

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

اللّٰهُمَّ صَلِّ عَلٰی سُلَیْمٰنَ مَخْشُوۡمٍ وَّعَلٰی اٰلِ سُلَیْمٰنَ وَاٰلِ اَهْلِ بَيْتِهِمْ

فیزیک (۲)

رشته علوم تجربی

با اید یازدهم

نور و نور متوسطه





وزارت آموزش و پرورش
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

فیزیک ۲۱، پایه یازدهم دوره دوم متوسطه، ۱۳۹۴

سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

متر: تألیف کتاب‌های درسی عمومی و متوسطه نظری

احمد احمدی، روح‌الله حبیبی‌پورچی، محمدرضا جوادپور، محمدرضا شایق‌زاده اکتاشی،

سید سعادت سجادی، سیرال مریدی و نظیره‌تنگنا انصاری شورای برنامه‌ریزی و گروه تألیف:

مقدمه‌کننده: (ویژانس علمی)

بازار گل نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی

احمدرضا امین (مدیر امور هنر و چاپ) - مجید ذاکری (مدیر علمی) - سعید مهدی قیچی

طراح نظامی: راحه زهرا به‌آینه طراحی و عتجه آرا - عاطفه رئیس‌یان عزیزآباد ارشاد - مرتبه

اخلاقی، سیده عاطفه نجفی، پریسا پژوهش‌پناه، آفر روسلی هدیروزلو، ژانته‌بختی شیرازی، حمید

ژانت گلچینی (محرر آماده‌سازی)

تهران، خیابان ایرانشهر شمالی - ساختمان شماره ۴ آموزش و پرورش (شعبه عمومی)

تلفن: ۸۸۸۲۱۱۶۳۹، موبایل: ۸۸۲۰۹۴۴۴، گیت‌سیتی: ۵۸۴۲۶۲۵۹

وبسایت: www.tbarepub.ir و www.tbap.sch.ir

شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران، تهران - کیلومتر ۱۷ جاده مخصوص گرج - خیابان ۴۱

تلفن: ۴۴۶۸۵۲۸۱، موبایل: ۴۴۶۸۵۲۴۰، مستطیل پستی: ۳۷۵۳۳۳۲۹

شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران «سهایی چاپ»

چاپ هفتم ۱۴۰۳

نام کتاب:

پدیده آوری

مدیریت برنامه‌ریزی درسی و تألیف:

شناسه افزوده برنامه‌ریزی و تألیف:

مدیریت آماده‌سازی هنری:

شناسه افزوده آماده‌سازی:

نشانی سازمان:

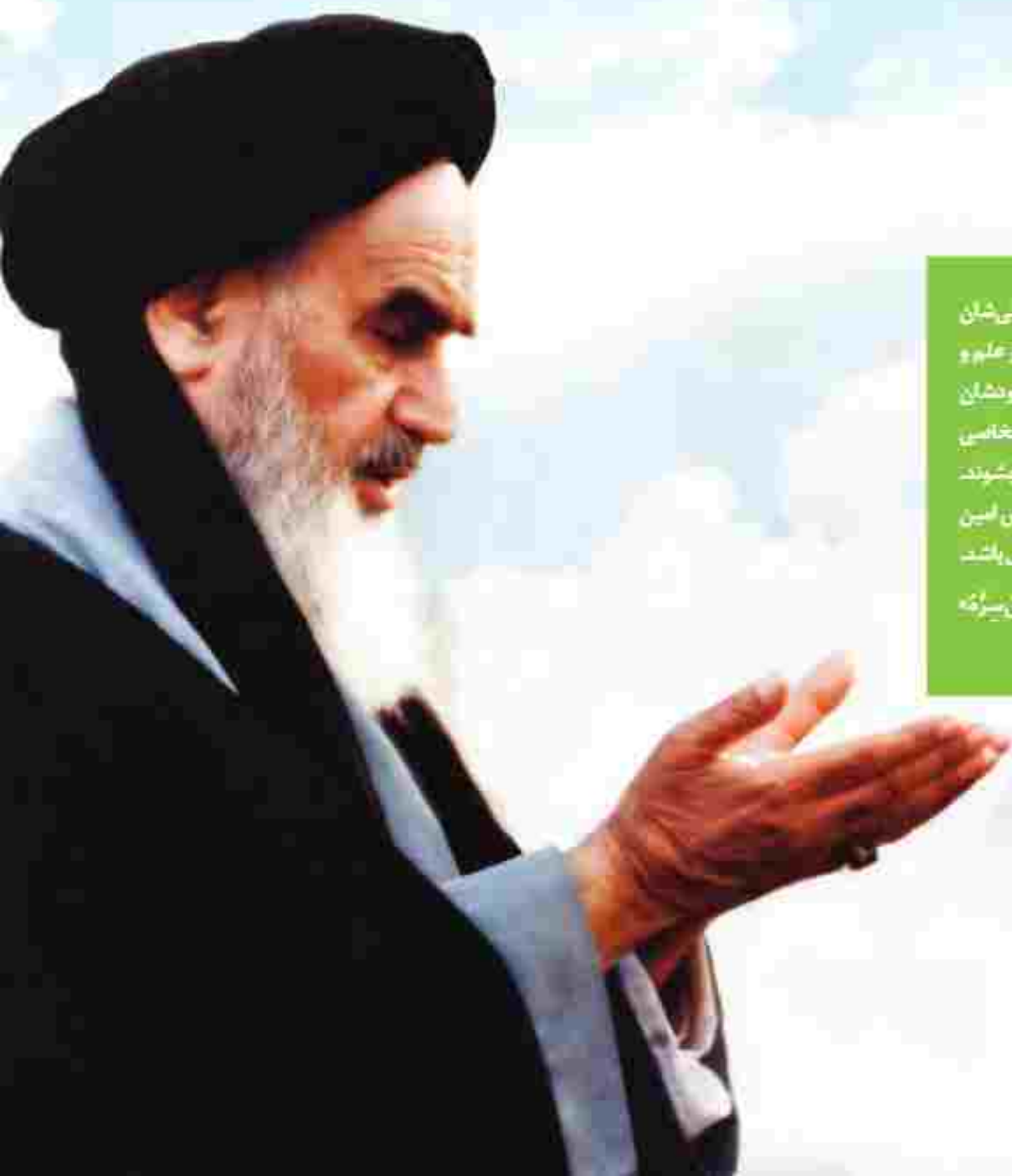
ناشر:

چاپخانه:

سال انتشار و تیراژ چاپ:

۹۷۸-۹۶۴-۰۵-۲۸۳۹۶۴۰۵

ISBN: 978-964-05-2839-6



جوان هانقر جوقی شان
زایدانند و آتی را در علم و
تقوا و سازندگی خودشان
صرف کنند که انجاس
لعین و صالح بشوند
مملکت ما با انجاس لعین
می تواند مستقل باشد
امام خمینی رحمته سرافه

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.

- ۱-۱ بار الکتريکي ۲
- ۲-۱ بايستگي و کوانتيمده بودن بار الکتريکي ۳
- ۳-۱ قانون کولن ۵
- ۴-۱ ميدان الکتريکي ۱۰
- ۵-۱ ميدان الکتريکي حاصل از يک ذره باردار ۱۱
- ۶-۱ خطوط ميدان الکتريکي ۱۶
- ۷-۱ انرژي پتانسيل الکتريکي ۲۰
- ۸-۱ پتانسيل الکتريکي ۲۴
- ۹-۱ توزيع بار الکتريکي در اجسام رسانا ۲۵
- ۱۰-۱ خازن ۲۸
- ۱۱-۱ انرژي خازن ۳۳
- برسش ها و مسئله هاي فصل ۱ ۳۶



- ۱-۲ جريان الکتريکي ۴۰
- ۲-۲ مقاومت الکتريکي و قانون اهم ۴۳
- ۳-۲ عوامل مؤثر بر مقاومت الکتريکي ۴۵
- ۴-۲ نيروي محرکه الکتريکي و مدارها ۵۰
- ۵-۲ توان در مدارهاي الکتريکي ۵۳
- ۶-۲ ترکيب مقاومت ها ۵۵
- برسش ها و مسئله هاي فصل ۲ ۶۲



- ۳-۱ مغناطیس و قطب های مغناطیسی ۶۶
- ۳-۲ میدان مغناطیسی ۶۷
- ۳-۳ نیروی مغناطیسی وارد بر قوه باردار متحرک در میدان مغناطیسی ۷۱
- ۳-۴ نیروی مغناطیسی وارد بر سیم حامل جریان ۷۳
- ۳-۵ میدان مغناطیسی حاصل از جریان الکتریکی ۷۶
- ۳-۶ ویژگی های مغناطیسی مواد ۸۳
- ۳-۷ پدیده القای الکترومغناطیسی ۸۵
- ۳-۸ قانون القای الکترومغناطیسی فاراده ۸۷
- ۳-۹ قانون لنز ۹۱
- ۳-۱۰ القاگرها ۹۳
- ۳-۱۱ جریان متناوب ۹۷
- بررسی ها و مسئله های فصل ۳ ۱۰۳



- واژه نامه فارسی - انگلیسی ۱۰۶
- منابع ۱۰۸

خرد حرکت کجا کنجی آرد پیچید به نام خدا سازد آن را کجید

الف) سخنی با دانش آموزان عزیز

کتاب فیزیک ۲ برای پایه یازدهم دوره نظری تألیف و چاپ شده است. این کتاب در ادامه تفسیر برنامه درسی آموزش علوم تجربی در دوره اول متوسطه و فیزیک دهم است. برای ارتباط مؤثرتر با برنامه درسی این کتاب و تحقق اهداف آن، توجه به مواردی که در ادامه می آید توصیه می شود. مسیر آموزش و یادگیری، دانش آموزان عزیزاً مسیر آموزش و یادگیری، وقتی موفق انگیز و لذت بخش است که با تلاش و جدیت شما برای بیاموزن آن همراه شود. بیش از همه، باید به توانایی های خود باور و اعتماد داشته باشید. مفاهیمی که در هر سال تحصیلی می خوانید، با سطح درک و فهم شما متناسب است و برای بهبود و ارتقای زنگی فردی، اجتماعی و حرفه ای شما مقیدند. در فرایند آموزش، به طور فعال و با انگیزه مشارکت کنید. اگر امروز نتوانید دانش، مهارت و نگرش خود را بهبود بخشید، ممکن است فردا در برابر وای تعامل مؤثر و سازنده با دنیای پرشتاب و در حال تغییر امروز، راهی جز «تسب خرد» نماند و این خرد به تدریج و به تبع باور، تلاش و مشارکت شما در فرایند آموزش به دست می آید.

خرد رهنما و خرد رهگشای خرد دست گیرد به هر دو سرای

یادگیری را بیاموزیم: هر یک از شما سبوه های یادگیری متفاوت و ابزار یادگیری ویژه خود را دارید و بهتر است بر همین اساس روشی متناسب برای یادگیری خود بیابید و متناسب با آن برنامه ریزی کنید. نباید فهم برین کاری که می توانید انجام دهید، آن بلند که برای خود زمان های مطالعه یا برنامه زمانی منظم و کافی در محیطی خانگی از عوامل های و هم پند تحریک، در نظر بگیرید. روشن است که باید وقت بیشتری را صرف جنبه های کنید که یادگیری آن برای شما دشوارتر است. اگر با دشمن و آنچه آزمایش مطالب درسی را می آموزید، حضور فعال در کلاس های درس بسیار مهم است. اگر با توضیح دادن آنها را می آموزید، آنگاه علاوه بر حضور فعال در کلاس های درس، کار کردن با دانش آموزان دیگر نیز برای شما بسیار راهگشا است. اگر حل کردن مسئله برای شما دشوار است وقت بیشتری را صرف یادگیری روش حل مسئله ها کنید. با توجه به آنچه گفته شد، اکنون به پرسش های زیر پاسخ دهید:

آیا من توانایی به کار بردن مفهوم های ریاضی را در فیزیک دارم؟ اگر پاسخ شما منفی است، به کتاب های ریاضیات پایه فتم تا دهم خود مراجعه کنید و افزون بر آنها از معلم خود نیز راهنمایی های لازم را بخواهید. آسان ترین فعالیت ها در فیزیک برای من کدام ها بوده اند؟ سخت ترین فعالیت ها را انجام دهید: این کار به ایجاد اعتماد بنفس در شما کمک می کند. آیا اگر کتاب را بیش از کلاس خوانم، بلنم، مطلب را بهتر می فهمم یا پس از آن؟ آیا زمانی که صرف یادگیری فیزیک می کنم کافی است؟ برای من بهترین ساعت روز برای مطالعه فیزیک کدام است؟ زمان خاصی از روز را برگزیدم و آن را خیر ندیدم. آیا در جای آرامی که بتوانم تمرکز خود را حفظ کنم، کار می کنم؟

کار گروهی: دانشمندان و مهندسان به ندرت در ایزوا کار می کنند؛ بلکه بیشتر با یکدیگر همکاری دارند. در آموزش مدرسه ای نیز اگر با دیگر دروستان کار کنید، هم فیزیک بیشتر می آموزید و هم از این یادگیری بیشتر لذت خواهید برد. امروزه بسیاری از معلمان به این همکاری گروهی و مشارکت در یادگیری در کلاس های درس توجه ویژه ای دارند.

یادداشت برداری در کلاس درس: یک مؤلفه بسیار مهم در فرایند یادگیری هر درس، حضور فعال در کلاس آن درس و یادداشت برداری است. در کلاس فیزیک و در فرایند آموزش فعالیت هایی انجام می شود که شما را برای می کند تا درک خوبی از مفاهیم فیزیکی و کاربردهای آنها پیدا کنید. اگر نتوانستید در یکی از جلسه های کلاس شرکت کنید، از یکی از اعضای گروه یا هم کلاسی های خود بخواهید که شما را در جریان آنچه گذشته است، قرار دهد.

جه موقع فیزیک را اهمیت دهید: ایم برخی از دانش آموزان هنگام خواندن درس فیزیک، خود را در این آینده می بینند که «من مفهوم ها را می دانم، اما نمی توانم مسئله ها را حل کنم.» حال آنکه در فیزیک، درک واقعی یک مفهوم یا اصل، با توانایی در به کار بردن آن اصل در مسئله های مختلف مرتبط است. فراگیری چگونه حل مسئله ها اهمیت اساسی دارد؛ شما فیزیک را خوب فرا نگرفته اید؛ مگر آنکه بتوانید آنچه را فرا گرفته اید، در موقعیت های مناسب به کار برید.

مسئله های فیزیک را چگونه حل کنیم؟ برای حل انواع مختلف مسئله های فیزیک به روش های متفاوتی نیاز داریم. صرف نظر از نوع مسئله ای که در دست دارید، گام های کلیدی مؤثری وجود دارند که باید آنها را مراعات کنید.

• گام اول: شناسایی مفهوم‌های مرتبط / نخست تشخیص دهد چه مفهوم‌های فیزیکی‌ای به مسئله مربوطند، اگرچه در این مرحله هیچ محاسبه‌ای وجود ندارد؛ اما گاهی بحث‌انگیزترین بخش راه‌حل مسئله همین مرحله است. در این مرحله باید متغیر هدف مسئله جسمی خاصی را که سعی در یافتن مقدار آن دارید، مستقل‌سازی کنید. این کمیت می‌تواند نیروی الکتریکی وارده بر یک ذره یا بار دانه، توان یک مولد یا انرژی ذخیره‌شده در یک سیم‌لوله باشد.

• گام دوم: آمادگی برای حل مسئله / براساس مفهوم‌هایی که در گام اول برگزیده‌اید، معادله‌هایی را که برای حل مسئله نیاز دارید، بنویسید و در مورد چگونگی به‌کار بردن آنها تصمیم بگیرید. اگر لازم می‌آید طرح و مدلی از وضعیت رسم کنید که توسط مسئله توصیف شده است.

• گام سوم: اجرای راه‌حل / در این مرحله، محاسبات ریاضی مسئله را انجام دهید. پیش از آنکه دست به کار محاسبه‌ها شوید، به‌رسی از همه متغیرهای معلوم و مجهول بجهت کنید. سپس معادله‌ها را حل کنید و مجهول‌ها را به دست آورید.

• گام چهارم: ارزیابی پاسخ / هدف شما از حل مسئله فیزیک تنها به دست آوردن یک عدد یا یک فرمول نیست؛ هدف آن است که درک و شناخت بهتری حاصل شود. به این معنا که باید پاسخ را بیازمایید و در باید که به شما چه می‌گوید. فراموش نکنید که از خود بپرسید «آیا این پاسخ با مغالته» اگر مجهول شما اندازه‌ی میدان مغناطیسی یک سیم‌لوله حامل جریان است، پاسخ شما نباید عدد بسیار بزرگی مانند ۵۰ سلا باشد؛ در این صورت، حتماً چیزی در فرایند حل مسئله شما نادرست بوده است. بازگردید و روش کار خود را ویرسی و راه‌حل را اصلاح کنید.

ب) سخن با دبیران ارجمند

اهداف برنامه آموزش فیزیک در دوره متوسطه دوم، مطابق با برنامه درسی ملی در چهار عرصه ارتباط با خود، خلق و خفقت مبنی و ارتباط با خدا تعریف شده و در جهت تقویت روح متفکر و تحلیل، ایمان، علم، عمل و اخلاق پیش خواهد رفت. و این اساس مهم‌ترین نایستگی‌های منظر حوزه علوم تجربی که در درس فیزیک باید در دانش آموز تحقق یابد عبارت‌اند از:

• نظام مبنی طبیعت را براساس درک و تحلیل مفاهیم، الگوها و روابط بین پدیده‌های طبیعی به عنوان نشانه‌های الهی کشف و گزارش کند و نتایج آن را برای حل مسائل حقی و آینده در اعماق فردی و اجتماعی در قالب اندیشه با ابزار ارائه دهد / به کار گیرد.

• با ارزیابی رفتارهای متفاوت در ارتباط با خود و دیگران در موقعیت‌های گوناگون زندگی، رفتارهای سالم را انتخاب کند، گزارش کند و به کار گیرد.

• با درک ماهیت، روش و فرایند علم تجربی، امکان به کارگیری این علم را در حل مسائل واقعی زندگی (خان و آینده)، تحلیل و محدودیت‌ها و توانمندی‌های علوم تجربی را در حل این مسائل گزارش کند.

• با استفاده از منابع علمی معتبر و بهره‌گیری از علم تجربی، بتواند اندیشه‌هایی مستند بر تجارب شخصی، برای مشارکت در فعالیت‌های علمی ارائه دهد و در این فعالیت‌ها با حفظ ارزش‌ها و اخلاق علمی مشارکت کند.

شیوه‌های آموزش / تجربه نشان می‌دهد که درک ایده‌های الهفته در بیشتر مفاهیم فیزیک و کاربرد آنها در زندگی برای اغلب دانش‌آموزان امکان‌پذیر است. آنچه در این راه، در میزان موفقیت دانش‌آموزان مؤثر است، شیوه‌های آموزش ما در کلاس درس است. این شیوه‌ها می‌توانند درهای درک و فهم مفاهیم فیزیک را برای همه دانش‌آموزان، بدون توجه به توانایی علمی آنان، باز کند. بنابراین، می‌توان گفت شیوه آموزش کارآمد کلید موفقیت هر برنامه درسی است. انتظار می‌رود همکاران ارجمند ما تکیه بر تجربه خود و به کارگیری شیوه‌های آموزشی مؤثره ستر مناسبی برای یادگیری و مشارکت دانش‌آموزان در فرایند آموزش و همچنین سوق الگیترو بسدن فضای کلاس فراهم کنند.

در برنامه جدید آموزش فیزیک به هر بحث و موضوع تنها یک بار پرداخته شده است و حدتهایی آن براساس آنچه در کتاب درسی آمده تعیین می‌شود. بنابراین لازم است همکاران محترم از افزودن مطالب غیرضروری به درس و واردشدایی از آنها اجتناب نمایند.

فردانی

گروه فیزیک لازم می‌داند از دبیرخانه راهبردی فیزیک، العادیه انجمن‌های علمی آموزشی معلمان فیزیک ایران و انجمن‌های استان‌ها، کارگروه معلمان فیزیک و همکارانی که به‌طور مستقل در اعتبارسنجی این کتاب با ما همکاری داشته‌اند، تشکر و قدردانی کند.

الکترونیسیته ساکن



صفحه‌های لمسی، امروزه کاربردی گسترده در زندگی روزمره پیدا کرده‌اند. از صفحه‌های رایانه گرفته تا کولرهای تلفن همراه و ابزارهای پزشکی و صنعتی. این صفحه‌ها به روش‌های مختلفی عمل می‌کنند که یکی از متداول‌ترین آنها مبتنی بر استفاده از فلان‌ها است. با تماس انگشت با یک صفحه لمسی، ظرفیت الکتریکی در آن عمل عوض می‌شود که مدارهای الکترونیکی دستگاه می‌توانند آن تغییر را آشکار کنند.

از آذرخش گرفته (شکل ۱-۱) تا درختش لامسی کوچک، از آنچه آنها را به شکل مولکول به هم پیوند می‌دهد، تا پیام‌های تخصصی در دستگاه اعصاب (شکل ۱-۲)، و همچنین بسیاری از پدیده‌های دیگر مانند قابلیت چسیدن نوار سلوفان بر ظروف و حتی بالا رفتن یک مارمولک از دیوار و بسیاری از وسیله‌های اطراف ما، همگی مستأثر الکتریکی دارند. مبانی فیزیکی مرتبط با این پدیده‌ها نخستین بار مورد توجه فیلسوفان یونان قدیم قرار گرفت که دریافتند اگر قطعه‌ای از کهریا^۱ یا پارچه پشمی مالش داده شود و سپس به خرده‌های گاه تردبک برده، آن خرده‌ها به سوی کهریا کشیده می‌شوند. امروز می‌دانیم این کشش ناشی از یک نیروی الکتریکی است. در واقع واژه الکتریسیته از واژه یونانی **الکترون**^۲ گرفته شده است که به معنای کهریاست.



شکل ۱-۱ توصیف آذرخش مبتنی بر اصول الکتریسیته ساکن است.

وقتی لباس‌های بافتنی را از تن خارج می‌کنیم، با پس از اینکه چند قدم بر روی فرشی راه می‌رویم، دستگیره فلزی در را با دست بگیریم، عملاً وجود الکتریسیته را به صورت یک شوک الکتریکی حس می‌کنیم. در این فصل، به مطالعه بارهای ساکن می‌پردازیم که به آن **الکتریسیته ساکن** (الکتروستاتیک) می‌گویند و ضمن یادآوری مطالب الکتریسیته دوره اول متوسطه، به جزئیات دقیق‌تری از چگونگی ایجاد بار الکتریکی در یک جسم، عوامل مؤثر بر نیروی الکتریکی بین دو بار الکتریکی تیره‌ای، میدان الکتریکی، انرژی پتانسیل الکتریکی و اختلاف پتانسیل الکتریکی، توزیع بار در یک جسم رسانا و کاربرد خازن‌ها می‌پردازیم.



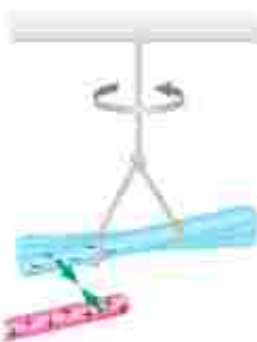
شکل ۱-۲ انتقال پیام‌های عصبی در دستگاه اعصاب به صورت الکتریکی صورت می‌گیرد.

۱-۱ بار الکتریکی

در کتاب علوم تجربی پایه هشتم دیدیم که معمولاً وقتی دو جسم یا یکدیگر مالش داده می‌شوند، هر دوی آنها دارای بار الکتریکی می‌شوند (شکل ۱-۳) و بر یکدیگر نیرو وارد می‌کنند (شکل ۱-۴). از این تجربه‌ها نتیجه گرفتیم که دو نوع بار الکتریکی وجود دارد. این دو نوع بار الکتریکی توسط دانشمند آمریکایی بنیامین فرانکلین، بار مثبت و بار منفی نام‌گذاری شد. او می‌توانست آنها را هر چیز دیگری نیز بنامد، اما استفاده از علامت‌های جبری به جای نام‌های دیگر این مزیت را دارد که وقتی در یک جسم از این دو نوع بار به مقدار مساوی وجود داشته باشند، جمع جبری بارهای جسم صفر می‌شود که به معنای خنثی بودن آن جسم است.



شکل ۱-۳ مالش بادکنک به بدن گربه سبب ایجاد بار الکتریکی در آنها و در نتیجه بر اثر آنشدن شدن موهای گربه می‌شود.



۱ با وقتی میله پلاستیکی مالش داده شده با پارچه پشمی را به میله نیشه‌ای مالش داده شده با پارچه ابریشی نزدیک کنیم، هدبگر را جذب می‌کند.



۲ با وقتی دو میله پلاستیکی را با پارچه پشمی مالش دهیم، هدبگر را دفع می‌کنند.



۳ ابتدا وقتی دو میله نیشه‌ای را با پارچه ابریشی مالش دهیم، هدبگر را دفع می‌کنند.

شکل ۱-۴

۱ پدیده صمغ چسبناک است درخت کهنه می‌شود که به دلیل رنگدانه زردی طبیعی، از دیرباز مورد توجه بوده است.
۲ واژه یونانی الکترون بصورت electron نوشته می‌شود.



بنیامین فرانکلین (۱۷۰۱-۱۷۹۰م)

بنیامین فرانکلین دانشمند، نویسنده و سیاستمدار آمریکایی، در شهر وستون به دنیا آمد و در شهر فیلادلفیا به دنیا آمد. فرانکلین در حدود سال ۱۷۲۴ میلادی با محبت الکتریسیته آشنا شد و چند کشفیات مهم و بزرگه حوضش را در بین سال‌های ۱۷۲۷ و ۱۷۵۱ به انجام رسانید و به شهرت علمی و حرفه‌ای رسید. جالب است که او برخلاف سایر دانشمندان بزرگه پس از چهل سالگی کارهای علمی اساسی خود را آغاز کرد. مهم‌ترین اثر فرانکلین، کتاب «در باب الکتریسیته» است که بسیاری آن را با کتاب اصول ریاضیات اجزاء یوترنیقلیه کرده‌اند. فرانکلین در این کتاب تفاوت و بنیاد اصول علم الکتریسیته را بر مبنای تجربیات و مشاهدات علمی خود شرح کرده است. بر واقع تجربیات متعدد و مهم فرانکلین آغازگر دوران‌های جدید در محبت الکتریسیته بوده است و بسیاری از واژگانی که ما امروزه در الکتریسیته به کار می‌گیریم نخستین بار توسط فرانکلین به کار رفته‌اند. فرانکلین و مهارت فرانکلین در انجام آزمایش و بیان واضح وی از مفاهیم فیزیکی و بالاخره کشفیات مهم او نوجوانی ارج و قرب علوم تجربی در قرن هجدهم شد.

نوع باری که دو جسم مختلف بر اثر مالش پیدا می‌کنند، به جنس آنها بستگی دارد. همان‌طور که در کتاب علوم تجربی پایه هشتم خود دیدید باردار بودن یک جسم و نوع بار آن را می‌توانیم با الکتروسکوپ (برق‌نما) تعیین کنیم (شکل ۱-۵).



تبار جنسی بارها را به کلاهی الکتروسکوپ بدون بار نزدیک کرده با تماس داده‌ایم.



انواع تصویری از یک الکتروسکوپ درجه‌بندی شده بدون بار

شکل ۱-۵

یکای بار الکتریکی در SI، کولن (C) است. توجه کنید یک کولن مقدار بار بزرگی است؛ مثلاً در یک آذرخش نوعی، باری از مرتبه 10^9 به زمین منتقل می‌شود و از این رو، در این فصل غالباً با بارهایی از مرتبه میکروکولن (μC) و نانو کولن (nC) سروکار داریم؛ به عنوان مثال، در مالش شانه پلاستیکی با موهای سر، بارهای منتقل شده از مرتبه نانو کولن (nC) است.

روش ۱-۱

چرا وقتی روکش پلاستیکی را روی یک ظرف غذا می‌کشید و آن را در لبه‌های ظرف فشار می‌دهید، روکش در جای خود ثابت باقی می‌ماند؟

۱-۲ وابستگی و کوانتیده بودن بار الکتریکی

در یک اتم خنثی، تعداد الکترون‌ها برابر با تعداد پروتون‌های هسته است. بنابراین، جمع جبری همه بارها (بار خالص) دقیقاً برابر با صفر است. در تجربه‌هایی مانند مالش اجسام به یکدیگر، الکترون‌ها تولید نمی‌شوند و با از بین نمی‌روند، بلکه صرفاً از جسمی به جسم دیگر منتقل می‌شوند. اندازه بار منفی الکترون دقیقاً برابر با اندازه بار مثبت پروتون است. این مقدار را بار بنیادی (با نماد e) می‌گویند که برابر است با

$$e = 1/6.02217652 \times 10^{-19} \text{C} \approx 1/6.0 \times 10^{-19} \text{C}$$

اندازه گیری بار الکترون نخستین بار توسط رابرت میلیکان در سال ۱۹۱۳ میلادی انجام شد. این نتیجه اندازه‌گیری مربوط به سال ۲۰۰۵ میلادی است.

جدول ۱-۱: سری الکتریست
مالشی (تریبولکتریک)

انتهای مثبت سری

موی انسان
سینه
نایلون
پشم
موی گربه
شرب
اوپنیم
آلومینیم
پوست انسان
کاغذ
چوب
پارچه کتان
کهربا
برنج، نقره
پلاستیک، پلواکسین
لاسیک
فلون

انتهای منفی سری

در هنگام مالش، با انتقال تعدادی الکترون از یک جسم به جسمی دیگر، تعادل بارها در اتم خنثی بر هم می خورد و جسمی که الکترون از دست می دهد، تعداد الکترون هایش کمتر از تعداد پروتون های آن می شود و بار الکتریکی خالص آن مثبت می گردد و همچنین، جسمی که الکترون اضافی دریافت می کند، الکترون هایش از پروتون های آن فرورنی می ماند و بار الکتریکی خالص آن منفی می شود. به دست آوردن یا از دست دادن الکترون در جسم در تماس یا یکدیگر را می توان بر اساس جدولی موسوم به **سری الکتریست مالشی** (تریبولکتریک: Tribo) در زبان یونانی به معنای مالش است) معلوم کرد (جدول ۱-۱). در این جدول مواد پایین تر، الکترون خواهی بیشتری دارند؛ یعنی اگر دو ماده در این جدول در تماس یا یکدیگر فرار گیرند، الکترون ها از ماده بالاتر جدول به ماده ای که پایین تر قرار دارد منتقل می شوند؛ مثلاً اگر فلون با نایلون مالش یابد، الکترون ها از نایلون به فلون منتقل می شوند. در مورد بارهای الکتریکی دو اصل وجود دارد. نخستین آنها **اصل پایستگی بار** است که بیان می دارد: مجموع جبری همه بارهای الکتریکی در یک دستگاه منزوی ثابت است؛ یعنی یار می تواند از جسمی به جسم دیگر منتقل شود، ولی هرگز امکان تولید یا نابودی یک بار خالص وجود ندارد. ناکتون هیچ آزمایشی این اصل را نقض نکرده است.

دومین اصل، **کوانتیده بودن بار** است. در تجربه هایی مانند مالش اجسام به یکدیگر اگر جسم خنثی الکترون به دست آورد یا از دست بدهد، همواره بار الکتریکی مشاهده شده جسم، مضرب درستی از بار بنیادی e است:

$$q = \pm ne, \quad n = 1, 2, \dots \quad (1-1)$$

یک مثال آشنا از کوانتیده بودن یک کمیت، تعداد دانش آموزان یک کلاس یا تعداد تخم مرغ های درون یک ظرف است. برای مثال، ما نمی توانیم $24/3$ دانش آموز در یک کلاس و یا $12/4$ تخم مرغ در یک ظرف داشته باشیم.

مثال ۱-۱

وقتی روی فرنس راه می روید و بدنتان بار الکتریکی پیدا می کند، هنگام دست دادن با دوستان، ممکن است با انتقال باری در حدود 1 nC به او شوک حقیقی وارد کنید. در این انتقال بار، حدود چند الکترون بین شما و دوستان منتقل شده است؟ **پاسخ:** از رابطه ۱-۱ داریم:

$$q = ne$$

$$n = \frac{q}{e} = \frac{1 \times 10^{-9} \text{ C}}{1.6 \times 10^{-19} \text{ C}} = 6 \times 10^9 \text{ الکترون}$$

تمرین ۱-۱

تعداد اتمی اورانیوم $Z=92$ است. بار الکتریکی هسته اتم اورانیوم چقدر است؟ مجموع بار الکتریکی الکترون های اتم اورانیوم (خنثی) چه مقدار است؟ بار الکتریکی اتم اورانیوم (خنثی) چقدر است؟

* منظور از دستگاه منزوی آنجا است که به آن محیط اطراف خود بار نگیرد و نه به آن بار ندهد.

۱- بازی به حلقه این جدول نیست.

۱-۳ قانون کولن

همان طور که می‌دانیم نیروی الکتریکی که دو جسم باردار برهم وارد می‌کنند می‌تواند جاذبه یا دافعه باشد. اگر بارهای الکتریکی دو جسم همتام باشند، این نیرو دافعه است (شکل ۱-۶). و اگر ناهمتام باشند، این نیرو جاذبه است.



شکل ۱-۶ گوی‌های باردار همتام یکدیگر را با نیرویی هم‌اندازه دفع کرده‌اند

فعالیت ۱-۱ (کار در کلاس)



مطابق شکل، دوری بلاستیک را از نزدیکی یک انتهای آنها خم کنید و پس از هالتی دادن یا بارجهای شیمی نزدیک یکدیگر قرار دهید. اگر نیروی جاذبه یا دافعه مشاهده شده باشد، نیروی دافعه آنها را می‌توانید به وضوح بر روی انگشتان خود حس کنید.

نیروی الکتریکی بین دو جسم باردار، به چه عامل‌هایی بستگی دارد و اندازه این نیروها را از چه رابطه‌ای می‌توان محاسبه کرد؟ شارل آگوستین کولن، دانشمند فرانسوی برای تخمین بار یا انجام آزمایش‌های ساده و هوشمندانه‌ای توانست عامل‌های مؤثر بر نیروی الکتریکی بین دو ذره باردار را که اصطلاحاً بار نقطه‌ای خوانده می‌شود، شناسایی کند. نتیجه آزمایش‌های او امروزه به نام **قانون کولن** خوانده می‌شود. شکل ۱-۷ طرحی از آزمایش کولن را نشان می‌دهد.

