استفاده از رابطه ۱۱-۲ توان خروجی باتری واقعی را به‌دست می‌آوریم (و نیز نگاه کنید به حل تمرین ۵-۲).

$$P_{خروجی} = \mathcal{E}I - rI^2$$

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

از طرفی، مجموع مقاومت‌های مصرفی در مقاومت‌ها برابر است

با

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



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

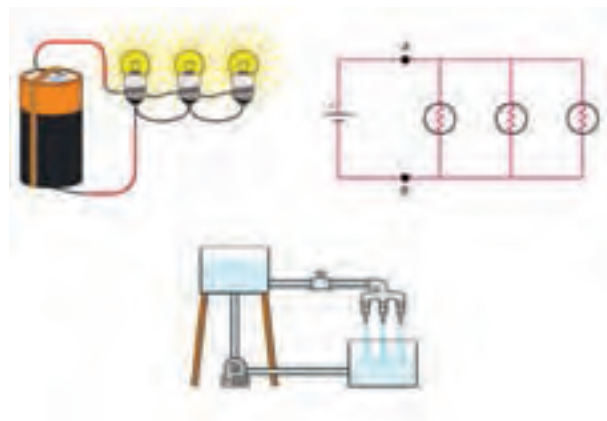
$$V_1 = V_2 = V_3 = IR_{۱۲۳}$$

در نتیجه برای توان مصرفی داریم :

$$P_{\text{مصرفی}} = (IR_{۱۲۳})^2 \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) = (IR_{۱۲۳})^2 \left(\frac{1}{R_{۱۲۳}} \right)$$

$$= I^2 R_{۱۲۳} = \left(\frac{3}{2} \right)^2 (1/6 \Omega) = 2/130 \text{ W}$$

در اینجا می‌شود مثال‌های ملموس‌تری مانند شکل زیر را در تفهیم موضوع آورد.



همچنین مقاله آموزنده‌ای تحت عنوان

understand electrical circuit – comparison with water system

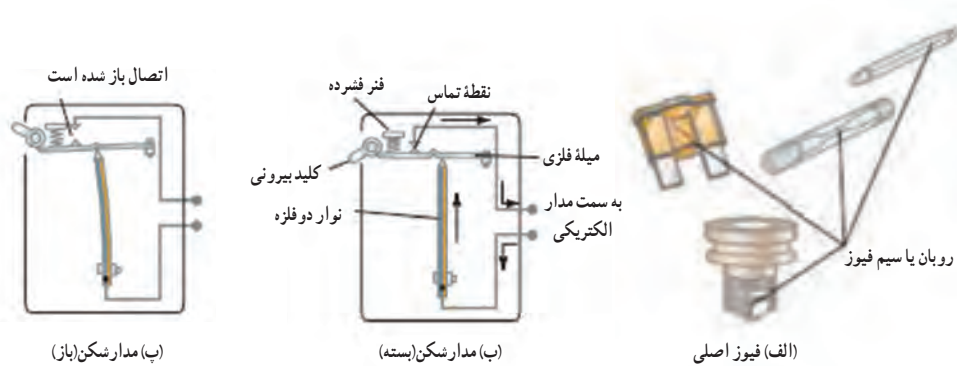
در اینترنت یافت می‌شود که این مشابهت‌سازی‌ها را با ارائه چند مثال، بیشتر تفهیم می‌کند.

در این فیلم‌ها ترکیب مقاومت‌های سری و مقاومت‌های موازی را در عمل مشاهده می‌کنید.



فیلم

خوب است اشاره شود اساس کار فیوزهای فرعی منازل که اصطلاحاً به آنها مدارشکن (circuit breaker) گفته می‌شود متفاوت با فیوز اصلی است که در مثال ۲-۱۴ به آن اشاره شده است. در فیوز اصلی، سیم یا روبان فلزی‌ای قرار دارد که با عبور جریان از حدّ معینی می‌سوزد و باید تعویض گردد (شکل الف). اما اساس کار مدارشکن‌ها متفاوت است. شکل ب ساختار نوع ساده‌ای از مدارشکن‌ها را نشان می‌دهد. با عبور جریان، از حدّ ایمن، گرم شدن نوار دو فلز به باعث می‌شود این نوار آنقدر به سمت چپ خم شود تا برآمدگی روی میله فلزی‌ای که در انتهای آن فلزی قرار گرفته است، روی نوک نواری دو فلز قرار گیرد و بدین ترتیب مدار باز شود (شکل پ). با بازشدن مدار، کلید بیرونی نیز برخلاف جهت اولیه خود می‌جهد که ما آن را مشاهده می‌کنیم. البته نوع پیشرفته‌تر این فیوزها براساس القای الکترومغناطیسی کار می‌کنند و به آنها GFCI گفته می‌شود.



در این فیلم با اقسامی از فیوزها آشنا می‌شوید.



فیلم



همچنین خوب است در انتهای این مبحث به سیم کشی برق منازل و واژه‌های فاز و نول هم بپردازید. کابلی که برق شهر را وارد خانه‌ها می‌کند از دو سیم درست شده است، یکی سیم فاز یا سیم دارای بار و دیگری سیم نول یا سیم خنثی. سیم نول در ایستگاه مبدل محل به زمین متصل شده است و بنابراین پتانسیل زمین را دارد. کابل برق وارد فیوز اصلی و کنتور و سپس مدارشکن‌ها می‌شود.

پاسخ تمرین ۲-۷

الف) مقاومت‌های R_1 و R_2 متوالی‌اند و مقاومت معادل آنها را R_{12} می‌نامیم. همین‌طور مقاومت‌های R_3 و R_4 متوالی‌اند و مقاومت معادل آنها را R_{34} می‌نامیم. پس اکنون مقاومت‌های R_{12} و R_5 و R_{34} موازی‌اند. بنابراین برای مقاومت کل مدار بین نقطه‌های F و H داریم:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_{12}} + \frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_{34}} \\ = \frac{1}{8/0.05\Omega + 8/0.05\Omega} + \frac{1}{8/0.05\Omega} + \frac{1}{8/0.05\Omega + 8/0.05\Omega} = \frac{2}{8/0.05\Omega} = 0.25\Omega^{-1}$$

و در نتیجه

$$R_{eq} = \frac{1}{0.25\Omega^{-1}} = 4/0.05\Omega$$

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

$$R_{12} = R + R = 2R \quad \text{و} \quad R_5 = R \quad \text{و} \quad R_{34} = R + R = 2R$$

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

و از آنجا

بنابراین $R_{eq} = R/2 = 4/0.05\Omega$ می‌شود.

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

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_{1235}} \quad (۱)$$

که در آن R_{1235} خود برابر است با

$$R_{1235} = R_{123} + R_5 \quad (۲)$$

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

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

در نتیجه

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

اکنون با استفاده از رابطه (۲) داریم:

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

که قرار دادن آن در رابطه (۱)، چنین به دست می‌دهد:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{8/^\circ\Omega} + \frac{1}{13/33^\circ\Omega} = 0/2^\circ\Omega^{-1}$$

و در نتیجه R_{eq} چنین می‌شود:

$$R_{eq} = \frac{1}{0/2^\circ\Omega^{-1}} = 5/^\circ\Omega$$

تبصره: با توجه به اینکه در این تمرین مقاومت‌ها با هم برابرند، می‌توانستیم به‌طور ساده‌تری، به‌روش پارامتری نیز مسئله را حل کنیم:

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

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

در نتیجه

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

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

خوب است واژه انگلیسی لامپ سه راهه که 3-way lamp یا tri-light خوانده می شود را به دانش آموزان بخواهیم درباره این لامپ ها و کاربردها تحقیق کنند.



یک سریج « بدون کلید» لامپ سه راهه علاوه بر دو محل تماس معمولی، یک محل تماس بیشتر (محل تماس ۲ در شکل) نیز دارد.



تصویری از یک جاب یک لامپ سه راهه



استفاده از جریان برق در جراحی

جراحی/الکتریکی^۱ روشی پزشکی است که در آن با یک میله باریک و رسانا، جریان برق متناوب پرسیامدی را بر بیمار اعمال می‌کنند. این روش به جراح اجازه می‌دهد تا بدون ایجاد هیچ گونه خونریزی غیرضروری‌ای، شکافی را بر روی بدن بیمار ایجاد کند و نیز رگ‌های خونی بی‌حفاظ را (با حرارت) منعقد سازد.

برای آنکه جریان برق برقرار گردد، الکترودها (و در نتیجه قسمت شکاف خورده) بایستی بخشی از یک مدار کامل باشند. در نوعی از این روش، این مدار شامل نیستر، بیمار و یک الکتروده است که در زیر بیمار قرار می‌گیرد. در روزهای آغازین استفاده از این روش، بیماران شدیداً دچار سوختگی می‌شدند. در واقع وقتی الکتروده به عضوی از بدن اعمال شود که با تکیه‌گاهی به بدن وصل است – مثل آنچه که ممکن است در جراحی الکتریکی ختنه رخ دهد – خطر سوختگی وجود دارد، که در اینجا می‌خواهیم به آن بپردازیم.

گرچه جریان بر محل شکاف متمرکز می‌شود، اما باید اجازه داد تا در ناحیه بسیار بیشتری، در محل قرار گرفتن الکتروده در زیر بیمار پخش شود. در غیر این صورت، جریان در تماس با الکتروده زیرین، بدن بیمار را خواهد سوزاند. بنابراین، الکتروده پهن است (تا جریان را پخش کند) و چنان قرار داده می‌شود که به خوبی با بدن تماس یابد، نه اینکه فقط در چند قسمت و یا در نزدیکی قسمت‌های استخوانی که جریان ممکن است در آنها متمرکز شود، تماس یابد. در روزهای آغازین استفاده از این روش، چنین احتیاط‌های ایمنی‌ای رعایت نمی‌شد و بیماران به شدت دچار سوختگی می‌شدند.

وقتی الکتروده به عضوی از بدن اعمال شود که با تکیه‌گاهی به بدن وصل است، جریان تمایل می‌یابد تا در انتهای این تکیه‌گاه متمرکز شود، وضعیتی که به آن/زدحام جریان^۲ گفته می‌شود. در نتیجه، پایین این تکیه‌گاه می‌تواند سریعاً داغ و متلاشی شود، اتفاقی که پیش از آنکه خطر ازدحام جریان شناخته شود، در چند عمل جراحی غم‌انگیز رخ داده بود.

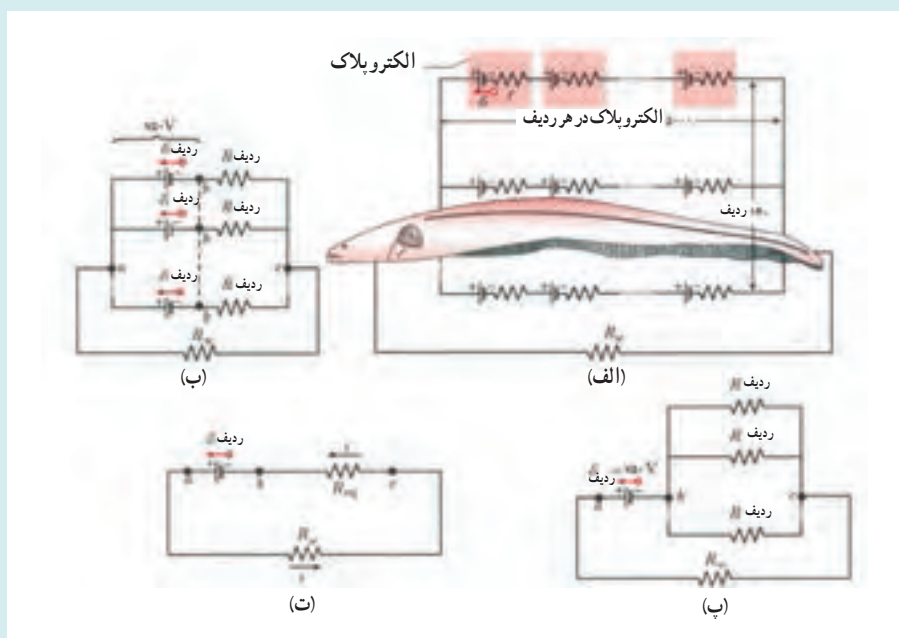


^۱ – Electrosurgery

^۲ – current crowding

مدل سازی ماهی های الکتریکی با مدارهای الکتریکی

ماهی های الکتریکی که در «خوب است بدانید» بخش ۲-۴ کتاب به آن اشاره شده است، به کمک سلول های بیولوژیکی ای به نام/الکتروپلاک که منبع های نیروی محرکه فیزیولوژیکی هستند، جریان الکتریکی ایجاد می کنند. الکتروپلاک های موجود در نوعی از این ماهی به نام مارماهی آمریکایی آمریکای جنوبی^۱ در 14° ردیف آرایش یافته اند که هر ردیف در طول بدن ماهی به طور افقی امتداد یافته است و شامل 5000 الکتروپلاک هستند. این آرایش در شکل زیر نشان داده شده است. هر الکتروپلاک دارای نیروی محرکه ای برابر $15V$ و مقاومت r برابر 25Ω است. آب اطراف مارماهی، مدار بین دو انتهای این آرایه الکتروپلاکی را، یکی در سر ماهی و دیگری در دم آن، کامل می کند. اگر مقاومت R_w آب اطراف مارماهی برابر 80Ω باشد، محاسبه نشان می دهد این مارماهی می تواند جریانی برابر $927A$ ایجاد کند. اگر سر یا دم این مارماهی نزدیک یک ماهی قرار گیرد، ممکن است بخشی از این جریان با عبور از مسیر باریکی در ماهی، موجب گنج کردن یا مرگ آن شود.



(الف) مدلی از مدار الکتریکی یک مارماهی در آب. هر الکتروپلاک مارماهی دارای emf ای برابر با \mathcal{E} و مقاومت داخلی r است. در طول هریک از 14° ردیفی که از سر تا دم ماهی امتداد یافته است، 5000 الکتروپلاک وجود دارد. مقاومت آب اطراف مارماهی R_w است.

(ب) emf هر ردیف $\mathcal{E}_{ردیف}$ و مقاومت هر ردیف $R_{ردیف}$ است.

(پ) emf بین نقطه های a و b برابر با $\mathcal{E}_{ردیف}$ است. بین نقطه های b و c ، 14° مقاومت موازی $R_{ردیف}$ وجود دارد.

(ت) مدار ساده شده، با R_{eq} ای که جایگزین ترکیب موازی مقاومت ها شده است.

دانستنی برای معلم

سنت کردن وسیله‌های اندازه‌گیری

سنت کردن یکی از کاربردهای مهم اتصال مقاومت‌ها و تقسیم جریان‌ها است. فرض کنید آمپرسنجی داریم که برای جریان بیشینه I_{\max} طراحی شده است، ولی می‌خواهیم جریان بیشتری از این جریان بیشینه را اندازه‌گیری کنیم. به این منظور، مقاومت کوچک r را به صورت موازی با آمپرسنج می‌بندیم. در این صورت بخش بزرگی از جریان از این مقاومت می‌گذرد. این مقاومت را سنت می‌نامند. مقاومت آمپرسنج را با R_A نشان می‌دهیم و فرض می‌کنیم که R ، n برابر بزرگ‌تر از r است. اگر جریان در مدار، در آمپرسنج، و در سنت را به ترتیب با I_C ، I_A ، و I_{sh} در نظر بگیریم، آنگاه خواهیم داشت:

$$\frac{I_{sh}}{I_A} = \frac{R}{r} = n$$

پس جریان کل I_C در مدار برابر است با

$$I_C = I_A + I_{sh} = I_A + nI_A = (n+1)I_A$$

یا

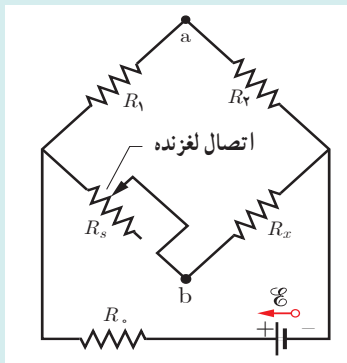
$$I_A = I_C \frac{1}{n+1}$$

پس، جریان I_A در آمپرسنج $\frac{1}{n+1}$ جریان در مدار است. در نتیجه به کمک سنت می‌توان از آمپرسنج برای اندازه‌گیری جریانی استفاده کرد که $n+1$ بار بزرگ‌تر از جریانی است که آمپرسنج برای آن طراحی شده است.

دانستنی برای معلم

پل و تستون

در شکل زیر، مقدار R_s باید طوری تنظیم شود که با حرکت دادن اتصال لغزنده روی آن، سرانجام پتانسیل‌های a و b یکسان شود (یک روش برای تحقیق این شرط آن است که برای لحظه‌ای آمپرسنج حساسی را بین نقطه‌های a و b ببندیم؛ اگر این دو نقطه در پتانسیل یکسانی باشند، آمپرسنج منحرف نخواهد شد). نشان می‌دهیم هرگاه این تنظیم ایجاد شود، رابطه $R_x = R_s R_1 / R_2$ برقرار است. یک مقاومت مجهول (R_x) را می‌توان با استفاده از این وسیله که پل و تستون خوانده می‌شود، برحسب یک مقاومت استاندارد (R_s) اندازه‌گیری کرد.



I_1 را جریان در مقاومت‌های R_1 و R_2 ، و I_2 را جریان در مقاومت‌های R_s و R_x در نظر بگیریم. اختلاف پتانسیل $V_a - V_b$ را از دو مسیر محاسبه می‌کنیم. از مسیر $R_s \rightarrow R_1$ داریم:

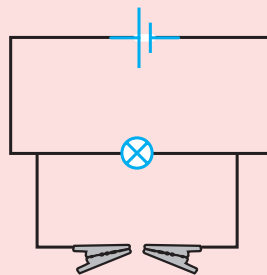
$$V_a - V_b = I_1 R_1 - I_2 R_s$$

که با توجه به اینکه نقاط a و b هم پتانسیل‌اند، $I_1 R_1 = I_2 R_s$ می‌شود. از مسیر $R_2 \rightarrow R_x$ نیز دوباره با توجه به اینکه $V_a = V_b$ است به $I_1 R_2 = I_2 R_x$ می‌رسیم. از تقسیم این دو رابطه $R_x = R_s R_2 / R_1$ به دست می‌آید.

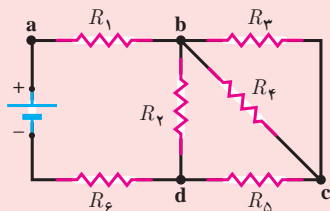
پرسش‌های پیشنهادی

۱ رشته‌ای شامل ۱۲ لامپ کاملاً مشابه به‌طور متوالی به یک منبع نیروی محرکه الکتریکی 120 V بسته شده‌اند. هر لامپ 15 W توان مصرف می‌کند. مقاومت هر لامپ چقدر است؟

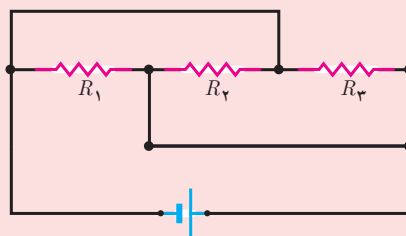
پاسخ : چون هر لامپ 15 W تلف می‌کند، کل انرژی‌ای که منبع تحویل می‌دهد $P = 12(15\text{ W}) = 180\text{ W}$ می‌شود. و از آنجا $I = P/\mathcal{E} = \frac{180\text{ W}}{120\text{ V}} = 1.5\text{ A}$ می‌گردد. کل افت پتانسیل در دو سر دوازده لامپ 120 V است. چون لامپ‌ها یکسان‌اند، افت پتانسیل دو سر هر یک باید $10\text{ V} = 120\text{ V} / 12$ باشد. پس مقاومت هر لامپ برابر است با $R = \frac{10\text{ V}}{1.5\text{ A}} \approx 6.7\Omega$.
۲ در شکل زیر یک مدار الکتریکی را می‌بینید که در آن باتری جریان را از لامپ می‌گذرانند. اگر سیمی مسی بین دو گیره قرار گیرد چه رخ می‌دهد؟



پاسخ : با اتصال قطعه مسی، مقاومت در این شاخه نسبت به شاخه لامپ که به‌طور موازی با آن بسته شده است مقدار کمتری می‌شود و بنابراین جریان عبوری از این شاخه نسبت به شاخه لامپ بسیار بیشتر شده و لامپ خاموش می‌گردد.
۳ مقاومت معادل مدارهای زیر چقدر است؟ (مقاومت‌ها برابرند).



(ب)



(الف)

پاسخ : الف) $\frac{R}{3}$ ب) $9R/4$

۳ ریسه‌ای که برای تزئین به کار رفته شامل چند لامپ کوچک است که به‌طور متوالی بسته شده‌اند و هر یک با ولتاژ 6 یا 8 ولت کار می‌کند. اگر ریسه با ولتاژ 220 V تغذیه شود چند لامپ 6 V یا 8 V باید اختیار کرد؟ اگر یکی از لامپ‌ها بسوزد آیا ریسه روشن می‌ماند؟ برای ترمیم باید چه کار کرد؟ چرا می‌گویید در صورتی که 3 یا 4 لامپ ریسه بسوزد، ریسه دیگر قابل استفاده نیست؟
پاسخ : 37 لامپ 6 V ، 28 لامپ 8 V . بدیهی است که با سوختن یک لامپ، بقیه لامپ‌ها هم خاموش می‌شوند. با اتصال دو سر آزاد سیم‌های متصل به لامپ سوخته مشکل حل می‌شود. اگر چند لامپ بسوزد، مقاومت بقیه لامپ‌ها چنان کم می‌شود که جریان زیادی از آنها می‌گذرد و بقیه لامپ‌ها به‌زودی خاموش می‌شود.

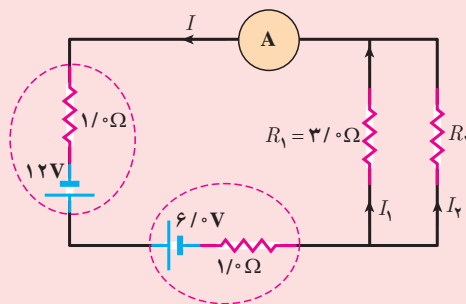
۵ چرا پس از به کار انداختن بعضی از وسایل که جریان زیادی مصرف می کنند (مثل اتو) نور لامپ های روشن منزل ناگهان کاهش می یابد؟ البته کاهش روشنایی در لحظه اول محسوس است و سپس روشنایی قدری افزایش می یابد، گرچه همچنان کمتر از قبل است. پاسخ: با به کار افتادن وسایل پر مصرف، جریان در مدار و سیم های رابط زیاد می شود و در نتیجه افت پتانسیل بالا می رود و این به کاهش متناظر در ولتاژ وسایل می انجامد که به طور موازی بسته شده اند. روشنایی لامپ ها به تدریج افزایش می یابد، زیرا مقاومت اتو با افزایش دمای آن زیاد می شود و در نتیجه افت پتانسیل ناشی از راه افتادن اتو کم می گردد.

۶ برای اینکه از رسانایی به مقاومت $R = 100 \Omega$ ، مقاومتی برابر $R = 1 \Omega$ به دست آید، چه تعداد بخش مساوی باید از آن بریده و به صورت موازی بسته شود؟

پاسخ: اگر رسانا به n بخش مساوی بریده شود، مقاومت r هر بخش برابر R/n می شود. مقاومت معادل n رسانای موازی به مقاومت r برابر $R_{eq} = r/n$ است. بنابراین $R_{eq} = R/n^2$ می شود و از اینجا برای این مسئله $n = \sqrt{100} = 10$ به دست می آید.

تمرین های پیشنهادی

۱ جریانی که آمپرسنج مدار شکل زیر نشان می دهد برابر $2/0 \text{ A}$ است. الف) مقاومت R_1 و ب) توان مصرفی هر یک از دو مقاومت را تعیین کنید.