قانون کولن بیان می‌دارد:

اندازه نیروی الکتریکی (الکتروستاتیکی) بین دو بار نقطه‌ای^۱ که در راستای خط واصل آنها اثر می‌کند، با حاصل ضرب بزرگی آنها متناسب است و با مربع فاصله بین آنها متناسب وارون دارد. بنابراین، اندازه این نیرو برابر است با:

$$F = k \frac{|q_1| |q_2|}{r^2} \quad (۱-۲)$$

شکل ۱-۷ ترازوی بیجس کولن. در یک سر یک میله نارسانای سبک افقی یک گوی باردار مثبت کوچک و در سر دیگر آن، یک قرص قرار داده و میله از وسط توسط یک رشته سیم کشمان و تازک آویخته شده است. یک گوی با بار منفی از خرفه‌ای به داخل استوانه آویخته شده است. درجه‌هایی بر سطح استوانه حک شده است که زاویه چرخش میله را نشان می‌دهد. نیروی مؤثر بین این بارها از اندازه‌گیری زاویه چرخش نارسیمن به حالت تعادل به دست می‌آید.

۱- در این بخش با نیروهای بین ذره‌های باردار (بارهای نقطه‌ای) سروکار داریم. البته اگر فاصله یک جسم باردار با جسم باردار دیگر چنان زیاد باشد که بتوان از تعداد هر یک از دو جسم در محاسبه فاصله بین آنها چشم‌پوشی کرد، می‌تواند دو جسم را به صورت بارهای باردار نام بگیریم.



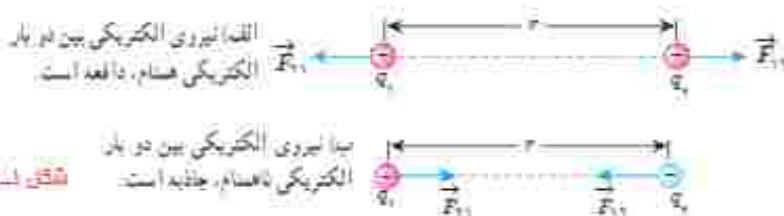
علم

که در آن q_1 و q_2 بارهای الکتریکی دو بار نقطه‌ای بر حسب کولن (C)، r فاصله بین دو بار بر حسب متر (m)، F بزرگی نیروی الکتریکی وارد بر هر بار بر حسب نیوتون (N) است. در این رابطه ثابت الکتریکی با ثابت کولن نام دارد و برابر است با^۱

$$k = 8.98755179 \times 10^9 \text{ Nm}^2 / \text{C}^2 \approx 9.0 \times 10^9 \text{ Nm}^2 / \text{C}^2$$

در شکل (۸-۱)، \vec{F}_{12} نیرویی است که بار نقطه‌ای q_1 به بار نقطه‌ای q_2 وارد می‌کند و \vec{F}_{21} نیرویی است که بار نقطه‌ای q_2 به بار نقطه‌ای q_1 وارد می‌کند. این دو نیروی الکتریکی (بنا به قانون سوم نیوتون) هم‌اندازه، هم‌راستا، و در خلاف جهت همدیگرند. به عبارتی:

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} \Rightarrow F_{12} = F_{21} = F$$



شکل ۸-۱

مثال ۱-۲

الف) در مدل بور برای اتم هیدروژن، فاصله الکترون از پروتون هسته در حالت پایه $5.3 \times 10^{-11} \text{ m}$ است (شکل را ببینید). اندازه نیروی الکتریکی که پروتون به الکترون وارد می‌کند را محاسبه کنید. (ب) در هسته اتم هلیم دو پروتون به فاصله تقریبی $r = 2.4 \times 10^{-15} \text{ m}$ از هم قرار دارند. اندازه نیرویی که پروتون‌ها بر هم وارد می‌کنند را محاسبه کنید.



پاسخ:

الف) با استفاده از قانون کولن برای بزرگی نیروی الکتریکی بین دو ذره باردار داریم:

$$F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2} = k \frac{|e_1||e_2|}{r^2} = (9.0 \times 10^9 \text{ Nm}^2 / \text{C}^2) \frac{(1.6 \times 10^{-19} \text{ C})^2}{(5.3 \times 10^{-11} \text{ m})^2} = 8.2 \times 10^8 \text{ N}$$

(ب) با استفاده از قانون کولن داریم:

$$F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2} = (9.0 \times 10^9 \text{ Nm}^2 / \text{C}^2) \frac{(1.6 \times 10^{-19} \text{ C})^2}{(2.4 \times 10^{-15} \text{ m})^2} = 4.0 \text{ N}$$

که این به مراتب بزرگتر از نیروی محاسبه‌شده در قسمت الف است. این نیروی بزرگ، از جنس دافعه است. بنابراین، هسته اتم باید فرو بیفتد. از اینجا نتیجه می‌گیریم که باید نیروی دیگری وجود داشته باشد که مانع فروپاشی هسته شود. به این نیرو، نیروی هسته‌ای گفته می‌شود.

ثابت کولن (k) را می‌توان بر حسب یک ضرب ثابت دیگر به نام ضریب گذرایی الکتریکی خلا (ε_۰) نیز نوشت

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

که در آن

$$\epsilon_0 = 8.854187817 \times 10^{-12} \text{ C}^2 / \text{Nm}^2$$

۱- به بعضی سیرت این اعداد لازم نیست.

خوب است بدانید

تمامی اجسام به علت جرمشان بر یکدیگر نیروی گرانشی نیز وارد می‌کنند که همواره از نوع جاذبه است. بزرگی این نیرو برای الکترون و پروتون m هیدروژن از مرتبه 10^{-30} است. بنابراین، در حدود 10^30 بار کوچک‌تر از نیروی الکتریکی بین این دو ذره است و این نشان می‌دهد نیروی گرانشی به مراتب ضعیف‌تر از نیروی الکتریکی است.

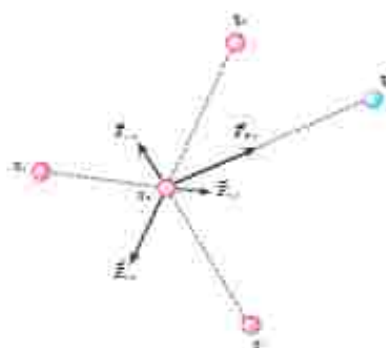
خوب است بدانید: DNA



اطلاعات ژنتیکی در مولکول‌های خاصی به نام دنا (DNA) وجود دارد. در واقع دنا دارای اطلاعات و دستورهایی برای تعیین و ایجاد صفات ارثی ما و همه جانداران است. در مولکول‌های دنا چهار نوع باز به نام‌های آدنین (A)، سیتوزین (C)، گوانین (G) و تیمین (T) وجود دارد. دنا مولکولی دورشته‌ای است که به صورت مارپیچ دوگانه پیچیده شده است. همان‌طور که در شکل نشان داده شده است این دورشته توسط نیروهای الکتریکی به یکدیگر پیوند خورده‌اند؛ مثلاً در شکل می‌بینیم که همواره آدنین و تیمین در دو طرف رشته و مقابل هم قرار دارند. به همین ترتیب G و C نیز در دو طرف رشته و مقابل هم قرار دارند.

بارهای مثبت در یک طرف رشته و بارهای منفی در طرف دیگر، دورشته را به هم زب می‌کنند. این جاذبه آن قدر هست که رشته‌ها از هم نگیسلند، اما به حد کافی ضعیف تر هستند تا در فرایند رونویسی از هم گسیخته گردند.

برایند نیروهای الکتریکی؛ اگر به جای دو ذره باردار، تعدادی بار نقطه‌ای داشته باشیم، نیروی الکتریکی وارد بر هر ذره، برایند نیروهایی است که هر یک از ذره‌های دیگر به تنهایی بر آن ذره وارد می‌کند.



فرض کنید n ذره باردار داشته باشیم که در نزدیکی بار نقطه‌ای q قرار دارند. آن‌گاه نیروی خالص (برایند) وارد بر بار نقطه‌ای q با جمع برداری زیر داده می‌شود:

$$\vec{F}_T = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n$$

شکل ۱-۹ نیروی وارد بر بار q از سوی چهار بار دیگر را نشان می‌دهد.

در این کتاب، مثال‌هایی را بررسی می‌کنیم که در آنها نیروهای الکتریکی وارد بر یک ذره باردار در یک راستا قرار دارند یا عمود بر یکدیگرند.

شکل ۱-۹: نیروی برایند وارد بر بار q در اینجا برابر است با

$$\vec{F}_T = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{F}_4$$

۱- بررسی حالت‌هایی که نیروها هم‌راستا یا عمود برهم نیستند خارج از برنامه درسی این کتاب بوده و تولید نموده از زیبایی فرار

تمرین ۲-۱

سه ذره باردار مانند شکل روی یک خط راست قرار دارند و فاصله بارهای سمت راست و چپ از بار میانی برابر است. الف) جهت نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار الکتریکی میانی را تعیین کنید. ب) اگر ذره سمت راست به جای q ، بار $-q$ داشته باشد، جهت نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار میانی چگونه خواهد بود؟



مثال ۳-۱



سه ذره باردارهای $q_1 = +4 \mu\text{C}$ ، $q_2 = -1 \mu\text{C}$ ، $q_3 = +2.5 \mu\text{C}$ در نقطه‌های A، B و C مطابق شکل رویه‌رو ثابت شده‌اند. نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار q_2 را محاسبه کنید.

پاسخ: نیروی الکتریکی خالصی که بر بار q_2 وارد می‌شود، برآیند دو نیروی 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 نبود دیگری، بر بار q_2 وارد می‌کند، محاسبه می‌کنیم. نیروی الکتریکی وارد بر q_2 ، برآیند این دو نیرو است.

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

$$F_{12} = k \frac{|q_1||q_2|}{r_{12}^2} = (9 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2) \frac{(2.5 \times 10^{-6} \text{ C})(4 \times 10^{-6} \text{ C})}{(4 \text{ m})^2}$$

$$= 2.5 \times 10^{-7} \text{ N}$$

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

$$= 9 \times 10^{-7} \text{ N}$$

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

مطابق شکل، نیروهای \vec{F}_{12} و \vec{F}_{32} در جهت‌های مخالف یکدیگرند و برآیند آنها برابر است با

$$\vec{F}_T = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{32}$$



بنابراین، اندازه نیروی برآیند برابر با تفاضل اندازه آنهاست:

$$F_T = F_{32} - F_{12} = 6.5 \times 10^{-7} \text{ N}$$

و جهت آن در جهت نیروی بزرگ‌تر (\vec{F}_{32})، یعنی از سمت راست به طرف چپ، است. اگر محور x را روی خط واصل سه بار و جهت مثبت آن را به سمت راست در نظر بگیریم و بردار یکتة محور x را \hat{i} بنامیم، داریم:

$$\vec{F}_T = (-6.5 \times 10^{-7} \text{ N}) \hat{i}$$

تمرین ۱-۲

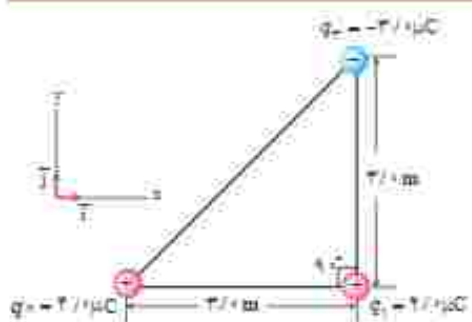
در مثال ۱-۳، نیروی خالص وارد بر بار q_2 را به دست آورید.

پوشش ۱-۳



سه ذره باردار مطابق شکل روبه‌رو، در سه گوشه یک مربع قرار دارند. الف) جهت نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار سمت راست بایستی را تعیین کنید. ب) اگر ذره سمت چپ بایستی به جای q ، بار $-q$ داشته باشد، جهت نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار سمت راست بایستی چگونه خواهد بود؟

مثال ۱-۴



سه ذره باردار مطابق شکل روبه‌رو در سه رأس مثلث قائم‌الزاویه ای ثابت شده‌اند. نیروی الکتریکی خالص وارد بر ذره واقع در رأس قائمه را به دست آورده و اندازه این نیرو را محاسبه کنید. پاسخ: نیروی الکتریکی بین بارهای q_1 و q_2 دافعه و نیروی بین بارهای q_1 و q_3 جاذبه است. با استفاده از رابطه ۱-۲ داریم:

$$F_{r12} = k \frac{|q_1 q_2|}{r_{12}^2} = (9/0 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2) \frac{(2/0 \times 10^{-6} \text{ C})(3/0 \times 10^{-6} \text{ C})}{(3/0 \text{ m})^2} = 8/0 \times 10^{-7} \text{ N}$$

با توجه به دستگاه مختصات داده شده، \vec{F}_{r12} در جهت مثبت محور x است. بنابراین، $\vec{F}_{r12} = (8/0 \times 10^{-7} \text{ N}) \vec{i}$ می‌شود. به همین ترتیب، برای نیروی بین بارهای q_1 و q_3 داریم:

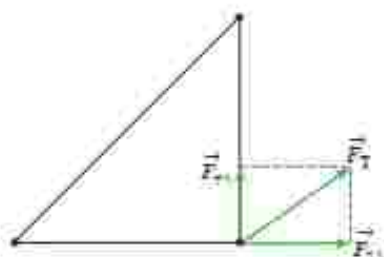
$$F_{r13} = k \frac{|q_1 q_3|}{r_{13}^2} = (9/0 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2) \frac{(2/0 \times 10^{-6} \text{ C})(2/0 \times 10^{-6} \text{ C})}{(3/0 \text{ m})^2} = 6/0 \times 10^{-7} \text{ N}$$

با توجه به دستگاه مختصات داده شده، \vec{F}_{r13} در جهت مثبت محور y است. بنابراین، $\vec{F}_{r13} = (6/0 \times 10^{-7} \text{ N}) \vec{j}$ می‌شود. پس برآیند نیروهای الکتریکی وارد بر بار q_1 برابر است با

$$\vec{F}_r = \vec{F}_{r12} + \vec{F}_{r13} = (8/0 \times 10^{-7} \text{ N}) \vec{i} + (6/0 \times 10^{-7} \text{ N}) \vec{j}$$

و بزرگی آن با استفاده از رابطه فیثاغورس، چنین به دست می‌آید:

$$F_r = \sqrt{F_{r12}^2 + F_{r13}^2} = \sqrt{(8/0 \times 10^{-7} \text{ N})^2 + (6/0 \times 10^{-7} \text{ N})^2} = 1/0 \times 10^{-6} \text{ N}$$



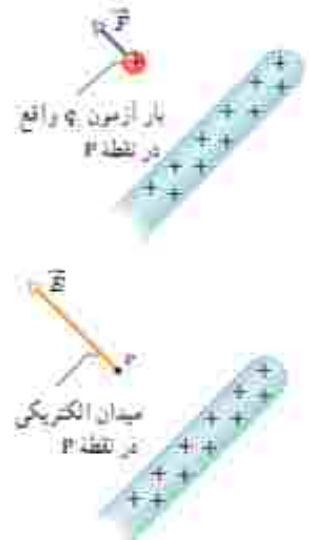
تمرین ۳-۱

در مثال ۳-۱ الف) اگر علامت بار q تغییر کند جهت نیروی برآیند وارد بر بار q چگونه خواهد شد؟
 ب) اگر علامت بار q تغییر کند، جهت نیروی برآیند وارد بر بار q چگونه خواهد شد؟
 پ) آیا اندازه نیروی برآیند وارد بر بار q در قسمت‌های الف و ب با مقدار به دست آمده در مثال ۳-۱ متفاوت است؟

۳-۱ میدان الکتریکی

در بخش ۱-۱ دیدیم که دو بار الکتریکی q_1 و q_2 که در فاصله‌ای از یکدیگر قرار دارند، برهم نیروی الکتریکی وارد می‌کنند. ولی این برش مطرح می‌شود که بارهای q_1 و q_2 جطور حضور یکدیگر را حس می‌کنند؟ به عبارت دیگر، این دو بار الکتریکی که در تماس با هم نیستند، چگونه می‌توانند بر یکدیگر نیرو وارد کنند؟ در فیزیک پاسخ این پرسش این گونه است که بار q_1 خاصیتی در فضای پیرامون خود ایجاد می‌کند که به آن اصطلاحاً **میدان الکتریکی** بار q_1 گفته می‌شود. وقتی بار q_2 را در نقطه‌ای از فضای پیرامون بار q_1 قرار دهیم، تحت تأثیر میدان الکتریکی ای قرار می‌گیرد که بار q_2 پیش‌تر در آن نقطه ایجاد کرده است. بنابراین، بار q_2 نه با تماس با بار q_1 بلکه به وسیله میدان الکتریکی خودش بر بار q_1 نیرو وارد می‌کند. میدان الکتریکی در هر نقطه از فضای اطراف یک جسم باردار الکتریکی به صورت زیر تعین می‌شود:

نخست بار کوچک و مثبت q موسوم به **بار آزمون** را در آن نقطه قرار می‌دهیم و سپس نیروی الکتریکی \vec{F} وارد بر آن را اندازه می‌گیریم. آن‌گاه میدان الکتریکی \vec{E} ناشی از جسم باردار در آن نقطه به صورت زیر تعریف می‌شود:



نکته ۱-۱۰ مینه باردار میدانی الکتریکی ایجاد می‌کند و به وسیله این میدان بر بار آزمون نیرو وارد می‌کند.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

(۳-۱)

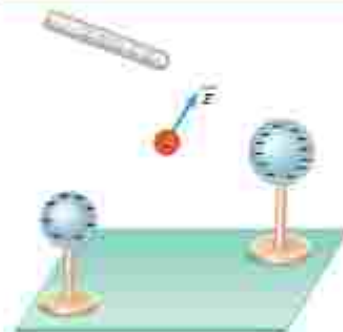
بنا به تعریف میدان الکتریکی (رابطه ۳-۱)، میدان الکتریکی کمیتی برداری است که اندازه آن برابر $E = \frac{F}{q}$ و جهت آن همان جهت نیروی وارد بر بار آزمون است؛ مثلاً شکل ۱-۱ قسمتی از میله باردار را نشان می‌دهد که بر بار آزمون واقع در نقطه P نیرو وارد می‌کند. پس میدان در این نقطه، بر اساس این نیرو تعریف می‌شود. در رابطه ۳-۱ بجای میدان الکتریکی (\vec{E}) ، نیوتون بر کولن (N/C) است.

مثال ۵-۱

بار آزمون نشان داده شده در شکل $q = +2.0 \times 10^{-6} \text{ C}$ است و از سوی دو گوی و یک میله باردار نیرویی برابر با $F = 6.0 \times 10^{-6} \text{ N}$ در جهت نشان داده شده بر آن وارد می‌شود.

الف) میدان الکتریکی در محل بار آزمون را تعیین کنید.

ب) اگر بار $q = +1.2 \times 10^{-6} \text{ C}$ را به جای q قرار دهیم، چه نیرویی به آن وارد می‌شود؟



۱-۱۰ بار آزمون باید آن قدر کوچک باشد که توزیع بار جسم را برودترند.

باسخ: الف) بزرگی میدان الکتریکی با استفاده از رابطه ۳-۱ برابر است با

$$E = \frac{F}{q} = \frac{67 \times 10^{-25} \text{ N}}{37 \times 10^{-19} \text{ C}} = 1.8 \times 10^{-6} \text{ N/C}$$

که جهت آن در همان سوی نیروی \vec{F} نشان داده شده در شکل است.

ب) دوباره با استفاده از رابطه ۳-۱ داریم:

$$F = qE = (37 \times 10^{-19} \text{ C})(1.8 \times 10^{-6} \text{ N/C}) = 67 \times 10^{-25} \text{ N}$$

جهت این نیرو نیز در همان سوی نیروی \vec{F} نشان داده شده در شکل است.

خوب است بدانید: میدان الکتریکی مخازن نفت کش ها

وقتی آب به سطحی برخورد کند و از آن بماند، قطره‌های آب باردار می‌شوند. معمولاً قطره‌های بزرگ‌تر، دارای بار مثبت و قطره‌های کوچک‌تر، دارای بار منفی می‌شوند. قطره‌های بزرگ‌تر نسبتاً سریع فرو می‌افتند و قطره‌های کوچک‌تر که دارای بار منفی اند بیشتر در هوا می‌مانند. اگر تهویه هوا کم باشد، تعداد قطره‌های موجود در هوا به‌طور چشمگیری افزایش می‌یابد و بدین ترتیب، یک میدان الکتریکی بزرگ (حدود 10^4 N/C) ایجاد می‌شود؛ این وضعیتی است که معمولاً در حمام رخ می‌دهد. به همین ترتیب، در حین تمیز کردن مخازن کشتی‌های نفت کش، وقتی قطره‌های آب به صورت افشانه از سیلنگ خارج شده و بر کف مخزن یا دیواره‌های آن می‌بندند، باردار می‌شوند و در نتیجه مخزن برآز بخار آب باردار می‌شود. ممکن است این ذرات باردار با نوک فلزی آب‌فشان سیلنگ جرقه بزنند. اگر مخزن محبوس بخار نفت خام باشد، این جرقه‌ها می‌توانند بخار را مشتعل کنند و باعث انفجار مخزن گردند. برای رفع این خطر، پس از تمیز کردن مخزن، یک گاز بی‌اثر به درون آن پمپ می‌شود تا اکسیژن موجود به اندازه‌ای کاهش یابد که از بروز انفجار جلوگیری کند.

۱-۵ میدان الکتریکی حاصل از یک ذره باردار

می‌خواهیم میدان الکتریکی ناشی از ذره‌ای با بار q را در نقطه A که به فاصله r از بار q قرار دارد (شکل ۱-۱۱)، محاسبه کنیم. برای این محاسبه از رابطه ۳-۱ استفاده می‌کنیم. اگر بار آزمون q در نقطه A قرار گیرد، بار q به آن نیروی \vec{F} وارد می‌کند. با استفاده از قانون کولن، بزرگی نیروی \vec{F} را محاسبه می‌کنیم و با جای‌گذاری در رابطه $E = F/q$ ، بزرگی میدان الکتریکی بار q را در نقطه A بدست می‌آوریم:

$$F = k \frac{|q| |q|}{r^2} \quad \text{و} \quad E = \frac{F}{q}$$

در نتیجه:

$$E = k \frac{|q|}{r^2} \quad (۴-۱)$$

رابطه ۴-۱ عامل‌های مؤثر بر بزرگی میدان الکتریکی حاصل از ذره‌ای با بار q را مشخص می‌کند. طبق این رابطه، میدان با اندازه بار q ، نسبت مستقیم و با مربع فاصله از آن، نسبت وارون دارد. همان‌طور که پیش‌تر دیدیم جهت بردار میدان الکتریکی \vec{E} در نقطه A ، همان جهت نیروی وارد بر بار آزمون است که به‌طور فرضی در نقطه A می‌گذاریم.



شکل ۱-۱۱ می‌خواهیم میدان حاصل از ذره باردار q را در نقطه A محاسبه کنیم

مثال ۶-۱



مولد وان دوگراف وسیله‌ای است که با استفاده از تسمه‌ای متحرک، بار الکتریکی را بر روی یک کلاهک نوخالی فلزی جمع می‌کند. فرض کنید کلاهک این مولد، کره‌ای با شعاع 0.1 m است و باری به بزرگی 1 nC روی آن جمع می‌شود. با فرض آنکه همه این بار در مرکز کره قرار داشته باشد، بزرگی میدان الکتریکی این بار را در فاصله‌های 0.1 m ، 0.2 m ، 0.3 m و 0.4 m از مرکز کره به دست آورید و سپس با نقطه باری، نمودار بزرگی میدان الکتریکی را بر حسب فاصله از مرکز کره رسم کنید.

پاسخ: با استفاده از رابطه ۶-۱ بزرگی میدان را در نقطه‌های مورد نظر به دست می‌آوریم:

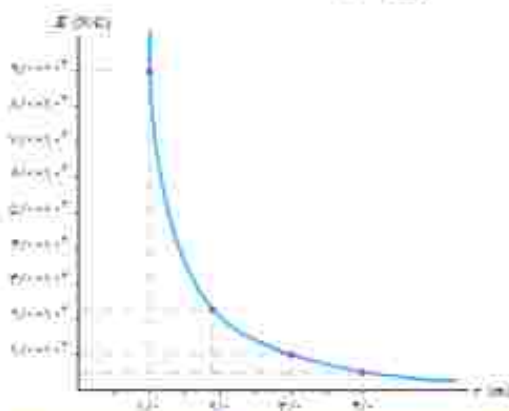
$$E = k \frac{|q|}{r^2}$$

$$E_1 = (9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2) \frac{(1 \times 10^{-9} \text{ C})}{(0.1 \text{ m})^2} = 9 \times 10^7 \text{ N/C}$$

$$E_2 = (9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2) \frac{(1 \times 10^{-9} \text{ C})}{(0.2 \text{ m})^2} = 2.25 \times 10^7 \text{ N/C} = 2.25 \times 10^7 \text{ N/C}$$

$$E_3 = (9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2) \frac{(1 \times 10^{-9} \text{ C})}{(0.3 \text{ m})^2} = 1 \times 10^7 \text{ N/C}$$

$$E_4 = (9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2) \frac{(1 \times 10^{-9} \text{ C})}{(0.4 \text{ m})^2} = 0.5625 \times 10^7 \text{ N/C} = 0.5625 \times 10^7 \text{ N/C}$$



با استفاده از این نتایج نمودار E بر حسب r ، مانند نمودار روبه‌رو خواهد شد.

برای مشاهده تجربی نتایج مثال ۶-۱ می‌توان به آزمایش شکل زیر توجه کرد. در این شکل، دو شمع یکی در فاصله‌ای نزدیک و دیگری در فاصله‌ای دور از کلاهک یک مولد وان دوگراف قرار گرفته‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌کنید شعله شمع نزدیک‌تر به سمت کلاهک کشیده شده است، در حالی که شعله شمع دورتر تغییر چندانی نکرده است. دلیل، آن است که کلاهک مولد وان دوگراف بار منفی بزرگی دارد که یون‌های مثبت شعله شمع نزدیک‌تر را به سمت خود می‌کشد، در حالی که شمع دیگر در فاصله دوری از کلاهک قرار گرفته است که تحت تأثیر میدان الکتریکی ضعیف‌تری قرار می‌گیرد.



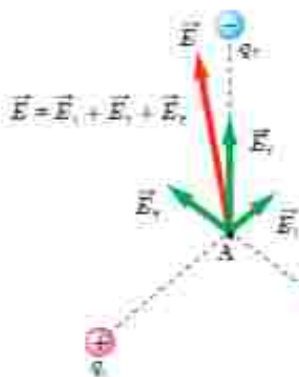
تمرین ۴-۱

طبق مثال یور برای اتم هیدروژن، در حالت پایه فاصله الکترون از پروتون هسته برابر با $5.3 \times 10^{-11} \text{ m}$ است.

الف) اندازه میدان الکتریکی ناشی از پروتون هسته را در این فاصله تعیین کنید.

ب) در چه فاصله‌ای از پروتون هسته، بزرگی میدان الکتریکی برابر با بزرگی میدان الکتریکی حاصل از مولد وان دوگراف

مثال پیش در فاصله 1 m از مرکز کلاهک آن است؟



برایند میدان‌های الکتریکی: برای یافتن میدان الکتریکی خالص حاصل از چند ذره باردار در نقطه‌ای از فضا باید نخست میدان الکتریکی ناشی از هر ذره را در آن نقطه به دست آورد و سپس این میدان‌ها را به صورت برداری یا یکدیگر جمع کرد:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots \quad (5-1)$$

مثلاً شکل ۱۲-۱ میدان الکتریکی خالص در نقطه A را نشان می‌دهد. در این کتاب، صرفاً مثال‌هایی را بررسی می‌کنیم که در آنها میدان‌های الکتریکی در یک نقطه، در یک راستا قرار دارند یا عمود بر یکدیگرند.

شکل ۱۲-۱ میدان الکتریکی \vec{E} در نقطه A، جمع برداری میدان‌های \vec{E}_1 ، \vec{E}_2 و \vec{E}_3 در این نقطه است.

مثال ۷-۱

مطابق شکل، دو ذره با بارهای $q_1 = 4 \mu\text{C}$ و $q_2 = -6 \mu\text{C}$ در فاصله 1 m از یکدیگر ثابت شده‌اند. اندازه میدان الکتریکی

خالص را در نقطه‌های زیر به دست آورید:

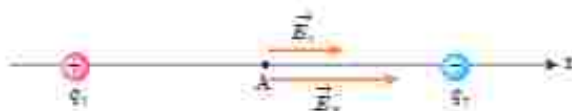


الف) در وسط خط واصل دو ذره.

ب) در نقطه‌ای روی خط واصل دو ذره به فاصله $1/3 \text{ m}$ از بار q_1 و $2/3 \text{ m}$ از بار q_2 .

پاسخ: در غیاب هر یک از دو ذره، میدان حاصل از بار دیگر را محاسبه می‌کنیم. میدان حاصل از مجموعه دو بار، برابند

این دو میدان نخواهد بود.



الف) در شکل اگر بار آزمون را در نقطه A واقع در وسط

خط واصل دو ذره قرار دهیم، بار q_1 آن را دفع و بار q_2 آن را

جذب می‌کند. بنابراین، همان‌طور که شکل نشان می‌دهد، \vec{E}_1 و

\vec{E}_2 در نقطه A هم‌جهت و به سوی بار q_2 (در سوی مثبت محور x) هستند.

میدان خالص در نقطه A، برابند میدان‌های \vec{E}_1 و \vec{E}_2 است:

$$\vec{E}_A = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 = E_1 \hat{i} + E_2 \hat{i}$$

در درس جالب‌هایی که میدان‌ها هم‌استاز با عبود برده است. خارج از روال تدریس این کتاب بود و باید مورد در تشریح قرار بگیرد.

مقادیر E_1 و E_2 را با استفاده از رابطه ۴-۱ به دست می آوریم:

$$E_1 = k \frac{|q_1|}{r_1^2} = (9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2) \frac{(4 \cdot 10^{-6} \text{ C})}{(4 \cdot \text{m})^2} = 2/25 \times 10^7 \text{ N/C} = 2/3 \times 10^7 \text{ N/C}$$

$$E_2 = k \frac{|q_2|}{r_2^2} = (9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2) \frac{(6 \cdot 10^{-6} \text{ C})}{(2 \cdot \text{m})^2} = 3/375 \times 10^7 \text{ N/C} = 3/2 \times 10^7 \text{ N/C}$$

بنابراین:

$$\vec{E}_A = (2/3 \times 10^7 \text{ N/C}) \vec{i} + (3/2 \times 10^7 \text{ N/C}) \vec{i} = (5/7 \times 10^7 \text{ N/C}) \vec{i}$$

ب) اکنون اگر بار آزمون را در نقطه B قرار دهیم شکل میدان های الکتریکی به صورت زیر در می آید:



میدان خالص در نقطه B، برابند میدان های E_1 و E_2 است:

$$\vec{E}_B = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 = -E_1 \vec{i} + E_2 \vec{i}$$

که در آن E_1 و E_2 برابرند یا

$$E_1 = k \frac{|q_1|}{r_1^2} = (9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2) \frac{(4 \cdot 10^{-6} \text{ C})}{(A \cdot \text{m})^2} = 5/625 \times 10^7 \text{ N/C} = 5/6 \times 10^7 \text{ N/C}$$

$$E_2 = k \frac{|q_2|}{r_2^2} = (9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2) \frac{(6 \cdot 10^{-6} \text{ C})}{(16 \cdot \text{m})^2} = 2/109 \times 10^7 \text{ N/C} = 2/11 \times 10^7 \text{ N/C}$$

بنابراین:

$$\vec{E}_B = (-5/6 \times 10^7 \text{ N/C}) \vec{i} + (2/11 \times 10^7 \text{ N/C}) \vec{i} = (-3/5 \times 10^7 \text{ N/C}) \vec{i}$$

خوب است بدانید



دوقطبی الکتریکی آرایی از بارهای الکتریکی است که در آن دو ذره با بزرگی باریک یکسان و علامت مخالف در فاصله d از هم روی محوری که به آن محور دوقطبی گفته می شود قرار گرفته اند. مولکول آب (H_2O) از دو اتم هیدروژن و یک اتم اکسیژن ساخته شده است. اتم اکسیژن الکترون های دو اتم هیدروژن را به سمت خود می کشد و بدین ترتیب اتم های هیدروژن بار مثبت و خودش بار منفی پیدا می کند. این سه اتم مطابق شکل به گونه ای قرار گرفته اند که خطوط وصل کننده مراکز اتم های هیدروژن به مرکز اتم اکسیژن زاویه 105° با یکدیگر می سازند. با فرض اینکه کل بار مثبت $(+2e)$ دقیقاً در میانه خطی باشد که مراکز اتم های هیدروژن را به هم متصل می کند و بار منفی $(-2e)$ دقیقاً در مرکز اتم اکسیژن قرار داشته باشد، یک دوقطبی الکتریکی خواهیم داشت. بررسی میدان الکتریکی دوقطبی و نیز اثر میدان الکتریکی خارجی بر دوقطبی، اهمیت زیادی در شناخت رفتار الکتریکی مولکول های قطبی (مانند مولکول آب) در میدان های الکتریکی دارد.

تمرین ۵-۱

شکل زیر، آرایشی از دو بار الکتریکی هم اندازه و غیرهمنام (دوقطبی الکتریکی) را نشان می‌دهد که در آن فاصله دو بار از هم 6 cm است. میدان الکتریکی خالص را در نقطه‌های O و M به دست آورید.



پوشش ۴-۱

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



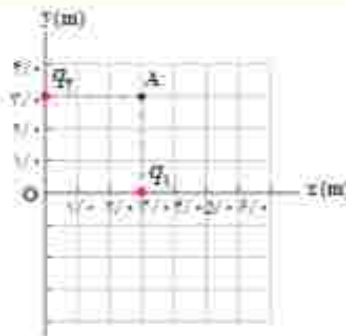
خوب است بدانید: نیروی وان دروالس او چسبیدن مارمولک‌ها به دیوار



نیروی وان دروالس برای توصیف نیروی جاذبه الکتریکی بین مولکول‌ها استفاده می‌شود. دلیل این نام‌گذاری این است که وان دروالس در سال ۱۸۷۳ نخستین پیشنهاد را برای نیروهای الکتریکی بین ذره‌های سازنده گاز به منظور توصیف برخی از ویژگی‌های گازهای غیرآزمایی و مایعات ارائه کرد. متناهی نیروی وان دروالس برهم‌کنش الکتریکی بین دوقطبی‌های الکتریکی است. بر اساس نیروی وان دروالس می‌توان بسیاری از چسبندگی‌ها از جمله چسبندگی پای مارمولک روی دیوار را توضیح داد.

بای مارمولک تعداد بی‌شماری مو موسوم به سنا دارد که هر مو صدها برجستگی یا سرمثلی دارد که به کاردک معروف‌اند. وقتی مارمولک پای خود را بر دیوار می‌فشارد تمام این کاردک‌ها توسط نیروی وان دروالس به دیوار می‌چسبند. در این حالت، دوقطبی‌های موجود در سطح کاردک‌ها و سطح دیوار، یکدیگر را جذب می‌کنند. گرچه نیروی وان دروالس ضعیف است، اما مجموع این نیروهای بی‌شماری می‌تواند مارمولک را بر سطح دیوار نگه دارد.