الف) برای محاسبه مقاومت R_2 ، برای مدار معادل شکل، معادله اختلاف پتانسیل ها را می نویسیم. اگر مقاومت معادل مقاومت های R_1 و R_2 با R_{12} نمایش دهیم، با حرکت پادساعتگرد خواهیم داشت:

$$-I(1/0 \Omega) + 12\text{V} - 6/0\text{V} - I(1/0 \Omega) - IR_{12} = 0$$

که در آن I همان جریانی است که آمپرسنج نشان می دهد ($I = 2/0 \text{ A}$). در نتیجه برای R_{12} خواهیم داشت:

$$R_{12} = \frac{-(2/0 \text{ A})(1/0 \Omega) + 12\text{V} - 6/0\text{V} - (2/0 \text{ A})(1/0 \Omega)}{2/0 \text{ A}} = 1/0 \Omega$$

مقاومت $R_{۱۲}$ ، مقاومت معادل مقاومت‌های موازی $R_۱$ و $R_۲$ است. بنابراین

$$\frac{1}{R_{۱۲}} = \frac{1}{R_۱} + \frac{1}{R_۲}$$

و در نتیجه :

$$\frac{1}{R_۲} = \frac{1}{R_{۱۲}} + \frac{1}{R_۱}$$

$$\frac{1}{R_۲} = \frac{1}{۱/۰\Omega} = \frac{1}{۳/۰\Omega} = \frac{۲}{۳}\Omega^{-۱}$$

$$\text{در نتیجه } R_۲ = \frac{۳}{۲} = ۱/۵\Omega$$

ب) برای محاسبه توان مصرفی از رابطه $P_{\text{مصرفی}} = I^2 R$ استفاده می‌کنیم. به این منظور باید جریان عبوری از مقاومت‌ها $R_۱$ و $R_۲$ را بشناسیم. چون پتانسیل‌های دو سر این مقاومت‌ها یکسان است، داریم :

$$V_۱ = V_۲ \Rightarrow (۳/۰\Omega)I_۱ = (۱/۵\Omega)I_۲$$

و از طرفی از قانون انشعاب جریان‌ها داریم :

$$I = I_۱ + I_۲ = ۲/۰\text{ A}$$

اکنون از حل هم‌زمان معادله‌های (۱) و (۲)، جریان $I_۱$ و $I_۲$ را به دست می‌آوریم :

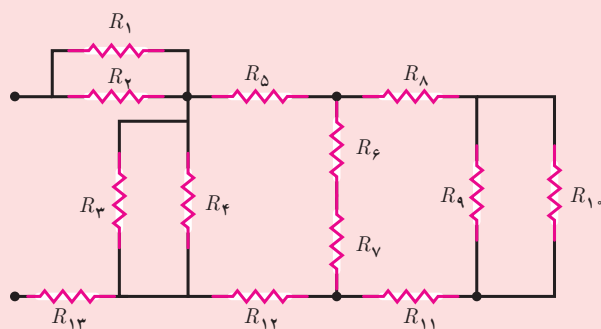
$$I_۱ + ۲I_۱ = ۲$$

و از آنجا $I_۱ = \frac{۲}{۳}\text{ A}$ ، $I_۲ = \frac{۴}{۳}\text{ A}$ می‌شود. حال توان مصرفی را محاسبه می‌کنیم :

$$P_۱ = I_۱^2 R_۱ = \left(\frac{۲}{۳}\right)^2 (۳) = \frac{۴}{۳} \approx ۱/۳\text{ W}$$

$$P_۲ = I_۲^2 R_۲ = \left(\frac{۴}{۳}\right)^2 \left(\frac{۳}{۲}\right) = \frac{۸}{۳} \approx ۲/۶\text{ W}$$

۲) مقاومت معادل مدار شکل زیر را به دست آورید.



$$R_۱ = R_۲ = ۱/۸\Omega, R_۳ = ۱/۰\Omega$$

$$R_۴ = ۳/۰\Omega, R_۵ = ۱/۰\Omega$$

$$R_۶ = ۱/۲\Omega, R_۷ = ۰/۸\Omega$$

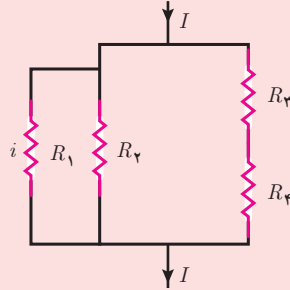
$$R_۸ = ۱/۲\Omega, R_۹ = R_{۱۰} = ۳/۰\Omega$$

$$R_{۱۱} = R_{۱۲} = ۰/۳\Omega, R_{۱۳} = ۰/۷\Omega$$

پاسخ : $۲/۱۸\Omega \approx ۲/۲\Omega$

۳ شکل زیر بخشی از مداری را نشان می‌دهد که جریان عبوری از آن $I = 6/00 \text{ A}$ است. مقاومت‌ها عبارت‌اند از :

$R_1 = R_2 = 2/00 \Omega$ $R_3 = 2/00 \Omega$ $R_4 = 4/00 \Omega$ $R_5 = 4/00 \Omega$ چقدر است؟



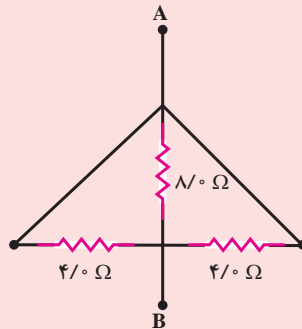
پاسخ : مقاومت معادل جفت مقاومت‌های متوالی $R_3 = R_4 = 2/00 \Omega$ برابر $R_{34} = 4/00 \Omega$ است. مقاومت معادل جفت مقاومت‌های موازی $R_1 = R_2 = 2/00 \Omega$ برابر $R_{12} = 1/00 \Omega$ است. چون ولتاژ دو سر R_{34} باید برابر ولتاژ دو سر R_{12} باشد داریم :

$$V_{34} = V_{12} \Rightarrow i_{34} R_{34} = i_{12} R_{12}$$

در نتیجه $i_{34} = \frac{1}{2} i_{12}$ می‌شود. از طرفی، طبق قاعده انشعاب $I = i_{12} + i_{34} = 6/00 \text{ A}$ است. این رابطه همراه رابطه قبلی به $i_{12} = 4/00 \text{ A}$ می‌انجامد. از روی تقارن بدیهی است :

$$i_1 = i_{12}/2 = 2/00 \text{ A}$$

۴ مقاومت معادل بین پایانه‌های A و B را در شکل زیر به دست آورید.



پاسخ : همان‌طور که در شکل می‌بینیم دو سر مقاومت $8/00 \Omega$ به دو سر مقاومت‌های $4/00 \Omega$ اهمی بسته شده است. بنابراین مقاومت $8/00 \Omega$ با مقاومت‌های $4/00 \Omega$ موازی است.

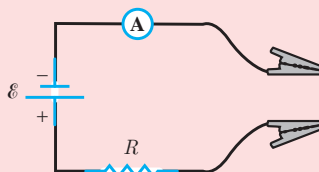
$$R_{eq} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{8/00 \Omega} + \frac{1}{4/00 \Omega} + \frac{1}{4/00 \Omega}$$

و از آنجا $R_{eq} = 1/6 \Omega$ به دست می‌آید.

فعالیت‌های پیشنهادی

اهم سنج بسازیم

مطابق شکل می‌توانیم با یک باتری $1/5$ ولت و آمپرسنجی که می‌تواند از صفر تا $1/0 \text{ mA}$ را بخواند، اهم‌سنج ساده‌ای بسازیم. مقاومت R طوری تنظیم می‌شود که هرگاه گیره‌ها به هم وصل شوند، آمپرسنج حداکثر انحراف خود را داشته باشد. اندازه مقاومت خارجی بین گیره‌ها قرار می‌گیرد چقدر باشد تا انحراف عقربه الف) $1/0\%$ ب) $5/0\%$ پ) $9/0\%$ تمام مقیاس باشد؟ ت) اگر مقاومت آمپرسنج 20Ω و مقاومت درونی باتری ناچیز باشد، مقدار R را تعیین کنید.



پاسخ :

الف) ابتدا با معلوم بودن جریان و نیروی محرکه باتری، مقاومت کل مدار را حساب می‌کنیم :

$$I = 1/0 \times 10^{-3} \text{ A} \quad , \quad \mathcal{E} = 1/5 \text{ V} \quad , \quad R_T = ?$$

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R_T} \Rightarrow R_T = \frac{1/5 \text{ V}}{1/0 \times 10^{-3} \text{ A}} = 1/5 \text{ k}\Omega$$

در قسمت‌های بعدی هر بار که مقاومتی بین گیره‌ها قرار گیرد با مقاومت کل مدار به‌طور متوالی خواهد شد و جریان‌های عبوری داده شده‌اند :

$$I_1 = 1/0\% I = 1/0 \times 10^{-3} \text{ A} \quad \text{و} \quad I = \frac{\mathcal{E}}{R_T + R_{\text{ext}}} \Rightarrow 1/0 \times 10^{-3} = \frac{1/5}{(1500 + R_{\text{ext}})}$$

$$\Rightarrow R_{\text{ext}} = 1350 \Omega \approx 1/3 \text{ k}\Omega$$

$$I_2 = 5/0\% I = 5/0 \times 10^{-3} \text{ A} \quad 5/0 \times 10^{-3} = \frac{1/5}{(1500 + R_{\text{ext}})}$$

$$\Rightarrow R_{\text{ext}} = 1500 \Omega = 1/5 \text{ k}\Omega$$

$$I_3 = 9/0\% I = 9/0 \times 10^{-3} \text{ A} \quad 9/0 \times 10^{-3} = \frac{1/5}{(1500 + R_{\text{ext}})}$$

$$\Rightarrow R_{\text{ext}} = 167 \Omega \approx 1/7 \times 10^2 \Omega$$

ت) به این ترتیب مقاومت کل مدار در حالتی که بین گیره‌ها هیچ مقاومتی نباشد شامل مقاومت آمپرسنج و R است که متوالی بسته شده‌اند :

$$R_{\text{eq}} = R + R_A$$

$$1500 \Omega = R + 20 \Omega \Rightarrow R = 1480 \Omega$$

راهنمای پاسخ‌یابی پرسش‌ها و مسئله‌های 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 پرکند.

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

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

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

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

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

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

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

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

$$q = \frac{\Delta U}{\Delta V} = \frac{1/0 \times 10^9 J}{5/0 \times 10^6 V} = 20C$$

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

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

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

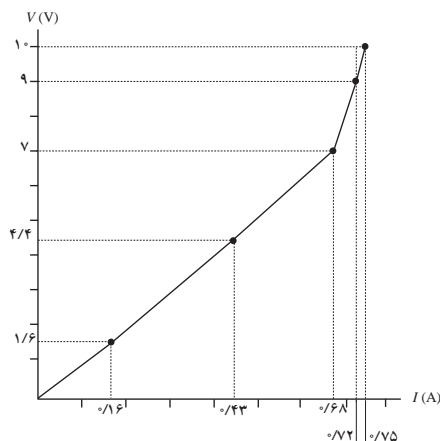
$$P = \frac{1/0 \times 10^9 J}{0/20s} = 5/0 \times 10^9 W = 5/0 GW$$

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

$$P = I\Delta V = (100A)(5/0 \times 10^6 V) = 5/0 GW$$



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



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

۶ به نسبت V/I ، 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 V/I 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 رابطه $R = \rho L/A$ به دست می‌آید. اگر شعاع مقطع را با r (و قطر را با d) مشخص کنیم، داریم :

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

و

$$R_B = \rho \frac{L}{\pi d_B^2} = \frac{\rho L}{\pi [(2/\text{mm})^2 - (1/\text{mm})^2]} = \frac{\rho L}{\pi (3/\text{mm})^2}$$

و از آنجا

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

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



الف) نخست مساحت مقطع A را محاسبه کنیم :

$$A = \pi d^2 / 4 = \pi (8 \times 10^{-4} \text{ m})^2 / 4 = 5.0 \times 10^{-7} \text{ m}^2$$

و در نتیجه

$$R = \rho \frac{L}{A} = (1.7 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}) \frac{3.0 \text{ m}}{5.0 \times 10^{-7} \text{ m}^2} = 1.0 \Omega$$

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

ب) اکنون مساحت مقطع A چنین می شود :

$$A = \pi d^2 / 4 = \pi (13 \times 10^{-4} \text{ m})^2 / 4 = 1.327 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

و در نتیجه

$$R = \rho L / A = (1.7 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}) \frac{3.0 \text{ m}}{1.327 \times 10^{-6} \text{ m}^2} = 0.38 \Omega$$

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

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

از آنجا برای R_0 داریم :

$$R_0 = \frac{R}{1 + \alpha \Delta T} = \frac{44 \Omega}{1 + (4.0 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1})(118.0^\circ\text{C})} = 29.98 \Omega \approx 30 \Omega$$

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

۱۰) گلوله ها از ارتفاع مثلاً h بالای کف شروع به حرکت می کنند و آنها تحت تأثیر نیروی گرانشی، در فاصله بین برخورد با میخ ها شتاب می گیرند. میخ ها مشابه یون های شبکه اتمی هستند. در حین برخوردها، گلوله ها انرژی جنبشی به دست آمده در بین برخوردها را به میخ ها منتقل می کنند. چون برخوردها خیلی زیادند، گلوله ها یک سرعت سوق کوچک و نسبتاً ثابتی خواهند داشت. وقتی گلوله ها به پایین می رسند، یکی مانند شکل سمت راست، آنها را تا ارتفاع اولیه بالا می آورد. بالا آوردن هر گلوله، مشابه همان کاری است که یک منبع emf در مدار الکتریکی انجام می دهد.





۱۷ 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.

۱۸ در هنگام اتصال مقاومت به باتری داریم :

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

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

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

و در نتیجه :

$$I = 10/9A$$

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

$$(12/0V)(1/9A) - (10/9A)(10/9\Omega) = 0$$

از اینجا r چنین می‌شود :

$$r = \frac{12/0V}{1/9A} - 10/9\Omega = 1/0\Omega$$

۱۹ 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) :

$$V_A - IR_1 + \mathcal{E}_1 - Ir_1 - IR_2 - IR_3 - IR_4 - IR_5 - \mathcal{E}_2 - IR_6 - \mathcal{E}_3 = V_A$$

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

و در نتیجه :

$$I = \frac{\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_3}{R_1 + r_1 + R_2 + R_3 + r_3 + R_4} = \frac{14V - 2/0V - 4/0V}{4/0\Omega + 1/0\Omega + 2/0\Omega + 1/5\Omega + 0/5\Omega + 3/0\Omega} \approx 0/67A$$

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

$$V_A + \mathcal{E}_4 + IR_7 + \mathcal{E}_5 + Ir_5 = V_B$$

و از آنجا

$$V_B - V_A = \mathcal{E}_r + \mathcal{E}_r + I(R_r + r_r) \\ = 2/^\circ V + 4/^\circ V + (0/67A)(3/^\circ \Omega + 0/5\Omega) \approx 8/3V$$

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

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

و از آنجا

$$V_B - V_A = -I(R_1 + r_1 + R_r + R_r) + \mathcal{E}_1 \\ = -(0/67A)(4/^\circ \Omega + 1/^\circ \Omega + 2/^\circ \Omega + 1/5\Omega) + 14V = 8/3V$$

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

$$V_A + \mathcal{E}_1 - Ir_1 - IR - Ir_r - \mathcal{E}_r = V_A$$

در نتیجه جریان I چنین می شود :

$$I = \frac{\mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_r}{r_1 + r_r + R} = \frac{6/^\circ V - 3/^\circ V}{0/5\Omega + 1/^\circ \Omega + 1/5\Omega} = 1/^\circ A$$

بنابراین، جهت جریان، واقعاً ساعتگرد است.

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

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

و در نتیجه

$$V_B - V_A = 6/^\circ V - (1/^\circ A)(0/5\Omega) = 5/5V$$

و برای منبع ۲

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

و در نتیجه

$$V_E + V_A = 3/^\circ V + (1/^\circ A)(1/^\circ \Omega) = 4/^\circ V$$

ب) برای محاسبه V_A ، معادله اختلاف پتانسیل ها را بین نقطه های A و E (زمین) می نویسیم :

$$V_A + \mathcal{E}_1 - Ir_1 - IR = V_E = 0$$

در نتیجه

$$V_A = -I(r_1 - R) - \mathcal{E}_1 = (1/^\circ A)(0/5\Omega + 1/5\Omega) = -4/^\circ V$$

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

$$V_A + \mathcal{E}_r + Ir_r = V_E = 0$$

و در نتیجه

$$V_A = -\mathcal{E}_r - Ir_r = -3/^\circ V - (1/^\circ A)(1/^\circ \Omega) = -4/^\circ V$$





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

۱۶ الف) از رابطه $|VI| = P_{\text{مصرفی}}$ برای توان مصرفی استفاده می‌کنیم. برای اتو داریم $P = ۸۵۰ \text{ W}$ و $V = ۲۲۰ \text{ V}$ ، و در نتیجه

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

و برای کتری $P = ۲۴۰۰ \text{ W}$ و $V = ۲۲۰ \text{ V}$ داده شده است و در نتیجه

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

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

$$R_{\text{اتو}} = \frac{V^2}{P} = \frac{(۲۲۰ \text{ V})^2}{۸۵۰ \text{ W}} = ۵۶/۹ \Omega$$

$$R_{\text{کتری}} = \frac{V^2}{P} = \frac{(۲۲۰ \text{ V})^2}{۲۴۰۰ \text{ W}} = ۲۰/۲ \Omega$$

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

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

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

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

حال با توجه به اینکه $R_0 = ۱/۸ \Omega$ و $T_0 = ۲۰^\circ \text{ C}$ و ضریب دمایی مقاومت ویژه تنگستن برابر $۴/۵ \times ۱۰^{-۳} \text{ } ^\circ \text{ C}^{-۱}$ است، برای دمای رشته لامپ خواهیم داشت:

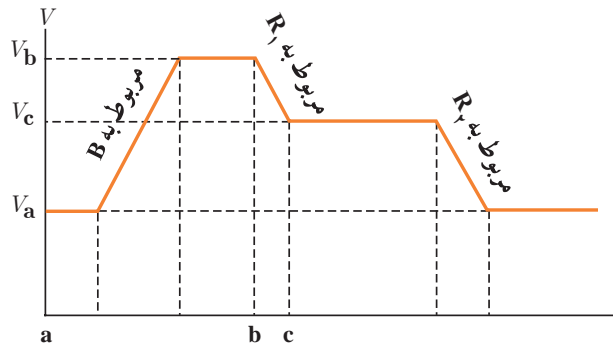
$$T = ۲۰^\circ \text{ C} + \frac{۹/۶۷ \Omega - ۱/۸ \Omega}{(۴/۵ \times ۱۰^{-۳} \text{ } ^\circ \text{ C}^{-۱})(۱/۸ \Omega)} = ۱/۷۵ \times ۱۰^۳ \text{ } ^\circ \text{ C} \approx ۱/۸ \times ۱۰^۳ \text{ } ^\circ \text{ C}$$

که معادل مقدار قابل توجه ۱۸۰° C است.

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

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

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



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

$$U_b > U_c > U_a$$

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

$$U = Pt = (100\text{ W}) \left(\frac{۸ \text{ ساعت}}{\text{روز}} \right)$$

$$= ۲۴۰۰۰ \text{ Wh} = ۲۴ \text{ kWh}$$

ب) بهای برق مصرفی چنین می شود:

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



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 :

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

$$= 2/25 \times 10^6 \text{ Wh} = 2/25 \times 10^6 \text{ kWh}$$

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

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

در نتیجه می‌توانیم دستگاه معادلات زیر را تشکیل دهیم :

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

از آنجا مقاومت داخلی r را به دست می‌آوریم :

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

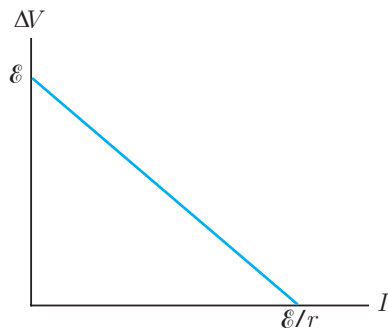
و اکنون با دانستن r ، نیروی محرکه الکتریکی منبع، چنین می‌شود :

$$\mathcal{E} = I_1 r + \frac{P_1}{I_1}$$

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

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





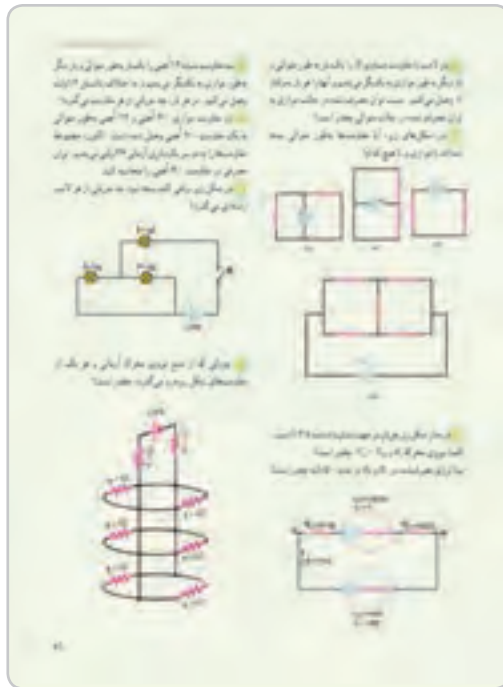
۲۱ وقتی لامپی می‌سوزد، به معنی آن است که اتصال در آن قسمت از مدار قطع می‌شود. اگر لامپ‌ها به‌طور متوالی بسته باشند، قطع مدار در هر قسمت از مدار موجب قطع جریان در کل مدار و خاموش شدن همه لامپ‌ها می‌شود. به همین دلیل است که چراغ‌های خودرو به‌طور موازی بسته می‌شود تا با سوختن یک لامپ، همه لامپ‌ها خاموش نشوند. البته این تنها دلیل نیست. اتصال موازی باعث می‌شود که بیشترین روشنایی حاصل شود. زیرا در اتصال موازی، اختلاف پتانسیل دوسر همه لامپ‌ها یکسان است، درحالی 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 به‌طور متوالی می‌بندیم. بنابراین، برای آن که با اضافه شدن آمپرسنج به مدار، مقاومت مدار تغییر قابل ملاحظه‌ای پیدا نکند تا بر جریان عبوری تأثیر بگذارد، مقاومت آمپرسنج باید کوچک باشد.

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

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





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

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

۲۶ همان طور که در متن درس اشاره شده است، بستن متوالی به معنای بسته شدن مقاومت ها 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 مقاومت ها مستقیماً به یکدیگر و سر دیگر آنها نیز مستقیماً به هم وصل شده باشد و اختلاف پتانسیل یکسانی به دو سر این مقاومت ها اعمال شده است. با این تعاریف واضح است که در شکل الف مقاومت ها به طور متوالی بسته شده اند، درحالی که در شکل های ب و پ مقاومت ها به طور موازی بسته شده اند. همچنین اگر بررسی کنید هیچ کدام از این تعاریف برای شکل (ت) برقرار نیست و در این مدار، مقاومت ها نه متوالی هستند و نه موازی.