مثال ۱-۸



شکل روبه رو، دو بار نقطه‌ای q_1 و q_2 را در صفحه xy نشان می‌دهد. میدان الکتریکی خالص را در نقطه O (مبدأ مختصات) تعیین کنید. ($q_1 = q_2 = 5/0 \text{ nC}$)
پاسخ: در نقطه O میدان‌های الکتریکی مانند شکل زیر می‌تواند؛ چون بارها با هم برابر و فاصله آنها تا نقطه O نیز یکسان است، پس اندازه میدان‌ها در این نقطه با هم برابرند:

$$E_1 = E_2 = k \frac{|q|}{r^2} = (9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2) \frac{(5 \times 10^{-9} \text{ C})}{(1 \text{ m})^2} = 5/0 \times 10^2 \text{ N/C}$$

$$\vec{E}_1 = (-5/0 \times 10^2 \text{ N/C}) \vec{i} \quad \text{و} \quad \vec{E}_2 = (-5/0 \times 10^2 \text{ N/C}) \vec{j}$$

در نتیجه میدان الکتریکی خالص برابر است با:

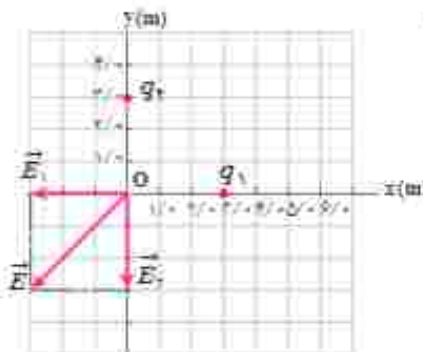
$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

$$\vec{E} = (-5/0 \times 10^2 \text{ N/C}) \vec{i} + (-5/0 \times 10^2 \text{ N/C}) \vec{j}$$

و از آنجا اندازه میدان الکتریکی خالص چنین می‌شود:

$$E = \sqrt{(-5/0 \times 10^2 \text{ N/C})^2 + (-5/0 \times 10^2 \text{ N/C})^2}$$

$$= 7/0 \times 10^2 \text{ N/C} = 7/1 \times 10^2 \text{ N/C}$$



تمرین ۶-۱

میدان الکتریکی خالص حاصل از آرایش بار مثال ۸-۱ را در نقطه A تعیین کنید.

۶-۱ خطوط میدان الکتریکی

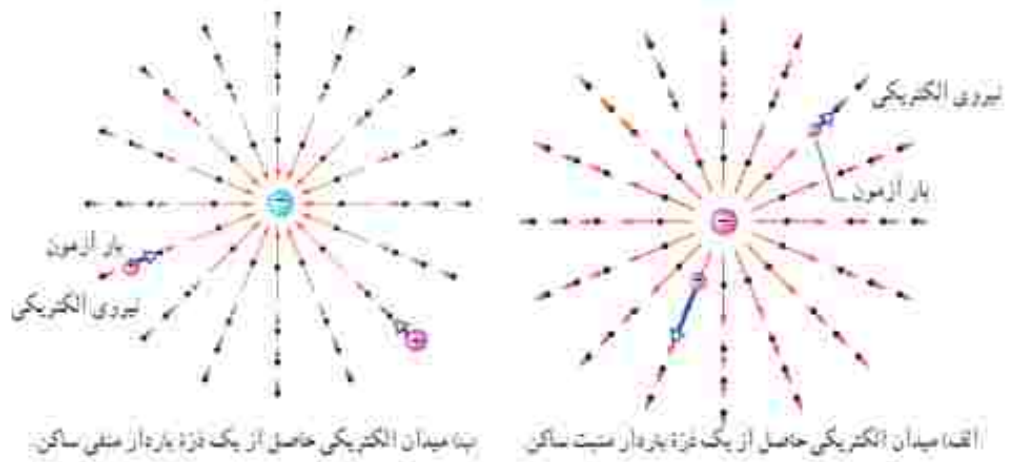
پس از این دیدیم بارهای الکتریکی در فضای بی‌امون خود میدان الکتریکی ایجاد می‌کنند. آیا می‌توانید بردار میدان الکتریکی را در نقاط بی‌امون یک ذره باردار مثبت یا منفی جسم کنید؟ مائیکس فارادے نخستین بار در میانه قرن نوزدهم میلادی روشی را برای تجسم این بردارها ارائه کرد. برای تجسم کردن میدان الکتریکی در فضای اطراف اجسام باردار از خط‌های جهت‌داری موسوم به خطوط میدان الکتریکی استفاده می‌کنیم.

فعالیت ۱-۲ (۱۵ دقیقه)



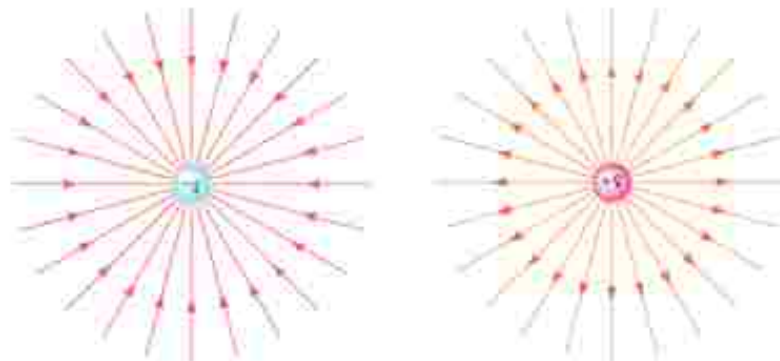
درون یک ظرف شیشه‌ای یا پلاستیکی با عمق کم، مقداری بارافین مایع با روغن کرچک به عمق حدود ۱/۵cm بریزید و داخل آن دو الکترود نقطه‌ای قرار دهید. الکترودها را با سیم به باتنه‌های مثبت و منفی یک مولد ولتاژ بالا، مانند مولد وان دوگراف وصل کنید. روی سطح بارافین، مقدار کمی بذر جمن یا خاکستر بیابید. مولد را روشن کنید. اکنون به سمت‌گیری دانه‌ها در فضای بین دو الکترود توجه کنید. شکل سمت‌گیری دانه‌ها در این فضا را رسم کنید.

اگر یک بار آزمون را در نزدیکی یک ذره باردار مثبت یا منفی قرار دهیم، بسته به نوع بار، نیروی الکتریکی وارد به بار آزمون در جهت دور شدن از ذره (شکل ۱۳-۱ الف) و یا در جهت نزدیک شدن به آن (شکل ۱۳-۱ ب) خواهد بود.



شکل ۱۳-۱

خط‌های میدان در هر نقطه، هم جهت با بردار میدان الکتریکی در آن نقطه است (شکل ۱۴-۱).



الف) خطوط میدان الکتریکی به سمت ذره باردار + است.

ب) خطوط میدان الکتریکی در جهت دور شدن از ذره باردار - است.

شکل ۱۴-۱



شکل ۱۵-۱: میدان الکتریکی در هر نقطه برداری است مماس بر خط میدانی که از آن نقطه می‌گذرد و با آن خط میدان هم‌جهت است.



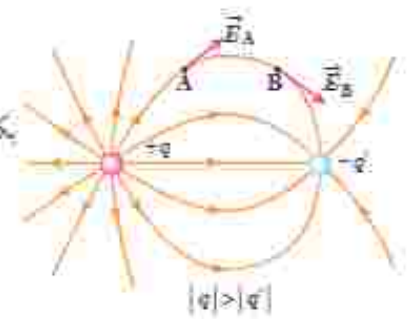
شکل ۱۶-۱: اطراف نقطه A خطوط میدان متراکم‌تر از اطراف نقطه B است. بنابراین، بزرگی میدان در نقطه A بیشتر از نقطه B است.

بنابراین، طرحی که از سمت‌گیری دانه‌ها در فعالیت ۲-۱ دیدیم، در واقع طرحی از خطوط میدان الکتریکی در فضای بین دو الکترود بوده است.

فاندهای رسم خطوط میدان الکتریکی عبارت‌اند از:

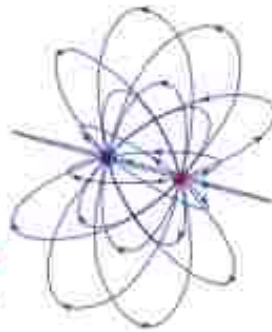
- ۱- در هر نقطه، بردار میدان الکتریکی باید مماس بر خط میدان الکتریکی عبوری از آن نقطه و در همان جهت باشد (شکل ۱۵-۱).
- ۲- میزان تراکم خطوط میدان در هر ناحیه از فضا نشان‌دهنده اندازه میدان در آن ناحیه است؛ هر جا خطوط میدان متراکم‌تر باشند، اندازه میدان بیشتر است (شکل ۱۶-۱).

۳- در آراسی از بارها خطوط میدان الکتریکی از بارهای مثبت شروع و به بارهای منفی ختم می‌شوند.
 ۴- خطوط میدان برآیند هرگز یکدیگر را قطع نمی‌کنند (شکل ۱۷-۱) یعنی از هر نقطه فضا فقط یک خط میدان الکتریکی می‌گذرد.



شکل ۱۷-۱ خطوط میدان از بارهای مثبت شروع و به بارهای منفی ختم می‌شوند و هرگز یکدیگر را قطع نمی‌کنند.

تجسم واقعی خطوط میدان، در فضاست، و بنابراین طرحی سه‌بعدی دارد (شکل ۱۸-۱).



شکل ۱۸-۱ نمایش سه‌بعدی خطوط میدان برای یک در فضای الکتریکی.

پوشش ۱-۵

به نظر شما چرا خطوط میدان الکتریکی برآیند هرگز یکدیگر را قطع نمی‌کنند؟

میدان الکتریکی یکپوخت: اگر دوباره اسباب فعالیت ۱-۲ را سوار کنید و این بار الکترودهای نقطه‌ای را با دو صفحه فلزی موازی جایگزین کنید و دوباره به سمت گیری دانه‌ها در فضای بین دو الکترود توجه کنید، طرحی از خطوط میدان الکتریکی را مشاهده می‌کنید که در شکل ۱۹-۱ نشان داده شده است. خطوط این میدان، در فضای بین دو صفحه و دور از لبه‌های صفحات، مستقیم، موازی و هم‌فاصله‌اند؛ یعنی بردار میدان در تمام نقاط بین دو صفحه هم‌اندازه و هم‌جهت است. به چنین میدانی، میدان الکتریکی یکپوخت گفته می‌شود (شکل ۱۹-۱).

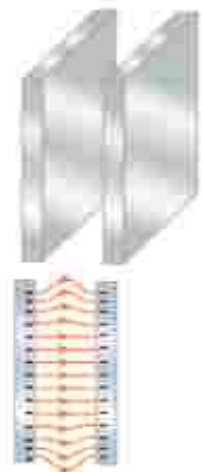


شکل ۱۹-۱ ست‌گیری دانه‌ها در فضای بین دو الکترود صفحه‌ای موازی

تیروی الکتریکی وارد بر بار الکتریکی در یک میدان الکتریکی: گرچه برای تعریف میدان الکتریکی یک جسم باردار از بار آزمون مثبت استفاده کردیم، ولی وجود این میدان مستقل از بار آزمون است. بنابراین، اگر بار الکتریکی q در میدان الکتریکی \vec{E} نالسی از اجسام باردار دیگری فرار گیرد، این میدان بر آن تیروی \vec{F} را وارد می‌کند. تیروی \vec{F} از رابطه زیر بدست می‌آید:

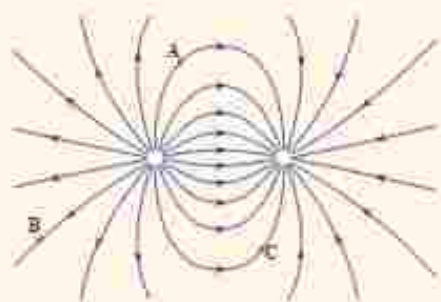
$$\vec{F} = q\vec{E} \quad (۱۶-۱)$$

بزرگی این نیرو از رابطه $F = |qE|$ بدست می‌آید. و جهت آن اگر q مثبت باشند، در همان جهت \vec{E} و اگر q منفی باشد، در خلاف جهت \vec{E} خواهد بود.



شکل ۱۶-۱ طرحی از خطوط میدان یکپوخت بین دو صفحه رسانایی موازی با بارهای هم‌اندازه و نامسا

پیمش ۱-۶



بار q - را در نقطه‌های A، B و C از میدان الکتریکی غیریکسوخت شکل روبه‌رو قرار دهید و جهت نیروی الکتریکی وارد بر این بار منفی را تعیین کنید.

تغایت ۱-۳



تولیدمثل برخی از گل‌ها به زنبورهای عسل وابسته است. کرده‌ها به واسطه میدان الکتریکی، از یک گل به زنبور و از زنبور به گل دیگر منتقل می‌شوند. در این باره تحقیق کنید.

تغیرن ۱-۷

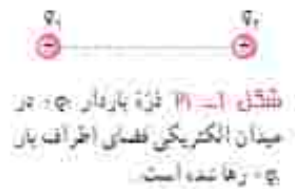
روی سطح یادکنکی به جرم $m = 1 \times 10^{-6}$ بار الکتریکی $q = 2 \times 10^{-8}$ ایجاد می‌کنیم و آن را در یک میدان الکتریکی قرار می‌دهیم. بزرگی و جهت این میدان الکتریکی را در صورتی که یادکنک معلق بماند، تعیین کنید. از نیروی شناوری وارد به یادکنک چشم‌پوشی کنید.

تغایت ۱-۶



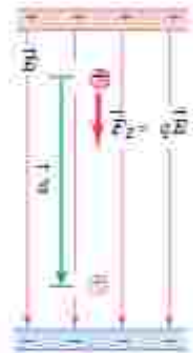
رسوب‌دهنده الکتروستاتیکی (ESP) دود و غبار را از گازهای زامدی که از دودکش کارخانه‌ها و نیروگاه‌ها بالا می‌آید جدا می‌سازد. رسوب‌دهنده‌ها انواع مختلفی دارند. در مورد اساس کار این رسوب‌دهنده‌ها تحقیق کنید. شکل‌های روبه‌رو تأثیر رسوب‌دهنده را در کاهش آلودگی هوای ناشی از یک دودکش نشان می‌دهد.

۷-۱ انرژی پتانسیل الکتریکی



شکل ۷-۱ ذره باردار q_1 در میدان الکتریکی فضای اطراف بار q_2 رها شده است.

دو ذره باردار الکتریکی شکل ۷-۱ را در نظر بگیرید که در آن بار q_1 در جای خود ثابت و بار q_2 در فضای اطراف آن رها شده است. می‌دانیم بار q_2 بر اثر میدان الکتریکی حاصل از بار q_1 از آن رانده و دارای انرژی جنبشی می‌شود. طبق قانون پایستگی انرژی، انرژی جنبشی نمی‌تواند خود به خود به وجود آمده باشد؛ به نظر شما این انرژی جنبشی از کجا آمده است؟ این انرژی، ناشی از تغییر (در اینجا کاهش) انرژی پتانسیلی است که به نیروی الکتریکی بین دو ذره شکل ۷-۱ وابسته است و همان طور که در کتاب فیزیک سال دهم دیده‌اید به آن **انرژی پتانسیل الکتریکی** می‌گوییم. برای آنکه به توصیفی کفنی از این انرژی دست یابیم، میدان الکتریکی بکنواختی را مطابق شکل ۷-۲۲ در نظر می‌گیریم که در فضای میان دو صفحه باردار برقرار شده است.



شکل ۷-۲۲ ذره باردار q در میدان الکتریکی بکنواخت رها می‌شود و به تدریج بر انرژی جنبشی آن افزوده می‌شود از نیروی گرانش جسم بوشی شده است.

اگر بار الکتریکی q را از مجاورت صفحه مثبت رها کنیم، تحت تأثیر میدان الکتریکی (با جسم بوشی از گرانش)، به طرف صفحه منفی شروع به حرکت می‌کند و به تدریج تندی و انرژی جنبشی آن افزایش می‌یابد. این وضعیت، شبیه چیزی است که در کتاب فیزیک سال دهم دیدیم. در آنجا نیز مشاهده کردیم که وقتی جسمی به جرم m از ارتفاع h رها می‌شود، جسم رو به پایین حرکت کرده و انرژی جنبشی آن بر اثر کاهش انرژی پتانسیل گرانشی به تدریج افزایش می‌یابد (شکل ۷-۲۳). همچنین دیدیم که کار نیروی گرانشی برابر با منفی تغییر انرژی پتانسیل گرانشی است ($W_g = -\Delta U_g$).

در اینجا نیز می‌توان گفت: کار نیروی الکتریکی وارد بر یک ذره باردار در میدان الکتریکی بکنواخت \vec{E} در یک جابه‌جایی مشخص برابر با منفی تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی در همان جابه‌جایی است؛ یعنی:

$$W_E = -\Delta U_E \quad (7-1)$$

گرچه این رابطه برای یک میدان الکتریکی بکنواخت بیان شده، ولی می‌توان نشان داد که در حالت کلی نیز برای هر میدان الکتریکی برقرار است.

بار q را در میدان الکتریکی بکنواخت \vec{E} در نظر بگیرید که جابه‌جایی \vec{d} را موازی میدان الکتریکی، انجام می‌دهد (شکل ۷-۲۴). طبق تعریف کار که در سال قبل دیدیم، کار انجام‌شده توسط

نیروی الکتریکی ثابت \vec{F}_E در طی جابه‌جایی \vec{d} از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$W_E = (F_E \cos\theta) d = F_E d \cos\theta$$

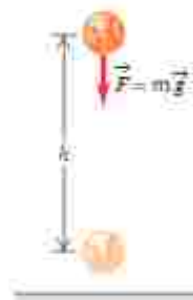
با توجه به اینکه $F_E = |q|E$ است، این رابطه به صورت زیر می‌شود:

$$W_E = |q| E d \cos\theta$$

اکنون با استفاده از رابطه ۷-۱ تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی بار q در طی جابه‌جایی \vec{d} چنان محاسبه می‌شود:

$$\Delta U_E = -W_E = -|q| E d \cos\theta \quad (8-1)$$

که در آن، θ زاویه بین نیروی \vec{F}_E و جابه‌جایی \vec{d} است. (در این کتاب، در استفاده از رابطه ۸-۱، صرفاً با جابه‌جایی‌های هم‌راستا با میدان الکتریکی و یا عمود بر میدان الکتریکی سروکار خواهیم

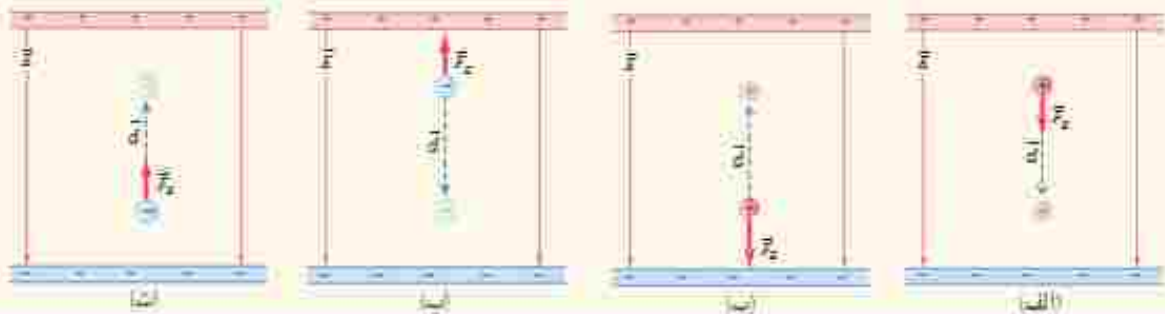


شکل ۷-۲۳ جسم بر میدان گرانشی بکنواخت زمین رها می‌شود و به تدریج بر انرژی جنبشی آن افزوده می‌شود.

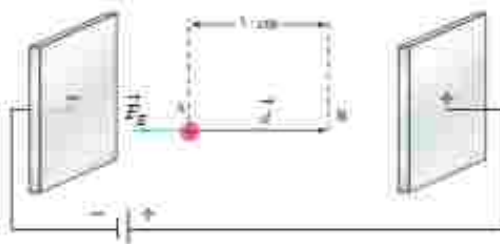
داشت. در این رابطه بار الکتریکی (q) بر حسب کولن (C)، بزرگی میدان الکتریکی (E) بر حسب نیوتون بر کولن (N/C)، اندازه جابه‌جایی (d) بر حسب متر (m) و تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی (ΔU_E) بر حسب ژول (J) است. توجه کنید که این رابطه چه برای بار ذره‌ای مثبت و چه برای بار ذره‌ای منفی برقرار است.

پرسش ۱-۷

در هر یک از شکل‌های زیر، با توجه به علامت بار ذره جابه‌جا شده، و جهت میدان الکتریکی (\vec{E})، جهت نیروی الکتریکی (\vec{F}_E) و جهت جابه‌جایی ذره (\vec{d})، تعیین کنید که:
الف) کار نیروی الکتریکی (W_E) مثبت است یا منفی. ب) انرژی پتانسیل الکتریکی (U_E) کاهش یافته است یا افزایش.



مثال ۱-۹



در یک میدان الکتریکی یکنواخت $E = 2/1 \times 10^4 \text{ N/C}$ ، پروتونی از نقطه A با سرعت \vec{v} در خلاف جهت میدان الکتریکی برتاب شده است. پروتون سرانجام در نقطه B متوقف می‌شود. بار پروتون $1/6 \times 10^{-19} \text{ C}$ و جرم آن $1/67 \times 10^{-27} \text{ kg}$ است.
الف) تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی پروتون در این جابه‌جایی چقدر است؟
ب) تندی برتاب پروتون را پیدا کنید (از وزن پروتون و مقاومت هوا چشم‌پوشی شود).

پاسخ:

الف) با توجه به رابطه ۸-۱ داریم:

$$\Delta U_E = -W_E = -|q|Ed \cos \theta = -(1/6 \times 10^{-19} \text{ C})(2/1 \times 10^4 \text{ N/C})(1 \times 10^{-2} \text{ m})(\cos 180^\circ) = 2/2 \times 10^{-17} \text{ J}$$

ب) طبق قضیه کار-انرژی جنبشی می‌توان نوشت:

$$W_E = \Delta K \Rightarrow -\Delta U_E = \frac{1}{2} m (v - v_0^2)$$

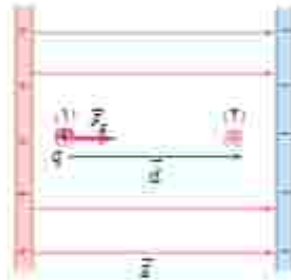
$$-2/2 \times 10^{-17} \text{ J} = \frac{1}{2} (1/67 \times 10^{-27} \text{ kg})(v^2) \Rightarrow v = 1/96 \times 10^3 \text{ m/s} \approx 2/1 \times 10^3 \text{ m/s}$$

تمرین ۱-۸

در مثال ۱-۹ اگر جای قطب‌های باتری عوض شود و پروتون را در نقطه A از حالت سکون رها کنیم، پروتون با چه تندی‌ای به نقطه B می‌رسد؟

۸-۱ پتانسیل الکتریکی

در بخش قبل دیدیم تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی یک ذره باردار به بار الکتریکی آن بستگی دارد؛ مثلاً با دور بردن بار ذره، تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی آن نیز دو برابر می‌شود. بنابراین، نسبت تغییر انرژی پتانسیل به بار ذره، مستقل از نوع و اندازه بار الکتریکی است. به این نسبت، **اختلاف پتانسیل الکتریکی** دو نقطه‌ای می‌گوییم که ذره میان آنها جاها جا شده است (شکل ۱۰-۱) و آن را با ΔV نمایش می‌دهیم:



شکل ۱۰-۱ نسبت تغییر انرژی پتانسیل به بار، مستقل از نوع و اندازه بار الکتریکی است

$$\Delta V = V_2 - V_1 = \frac{\Delta U_E}{q} \quad (10-1)$$

که در آن V کمیتی ترده‌ای موسوم به پتانسیل الکتریکی است که مقدار آن در نقطه‌های ۱ و ۲ به ترتیب V_1 و V_2 است. در این رابطه، اختلاف پتانسیل الکتریکی (ΔV) بر حسب ژول بر کولن (J/C) است که آن را به اختصار **ولت** و نماد V نمایش می‌دهند.

گرچه این رابطه را برای میدان الکتریکی یکنواخت بیان کردیم، اما برای میدان‌های الکتریکی غیر یکنواخت نیز برقرار است. توجه کنید که در این رابطه علامت q باید در نظر گرفته شود. جدول ۱۰-۱ برخی از اختلاف پتانسیل‌ها (ولتاژهای) متداول را نشان می‌دهد.

در نشانه یا انرژی پتانسیل گرانشی، در اینجا نیز می‌توانیم برای انرژی پتانسیل الکتریکی، مرجعی اختیار کنیم که در آن انرژی پتانسیل الکتریکی ذره و پتانسیل الکتریکی صفر باشد. بنابراین، پتانسیل الکتریکی در هر نقطه از میدان با رابطه زیر بیان می‌شود:

$$V = \frac{U_E}{q} \quad (10-2)$$

جدول ۱۰-۱ برخی از ولتاژهای متداول	
پتانسیل استراحت نوری	$6.0 \times 10^{-9} \text{ mV}$
باتری قلمی	۱.۵۷
باتری اومپل	۱.۲۷
برق خانگی در برخی از کشورها	۱۱۰-۱۲۰
برق خانگی در ایران و اغلب کشورها	۲۲۰-۲۴۰
مولد نیروگاه برق	۲۴۰-۱۰۰۷
خطوط انتقال برق ولتاژ بالا	۱۰ ^۶ -۱۰ ^۷
آذرخش	۱۰ ^۸ -۱۰ ^۹



الکساندرو ولتا (۱۸۱۷-۱۷۷۵م)

الماتورو ولتا در ایتالیا به دنیا آمد. نخست به شغل معلم روی آورد و با سه سرسازگی به این کار ادامه داد. حسن نظر دانشگاه پاریس به استعدادش فیزیک برگزیده شد. در آنجا وظیفه داشت علاوه بر تدریس، آزمایشگاهی نیز تدارک کند. وقتی در دانشگاه آفریس می‌گردد دستگاهی به نام الکترودور را اختراع کرد و شرح حرکت دستگاه را برای جوزف ویلتش نوشت. ولتا با استفاده از این دستگاه، توانایی فیزیکی زنبق را کشف کرد. در سال ۱۷۹۱ لویی گالوانی استاد ریاضت‌شناسی و فیزیولوژی دانشگاه بولونیا موقعی که سرگرم شرح خوردن می‌شد، از آزمایشگاهش بود، یک کبرا زنبق را در نخاع جانور قرار داد و متوجه شد که پس از برخورد ماهیچه با نخاع جانور با جفتی جراحی، خصوصاً وقتی قسمت بالای جانور با کبرا جاس پیدا کند، ماهیچه به مدت نامعین می‌شود و علت انقباض ماهیچه با نخاع نورانه از الکتریسیته‌ای بداندند که در بدن جانور موجود می‌آید. اما ولتا رجالات گالوانی عقیده داشت متأسس بدین این الکتریسیته از بدن جانور نیست و در نامعی به تاریخ ۱۸۰۰ میلادی درباره این توضیح داد که امروزه بیل ولتا خوانده می‌شود. بیل ولتا از تعدادی سلولهای تدریس می‌گردد. بطور کلی، به یک معنوی الکترولیت و روی درست شده است که به ترتیب روی هم چیده شده‌اند. این بیل یک منبع الکتریسیته بود که امروزه به نام باتری خشک مورد استفاده قرار می‌گیرد. اختراع ولتا راه ناره‌ای را در پیشرفت علم گشود و با استفاده از بیل ولتا، دانشمندان توانستند در صحت زمان کوپانی آنرا به دو عنصر آکسین و هیدروژن تجزیه کنند.



در نتیجه برخورد پرتوهای کیهانی با مولکول‌های هوا، الکترون‌هایی از این مولکول‌ها کنده می‌شوند. در نزدیکی سطح زمین، میدان الکتریکی با بزرگی 150 N/C و جهت رو به پایین وجود دارد. الف) اگر یکی از این الکترون‌ها، تحت تأثیر این میدان $5 \cdot 10^{-6} \text{ m}$ رو به بالا جابه‌جا شود، انرژی پتانسیل الکتریکی آن چقدر تغییر می‌کند؟ ب) اختلاف پتانسیل الکتریکی در نقطه‌ای که الکترون بین آنها جابه‌جا شده چقدر است؟

پاسخ: الف) با استفاده از رابطه ۸-۱ برای تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی الکترون داریم:

$$\Delta U_E = -W_E = -|q|Ed \cos \theta = -(1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C})(150 \text{ N/C})(5 \cdot 10^{-6} \text{ m}) \cos 0^\circ$$

$$= -1.2 \cdot 10^{-14} \text{ J}$$

ب) با استفاده از رابطه ۹-۱ برای اختلاف پتانسیل داریم:

$$\Delta V = \frac{\Delta U_E}{q} = \frac{-1.2 \cdot 10^{-14} \text{ J}}{-1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}} = 7.5 \cdot 10^4 \text{ V} = 75 \text{ kV}$$

تعریف ۹-۱

الف) نشان دهید در یک میدان الکتریکی یکنواخت، با حرکت در سوی خطوط میدان، بدون توجه به نوع بار، پتانسیل الکتریکی کاهش می‌یابد و بالعکس با حرکت در خلاف جهت خطوط میدان، بدون توجه به نوع بار، پتانسیل الکتریکی افزایش می‌یابد.
ب) نشان دهید در میدان الکتریکی یکنواخت، با حرکت در جهت عمود بر خطوط میدان، پتانسیل الکتریکی تغییر نمی‌کند.

سما یا انواع باتری‌ها که در وسیله‌های الکتریکی نظیر چراغ قوه یا گوشی تلفن همراه از آنها استفاده می‌شود (شکل ۲۵-۱) و نیز با باتری خودرو و آنتنایی دارید. باتری‌ها ولتاژهای متفاوتی دارند؛ مثلاً باتری خودروهای سواری معمولاً ۱۲ ولتی و باتری کامیون‌ها ۲۴ ولتی یا بیشترند. هر باتری دو پایانه دارد که یکی با مثبت و دیگری با منفی نشان داده می‌شود. بنا به قرارداد، اختلاف پتانسیل الکتریکی دو سر باتری برابر با پتانسیل پایانه مثبت منهای پتانسیل پایانه منفی است. اگر پتانسیل پایانه منفی را با V^- و پتانسیل پایانه مثبت را با V^+ نشان دهیم، داریم:

$$\Delta V = V^+ - V^-$$

بنابراین، وقتی می‌گویم باتری خودرو ۱۲ ولت است، یعنی پتانسیل پایانه مثبت به اندازه ۱۲ ولت از پتانسیل پایانه منفی آن بیشتر است؛ مثلاً اگر پتانسیل پایانه منفی را برابر با -47 فرض کنیم، پتانسیل پایانه مثبت برابر $+87$ خواهد شد. می‌توان پایانه منفی را مرجع پتانسیل در نظر گرفت؛ در این صورت، پتانسیل پایانه مثبت برابر $+127$ می‌شود. معمولاً (به خصوص در مهندسی برق) پتانسیل زمین یا نقطه‌ای از مدار را برابر صفر می‌گیرند و به آن نقطه، اصطلاحاً نقطه زمین می‌گویند و پتانسیل نقطه‌های دیگر را نسبت به آن می‌سنجند. نقطه زمین را در مدارهای الکتریکی با نماد \perp نشان می‌دهند.



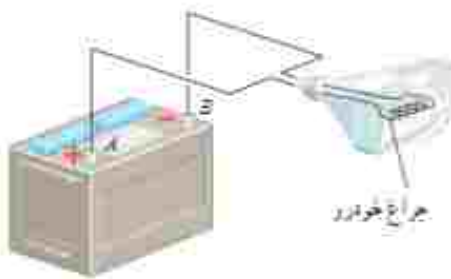
شکل ۲۵-۱ برخی از باتری‌های متداول



تمرین ۱۰-۱

اگر پایانه مثبت یک باتری ۱۲ ولتی را مرجع پتانسیل در نظر بگیریم، پتانسیل پایانه منفی آن چند ولت خواهد شد؟

مثال ۱۰-۱



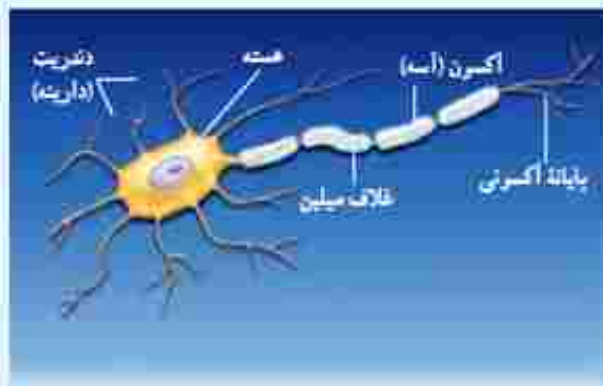
اختلاف پتانسیل الکتریکی پایانه های باتری خودروی نشان داده شده در شکل برابر 12.0V است. اگر بار الکتریکی 5.0C کولن از پایانه منفی به پایانه مثبت باتری جابه جا شود، انرژی پتانسیل الکتریکی آن چقدر تغییر می کند؟
پاسخ: با استفاده از رابطه ۱۰-۱ داریم:

$$\Delta V = \frac{\Delta U_{\text{el}}}{q}$$

$$\Delta U_{\text{el}} = q\Delta V = q(V_+ - V_-) = (5.0\text{C})(+12.0\text{V}) = 60\text{J}$$

بنابراین، انرژی پتانسیل الکتریکی این بار به اندازه 60J کاهش یافته است.

فعالیت ۱۰-۵



عمل مغز اساساً بر مبنای کنش ها و فعالیت های الکتریکی است. سیگنال های عصبی چیزی جز عبور جریان های الکتریکی نیست. مغز این سیگنال ها را دریافت می کند و اطلاعات به صورت سیگنال های الکتریکی در امتداد اعصاب گوناگون منتقل می شوند. هنگام انجام هر عمل خاصی، سیگنال های الکتریکی زیادی تولید می شوند. این سیگنال ها حاصل کنش الکتروشیمیایی در باخته های عصبی موسوم به نورون هستند. درباره چگونگی کار نورون ها تحقیق و به کلاس گزارش کنید.

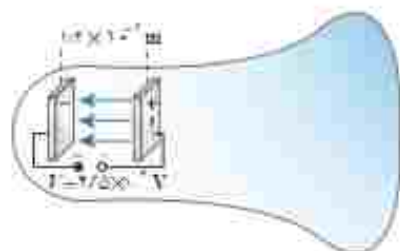
رابطه اختلاف پتانسیل دو نقطه و اندازه میدان الکتریکی یکنواخت: همان طور که پیش تر گفتیم اختلاف پتانسیل الکتریکی دو نقطه از میدان الکتریکی، مستقل از نوع و اندازه بار جابه جا شده بین دو نقطه است. برای اختلاف پتانسیل ΔV ی دو نقطه به فاصله d از یکدیگر، که خط واصل آنها هم راستا با میدان الکتریکی \vec{E} است، رابطه زیر برقرار است:

$$|\Delta V| = Ed$$

$$(10-1)$$

در این رابطه ΔV بر حسب ولت، E بر حسب نیوتون بر کولن، و d بر حسب متر است. بنابراین می توان نوشت: $1\text{N/C} = 1\text{V/m}$.

لامپ‌های تصویر تلویزیون‌ها و نمایشگرهای قدیمی، لامپ برنوم-کاندی (CRT) بودند. در این لامپ، الکترون‌ها در میدان الکتریکی یکنواخت بین دو صفحه باردار، مطابق شکل، شتاب می‌گیرند و با صفحه نمایشگر برخورد می‌کنند. اگر صفحه‌ها در فاصله $1/2 \times 10^{-2} \text{ m}$ از یکدیگر باشند و اختلاف پتانسیل بین آنها $2/5 \times 10^4 \text{ V}$ باشد، بزرگی میدان الکتریکی بین صفحه‌ها را تعیین کنید.

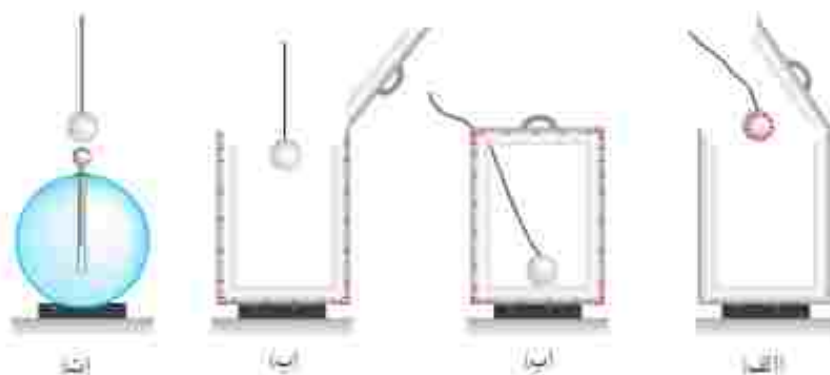


پاسخ: با استفاده از رابطه ۱-۱۱ داریم:

$$E = \frac{|\Delta V|}{d} = \frac{2/5 \times 10^4 \text{ V}}{1/2 \times 10^{-2} \text{ m}} = 2/0 \times 10^6 \text{ V/m} = 2/0 \text{ MV/m}$$

اسه توزیع بار الکتریکی در اجسام رسانا

جسم رسانایی را در نظر بگیرید. به نظر شما اگر باری اضافی به این جسم داده شود، چگونه در آن توزیع می‌شود؟ مایکل فاراد در سال ۱۸۳۶ میلادی با انجام آزمایشی به این سؤال پاسخ داد. آزمایش فاراد: ظرف رسانایی با درپوش فلزی را در نظر بگیرید که روی پایه نارسانایی قرار دارد و روی درپوش آن دسته‌ای عایق نصب شده است. ابتدا ظرف بدون بار است. یک گوی فلزی را که از نخ عایقی آویزان است باردار و سپس وارد ظرف می‌کنیم (شکل ۱-۲۶ الف). اکنون گوی را با تک طرف تماس می‌دهیم و سپس درپوش فلزی را می‌بندیم (شکل ۱-۲۶ ب). آن‌گاه درپوش فلزی را با دسته عایقی برمی‌داریم (شکل ۱-۲۶ ج). پس از خارج کردن گوی فلزی از ظرف، آن را به کلاهک الکتروسکوپ نزدیک می‌کنیم. مشاهده می‌شود عقربه الکتروسکوپ تکان نمی‌خورد (شکل ۱-۲۶ د). همچنین اگر ظرف را به الکتروسکوپ نزدیک کنیم، مشاهده می‌شود که عقربه‌های الکتروسکوپ از هم فاصله می‌گیرند. از این آزمایش نتیجه می‌گیریم که بار اضافی داده‌شده به یک رسانا روی سطح خارجی آن توزیع می‌شود.



شکل ۱-۲۶: طرح تصویری از آزمایش فاراد

خوب است بدانید بار در سطح خارجی رسانا به گونه‌ای توزیع می‌شود که میدان الکتریکی در داخل رسانا صفر شود. بدین‌الفاظ که در علوم هشتم با آن آشنا شدید ناشی از همین واقعیت است. مثلاً در شکل (۲۷-۱) جسم رسانای خنثایی در میدان الکتریکی خارجی میله باردار قرار گرفته است. وقتی یک رسانای خنثی را در یک میدان الکتریکی خارجی قرار می‌دهیم، بار ظوری روی سطح خارجی توزیع می‌شود (الفی می‌شود) که میدان الکتریکی ناشی از آن اثر میدان خارجی را درون رسانا خنثی کند و بدین ترتیب میدان الکتریکی خالص درون رسانا صفر شود.



شکل ۲۷-۱ نزدیک کردن میله باردار منفی به گوی فلزی خنثایی که روی پایه عایق قرار گرفته است. صوب ایجاد بارهای القایی مثبت و منفی در در طرف گوی فلزی می‌شود.

فعالیت ۱-۶



الف) یک شکل شخصی را داخل یک قفس توری فلزی می‌بینید که نوعی از قفس فاراد است. در مورد قفس فاراد و کاربردهایش تحقیق و به کلاس گزارش کنید.

ب) تحقیق کنید چرا معمولاً شخصی که در داخل اتومبیل یا هواپیماست از خطر آذرخش در امان می‌ماند.

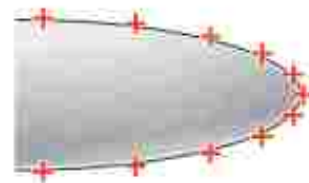
پ) با اعضای گروه خود آزمایش‌های دیگری را طراحی و اجرا کنید که نشان دهد بار اضافی داده شده به رسانا، روی سطح خارجی آن قرار می‌گیرد.

دیدیم که بار الکتریکی روی سطح خارجی رسانا توزیع می‌شود. برای اینکه در باید بار الکتریکی داده‌شده به یک رسانا چگونه روی سطح خارجی آن توزیع می‌شود آزمایش زیر را در نظر بگیرید که اسباب آن در شکل (۲۸-۱) نشان داده شده است. یک جسم رسانای دوکی شکل را روی پایه عایق قرار دهید و آن را با تماس با کلاهک مولد وان دوگراف باردار کنید. گلوله‌های فلزی را که به دسته‌ای عایقی متصل است با بخش بهن دوک تماس داده و سپس گلوله را به سر الکتروسکوپ تماس دهید. همین آزمایش را پس از خنثی کردن الکتروسکوپ و گوی فلزی با تماس با دستتان، با نوک تیز دوک انجام دهید. خواهید دید، انحراف صفحه‌های الکتروسکوپ یا نوک تیز دوک بیشتر از انحراف صفحه‌ها یا بخش بهن



شکل ۲۸-۱ اسباب آزمایش چگونه توزیع بار روی سطح خارجی یک جسم رسانای باردار.

آن است. آزمایش‌هایی از این دست نشان می‌دهد تراکم بار در نقاط تیز سطح جسم رسانای باردار از نقاط دیگر آن بیشتر است (شکل ۱-۲۹).



شکل ۱-۲۹ تراکم بار در نقاط تیزتر سطح یک جسم رسانای باردار بیشتر است

فعالیت ۱-۷



در مورد برفی گیرهای ساختمان تحقیق کنید و بررسی کنید آنها چگونه ساختمان‌ها را از گرفتگی آذرخس در ایمن نگه می‌دارند.

خوب است بدانید: تخلیه هاله‌ای

همان‌طور که دیدیم در قسمت‌های نوک تیز اجسام رسانای باردار، تراکم بار الکتریکی بیشتر است. با اسباب آزمایش فعالیت ۱-۴ می‌توان نشان داد که خطوط میدان الکتریکی در نقاط نوک تیز متراکم‌تر و در نتیجه میدان الکتریکی قوی‌تر است (شکل الف). اگر بزرگی این میدان از یک مقدار حدی فراتر برود، این میدان شدید می‌تواند الکترون‌ها را از مولکول‌های هوا بکند و به آنها شتاب دهد. برخورد این الکترون‌ها با مولکول‌های دیگر موجب برانگیختگی این مولکول‌ها می‌شود و در نتیجه نوری تولید می‌شود که قابل مشاهده است (شکل ب). هنگام وقوع این پدیده، جنبش مولکولی، دما، و فشار هوا در محل وقوع این پدیده زیاد می‌شود که این معمولاً همراه با صدای جلیز و لرز و هیس مانند‌ی است که در حین تخلیه‌های جرقه‌ای شنیده می‌شود. به این جرقه‌های الکتریکی که در نوک تیز اجسام رسانای بلند و نازک ایجاد می‌شود، تخلیه هاله‌ای یا آتس سنت المور گفته می‌شود.



ب) تخلیه هاله‌ای



الف) اسباب آزمایش فعالیت ۱-۴ به‌طوری‌که در آن الکترونها با یک صفحه تخت رسانا و یک رسانای درگی شکل جلیگترین شده‌اند. میدان الکتریکی در نقاط تیزتر جسم درگی شکل قوی‌تر است.

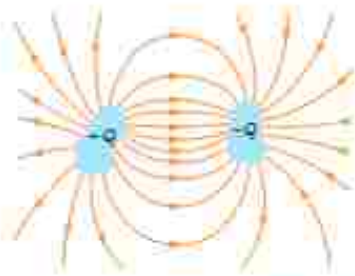
۱۰-۱ خازن



شکل ۳۰-۱ اثرزی فلش دوربین بر یک خازن ذخیره شده است

خازن وسیله‌ای الکتریکی است که می‌تواند بار و انرژی الکتریکی را در خود ذخیره کند؛ مثلاً باتری‌های یک دوربین با باردار کردن یک خازن، انرژی را در خازن فلاش دوربین ذخیره می‌کنند (شکل ۱-۳۰). باتری‌ها معمولاً می‌توانند انرژی را فقط با آهنگ نسبتاً کمی به مدار بدهند که این آهنگ برای گشیل نور از فلاش دوربین بسیار کم است، اما وقتی خازن باردار می‌شود، می‌تواند انرژی را با آهنگ بسیار زیادی برای فلاش زدن آماده کند.

شکل ۱-۳۱ چند خازن را در اندازه‌ها و شکل‌های مختلف نشان می‌دهد. شکل ۱-۳۲ اجزای اصلی یک خازن معمولی را نشان می‌دهد که شامل دو رسانا یا هر شکلی است. این رساناها را صفحه‌های خازن می‌نامیم.



شکل ۳۲-۱ اجزای اصلی یک خازن باردار



شکل ۳۱-۱ تصویری از چند خازن مختلف

شکل ۱-۳۳ آرایش خازنی موسوم به خازن تخت^۱ را نشان می‌دهد که شامل دو صفحه رسانایی موازی با مساحت A است که به فاصله d (که در برابر ابعاد صفحه‌ها ناچیز است) از هم قرار گرفته‌اند. گرچه نمادی که برای نشان دادن یک خازن به کار می‌بریم $\left(\begin{array}{|} \text{---} \\ \text{---} \end{array} \right)$ مبتنی بر شکل یک خازن تخت است، ولی از آن برای نشان دادن خازن‌ها یا هر شکلی استفاده می‌شود. خازن‌ها به‌طور گسترده‌ای در مدارهای الکتریکی و سبیلی مانند رایبو، تلویزیون، رایانه، گوشی همراه و... به کار می‌روند؛ مثلاً شکل ۱-۳۴ مدار یک تقویت‌کننده (آمپلی‌فایر) را نشان می‌دهد که در آن چندین خازن به کار رفته است. برخی از این خازن‌ها یا یکپارچه‌هایی مشخص شده‌اند.

باردار (شارژ) کردن خازن: روش ساده و مرسوم برای باردار کردن خازن قرار دادن آن در مدار الکتریکی ساده‌ای است که یک باتری دارد (شکل ۱-۳۵الف). وقتی کلید K بسته (وصل) شود بار از طریق سیم‌های رسانا جریان می‌یابد. این شارژ بار تا هنگامی ادامه پیدا می‌کند که اختلاف پتانسیل میان دو صفحه خازن با اختلاف پتانسیل میان دو پایانه باتری یکسان شود. وقتی یک خازن باردار می‌شود، صفحه‌های آن دارای بارهایی با بزرگی یکسان، ولی با علامت مخالف می‌شود؛ Q و $-Q$. با این حال، بار یک خازن را به صورت Q نشان می‌دهند که همان بار صفحه مثبت است. بین دو صفحه خازن باردار یک میدان الکتریکی ایجاد می‌شود که خطوط این میدان از صفحه مثبت به منفی است (شکل ۱-۳۵ب).

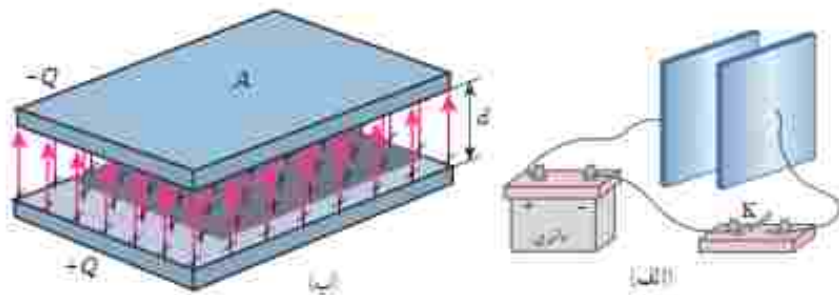


شکل ۳۳-۱ یک خازن تخت، از دو صفحه با مساحت برابر ساخته شده است که به فاصله d از هم قرار گرفته‌اند.



شکل ۳۴-۱ مدار یک تقویت‌کننده که شامل چند خازن است. برخی از خازن‌ها با یکپارچه مشخص شده‌اند.

^۱parallel-plate capacitor



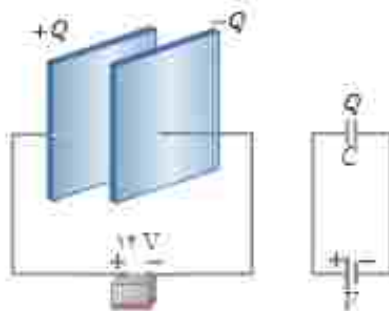
مثال ۱۳-۱: الف) یک روش برای باردار کردن خازن، اتصال صفحه‌های آن به یک باتری است. بنا بر صفحه‌های این خازن بارهایی هم اندازه و با علامت مخالف پیدا می‌کنند. میدان الکتریکی از صفحه مثبت به سمت صفحه منفی است.

ظرفیت خازن: اگر اختلاف پتانسیل بین صفحه‌های خازن (ΔV) را زیاد کنیم، بار خازن (Q) نیز به همان نسبت زیاد می‌شود. به عبارتی نسبت $\frac{Q}{\Delta V}$ همواره مقداری ثابت است که به این نسبت ثابت، ظرفیت خازن می‌گویند و آن را با C نشان می‌دهند. ظرفیت خازن به اندازه بار خازن و نیز اختلاف پتانسیل دو صفحه آن بستگی ندارد. عبارت ظرفیت الکتریکی را نخستین بار ولتا در تشابه با ظرفیت گرمایی به‌کار برد. بنا به دلایل تاریخی، قدر مطلق اختلاف پتانسیل ΔV بین دو صفحه خازن را با V نمایش می‌دهند. بنابراین:

$$C = \frac{Q}{V} \quad (۱۲-۱)$$

در رابطه ۱۲-۱ یکای بار الکتریکی، کولن (C)، یکای اختلاف پتانسیل، ولت (V) و بنابراین یکای ظرفیت، کولن بر ولت (C/V) می‌شود که به پاس خدمات مایکل فاراد، فاراد (F) نامیده شده است. فاراد یکای بسیار بزرگی است و عملاً ظرفیت اکثر خازن‌های متداول در محدودهٔ میکروفاراد ($10^{-6} F$) تا میلی‌فاراد ($10^{-3} F$) است. گرچه امروزه فناوری ساخت خازن‌ها، دستیابی به ظرفیت‌هایی بسیار بیشتر را نیز ممکن ساخته است.

مثال ۱۳-۱



صفحه‌های خازنی را مطابق شکل به پایانه‌های یک باتری با اختلاف پتانسیل ۱۲V وصل می‌کنیم. اگر بار خازن $24 \mu C$ شود، الف) ظرفیت خازن را محاسبه کنید. ب) اگر این خازن را به اختلاف پتانسیل ۳۶V وصل کنیم، بار الکتریکی آن چقدر می‌شود؟

پاسخ:

الف) با استفاده از رابطه ۱۲-۱ داریم:

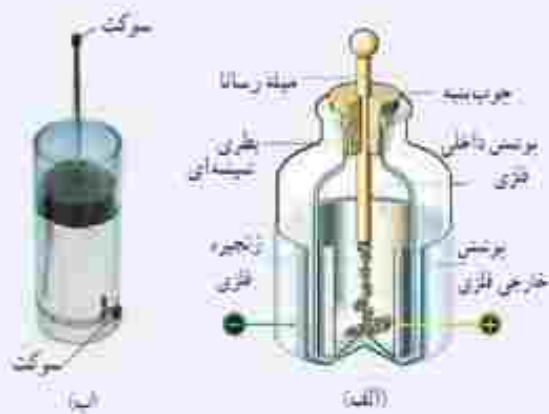
$$C = \frac{Q}{V} = \frac{24 \times 10^{-6} C}{12 V} = 2 \times 10^{-6} F = 2 \mu F$$

ب) با توجه به اینکه ظرفیت خازن همواره مقدار ثابتی است از ظرفیت به دست آمده در قسمت الف استفاده می‌کنیم. آنگاه با

استفاده از رابطه ۱۲-۱ می‌توان نوشت:

$$Q = CV = (2 \times 10^{-6} F)(36 V) = 72 \times 10^{-6} C = 72 \mu C$$

خوب است بدانید: بطری لیدن^۱



بطری لیدن، قدیمی‌ترین نوع خازن است که در مهانه سده هجدهم در شهر لیدن که امروزه در هلند واقع شده است، ساخته شد. در یک نوع ابتدایی، این خازن از یک بطری سببی ساخته شده است که سطح درونی و بیرونی آن با ورقه نازک قلع پوشیده شده است. ورقه درونی توسط سیم با زنجیری فلزی به میله فلزی ثابت داخل بطری اتصال دارد (شکل الف)، امروزه برای باردار کردن بطری لیدن، روی بدنه فلزی و سر میله فلزی سوکت (جای قیچی‌هایی نصب شده است (شکل ب) که از طریق آنها، خازن توسط قطب‌های یک مولد ولتاژ بالا مانند مولد وان دوگراف با مولد نیم جریست^۲ باردار می‌شود. ظرفیت یک بطری لیدن با اندازه متوسط از مرتبه ۱۱۱F است. آزمایش با بطری لیدن خطرناک است و باید تحت نظارت مربی یا دیر محترم انجام شود.

ظرفیت خازن تخت^۱ آزمایش و محاسبه نشان می‌دهد که ظرفیت یک خازن تخت با مساحت صفحه‌های A₁ و فاصله جمالی صفحه‌های t₁ از رابطه زیر به دست می‌آید:

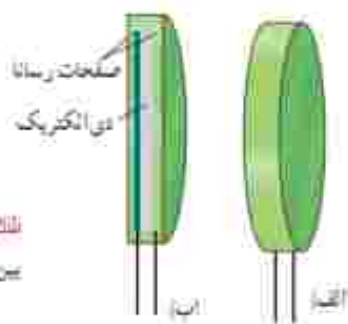
$$C = \epsilon \frac{A_1}{d_1} \quad (۱۳-۱)$$

که در آن ϵ همان ضریب گذردهی الکتریکی خلأ ($\epsilon = 8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$) است. مسألی کاربردی از این رابطه، میکروفون خازنی است که بر اثر تغییر ظرفیت یک خازن تخت سیگنال الکتریکی ایجاد می‌کند (شکل ۱-۳۶).

حال اگر فضای میان صفحه‌های یک خازن را با ماده‌ای عایق (مانند کاغذ یا پلاستیک) که به آن دی الکتریک گفته می‌شود پر کنیم (شکل ۱-۳۷). برای ظرفیت خازن چه نیس می‌آید؟ مایکل فاراد^۳ نخستین بار در سال ۱۸۳۷ میلادی، با استفاده از وسایل ساده‌ای دریافت که ظرفیت خازن یا ضریبی موسوم به ثابت دی الکتریک ماده عایق (که آن را با ϵ نشان می‌دهند) افزایش می‌یابد؛ یعنی اگر ظرفیت



شکل ۱-۳۶ در یک میکروفون خازنی، با ارتعاش صفحه متحرک دیالگرام خازن بر اثر صدا، فاصله صفحه‌های خازن تغییر می‌کند. بنابراین ظرفیت خازن تخت تغییر می‌کند که به ایجاد یک سیگنال الکتریکی می‌انجامد.



شکل ۱-۳۷ القا بیرون و بیرون یک خازن که بین صفحه‌های فلزی آن لایه عایقی قرار گرفته است.

^۱ Leyden jar

^۲ Wimshurst Machine

^۳ از خروف الفیابی برنارزی که گمان می‌شود که

جدول ۳-۱- ثابت دی الکتریک
برخی عایق‌ها در دمای 20°C

ماده دی الکتریک	ثابت دی الکتریک
هوای ۱atm	۱/۰۰۰۶
نئون	۲/۱
پارافین	۲/۲
پولاستیرون	۲/۶
میلار	۳/۱
پروپیلن	۲/۲
کاغذ	۲/۵
کوارتز	۴/۳
سینت پترلیس	۵
سیکا	۷
آب خالص	۸۰
سینتد استرانسپوه	۳۱۰

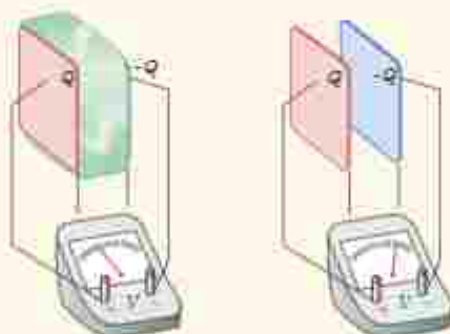
خازن بدون دی الکتریک را با C نمایش دهیم، آن‌گاه ظرفیت خازن با دی الکتریک برابر است با

$$C = \kappa C \quad (۱۴-۱)$$

جدول ۳-۱- ثابت دی الکتریک چند ماده عایق را تسلان می‌دهد.

پروژه ۸-۱

در شکل زیر صفحه‌های باردار یک خازن تخت را که بین آنها هواست، به ولت‌سنج وصل می‌کنیم. با وارد کردن دی الکتریک در بین صفحه‌ها، اختلاف پتانسیل دو صفحه کاهش می‌یابد، علت آن را توضیح دهید (توجه کنید که این آزمایش با بیشتر ولت‌سنج‌های معمولی و رایج ممکن نیست).



مثال ۱۴-۱

برخی از صفحه‌کلیدهای رایانه (شکل الف) بر مبنای تغییر ظرفیت خازن عمل می‌کنند. هر کلید این صفحه به یک سر پایه‌ای نصب شده است که سر دیگر آن به یک صفحه فلزی متحرک متصل است. این صفحه فلزی خود توسط یک دی الکتریک انعطاف‌پذیر از صفحه فلزی ثابتی جدا شده است و در واقع این دو صفحه یک خازن تخت را تشکیل می‌دهند (شکل ب). با فشار دادن کلید، صفحه متحرک به صفحه ثابت نزدیک می‌شود و ظرفیت خازن افزایش می‌یابد. این تغییر ظرفیت به صورت سیگنالی الکتریکی توسط مدارهای الکترونیکی رایانه آشکار می‌شود و بدین ترتیب، مشخص می‌شود که کدام کلید فشار داده شده است.

فاصله بین صفحه‌ها عموماً $5 \times 10^{-2} \text{m}$ است که این فاصله با فشار دادن کلید به $1 \times 10^{-3} \text{m}$ می‌رسد. مساحت صفحه‌ها $9 \times 10^{-4} \text{m}^2$ است و خازن از ماده‌ای با ثابت دی الکتریک $3/5$ برنده است. تغییر ظرفیتی که با فشار دادن کلید، توسط مدارهای الکترونیکی رایانه آشکار می‌شود چقدر است؟



الف)



ب)

پاسخ: با استفاده از رابطه‌های ۱۳-۱ و ۱۴-۱ ظرفیت خازن بیش از فشار دادن کلید برابر است با

$$C = \kappa \epsilon_0 \frac{A}{d} = 3/5 \cdot (8/85 \times 10^{-12} \text{ F/m}) \frac{(9/5 \times 10^{-2} \text{ m}^2)}{(5/0 \times 10^{-3} \text{ m})}$$

$$= 0/589 \times 10^{-11} \text{ F} = 0/589 \text{ pF}$$

بسی از فشرده شدن کلید، فاصله بین صفحه‌ها به $0/150 \times 10^{-3} \text{ m}$ می‌رسد و با محاسبه‌ای مشابه به

$C = 19/6 \times 10^{-11} \text{ F} = 19/6 \text{ pF}$ می‌رسیم. بنابراین، تغییر ظرفیت خازن که به صورت سیگنالی آشکار می‌شود از تفاضل دو

مقدار بالا به دست می‌آید:

$$\Delta C \approx 19/6 \text{ pF} - 0/589 \text{ pF} \approx 19/0 \text{ pF}$$

فعالیت ۸-۱



در حسگر کیسه هوای برخی از خودروها از یک خازن استفاده می‌شود. دربارهٔ چگونگی عملکرد این حسگرها تحقیق کنید و نتیجه آن را به کلاس گزارش دهید.

فروریزش الکتریکی: از دیگر حضور دی الکتریک‌ها در خازن، افزایش حداکثر ولتاژ قابل تحمل خازن است. اگر اختلاف پتانسیل دو صفحه یک خازن را به اندازه کافی زیاد کنیم، تعدادی از الکترون‌های اتم‌های ماده دی الکتریک، توسط میدان الکتریکی ایجادشده بین دو صفحه، کنده می‌شوند و مسیرهایی رسانا درون دی الکتریک ایجاد می‌شود (شکل ۳۸-۱) که سبب تخلیه خازن می‌گردد. به این پدیده **فروریزش الکتریکی** ماده دی الکتریک می‌گویند. فروریزش الکتریکی در عایق بین دو صفحه خازن‌ها معمولاً، با ایجاد یک جرقه همراه است و در بیشتر مواقع خازن را می‌سوزاند. خازن‌ها معمولاً با مقدار ظرفیت آنها و اختلاف پتانسیل بینشده‌ای که می‌توانند تحمل کنند مشخص می‌شوند (شکل ۳۹-۱).

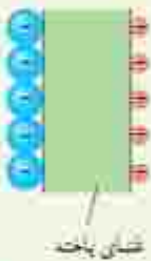


شکل ۳۸-۱ قطره‌های لیچترگ، فروریزش الکتریکی باعث تشکیل مسیرهای رسانا سرخس تنگی در دی الکتریک شده است.



شکل ۳۹-۱ تصویری از یک خازن که روی آن ظرفیت و اختلاف پتانسیل بینشده قابل تحمل نوشته شده است.

تمرین ۱۱-۱

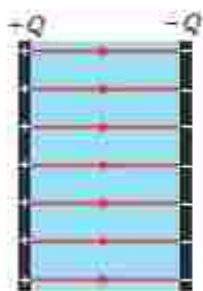


یک ساختهٔ عصبی (نورون) را می‌توان با یک خازن تخت عمل‌سازی کرد. به طوری که غشای سلول به عنوان دی الکتریک و یون‌های باردار یا غلات مخالف که در دو طرف غشا هستند به عنوان بارهای روی صفحه‌های خازن عمل کنند (شکل روبه‌رو). ظرفیت یک سلول عصبی و تعداد یون‌های لازم (بافرض آنکه هر یون یک بار بونیده باشد)، برای آنکه یک اختلاف پتانسیل $85mV$ ایجاد شود چقدر است؟ فرض کنید غشا دارای ثابت دی الکتریک $\epsilon_r = 4$ ، ضخامت $10^{-8}m$ و مساحت سطح $10^{-10}m^2$ است.

فعالیت ۹-۱

خازن‌ها انواع متعددی دارند؛ زیرا برای کاربردهای مختلفی طراحی و ساخته می‌شوند. دربارهٔ خازن‌های مختلف مانند خازن‌های ورقه‌ای، میکا، سرامیکی، الکترولیتی، خازن‌های متغیر، آبرخازن‌ها و ظرفیت آنها تحقیق کنید. هر گروه می‌تواند روی یک نوع خازن تحقیق کند.

۱۱-۱ انرژی خازن



وقتی صفحه‌های خازن دارای بار الکتریکی می‌شوند در خازن انرژی ذخیره می‌شود. برای اینکه انرژی ذخیره شده در خازن را مشاهده کنیم، کافی است دو سر یک خازن برشده را به دو سر یک لامپ کوچک وصل کنیم. به شرط آنکه ظرفیت و اختلاف پتانسیل خازن به اندازهٔ کافی زیاد باشد، لامپ برای مدتی روشن و سپس خاموش می‌شود.

این انرژی به صورت انرژی پتانسیل الکتریکی در میدان الکتریکی فضای بین صفحه‌های خازن ذخیره می‌شود (شکل ۱۱-۱). می‌توان نشان داد انرژی پتانسیل ذخیره شده در خازن برابر است با

$$U_{\text{خازن}} = \frac{1}{2} QV = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} \quad (11-1)$$

شکل ۱۱-۱ انرژی در میدان الکتریکی بین صفحات خازن ذخیره می‌شود.

که در آن انرژی پتانسیل الکتریکی خازن ($U_{\text{خازن}}$) بر حسب ژول (J)، بار خازن (Q) بر حسب کولن (C)، اختلاف پتانسیل دو صفحه خازن (V) بر حسب ولت (V) و ظرفیت خازن (C) بر حسب فاراد (F) است.

مثال ۱۱-۱



مداریک فلاش عکاسی، انرژی را با ولتاژ $7-33V$ در یک خازن $66 \mu F$ ذخیره می‌کند. الف) چه مقدار انرژی الکتریکی در این خازن ذخیره می‌شود؟ ب) اگر تقریباً همهٔ این انرژی در مدت $1/10 ms$ آزاد شود، توان متوسط خروجی فلاش چقدر است؟

پاسخ: با توجه به رابطه ۱۵-۱ داریم

$$U = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} (660 \times 10^{-6} \text{F}) (220 \text{V})^2 = 35.9 \text{J}$$

با توجه به تعریف توان داریم:

$$P_{\text{avg}} = \frac{U}{t} = \frac{35.9 \text{J}}{1/10 \times 10^{-2} \text{s}} = 3.6 \times 10^4 \text{J/s} = 36 \text{kW}$$

که این در تأیید گفته ای است که در ابتدای بخش ۱۵-۱ در مورد خازن بیان کردیم و گفتم یک خازن باردار می تواند انرژی را با آهنگ بسیار بیشتری از یک باتری برای فلاش دوربین مهیا کند.

مثال ۱۶-۱: دستگاه رفع لرزش نامنظم قلب (دیفیبریلاتور)



توانایی خازن برای ذخیره انرژی پتانسیل الکتریکی، اساس کار دستگاه های رفع لرزشی است که برای توقف لرزش بطنی افراد دچار حمله قلبی به کار می رود. در این بیماری، انقباضات ناقص ناهماهنگ قلب باعث می شود خون به درستی به مغز فرستاده نشود. در این دستگاه یک باتری، خازنی را با اختلاف پتانسیل حدود 6 kV باردار می کند. صفحه های رابط (گفتگوشک ها) روی قفسه سینه بیمار قرار داده می شوند و خازن بخشی از انرژی ذخیره شده خود را از طریق گفتگوشک ها به بدن بیمار منتقل می کند. هدف از این کار این است که قلب به طور موقت از کار بیفتد و پس از آن با آهنگ منظم و طبیعی خود به کار افتد.

اگر ظرفیت خازن این دستگاه $11 \mu\text{F}$ باشد و با ولتاژ $6 \times 10^4 \text{ kV}$ شارژ شود و سپس تمام انرژی آن از طریق گفتگوشک ها به درون بدن بیمار تخلیه شود.

الف) جقدر انرژی در بدن بیمار تخلیه شده است؟ ب) چه مقدار بار الکتریکی از بدن بیمار عبور کرده است؟ ب) اگر تخلیه انرژی تقریباً در مدت $2/10 \text{ ms}$ صورت پذیرفته باشد این انرژی با چه توان متوسطی در بدن بیمار تخلیه شده است؟

پاسخ: الف) انرژی ذخیره شده در خازن با استفاده از رابطه ۱۵-۱ به دست می آید:

$$U = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} (11 \times 10^{-6} \text{F}) (6 \times 10^4 \text{V})^2 = 198 \text{J}$$

که با توجه به فرض مسئله این همان انرژی تخلیه شده در بدن بیمار است.

ب) بار اولیه روی صفحات خازن برابر است با

$$Q = CV \Rightarrow Q = (11 \times 10^{-6} \text{F}) (6 \times 10^4 \text{V}) = 6.6 \times 10^{-1} \text{C}$$

با توجه به فرض مسئله، این همان باری است که از بدن بیمار عبور کرده است.

ب) توان متوسط انرژی تخلیه شده در بدن بیمار برابر است با

$$P_{\text{av}} = \frac{U}{t} = \frac{198 \text{J}}{2/10 \times 10^{-3} \text{s}} = 99 \text{ kW}$$

اولین نشانه جگونگی تولید الکتریسته در اواخر قرن هجدهم میلادی را به دانشمند ایتالیایی، لویجی گالوانی نسبت می‌دهند. گالوانی با یک مشاهده معمولی، ولی کاملاً اتفاقی به پدیده الکتریسته جاری در مقابل الکتریسته ساکن، پی برد. هموطن وی الکساندر ولتا دستگاهی بر اساس تجربه گالوانی اختراع کرد که در تاریخ به عنوان اولین باتری الکتریکی ثبت گردید و پیل ولتا لقب گرفت و از آن پس به عنوان منبع الکتریسته به کار گرفته شد.

پس از یک قرن پس از اختراع ولتا، کشف یک ظرف کوچک در نزدیکی بغداد در سال ۱۹۳۶ میلادی، این احتمال را قوت بخشید که ولتا اولین مخترع باتری نبوده بلکه آن را مجدداً اختراع کرده است. استخراج این ظرف به همراه سایر یافته‌های باستانی موجب شد تا وللهلم کوئیگ^۱ باستان‌شناس اتریشی، فرضیه جسورانه‌ای را مبنی بر ساخت باتری در دوره اشکانیان، در سال ۱۹۳۸ ارائه نماید.

این باتری شامل ظرف سفالی کوچک، با ارتفاع ۱۴ و قطر ۸ سانتی‌متر، و یک استوانه مسی و یک میله آهنی یاریک بود که در نزدیکی شهر نیسئون کشف شد. از آنجایی که این محدوده، یک منطقه مسکونی اشکانی در دوره اشکانیان بوده است، باستان‌شناسان این یافته را متعلق به دوران امپراطوری اشکانیان دانسته و این باتری، باتری اشکالی یا باتری بغداد، نامیده شد.