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

$$V_A - IR_{\lambda} + \mathcal{E}_r - Ir_r - IR_r - Ir_{\lambda} - \mathcal{E}_{\lambda} = V_A$$

از این جا \mathcal{E}_r را محاسبه می کنیم :

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_r &= IR_{\lambda} + Ir_r + IR_r + Ir_{\lambda} + \mathcal{E}_{\lambda} \\ &= I(R_r + r_r + R_r + r_{\lambda}) + \mathcal{E}_{\lambda} \\ &= (1/2A)(2/0\Omega + 0/50\Omega + 1/50\Omega + 1/0\Omega) + 12V = 18V \end{aligned}$$

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

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

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

$$V_A + \mathcal{E}_{\lambda} + Ir_{\lambda} = V_B$$

و در نتیجه

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

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

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

بنابراین

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

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

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

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

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

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

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

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

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

اکنون می توانیم جریان کل را به دست آوریم :

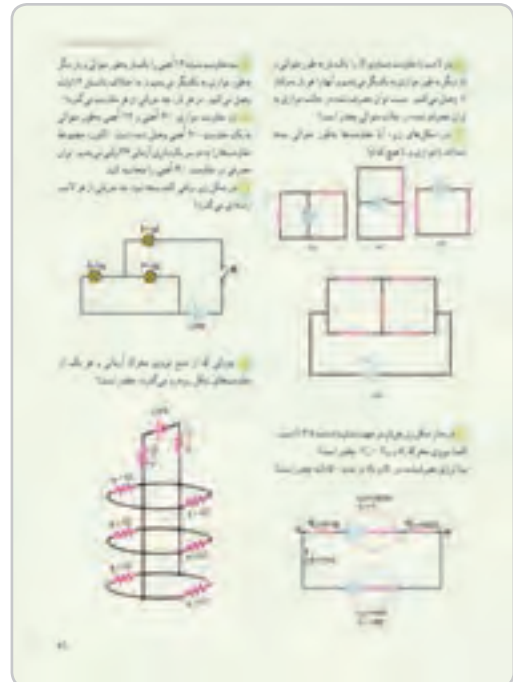
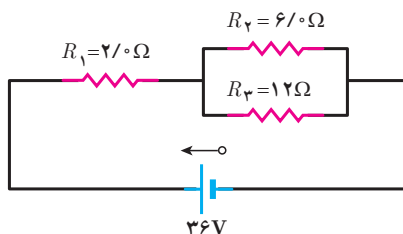
$$I_t = \frac{V}{R_{eq}} = \frac{12V}{4/\Omega} = 3/A$$

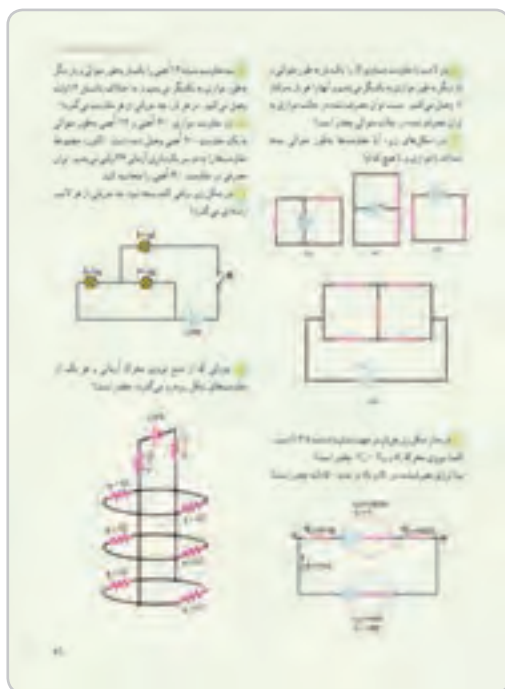
این جریان در هر سه شاخه موازی به طور مساوی تقسیم می شود. بنابراین جریان عبوری از هر مقاومت $1/A$ می شود.

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

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

۲۹ توان مصرفی را از رابطه $V^2/R = P$ مصرفی به دست می آوریم که در آن V اختلاف پتانسیل است. پس کافی است اختلاف پتانسیل دوسر مقاومت $6/\Omega$ را محاسبه کنیم. به این منظور، شکل مسئله را چنین رسم می کنیم :





برای محاسبه اختلاف پتانسیل دوسر مقاومت 6Ω باید نخست جریان کل را محاسبه کنیم. برای محاسبه جریان کل، به مقاومت معادل نیاز داریم :

$$R_{eq} = R_1 + R_{23} = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}$$

$$= 2\Omega + \frac{(6\Omega)(2\Omega)}{(6\Omega + 2\Omega)} = 2\Omega + 1.5\Omega = 3.5\Omega$$

و در نتیجه

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

اکنون می توانیم اختلاف پتانسیل دوسر R_{23} را، که همان اختلاف پتانسیل دوسر R_2 است، به دست آوریم :

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

حال می توانیم توان مصرفی در مقاومت 6Ω را به دست آوریم :

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

و یا

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

از حل هم زمان معادله های (۱) و (۲) خواهیم داشت :

$$2I_3 + I_3 = 3I_3 = 3A$$

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

۳۰ مقاومت 4Ω را با R_1 ، مقاومت 3Ω را با R_2 و مقاومت 6Ω را با R_3 نمایش می دهیم. نخست، مقاومت معادل این مجموعه را به دست می آوریم. توجه کنید که مقاومت های R_2 و R_3 باهم موازی و مقاومت معادل آنها با مقاومت R_1 متوالی است. بنابراین داریم :

$$R_{eq} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} + R_1$$

$$= \frac{(3\Omega)(6\Omega)}{3\Omega + 6\Omega} + 4\Omega = 2\Omega + 4\Omega = 6\Omega$$

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

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

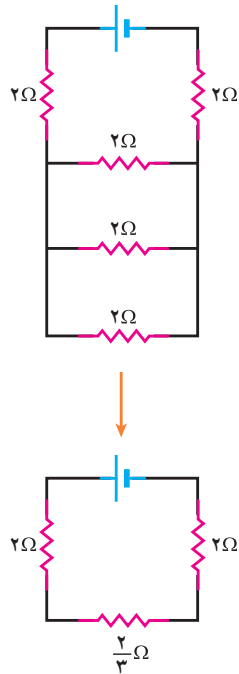
و از طرفی، از قاعده انشعاب جریان ها داریم :

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

همچنین دیدیم که مقاومت های R_2 و R_3 موازی اند و بنابراین اختلاف پتانسیل دوسر آنها باهم برابر است :

$$I_2 R_2 = I_3 R_3$$

۳۱ اگر توجه کنید درمی یابید تمام مقاومت های 2Ω باهم موازی اند. بنابراین عملاً چنین مداری داریم :



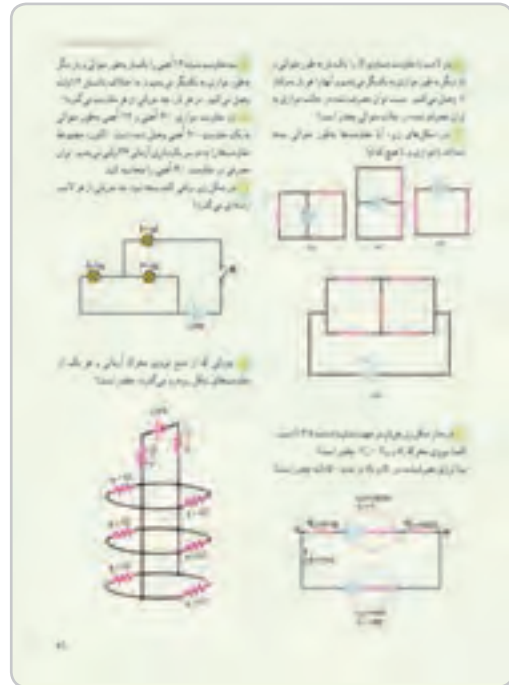
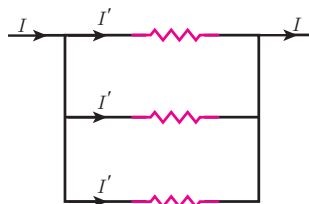
پس مقاومت معادل مدار چنین می شود :

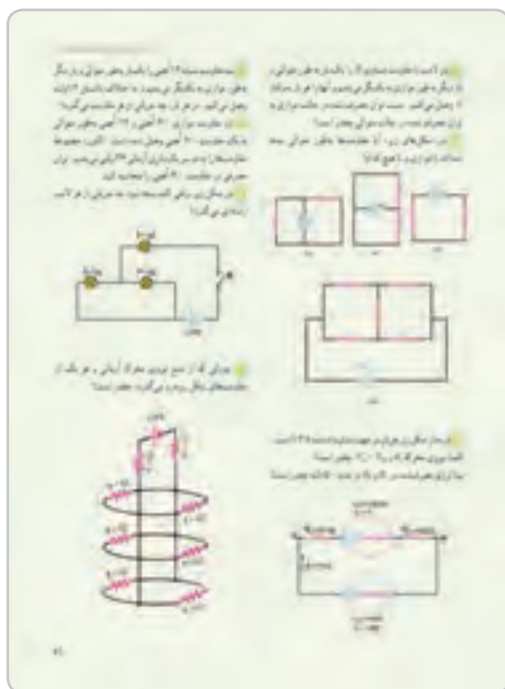
$$R_{eq} = \frac{2}{3}\Omega + 2\Omega + 2\Omega = \frac{14}{3}\Omega$$

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

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

اکنون برای محاسبه جریان مقاومت های 2Ω ، گام به گام عقب می رویم. توجه کنید که این جریان $3A$ از سه مقاومت موازی 2Ω می گذرد و مثلاً شکلی مانند شکل زیر داریم :

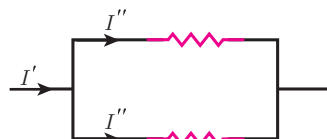




توجه کنید چون مقاومت‌ها یکسان است، جریان عبوری از آنها نیز یکسان شده است (I') و بنابراین داریم :

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

جریان $I'' = \frac{I'}{2}$ از مقاومت‌های موازی $4/^\circ\Omega$ می‌گذرد و شکلی مثل شکل زیر داریم :



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

$$I'' = \frac{I'}{2} = \frac{I}{6} = \frac{3/^\circ\text{A}}{6} = 0/5^\circ\text{A}$$

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

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

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

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

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

$$\frac{V_{2A}}{V_{1A}} = \frac{V_{2B}}{V_{1B}} = \frac{\mathcal{E}/2}{\mathcal{E}/3} = 1/5$$

اکنون اگر به گزینه‌های مسئله نگاه کنیم درمی‌یابیم گزینه‌های پ و ت درست هستند. گزینه پ از آن‌رو درست است که در بالا نشان دادیم $V_{1A} = 1/5 V_{2A}$ و $V_{2B} = 1/5 V_{1B}$ می‌شود که این به معنی افزایش $5^\circ\%$ اختلاف پتانسیل دوسرشان است، گزینه ت نیز درست است و ما بیشتر از آن استفاده کردیم. تبصره : در وضعیت شکل مسئله، وقتی کلید را می‌بندیم، اصطلاحاً می‌گویند دوسر لامپ اتصال کوتاه (Short circuit) شده است.



۳۲ با توجه به اینکه اختلاف پتانسیل دوسر مجموعه و توان هریک از مصرف کننده ها را داریم، مقاومت هر مصرف کننده را می توان به راحتی با استفاده از رابطه $P = V^2/R$ به دست آورد.

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

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

$$R_{\text{لامپ ها}} = \frac{V^2}{P_{\text{لامپ ها}}} = \frac{(220\text{V})^2}{5100\text{W}} = 96/8\Omega$$

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

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

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

بنابراین جریان عبوری از مقاومت چنین می شود :

$$\begin{aligned} I &= \frac{V}{R_{\text{eq}}} = V \left(\frac{1}{R_{\text{eq}}} \right) \\ &= (220\text{V}) (9/30 \times 10^{-2} \Omega^{-1}) \\ &= 20/46\text{A} = 20/5\text{A} \end{aligned}$$

که این بیشتر از جریان ۱۵ A است که فیوز می تواند تحمل کند و بنابراین فیوز می پرد.

فصل سوم

مغناطیس

پیامدها

دانش‌آموزان با درک مفاهیم این فصل :

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

چه شناختی مطلوب است؟

- در تجربه‌های زندگی روزمره با آهنربا و خواص مغناطیس ناشی از آن سروکار داریم.
- قطب‌های همنام آهنربا یکدیگر را دفع و قطب‌های ناهمنام یکدیگر را جذب می‌کنند.
- به یک ذره باردار متحرک در میدان مغناطیسی، نیرو وارد می‌شود. اگر ذره در امتداد میدان \vec{B} حرکت کند، این نیرو صفر است.
- بر سیم حامل جریان درون میدان مغناطیسی نیرو وارد می‌شود. اگر سیم در امتداد میدان باشد، این نیرو صفر است.
- سیم‌لوله وسیله‌ای است برای تولید میدان مغناطیسی قوی، به طوری که درون آن، این میدان تقریباً یکنواخت است.
- نیروی بین سیم‌های موازی حامل جریان‌های همسو، ربابشی است و برای جریان‌های ناهمسو، رانشی است.
- مواد از نظر مغناطیسی به مواد پارامغناطیس، مواد دیا مغناطیس و فرومغناطیس تقسیم‌بندی می‌شوند. اتم‌های مواد پارامغناطیس و فرومغناطیس به طور ذاتی دو قطبی مغناطیسی‌اند.

چه پرسش‌هایی اساسی است و باید در نظر گرفته شوند؟

- برهم کنش قطب‌های آهنربا چگونه است؟
- ویژگی‌های میدان مغناطیسی زمین و شیب مغناطیسی چیست؟
- نیروی وارد بر ذره باردار متحرک درون میدان مغناطیسی به چه عواملی بستگی دارد؟
- نیروی وارد بر سیم حامل جریان درون میدان مغناطیسی به چه عواملی بستگی دارد؟
- میدان ناشی از سیم راست حامل جریان، پیچ و سیم لوله چگونه است؟
- هسته آهنی چه نقشی در سیم لوله ایفا می‌کند؟
- مواد از نظر مغناطیسی به چند دسته تقسیم می‌شوند و ویژگی هر کدام به چه صورت است؟

در پایان این واحد یادگیری دانش آموزان چه دانش و مهارت‌های اساسی را کسب می‌کنند؟

- دانش آموزان خواهند دانست که :
- در فضای اطراف هر آهنربا یا سیم حامل جریان، میدان مغناطیسی ایجاد می‌شود.
 - میدان مغناطیسی زمین اندازه کوچکی دارد و در نقاط مختلف زمین مقدار آن متفاوت است.
 - به ذره بارداری که در راستای میدان مغناطیسی حرکت می‌کند نیروی مغناطیسی وارد نمی‌شود.
 - اندازه میدان مغناطیسی حاصل از جریان الکتریکی در یک سیم حامل جریان، با فاصله گرفتن از سیم، کاهش می‌یابد.
 - سیم‌های موازی حامل جریان در یک جهت، نیروی رپاشی به یکدیگر وارد می‌کنند.
 - سیم‌های موازی حامل جریان در خلاف جهت، نیروی رانشی به یکدیگر وارد می‌کنند.
 - مواد از نظر مغناطیسی به مواد پارامغناطیس، دیامغناطیس و فرو مغناطیس تقسیم می‌شوند.
 - اتم‌های مواد پارامغناطیسی به طور ذاتی دارای گشتاور دو قطبی مغناطیسی هستند.
 - مواد فرو مغناطیسی به دو دسته فرو مغناطیسی نرم و فرو مغناطیسی سخت تقسیم می‌شوند.
- دانش آموزان قادر خواهند بود :
- چند نمونه از کاربردهای مغناطیس را در زندگی روزمره و فناوری شرح دهند.
 - میل مغناطیسی را در شهر خود یا هر مکان دیگر اندازه‌گیری کنند (به روش تجربی).
 - جهت و اندازه میدان مغناطیسی وارد به یک ذره باردار را محاسبه کنند.
 - تغییرات میدان مغناطیسی در فضای اطراف یک سیم حامل جریان را با رسم شکل مناسب نشان دهند.
 - نیروی وارد بر سیم حامل جریان را اندازه‌گیری کنند (به روش تجربی).
 - یک آهنربای الکتریکی بسازند و اثر تعداد دور، شعاع و جریان عبوری از سیم لوله را بر اندازه \vec{B} بررسی کنند.
 - مواد را از لحاظ مغناطیسی تقسیم بندی کنند و نقش دو قطبی مغناطیسی را در آنها توضیح دهند و به کمک آزمایش آنها را از یکدیگر تشخیص دهند.

بودجه‌بندی پیشنهادی



جلسه اول: بررسی تصویر شروع فصل + مقدمه فصل +
بخش ۱-۳

جلسه دوم: بخش ۲-۳

جلسه سوم: بخش ۳-۳

جلسه چهارم: بخش ۴-۳

جلسه پنجم و ششم: بخش ۵-۳

جلسه هفتم: بخش ۶-۳

جلسه هشتم: ارزشیابی فصل ۳

بررسی پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۳ را در هر جلسه توزیع کنید و برای پرسش‌ها و مسئله‌های باقیمانده، قبل از ارزشیابی فصل، یک جلسه اختصاص دهید.

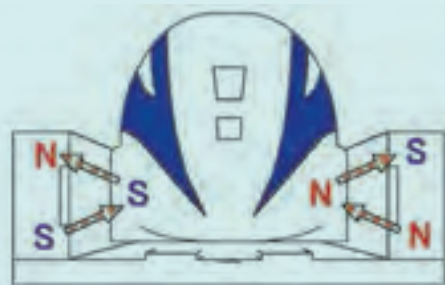
توجه: برای آزمایش‌های پیشنهادی در راهنمای معلم (که در نسخه ویدیویی این فصل نیز انجام شده است) ترجیحاً مدت زمان یک جلسه را در طول تدریس این فصل منظور کنید.

توجه دانش‌آموزان را به تصویر ورودی فصل و متن زیر آن جلب کنید تا به اهمیت دانشی که در این فصل می‌آموزند آگاه شوند. این تصویر به کاربردهای مفاهیم این فصل اشاره دارد. افزون بر این تصویر می‌توانید با مثال‌های کاربردی دیگر، زمینه مناسبی را برای ورود به فصل آماده سازید.

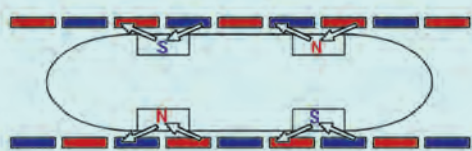
دانستنی برای معلم

قطارهای مغناطیسی

قطارهای مغناطیسی که به اختصار به آنها Maglev می‌گویند (magnetic levitation) وسایل حمل و نقل سریع‌تر، آرام‌تر، نرم‌تر و با بازدهی بهتر انرژی نسبت به قطارهای معمولی هستند. دو نوع از این قطارها که در ژاپن و آلمان استفاده می‌شوند برای از بین بردن اصطکاک لغزشی، واگن‌ها در اثر نیروی رانش مغناطیسی روی بالشتکی از هوا قرار می‌گیرند. در نوع ژاپنی برای ایجاد نیروی رانشی بر آهنرباهای قرار گرفته در زیر پایه‌های قطار از آهنرباهای الکتریکی ابررسانا استفاده می‌شود که در امتداد ریل موجود در کف دالان هدایت‌کننده قطار قرار گرفته‌اند. این نیرو قطار را بین ۱ تا ۱۰ 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 هم باعث



الف

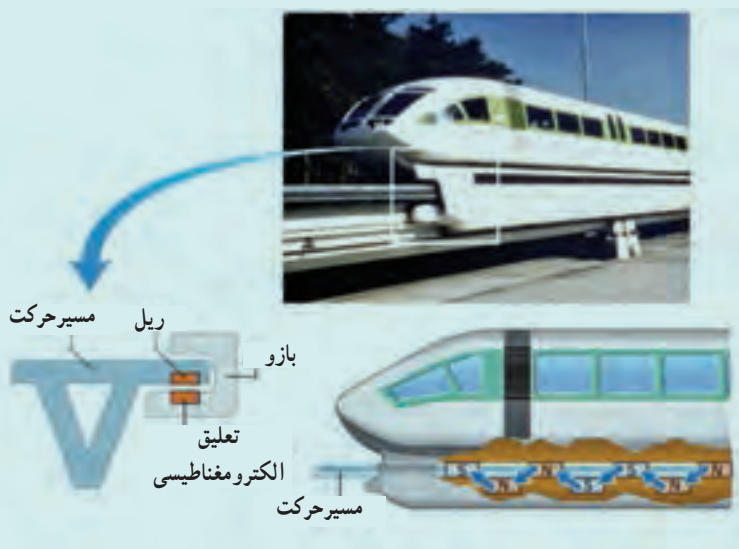


ب

ثبات و هم هدایت قطار در طول سفر می شوند. جریان برقراری در سیم لوله های تعبیه شده در دیواره دالان راهبر قابل تغییر است. وقتی اندازه و جهت میدان آهنرباهای الکتریکی قابل تغییر باشد می تواند هم به عنوان جلوبر عمل کنند و هم به عنوان ترمز. برای جلو راندن قطار جهت میدان های مغناطیسی در دیواره های راهبر متناوباً تغییر می کند تا بتواند آهنرباهای روی دیواره قطار را به جلو براند. در شکل الف واگن نسبت به دیواره ها 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 مؤلفه افقی نخواهند داشت ولی واگن به خاطر سرعتی که داشته از این وضعیت رد می شود و در همین لحظه قطب های آهنرباهای دیواره تغییر می کند

در غیر این صورت نیروها مؤلفه افقی به سوی عقب پیدا می کرد اما با تغییر قطب ها باز هم نیروها مؤلفه افقی رو به جلو خواهند داشت. در این قطارها اصطکاک لغزشی سطوح تماس حذف شده و با طراحی شکل واگن ها اصطکاک هوا نیز به کمترین حد ممکن رسیده است. بنابراین قطارها می توانند با سرعتی حدود 500 km/h حرکت کنند.

در نوع آلمانی که سرعتی در حدود 400 km/h دارد مطابق شکل ب نیازی به دالان نیست و کابین قطار توسط بازوهای جانبی روی یک ریل راهبر به شکل ∇ سوار می شود و با برقراری جریان در آهنرباهای الکتریکی موجود روی ریل و بازو و رانش بین آنها نیروی وزن کابین را خنثی می کند و قطار حدود 1 cm بالاتر از ریل قرار می گیرد. در این مدل نیز برای به جلو راندن قطار به مجموعه آهنرباهای الکتریکی دیگری نیاز است که رایش و رانش های دو به دوی آنها می تواند هم تأمین کننده نیروی جلوبر و هم نیروی ترمز در صورت لزوم باشد.



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



پرسش ۳-۱

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

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

توجه

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



پرسش ۲-۳

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

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

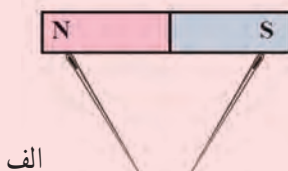
۲-۳ میدان مغناطیسی

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

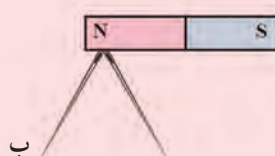
پرسش پیشنهادی

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

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

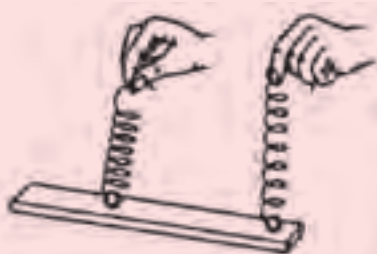


ب) چرا انتهای دو سوزن که به یک قطب یک آهنربا آویزان باشند، یکدیگر را دفع می کنند؟



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

فعالیت پیشنهادی

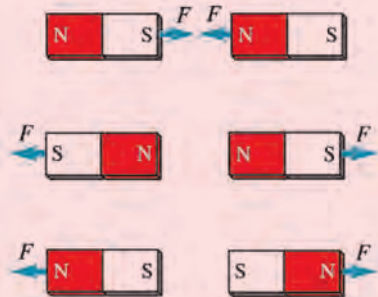


یک گوی آهنی را به یک طرف فنر ماریچی وصل کنید. این گوی را به نقطه‌ای از سطح یک آهنربا تماس دهید و سپس با کشیدن فنر آن را جدا کنید. افزایش طول فنر به هنگام جدا کردن نشانه نیروی لازم برای غلبه بر نیروی جاذبه وارد بر گوی در نقطه تماس با آهنربا است. گوی را در نقطه‌های دیگر (مثلاً در وسط آهنربا) قرار دهید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

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

پرسی پیشنهادی

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



فعالیت پیشنهادی

چند آهنربای حلقه‌ای را مطابق شکل به گونه‌ای قرار داده‌ایم که شناور بمانند و به یکدیگر نچسبند:



۱ اگر قطب شمال آهنربای بالایی قسمت بالای آن باشد، قطب‌های مغناطیسی بقیه آهنرباها را مشخص کنید.

۲ با قرار دادن آهنرباهای حلقه‌ای، در داخل یک نی پلاستیکی فعالیت را انجام دهید.