درجه تنگ و توخالی این ظرف سفالی، با درپوشی از جنس قهر پوشیده شده بود و استوانه‌ای که از جنس مس به شکلی لوله درآمده بود، در پایین به یک صفحه مسی متصل شده و با قیر در مکان خود محکم شده و میله آهنی کاملاً زنگ زده بود.

برخی از باستان‌شناسان مانند وللهلم کوئیگ معتقد بودند که آنها اجزای یک باتری الکتریکی هستند و چنین استنتاج نمودند که اگر تعدادی از آنها به هم متصل شوند، توان الکتریکی کافی برای آبیاری لایه‌های طلا روی السیای فلزی را دارند. این آبیاری به منظور ارتقای کیفی و افزایش بهای آنها انجام می‌شده است.

هنگامی که مدلی از این باتری، با سولفات مس، سرکه و یا حتی آب گریب فروت ترنس به عنوان محلول الکترولیت برسد، مشاهده شد که این مجموعه می‌تواند اختلاف پتانسیل مناسبی تولید کند و بر اساس این مشاهدات نظرات متنوعی مطرح شد. البته همه دانشمندان با کاربرد این یافته باستانی به عنوان یک منبع تغذیه که زرگران اشکانی برای آبیاری طلا از آن استفاده می‌کردند، موافق نبودند. برخی از آنها اعتقاد داشته و دارند که احتمالاً این باتری، یک منبع آماده الکتریکی و با وسیله‌ای مشابه برای دادن شوک الکتریکی به بیماران بوده است.

پس از کشف این یافته‌های باستانی، تا امروز، دانشمندان زیادی تحقیقات گسترده‌ای روی انواع مدل‌های شبیه‌سازی شده از آن، جهت تأیید و یا رد فرضیه کوئیگ انجام داده‌اند.

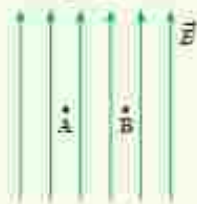


۱- Wilhelm Koellig

۴-ا، ۵-ا و ۶-ا میدان الکتریکی، میدان الکتریکی حاصل

از یک ذره باردار و خطوط میدان الکتریکی

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



۸ هسته اتم آهن شعاعی در حدود $4/0 \times 10^{-14} \text{ m}$ دارد و تعداد پروتون‌های آن ۲۶ عدد است. الف) بزرگی نیروی دافعه بین دو پروتون این هسته که به فاصله $4/0 \times 10^{-14} \text{ m}$ از هم قرار دارند چقدر است؟ ب) اندازة میدان الکتریکی ناشی از هسته در فاصله $1/0 \times 10^{-14} \text{ m}$ از مرکز هسته چقدر است؟

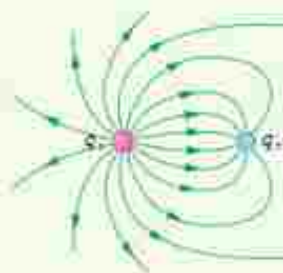
۹ شکل زیر، دو ذره باردار را نشان می‌دهد که در جای خود روی محور x ثابت شده‌اند. بارها در فاصله یکسان از مبدأ مختصات (نقطه O) قرار دارند.

الف) در کجای این محور (غیر از بی‌نهایت) نقطه‌ای وجود دارد که در آنجا میدان الکتریکی برابر با صفر است؟ ب) بزرگی و جهت میدان الکتریکی برآیند در مبدأ مختصات را بیابید.



۱۰ در یک میدان الکتریکی یکساخت به بزرگی $5/0 \times 10^{-6} \text{ N/C}$ که جهت آن قائم و رو به پایین است، ذره بارداری به جرم $2/0 \text{ g}$ متعلق و به حال سکون قرار دارد. اگر $1/0 \text{ N/kg}$ باشد، اندازة و نوع بار الکتریکی ذره را مشخص کنید.

۱۱ خطوط میدان الکتریکی برای دو گزرة رسانائی باردار کوچک در شکل زیر نشان داده شده است. نوع بار هر گزرة را تعیین کرده و اندازة آنها را مقایسه کنید.



۱۲ بار الکتریکی، بایستگی و کوانتیده بودن بار

۱ یک میله پلاستیکی را با پارچه پشمی مالش می‌دهیم. پس از مالش، بار الکتریکی میله پلاستیکی $12/8 \text{ nC}$ می‌شود. الف) بار الکتریکی ایجاد شده در پارچه پشمی چقدر است؟ ب) تعداد الکترون‌های منتقل شده از پارچه پشمی به میله پلاستیکی را محاسبه کنید.

۲ الف) بار الکتریکی اتم و هسته اتم کربن (^{12}C) چند کولن است؟ ب) بار الکتریکی اتم کربن یک بار یونیده (C^-) چقدر است؟

۳-۱ قانون کولن

۲ دو گوی رسانا، کوچک و یکسان به بارهای $q_1 = 4/0 \text{ nC}$ و $q_2 = -6/0 \text{ nC}$ را با هم تماس می‌دهیم و سپس تا فاصله $r = 3/0 \text{ cm}$ از هم دور می‌کنیم. نیروی برهم کنش الکتریکی بین دو گوی را محاسبه کنید. این نیرو راستی است یا چپسای؟

۳ سه ذره باردار q_1 ، q_2 و q_3 مطابق شکل در سه رأس مربعی به ضلع 3 m ثابت شده‌اند. اگر $q_1 = q_2 = -5 \mu\text{C}$ و $q_3 = +12 \mu\text{C}$ باشد، نیروی خالص الکتریکی وارد بر بار q_1 را بر حسب بردارهای یکته \hat{i} و \hat{j} تعیین کنید.



۵ بارهای الکتریکی نقطه‌ای $q_1 = -2/0 \text{ nC}$ ، $q_2 = +5/0 \text{ nC}$ و $q_3 = -4/0 \text{ nC}$ مطابق شکل، در جای خود ثابت شده‌اند. نیروی خالص الکتریکی وارد بر هر یک از بارهای q_1 و q_2 را محاسبه کنید.

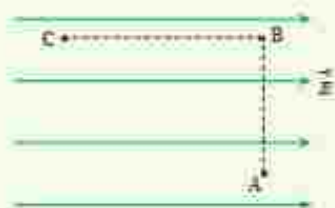


۶ در شکل رویه‌رو، دو گوی مشابه به جرم $2/0 \text{ g}$ و بار یکسان مثبت q در فاصله $1/0 \text{ cm}$ از هم قرار دارند. به طوری که گوی پایینی به حالت معلق مانده است.

الف) اندازة بار q را به دست آورید. ب) تعداد الکترون‌های گندیده از هر گوی چقدر است؟



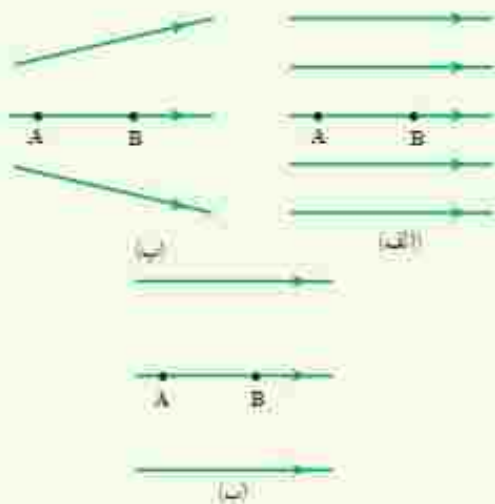
الف) نیروی الکتریکی وارد بر بار q ،
 ب) کاری که نیروی الکتریکی در این جابه‌جایی انجام می‌دهد،
 ج) تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی بار q در این جابه‌جایی.



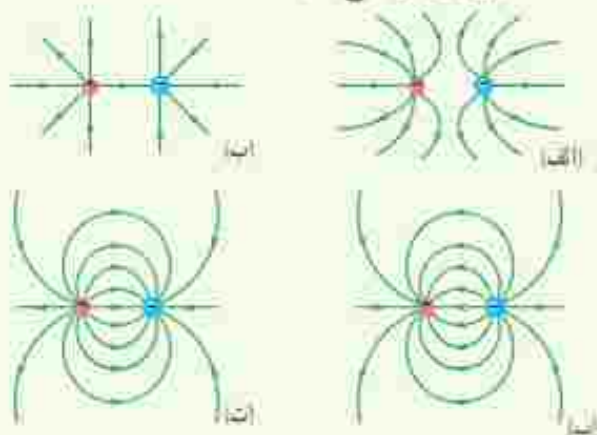
د) در شکل زیر ذره باردار مثبت و کوچککی را از نقطه A به سمت کره باردار که روی پایه عایقی قرار دارد، نزدیک می‌کنیم و در نقطه B قرار می‌دهیم. الف) در این جابه‌جایی، کار نیروی الکتریکی مثبت است یا منفی؟ ب) انرژی پتانسیل ذره باردار در این جابه‌جایی چگونه تغییر می‌کند؟ ج) پتانسیل نقطه‌های A و B را با هم مقایسه کنید.



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



ز) در شکل‌های زیر، اندازه دو بار، یکسان ولی علامت آنها مخالف هم است. کدام آرایش‌های خطوط میدان نادرست است؟ دلیل آن را توضیح دهید.



ح) دو بار الکتریکی نقطه‌ای غیرهمنام $q_1 = +1 \mu\text{C}$ و $q_2 = -1 \mu\text{C}$ مطابق شکل زیر به فاصله 6 cm از یکدیگر قرار دارند.

الف) جهت و اندازه میدان الکتریکی را در نقطه‌های O و A به دست آورید.
 ب) آیا بر روی محور، نقطه‌ای وجود دارد که میدان خالص در آن صفر شود؟



ط) بادکنک باردار شکل زیر را به آب نزدیک کرده‌ام. توضیح دهید چرا آب به‌جای اینکه به‌طور قائم فرویزد، خمیدگی می‌شود؟



ث) ا- انرژی پتانسیل الکتریکی و ب- پتانسیل الکتریکی

ج) مطابق شکل زیر، بار $q = +2 \mu\text{C}$ را در میدان الکتریکی یکتراخت $N = 10^6 \text{ N/C}$ نخست از نقطه A تا نقطه B و سپس تا نقطه C جابه‌جا می‌کنیم. اگر $AB = 0.1 \text{ m}$ و $BC = 0.14 \text{ m}$ باشد، مطلوب است:

۱۲ ظرفیت یک خازن تخت با فاصله صفحات 1-mm که بین صفحه‌های آن هوا قرار دارد، برابر $1/0.4$ است. مساحت صفحه‌های این خازن چقدر است؟ از این مسئله چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

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

الف) میدان الکتریکی میان صفحه‌ها نصف می‌شود.

ب) اختلاف پتانسیل میان صفحه‌ها نصف می‌شود.

ج) ظرفیت خازن دو برابر می‌شود.

د) بار روی صفحه‌ها تغییر نمی‌کند.

۱۴ مساحت هر یک از صفحه‌های خازن تختی، $1/00\text{ m}^2$ و فاصله دو صفحه از هم، $5/00\text{ mm}$ است. عایقی یا ثابت دی‌الکتریک $2/9$ بین دو صفحه قرار داده شده است. ظرفیت خازن را تعیین کنید.

۱۱- انرژی خازن

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

۱۶ ظرفیت خازن تختی 2-nF و بار الکتریکی آن 180-nC است.

الف) انرژی ذخیره‌شده در این خازن چقدر است؟

ب) بین صفحات خازن هواست. خازن را از باتری جدا و فاصله بین صفحه‌های آن را دو برابر می‌کنیم. انرژی ذخیره‌شده در خازن چقدر افزایش می‌یابد؟

۱۷ دو صفحه رسانا با فاصله $2/00\text{ cm}$ را موازی یکدیگر قرار می‌دهیم و آنها را به اختلاف پتانسیل 100-V وصل می‌کنیم. در نتیجه، یکی از صفحه‌ها به‌طور منفی و دیگری به‌طور مثبت باردار می‌شوند و میان دو صفحه میدان الکتریکی یکنواختی به‌وجود می‌آید. اندازه این میدان الکتریکی را حساب کنید و با توجه به جهت خطوط میدان الکتریکی در فضای بین دو صفحه توضیح دهید که کدام یک از دو صفحه پتانسیل الکتریکی بیشتری دارند.

۱۸ بار الکتریکی $q = -2\text{-nC}$ از نقطه‌ای با پتانسیل الکتریکی $V_1 = -40\text{-V}$ تا نقطه‌ای با پتانسیل $V_2 = -10\text{-V}$ آزادانه جابه‌جا می‌شود. الف) انرژی پتانسیل الکتریکی بار q چه اندازه و چگونه تغییر می‌کند؟ ب) با توجه به قانون پایستگی انرژی، در مورد چگونگی تبدیل انرژی بار q در این جابه‌جایی توضیح دهید.

۹- توزیع بار الکتریکی در اجسام رسانا

۱۹ یک کره فلزی بدون بار الکتریکی را که روی پایه تارسانایی قرار دارد، به آونگ الکتریکی باردار نزدیک می‌کنیم. با ذکر دلیل توضیح دهید که چه اتفاقی می‌افتد.



۱۰- خازن

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

ب) اختلاف پتانسیل میان صفحه‌های آن سه برابر شود.

۲۱ اختلاف پتانسیل بین دو صفحه یک خازن را از 28-V به 40-V افزایش می‌دهیم. اگر با این کار 15-nC بار ذخیره‌شده در خازن افزوده شود، ظرفیت خازن را حساب کنید.

جریان الکتریکی و مدارهای جریان مستقیم



پژوهش‌های زیادی دربارهٔ بهبود کیفیت باتری خودروهای الکتریکی و میزبندی (که در آنها از مولودهای درون سبیل بلژیکی و الکتریکی با هم استفاده می‌شود) در حال انجام است. یک نوع از این باتری‌ها، باتری لیتیومی است که یکی از قطب‌های آن لیتیوم و قطب دیگر آن کربن است. مسافتی که یک خودروی الکتریکی با هر بار شارژ شدن طی می‌کند، عامل مهمی است. برخلاف خودروهای بنزینی که سوخت‌گیری آنها چند دقیقه‌ای بیشتر طول نمی‌کشد، شارژ کردن باتری این خودروها به چند ساعت زمان نیاز دارد. از همین رو دانشمندان در تلاش‌اند زمان شارژ این باتری‌ها را کاهش دهند. یکی از این راه‌ها استفاده از منابع‌های نوری متمرکز است که از آبر فائزها استفاده می‌کند. با استفاده از این فناوری ممکن است بتوان خودروهای الکتریکی را در مدت کوتاهی شارژ کرد.

در فصل پیش با بار و میدان الکتریکی و همچنین اختلاف پتانسیل بین دو نقطه در میدان الکتریکی آشنا شدیم و به بررسی برهم کنش بارهای الکتریکی در حالت سکون پرداختیم. در این فصل به بررسی و مطالعه جریان الکتریکی و مدارهای جریان مستقیم می‌پردازیم.

مثال‌های فراوانی می‌توان از کاربردهای جریان الکتریکی ارائه کرد؛ مثلاً انرژی مورد نیاز صفحه نمایشگر تلفن همراه توسط یک باتری تأمین می‌شود. انرژی الکتریکی از طریق مسیرهای رسانایی که در آنها بارهای الکتریکی در جریان‌اند به نمایشگر تلفن همراه می‌رسد (شکل ۱-۲). همچنین مهندسان برق با دستگاه‌های الکتریکی زیادی از قبیل مولدهای برق و دستگاه‌های ذخیره اطلاعات سروکار دارند و مهندسان مخابرات نگران اختلالات ناشی از فوران‌های خورشیدی (شکل ۲-۲) هستند. فیزیک‌دانان و مهندسان یونسی نیز با جریان‌های الکتریکی در رشته‌های عصبی سروکار دارند.



شکل ۲-۲ فوران عظیمی از الکترون‌ها و یون‌ها که از سطح خورشید برتاب می‌شوند.



شکل ۱-۲ انرژی از باتری به صفحه نمایشگر تلفن. از طریق سیم‌های رسانایی که در آنها بارهای الکتریکی در جریان‌اند منتقل می‌شود.



شکل ۲-۲ بارهای مثبت از سطح مقطع A می‌گذرند و جریان I را ایجاد می‌کنند.



شکل ۲-۳ در سیم اختلاف پتانسیل، شارش بار خالص از مقطع معین A سیم نداریم.

اکنون با این بررسی شروع می‌کنیم که چرا هر مجموعه‌ای از بارهای متحرک لزوماً جریان الکتریکی ایجاد نمی‌کنند؟ در واقع برای اینکه جریان الکتریکی داشته باشیم، باید یک انتقال خالص بار از یک سطح مقطع معین رخ دهد (شکل ۲-۳) که به این منظور نیاز به ایزاری مانند باتری داریم تا با ایجاد یک میدان الکتریکی، بارها را در جهت معینی به حرکت درآورد.

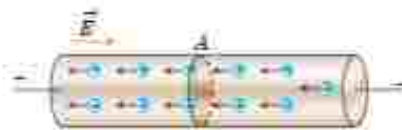
۱-۲ جریان الکتریکی

جریان الکتریکی ناشی از شارش بارهای متحرک است، ولی همه بارهای متحرک، جریان ایجاد نمی‌کنند. برای داشتن جریان الکتریکی باید یک شارش خالص بار از یک سطح مقطع معین داشته باشیم. به این منظور سیمی فلزی را در نظر بگیرید. الکترون‌های آزاد در طول این سیم با تندی‌هایی از مرتبه 10^6 m/s در حرکت‌اند، ولی این حرکت به‌طور کاتوره‌ای در همه جهت‌هاست. بنابراین، هیچ شارش خالص باری از مقطعی معین نداریم (شکل ۲-۳). ولی اگر این سیم را در **مداری الکتریکی** مانند شکل ۲-۴ قرار دهیم، اختلاف پتانسیلی در دو سر سیم و میدانی الکتریکی درون آن ایجاد می‌شود و باعث حرکت الکترون‌های آزاد در سیم و ایجاد جریان می‌شود (شکل ۲-۴). به طوری که می‌تواند لامپ مدار ۲-۴ را روشن کند. در واقع وقتی میدان الکتریکی درون فلز ایجاد می‌شود، الکترون‌ها حرکت کاتوره‌ای خود را کمی تغییر می‌دهند و با سرعتی متوسط موسوم به **سرعت سوق** در خلاف جهت میدان به‌طور بسیار آهسته‌ای سوق پیدا می‌کنند که این موجب

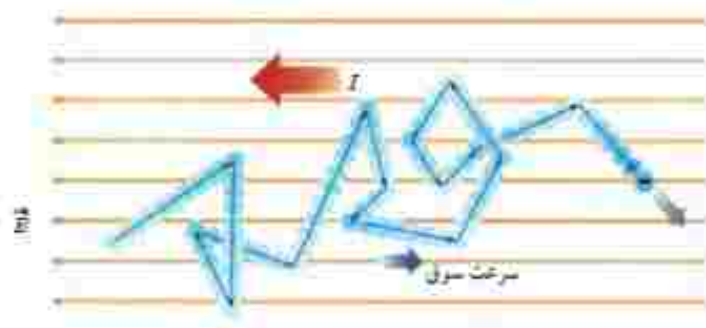


شکل ۲-۴ القاء یک مدار الکتریکی ساده که از لامپ باتری، کلید و سیم‌های رابط تشکیل شده است. به‌عنوان برای رسم مدار از نمادهای استاندارد شده‌ای برای نشان دادن اجزای مدار استفاده می‌شود.

برقراری جریان الکتریکی در رسانا می‌شود (شکل ۲-۷). اندازه سرعت سوقی در یک رسانای فلزی بسیار کم و مثلاً در سیم‌های مسی از مرتبه بزرگی $10^{-4} m/s$ یا $10^{-2} m/s$ است. توجه کنید که جهت فرادادی جریان الکتریکی I ، برخلاف جهت سوقی الکترون‌هاست.



شکل ۲-۷ در حضور اختلاف پتانسیل شارش بار خالص از مقطع سیم، دیگر برابر صفر نیست.



شکل ۲-۷ مسیر زیگزاگ یک الکترون آزاد در یک رسانای فلزی. در حضور میدان الکتریکی این مسیر زیگزاگ در خلاف جهت میدان سوقی پالته است.

فعالیت ۱-۲

سرعت سوقی الکترون‌های آزاد در یک رسانا می‌تواند به کندی سرعت حرکت یک حذرون باشد. اگر سرعت سوقی الکترون‌ها این قدر کم است، پس چرا وقتی کلید برق را می‌زنیم چراغ‌های خانه به سرعت روشن می‌شوند؟ (راه‌های: شیلنگ شطرنجی را در نظر بگیرید. وقتی سیر را باز می‌کنید، هنگامی که شیلنگ بر آب است، آب بلافاصله از سر دیگر شیلنگ جاری می‌شود؛ ولی اگر لکه‌ای رنگی را درون آب چکانده باشیم، می‌بینیم این لکه رنگی به آهستگی در آب حرکت می‌کند.)

اکنون می‌خواهیم تعریفی برای جریان الکتریکی در یک رسانا ارائه کنیم. فرض کنید بار خالص Q در بازه زمانی Δt از مقطعی از رسانا می‌گذرد. نسبت $\Delta Q / \Delta t$ را **جریان الکتریکی متوسط** می‌گویند. اگر این آهنگ ثابت باشند، جریان برابر است با

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad (1-2)$$

در رابطه ۱-۲ بار الکتریکی (ΔQ) بر حسب کولن (C)، مدت زمان (Δt) بر حسب ثانیه (s) و جریان (I) بر حسب آمپر (A) است. برخی از مقادیر تفریبی جریان‌های متداول عبارت‌اند از $1A$ برای لامپ جابجایی $100W$ ، $10A$ برای اسارت خودرو، $1mA$ برای تأمین انرژی تماشگر گولبی همرا، $11A$ برای جریان نوری‌های مغزی، $1kA$ در یک بورس آذرخش نوعی، و $1GA$ در پادهای خورشیدی. در این فصل با جریان مستقیم سروکار داریم که در آن جهت جریان با زمان تغییر نمی‌کند و مقدار جریان ثابت می‌ماند.

امداد و آمو، فرض این مسیر زیگزاگ آنکی حمید است که در شکل نشان داده شده است. به خاطر سیر این پلک‌بر ضروری ملارد.

I Direct Current (DC)



آندره ماری آمپیر (۱۸۲۶-۱۷۷۵م)

آندره ماری آمپیر در حومه شهر لیون فرانسه به دنیا آمد. در کودکی و نوجوانی عشق و علاقه فراوانی به ریاضیات داشت و پیوسته اظهاراتش در زمینه علوم ریاضی را تکمیل می‌کرد. سرانجام نسبت نوشتن مطالبی که در مورد سیرگرهای ریاضی که در آن‌ستفای را جلی گردید بود و شعر دانشندان را دست‌ها مشغول کرده بودند مورد توجه ریاضی‌دان‌ها و دانشندان قرار گرفت. در اختراستش و ریاضی‌دان فرانسوی به شاعری از نالامره و اوری لالان که تحت تأثیر سوپا و اسعد، آمپیر قرار گرفته بود، به ازیستند کرد که به عنوان معنی ریاضی و نجوم در مدرسه لیون تدریس شد. در سال در مدرسه لیون تدریس کرد و در سال ۱۸۰۲ به پاریس سفر کرد. با در کالج پلی‌تکنیک مشغول به کار شد. در سال ۱۸۰۹ به سمت استاد ریاضی و مکانیک این کالج برگزیده شد. در سال ۱۸۱۹ دانشمند دانسازگی، پوهل آرست کشف کرد که تقریباً هم‌قطبی در ال‌عوم جریان از یک سیر رسانا منحرف می‌شود. آمپیر با تکمیل آزمایش او، تأثیر دو سیم رسانایی حامل جریان بر یکدیگر را اوریس کرد و نتیجه گرفت وقتی جهت جریان در رساناها یکسان باشد یکدیگر را جذب می‌کنند و خلاف جهت جریان‌ها برعکس باشد همدیگر را دفع می‌کنند. خلاصه‌ای از این تجربیات هم‌اکنون تحت عنوان کتابی به نام هم‌قطب‌ها و الکتریسیته از آمپیر به حقت رسیده است. او دانشندانی بود که خدمات بزرگی به جهان علم کرد و به همین خاطر و قدر دان از رحمتان او، دانشندان بکلی جریان را به نام آمپیر نامگذاری کرده‌اند.

مثال ۲-۱



ولتاژ باتری یک نوع ماشین حساب $3.0V$ است. وقتی ماشین حساب روشن است، این باتری باعث عبور جریان $0.17mA$ در آن می‌شود. اگر این ماشین حساب یک ساعت روشن باشد:

الف) در این مدت چه مقدار بار از مدار می‌گذرد؟ (ب) باتری چقدر انرژی به مدار ماشین حساب می‌دهد؟
پاسخ: الف) باری که در یک ساعت از مدار می‌گذرد، با استفاده از رابطه $q = I \Delta t$ برابر است با

$$q = I(\Delta t) = (0.17 \times 10^{-3} A)(3600 \times 10^3 s) = 0.612 C$$

ب) بار q هنگام عبور از باتری انرژی به‌سبیل الکتریکی به دست می‌آورد و هنگام عبور از مدار این انرژی را از دست می‌دهد. بنابراین

$$\Delta U = q \Delta V = (0.612 C)(3.0 V) = 1.83 J$$

تمرین ۲-۱

در رابطه $q = I(\Delta t)$ اگر I بر حسب آمپر و Δt بر حسب ساعت باشد، یکای q آمپر-ساعت می‌شود. باتری خودروها با آمپر-ساعت (Ah) و باتری گوشی‌های همراه با میلی‌آمپر-ساعت (mAh) مشخص می‌شود. هر چه آمپر-ساعت یک باتری بیشتر باشد حداکثر باری که باتری می‌تواند از مدار عبور دهد تا به‌طور ایمن تخلیه شود، بیشتر است. الف) باتری استاندارد خودرویی، $50 Ah$ است. اگر این باتری جریان متوسط $5 A$ را فراهم سازد، چقدر طول می‌کشد تا خالی شود؟

ب) روی یک باتری قلمی مقدار $1000 mAh$ نوشته شده است. اگر این باتری جریان متوسط $100 mA$ را فراهم سازد، چه مدت طول می‌کشد تا خالی شود؟



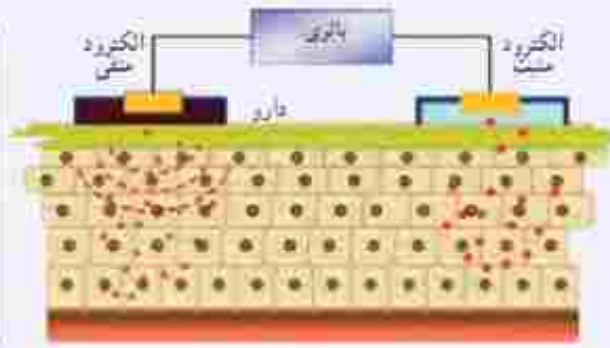
خوب است بدانید: یون رانی

برای درمان التهاب سه روش وجود دارد. روش نخست که بدون درد است، خوردن دارو است. در این روش مقدار کمی دارو، از مرتبه $1g$ به بافت آسیب‌دیده می‌رسند. روش دوم تریقی اصول است. این روش دزدناگ است، ولی می‌تواند داروی زیادی، از مرتبه $100mg$ را به بافت آسیب‌دیده برساند، یعنی 1000 برابر بیش از روش خوردن دارو، اما از دهه ۹۰ میلادی روش سوم نیز مطرح شده است که بدون درد است، ولی می‌تواند مقدار دارویی از مرتبه $1000g$ را به بافت آسیب‌دیده برساند. این روش که موسوم به یون‌رانی است، دارو را یا استفاده از جریان‌های الکتریکی بسیار ضعیف به بافت آسیب‌دیده می‌رسانند. یک وسیله یون‌رانی شامل یک باتری و دو الکترود است (و نیز برخی مدارهای الکتریکی که برشماره را قادر می‌سازد که یون‌رانی جریان اعمال شده را کنترل کند). داروی ضد التهاب (معمولاً دگزامتازون) را به محل التهاب مالیده و الکترود منفی را روی آن

قرار می دهند. جریان از طریق پوست عبور می کند و دارو را به بافت آسیب دیده تا عمق حداکثر ۱.۷cm می رساند (شکل الف). اگر برستاری بخواهد مثلاً ۸۰g دارو را با جریان متداول ۱۴mA به بافت آسیب دیده برساند (شکل ب)، محاسبه نشان می دهد که این عمل ۱۵ دقیقه به طول خواهد انجامید.



الف



ب

۲-۲ مقاومت الکتریکی و قانون اهم

همان طور که در بخش قبل دیدیم وقتی در مدارهای الکتریکی کلبه را می بندیم، یک اختلاف پتانسیل در دو سر سیم ایجاد می شود و باعث حرکت الکترون های آزاد در سیم مدار می شود. این الکترون ها با اتم های رسانا که در حال نوسان اند برخورد می کنند و این موضوع باعث گرم شدن رسانا می شود. در واقع الکترون های آزاد هنگام حرکت در رسانا همیشه با نوعی مقاومت روبرو هستند. اصطلاحاً می گویم رسانا دارای **مقاومت الکتریکی** است. از اینجا می توان پیش بینی کرد که مقاومت الکتریکی به ابعاد هندسی رسانا، یعنی طول و سطح مقطع رسانا بستگی دارد. همچنین جنس ماده رسانا و دمای آن بر مقاومت الکتریکی اثر می گذارد.

تحت یک اختلاف پتانسیل یکسان، دو سیم با مقاومت الکتریکی متفاوت، جریان های مختلفی را از خود عبور می دهند؛ به طوری که سیم با مقاومت کمتر، جریان بیشتری از خود عبور می دهد و بالعکس. از اینجا می توان مقاومت الکتریکی بین دو نقطه از یک رسانا را به صورت زیر تعریف کرد:

$$R = \frac{V}{I} \quad (2-2)$$

در این رابطه مقاومت الکتریکی (R) برحسب ولت بر آمپر (V/A) می شود که به پاس خدمات علمی جورج سیمون اهم به نام **اهم** نام گذاری شده است و با نماد Ω نشان داده می شود. رسانایی را که دارای مقاومت الکتریکی است، اصطلاحاً **مقاومت** می نامند و آن را در مدارهای الکتریکی با نماد $\text{---}R\text{---}$ نمایش می دهند.



جورج سیمون اهم (۱۷۸۷-۱۸۵۴م)

جورج سیمون اهم در شهر باواریا آلمان متولد شد. جورج در ۱۸ سالگی به عنوان معلم ریاضی در یکی از مدارس سوختن مشغول به کار شد. اهم مطالعه اش را در رشته ریاضی دنبال کرد و در سال ۱۸۱۱ موفق به اخذ رتبه دکترا در ریاضی شد. در سر سالگی به ناچار در گن رفت و به عنوان استاد ریاضی مشغول به کار شد. در سال ۱۸۲۸ او مقاله ای تحت عنوان «اتحادگیری های ریاضی جریان برق» را به چاپ رساند. او در این مقاله فرمول مشهور خود را ارائه کرد. در سال ۱۸۴۱ به دریافت بهترین نشان علمی انجمن سلطنتی انگلستان مفضل گردید. در سال ۱۸۴۹، انجمن مهندسان برق جهان «تلفاتی آرا» مکانی مقاومت الکتریکی را به نام «اهم» نام گذاری کردند.

۱- Resistance

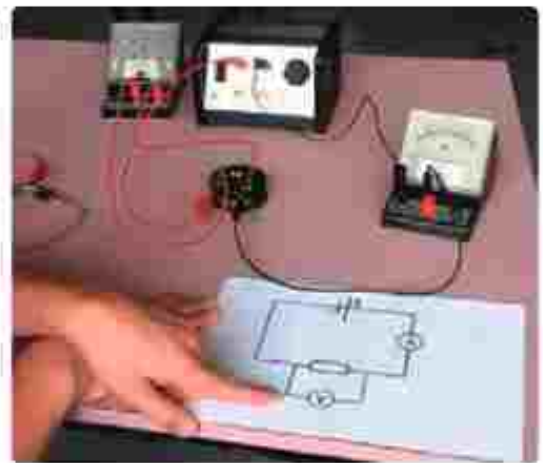
۲- Resistor

۲- از حرف الفبای یونانی که امگا خوانده می شود.

وسيله‌هایی که جریان الکتریکی را از خود عبور می‌دهند ممکن است با تغییر اختلاف پتانسیل اعمال شده و در نتیجه تغییر جریان عبوری، مقاومت ثابتی از خود بروز دهند و یا با تغییر اختلاف پتانسیل، مقاومتشان تغییر کند. برای تشخیص چنین وسایلی از هم، آزمایشی را تدارک می‌بینیم؛ به این ترتیب که وسیله را مانند شکل ۲-۸ به یک آمپرسنج، یک ولتسنج و یک منبع تغذیه یا ولتاژ قابل تنظیم (دستگاهی که با آن می‌توان اختلاف پتانسیل را در دو سر مدار برقرار کرد و آن را تغییر داد) می‌بندیم. اختلاف پتانسیل دو سر وسیله را به کمک منبع تغذیه تغییر می‌دهیم و در هر نوبت جریان عبوری از وسیله و اختلاف پتانسیل دو سر آن را با آمپرسنج و ولتسنج مدار اندازه می‌گیریم و سپس با استفاده از رابطه ۲-۲ مقاومت الکتریکی را محاسبه و نتایج را در جدولی یادداشت می‌کنیم. اگر مقاومت الکتریکی در ولتاژهای مختلف (در دمای ثابت)، مقدار ثابتی باشند، اصطلاحاً گفته می‌شود آن وسیله از **قانون اهم** پیروی می‌کند و آن وسیله را مقاومت با رسانایی اهمی می‌نامند. به عبارتی جریان عبوری از یک مقاومت اهمی همواره با اختلاف پتانسیل اعمال شده به دو سر آن رابطه مستقیم دارد.

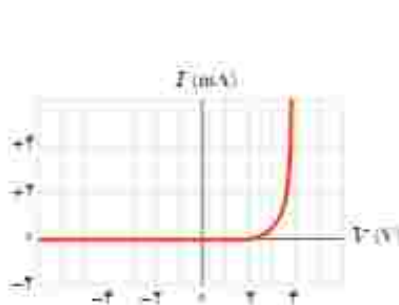
این قانون برای فلزات و بسیاری از رساناهای غیر فلزی در دمای ثابت برقرار است. جدول ۲-۱ مقادیر اندازه‌گیری شده برای جریان و اختلاف پتانسیل یک مقاومت را نشان می‌دهد که از قانون اهم پیروی می‌کند. همان‌طور که نمودار شکل ۲-۹ نشان می‌دهد جریان یا ولتاژ برای این وسیله به‌طور خطی افزایش می‌یابد.

با این حال وسیله‌های زیادی نیز یافت می‌شود که از این قانون پیروی نمی‌کنند، یکی از این وسیله‌های غیر اهمی، دیود نورگسیل (LED) است که با آن بعداً آشنا می‌شویم. نمودار جریان برحسب اختلاف پتانسیل چنین دیودی تقریباً شبیه شکل ۲-۱۰ است.