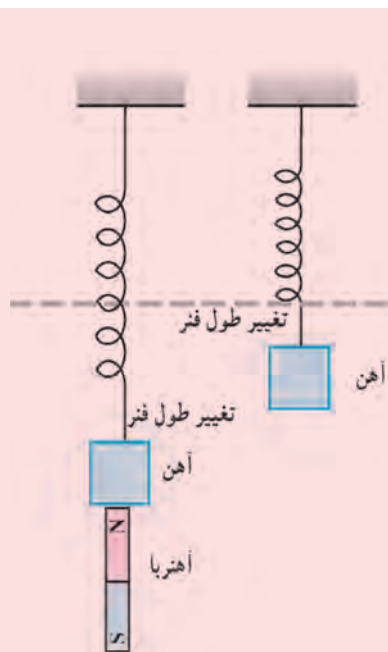
۳ نی و آهنرباهای داخل آن را در دستانتان خود به صورت افقی بگیرید چرا با حرکت دادن یکی از آهنرباها خواهید دید که بقیه آنها هم جابه‌جا می‌شوند؟

فعالیت پیشنهادی

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



فعالیت پیشنهادی



هدف : تشخیص نیروی گرانش و نیروی مغناطیسی و مقایسه آنها
 الف) مطابق شکل فنری را از یک طرف آویزان کنید. طول آن را اندازه بگیرید.
 ب) قطعه‌ای آهنی را به انتهای آن بیاویزید و تغییر طول فنر را اندازه بگیرید.
 پ) چه عاملی باعث تغییر طول فنر می‌شود؟
 ت) یک آهنربای میله‌ای را از زیر، به تدریج به قطعه آهن آویخته به فنر، نزدیک کنید. مشاهدات خود را بیان کنید.
 ث) آهنربا را در دورترین فاصله‌ای قرار دهید که منجر به جذب قطعه آهنی می‌شود و تغییر طول فنر را اندازه بگیرید.
 ج) چه عاملی باعث افزایش تغییر طول فنر نسبت به حالت قبل شده است؟
 پاسخ : ب) نیروی گرانش که از طرف زمین بر قطعه آهنی وارد می‌شود.
 ت) آهن به تدریج پایین کشیده می‌شود و جذب آهنربا می‌گردد، افزایش طول فنر را مشاهده می‌کنیم.
 ج) نیروی مغناطیسی که علاوه بر نیروی گرانشی بر قطعه آهنی وارد می‌شود.

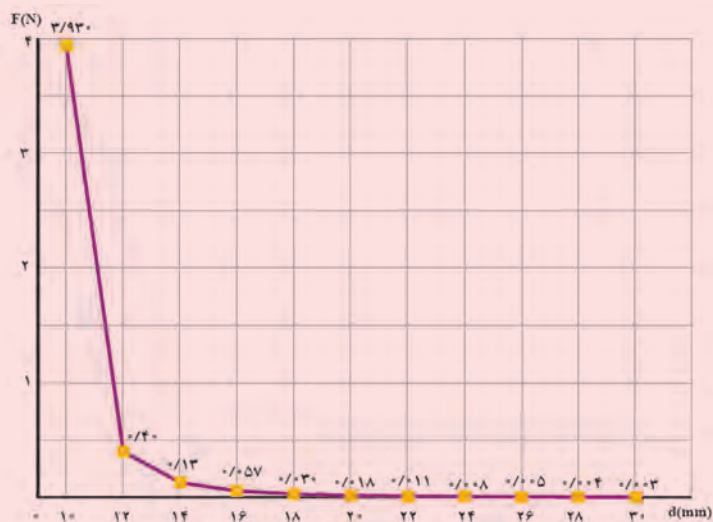
فعالیت پیشنهادی

فعالیت پیشنهادی

نیروی دافعه بین دو قطب همنام دو آهنربا بر اساس فاصله آنها از یکدیگر اندازه‌گیری شده و در جدول زیر ثبت شده است. نمودار نیروی مغناطیسی بر حسب فاصله دو قطب همنام دو آهنربا را رسم کنید (برای رسم نمودار می‌توانید از نرم‌افزار Excel استفاده کنیم)

جدول (۱)

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



پاسخ:

سپس از دانش‌آموزان می‌خواهیم تا نمودار نیروی مغناطیسی بر حسب عکس مجذور فاصله دو قطب همنام دو آهنربا را

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

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

پرسش ۳-۳

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

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



فعالیت ۲-۳

این فعالیت نیز به صورت فیلم‌های مرتبط با آزمایش‌های فیزیک ۲ در سایت گروه فیزیک موجود است که می‌توانید مشاهده کنید. در ضمن این فعالیت در کلاس درس نیز باید توسط دانش‌آموزان انجام شود و پس از انجام آن نتیجه را گزارش کنند. (پاسخ نهایی فعالیت : ۷۲° درجه).

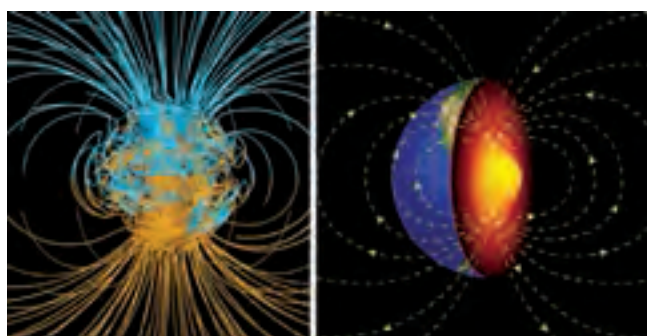


آزمایش ۱-۳

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

میدان مغناطیسی زمین

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



توضیح در خصوص چند زاویه مغناطیسی

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

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

آزمایش پیشنهادی

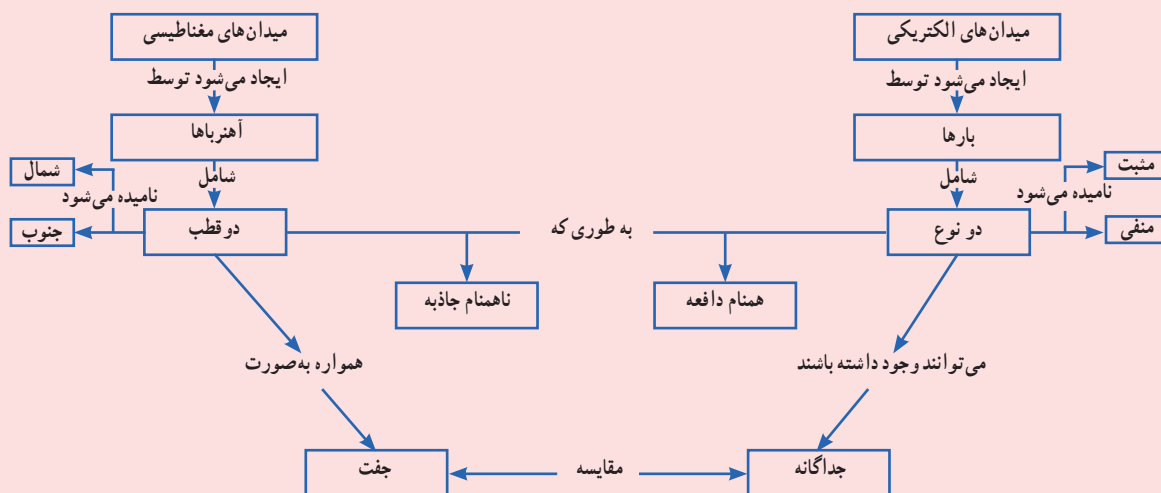


روشی برای ثبت کردن طرح خط‌های میدان مغناطیسی روی کاغذ

وسایل لازم : آهنربای میله‌ای - کاغذ یا مقوا - سینی پلاستیکی -
موم یا شمع - نمک پاش و براده آهن
روش کار : کاغذ را موم اندود می‌کنیم، آهنربا را روی سینی و
کاغذ را روی آن می‌گذاریم و روی آن براده می‌پاشیم تا شکل میدان
مغناطیسی مشخص شود. به آرامی آهنربا را از زیر کاغذ خارج
می‌کنیم و سینی را در محل گرم قرار می‌دهیم تا موم نرم شود و
براده‌ها به آن بچسبند. بعد از سرد شدن طرح میدان روی کاغذ ثابت
می‌ماند.

فعالیت پیشنهادی

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



فعالیت ۳-۳

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

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



دانستنی برای معلم

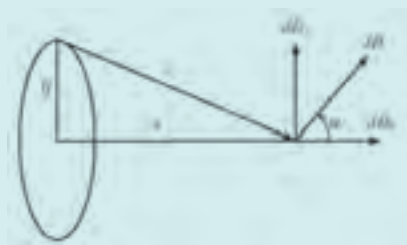
میدان مغناطیسی زمین

نخستین بار سر ویلیام گیلبرت عنوان کرد که زمین آهنربای بزرگی است که قطب و استوای مغناطیسی دارد. در آن زمان تصور می‌شد که میدان مغناطیسی زمین ناشی از آهنربای بزرگ درون آن است. می‌دانیم، بخش درونی زمین به‌طور عمده از نیکل و آهن مذاب تشکیل شده که دمای آن دست کم حدود 2200° 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 می‌کند. علاوه بر 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 بزرگ منظومهٔ شمسی، دارای میدان مغناطیسی هستند.

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

اندازه‌گیری میدان مغناطیسی زمین

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



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

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

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

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

$$H = \frac{2\mu_0 IR^2 N}{(R^2 + y^2)^{3/2}} \quad (۳)$$

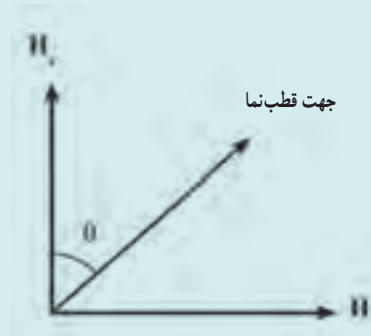
در این سیستم R و y برحسب سانتی‌متر، I برحسب آمپر و H برحسب گاوس است. جهت H با کمک قانون دست راست به دست می‌آید. یعنی اگر جریان در جهت انگشت شست دست راست باشد، جهت میدان در امتداد بسته شدن چهار انگشت دست راست خواهد بود. از آنجا که میدان مغناطیسی زمین در هر نقطه، به دو مؤلفه افقی و قائم قابل تجزیه است،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

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

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

$$H = H_0 \tan \theta \Rightarrow \frac{\mu_0 N I R^2}{(R^2 + y^2)^{3/2}} = H_0 \tan \theta \quad (5)$$

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



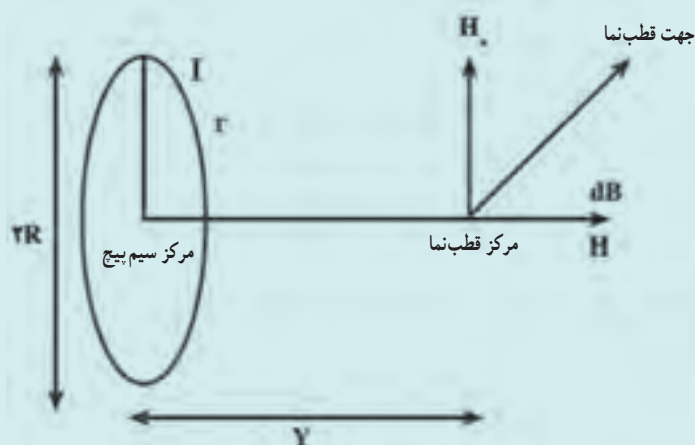
که می‌توان رابطه ۵ را به‌صورت زیر نوشت:

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

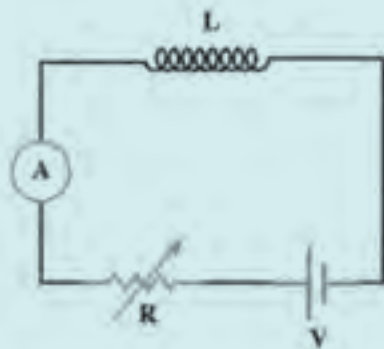
حال می‌توان نمودار I را برحسب $\tan \theta$ رسم کرد. شیب خط حاصل یعنی m را اندازه گرفت و H_0 (شدت میدان مغناطیسی زمین) را به‌دست آورد:

$$H_0 = \frac{\mu_0 N R^2 m}{(R^2 + y^2)^{3/2}} \quad (7)$$

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



شکل (۲)



شکل (۱)

در حالتی که جریان صفر است، باید جهت قطب‌نما در همان راستای شمال و جنوب باقی بماند. حال دامنه آمپر متر را روی 10° آمپر قرار دهید و با تغییر درجه منبع تغذیه و رثوستا، جریان‌های متفاوت را برقرار سازید و میزان انحراف عقربه را بخوانید و در جدول (۱) یادداشت کنید. برای اندازه‌گیری دقیق‌تر می‌توانید در هر مرحله، مقدار 10° میلی‌آمپر به جریان‌های قبلی اضافه کنید. پس از اینکه برای هشت جریان اندازه‌گیری شده زاویه θ را خواندید، برای کاهش خطای آزمایش، دوباره همان جریان‌ها را به وجود آورید و میزان انحراف را اندازه بگیرید (این کار را دو بار انجام دهید). سپس از θ ها میانگین بگیرید و نمودار I را برحسب $tg\theta$ رسم کنید و شیب آن را اندازه بگیرید.

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

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

با توجه به شکل ۲ در صفحه قبل، فاصله مرکز حلقه تا قطب‌نما را در آزمایشی که برقرار شد، $10/4$ سانتی متر گرفتیم و N هم برابر 1000 دور است. مقادیر 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 باید شیب خط یعنی همین m را داشته باشیم :

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

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

$$H_s = \frac{2\mu_0 N R^2 m}{(R^2 + y^2)^{3/2}} = \frac{2(1000)(2/75)^2 (0/023)}{((2/75)^2 + (10/4)^2)^{3/2}} = 0/87 G$$

جدول ۱

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

اندازه‌گیری میدان مغناطیسی در هر نقطه

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

با پیمایش رشته به اندازه زاویه معین، می‌توان برای هر سمت‌گیری سوزن به تعادل رسید. گشتاور نیروی وارد بر رشته با محاسبات یا درجه‌بندی اولیه و سبیل از روی زاویه پیمایش معین می‌شود. پس می‌توانیم بیشترین نیرو که به ازای $\alpha = 90^\circ$ است را به دست آوریم. یعنی مکانی را تعیین کنیم که در آن راستای سوزن بر راستای میدان مغناطیسی عمود باشد.

ساخت این نوع مغناطیس‌سنج ایستا مشکل نیست ولی به اندازه کافی حساس و دقیق نیستند. پس در بسیاری موارد بهتر این است که گشتاور نیروی وارد بر سوزن مغناطیسی با مشاهده نوسان‌های سوزن اندازه‌گیری شود.

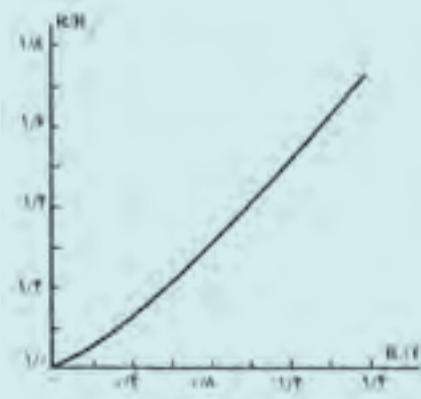
یک سوزن مغناطیسی که در میدان مغناطیسی از موضع تعادل خود تغییر مکان داده باشد، حول آن نقطه نوسان می‌کند. اگر جرم سوزن زیاد و در معرض اصطکاک ناحیز باشد قبل از توقف چندین نوسان می‌کند. بنابراین دوره نوسان‌ها را می‌توان با دقت اندازه‌گیری کرد. محاسبات نشان می‌دهد که هرچه گشتاور نیروی وارد بر سوزن بزرگ‌تر،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

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



ماریپچ بیسموت

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



شکل (۹۷)

با استفاده از نمودار بزرگی میدانی را تعیین کنید که مقاومت ماریچ بیسموت در آن 26Ω و در خارج آن 20Ω است.

$$R / R_0 = \frac{26}{20} = 1.3$$

$$R = 26\Omega$$

$$R_0 = 20\Omega$$

پاسخ :

با توجه به نمودار $B = 0.4T$ است.

۳-۳ نیروی وارد بر ذره باردار در میدان مغناطیسی

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



آزمایش اثر میدان مغناطیسی بر بار الکتریکی متحرک

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

حرکت می‌کنند. بر این اساس طرح آزمایشی به شرح زیر تنظیم شده است.

الف) وسایل آزمایش:

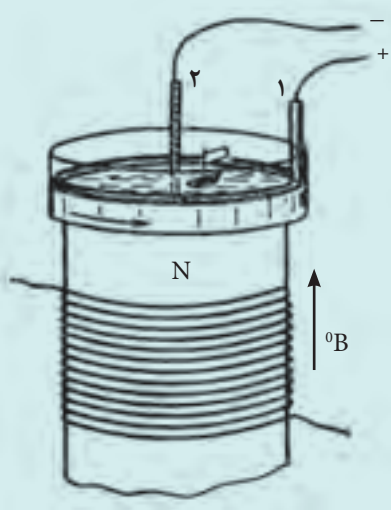
- ۱) منبع تغذیه، صفر تا ۲۴ ولتی dc و سیم‌های رابط
- ۲) سیم پیچ، حداقل 80° الی 120° دور همراه با هسته آهنی مناسب
- ۳) یک ظرف شیشه‌ای استوانه‌ای شکل به ارتفاع تقریبی ۵cm و قطر 10 cm
- ۴) میله‌های فلزی رسانا که به انتهای یکی از آن دو یک حلقه رسانا به قطر تقریبی ۸cm لحیم شده باشد.
- ۵) پایه، گیره، میله رابط
- ۶) کات کبود یا سولفات مس (CuSO_4) محلول در آب با غلظت مناسب

ب) دستور کار

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

پ) موارد بررسی

- ۱) مشاهده چرخش محلول الکترولیت در ظرف شیشه‌ای و 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 دایره این حلقه است، جهت اعمال



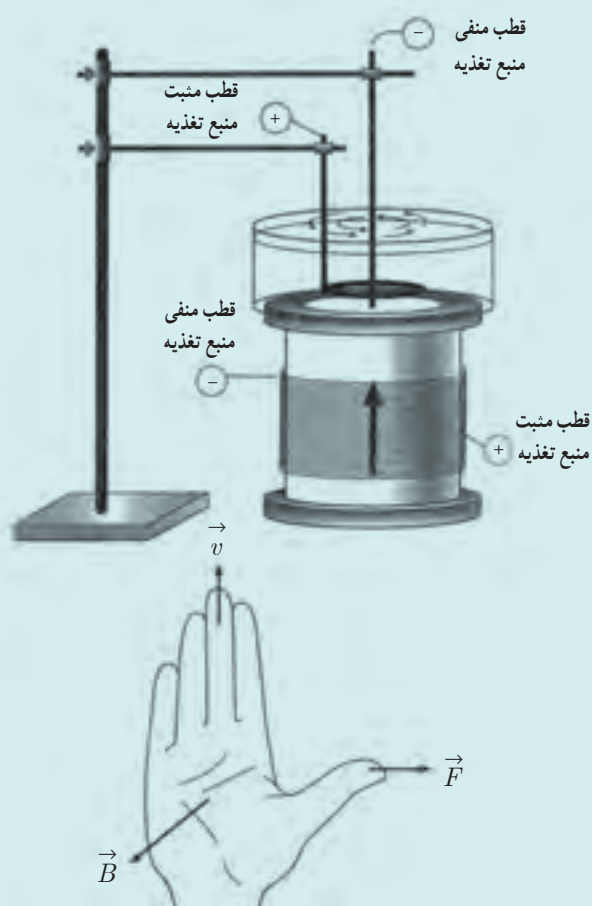
نیرو به صورت مماس بر دایره است و مجموعه این نیروها باعث چرخش می‌شود. (برای مشاهده بهتر چرخش، تعدادی قایق کاغذی کوچک بر سطح محلول شناور کنید)

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

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

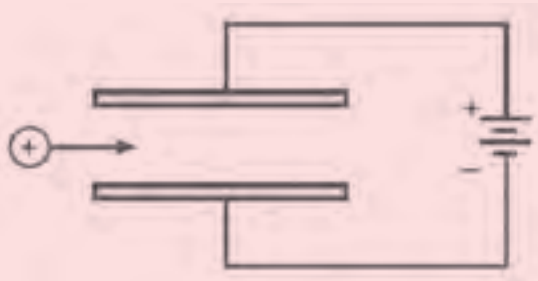
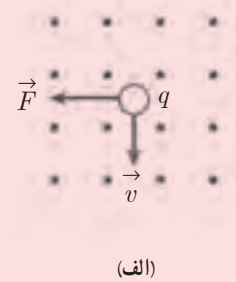
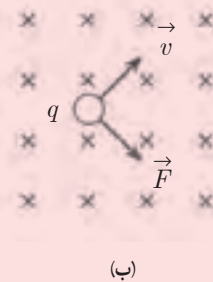
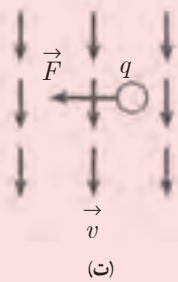
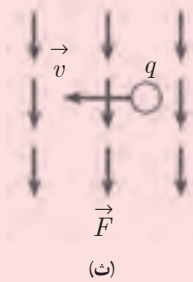
۴ با استفاده از حلقه‌های ورودی جریان، با شعاع‌های مختلف می‌توان فاصله‌های کاتد و آنود را کم و زیاد کنیم و در نتیجه سرعت واکنش را تغییر دهیم و نقش آن را در بزرگی F بررسی می‌کنیم.

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



پرسش پیشنهادی

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

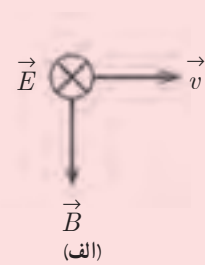
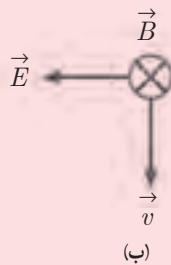
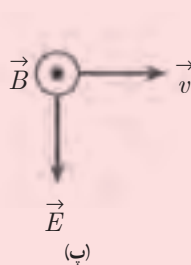
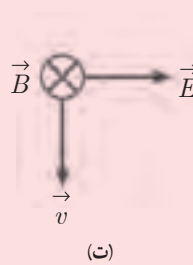


۲ یون مثبتی مطابق شکل روبه‌رو به فضای بین صفحه‌های خازن مسطحی پرتاب می‌شود.

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

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

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



در این بخش به بررسی نیروی مغناطیسی وارد بر سیم حامل جریان در یک میدان مغناطیسی یکنواخت می‌پردازیم. ابتدا با یک آزمایش ساده شروع می‌کنیم.

آزمایش: یک سیم حامل جریان را در یک میدان مغناطیسی یکنواخت قرار می‌دهیم. مشاهده می‌کنیم که سیم حرکت می‌کند. این حرکت ناشی از نیروی مغناطیسی وارد بر سیم است.

برای محاسبه این نیرو، از رابطه زیر استفاده می‌کنیم:

$$F = BIL \sin \theta$$

که در آن:

- F : نیروی مغناطیسی وارد بر سیم (نیوتن)
- B : شدت میدان مغناطیسی (تسلا)
- I : جریان عبوری از سیم (آمپر)
- L : طول سیم (متر)
- θ : زاویه بین جهت جریان و جهت میدان مغناطیسی (درجه)

مثال: اگر یک سیم حامل جریان $I = 2 \text{ A}$ با طول $L = 0.5 \text{ m}$ در یک میدان مغناطیسی $B = 0.2 \text{ T}$ قرار دهیم و زاویه $\theta = 90^\circ$ باشد، نیروی وارد بر سیم چقدر خواهد بود؟

حل: با جایگذاری مقادیر در رابطه فوق داریم:

$$F = 0.2 \times 2 \times 0.5 \times \sin 90^\circ = 0.2 \text{ N}$$

پس نیروی وارد بر سیم 0.2 N خواهد بود.

تمرین ۱-۳

1) $\theta = 30^\circ, B = 32 \text{ G} = 32/100 \times 10^{-2} \text{ T}$

$F = 5/12 \times 10^{-14} \text{ N}, v = ?$

$F = qvB \sin \theta$

$5/12 \times 10^{-14} \text{ N} = (1/6 \times 10^{-14} \text{ C}) v$

$(32/100 \times 10^{-2} \text{ T}) \sin 30^\circ$

$\Rightarrow v = 2/0 \times 10^6 \text{ m/s}$

پرسش ۴-۳

با توجه به قاعدهٔ درست و این که بار الکترون منفی است، جهت میدان \vec{B} به صورت درون سو است.

در این بخش به بررسی نیروی مغناطیسی وارد بر سیم حامل جریان در یک میدان مغناطیسی یکنواخت می‌پردازیم. ابتدا با یک آزمایش ساده شروع می‌کنیم.

آزمایش: یک سیم حامل جریان را در یک میدان مغناطیسی یکنواخت قرار می‌دهیم. مشاهده می‌کنیم که سیم حرکت می‌کند. این حرکت ناشی از نیروی مغناطیسی وارد بر سیم است.

برای محاسبه این نیرو، از رابطه زیر استفاده می‌کنیم:

$$F = BIL \sin \theta$$

که در آن:

- F : نیروی مغناطیسی وارد بر سیم (نیوتن)
- B : شدت میدان مغناطیسی (تسلا)
- I : جریان عبوری از سیم (آمپر)
- L : طول سیم (متر)
- θ : زاویه بین جهت جریان و جهت میدان مغناطیسی (درجه)

مثال: اگر یک سیم حامل جریان $I = 2 \text{ A}$ با طول $L = 0.5 \text{ m}$ در یک میدان مغناطیسی $B = 0.2 \text{ T}$ قرار دهیم و زاویه $\theta = 90^\circ$ باشد، نیروی وارد بر سیم چقدر خواهد بود؟

حل: با جایگذاری مقادیر در رابطه فوق داریم:

$$F = 0.2 \times 2 \times 0.5 \times \sin 90^\circ = 0.2 \text{ N}$$

پس نیروی وارد بر سیم 0.2 N خواهد بود.

۴-۳ نیروی مغناطیسی وارد بر سیم حاوی جریان

راهنمای تدریس

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

آزمایش ۳-۲

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





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



تمرین ۳-۲

$$l = 2/4 \text{ m}, I = 2/5 \text{ A}, B = 45^\circ \text{ G}, \theta = 90^\circ$$

$$F = IlB \sin \theta = (2/5 \text{ A}) (2/4 \text{ m})$$

$$(\times 10^{-4} \text{ T}) \sin 90^\circ$$

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

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

پرسش ۳-۵

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

فعالیت ۳-۴

طرح آزمایش مرتبط با این فعالیت را می‌توانید در مجموعه فیلم‌های مرتبط با آزمایش‌های فیزیک ۲ مشاهده کنید. شکل زیر نمای روبه بالایی از وسایل به کار 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.



(الف)



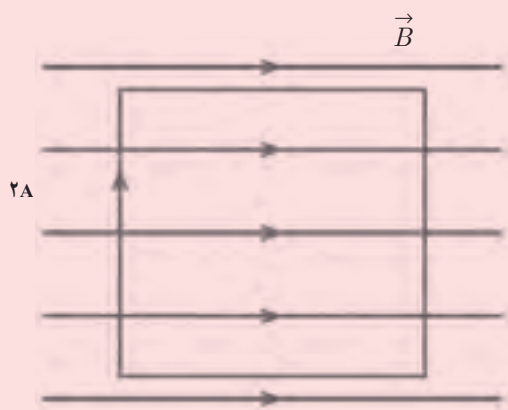
(ب)



(پ)

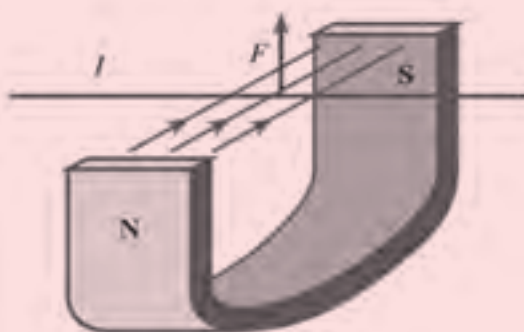


(ت)



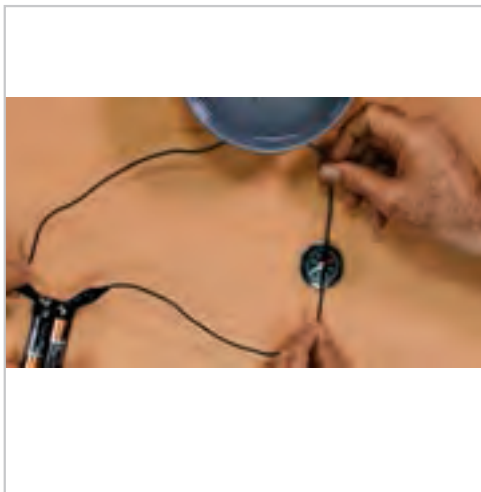
حلقه‌ای مربع شکل از سیم رسانا حامل جریان $2A$ است. این حلقه مطابق شکل روبه‌رو در میدان مغناطیسی یکنواختی به بزرگی 1 mT واقع است به طوری که دو ضلع حلقه در امتداد میدان قرار دارند. طول هر ضلع مربع را 2 cm در نظر بگیرید. الف) جهت نیروی الکترومغناطیسی وارد بر هر ضلع حلقه در کدام جهت است؟

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



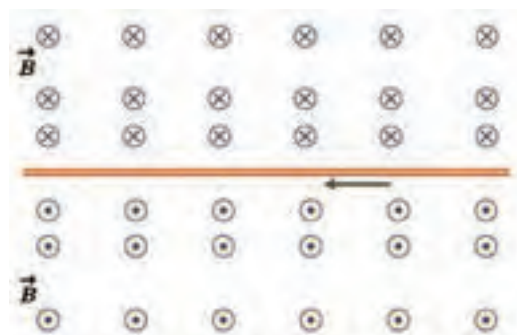
۳-۵ میدان مغناطیسی حاصل از جریان الکتریکی

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





پرسش ۳-۶
با توجه به قاعده دست راست، جهت جریان مشخص می‌شود (شکل زیر).



پرسش ۳-۷
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 فاصله مساوی از سیم حامل جریان، اندازه میدان \vec{B} ثابت است ولی جهت آن تغییر می‌کند. با افزایش فاصله از سیم حامل جریان، اندازه میدان \vec{B} نیز کاهش می‌یابد. شکل ب) در این شکل به نوعی دیگر، کاهش اندازه میدان \vec{B} با افزایش فاصله از سیم حامل جریان نشان داده شده است و افزایش فاصله بین خطوط میدان دایروی، نیز به همین نکته اشاره دارد.

تمرین ۳-۳

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

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

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

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

پرسش ۸-۳

با استفاده از قاعده 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 نحوه کار بلندگوها آمده است که می‌توانید آن را در سایت گروه فیزیک مشاهده کنید. چنانچه فرصت کافی داشته باشید، اجرای این آزمایش در کلاس می‌تواند ارتباط خوبی را بین مفاهیمی که در این فصل مطرح شده است، فراهم کند. همچنین دانش‌آموزان را با کاربرد این مفاهیم آشنا می‌سازد.



تمرین ۳-۴

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

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

$$I = ?$$

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

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

$$\Rightarrow I \approx 3/8 \times 10^{-2} \text{ A} = 3/8 \text{ mA}$$



تمرین ۳-۵

$$l = 4 \text{ cm}, I = 1/2 \text{ A}$$

$$B = 27 \text{ G} = 27 \times 10^{-2} \text{ T}$$

$$N = ?$$

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

$$27 \times 10^{-2} \text{ T} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \text{ T.m/A} \cdot N(1/2 \text{ A})}{0.04 \text{ m}}$$

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



فعالیت ۳-۶

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





۳-۶ ویژگی های مغناطیسی مواد

راهنمای تدریس: به طور کلی اتم های مواد یا به طور ذاتی دارای دوقطبی مغناطیسی اند یا فاقد آن هستند. توجه به این نگاه که اساس تقسیم مواد از لحاظ مغناطیسی است و در تمرین پایانی فصل نیز به صورت نقشه مفهومی به آن پرداخته شده است، اهمیت زیادی دارد.

توجه

تقسیم بندی از لحاظ مغناطیسی، با توجه به چگونگی وجود آنها در طبیعت انجام می شود. برای مثال هیدروژن به صورت اتمی، دارای دوقطبی مغناطیسی ذاتی است ولی نکته قابل توجه این است که هیدروژن به صورت تک اتمی در طبیعت وجود ندارد و به صورت مولکولی H_2 در طبیعت یافت می شود. به همین دلیل هیدروژن جزو مواد دیامغناطیس رده بندی می شود.



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

فعالیت ۳-۷

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



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



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

پرسش ۳-۹

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

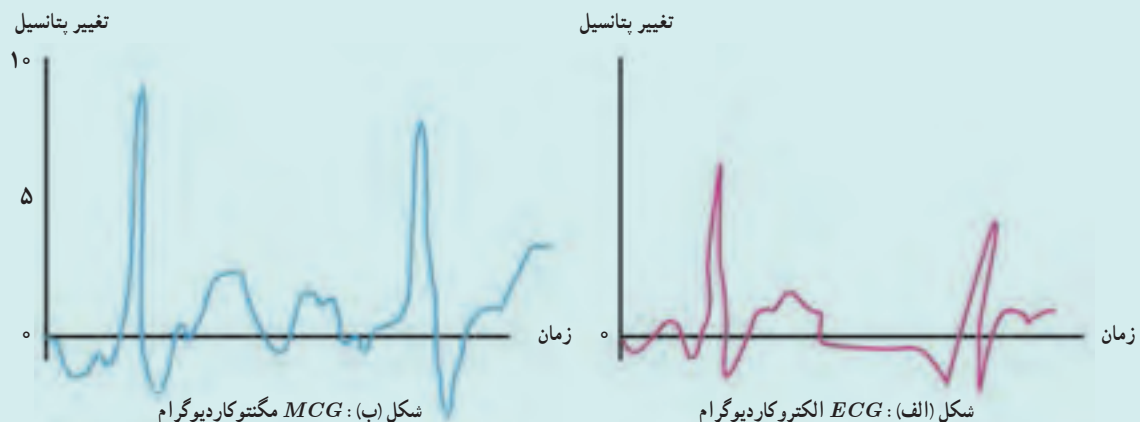


الف) چون میله‌ها از جنس ماده فرومغناطیس هستند، آهنربا می‌شوند و از یکدیگر دور می‌شوند.
ب) از آنجا که وقتی کلید باز می‌شود، میله‌ها به محل اولیه باز می‌گردند، نتیجه این می‌شود که میله‌ها از جنس فرومغناطیس نرم هستند.

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 الکتروانسفالوگرام EEG منحنی تغییرات اختلاف پتانسیل تولید شده در مغز برحسب زمان را نشان می‌دهد. ECG یک وسیله ضروری برای تشخیص بیماری‌های قلبی و EEG وسیله بسیار با ارزشی برای تشخیص بعضی اختلالات مغزی است.



اشکال چنین اندازه‌گیری‌هایی در این است که پتانسیل‌های سطحی به‌طور غیرمستقیم به فعالیت اندام‌های داخلی بستگی دارند. پوست رسانای الکتریکی ضعیفی است و کسر بسیار کوچکی از جریان تولید شده در یک عضو به آن می‌رسد. برای نشان دادن جریان یک عضو به‌طور مستقیم، اخیراً دستگاه‌هایی ساخته شده است که می‌توانند میدان تولید شده به‌وسیله این جریان‌ها را اندازه‌گیری کنند.

جریان نسبتاً زیاد قلب، میدان مغناطیسی تقریبی 1×10^{-6} گاوس را در اطراف قفسه سینه به‌وجود می‌آورد و جریان‌های ضعیف در مغز، میدان مغناطیسی تقریبی 3×10^{-8} گاوس را در اطراف سر تولید می‌کنند. این میدان‌ها از میدان مغناطیسی زمین (5° گاوس) یا حتی از میدان‌های مربوط به جریان‌های سیم‌های برق در منازل (5×10^{-2} گاوس) ضعیف‌ترند و برای اندازه‌گیری آنها از روش‌های ویژه‌ای استفاده می‌شود.

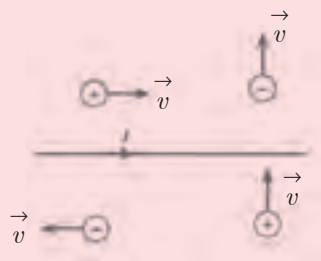
در یکی از این روش‌ها بدن انسان را در داخل اتاقی قرار می‌دهند که به وسیله دیوارهای آهنی از تأثیر میدان‌های مغناطیسی خارجی محفوظ است. روش دیگر، اندازه‌گیری اختلاف شدت میدان مغناطیسی در دو نقطه نزدیک بدن است. اثر میدان‌های مغناطیسی دور در این نقطه یکسان‌اند و حذف می‌شوند، در حالی که میدان بدن انسان در نزدیکی انسان به‌طور قابل ملاحظه‌ای از یک نقطه به نقطه دیگر تغییر می‌کند و یکدیگر را حذف نمی‌کنند. در روش سوم، از این واقعیت استفاده می‌شود که قسمت اعظم میدان زمینه نسبت به زمان ثابت است و به راحتی از سیگنال متغیر قابل تشخیص است.

اندازه‌گیری به وسیله الکتروکاردیوگرام یا مگنتوکاردیوگرام MCG از اندازه‌گیری با الکتروآنسفالوگرام یا مگنتوآنسفالوگرام MEG بسیار راحت‌تر است. زیرا میدان مغناطیسی مغز بسیار ضعیف‌تر از میدان مغناطیسی قلب است.

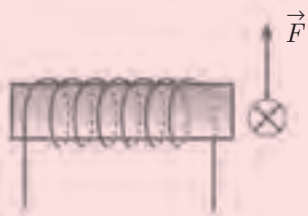
انتظار می‌رود که روش‌های آشکارسازی میدان‌های مغناطیسی بسیار ضعیف، به تدریج کامل شوند و دریچه کاملاً جدیدی را به روی اعمال انسان بگشایند.

پرسی 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؟



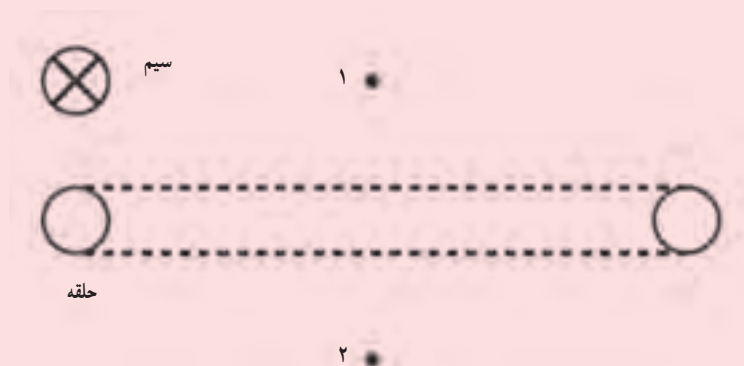
۲ جهت نیروی وارد بر سیم حامل جریانی که در نزدیکی سیم‌لوله‌ای قرار دارد مطابق شکل زیر است. جهت جریان را در سیم‌لوله تعیین کنید.





۳ سیم بلند و مستقیمی عمود بر صفحه کتاب مطابق شکل روبه‌رو درون میدان مغناطیسی یکنواختی قرار دارد. برآیند میدان مغناطیسی در نقطه ۳ صفر است. الف) جهت جریان الکتریکی را در سیم (روی شکل) مشخص کنید. ب) فاصله نقطه‌های ۱ و ۲ از سیم همانند نقطه ۳ و فاصله نقطه ۴ از سیم بیشتر از فاصله نقطه ۳ از سیم است. در هر یک از نقطه‌های ۱، ۲ و ۴ میدان مغناطیسی ناشی از سیم و همچنین میدان برآیند را تعیین کنید.

۴ سیم بلند و مستقیمی که حامل جریان است درست بالای یکی از لبه‌های حلقه حامل جریانی قرار دارد (شکل زیر). سیم و حلقه عمود بر صفحه کتاب‌اند و میدان مغناطیسی برآیند در نقطه ۱ برابر صفر است. الف) روی شکل جهت جریان را در حلقه مشخص کنید. ب) به کمک یک نمودار برداری، میدان مغناطیسی ناشی از سیم، حلقه و برآیند آنها را در نقطه ۲ تعیین کنید.



دانستنی برای معلم

مواد مغناطیسی

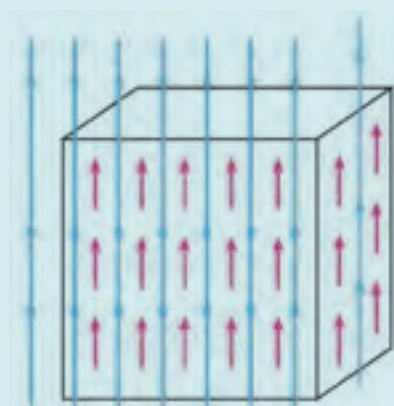
مواد با توجه به رفتارشان در یک میدان مغناطیسی خارجی به پنج دسته تقسیم می‌شوند که عبارت‌اند از: دیامغناطیس، پارامغناطیس، فرومغناطیس، پادفرومغناطیس و فری مغناطیس. به‌طور کلی سه عامل در منشأ مغناطیسی مواد مؤثر است.

الف) گشتاور اسپینی

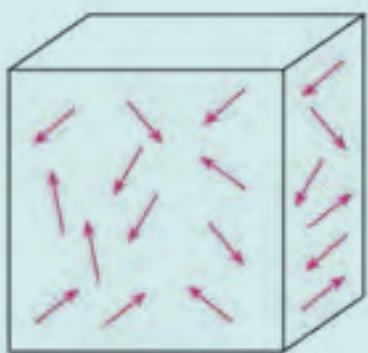
ب) گشتاور مداری الکترون‌ها

ج) گشتاور القایی ناشی از میدان مغناطیسی خارجی

دو مورد اول در خاصیت پارا، فرو، پادفرو و فری مغناطیسی مواد نقش اساسی دارد و مورد سوم در خاصیت دیامغناطیسی مواد. **۱** **دیامغناطیسی** : هرگاه یک ماده در معرض یک میدان مغناطیسی خارجی قرار بگیرد برهم کنش بین الکترون‌های هر اتم و میدان مغناطیسی خارجی باعث القای یک گشتاور مغناطیسی در اتم می‌شود، این پدیده را دیامغناطیس می‌نامند. از آنجایی که همه 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. پدیده دیامغناطیس در اتم‌های با پوسته بسته که در آنها جمع‌برداری گشتاورهای مداری و اسپینی صفر است بیشتر نمایان می‌شود. جهت گشتاورهای مغناطیسی القایی در ماده، مطابق قانون لنز، در جهتی است که با حضور میدان مغناطیسی خارجی مخالفت می‌کند. بیسموت، بریلیم، متان، دیوکسید کربن، شیشه و... چند ماده دیامغناطیس هستند.



یک ماده پارامغناطیس در حضور یک میدان مغناطیسی خارجی قوی.



یک ماده پارامغناطیس در غیاب میدان مغناطیسی خارجی.

۲ **پارامغناطیس** : مواد پارامغناطیس موادی با ویژگی‌های زیر می‌باشند :

الف) پوسته 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 تبدیلی موسوم است منشأ آن کوانتومی است.

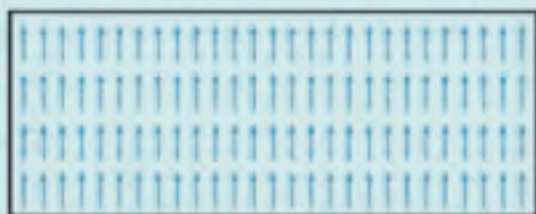
ج) اگر این مواد در معرض یک میدان مغناطیسی خارجی قرار بگیرند، علاوه بر القای یک گشتاور مغناطیسی در اتم‌های آنها (پدیده دیامغناطیس)، تعدادی از گشتاورهای مغناطیسی دائم اتم‌ها در جهت میدان قرار می‌گیرند به طوری که با افزایش شدت میدان تعداد بیشتری از آنها با میدان هم‌راستا می‌شوند.

اگر میدان مغناطیسی خارجی خیلی قوی باشد همه گشتاورهای مغناطیسی ماده در جهت میدان قرار می‌گیرند. با حذف میدان مغناطیسی خارجی دوباره جهت گشتاور مغناطیسی اتم‌های جسم به حالت کاتوره‌ای بازمی‌گردند.

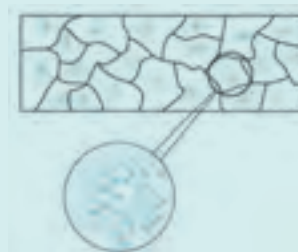
منگنز، پلاتین، آلومینیوم، هوا و... جزء مواد پارامغناطیس محسوب می‌شوند.

۳ **فرو، پادفرو و فری مغناطیس** : اگر برهم کنش و نیروی تبدیلی بین گشتاورهای مغناطیسی (ناشی از حرکت مداری و اسپینی الکترون‌ها در اتم‌های با پوسته باز) قوی باشد جفت‌شدگی بین گشتاورهای مغناطیسی افزایش می‌یابد. مواد با توجه به نوع جهت‌گیری این گشتاورها به سه نوع فرو، پادفرو و فری مغناطیس تقسیم می‌شوند.

در مواد فرومغناطیس گشتاورهای مغناطیسی اتم‌های ماده به صورت موازی و در یک جهت قرار می‌گیرند. این مواد در حالت عادی (در غیاب میدان مغناطیسی خارجی) دارای خاصیت مغناطیسی نیستند. زیرا هر ماده فرومغناطیس از حوزه‌های مغناطیسی زیادی تشکیل شده است که توسط دیواره‌هایی به نام دیوار بلوخ از یکدیگر جدا شده‌اند. به طوری که جهت‌گیری گشتاورهای مغناطیسی در هر حوزه مغناطیسی یکسان است ولی در مجموع گشتاور مغناطیسی برآیند کل نمونه (مغناطش نمونه) برابر صفر است.



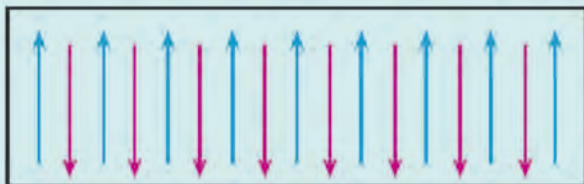
یک ماده فرومغناطیسی در حضور میدان مغناطیسی خارجی



یک ماده فرومغناطیسی در غیاب میدان مغناطیسی

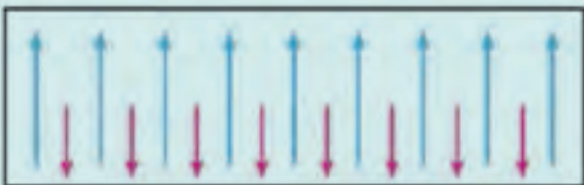
حال اگر یک ماده فرومغناطیس را در معرض یک میدان مغناطیسی خارجی قرار می‌دهیم، گشتاور مغناطیسی حوزه‌هایی که در جهت (یا تقریباً در جهت) میدان هستند هم جهت با آن قرار می‌گیرند، به طوری که با افزایش شدت میدان به تدریج گشتاورهای مغناطیسی حوزه‌های دیگر نیز در جهت میدان ردیف می‌شوند و در نهایت ماده به یک تک حوزه مغناطیسی تبدیل می‌شود. با حذف میدان، پس از گذشت زمان کوتاهی ماده دوباره به حالت اولیه خود بازمی‌گردد و خاصیت مغناطیسی خود را از دست می‌دهد. آهن، کبالت، نیکل، گادولینیم و دیسپرسیم جزء مواد فرومغناطیس محسوب می‌شوند.

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



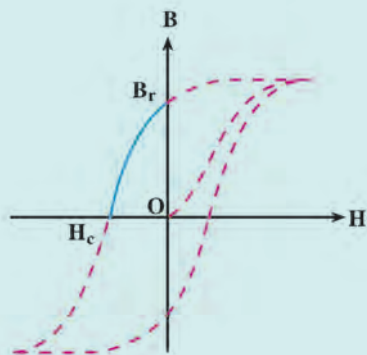
یک حوزه مربوط به ماده پادفرومغناطیس، در مواد پادفرومغناطیس برآیند گشتاورهای مغناطیسی در هر شبکه صفر است.

مواد فری مغناطیس نیز مانند مواد پادفرومغناطیس می‌باشند با این تفاوت که اندازه گشتاورهای مغناطیسی در زیر شبکه‌های A و B با هم برابر نیستند و در نتیجه برآیند گشتاورهای مغناطیسی در هر شبکه و حوزه مخالف صفر است (شکل ۴).



یک حوزه مغناطیسی مربوط به ماده فری مغناطیس، در مواد فری مغناطیس برآیند گشتاورهای مغناطیسی در هر شبکه مخالف صفر است.