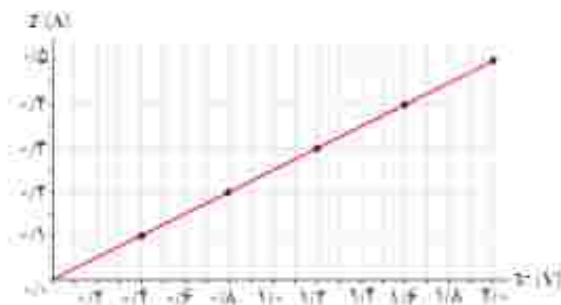


شکل ۲-۸ اسباب تحقیق قانون اهم. توجه کنید که آمپرسنج در مدار به‌صورت متوالی و ولتسنج به‌صورت موازی بسته شده است

جدول ۲-۱ مقادیری نوعی برای یک رسانای اهمی		
$R (\Omega)$ مقاومت	$I (A)$ جریان	$V (V)$ اختلاف پتانسیل
۴۰	۰٫۸	۳۲
۴۰	۰٫۶	۲۴
۴۰	۰٫۳	۱۲
۴۰	۰٫۲	۸
۴۰	۰٫۵	۲۰



شکل ۲-۱۰ نمودار جریان برحسب اختلاف پتانسیل برای یک دیود نورگسیل



شکل ۲-۹ نمودار جریان برحسب اختلاف پتانسیل نشان می‌دهد که برای این رسانای اهمی، جریان به‌طور مستقیم با ولتاژ افزایش می‌یابد.

مثال ۲-۲



یک لامپ چراغ قوه کوچک از یک باتری ۱/۵V، جریانی برابر $I = 30\text{mA}$ می‌کشد. با فرض آنکه رشته لامپ، یک رسانای اهمی باشد، الف) مقاومت آن چقدر است؟ ب) اگر باتری ضعیف شود و ولتاژ به ۱/۲V اکت کند، جریان چقدر می‌شود؟

پاسخ: الف) با استفاده از رابطه ۲-۲ برای مقاومت رشته لامپ داریم:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{1/5V}{30 \times 10^{-3}A} = 5/3 \Omega$$

ب) دوباره از رابطه ۲-۲ استفاده می‌کنیم. با توجه به اینکه اکنون مقاومت رشته لامپ را داریم، جریان عبوری از آن

چنین می‌شود:

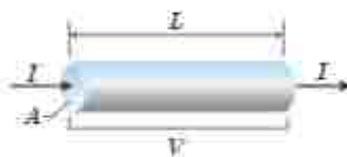
$$I = \frac{V}{R} = \frac{1/2V}{5/3 \Omega} = 1/24 A$$

۳-۲ عوامل مؤثر بر مقاومت الکتریکی

در بحث قبل پیش‌بینی کردیم که مقاومت الکتریکی به طول و سطح مقطع رسانا و نیز ترکیب و ساختار آن بستگی دارد.

آزمایش و محاسبات نظری نشان می‌دهد اگر سطح مقطع جسم در تمام طول آن یکسان باشد (شکل ۳-۲)، مقاومت آن از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (3-2)$$



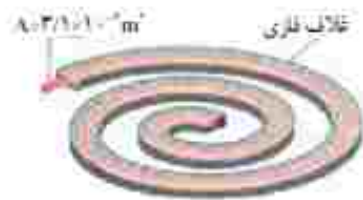
شکل ۳-۲: از سیم به طول L و مقطع یکواخت A، تحت اختلاف پتانسیل V، جریان I می‌گذرد.

که در آن طول رسانا (L) بر حسب متر (m)، مساحت مقطع جسم (A) بر حسب متر مربع (m²)، و مقاومت جسم (R) بر حسب اهم (Ω) است. و بنابراین، کمیت ρ که به آن **مقاومت ویژه** گفته می‌شود بر حسب اهم‌متر (Ω·m) می‌شود. این بستگی مقاومت به طول و مساحت مقطع جسم را می‌توان با بسط‌سازی‌های ساده‌ای نیز درک کرد. هرچه جسم بلندتر شود الکترون‌ها هنگام عبور از آن برخورد های بیشتری با آن‌ها پیدا می‌کنند. بنابراین، مقاومت الکتریکی جسم بیشتر می‌شود. کوچک‌تر شدن سطح مقطع جسم را نیز می‌توان به کوچک‌تر شدن سطح مقطع لوله‌ای تشبیه کرد که در آن شاردهای در جریان است. کوچک‌تر شدن مقطع سبب کاهش عبور شارژ می‌شود که به معنای افزایش مقاومت در برابر عبور شارژ است.

مقاومت ویژه یک ماده به ساختار اتمی و دمای آن بستگی دارد. رساناهای الکتریکی خوب مقاومت ویژه بسیار کم و عایق‌های خوب مقاومت ویژه بسیار زیادی دارند. جدول ۲-۲ مقاومت ویژه برخی مواد را در دمای ۲۰°C نشان می‌دهد. همان‌طور که این جدول نشان می‌دهد دسته‌ای از مواد مانند ژرمانیم و سیلیسیم نیز وجود دارند که مقاومت ویژه آنها بین مقاومت ویژه رساناها و نارساناهاست. به این دسته از مواد، **سیم رسانا** می‌گویند.

مقاومت ویژه رساناهای فلزی با افزایش دما زیاد می‌شود در حالی که مقاومت ویژه سیم‌رساناها با افزایش دما کاهش می‌یابد. در برخی مواد، مانند جیوه و قلع با کاهش دما، مقاومت ویژه در دمای خاصی به صورت ناگهانی به صفر اکت می‌کند و در دماهای پایین‌تر، همچنان صفر می‌ماند. این پدیده را **اوپرسانایی** می‌گویند.

مثال ۲-۲



یک اجاق برقی و طرحی از المنت آن

شکل دو معروضه، المنت یک اجاق برقی را نشان می‌دهد. این المنت شامل سیمی به طول $1/8\text{ m}$ و سطح مقطع $3/1 \times 10^{-7}\text{ m}^2$ است که داخل ماده عایقی قرار گرفته است که خود درون یک غلاف فلزی است. با عبور جریان، المنت داغ می‌شود. مقاومت ویژه ماده سازنده سیم در دمای $T = 32^\circ\text{C}$ برابر با $\rho = 6/8 \times 10^{-8}\ \Omega\cdot\text{m}$ است. با افزایش دمای سیم مقاومت ویژه آن افزایش می‌یابد و در دمای 42°C به $8/2 \times 10^{-8}\ \Omega\cdot\text{m}$ می‌رسد. مقاومت سیم در دماهای 32°C و 42°C چقدر است؟

پاسخ:

با استفاده از رابطه ۲-۳ مقاومت سیم در دمای 32°C برابر است با

$$R = \rho \frac{L}{A} = (6/8 \times 10^{-8}\ \Omega\cdot\text{m}) \frac{(1/8\ \text{m})}{(3/1 \times 10^{-7}\ \text{m}^2)} = 24\ \Omega$$

و در دمای 42°C برابر است با

$$R = \rho \frac{L}{A} = (8/2 \times 10^{-8}\ \Omega\cdot\text{m}) \frac{(1/8\ \text{m})}{(3/1 \times 10^{-7}\ \text{m}^2)} = 29\ \Omega$$

تمرین ۲-۲

سیم کنسی خانه‌ها معمولاً با سیم‌های مسی‌ای صورت می‌گیرد که قطری برابر با $1/32\text{ mm}$ دارد. مقاومت $100\ \text{m}$ از این سیم‌ها در دمای اتاق چقدر است؟

جدول ۲-۲ مقاومت ویژه در دمای 20°C برخی از رساناها و نیم‌رساناها	
ماده	مقاومت ویژه ρ ($\Omega\cdot\text{m}$)
رسانای فلزی	
نقره	$1/6 \times 10^{-8}$
مس	$1/7 \times 10^{-8}$
طلا	$2/3 \times 10^{-8}$
آلومینیم	$2/8 \times 10^{-8}$
تنگستن	$5/5 \times 10^{-8}$
آهن	$9/7 \times 10^{-8}$
پلاتین	$1/0 \times 10^{-8}$
کربن	22×10^{-8}
نیم‌رساناها*	44×10^{-8}
ایزومر*	$1/0 \times 10^{-8}$
نیم‌رسانا	
گرافیت	$3/5 \times 10^{-6}$
زغالش	۱۴۶
سیلیسیم خالص	$2/5 \times 10^2$
عایق	
تواکسیت	$2/0 \times 10^{12}$
لاستیک سخت	۱۰۱۲
کوارتز (دوبند)	$1/0^{16}$

* ۱-۴۰ درصد مس، ۴۰ درصد نیکل

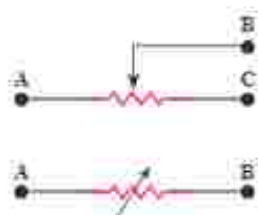
۲-۵۱ درصد نیکل، ۲۲ درصد مس، ۱۴ درصد کروم

رئوستا: رئوستا نوعی مقاومت متغیر است که از سیمی با مقاومت ویژه نسبتاً زیاد ساخته شده است. این سیم روی استوانه‌ای نارسانا پیچیده شده و یا استفاده از دگمه‌ای لغزنده که روی زبلی در بالای استوانه قرار دارد و انتهای آن با سیم در تماس است می‌تواند قسمت دلخواهی از سیم را در مسیر جریان قرار دهد، و بنابراین مقدار مقاومت را تغییر دهد (شکل ۲-۱۷). در مدارهای الکترونیکی وسیله‌ای به نام پتانسیومتر نقش رئوستا را دارد.

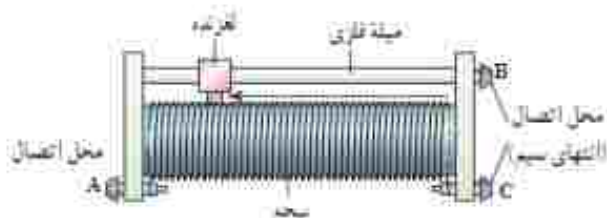
*۱- از افزایش طول و مساحت سیم و از افزایش دما چشم‌پوشی می‌شود.

*۲- Rheostat

*۳- Potentiometer



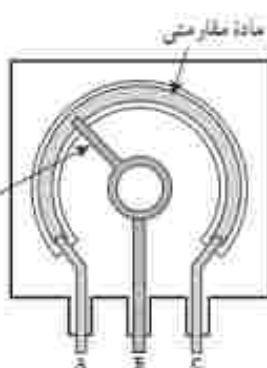
مدارهای یک روتار یا پتانسیومتر
بر مدار الکتریکی



الغدا طرحی از ساختار یک روتار



مدار تصویری واقع از یک پتانسیومتر



ت: طرحی از یک پتانسیومتر



بدا تصویر واقع یک روتار

شکل ۱۱-۶

خوب است بدانید

مقاومت های ترکیبی

مقاومت ها با فناوری های مختلفی ساخته می شوند. نوعی از مقاومت ها، مقاومت های ترکیبی هستند. این مقاومت ها معمولاً از کربن، برخی نوساناتها، و یا لایه های نازک فلزی ساخته شده اند. مقاومت های ترکیبی را در اندازه های خاص استاندارد تولید می کنند. مقدار این مقاومت ها با روی آنها نوشته می شود، یا عمدتاً به صورت کدی رنگی نشان داده می شود که با ۳ یا ۴ حلقه رنگی روی آنها مشخص شده است (شکل الف). هر رنگ، معرف عددی است که در جدول داده شده است. دو حلقه اول از آن طرفی که به یک سر مقاومت نزدیک تر است به ترتیب، رقم اول و رقم دوم مقاومت را نشان می دهند. رقم حلقه سوم ضریبی

جدول کد رنگی مقاومت ها		
رنگ	عدد ضرب	تولیس
سیاه	۰	۱
قهوه ای	۱	۱۰ ^۱
قرمز	۲	۱۰ ^۲
نارنجی	۳	۱۰ ^۳
زرد	۴	۱۰ ^۴
سبز	۵	۱۰ ^۵
آبی	۶	۱۰ ^۶
بنفش	۷	۱۰ ^۷
خاکستری	۸	۱۰ ^۸
سفید	۹	۱۰ ^۹
طلایی	۱۰ ^{-۱}	۰.۵
نقره ای	۱۰ ^{-۲}	۰.۰۱
بی رنگ		۰.۰۲۰



الف) مقدار مقاومت های ترکیبی با کدهای رنگی مشخص می شود؛ مثلاً مقدار مقاومت شکل ۲۵kΩ با تولیس ۱٪ درصد است



الف) تصویری از تعدادی مقاومت ترکیبی

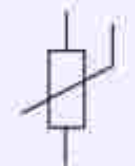
است به صورت 10^3 که در ستون سوم جدول مشخص شده است. حلقه چهارم یک حلقه طلایی یا نقره‌ای رنگ است که **تولرانس**^۱ نامیده می‌شود و مقدار مجاز انحراف از مقدار دقیق مقاومت را بر حسب درصد مشخص می‌کند (شکل ۱۰-۱). بود توار چهارم به معنای آن است که تولرانس ۲۰ درصد است. برای خواندن حلقه‌های رنگی، مقاومت را طوری به دست می‌گیریم که حلقه تولرانس درست راست قرار گیرد و بقیه حلقه‌ها را از سمت چپ به راست می‌خوانیم.

مقاومت‌های خاص و دیدها

۱- **ترمیستور**^۲: ترمیستور نوعی از مقاومت است که بستگی مقاومت الکتریکی آن به دما یا مقاومت‌های الکتریکی معمولی تفاوت دارد. اغلب از ترمیستورها به عنوان حسگر دما در مدارهای حساس به دما مانند رنگ‌خطر آتش و دماهاها و نیز در دماسنج‌ها استفاده می‌شود. ترمیستورها در ابعاد کوچکی ساخته می‌شوند و شکل‌های متفاوتی دارند که رایج‌ترین آنها دیسکی، مهره‌ای، و میله‌ای است (شکل‌های الف و ب).



الف) تصویری از چند ترمیستور دیسکی و مهره‌ای



نماد ترمیستور در مدار الکتریکی



ترمیستور میله‌ای

ترمیستور مهره‌ای



ترمیستور دیسکی

ب) طرحی از چند ترمیستور و نماد آن در مدارهای الکتریکی

۲- **مقاومت‌های نوری**^۳ (LDR): مقاومت نوری، نوعی مقاومت است که مقاومت الکتریکی آن به نور تابیده شده به آن بستگی دارد. به طوری که با افزایش شدت نور، از مقاومت آن کاسته می‌شود. مثلاً یک LDR نوعی در تلویزیون چند مگا اهمی دارد، در حالی که در یک نور مناسب، مقاومت آن به چند صد اهم می‌رسد. نوعی از این مقاومت‌ها از جنس سیم‌رسانای خالص، مانند سیلیسیم هستند که با افزایش شدت نور تابیده شده از مقاومت آنها کاسته می‌شود. مثلاً شکل ب مقاومت الکتریکی چنین LDRهایی را بر حسب روشنایی^۴ (که با یکای LUX^۵ سنجیده می‌شود) نشان می‌دهد. شکل ت تصویری از چند LDR و شکل د دو نماد این مقاومت‌ها در مدارهای الکتریکی را نشان می‌دهد.

نور القاب، روشنایی روز، تاریکی



ج) مقاومت بر حسب روشنایی برای یک LDR نوعی



د) نماد LDR در دو استاندارد مقاومت



ه) تصویری از چند LDR

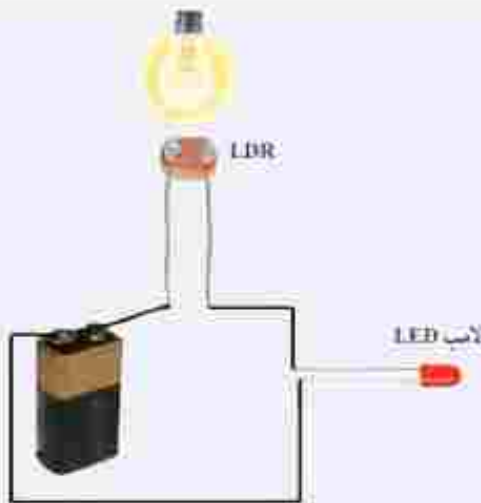
۱- Tolerance

۲- Thermistor، برگرفته از عبارت Thermal Sensitive Resistor به معنای مقاومت حساس به دما

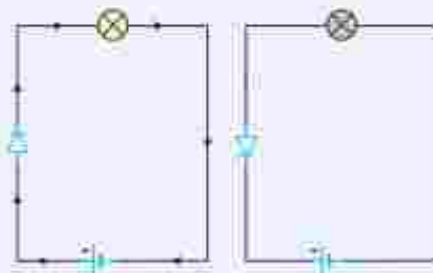
۳- Photoresistor

۴- Light Dependent Resistor

۵- Illumination



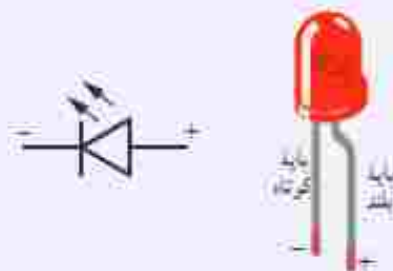
یک مدار ساده متشکل از یک LDR، یک باتری و یک لامپ LED با روشن شدن چراغ روشنایی لامپ LED روشن می‌شود.



جهت دیود در یک جهت جریان را عبور می‌دهد و در جهت معکوف مانع عبور جریان می‌شود.



تصویری از چند دیود نورگسیل



تصویری از یک LED و نماد آن در مدارهای الکترونیکی

برای اینکه به درکی از ساز و کار این مقاومت‌ها برسید، شکل را در نظر بگیرید که در آن یک LDR در مداری ساده به یک لامپ LED متصل شده است. تا هنگامی که لامپ روشنایی شکل خاموش باشد، LDR مقاومت بالایی دارد و مانع از روشن شدن لامپ LED می‌شود. با روشن شدن لامپ روشنایی از مقاومت LDR کاسته می‌شود و لامپ LED روشن می‌گردد. با تنظیم لامپ روشنایی به تزیینی که LDR در معرض نور بیشتری قرارگیرد، شدت نور لامپ LED بیشتر می‌شود.

از این ویژگی LDRها در تجهیزات گوناگونی از جمله چشم‌های الکترونیکی، دزدگیرها، کنترل‌کننده‌های خودکار، و چراغ‌های روشنایی خیابان‌ها استفاده می‌شود.

۳- دیودها: دیود قطعه‌ای است که هرگاه در مداری قرار گیرد، جریان را تنها از یک سو عبور می‌دهد و مقاومت آن در برابر عبور جریان در این سو ناچیز است. به همین دلیل، دیود را اغلب به عنوان یک سوکننده جریان در نظر می‌گیرند و آن را با نماد $\rightarrow|$ در مدارهای الکترونیکی نشان می‌دهند. بیکان در این نماد جهتی را نشان می‌دهد که جریان می‌تواند از دیود عبور کند. مثلاً مدارهای ساده شکل ج نشان می‌دهد که با تعویض جهت دیود، جریان از مدار عبور نمی‌کند و لامپ خاموش می‌شود. همچنین از دیود در مدارهای یک‌سوکننده برای تبدیل جریان‌های متناوب به جریان‌های مستقیم استفاده می‌شود.

دیودها انواع متفاوتی دارند که یکی از معروف‌ترین آنها دیودهای نورگسیل یا LED^۱ است (شکل ج). شکل خ تصویری واضح از یک LED و نماد آن در مدارهای الکترونیکی را نشان می‌دهد. در این دیودها از نیم‌رساناهایی استفاده می‌شود که با عبور جریان از آنها LED از خود نورگسیل می‌کند و بنابراین، مقداری از انرژی الکترونیکی به نور تبدیل می‌شود. بسته به نوع نیم‌رسانای به کاررفته، رنگ نورگسیل شده از LED می‌تواند از فروسرخ تا قرینش باشد.

^۱LED

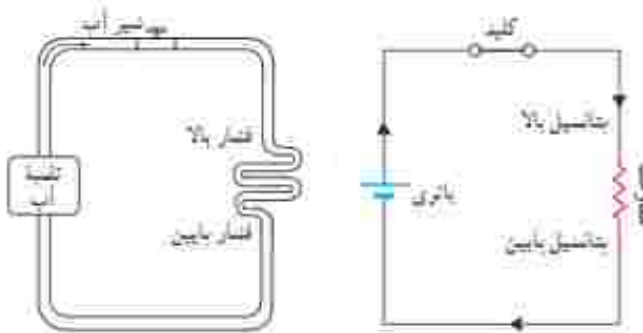
^۲Light-Emitting Diode

۲-۲ نیروی محرکه الکتریکی و مدارها

برای بالا بردن آب از سطح زمین به یک تلمبه آب نیاز است تا آب را به ارتفاع معینی برساند. بدین ترتیب، آب انرژی پتانسیل گرانشی لازم برای جریان یافتن و انجام کار معنی را کسب می‌کند (شکل ۲-۱۳). برای اینکه بارهای الکتریکی را نیز از یک مقاومت الکتریکی عبور دهیم تا جریان ناشی برقرار شود، لازم است بین دو سر مقاومت اختلاف پتانسیلی برقرار کنیم. این کار می‌تواند توسط وسیله‌هایی مانند باتری انجام شود. به چنین وسیله‌هایی که با انجام کار روی بار الکتریکی، جریان ناشی از بارهای الکتریکی در یک مدار ایجاد می‌کنند، منبع نیروی محرکه الکتریکی گفته می‌شود. منبع‌های نیروی محرکه الکتریکی (مانند باتری‌ها) با افزایش انرژی پتانسیل بارهای الکتریکی هنگام عبور از منبع، جریان ناشی را در مدار برقرار می‌کنند (شکل ۲-۱۴).



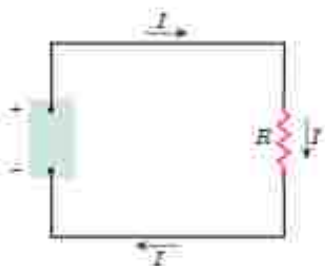
شکل ۲-۱۳ یک تلمبه آب در واقع یک تلمبه آب را مدام به باتری می‌سوزد بدم می‌کند و موجب جریان یافتن آب و سر خوردن شخص انرژی می‌شود.



شکل ۲-۱۴ همان‌طور که تلمبه آب انرژی لازم برای شارش آب را فراهم می‌کند، باتری نیز انرژی لازم برای برقراری یک جریان را مهیا می‌سازد.

انرژی لازم برای ایجاد اختلاف پتانسیل الکتریکی در یک منبع نیروی محرکه الکتریکی با سازوکارهای مختلفی به دست می‌آید. مثلاً باتری‌ها که در علوم هتتم با آنها آشنا شدیم این انرژی را از طریق واکنش‌های شیمیایی که در آنها رخ می‌دهد مهیا می‌سازند. پیل‌های سوختی، سلول‌های خورشیدی و مولدهای الکتریکی نمونه‌های دیگری از منبع‌های نیروی محرکه الکتریکی‌اند.

مدار ساده الکتریکی شکل ۲-۱۵ را در نظر بگیرید. منبع نیروی محرکه هنگام عبور بار q از منبع کاری به اندازه ΔW روی آن انجام می‌دهد تا آن را در مدار به حرکت درآورد. کاری که منبع نیروی محرکه الکتریکی روی واحد بار الکتریکی مثبت انجام می‌دهد تا آن را از پایانه با پتانسیل کمتر به پایانه با پتانسیل بیشتر برده، اصطلاحاً نیروی محرکه الکتریکی \mathcal{E} نامیده و با رابطه زیر تعریف می‌شود:



شکل ۲-۱۵ یک مدار ساده الکتریکی شامل مقاومت R ، منبع نیروی محرکه الکتریکی \mathcal{E} و سیم‌های رابط.

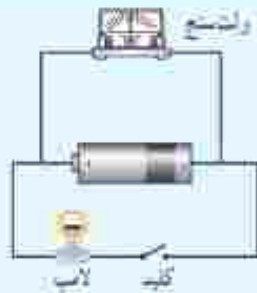
$$\mathcal{E} = \frac{\Delta W}{\Delta q} \quad (2-2)$$

یکای کمیت نیروی محرکه الکتریکی همان یکای اختلاف پتانسیل الکتریکی، یعنی ولت (V) است [1V = 1J/C]. پس اگر نیروی محرکه یک باتری مثلاً ۱/۵V باشد، به این معناست که باتری روی هر کولن باری که از آن می‌گذرد ۱/۵J کار انجام می‌دهد و به این ترتیب انرژی پتانسیل الکتریکی آن را ۱/۵J افزایش می‌دهد.

Electromotive Force

۲- نوعی که نیروی محرکه الکتریکی را از پتانسیل است؛ زیرا \mathcal{E} نیروی است؛ بلکه مانند پتانسیل یک کمیت انرژی به ازای واحد بار است.

فعالیت ۲-۲



به کمک یک باتری، سیم‌های رابط، لامپ کوچک، ولت‌سنج و کلید، مدارهای هم‌اندک شکل روی پرو دیزست کنید. قبل از بستن کلید عددی را که ولت‌سنج نشان می‌دهد بخوانید. سپس کلید را ببندید و دوباره عددی را که ولت‌سنج نشان می‌دهد بخوانید. در کدام حالت ولت‌سنج عدد بزرگ‌تری را نشان می‌دهد؟ چرا؟ در ادامه با علت تفاوت این دو عدد آشنا خواهید شد.

منبع‌های نیروی محرکه الکتریکی، با آرمانی هستند و با واقعی. اختلاف پتانسیل پایانه‌های مثبت و منفی یک منبع آرمانی برابر با نیروی محرکه الکتریکی آن است:

$$\Delta V = \mathcal{E} \quad (5-2)$$

معمولاً اختلاف پتانسیل پایانه‌های منبع نیروی محرکه (آرمانی یا واقعی) را به منظور ساده‌سازی به جای ΔV با V نشان می‌دهند.

منبع آرمانی در واقعیت وجود ندارد و منبع‌های نیروی محرکه الکتریکی همواره دارای مقاومتی داخلی (r) هستند؛ یعنی درون آنها مقاومتی در برابر حرکت بارها وجود دارد. بنابراین، وقتی جریان از این منابع بگذرد، اختلاف پتانسیل بین پایانه‌های آنها برخلاف منابع آرمانی، متفاوت از نیروی محرکه الکتریکی خواهد شد. شکل ۱۶-۲ تعداد منبع نیروی محرکه را در مدارهای الکتریکی نشان می‌دهد.

شکل ۱۶-۲ در مدارهای الکتریکی، منبع نیروی محرکه الکتریکی آرمانی را به صورت الف) و منبع‌های واقعی را به صورت ای) یا بی) نمایش می‌دهد.



در یک مدار الکتریکی ساده که از یک منبع نیروی محرکه واقعی با نیروی محرکه \mathcal{E} و مقاومت داخلی r و یک مقاومت R ساخته شده است (شکل ۱۷-۲) اختلاف پتانسیل پایانه‌های منبع از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$V = \mathcal{E} - Ir \quad (6-2)$$

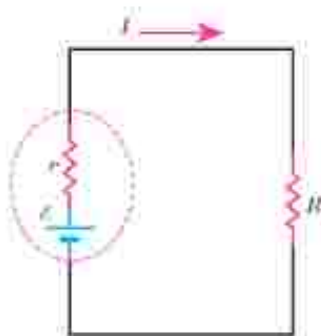
که در آن I جریان گذرنده از منبع است.

در مدار شکل ۱۷-۲ دو سر باتری به دو سر مقاومت R وصل شده است. بنابراین اختلاف پتانسیل دو سر باتری ($V = \mathcal{E} - Ir$) با اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت ($V = IR$) برابر است. در نتیجه داریم:

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

و بنابراین:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r} \quad (7-2)$$



شکل ۱۷-۲ مداری ساده شامل یک باتری واقعی و مقاومت R

خوب است بدانند: ماهی الکتریکی



ماهی های عظیم الجثه الکتریکی مانند تورپدو در اقیانوس اطلس شمالی و ماهی الکترورفوروس در آمازون می تواند جریانی کافی برای کشتن با بی حس کردن طعمه، یا حتی بی حس کردن یک انسان تولید کنند. مثلاً ماهی تورپدو این کار را با یک تپ (الس) ۵۰ آمپر و حدوداً ۶۰ ولت انجام می دهد. در زمان های دور، گاهی از ماهی های الکتریکی برای مقاصد درمانی استفاده می شد که این نخستین نوع شوک درمانی بود. و لذا از این شوک ناشی از سلول های زنبی یولکی شکلی موسوم به الکترولاک است که در واقع مانند یک باتری عمل می کنند. شکل، تصویر ماهی الکتریکی تورپدو را انسان می دهد. در زیر بالجه های این ماهی، آنبوهی از الکترولاک ها کنار هم قرار گرفته اند.

خوب است بدانند: آثار فیزیکی الکتریسته بر بدن انسان

التر جریان های الکتریکی بر بدن	
جریان	التر
کمتر از ۱۰۰-۱۸	جریان حس نمی شود.
۱۰۰-۱۸	احساس سوزش یا گرما
۱۰۰-۱۸ تا ۱۰۰-۱۸	انقباض غیرعادی عضله ها، احساس درد
۱۰-۱۵	از تست رفتن کشتی عضله ها
۱۰-۱۷	اگر از قلب بگذرد، سبب اختلال خدی می شود.
۱۰-۱۸ تا ۱۵۰-۸۸	ریش عضله عطنی قلب
۱۵۰-۸ تا چند آمپر	ایست قلبی- اگر جریان سریع قطع شود، قلب مجدداً به کار می افتد.
بیشتر از چند امپر	ایست قلبی، قطع نفس، سوجستگی

اگر بین دو نقطه از بدن ما اختلاف پتانسیلی برقرار شود، جریان الکتریکی از بدن می گذرد. مقدار این جریان به مقاومت الکتریکی بدن بستگی دارد که عمدتاً ناشی از پوست است. هرچه پوست خشک تر باشد، مقاومت بیشتری دارد، ولی اگر پوست خیس یا مرطوب باشد، زخمی شرباز داشته باشد، و یا با کرمی پوشیده شده باشد، مقاومت کمتر می شود و مقدار خطرناکی از جریان می تواند از بدن شخص عبور کند. به همین ترتیب، اگر شخصی بر زمین خیس یا در آب ایستاده باشد و بین نقطه ای از بدن او یا منبع ولتاژ تماس خوبی برقرار شود، جریان نسبتاً زیادی از بدن وی عبور خواهد کرد. در این صورت، حتی اگر ولتاژ کم هم باشد، جریان می تواند آن قدر زیاد باشد که موجب مرگ شود. از سوی دیگر اگر مقاومت الکتریکی منطقه تماس زیاد باشد و مثلاً شخص بر پایه های عایق ایستاده باشد، این خطر بسیار کم می شود.

دستگاه مرکزی اعصاب انسان در مقابل شوک های الکتریکی

بسیار آسیب پذیر است. اگر جریانی که در یک شوک الکتریکی از مغز می گذرد بزرگ باشد، ممکن است به بیهوشی کامل بینجامد و حتی در برخی موارد، موجب فراموشی شود. به طوری که بیمار زمان های قبل از وقوع حادثه را نیز به یاد نمی آورد. معمولاً مرگ در اثر شوک الکتریکی به سبب ایست قلبی یا تنفسی روی می دهد. جدول بالا اثر برخی از جریان های الکتریکی بر بدن را نشان می دهد.

مثال ۲-۴

در مدار شکل رویه‌رو فرض کنید $\mathcal{E} = 12V$ ، $r = 2/\Omega$ و $R = 4/\Omega$ باشند.

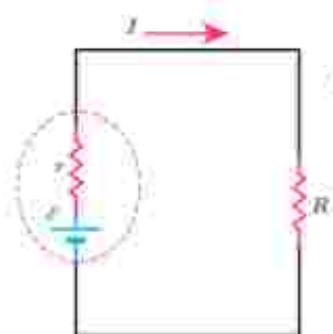
الف) جریان عبوری از مدار چقدر است؟ ب) اختلاف پتانسیل دوسر باتری را محاسبه کنید.

پاسخ: الف) بنا به رابطه ۲-۷ داریم:

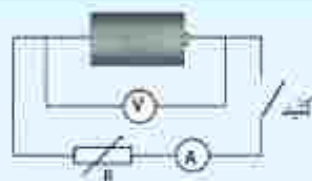
$$I = \frac{\mathcal{E}}{R+r} = \frac{12V}{4/\Omega + 2/\Omega} = 2/A$$

ب) با استفاده از رابطه ۲-۶ اختلاف پتانسیل دوسر باتری برابر است با

$$V = \mathcal{E} - Ir = 12V - (2/A)(2/\Omega) = 8V$$



فعالیت ۲-۳ (کار در کلاس)



تفاوت یک باتری نو و فرسوده عمدتاً در مقدار مقاومت داخلی آن است که می‌تواند کمتر از یک اهم برای باتری نو تا چند هزار اهم برای باتری فرسوده باشد. برای اندازه‌گیری مقاومت داخلی یک باتری مدار ساده‌ای متشکل از یک باتری، یک کلید قطع و وصل و یک مقاومت با لامپ کوچک را سوار کنید. نخست درحالی که کلید

قطع است، ولتاژ دوسر باتری را با یک ولت‌سنج اندازه بگیرید و آن گاه پس از بستن کلید، دوباره ولتاژ دوسر باتری را اندازه بگیرید. همچنین در این حالت، جریان عبوری از مدار را نیز باید به کمک یک آمپرسنج اندازه بگیرید. اکنون با استفاده از رابطه ۲-۶ مقاومت داخلی باتری را محاسبه کنید البته در یک اندازه‌گیری دقیق‌تر معمولاً از یک مقاومت متغیر استفاده می‌شود و مقاومت داخلی پس از چندین اندازه‌گیری محاسبه می‌شود. آزمایش را یک بار برای باتری نو و یک بار برای باتری فرسوده انجام دهید.

۲-۵ توان در مدارهای الکتریکی

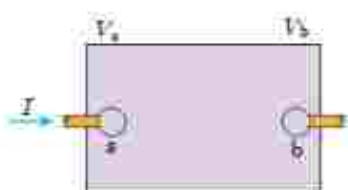
اکنون می‌خواهیم رابطه‌هایی برای انرژی و توان در مدارهای الکتریکی به دست آوریم. جعبه‌شکل ۲-۱۸ بخشی از یک مدار الکتریکی را نشان می‌دهد که می‌تواند شامل باتری، مقاومت و یا هر چیز دیگری باشد که اختلاف پتانسیلی بین پایانه‌های آن برقرار است. فرض کنید بار q در مدت زمان t تحت اختلاف پتانسیل ΔV از پایانه a به پایانه b برود. در فصل پیش دیدیم تغییر انرژی پتانسیل بار q در این انتقال برابر با $\Delta U = q\Delta V$ است. از طرفی توان الکتریکی، آهنگ تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی بار q هنگام عبور از این بخش از مدار است:

$$P = \frac{\Delta U}{t} = \frac{q\Delta V}{t} = \left(\frac{q}{t}\right)\Delta V = I\Delta V$$

معمولاً اختلاف پتانسیل پایانه‌های a و b را به منظور ساده‌سازی به جای ΔV با V نشان می‌دهند. بنابراین داریم:

$$P = IV$$

(۲-۱۸)



شکل ۲-۱۸ یک جزء مدار که اختلاف پتانسیلی بین دوسر آن برقرار است.