هرگاه یک ماده فری مغناطیس در یک میدان مغناطیسی خارجی نسبتاً قوی قرار بگیرد برآیند همه گشتاورهای مغناطیسی اتم‌ها در راستای میدان قرار می‌گیرند. ویژگی مهم این مواد این است که با حذف میدان مغناطیسی خارجی دیگر گشتاورهای مغناطیسی (حوزه‌ها) به حالت اولیه بازمی‌گردند و جسم خاصیت مغناطیسی را به صورت دائم در خود حفظ می‌کند (برخلاف مواد فرومغناطیس نرم که با حذف میدان، خاصیت مغناطیسی خود را از دست می‌دهند). این مواد در صنعت و فناوری از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند به طوری که به اختصار آنها را فریت می‌نامند. رابطه شیمیایی این مواد به صورت Fe_2O_3 ، Fe ، Mo است، که در آن M یک کاتیون دو ظرفیتی است غالباً Zn ، Fe ، Ni ، Cd ، Cu و یا Mg است. معمولاً این مواد را فرومغناطیس سخت می‌نامند. ویژگی مهم مواد فرو و فری مغناطیس: یکی از بارزترین مشخصات این مواد، منحنی مغناطیدگی یا چرخه پسماند است که در آن تغییرات مغناطیدگی جسم \vec{M} (گشتاور مغناطیسی ماده در واحد حجم یا جرم) را برحسب شدت 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 زیر). حال اگر این مواد را در یک میدان مغناطیسی قرار دهیم و میدان را به تدریج افزایش دهیم، ابتدا حجم حوزه‌هایی که گشتاور مغناطیسی آنها با میدان هم جهت (یا تقریباً هم جهت) است زیاد می‌شود و با افزایش شدت میدان، گشتاورهای حوزه‌های دیگر نیز به تدریج می‌چرخند و در جهت میدان قرار می‌گیرند و سرانجام در یک میدان مغناطیسی نسبتاً قوی گشتاور مغناطیسی تمام حوزه‌ها با میدان مغناطیسی هم جهت می‌شوند و کل نمونه به صورت یک تک حوزه مغناطیسی درمی‌آید. اکنون اگر میدان مغناطیسی خارجی را به تدریج کاهش دهیم گشتاورهای حوزه‌های مغناطیسی به حالت اولیه خود بازمی‌گردند، یعنی در غیاب میدان مغناطیسی، مغناطیدگی، ماده صفر نمی‌شود و به عبارتی ماده از خود پسماند مغناطیسی نشان می‌دهد. در عمل به جای رسم منحنی $M-H$ ، منحنی $B-H$ را (که در آن B القای مغناطیسی درون ماده است) را رسم می‌کنند.



منحنی مغناطیدگی (یا چرخه پسماند) یک ماده فرو یا فری مغناطیس

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

چرا مواد فری مغناطیس برای ذخیره اطلاعات مناسب اند؟ با توجه به آنچه گفته شد یک محیط مناسب برای ذخیره اطلاعات باید دارای شرایط زیر باشد :

(الف) ذخیره مقدار زیادی اطلاعات در یک فضای کوچک (B_r بزرگ)

(ب) حفظ این اطلاعات برای یک مدت زمان طولانی (H_c بزرگ)

(ج) ذخیره و بازیابی اطلاعات با توان مصرفی کم

سه ویژگی بالا در مواد فری مغناطیس وجود دارد و از این جهت این مواد برای ذخیره اطلاعات مناسب اند.

تاریخچه ضبط (ذخیره) مغناطیسی : ضبط مغناطیسی با استفاده از تبدیل نوسان های صوتی به نوسانات الکتریکی (توسط میکروفون و تقویت کننده) و تبدیل این جریان الکتریکی به یک میدان مغناطیسی توسط یک هد (که باید از جنس یک ماده فرومغناطیس باشد) و اعمال این میدان مغناطیسی بر روی یک محیط مغناطیسی مناسب (از جنس یک ماده فری مغناطیس) امکان پذیر است. ضبط صدای انسان نخستین بار در سال ۱۸۹۸ میلادی توسط پولسن (Poulsen) ابداع گردید. او نوسان های صوتی را توسط یک آهنربای الکتریکی که به یک میکروفون وصل شده بود بر روی یک میله فولادی (آهن با ۱ درصد کربن) ذخیره نمود. مجموعه دستگاهی که ایشان فراهم نمود، به تلگرافون موسوم بود. عیب عمده این دستگاه نوفه (Noise) زیاد در هنگام بازیافت اطلاعات ذخیره شده بود.

در سال ۱۹۲۰ با بهبود کیفیت تقویت کننده ها، بازیافت اطلاعات با نوفه کمتری همراه شد. در سال ۱۹۲۱ با اختراع روش ضبط با پیش ولت ac این نوفه ها به میزان قابل توجهی کاهش یافت.

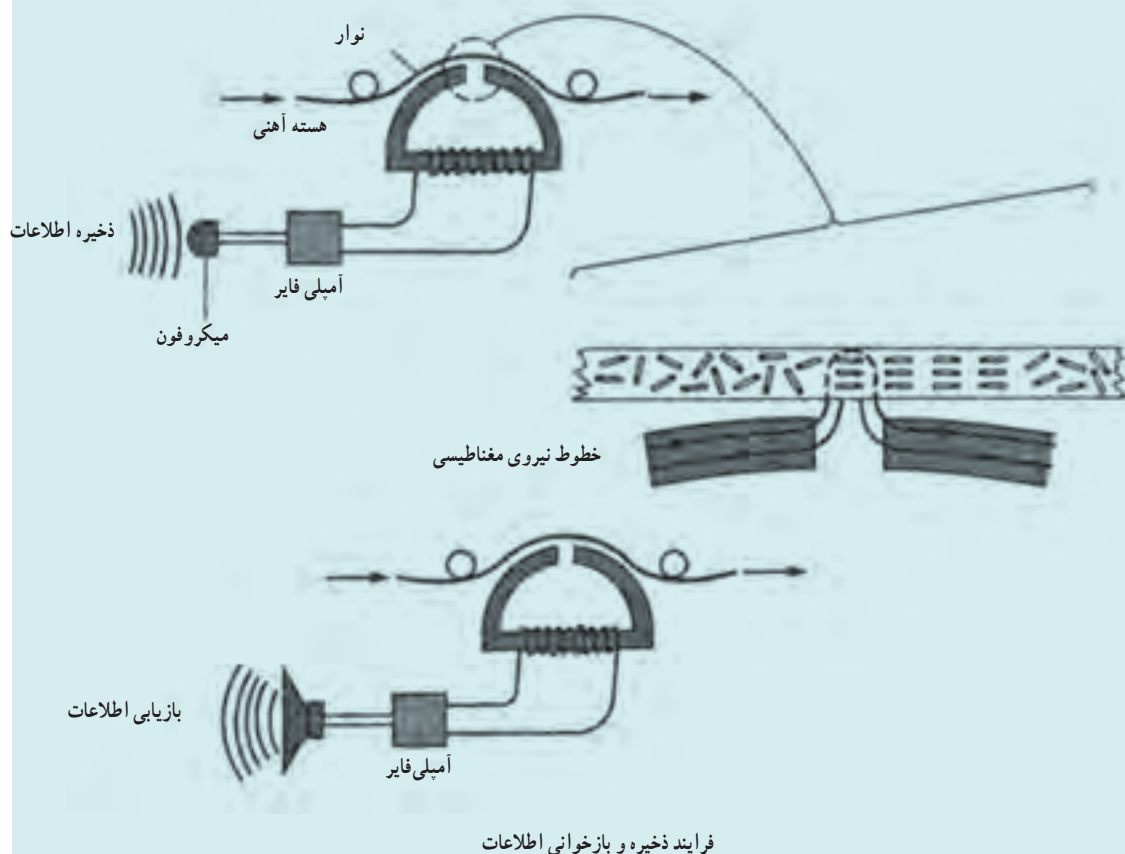
نوارهای ضبط شنیداری *ATR* نخستین بار با آغشته کردن یک نوار کاغذی مخصوص با یک مایع فری مغناطیس در سال ۱۹۲۷ توسط یک شرکت آمریکایی ابداع گردید و هم زمان در آلمان این نوارها با استفاده از نوار کاغذی آغشته به پودر آهن ساخته شدند. در سال ۱۹۴۷ با همکاری سه شرکت آمریکایی نوارهای اکسید آهن ابداع شدند و در سال ۱۹۵۰ نوارهای ضبط دیداری *VTR* و همچنین درایوهای دیسک مغناطیسی *MDD* ساخته شدند. در اواخر دهه ۱۹۶۰ میلادی نوارهایی از جنس دیوکسید کروم و در اوایل دهه ۱۹۷۰ نیز نوارهایی از جنس اکسید آهن اصلاح شده با کبالت ساخته شدند. در اوایل دهه ۱۹۸۰ نیز نوارهای فلزی از جنس ذرات بسیار ریز فلزی (پودر آهن) به بازار عرضه شدند.

فرایند ذخیره و بازیابی اطلاعات از محیط های مغناطیسی : همان طور که گفته شد عمل ذخیره سازی مغناطیسی (اعم از صوتی و تصویری) با تبدیل نوسانات صوتی (تصویری) به نوسانات الکتریکی و تبدیل این جریان الکتریکی به یک میدان مغناطیسی توسط دستگاه راه انداز و اعمال این میدان بر روی یک محیط مغناطیسی مناسب امکان پذیر است (شکل زیر).



ساختمان یک دستگاه راه انداز مغناطیسی.

برای بازیافت اطلاعات فرایند بالا برعکس می شود. یعنی نوار را از مقابل یک راه انداز مغناطیسی عبور می دهند، در نتیجه بر اثر خاصیت مغناطیسی نوار، یک میدان مغناطیسی در دستگاه راه انداز القا می شود و این میدان مغناطیسی باعث ایجاد یک جریان الکتریکی می شود که توسط یک مبدل به نوسان های صوتی تبدیل می شود (شکل صفحه بعد).



پرسش های پیشنهادی

ماده غیر مغناطیس

۱ در شکل روبه رو تأثیر وجود یک ماده غیر مغناطیسی (مانند شیشه) و یک ماده مغناطیسی (مانند آهن) در اطراف یک آهنربای میله ای نشان داده شده است.

الف) سمت گیری تقریبی دو قطبی های مغناطیسی را در هر یک از این دو ماده با رسم شکل نشان دهید.

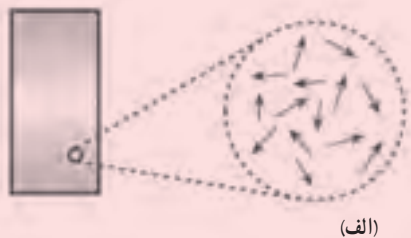
ب) قطب های القا شده در قطعه آهن را تعیین کنید.

۲ الف) در شکل‌های زیر (الف و ب) سمت‌گیری دوقطبی‌های مغناطیسی در دو ماده مختلف را در مقیاس خیلی ریز نشان داده

است. تفاوت‌های هر ماده را از لحاظ مغناطیسی بنویسید.

ب) در صورتی که ماده (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 ماده (ب) یک آهنربای میله‌ای باشد، قطب‌های آن را در دو طرف آهنربا تعیین کنید.



(الف)



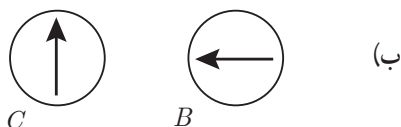
(ب)

راهنمای پاسخ‌یابی پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۳

۱ دانش‌آموزان با توجه به شکل ۳-۶ می‌توانند، جهت قطب‌های آهنربا را به سادگی تعیین کنند.

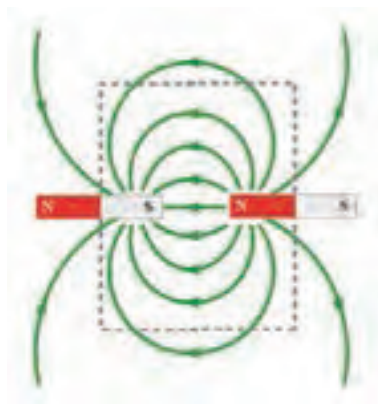


۲ الف) اندازه میدان در نقطه A حداقل ممکن و نزدیک به صفر است.



پ) به علت اینکه مجرای گلو دارای فرورفتگی و برآمدگی است.
ت) گیره آهنی کاغذ را می‌توان بیرون آورد زیرا ماده فرومغناطیس نرم است و جذب آهنربا می‌شود.

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



۳ الف) ۱- استفاده از یک آهنربا با قطب‌های مشخص
۲- استفاده از قطب نما

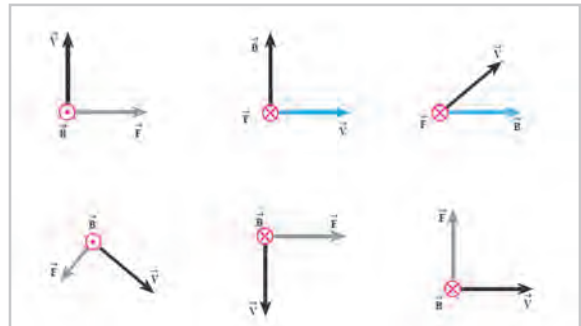
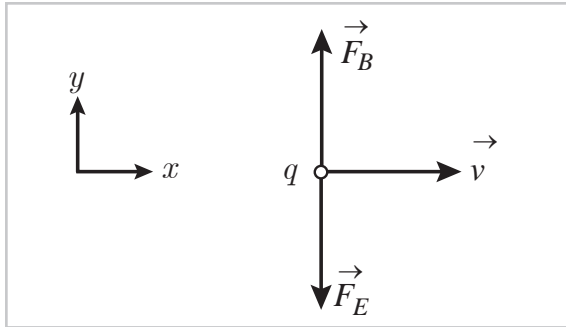
ب) با توجه به تراکم خطوط میدان در مجاورت قطب‌ها آهنربای ۲، اندازه میدان \vec{B} این آهنربا از آهنرباهای (۱) بیشتر است.
۴ الف) نوک ثابت آهنی بر اثر پدیده القای مغناطیسی، به آهنربا تبدیل می‌شود.

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

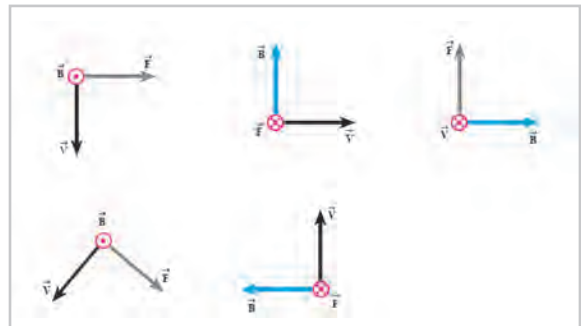


۱۱ برای اینکه ذره باردار در همان امتداد محور x به حرکت خود ادامه دهد، مطابق شکل باید $F_E = F_B$. در این صورت داریم

$$qE = qvB \Rightarrow v = \frac{E}{B} = \frac{450 \text{ N}}{3 \times 10^{-3} \text{ T}} = 1.5 \times 10^5 \text{ m/s}$$



۱۲ با استفاده از قاعده دست راست، جهت نیرو
الف) به سمت داخل صفحه (درون سو) است.
ب) به سمت بالا.
پ) به سمت بالا.



۱۸ باد ساعتگرد

$$V = 4/4 \times 10^6 \text{ m/s}, B = 1 \text{ mT}, \theta = 60^\circ$$

$$F = qvB \sin \theta = (1/6 \times 10^{-19} \text{ C}) \times (4/4 \times 10^6 \text{ m/s}) \times (1 \times 10^{-3} \text{ T}) \sin 60^\circ \approx 2/5 \times 10^{-15} \text{ N}$$

ب)

$$F = ma \Rightarrow a = \frac{2/5 \times 10^{-15} \text{ N}}{1/7 \times 10^{-27} \text{ kg}} = 1/4 \times 10^{12} \text{ m/s}^2$$

$$v = 2/4 \times 10^6 \text{ m/s}, F_{\max} = 6/8 \times 10^{-14} \text{ N}, B = ?$$

$$F = qvB \sin \theta \Rightarrow 6/8 \times 10^{-14} \text{ N} = (1/6 \times 10^{-19} \text{ C})$$

$$(2/4 \times 10^6 \text{ m/s}) B$$

$$\Rightarrow B \approx 1/7 \text{ T}$$

چون اندازه نیروی وارد بر الکترون بیشینه فرض شده است $\sin \theta = 1$ گرفته ایم. جهت میدان به سمت غرب است (به بار منفی الکترون توجه شود).



۱۳ میله در همان لحظه وصل کلید، روبه جلو پرتاب می شود. دانش آموزان با توجه به قاعده دست راست و جهت جریان و میدان \vec{B} ، باید جهت نیروی وارد بر میله را تعیین کنند.

$$l = 2\text{m}, B = 0.5\text{ T}, F = 1\text{N}, I = ?$$

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

$$\Rightarrow I = 1\text{A}$$

جهت جریان از D به C است.

$$I = 1/6\text{A}, B = 0.05\text{mT} = 0.05 \times 10^{-3}\text{ T}$$

$$F = IlB\sin\theta = (1/6\text{A})(1\text{m})(0.05 \times 10^{-3}\text{ T})\sin 90^\circ$$

$$= 8 \times 10^{-5}\text{N}$$

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

$$I(1\text{m})(0.05 \times 10^{-3})\sin 90^\circ = (8 \times 10^{-3}\text{ kg})(9.8\text{N/kg})$$

$$\Rightarrow I = 1568\text{A}$$

که جریان بسیار بزرگی است.

۱۶ با بستن کلید، سیم‌لوله آهنربا 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 عقربه 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 درون سو است. بنابراین باید جهت میدان ناشی از سیم ۲ در نقطه A برون سو باشد تا برآیند آنها بتواند صفر شود.

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

$$N = 250 \text{ حلقه}, l = 0.14\text{m}, I = 0.8\text{A}, B = ?$$

$$B = \frac{\mu_0 NI}{l} = \frac{(4\pi \times 10^{-7}\text{ T.m/A})(250)(0.8\text{A})}{0.14\text{m}} \approx 1.8 \times 10^{-3}\text{ T}$$

$$N_P = 200, N_Q = 300, I_Q = 1\text{A}, I_P = ?$$

$$l_P = l_Q$$

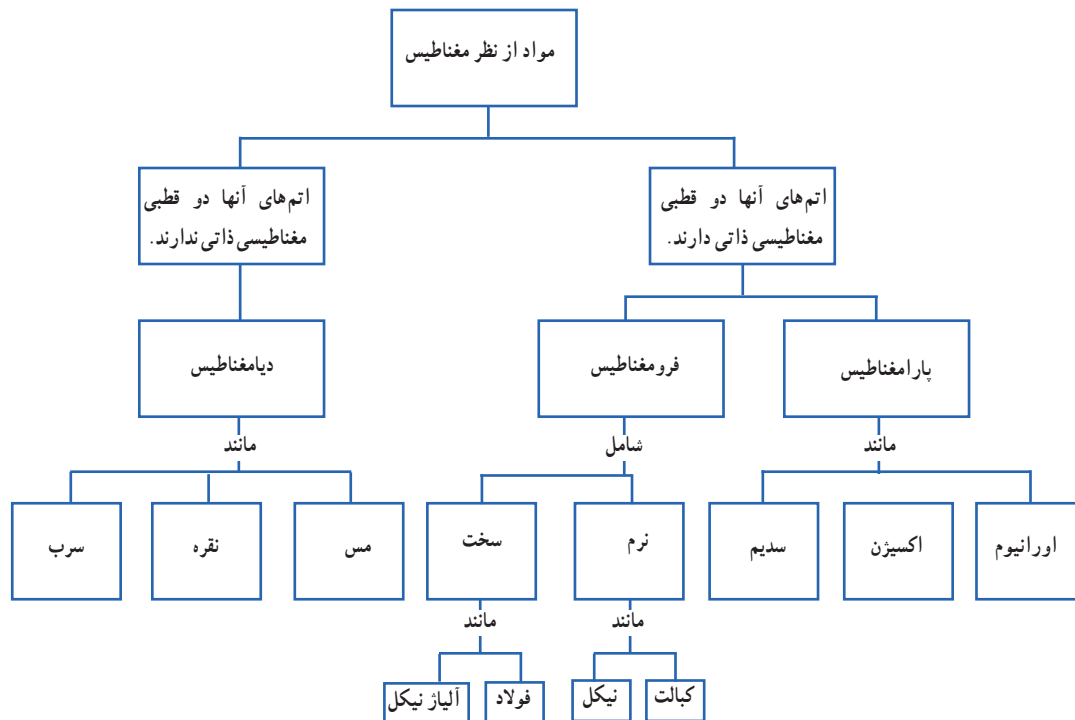
شرط صفر بودن برآیند میدان \vec{B} ناشی از دو سیم‌لوله در نقطه M عبارت است از

$$B_P = B_Q \Rightarrow \frac{\mu_0 N_P I_P}{l_P} = \frac{\mu_0 N_Q I_Q}{l_Q}$$

$$\Rightarrow 200 \cdot I_P = 300 \times 1\text{A} \Rightarrow I_P = \frac{3}{2}\text{A}$$

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

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



فصل چهارم

القای الکترومغناطیسی و جریان متناوب

پیامدها

دانش‌آموزان با درک مفاهیم این فصل :

- با پدیده القای الکترومغناطیسی و کاربردهای آن در زندگی روزمره (مثل تولید جریان متناوب) آشنا می‌شوند.
- با عامل‌های مؤثر بر اندازه جریان القایی و چگونگی تعیین جهت آن آشنا می‌شوند.
- با اثر خودالقائوری و ضریب خودالقائوری سیم‌لوله آشنا می‌شوند.
- با پدیده القای متقابل آشنا می‌شوند.
- با جریان متناوب و ویژگی‌های آن آشنا می‌شوند.
- با اساس کار مبدل‌ها و انواع آنها آشنا می‌شوند.

چه شناختی مطلوب است؟

- اساس کار مولدها برای تولید جریان الکتریکی، قانون القای الکترومغناطیسی فاراده است.
- با تغییر سطح، چرخاندن و با تغییر میدان مغناطیسی، می‌توان در یک پیچه جریان الکتریکی القا کرد.
- شار مغناطیسی کمیتی نرده‌ای است و برای میدان یکنواخت \vec{B} از رابطه $\Phi = AB \cos \theta$ به دست می‌آید.
- هرچه مقاومت پیچه یا مداری که در آن شار مغناطیسی تغییر می‌کند، بیشتر باشد، جریان کوچک‌تری در آن القا می‌شود.
- جهت جریان القایی را در یک مدار، می‌توان به کمک قانون لنز تعیین کرد.
- از القاگرها می‌توان برای تولید میدان مغناطیسی و همچنین ذخیره انرژی استفاده کرد.
- یکی از کاربردهای مهم اثر القای الکترومغناطیسی فاراده، تولید جریان متناوب است.
- یکی از مزیت‌های مهم توزیع توان الکتریکی ac بر dc آن است که افزایش و کاهش ولتاژ ac، بسیار آسان‌تر از dc است.

چه پرسش‌هایی اساسی است و باید در نظر گرفته شوند؟

- چه عواملی سبب القای جریان الکتریکی در یک پیچه می‌شود؟
- شار مغناطیسی گذرنده از یک پیچه به چه عواملی بستگی دارد؟
- یکای شار مغناطیسی در SI چیست؟
- چگونه به کمک قانون لنز می‌توان جهت جریان القایی در یک پیچه را تعیین کرد؟
- نقش القاگرها در یک مدار الکتریکی چیست؟
- پدیده خود القاوری چیست؟
- ترجیح جریان ac بر dc در توزیع توان الکتریکی چیست؟

در پایان این واحد یادگیری دانش آموزان چه دانش و مهارت‌های اساسی را کسب می‌کنند؟

- دانش آموزان خواهند دانست که :
- پدیده القای مغناطیسی اساس تولید جریان الکتریکی است.
- شار عبوری از یک پیچه به چه عواملی بستگی دارد.
- به کمک قانون لنز چگونه می‌توان جهت جریان القایی را پیدا کرد.
- انرژی مغناطیسی ذخیره شده در یک القاگر به چه عواملی بستگی دارد.
- ضریب القاوری یک القاگر به چه عواملی بستگی دارد.
- نقش مفید و مضر القای متقابل در مدارهای الکترونیکی در چیست.
- سازوکار تولید جریان متناوب چگونه است.
- دانش آموزان قادر خواهند بود :
- کاربرد پدیده القای الکترومغناطیسی را بیان کنند و به کمک آزمایش پدیده القای الکترومغناطیسی را نشان دهند.
- اثر سطح، تعداد دور و زاویه سطح با \vec{B} را در پدیده القای الکترومغناطیسی با انجام آزمایش‌های ساده نشان دهند.
- نقش مقاومت پیچه یا سیم‌لوله را در تولید جریان متناوب بیان کنند و به طور تجربی آن را بررسی کنند.
- پدیده خود القاوری را شرح دهند و به کمک آزمایش آن را نشان دهند.
- نقش ضریب القاوری را در ذخیره انرژی در یک القاگر توضیح دهند.
- اهمیت انتقال انرژی الکتریکی را به روش متناوب بیان کنند.
- با ساخت یک مبدل با تعداد دور متفاوت، ولتاژ دوسر یک باتری را به گونه‌ای تغییر دهند که مناسب مصرف کننده باشد.

بودجه‌بندی پیشنهادی



جلسه اول: بررسی تصویر شروع فصل + مقدمه فصل + بخش ۱-۴

جلسه دوم و سوم: بخش ۲-۴

جلسه چهارم: بخش ۳-۴

جلسه پنجم تا هفتم: بخش ۴-۴ تا پایان فصل

جلسه هشتم: ارزشیابی فصل ۴

بررسی پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۴ را در هر جلسه توزیع کنید و یا برای پرسش‌ها و مسئله‌های باقیمانده، قبل از ارزشیابی فصل، یک جلسه اختصاص دهید.

توجه: برای آزمایش‌های پیشنهادی در راهنمای معلم (که در نسخه ویدیویی این فصل نیز انجام شده است) ترجیحاً مدت زمان یک جلسه را در طول تدریس این فصل منظور کنید.

توجه دانش‌آموزان را به تصویر ورودی فصل و متن زیر آن جلب کنید تا به اهمیت دانشی که در این فصل می‌آموزند آگاه شوند. این تصویر به کاربردهای مفاهیم این فصل (الفای الکترومغناطیسی) اشاره دارد. افزون بر این کاربرد می‌توانید با مثال‌های کاربردی دیگر، زمینه مناسبی را برای ورود به فصل آماده سازید.

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

برای بررسی بیشتر این موضوع، مطابق آزمایش پیشنهادی که در مجموعه فیلم‌های مرتبط با آزمایش‌های فیزیک ۲ آمده است، ابتدا به کمک دانش‌آموزان بررسی کنید که نوار سیاه رنگ پشت کارت‌های بانکی، یک نوار مغناطیسی با خاصیت آهنربایی نسبتاً ضعیف است. در ادامه می‌توانید از دانش‌آموزان سؤال کنید که به نظر آنها چگونه کشیدن کارت درون شکاف کارت‌خوان، سبب خواندن اطلاعات روی کارت می‌شود؟





در ادامه دانش آموزان با جزئیات بیشتری می توانند به پرسش زیر تصویر پاسخ دهند و دلیل کشیده شدن کارت بانکی را درون دستگاه کارت خوان توضیح دهند.

افزون بر مثال مربوط به کارت خوان، می توانید به کاربردهای دیگری از پدیده القای الکترومغناطیسی اشاره کنید. مثلاً در فروشگاه های بزرگ لباس برای جلوگیری از به سرقت رفتن لباس ها امروزه در ورودی فروشگاه دروازه هایی تعبیه می شود و روی هر یک از لباس ها هم یک قطعه فلزی نصب می کنند.

اگر لباسی که فروشنده قطعه محافظ آن را جدا نکرده باشد از دروازه بگذرد آژیر به صدا درمی آید. در ورودی فرودگاه یا مکان های مهم امنیتی که می خواهند وجود اشیای خاص فلزی مثل انواع اسلحه های سرد و گرم را ردیابی کنند به جای بازدید بدنی افراد را از دروازه یک دستگاه آشکارساز فلز عبور می دهند. در این گونه مواقع از افراد می خواهند تا قبل از ورود به دستگاه وسایل فلزی همراه خود را تحویل دهند.



۱-۴- پدیده القای الکترومغناطیسی

راهنمای تدریس : مطابق الگوی کتاب، ابتدا به کمک آزمایش دانش آموزان را با پدیده القای الکترومغناطیسی فاراده آشنا کنید. این آزمایش را به شکل های مختلف و با ابزارهای متفاوتی می توان انجام داد که تعدادی از این روش ها در مجموعه فیلم های مرتبط با آزمایش های کتاب فیزیک ۲ موجود است و از طریق سایت گروه فیزیک می توانید به آنها دسترسی داشته باشید. از آنجا که آهنگرهای دائم به شکل فعلی در اختیار فاراده نبود، مطابق شکل ۱-۴، وی از آهنگرهای 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 فلزی در همه فرودگاه‌ها معمولاً از نوع PI (Pulse Induction) است. در این نوع آشکارسازها پیچیده‌هایی از سیم در دو طرف دروازه به‌عنوان فرستنده و گیرنده گذاشته می‌شوند که در آنها متناوباً جریان‌هایی فرستاده می‌شود. هر تب جریان الکتریکی که تغییرات چند میکروثانیه‌ای دارد میدان مغناطیسی کوچک و متغیری تولید می‌کند. تغییر میدان مغناطیسی روی پیچیده مقابل جریان دیگری القا می‌کند. این جریان القایی را تب بازتابی می‌نامیم که فقط حدود 30° میکروثانیه دوام دارد. سپس تب بعدی ارسال و این فرآیند دوباره تکرار می‌شود. در این آشکارسازها معمولاً در هر ثانیه حدود 100 تب فرستاده می‌شود. البته تعداد تب‌های ارسالی بسته به کارخانه سازنده می‌تواند از 25 تا 1000 تب 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 اثر را فعال می‌کنند.

چنانچه یک کلاف سیم برق‌کشی در اختیار داشته باشید، دوسر کلاف را به یک گالوانومتر حساس یا میلی ولت‌سنج وصل کنید. در حضور یک میدان مغناطیسی نسبتاً قوی (ایجاد شده توسط آهنربای دائم یا آهنربای الکتریکی) حالت‌های مختلف شکل ۴-۲ و شکل ۴-۳ (کتاب درسی) را انجام دهید تا دانش آموزان با عوامل متفاوتی که می‌توانند منجر به ایجاد نیروی محرکه القایی یا جریان القایی به‌طور عملی آشنا شوند و قانون القای الکترومغناطیسی فاراده را تحقیق کنید.



۲-۴- 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 ۱-۴ (الف)

$$A_1 = 25 \text{ cm}^2 = 2/5 \times 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$B = 0.3 \text{ T}, \Phi_1 = ?, \theta = 0^\circ$$

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

$$= (0.3 \text{ T})(2/5 \times 10^{-2} \text{ m}^2) \cos 0^\circ$$

$$= 7/5 \times 10^{-3} \text{ Wb}$$

(ب)

$$A_2 = 1/5 \times 10^{-2} \text{ m}^2, \Phi_2 = ?$$

$$\Phi_2 = BA_2 \cos \theta = 3/5 \times 10^{-3} \text{ Wb}$$

(پ)

$$\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = \frac{(3/5 - 7/5) \times 10^{-3} \text{ Wb}}{0.2 \text{ s}} = -2/25 \times 10^{-3} \text{ Wb/s}$$

پرسش ۱-۴

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



تمرین ۲-۴

$$\Delta t = 0.45 \text{ s}, A = 100 \text{ cm}^2$$

$$B_1 = 0.28 \text{ T} \text{ رو به بالا}$$

$$B_2 = 0.17 \text{ T} \text{ رو به پایین}$$

(جهت بالا را مثبت فرض کرده ایم.)

(الف)

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

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

تغییرات شار ناشی از تغییرات جهت و اندازه میدان است.

به این ترتیب

$$\begin{aligned} \Phi_1 &= B_1 A \cos \theta_1 = (0.28 \text{ T})(100 \text{ m}^2) \cos 0^\circ \\ &= 28 \text{ Wb} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Phi_2 &= B_2 A \cos \theta_2 = (0.17 \text{ T})(100 \text{ m}^2) \cos 180^\circ \\ &= -17 \text{ Wb} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta \Phi &= \Phi_2 - \Phi_1 = -17 \text{ Wb} - 28 \text{ Wb} \\ &= -45 \text{ Wb} \end{aligned}$$

$$\bar{\mathcal{E}} = -\frac{(-45 \times 10^{-2} \text{ Wb})}{0.45 \text{ s}} = 10 \text{ V}$$

(ب)

$$I = |\bar{\mathcal{E}}|/R = (10 \text{ V})/(10 \Omega) = 1 \text{ A} = 1000 \text{ mA}$$



پرسش ۲-۴

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



دانش‌تستی برای معلم

نمایشگر SIDS

مراقبت از کودکان بیمار کاری بس دشوار است. سندروم مرگ ناگهانی کودک^۱ 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 سینه کودک تماس دارند. یکی از پیچه‌ها حامل جریان متناوب است و میدان مغناطیسی متغیر حاصل از آن از پیچه گیرنده در طرف دیگر سینه می‌گذرد.

بالا و پایین رفتن سینه در اثر تنفس یا هر حرکت دیگری مقدار جریان القایی در پیچه 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.



گیتار الکتریکی

صدای یک گیتار آکوستیکی ناشی از نوسان تارهای آن و تشدید صوت در بدنهٔ توخالی آن است. در حالی که در گیتار الکتریکی این اتفاق رخ نمی‌دهد. در گیتار الکتریکی نوسان تارهای فلزی به سیگنال الکتریکی تبدیل شده و توسط یک مدار الکتریکی تقویت می‌شود. سپس سیگنال تقویت شده به بلندگوها فرستاده می‌شود.

اساس کار در گیتار الکتریکی به این صورت است که سیم پیچی به دور یک هستهٔ مغناطیسی پیچیده شده است. این مجموعه در مجاورت تار گیتار قرار می‌گیرد. میدان مغناطیسی آهنربا در بخشی از تار فلزی واقع در بالای آهنربا یک قطب شمال و یک قطب جنوب به وجود می‌آورد. پس، این بخش از تار نیز خود دارای میدان مغناطیسی می‌شود. وقتی به تار آن زخمه زده می‌شود و آن را به نوسان در می‌آورد حرکت تار نسبت به پیچه سبب تغییر شار میدان مغناطیسی عبوری از پیچه و القای جریان می‌شود. هنگام ارتعاش تار و دور و نزدیک شدن آن به پیچه جهت جریان القایی با همان بسامد نوسان تار تغییر می‌کند و سیگنالی با این بسامد به تقویت کننده و بلندگو منتقل می‌کند.

می‌توان این پرسش را مطرح کرد.

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



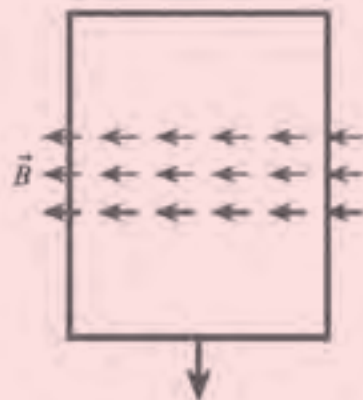
پاسخ : تغییر اندازهٔ بردار مغناطیسی چون با تکان‌های سیم گیتار، مقدار بردار در مکان‌های مختلف فرق می‌کند.

پرسش‌های پیشنهادی بخش‌های ۱-۴ و ۲-۴

۱ در شکل‌های الف و ب دو حلقهٔ رسانا در جهت نشان داده شده و با وجود میدان مغناطیسی یکنواختی کشیده می‌شوند. در کدام حالت جریان القایی در حلقه ایجاد می‌شود؟ توضیح دهید.

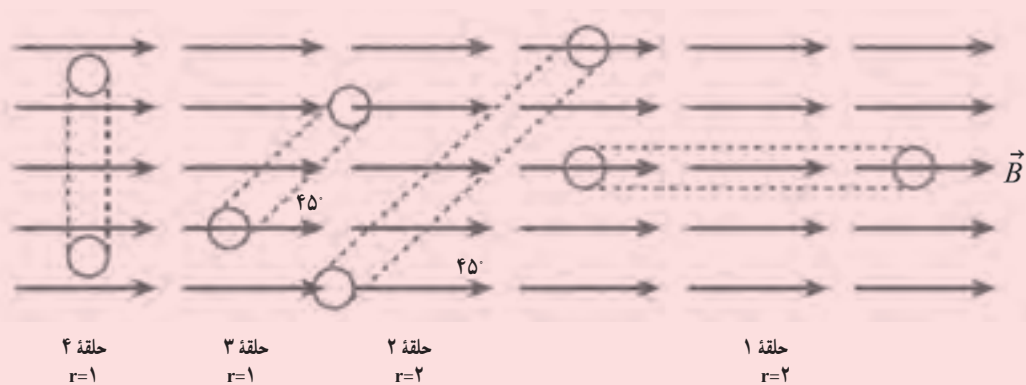


(ب)

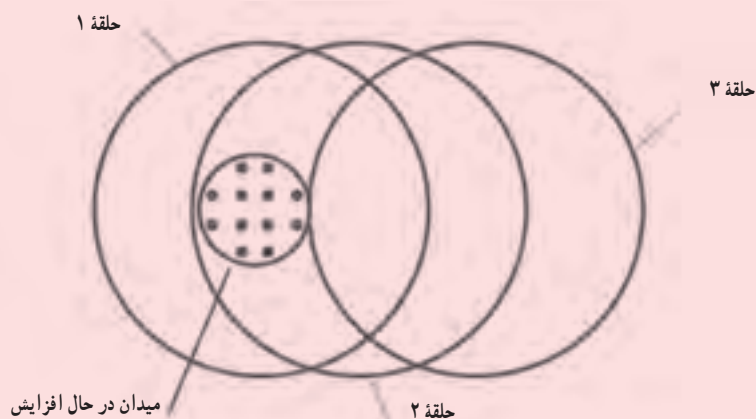


(الف)

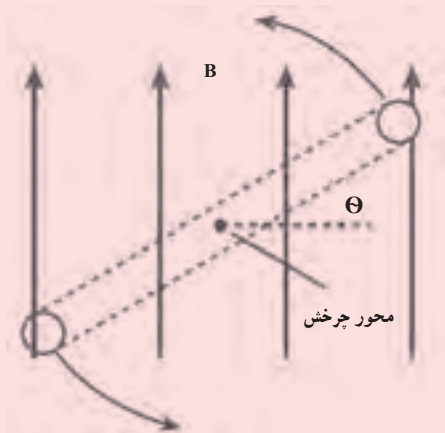
۲ شکل زیر چهار حلقهٔ دایره‌ای را عمود بر صفحهٔ کاغذ و با وجود میدان مغناطیسی یکنواختی نشان می‌دهد. شعاع حلقه‌های ۱ و ۲ دو برابر حلقه‌های ۳ و ۴ است. شار عبوری از هر حلقه را از بیشترین تا کمترین مقدار به ترتیب بنویسید.



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



۴ یک حلقهٔ دایره‌ای با سرعت ثابت حول محوری که از مرکز آن می‌گذرد، مطابق شکل زیر از زاویهٔ صفر تا 36° درجه می‌چرخد. این حلقه عمود بر صفحهٔ کاغذ است و میدان مغناطیسی یکنواختی به طرف بالا وجود دارد.
الف) در چه زاویه یا زاویه‌هایی شار عبوری از حلقه بیشینه است؟
ب) در چه زاویه یا زاویه‌هایی شار عبوری از حلقه کمینه است؟



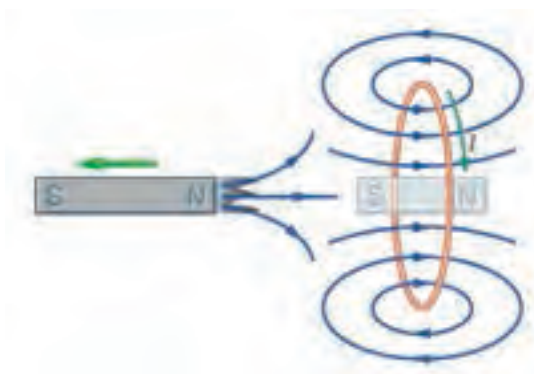
۴-۳- قانون لنز



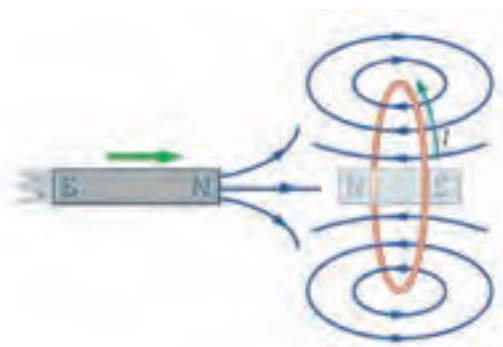
راهنمای تدریس: قانون لنز هرچند بیان ساده و روشنی دارد با این وجود بررسی‌های مختلف نشان داده است که دانش‌آموزان در کاربرد آن و تعیین جهت جریان القایی در یک مولد معمولاً دچار اشتباه می‌شوند.

در کتاب‌های درسی از دو رهیافت نزدیک به هم برای بیان این قانون و چگونگی تعیین جهت جریان القایی استفاده می‌شود که یک رهیافت آن در شکل ۴-۵ آمده است.

رهیافت دیگر، که در ادامه توضیح داده شده است نیز به همان اندازه رهیافت کتاب مفید است. مطابق رهیافت دوم، وقتی آهنربایی مثلاً با قطب N به حلقه‌ای رسانا نزدیک می‌شود، سمتی از حلقه که روبه‌روی آهنرباست، مانند قطبی همنام با آهنربا رفتار می‌کند و می‌خواهد با نزدیک شدن آهنربا مخالفت کند (شکل الف). همچنین هنگام دور شدن آهنربا از حلقه، سمتی از حلقه که روبه‌روی آهنرباست، مانند قطبی ناهمنام با آهنربا رفتار می‌کند و می‌خواهد با دور شدن آهنربا از حلقه مخالفت کند (شکل ب).



(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 (حلقه ناکامل) شکل ب، نه جریانی در مدار القا می‌شود و نه می‌توان از قانون لنز برای تعیین جهت آن استفاده کرد.



(ب)

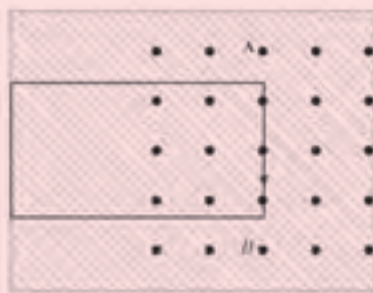


(الف)

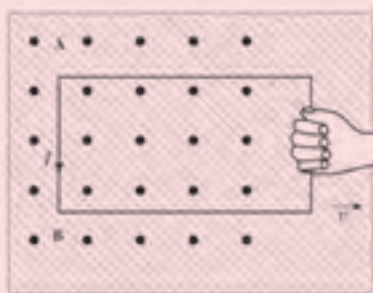
دانشتنی برای معلم

بررسی میکروسکوپی یک قانون لنز با استفاده از قانون پایستگی انرژی

یک حلقه مستطیل شکل را که در صفحه‌ای عمود بر میدان مغناطیسی یکنواخت B (شکل زیر) قرار دارد، در نظر بگیرید و فرض کنید که شخصی این حلقه را از چپ به راست می‌کشد. اگر مسئله را از دید یک ناظر بیرونی (مثلاً سوار بر آهنربا) بررسی کنیم، متوجه می‌شویم که از دید این ناظر، بر حامل‌های بار مثبت، نیرویی طبق رابطه $\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B}$ وارد می‌شود. از قاعده دست راست در می‌یابیم که امتداد اثر این نیرو در شاخه AB رو به پایین است. از آنجا که جهت قراردادی جریان، جهت حرکت بارهای مثبت فرضی است پس با کشیدن حلقه به سمت راست، جریانی پاد ساعتگرد در حلقه تولید 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 نتیجه 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 متغیر میدان الکتریکی‌ای تولید می‌کند که بارها را در جهت پاد ساعتگرد به حرکت درمی‌آورد.

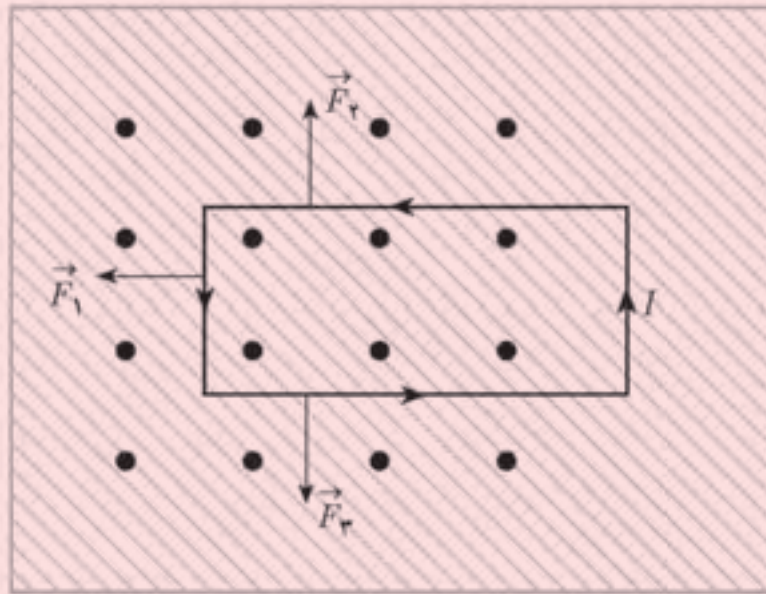


(الف)



(ب)

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 قاعده دست راست در می‌یابیم که بر اضلاع مستطیل، نیروهایی مطابق شکل زیر وارد می‌شوند. بدیهی است که \vec{F}_3 و \vec{F}_4 یکدیگر را خنثی می‌کنند و بنابراین، این فقط \vec{F}_1 است که در برابر حرکت مقاومت می‌کند. توجه کنید که اگر حلقه را به طرف داخل میدان حرکت می‌دادیم، جهت جریان ساعتگرد و در نتیجه جهت نیروی \vec{F}_1 ، خلاف جهت قبلی و دوباره در جهت مخالفت با عامل به وجود آورنده آن می‌شد.



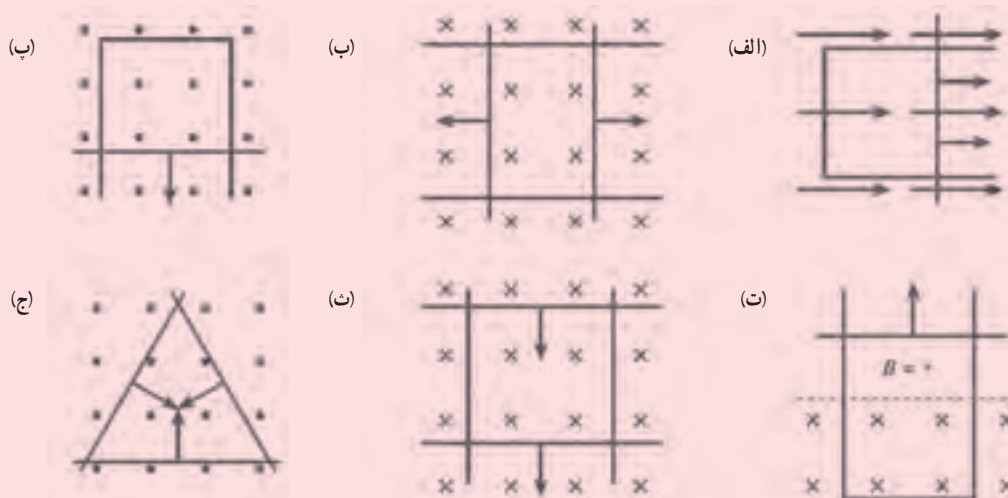
حال می‌خواهیم ثابت کنیم که قانون لنز در واقع چیزی جز پایستگی انرژی نیست. دیدیم که ناظر سوار بر حلقه وجود جریان را به نیرویی الکتریکی نسبت می‌دهد. بدیهی است که مقدار این نیرو باید با نیروی مغناطیسی که ناظر سوار بر آهنربا محاسبه می‌کرد، برابر باشد: $qE = qvB$ ، و از آنجا $E = vB$ به دست می‌آید. از طرفی، اختلاف پتانسیل دو سر میله AB از رابطه $\mathcal{E} = El$ به دست می‌آید که با در نظر گرفتن رابطه بالا به $\mathcal{E} = vBl$ خواهد انجامید. می‌دانیم که جریان موجود در مدار را می‌توان از رابطه $I = \frac{\mathcal{E}}{R}$

که R مقاومت مدار است، محاسبه کرد؛ چون $\mathcal{E} = vBl$ است، پس $I = \frac{vBl}{R}$ و از آنجا $F = IlB = \frac{l^2 B^2 v}{R}$ خواهد شد.