در این رابطه، توان (P) بر حسب وات (W)، جریان (I) بر حسب آمپر (A) و اختلاف پتانسیل (V) بر حسب ولت (V) است. این رابطه را می‌توان برای منبع نیروی محرکه (مثلاً باتری)، یا برای وسیله مصرف‌کننده (مثلاً مقاومت یک دستگاه الکتریکی) و با... استفاده کرد.

توان الکتریکی مصرفی در یک مقاومت: همان‌طور که گفتیم رابطه ۸-۲ برای مقاومت‌های الکتریکی نیز برقرار است. برای محاسبه توان مصرفی مقاومت، کافی است در این رابطه به جای V از رابطه تعریف مقاومت ($R = V/I$) استفاده کنیم:

$$P_{\text{مصرف}} = IV = I(RI) = RI^2 = \frac{V^2}{R}$$

در نتیجه:

$$P_{\text{مصرف}} = IV = RI^2 = \frac{V^2}{R} \quad (۹-۲)$$

مثال ۲-۵

وقتی دو سر یک بخاری برقی را به اختلاف پتانسیل $220V$ وصل کنیم، جریان $10/0A$ از آن می‌گذرد. الف) توان این بخاری چقدر است؟ ب) اگر این بخاری به مدت $3/0h$ در روز کار کند و قیمت برق مصرفی به ازای هر کیلووات ساعت 50 تومان باشد، هزینه یک ماه مصرف این بخاری چقدر می‌شود؟

پاسخ: الف) بنا به رابطه ۸-۲ توان مورد نیاز بخاری چنین می‌شود:

$$P = IV = (10/0A)(220V) = 2/2 \times 10^3 W = 2/2 kW$$

ب) انرژی مصرفی بخاری برابر Pt می‌شود که بر حسب بکاهای SI، P بر حسب وات (W)، t بر حسب ثانیه (s) است و انرژی مصرفی بر حسب ژول (J) می‌شود. اما برای محاسبه مصرف برق، P را بر حسب کیلووات (kW) و t را بر حسب ساعت (h) می‌گیرند. بنابراین انرژی الکتریکی مصرفی بر حسب کیلووات ساعت (kWh) می‌شود ($1 kWh = 1000 \times 3600 J$)، پس انرژی مصرفی بخاری در یک ماه، برابر است با

$$U = Pt = (2/2 kW)(30 \times 24 h) = 198 kWh$$

در نتیجه بهای برق مصرفی این بخاری در یک ماه چنین می‌شود:

$$\text{تومان} = (198 kWh) \left(50 \frac{\text{تومان}}{kWh} \right) = 9900 \text{ تومان}$$

فعالیت ۲-۴



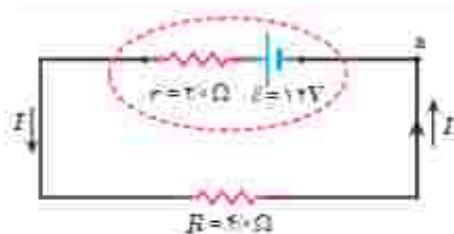
قانون ژول بیان می‌دارد گرمای تولید شده توسط جریان I عبوری از یک مقاومت R در مدت زمان t برابر با RtI^2 است. این قانون را می‌توان به روش گرماسنجی یا یک گرماسنج که در فیزیک دهم با آن آشنا شدید، تحقیق کرد. اسباب این آزمایش در شکل نشان داده شده است. دربارهٔ جگونگی این آزمایش تحقیق کنید.

فعالیت ۵-۲



همانند شکل با یک اهم متر، مقاومت رشته سیم داخلی لامپ ۱۰ واتنی را اندازه گیری کنید. سپس با استفاده از رابطه $P_{\text{در}} = V^2/R$ ، و با دانستن مشخصات روی لامپ، مقاومت آن را در حالت روشن محاسبه کنید. چرا مقدار اندازه گیری شده یا مقدار محاسبه شده متفاوت است؟ نتیجه را پس از گفت و گوی گروهی، گزارش دهید.

مثال ۶-۲



برای مدار نشان داده شده در شکل، الف) توان مصرفی در مقاومت و ب) توان خروجی باتری را محاسبه کنید.

پاسخ: الف) نخست، جریان را با استفاده از رابطه ۷-۲ به دست می آوریم:

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

اکنون توان مصرفی مقاومت R چنین می شود:

$$P_{\text{در}} = RI^2 = (4/0\Omega)(2/0\text{A})^2 = 16\text{W}$$

ب) با استفاده از باستگی انرژی بدیهی است که توان الکتریکی خروجی باتری برابر با توان مصرفی مقاومت ۴ اهمی، یعنی ۱۶W می شود. با این حال، این را می توانیم به طور مستقیم نیز نشان دهیم:

$$V_{\text{در}} = \mathcal{E} - Ir = 12/0\text{V} - (2/0\text{A})(2/0\Omega) = 8/0\text{V}$$

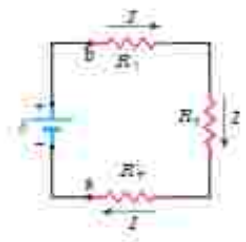
$$P_{\text{در}} = IV_{\text{در}} = (2/0\text{A})(8/0\text{V}) = 16\text{W}$$

۶-۲ ترکیب مقاومت ها

مقاومت ها در انواع وسایل الکتریکی دیده می شوند. از ساده ترین وسیله ها مانند بخاری های برقی و موخشک کن ها گرفته تا وسایل الکتریکی پیچیده تری مانند تلویزیون و رایانه ها، مدارهای این وسیله ها اغلب چندین مقاومت دارند؛ در نتیجه لازم است که ترکیبی از مقاومت ها را در نظر بگیریم. رشته ای از لامپ ها که در چراغانی ها به کار می رود، نمونه ساده ای از ترکیب مقاومت هاست که در آن هر لامپ به عنوان یک مقاومت عمل می کند و رشته لامپ ها از دیدگاه تحلیل مدار، ترکیبی است از مقاومت ها. ترکیب مقاومت ها ممکن است بسیار پیچیده باشند، اما کار کردن با دو نوع از این ترکیب ها بسیار ساده است: مقاومت های منوالی و مقاومت های موازی. وقتی مقاومت ها به طور منوالی، یا موازی یا ترکیبی از هر دو بسته شده باشند، آنها را می توانیم با یک مقاومت معادل

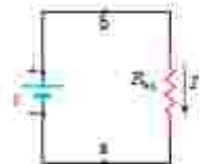
جایگزین کنیم. در این بخش به این موضوع می پردازیم و اینکه چگونه می توان مقاومت معادل ترکیبی از مقاومت ها را تعیین کرد.

به هم بستن متوالی مقاومت ها: شکل ۱۹-۲ سه مقاومت را نشان می دهد که به طور متوالی به یک باتری آرمانی یا نیروی محرکه الکتریکی \mathcal{E} بسته شده اند. توجه کنید واژه «متوالی» ربط چندانی به چگونگی رسم مقاومت ها ندارد. «متوالی» به معنای بسته شدن مقاومت ها یکی پس از دیگری است، به طوری که هیچ اتصالی بین آنها وجود نداشته باشد و اختلاف پتانسیل V به دوسر این مجموعه از مقاومت ها اعمال شده باشد. در بستن متوالی مقاومت ها از همه مقاومت ها جریان یکسان I عبور می کند. به عبارتی اگر آمپرسنج هایی را در نقطه های مختلفی از این مدار قرار دهیم، همگی جریان یکسانی را نشان می دهند. مقاومت هایی را که به طور متوالی بسته شده اند می توان با یک مقاومت معادل R_{eq} جایگزین کرد که دارای همان اختلاف پتانسیل کل اعمال شده به دوسر مجموعه مقاومت ها و همان جریان I است.



شکل ۱۹-۲ سه مقاومت که به طور متوالی به یک باتری آرمانی متصل شده اند.

اختلاف پتانسیل کل اعمال شده به دوسر مجموعه مقاومت ها، برابر با جمع اختلاف پتانسیل های دوسر مقاومت هاست: $V = \mathcal{E} = V_1 + V_2 + V_3$. اکنون به سراغ محاسبه جریان I می رویم. با به کارگیری تعریف مقاومت الکتریکی ($R = V/I$) برای هر یک از مقاومت ها و با توجه به برابری



شکل ۱۹-۳ مدار معادل شکل ۱۹-۲ که در آن سه مقاومت با مقاومت R_{eq} جایگزین شده است.

جریان آنها داریم:

$$V = \mathcal{E} = IR_1 + IR_2 + IR_3$$

و در نتیجه

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R_1 + R_2 + R_3}$$

با تعریف مقاومت معادل، به صورت

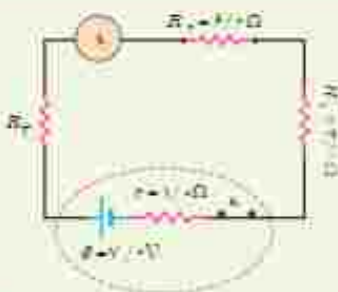
$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$$

مدار شکل ۱۹-۲ را می توان با مدار معادل شکل ۱۹-۳ جایگزین کرد. بدیهی است که اگر به جای سه مقاومت، n مقاومت متوالی داشته باشیم، مقاومت معادل آنها از رابطه زیر به دست می آید:

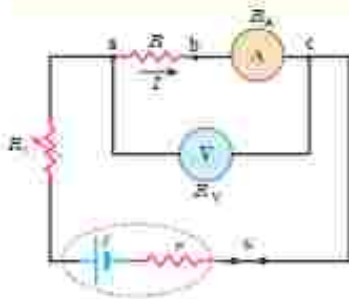
$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n \quad (19-2)$$

توجه کنید وقتی مقاومت ها به طور متوالی بسته شده اند، مقاومت معادل آنها بزرگ تر از مقاومت هر یک از آنهاست.

تمرین ۲-۲



در شکل رویه رو، سه مقاومت به هم را یک آمپرسنج به صورت متوالی به یک باتری وصل شده اند و مقاومت آمپرسنج صفر است (آمپرسنج آرمانی). اگر مقاومت معادل مقاومت های R_2 و R_3 برابر با 12.0Ω باشد، مقاومت R_1 چقدر است؟ (ب) جریانی را که آمپرسنج نشان می دهد به دست آورید. (ب) توان خروجی باتری چقدر است؟



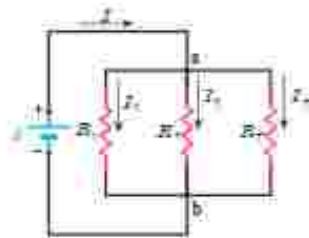
شکل رویه‌رو مدار را برای اندازه‌گیری مقاومت مجهول R نشان می‌دهد. فرض کنید در این مدار ولت‌سنج $24/0\text{ V}$ و آمپر‌سنج $0/200\text{ A}$ را نشان دهد. مقاومت ولت‌سنج $R_V = 1/0 \times 10^3 \Omega$ و مقاومت آمپر‌سنج $R_A = 1/0 \Omega$ است. مقاومت R را به دست آورید.

پاسخ: مقاومت‌های R_1 و R_2 به‌طور متوالی به هم بسته شده‌اند و اختلاف پتانسیل دوسر آنها برابر با $24/0\text{ V}$ است. با توجه به اینکه آمپر‌سنج جریان $0/200\text{ A}$ را نشان می‌دهد و به‌طور متوالی به مقاومت R بسته شده است، جریان عبوری از این دو مقاومت نیز برابر $0/200\text{ A}$ است:

$$R_{eq} = \frac{V}{I} = \frac{24/0\text{ V}}{0/200\text{ A}} = 120\Omega$$

با توجه به اینکه $R_{eq} = R + R_1$ و $R_1 = 1/0 \Omega$ است مقاومت مجهول برابر با $R = 119\Omega$ می‌شود.

مقاومت یک ولت‌سنج باید خیلی بزرگ باشد تا قرار گرفتن آن در مدار، ولتاژ اجزای مدار را به‌طور محسوسی تغییر ندهد. همچنین مقاومت یک آمپر‌سنج باید خیلی ناچیز باشد تا قرار گرفتن آن در مدار به‌طور محسوسی جریان اجزای مدار را تغییر ندهد. همان‌طور که در مثال بالا ملاحظه شد، مقاومت‌های آمپر‌سنج و ولت‌سنج این ویژگی‌ها را دارند.



بستن مقاومت‌ها به‌صورت موازی؛ شکل ۲-۲۱ یک مدار الکتریکی را نشان می‌دهد که سه مقاومت به‌صورت موازی به یک باتری آرمانی یا تئوری محرکه الکتریکی \mathcal{E} بسته شده‌اند. توجه کنید واژه «موازی» ارتباط چندانی به چگونگی رسم مقاومت‌ها ندارد؛ بلکه «به‌صورت موازی» به معنای آن است که یک سر مقاومت‌ها مستقیماً به یکدیگر و سر دیگر آنها نیز مستقیماً به هم وصل شده است و اختلاف پتانسیل یکسان V به دوسر این مقاومت‌ها اعمال شده است. بنابراین، هر یک از مقاومت‌ها اختلاف پتانسیل یکسان V در دوسر خود دارد؛ یعنی:

$$V = \mathcal{E} = V_1 = V_2 = V_3$$

مجموعه مقاومت‌هایی که به این روش متصل شده‌اند را می‌توان با یک مقاومت معادل R_{eq} جایگزین کرد که دارای همان اختلاف پتانسیل V و جریان کلی است که از مقاومت‌ها می‌گذرد. برای یافتن عبارتی برای R_{eq} ، نخست رابطه بین جریان‌های I_1 ، I_2 ، و I_3 را بررسی می‌کنیم. با توجه به باستگی بار الکتریکی و اینکه هیچ باری نمی‌تواند در یک نقطه مدار جمع گردد، باز ورودی به نقطه a در واحد زمان یا مجموع بارهای خروجی از نقطه b در واحد زمان برابر است. همان‌طور که می‌دانیم بار عبوری در واحد زمان همان جریان است. بنابراین داریم:

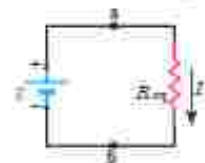
$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

از طرفی، از تعریف مقاومت می‌توانیم جریان‌های عبوری از هر یک از مقاومت‌ها را به دست آوریم:

$$I_1 = \frac{V}{R_1}, \quad I_2 = \frac{V}{R_2}, \quad I_3 = \frac{V}{R_3}$$

با قرار دادن این جریان‌ها در معادله قبلی خواهیم داشت:

$$I = V \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$$



شکل ۲۶-۴ مدار معادل شکل ۲۱-۲ که در آن مقاومت معادل R_{eq} جایگزین مقاومت های R_1, R_2, R_3 شده است.

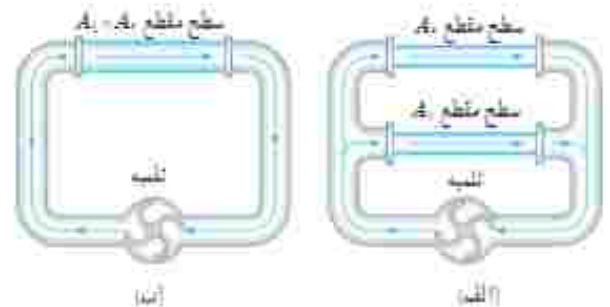
اگر ترکیب موازی مقاومت‌ها را با مقاومت R_{eq} جایگزین کنیم $I = \frac{V}{R_{eq}}$ می‌شود و از آنجا خواهیم داشت:

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

در حالت کلی برای n مقاومت موازی به رابطه زیر می‌رسیم:

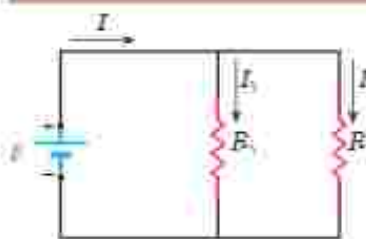
$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad (۱۱-۲)$$

مدار شکل ۲۱-۲ به مدار معادل شکل ۲۲-۲ تبدیل می‌شود. توجه کنید هرگاه چند مقاومت به صورت موازی به هم بسته شوند، مقاومت معادل آنها کوچک‌تر از هر یک از مقاومت‌های موجود در آن ترکیب است. برای اینکه به درکی از این نتیجه برسیم، مشابهت‌سازی با لوله‌های آب می‌تواند راه‌گشا باشد. شکل ۲۳-۲ الف دو لوله هم‌طول با سطح مقطع های A_1 و A_2 را نشان می‌دهد که به طور موازی به یک تلمبه آب متصل شده‌اند. در شکل ۲۳-۲ ب این دو لوله با یک تک لوله به همان طول آنها، ولی با سطح مقطعی برابر با مجموع سطح مقطع‌های آن دو لوله جایگزین شده است. اکنون تلمبه، آب بیشتری از لوله عرض‌تر در مقایسه با هر یک از لوله‌ها عبور می‌دهد. به عبارتی، لوله عرض‌تر مقاومت کمتری نسبت به شارش آب در مقایسه با هر یک از دو لوله باریک‌تر دارد.



شکل ۲۳-۲ الف) دو لوله هم‌طول با سطح مقطع های A_1 و A_2 و ب) در صورت موازی به تلمبه‌ای متصل شده‌اند. ب) در لوله بخش الف معادل با تک لوله‌ای با همان طول و سطح مقطع مجموع آنهاست.

مثال ۲-۸



در شکل زیر، یک باتری آرمانی اختلاف پتانسیل $\mathcal{E} = 12V$ را به دو سر مقاومت‌های $R_1 = 4 \Omega$ و $R_2 = 6 \Omega$ اعمال می‌کند. الف) جریان عبوری از هر مقاومت

و ب) جریانی که از باتری می‌گذرد چقدر است؟

پاسخ: مطابق شکل جریان عبوری از باتری، مقاومت R_1 و مقاومت R_2 را به ترتیب

با I, I_1 و I_2 نشان داده‌ایم.

الف) بدیهی است که اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت‌های R_1 و R_2 برابر با اختلاف پتانسیل باتری است. بنابراین داریم:

$$V_1 = \mathcal{E} = I_1 R_1 \Rightarrow I_1 = \frac{\mathcal{E}}{R_1} = \frac{12V}{4 \Omega} = 3 A$$

$$V_2 = \mathcal{E} = I_2 R_2 \Rightarrow I_2 = \frac{\mathcal{E}}{R_2} = \frac{12V}{6 \Omega} = 2 A$$

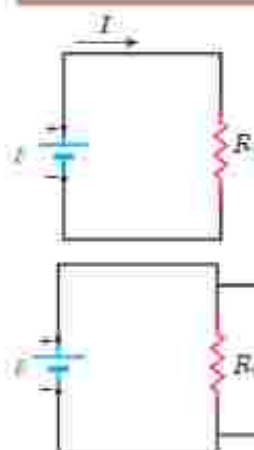
ب) و برای جریان عبوری از باتری داریم:

$$I = I_1 + I_2 = 3 A + 2 A = 5 A$$

فعالیت ۲-۶

مداری مانند مدار مثال ۲-۸ بسازید و در هر شاخه آن، یک آمپرسنج قرار دهید. با خواندن آمپرسنج‌ها، رابطه بین جریان‌ها را بررسی کنید.

مثال ۲-۱



مدار ساده‌شکل روبه‌رو را که شامل یک منبع نیروی محرکه الکتریکی آرمانی با $\mathcal{E} = 15\text{ V}$ و یک مقاومت با $R_1 = 10\text{ k}\Omega$ است، در نظر بگیرید.

الف) جریان عبوری از منبع را به دست آورید.

ب) اگر مقاومت $R_2 = 100\text{ M}\Omega$ به‌طور موازی به دو سر مقاومت R_1 متصل شود، مقاومت معادل

مدار چقدر می‌شود و چه جریانی از منبع می‌گذرد؟

پاسخ: الف) با استفاده از تعریف مقاومت داریم:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R_1} = \frac{15\text{ V}}{10 \times 10^3 \Omega} = 1.5 \times 10^{-3}\text{ A} = 1.5\text{ mA}$$

ب) با استفاده از رابطه ۲-۱۱ داریم:

$$\frac{1}{R_{\text{eq}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

در نتیجه

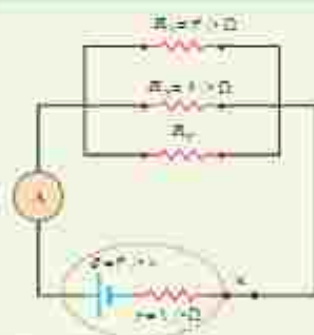
$$R_{\text{eq}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{(10 \times 10^3 \Omega)(100 \times 10^6 \Omega)}{10 \times 10^3 \Omega + 100 \times 10^6 \Omega} = 9.9\text{ k}\Omega$$

و بنابراین، جریان عبوری از منبع برابر است با

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R_{\text{eq}}} = \frac{15\text{ V}}{9.9 \times 10^3 \Omega} = 1.52 \times 10^{-3}\text{ A} = 1.52\text{ mA}$$

همان‌طور که می‌بینید، مقاومت معادل در این حالت که یکی از مقاومت‌ها خیلی بزرگ‌تر از مقاومت دیگر است ($R_2 \gg R_1$) تقریباً برابر با مقاومت کوچک‌تر (R_1) است.

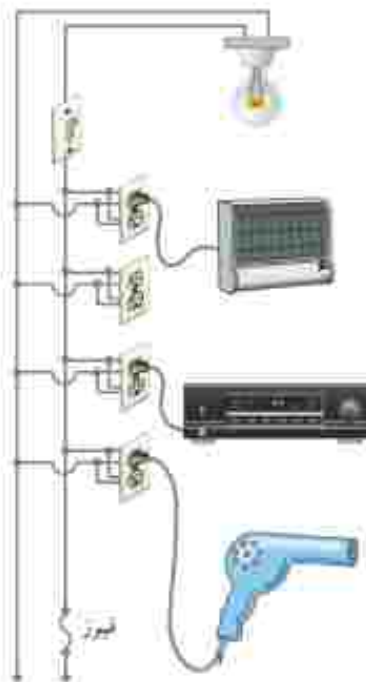
تمرین ۲-۴



در شکل روبه‌رو سه مقاومت موازی به همراه یک آمپرشیج آرمانی به دو سر یک باتری وصل شده‌اند. اگر مقاومت معادل این ترکیب $1/6\ \Omega$ باشد، الف) مقاومت R_3 چقدر است؟ ب) جریانی که آمپرشیج نشان می‌دهد را به دست آورید. ب) توان خروجی باتری چقدر است؟

مثال ۲-۱۵

یک لامپ رشته‌ای 10 W ، یک بخاری برقی 2000 W ، یک دستگاه پخش صوت 200 W و یک ستوار (موختک‌کشی) 2200 W مطابق شکل به بریزهای یک مدار سیم‌کشی خانگی 220 V وصل شده است. الف) فیوز قطعه‌ای حفاظتی در مسیر سیم‌کشی‌های الکتریکی است که وقتی جریان الکتریکی بخواد از حد مجاز بیشتر شود، جریان را قطع می‌کند. اگر فیوز شکل، 15 A باشد، یعنی حداکثر بتواند جریان 15 A را تحمل کند، آیا فیوز خواهد پرید؟ ب) نشان دهید توان الکتریکی مصرفی معادل برابر با مجموع توان‌های الکتریکی مصرفی در هر یک از آنهاست.



پاسخ: الف) همان طور که در شکل می بینیم در سیم کشی منازل همه مصرف کننده ها به طور موازی متصل می شوند. بنابراین، جریان کل عبوری از فیوز برابر با مجموع جریان های عبوری از هر یک از مصرف کننده هاست. با استفاده از رابطه $I = P/V$ جریان عبوری از هر یک از این چهار مصرف کننده را به دست می آوریم. بنابراین، به ترتیب داریم:

$$I_{\text{لامپ}} = \frac{P_{\text{لامپ}}}{V} = \frac{100 \text{ W}}{220 \text{ V}} = 0.455 \text{ A}$$

$$I_{\text{تلویزیون}} = \frac{P_{\text{تلویزیون}}}{V} = \frac{2000 \text{ W}}{220 \text{ V}} = 9.09 \text{ A}$$

$$I_{\text{بخار}} = \frac{P_{\text{بخار}}}{V} = \frac{200 \text{ W}}{220 \text{ V}} = 0.909 \text{ A}$$

$$I_{\text{سشوار}} = \frac{P_{\text{سشوار}}}{V} = \frac{220 \text{ W}}{220 \text{ V}} = 1.0 \text{ A}$$

بنابراین، جریان کل عبوری از فیوز برابر است با

$$I_{\text{فیوز}} = I_{\text{کل}} = I_{\text{لامپ}} + I_{\text{تلویزیون}} + I_{\text{بخار}} + I_{\text{سشوار}} \\ = 0.455 \text{ A} + 9.09 \text{ A} + 0.909 \text{ A} + 1.0 \text{ A} = 20.45 \text{ A}$$

چون فیوز ۱۵A است، بنابراین، فیوز خواهد پرید. در اغلب منازل چند مدار سیم کشی جداگانه داریم که هر یک فیوز مربوط به خود را دارد. برای اینکه بتوانیم به طور هم زمان از چند وسیله برقی استفاده کنیم، باید وسایل برقی را به طور هم زمان به یک مدار وصل نکنیم و مدارهای دیگر را نیز به کار گیریم.

ساده ترین راهی که همه مصرف کننده ها به طور موازی متصل می شوند. بنابراین، مقاومت معادل مصرف کننده های شکل از رابطه ۱۱-۲ بدست می آید. بنابراین، برای محاسبه مقاومت لازم است مقاومت هر یک از وسیله ها را به طور جداگانه محاسبه کنیم. مقاومت

هر مصرف کننده با استفاده از رابطه $P = \frac{V^2}{R}$ به دست می آید. بنابراین، به ترتیب داریم:

$$R_{\text{تلویزیون}} = \frac{V^2}{P_{\text{تلویزیون}}} = \frac{(220 \text{ V})^2}{2000 \text{ W}} = 24.2 \Omega$$

$$R_{\text{لامپ}} = \frac{V^2}{P_{\text{لامپ}}} = \frac{(220 \text{ V})^2}{100 \text{ W}} = 484 \Omega$$

$$R_{\text{سشوار}} = \frac{V^2}{P_{\text{سشوار}}} = \frac{(220 \text{ V})^2}{220 \text{ W}} = 220 \Omega$$

$$R_{\text{بخار}} = \frac{V^2}{P_{\text{بخار}}} = \frac{(220 \text{ V})^2}{200 \text{ W}} = 242 \Omega$$

پس مقاومت معادل چنین محاسبه می شود:

$$\frac{1}{R_{\text{معادل}}} = \frac{1}{R_{\text{لامپ}}} + \frac{1}{R_{\text{تلویزیون}}} + \frac{1}{R_{\text{بخار}}} + \frac{1}{R_{\text{سشوار}}} \\ = \frac{1}{484 \Omega} + \frac{1}{24.2 \Omega} + \frac{1}{242 \Omega} + \frac{1}{220 \Omega} = 0.093 \Omega^{-1}$$

و در نتیجه $R_{\text{معادل}} = 10.75 \Omega \approx 10.8 \Omega$ بنابراین، توان مصرفی مقاومت معادل چنین می شود:

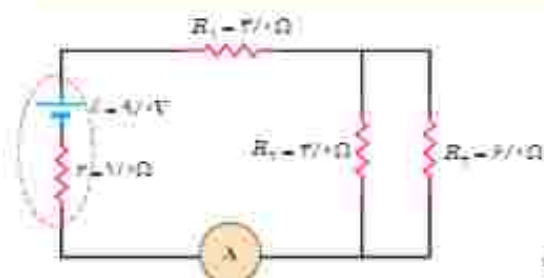
$$P_{R_{\text{معادل}}} = \frac{V^2}{R_{\text{معادل}}} = \frac{(220 \text{ V})^2}{10.75 \Omega} = 4.5 \text{ kW}$$

اکنون می‌خواهیم این نتیجه را با مجموع توان‌های هر یک از مصرف‌کننده‌ها مقایسه کنیم.
مجموع توان مصرف‌کننده‌ها برابر است با

$$P_{\text{کل}} = P_{\text{لامپ}} + P_{\text{بخاری}} + P_{\text{بخار}} + P_{\text{موتور}} = 100\text{W} + 200\text{W} + 200\text{W} + 200\text{W} = 450\text{W}$$

که همان توان مصرفی مقاومت معادل است.

مثال ۲-۱۱



در مدار شکل رویه‌رو

الف) مقاومت معادل،

ب) جریانی که آمپر سنج نشان می‌دهد، و

ج) جریان گذرنده از مقاومت‌های R_1 و R_2 را محاسبه کنید.

پاسخ: الف) مقاومت‌های R_2 و R_3 موازی با هم وصل شده‌اند، مقاومت

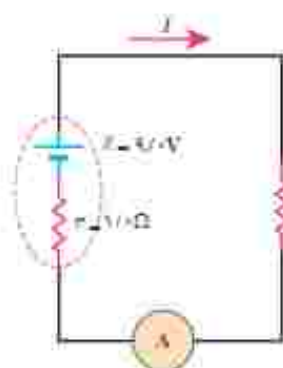
معادل آنها را R_{23} می‌نامیم.

$$\frac{1}{R_{23}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \Rightarrow R_{23} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = \frac{(3\Omega)(6\Omega)}{3\Omega + 6\Omega} = 2\Omega$$

مقاومت معادل R_{23} و مقاومت R_1 متوالی با هم وصل شده‌اند. مقاومت معادل آنها را با R_{eq} نشان می‌دهیم:

$$R_{eq} = R_1 + R_{23} = 3\Omega + 2\Omega = 5\Omega$$

ب) با استفاده از رابطه $V = IR$ برای شکل رویه‌رو داریم:



$$I = \frac{\mathcal{E}}{R_{eq} + r} = \frac{9\text{V}}{5\Omega + 1\Omega} = 1.5\text{A}$$

جریان گذرنده از باتری، مقاومت معادل R_{eq} و آمپر سنج یکسان است. بنابراین

آمپر سنج جریان 1.5A را نشان می‌دهد.

ج) می‌دانیم جریان گذرنده از مقاومت‌های متوالی با جریان مقاومت معادل آنها برابر

است، پس

$$I_1 = I_{23} = I \Rightarrow I_1 = I_{23} = 1.5\text{A}$$

برای به دست آوردن I_2 نخست V_1 را به دست می‌آوریم. می‌دانیم در مقاومت‌های موازی، ولتاژ هر مقاومت با ولتاژ مقاومت

معادل برابر است. پس $V_1 = V_{23}$ و بنابراین کافی است V_{23} را بیابیم:

$$V_{23} = R_{23} I_{23} = (2\Omega)(1.5\text{A}) = 3\text{V}$$

در نتیجه برای جریان I_2 داریم:

$$I_2 = \frac{V_1}{R_2} = \frac{V_{23}}{R_2} = \frac{3\text{V}}{3\Omega} = 1\text{A}$$

با استفاده از این اطلاعات الف) مقدار بار کل منتقل شده بین این دو زمین، ب) جریان متوسط در یک پورتس آدرخس و ب) توان الکتریکی آزاد شده در 20s را بدست آورید.

۵) در آزمایش تحقیق قانون اهم، نتایج جدول زیر به دست آمده است.

شماره آزمایش	عده ولت‌سنج (V)	عده آمپر سنج (A)
۱	۱.۶	۰.۱۶
۲	۲.۲	۰.۲۲
۳	۷.۰	۰.۷۰
۴	۹.۰	۰.۹۰
۵	۱۰.۰	۱.۰۰

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

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



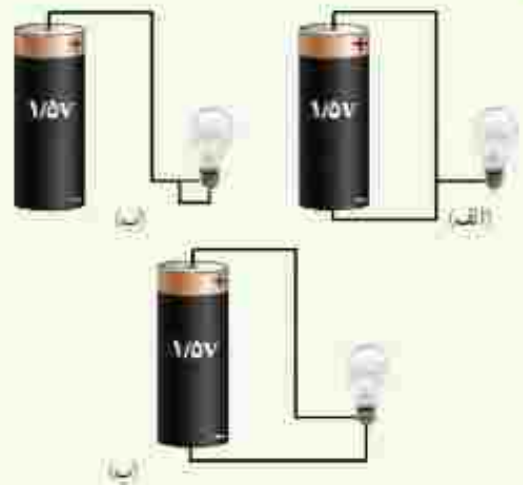
۳-۲ عوامل مؤثر بر مقاومت الکتریکی

۷) دو رسانای فلزی از یک ماده ساخته شده‌اند و طول یکسانی دارند. رسانای A سیم توپری به قطر $1/8\text{ mm}$ است. رسانای B لوله‌ای توخالی به شعاع خارجی $2/0\text{ mm}$ و شعاع داخلی $1/0\text{ mm}$ است. مقاومت رسانای A چند برابر مقاومت رسانای B است؟

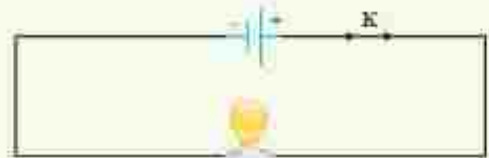
۸) در ماشین‌های چمن‌زنی برقی برای مسافت‌های حداکثر تا 35 m از سیم‌های مسی نمره 20 (قطر 0.81 mm) و برای مسافت‌های طولانی‌تر از سیم‌های ضخیم‌تر نمره 16 (قطر 1.27 mm) استفاده می‌کنند تا بدین ترتیب مقاومت سیم را تا آنجا که ممکن است کوچک نگه دارند. الف) مقاومت یک

۲-۲ و ۲-۱ جریان الکتریکی، مقاومت الکتریکی و قانون اهم

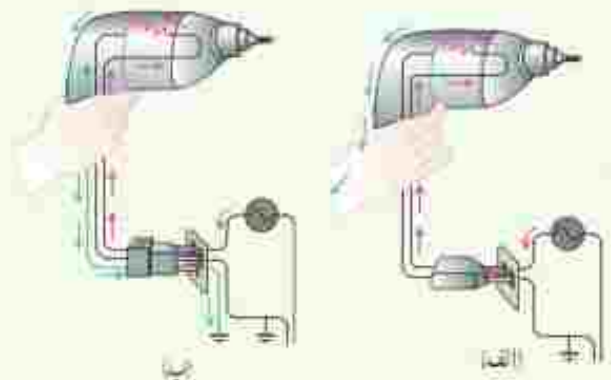
۱) در کدام یک از شکل‌های زیر، لامپ روشن می‌شود؟



۲) در مدار شکل زیر اختلاف پتانسیل دو سر لامپ 4.0 V و مقاومت آن $5.0\ \Omega$ است. در مدت ۵ دقیقه چه تعداد الکترون از لامپ می‌گذرد؟



۳) بررسی کنید اگر نمره برقی (دریل) محبوب شکل‌های زیر را با دو شاخه (شکل الف) یا سه شاخه (شکل ب) به بریز وصل کنیم، چه رخ می‌دهد؟



۴) آدرخس منالی جالب از جریان الکتریکی در پدیده‌های طبیعی است. در یک آدرخس نوعی 10^9 A انرژی تحت اختلاف پتانسیل 10^7 V در بازه زمانی 2 s آزاد می‌شود.