بنابراین، عاملی که حلقه را می‌کشد، با توان ثابت $P = Fv = \frac{B^2 l^2 v^2}{R}$ کار انجام می‌دهد. حال اگر آهنگ تولید انرژی در مدار از رابطه $P = I^2 R$ محاسبه کنیم، دوباره به رابطه بالا می‌رسیم. به عبارت دیگر، قانون لنز چیزی جز تبدیل کار مکانیکی به انرژی گرمایی نیست. کار انجام شده روی سیستم، درست برابر با انرژی داخلی القاشده در سیم است؛ زیرا اینها تنها انرژی‌هایی هستند که در سیستم به یکدیگر تبدیل می‌شوند.

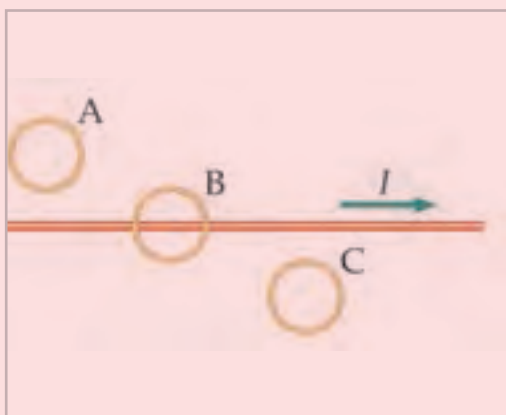
پرسش‌های پیشنهادی بخش ۴—۳

۱ در شکل زیر یک یا چند قسمت از حلقه‌های رسانا با سرعت ثابتی درون میدان مغناطیسی یکنواختی حرکت می‌کنند. جهت جریان القایی را در هر حلقه تعیین کنید.

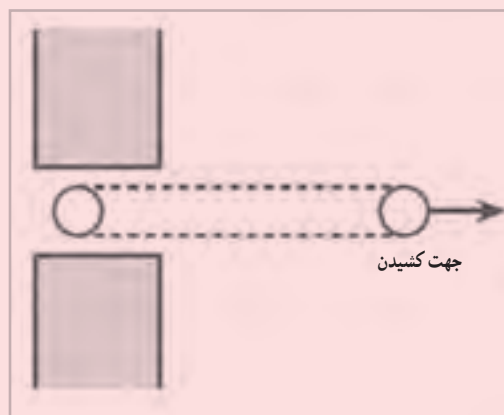


۲ در شکل چ مقطع حلقه‌ای نشان داده شده است که در حال کشیده شدن از بین قطب‌های دو آهن‌راست. جهت جریان القایی را در هر مقطع حلقه با علامت \bullet یا \times مشخص کنید.

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



(ح)



(ج)

پرسش ۳-۴

الف) با توجه به قانون لنز، آهنربا در حال دور شدن از پیچه است؛ یعنی رو به پایین حرکت می کند.

ب) جهت میدان \vec{B} ناشی از سیم حامل جریان I ، در محل حلقه برون سو است. چون جریان I در حال افزایش است، بنابه قانون لنز باید جهت جریان در حلقه، ساعتگرد باشد تا با افزایش شار عبوری از حلقه، مخالفت کند.



۴-۴- الفاکرها

راهنمای تدریس: تا اینجا دانش آموزان آزمایش های مربوط به القای الکترومغناطیسی را با پیچه های مختلف (که نوعی الفاکر هستند) انجام داده اند هرچند برای آنها، نام الفاکر به کار نبرده اند.

در این بخش شکل ۴-۶ دانش آموزان را با انواع مختلف الفاکر آشنا کنید. به این منظور، انواع الفاکر که در آزمایشگاه موجود است را به کلاس درس ببرید و در اختیار دانش آموزان قرار دهید تا با انواع الفاکر آشنا شوند و در صورت لزوم به کاربرد آنها در

مدارهای مختلف نیز می توانید اشاره کنید.

به عنوان یک فعالیت ساده می توانید،

مادربرد^۱ یک رایانه را به کلاس درس

ببرید و ضمن اینکه دانش آموزان با برخی

از قطعات آن که تاکنون با آنها آشنا شده اند

(مقاومت و خازن) با الفاکرهای تعبیه شده

روی مادربرد نیز آشنا شوند.

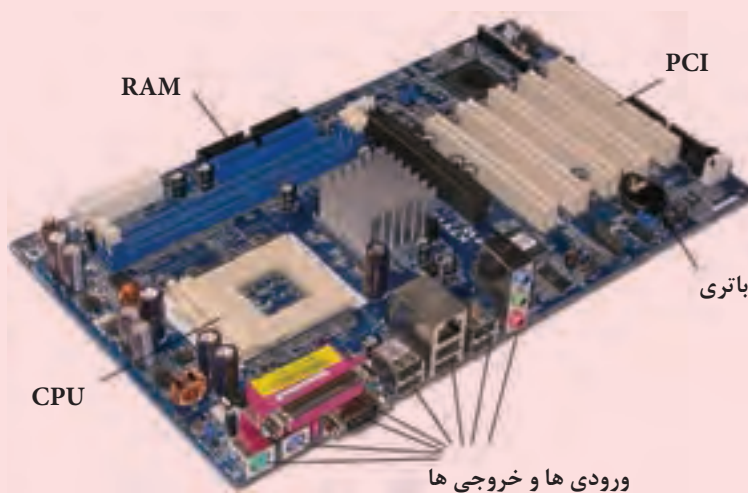
آزمایش ۴-۲، که آزمایشی ساده و مفید

برای دیدن پدیده خود-القایی است به

چندین روش در مجموعه فیلم های مربوط

به آموزش مجازی فیزیک ۲ آمده است که

توصیه می شود آن را مشاهده کنید.



اثبات ضریب القایی مربوط به سیملوله، جزو اهداف این کتاب نیست و صرفاً مطابق رابطه ۴-۴ باید گزارش شود و دانش آموزان باید به عوامل دخیل در مقدار این کمیت آشنا شوند.

توجه

همان طور که نتیجه مثال ۴-۵ نیز نشان می دهد H برای ضریب القاوری یک القاگر عدد بسیار بزرگی است و برای سیملوله ای با حدود 2000 دور و طول 6m ، این ضریب از مرتبه میلی هانری (mH) است. این موضوع در بخش اول تمرین ۴-۳ مورد توجه قرار گرفته است.

تمرین ۴-۳

۱

$$N = ? , l = 2/\lambda \text{m}$$

$$A = 10 \text{ cm}^2 , L = 1 \text{ H}$$

$$L = \mu_0 \frac{AN^2}{l}$$

$$1 \text{ H} = (4\pi \times 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}) \times \frac{(10 \times 10^{-4} \text{ m}^2) N^2}{2/8 \times 10^{-2} \text{ m}}$$

$$\Rightarrow N^2 = \frac{2/8}{4\pi \times 10^{-9}} \approx 2/2 \times 10^8$$

در این صورت $N \approx 15000$ دور خواهد شد که تعداد دور بالایی است.

۲

$$N_1 = N_2 \text{ و } \ell_1 = 2\ell_2 \text{ و } L_1/L_2 = ?$$

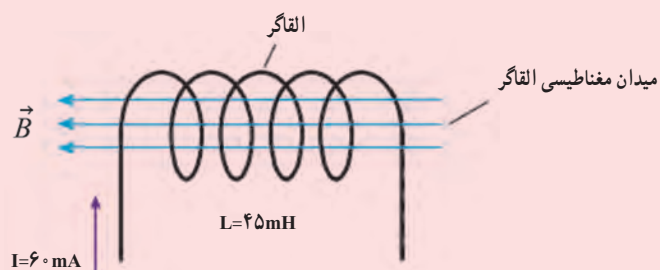
با توجه به رابطه ضریب القاوری سیملوله به سادگی

$$\text{خواهیم داشت } L_1 = \frac{1}{3} L_2$$

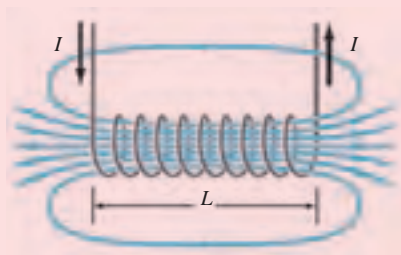


پرسش های پیشنهادی بخش ۴-۴

۱ انرژی ذخیره در القاگر شکل زیر چقدر است؟



۲ سطح مقطع و طول سیملوله شکل زیر به ترتیب 2 cm^2 و 8 cm است. اگر تعداد حلقه های این سیملوله برابر 1000 باشد، ضریب خودالقایی آن را پیدا کنید.



۳ ضریب خودالقایی القاگری 1 mH است. چه جریانی باید از این القاگر بگذرد تا 2 mJ انرژی در آن ذخیره شود؟

دانستنی برای معلم

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

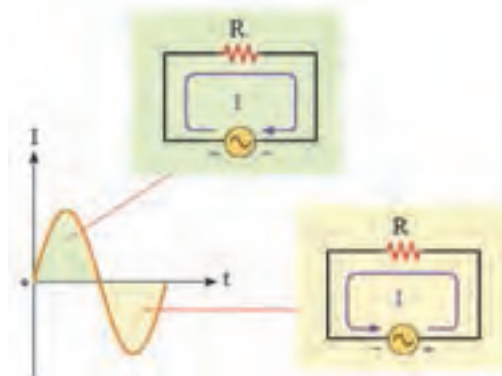


۴-۵- جریان متناوب

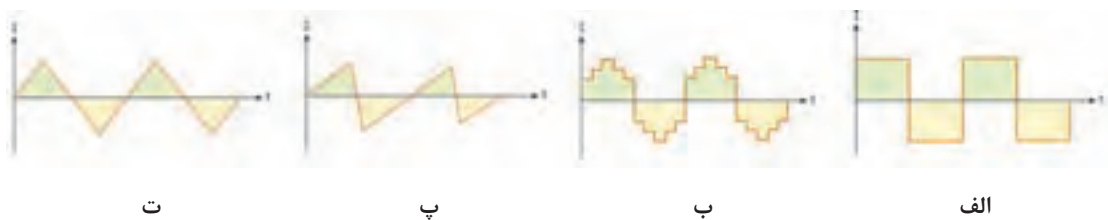
راهنمای تدریس: همان‌طور که در کتاب نیز اشاره شده است، بهتر است با تاریخچه‌ای از بحث‌های علمی در خصوص مزیت جریان متناوب و جریان مستقیم ارائه کنید؛ حتی فیلم‌های مستندی در این خصوص نیز تولید شده است که مشاهده آنها می‌تواند انگیزه مناسبی در دانش‌آموزان ایجاد کند.



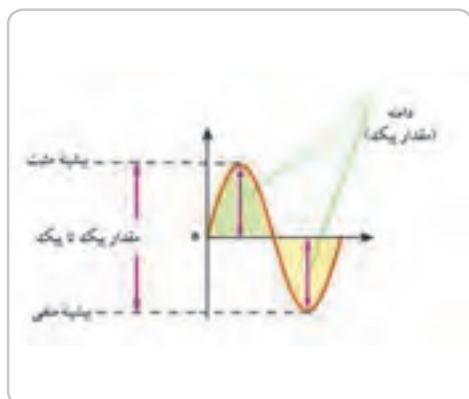
برای درک بهتر شکل ۴-۱۳ کتاب درسی، خوب است شکل زیر را نیز روی تابلو رسم کنید تا تغییر جهت جریان در جریان متناوب بهتر تبیین شود.



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 زیر)

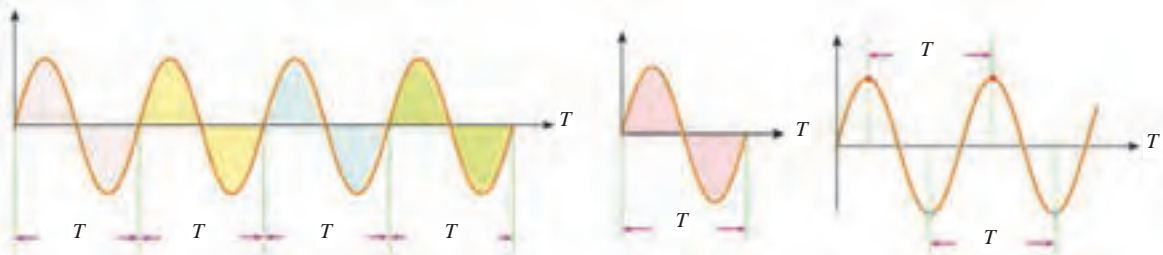


چند نمونه از شکل‌های موج جریان متناوب (الف موج مربعی، ب موج پله‌ای، پ موج دندان اره‌ای، ت موج مثلثی).

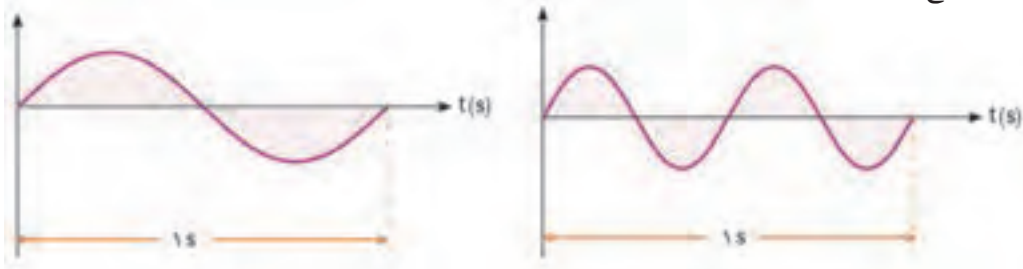


در کتاب‌های مهندسی معمولاً فاصله بیشینه مثبت تا بیشینه منفی را در جریان متناوب، مقدار پیک تا پیک می‌گویند که دو برابر دامنه موج است (شکل رو به رو).

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



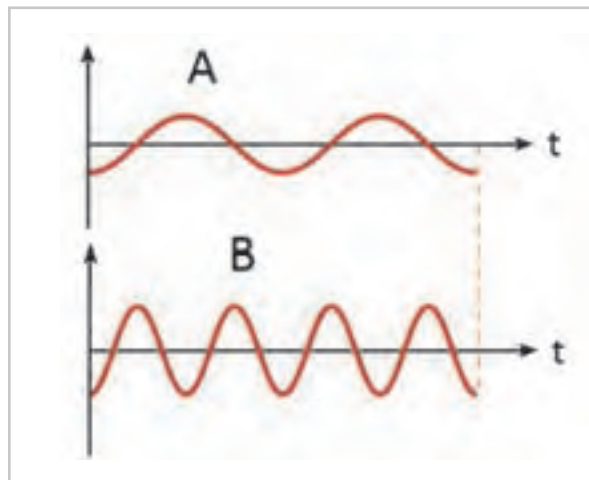
مفهوم بسامد را نیز می‌توانید در ادامه همین قسمت به دانش‌آموزان معرفی کنید. تعداد چرخه‌ها در یکای زمان، بسامد نامیده می‌شود و وارون دوره تناوب است ($f = \frac{1}{T}$). یکای بسامد چرخه بر ثانیه یا عکس ثانیه (s^{-1}) است که هرتز (Hz) نامیده می‌شود. شکل زیر دو موج سینوسی با بسامد متفاوت را نشان می‌دهد.



از آنجا که دانش‌آموزان در این پایه تحصیلی با مفهوم مشتق در درس ریاضی خود آشنا نشده‌اند، لذا رابطه ۴-۶ بدون اثبات و صرفاً به صورت نتیجه‌گیری از قانون القای الکترومغناطیسی فاراده به دانش‌آموزان معرفی شود.

پرسشی پیشنهادی

نسبت دوره تناوب و بسامد دو نمودار جریان متناوب A و B را به ترتیب به دست آورید.



تمرین ۴-۵

الف) دانش آموزان به سادگی می توانند با جایگذاری زمان t در معادله جریان - زمان مولد، جریان را در هر لحظه دلخواه پیدا کنند. برای مثال در لحظه $t = 2 \text{ ms}$ داریم

$$I = (4 \times 10^{-3}) \sin 25^\circ \pi \times 2 \times 10^{-3}$$

$$= 4 \times 10^{-3} \sin \frac{\pi}{4} = 4 \times 10^{-3} \text{ A}$$

$$= 4 \text{ mA}$$

ب) دانش آموزان با مقایسه معادله داده شده با شکل کلی معادله می توانند دوره تناوب را به دست آورند که برابر

$$\frac{2\pi}{T} = 25^\circ \pi \Rightarrow T = \frac{1}{125} \text{ s}$$



فعالیت ۱-۴

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

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

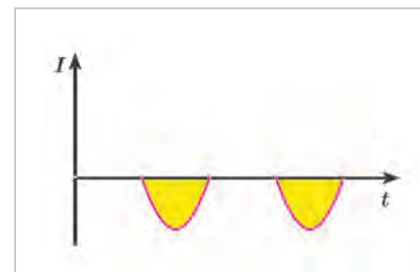


تمرین ۶-۴

مشابه مثال ۸-۴ است و دانش‌آموزان به سادگی می‌توانند این تمرین را حل کنند ($V_T \approx 370 \text{ V}$).



(الف)



(ب)

پرسش‌ها و تمرین‌های پیشنهادی بخش ۴-۵

- ۱ الف) برای افزایش روشنایی لامپ به وسیله مولد ساده شکل زیر سه راه پیشنهاد کنید.
 ب) تبدیل‌های انرژی زیر را در یک نیروگاه برق آبی کامل کنید. انرژی تولید شده توسط ژنراتور → انرژی
 توربینی → انرژی آب



- ۲ پیچۀ یک مولد جریان متناوب در هر ۱ ms یک دور می‌چرخد. این پیچه در هر یک از زمان‌های ۱ μs و ۱ s چه زاویه‌ای بر حسب رادیان می‌چرخد؟
 ۳ معادله جریان متناوبی در SI به صورت $I = 2 \times 10^{-2} \sin 200\pi t$ است.
 الف) دوره تناوب این جریان چقدر است؟
 ب) در چه لحظه‌ای برای اولین بار جریان بیشینه می‌شود؟
 پ) در لحظه $t = 75 \text{ ms}$ جریان چقدر است؟
 ۴ معادله نیروی محرکه القایی در مداری به مقاومت 1Ω در SI به صورت زیر است

$$\varepsilon = 0.4 \cos 200\pi t$$

- الف) زمان تناوب را حساب کنید.
 ب) در چه لحظه‌ای برای اولین بار نیروی محرکه القایی بیشینه می‌شود؟
 پ) جریان بیشینه را در مدار پیدا کنید.
 ت) معادله جریان را در مدار بنویسید.
 ث) در چه لحظه‌هایی برای اولین و دومین بار مقدار جریان عبوری از مدار بیشینه می‌شود؟

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 رابطه 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

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

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. ادامه 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.

$$\Phi_1 = B_1 A \cos \theta_1 = (0.4^\circ \text{ T})(50 \times 10^{-4} \text{ m}^2) \cos 0^\circ = 2 \times 10^{-4} \text{ Wb}$$

$$\Phi_2 = B_2 A \cos \theta_2 = (0.4^\circ \text{ T})(50 \times 10^{-4} \text{ m}^2) \cos 18^\circ = -2 \times 10^{-4} \text{ Wb}$$

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

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



ب) در حالتی که حلقه وارد میدان می‌شود یا از آن در حال خارج شدن است.

در حالت ورود: پادساعتگرد، دانش‌آموزان برای پاسخ خود باید دلایل کافی ارائه دهند.

در حالت خروج: ساعتگرد، دانش‌آموزان برای پاسخ خود باید دلایل کافی ارائه دهند.

۱۶ در حالت ۱: روبه بالا (پادساعتگرد)

در حالت ۲: جریانی القا نمی‌شود.

در حالت ۳: رو به پایین (ساعتگرد)

۱۷ دانش‌آموزان باید به رابطه $U = \frac{1}{2} L I^2$ و همچنین عوامل دخیل در ضریب القاوری سیملوله

$L = \mu_0 \frac{AN^2}{l}$ ، توجه کنند و براساس آن پیشنهادها را خود را ارائه دهند. در این مدار فرض شده است که باتری غیرقابل تعویض است و نیروی محرکه آن ثابت است.

۸ الف) ساعتگرد، ب) پادساعتگرد، پ) جریانی القا نمی‌شود.

۹ پادساعتگرد، دانش‌آموزان باید به جهت حرکت سیملوله، جهت جریان و جهت میدان ایجاد شده در سیملوله توجه کنند و سرانجام با توجه به قانون لنز جهت جریان القایی را در حلقه تشخیص دهند.

۱۰ دانش‌آموزان باید توجه داشته باشند که چون نیروی محرکه باتری ثابت است، با افزایش مقاومت روستا، جریان عبوری از مدار کاهش می‌یابد، با توجه به تعیین جهت میدان مغناطیسی در محل حلقه رسانا، و همچنین کاهش جریان در مدار، جهت جریان القایی در حلقه رسانا پادساعتگرد است.

۱۱ در حلقه سمت راست، جریان به صورت ساعتگرد القا می‌شود.

در حلقه سمت چپ، جریانی القا نمی‌شود. دانش‌آموزان باید به فرض دراز بودن سیم، که در صورت مسئله آمده است توجه داشته باشند.

۱۲ ساعتگرد، دانش‌آموزان باید دلیل کافی برای پاسخ خود ارائه دهند.

۱۳ پادساعتگرد، دانش‌آموزان باید دلیل کافی برای پاسخ خود ارائه دهند.

۱۴ الف) b به a. دانش‌آموزان باید دلیل کافی برای پاسخ خود ارائه دهند.

ب) a به b. دانش‌آموزان باید دلیل کافی برای پاسخ خود ارائه دهند.

۱۵ الف) با توجه به تعریف شار و عوامل مرتبط با آن، انتظار می‌رود دانش‌آموزان به سادگی بتوانند به این پرسش پاسخ دهند.

$$\begin{aligned} \Phi &= B A \cos \theta \\ &= (2 \times 10^{-2} \text{ T}) (1 \times 10^{-4} \text{ m}^2) \cos 0^\circ \\ &= 2 \times 10^{-6} \text{ Wb} \end{aligned}$$

فرض شده است که نیم خط عمود بر حلقه، در جهت درون سواست.

۱۸ الف) با جایگذاری مقادیر داده شده در رابطه $L = \mu_0 \frac{NA^2}{l}$ به سادگی این ضریب محاسبه می‌شود.

ب) دانش‌آموزان باید از رابطه $U = \frac{1}{2}LI^2$ استفاده کنند. در ضمن باید توجه کنند که در این رابطه، یکای انرژی باید برحسب ژول (J) نوشته شود.

۱۹ الف) دانش‌آموزان باید از رابطه ۷-۴، برای حل این مسئله استفاده کنند. با جایگذاری مقادیر داده شده داریم

$$I = (2/^\circ A) \sin \frac{2\pi}{2^\circ s} t = (2/^\circ A) \sin 1^\circ \pi t$$

$$\text{در } t = \frac{1}{2^\circ} s \text{ داریم}$$

$$I = (2/^\circ A) \sin 1^\circ \pi \left(\frac{1}{2^\circ} s\right) = (2/^\circ A) \sin \frac{\pi}{2} = 2/^\circ A$$

به این ترتیب در لحظه $t = \frac{1}{2^\circ} s$ برای اولین بار، جریان به بیشینه خود می‌رسد. با توجه به مقاومت رسانا داریم:

$$\varepsilon_m = RI_m = (5\pi)(2/^\circ A) = 1^\circ V$$

ب) $\sqrt{2}A$.

۲۰ دانش‌آموزان باید از رابطه ۸-۴ استفاده کنند. در این صورت بیشینه ولتاژ مولد برابر ۴/۵ ولت به دست می‌آید.