سیم ۳۰ متری مالمین جمن زنی جقدر است؟ ب) مقاومت یک سیم ۷۰ متری مالمین جمن زنی جقدر است؟ (دمای سیم ها را 20°C در نظر بگیرید.)

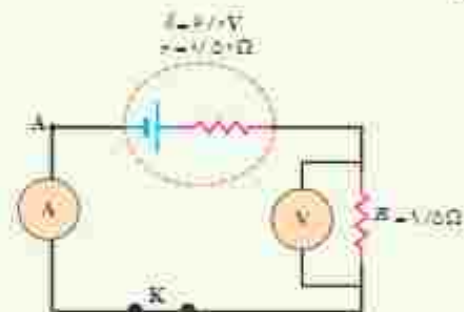


۲-۴ نیروی محرکه الکتریکی و مدارها

۱ شکل زیر یک مشابهت سازی مکانیکی برای درک مقاومت و نیروی محرکه الکتریکی را نشان می دهد که در آن بر سطح شیب داری میخ هایی تعبیه شده و تپله ها از ارتفاع بالای سطح شیب دار رها می شوند و پس دوباره به بالای سطح شیب دار بازگردانده می شوند. این مشابهت سازی مکانیکی را توجیه کنید.



۲ یک باتری را در نظر بگیرید که وقتی به مدار بسته است پتانسیل دو سرش برابر 1.2V است. وقتی یک مقاومت $10/1\Omega$ به این باتری بسته شود، اختلاف پتانسیل دو سر باتری به 1.0V کاهش می یابد. مقاومت داخلی باتری جقدر است؟
۳ در شکل زیر آمپر سنج و ولت سنج چه ندهایی را نشان می دهند؟



۲-۵ توان در مدارهای الکتریکی

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

۲ بر روی وسیله های الکتریکی، اعداد مربوط به ولتاژ و توان نوشته می شود. برای دو وسیله زیر،

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

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



۲۲۰۰W، ۲۲۰V، ۲۴۰۰ میلی آمپری برقی



۸۵۰W، ۲۲۰V، اتوی برقی

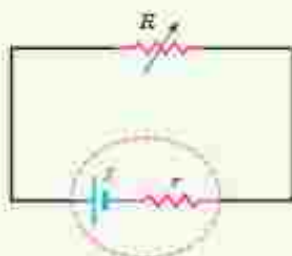
۳ نلوژیون و یکی از لامپ های خانه خود را در نظر بگیرید و فرض کنید که هر کدام روزی ۸ ساعت با اختلاف پتانسیل 220V روشن باشند.

الف) انرژی الکتریکی مصرفی هر کدام در یک دوره یک ماهه (30 روز) چند kWh است؟ (توان مصرفی هر وسیله را از روی آن بخوانید.)

ب) آیا بهای برق مصرفی هر کدام از قرار هر کیلووات ساعت 500 تومان در یک دوره یک ماهه جقدر می شود؟

پ) اگر در شهر شما هر خانه یک لامپ 100 وات اضافی را به مدت ۳ ساعت در شب روشن کند، در طول یک ماه تقریباً چند کیلووات ساعت انرژی الکتریکی اضافی مصرف می شود؟

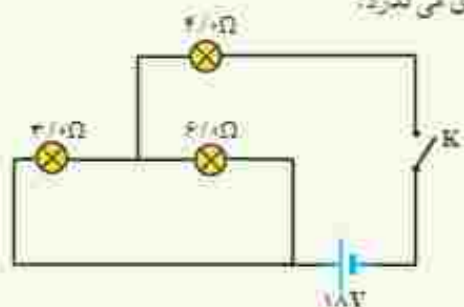
۴ در شکل زیر، الف) نیروی محرکه الکتریکی و مقاومت



۱۱) سه مقاومت مشابه 12Ω اهمی را یک بار به طور متوالی و بار دیگر به طور موازی به یکدیگر می‌نندیم و به اختلاف پتانسیل 12 V وصل می‌کنیم. در هر بار، چه جریانی از هر مقاومت می‌گذرد؟

۱۲) دو مقاومت موازی 6Ω اهمی و 12Ω اهمی به طور متوالی به یک مقاومت 24Ω اهمی وصل شده است. اکنون، مجموعه مقاومت‌ها را به دو سر یک باتری آرمانی 36 V ولتی می‌نندیم. توان مصرفی در مقاومت 6Ω اهمی را محاسبه کنید.

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



۱۴) لامپ‌های A، B و C در شکل زیر همگی یکسان اند. با بستن کلید، کدام یک از تغییرات زیر در اختلاف پتانسیل رخ می‌دهد؟ (ممکن است بیش از یک پاسخ درست باشند).



الف) اختلاف پتانسیل دو سر A و B تغییر نمی‌کند.
ب) اختلاف پتانسیل دو سر C به اندازه 50% کاهش می‌یابد.
پ) هر یک از اختلاف پتانسیل‌های دو سر A و B به اندازه 50% افزایش می‌یابد.

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

۱۵) در سیم‌کشی منازل، همه مصرف‌کننده‌ها به طور موازی متصل می‌شوند. یک اتوی 1100 W ، یک تان برشته‌کن (نوسر) 1800 W ، پنج لامپ رشته‌ای 100 W و یک بخاری 1100 W به برزهای یک مدار سیم‌کشی خانگی 220 V که حداکثر می‌تواند جریان 15 A را تحمل کند وصل شده‌اند. آیا این ترکیب مصرف‌کننده‌ها باعث بریدن فیوز می‌شود یا خیر؟

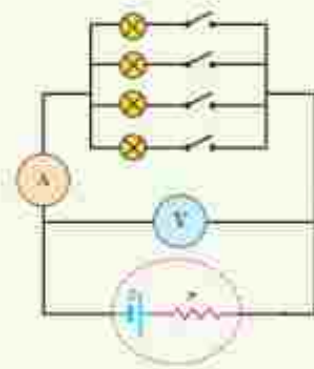
داخلی منبع را که توان خروجی آن به ازای $I_1 = 5 \text{ A}$ برابر $9/50 \text{ W}$ و به ازای $I_2 = 7 \text{ A}$ برابر $12/6 \text{ W}$ است، محاسبه کنید.

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

۲-۶ ترکیب مقاومت‌ها

۱۶) لامپ‌های یک درخت زینتی، به طور متوالی متصل شده‌اند. اگر یکی از لامپ‌ها بسوزد، چه اتفاقی می‌افتد؟ به نظر شما چرا همه چراغ‌های خودرو (چراغ‌های جلو، عقب و ...) به طور موازی بسته می‌شوند؟

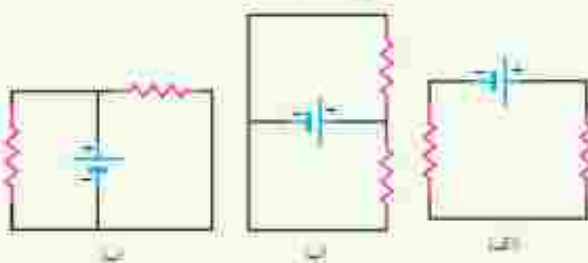
۱۷) مقاومت یک آمپر سنج برای اندازه‌گیری جریان در یک مدار باید چگونه باشد تا جریان اندازه‌گیری شده توسط آمپر سنج با جریان قبل از قرار دادن آمپر سنج، نزدیک به هم باشد؟



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

۱۹) دو لامپ با مقاومت مساوی R را یک بار به طور متوالی و بار دیگر به طور موازی به یکدیگر می‌نندیم و آنها را هر بار به ولتاژ V وصل می‌کنیم. نسبت توان مصرف شده در حالت موازی به توان مصرف شده در حالت متوالی چقدر است؟

۲۰) در شکل‌های زیر، آیا مقاومت‌ها به طور متوالی بسته شده‌اند یا موازی و با هیچ کدام؟



مغناطیس و القای الکترومغناطیسی



وقتی کارت بانکی درون دستگاه کارتخوان کشیده می‌شود، اطلاعات رمزده شده در نوار مغناطیسی پشت کارت، به مرکز اطلاعات بانک ارسال می‌شود. چرا به جای ثابت نگه داشتن کارت در شکاف دستگاه کارتخوان، لازم است آن را بکشیم؟ پاسخ در همین فصل.

کاربرد مغناطیس و آهنربا در جنبه‌های مختلف زندگی بشر، رشدی روزافزون دارد. فراتر از یک قرن، ضبط صدا و تصویر روی محیط‌هایی انجام می‌گرفت که مغناطیس در آنها نقش اصلی داشت. اگرچه فناوری دیجیتال به میزان زیادی جایگزین ضبط مغناطیسی به شیوه‌های سنتی شده است، با وجود این، ذخیره اطلاعات به صورت صفر و یک، هنوز هم در بیشتر روش‌ها به محیط‌های مغناطیسی وابسته است. مغناطیس و آهنرباها همچنین در بلندگوها، گوشی‌های تلفن همراه، رایانه‌ها، کارت‌های بانکی، موتورهای الکتریکی، پنجاه‌ها، و اغلب سامانه‌های هشدار و امنیتی کاربرد دارد. پزشکی امروز نیز در تشخیص بیماری‌ها به کمک دستگاه‌هایی از قبیل ام‌آرآی (MRI)، بهره‌ فراوانی از مغناطیس و آثار آن می‌برد.



شکل ۱-۱ سنگ آهنربای طبیعی - تالسی که اغلب از او به عنوان مدر علم یونان یاد می‌شود. ماده گالی مگنتیت (Fe₃O₄) را که ویژگی آهنربایی دارد می‌ساخت.

۱-۳ مغناطیس و قطب‌های مغناطیسی

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



شکل ۱-۲ از گذشته‌های دور، برای جهت‌یابی در قریب‌الذوق از قطب‌نما استفاده می‌شده است.

در علوم هشتم دیدیم که هرگاه آهنربایی را درون ظرف محتوی براده آهن فرو ببریم، براده‌های آهن به مقدار زیادی جذب ناحیه‌های خاصی از آهنربا می‌شوند. این ناحیه‌ها را قطب‌های مغناطیسی یا قطب‌های آهنربا می‌نامند (شکل ۱-۳).



شکل ۱-۳ در آهنربا، در ناحیه وجود دارد که خاصیت مغناطیس در آنجا بسیار بیشتر از قسمت‌های دیگر است.

پوشش ۱-۳

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

هنگامی که یک آهنربای دائمی برای چندین بار و در یک جهت به یک سوزن خیاطی یا سوزن ته‌گرد کشیده شود، سوزن نیز برای مدتی آهنربا می‌شود (شکل ۱-۴). اگر این سوزن را به آرامی روی سطح آب درون ظرفی شناور کنیم، یا آن را توسط ریسمانی از وسط آن بیاویزم که بتواند آزادانه بچرخد، یک سر آن تقریباً به سوی شمال جغرافیایی قرار می‌گیرد. این سر را قطب شمال یا قطب N و سر دیگر را قطب جنوب یا قطب S می‌نامند.

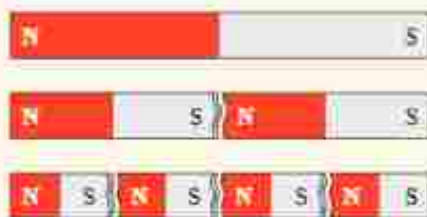


شکل ۱-۴ وقتی یکی از قطب‌های یک آهنربای دائمی را چندین بار به یک جهت به یک سوزن ته‌گرد بکشید، سوزن برای مدتی دارای خاصیت مغناطیس می‌شود.

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



۱- دریافت خود را از شکل الف بیان کنید.
 ۲- در علوم هشتم یا نهمه الفای مغناطیسی آشنا شدید. با توجه به شکل ب این پدیده را توضیح دهید و بیان کنید چرا در پدیده الفای مغناطیسی همواره جذب وجود دارد؟



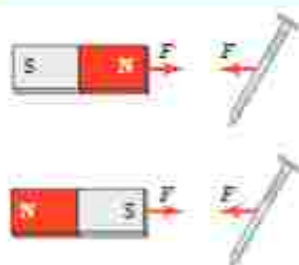
شکل الف

فناوری و کاربرد نانو ذره های مغناطیسی برای درمان



لکه های تیره در تصویر میکروسکوپی روبه روه، یاخته های سرطانی اند که از نوموری جدا شده اند و خطر بخش آنها در سر تا سر بدن بیمار وجود دارد. در یک روش تجربی برای مبارزه با این یاخته ها از ذره های یک ماده مغناطیسی استفاده می شود که به بدن تزریق می شوند. این ذره ها با ماده کیمیایی خاصی پوشیده شده اند که به طور هدفمند به یاخته های سرطانی متصل می شوند. سپس با استفاده از یک آهنربا در بیرون از بدن بیمار، این ذره ها (که در شکل به رنگ قهوه ای نشان داده شده است) بیرون «رانده» می شوند و یاخته های سرطانی را با خود می برند.

۲-۳ میدان مغناطیسی



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

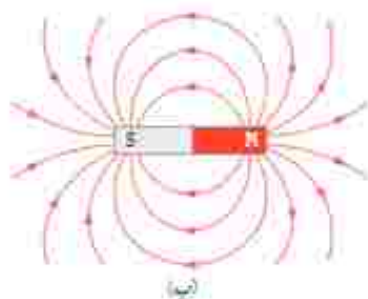
شکل ۲-۳ در فضای اطراف آهنربا میدان مغناطیسی وجود دارد به طوری که هر جسم آهنی مانند میخ را به سوی خود جذب می کند.

فعالیت ۱-۲



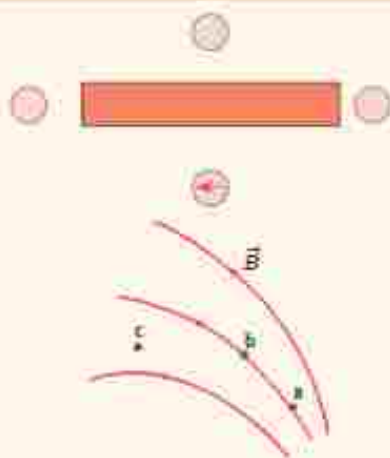
یکی از قطب های یک آهنربای میله ای را به یک غفره مغناطیسی نزدیک کنید (شکل روبه روه). آنچه را می بینید توضیح دهید. یا دور کردن آهنربا از قطب نما چه اتفاقی می افتد؟ دلیل آن را شرح دهید. در صورتی که قطب نما در اختیار ندارید، یک سوزن نه گرد مغناطیسی شده را روی سطح آب، درون ظرفی ششاور سازید. به این ترتیب، سوزن نه گرد مانند غفره مغناطیسی یک قطب نما رفتار می کند.

به کمک عقربه مغناطیسی می توان جهت میدان مغناطیسی را در هر نقطه از فضای اطراف یک آهنربا تعیین کرد (شکل ۳-۴ الف). بنا به تعریف، بردار میدان مغناطیسی در هر نقطه از فضای بیرون یک آهنربا در جهتی است که وقتی عقربه مغناطیسی در آن نقطه قرار می گیرد، قطب N عقربه، آن جهت را نشان می دهد. با تعیین جهت میدان مغناطیسی در هر نقطه از فضای اطراف آهنربا، می توان همان گونه که برای میدان الکتریکی انجام دادیم، خط های میدان مغناطیسی را رسم کنیم. شکل ۳-۴ ب خط های میدان مغناطیسی را در اطراف یک آهنربای میله ای نشان می دهد. این خط ها از آهنربا می گذرند و هر یک از آنها یک حلقه بسته را تشکیل می دهند. افزون بر اینها، خط های میدان مغناطیسی در نزدیکی قطب ها به یکدیگر نزدیک ترند.



نشان دادن جهت تعیین جهت میدان مغناطیسی با کمک عقربه مغناطیسی
 این خط های میدان مغناطیسی در هر نقطه در جهت عقربه مغناطیسی اند و از قطب N خارج و به قطب S وارد می شوند. افزون بر این، خط های بیرون آهنربا نشان داده شده است.

پوشش ۲-۳



۱- شکل رویه رو، یک آهنربای میله ای و تعدادی عقربه مغناطیسی را نشان می دهد.
 الف) کدام سر آهنربا قطب N و کدام سر قطب S است؟
 ب) جهت گیری عقربه های مغناطیسی را در دیگر مکان های روی شکل تعیین کنید.

۲- شکل رویه رو، خط های میدان مغناطیسی در ناحیه ای از فضا را نشان می دهد. بردار میدان مغناطیسی را در هر یک از نقطه های روی شکل رسم کنید. به اندازه و جهت بردار میدان در هر نقطه توجه کنید.

فعالیت ۲-۲



یک آهنربای میله ای را روی سطح افقی میزی قرار دهید. یک قطب نما با عقربه مغناطیسی را مقابل یکی از قطب های آهنربا قرار دهید. روی مسیری دایره ای شکل دور آهنربا، عقربه را به آرامی حرکت دهید (شکل رویه رو). بررسی کنید پس از یک دور حرکت، عقربه چند درجه می چرخد.

هدف: مشاهده طرح خط‌های میدان مغناطیسی با استفاده از براده آهن

وسایله‌های مورد نیاز: آهنربای میله‌ای (دو عدد)، براده آهن، یک ورقه نئوسنه‌ای یا مقوایی، تکه پنبه (با وسیله دیگری برای بانسیدن براده آهن) و دوربین برای عکس گرفتن از نتیجه آزمایش (اختیاری)

شرح آزمایش:

- یکی از آهنرباهای میله‌ای را روی میز قرار دهید و صفحه نئوسنه‌ای (یا مقوایی) را روی آن بگذارید.
- به کمک تکه پنبه، کمی براده آهن را به طور یکنواخت روی نئوسنه (مقوا) بیناسید.



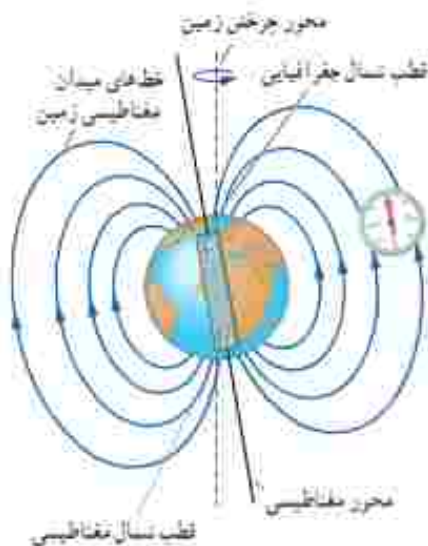
(الف)

(ب)

(ج)

• چند ضربه آرام به صفحه نئوسنه‌ای بزنید تا براده‌های آهن در راستای خط‌های میدان مغناطیسی قرار گیرند. طرحی که روی صفحه نئوسنه‌ای پدیدار می‌شود، نقشه‌ای از خط‌های میدان مغناطیسی یک آهنربای میله‌ای است (شکل الف).

• مراحل بالا را برای دو آهنربای میله‌ای که به ترتیب: قطب‌های ناهمنام و قطب‌های همنام آنها به یکدیگر نزدیک‌اند انجام دهید (شکل‌های ب و ج).



شکل ۷-۱۳ طرح ساده‌ای از میدان مغناطیسی زمین. عمق میدان مغناطیسی قطب‌ها در هر نقطه بر امتداد خط‌های این میدان قرار می‌گیرد.

میدان مغناطیسی زمین: زمین مانند یک آهنربای بسیار بزرگ رفتار می‌کند و طرح خط‌های میدان مغناطیسی آن مانند طرح خط‌های آهنربای میله‌ای بزرگی است که در توده‌ی مرکز زمین قرار دارد و قطب شمال آن در توده‌ی قطب جنوب جغرافیایی زمین است (شکل ۷-۱۳). نشان دادن خط‌های میدان مغناطیسی زمین به صورت خط‌های میدان یک آهنربای میله‌ای، تنها یک مدل ساده از ساختار پیچیده و ناتساخنة عوامل ایجاد میدان مغناطیسی زمین است. شواهد زمین‌شناختی نشان می‌دهند که جهت این میدان در بازه‌های زمانی نامنظم از ده هزار تا یک میلیون سال به طور کامل وارون می‌شود. قطب‌های مغناطیسی زمین بر قطب‌های جغرافیایی آن منطبق نیستند. در واقع، قطب‌های مغناطیسی و جغرافیایی زمین فاصله نسبتاً زیادی از یکدیگر دارند؛ مثلاً قطب جنوب مغناطیسی تقریباً در فاصله ۱۸۰۰ کیلومتری قطب شمال جغرافیایی قرار دارد. این بدان معناست که عمق میدان مغناطیسی قطب‌ها در جهت شمال واقعی جغرافیایی قرار نمی‌گیرد و تا حدودی از شمال جغرافیایی انحراف دارد.

فعالیت ۳-۳

وقتی یک سوزن مغناطیسی شده با یک عقربه مغناطیسی را از وسط آن آویزان می‌کنیم در بیشتر نقاط زمین، به طور افقی قرار نمی‌گیرد و امتداد آن با سطح افقی زمین زاویه می‌سازد. به این زاویه، **نسب مغناطیسی** گفته می‌شود. برای یافتن نسب مغناطیسی محلی که در آن زندگی می‌کنید درست به وسط یک سوزن مغناطیسی شده یا عقربه مغناطیسی بزرگ، نخ را ببندید و آن را آویزان کنید. پس از تعادل، به کمک تقاله، زاویه‌ای را اندازه بگیرید که امتداد سوزن با عقربه مغناطیسی یا راستای افق می‌سازد. عدد به دست آمده، نسب مغناطیسی محل زندگی شماست. چنانچه در آزمایشگاه مدرسه نسب منح مغناطیسی موجود باشد می‌توانید از آن نیز استفاده کنید.

خوب است بدانید: جهت‌یابی مغناطیسی در جانداران

بسیاری از موجودات زنده از میدان مغناطیسی زمین برای جهت‌یابی استفاده می‌کنند. خرچنگ خاردار کارائیب در برابر میدان‌های مغناطیسی بسیار حساس است (شکل الف). این جاندار یک قطب‌نمای مغناطیسی بیرونی دارد که تشخیص شمال، جنوب، شرق و غرب را برایش امکان‌پذیر می‌کند. این خرچنگ همچنین می‌تواند تفاوت اندک در میدان مغناطیسی زمین از مکانی به مکان دیگر را حس کند و از این تفاوت، در یافتن مسیر خود بهره بگیرد.

در سال ۱۹۷۵ میلادی، دانشمندان مؤسسه فناوری ماساچوست (MIT) هنگام بررسی باکتری‌های موجود در لجن نه بانلاق‌ها، متوجه شدند که این باکتری‌ها دارای قسمت‌هایی کوچک در بدن خود هستند که خاصیت مغناطیسی دارند. این قسمت‌ها به صورت زنجیری در یک حلقه قرار دارند؛ در نتیجه یک عقربه مغناطیسی کوچک را تشکیل می‌دهند (شکل ب). باکتری‌ها به کمک این مغناطیس داخلی می‌توانند از میدان مغناطیسی زمین بهره بگیرند و به طرف مواد غذایی در نه دیگر هدایت شوند. جالب اینکه باکتری‌های مربوطه به تکرر جنوبی زمین، برای رسیدن به نه دیگر در خلاف جهت خط‌های میدان مغناطیسی زمین قرار می‌گیرند.

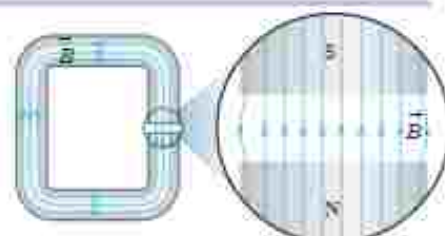


(ب)



(الف)

میدان مغناطیسی یکنواخت: هرگاه در نقاط مختلف ناحیه‌ای از فضا جهت و اندازه میدان مغناطیسی یکسان باشند، در این صورت میدان مغناطیسی را در آن ناحیه یکنواخت می‌گویند. ایجاد میدان مغناطیسی یکنواخت در ناحیه بزرگی از فضا بسیار دشوار و در عمل امکان‌ناپذیر است. با این وجود، می‌توان در ناحیه کوچکی از فضا، مانند ناحیه بین قطب‌های یک آهنربای C شکل، میدان مغناطیسی یکنواخت ایجاد کرد (شکل ۳-۴).



شکل ۳-۴: میدان مغناطیسی در فضای بین قطب‌های یک آهنربای C شکل با تقریب خوبی یکنواخت است.

۱. آدی وایلد به سایت www.magnetic-definitions.com رفته و درستی نسب مغناطیسی (magnetic inclination) به دست آمده در فعالیت ۳-۳ را بررسی کنید.
 ۲. یا با کسب برنامه inclination meter روی گوشی‌تان همراه خود، نسب مغناطیسی را در محل زندگی خود اندازه بگیرید. نسبت مغناطیسی در ایران از حدود ۲۰ تا حدود ۶۰ از مناطق جنوبی تا مناطق شمال‌غربی متغیر است.



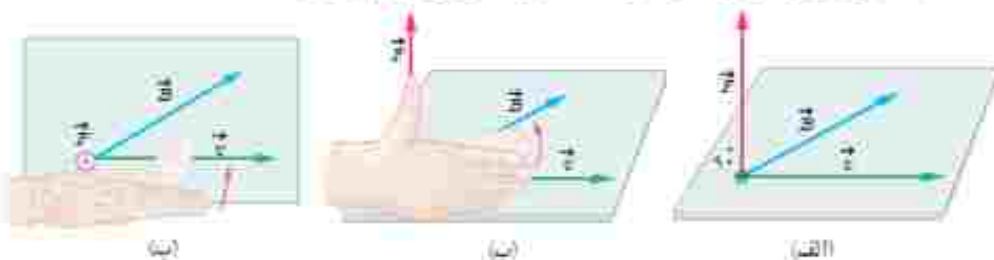
نیکولا تسلا (۱۸۵۶-۱۹۴۳)

تسلا در قوسمی به دنیا آمد. او بعدها به آمریکا مهاجرت و مدتی با ادیسون همکاری کرد. ادیسون همواره با جریان مستقیم (DC) کار می‌کرد، با این وجود، وی کار کردن با جریان متناوب (AC) با ولتاژهای بسیار بالا را حقیقی ساختند. تسلا از اینکه جریان متناوب برای اولین بار در صنعتی الکتریکی به منظور انتقال مورد استفاده قرار گرفت شگفتا ناراجند بود. وی همچون خراج تولید برق در آشپز خانگاری بود. به پاس خدمات وی، یکای SI میدان مغناطیسی را با اسلا نشان می‌دهد.

- ⊙ نماد بردار عمود بر صفحه محیطی جریان (برون‌سوا)
- ⊙ نماد بردار عمود بر صفحه محیطی مدون (برون‌سوا)

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

آزمایش نشان می‌دهد که اگر ذره باردار q با سرعت \vec{v} در میدان مغناطیسی \vec{B} حرکت کند (به شرط آنکه جهت حرکت آن با میدان مغناطیسی موازی نباشد)، بر آن نیرویی وارد خواهد شد که مطابق شکل ۱-۳ الف بر راستای سرعت و میدان مغناطیسی عمود است. این نیرو را نیروی مغناطیسی می‌نامند و جهت آن، مطابق شکل ۱-۳ ب و پ به کمک قاعده دست راست تعیین می‌شود. اگر دست راست خود را طوری نگه داریم که انگشتان باز شده ما در جهت \vec{v} باشد، به گونه‌ای که وقتی آنها را روی زاویه کوچک‌تری که \vec{v} با \vec{B} می‌سازد، و در جهت چرخش طبیعی انگشتان خم کنیم در جهت \vec{B} قرار گیرد. انگشت شست ما در جهت نیروی وارد بر ذره باردار مثبت خواهد بود. توجه کنید که نیروی وارد بر بار منفی، در خلاف جهت نیروی وارد بر بار مثبت است.



شکل ۱-۳ الف: اگر ذره باردار q با سرعت \vec{v} در میدان مغناطیسی \vec{B} حرکت می‌کند، نیروی مغناطیسی \vec{F} وارد می‌شود. (ب) و (پ) جهت این نیرو به کمک قاعده دست راست تعیین می‌شود.

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

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

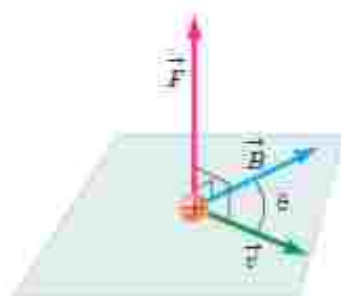
در این رابطه $|q|$ بزرگی بار الکتریکی، v تنیدی (اندازه سرعت) بار الکتریکی، B اندازه میدان مغناطیسی و θ زاویه بین جهت حرکت بار الکتریکی (بردار \vec{v}) با جهت میدان مغناطیسی (بردار \vec{B}) است (شکل ۱-۳).

رابطه ۱-۳ نشان می‌دهد وقتی بار الکتریکی q عمود بر راستای میدان مغناطیسی حرکت کند ($\sin\theta = \sin 90^\circ = 1$)، اندازه نیروی مغناطیسی وارد بر بار الکتریکی، شبیه می‌شود ($F = F_{\max}$). بنا به رابطه ۱-۳، یکای SI میدان مغناطیسی معادل است با:

$$\text{یکای SI میدان مغناطیسی} = \frac{\text{N}}{\text{C.m/s}} = \frac{\text{N}}{\text{A.m}}$$

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

$$1\text{T} \equiv \frac{\text{N}}{\text{C.m/s}} = \frac{\text{N}}{\text{A.m}} \quad (2-3)$$



نشان \otimes نیروی \vec{F} هر دو بردار \vec{v} و \vec{B} عمود است. به عبارت دیگر، نیروی مغناطیسی بر صفحه‌ای که توسط سرعت و میدان مغناطیسی تشکیل می‌شود عمود است.

تسلا یکای بزرگی است و در برخی موارد از یکای قدیمی (غیر SI) و کوچک تری به نام گوس (یا نماد G) استفاده می کنند به طوری که داریم $1\text{T} = 10^4\text{G}$. اندازه میدان مغناطیسی زمین در نزدیکی سطح زمین در قطب ها بیشترین (0.45G) و در استوا کمترین (0.25G) است. بزرگی میدان مغناطیسی در نزدیکی آهنرباهای میله ای کوچک حدود 0.1 تا 0.1 تسلا است. همچنین بزرگ ترین میدان مغناطیسی مداوم^۱ که امروزه در آزمایشگاه تولید شده، حدود 45 تسلا است.

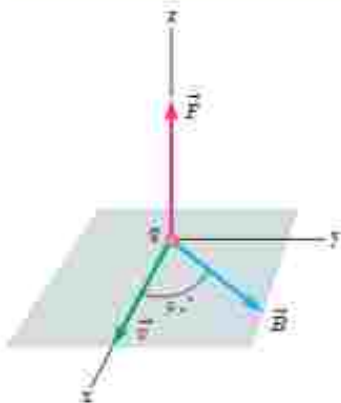


کارل فریدریش گوس (۱۷۷۷-۱۸۵۵)

گوس، ریاضیدان، فیزیکدان و ستاره شناس آلمانی است که متن مشهور رصدخانه کمبریج را نوشت. گوس یکی از ریاضیدانهای بزرگ و برجسته ترین کارکن در نظریه اعداد است. او به ایجاد معادله های بی اندازه هیچ علاقه مند بود. وی همچنین روش های تازمانی برای معادله در مکانیک سماوی پیوست آورد. گوس روی پیمانه های الکتریکی و مغناطیسی نیز فعالیت زیادی کرد و قانونی به نام وی در جهت الکتریسیته وجود دارد.

مثال ۳-۱

ذره ای با بار $q = -4 \times 10^{-6}\text{C}$ و با تندی $v = 2\text{m/s}$ در جهتی حرکت می کند که با میدان مغناطیسی یکنواخت $B = 12\text{T}$ زاویه $\theta = 6^\circ$ می سازد (شکل روبرو). الیازه نیروی مغناطیسی وارد بر این ذره را حساب کنید.



پاسخ: با توجه به فرض های مسئله داریم:

$$|q| = +4 \times 10^{-6}\text{C}, v = 2\text{m/s},$$

$$B = 12 \times 10^4\text{T} \text{ و } \theta = 6^\circ$$

با قرار دادن داده های بالا در رابطه ۳-۱ داریم:

$$F = |q| v B \sin \theta$$

$$= (4 \times 10^{-6}\text{C})(2\text{m/s})(12 \times 10^4\text{T}) \sin 6^\circ = 1.7 \times 10^{-3}\text{N}$$

پوشش ۳-۲

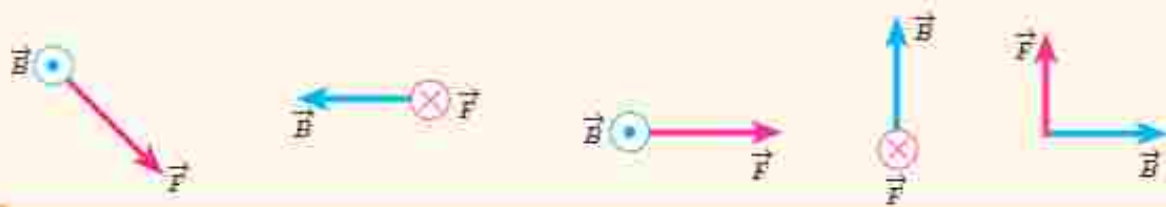


۱- الکترونی عمود بر میدان مغناطیسی یکنواختی در حرکت است. با توجه به شکل،

جهت میدان \vec{B} کدام است؟

- بالا راست درون سو بیرون سو

۲- نیروی مغناطیسی \vec{F} وارد بر الکترونی که در میدان مغناطیسی \vec{B} در حرکت است، در شکل زیر نشان داده شده است. فرض کنید راستای حرکت الکترون بر میدان مغناطیسی عمود است؛ در هر یک از حالت های نشان داده شده جهت سرعت الکترون را تعیین کنید.



^۱ Strongest Continuous Magnetic Field

تمرین ۱-۳

۱- بر پروتونی که با زاویه $\theta = 30^\circ$ نسبت به میدان مغناطیسی یکنواختی به اندازه $B = 32 \text{ G}$ در حرکت است نیروی به اندازه $F = 5.12 \times 10^{-14} \text{ N}$ وارد می‌شود. تندی پروتون چند کیلو متر بر ثانیه است؟



۲- سه ذره، هر کدام با بار $q = 6/15 \text{ } \mu\text{C}$ و تندی $v = 46 \text{ m/s}$ در میدان مغناطیسی یکنواختی به اندازه $B = 0.165 \text{ T}$ در حرکت اند (شکل رویه‌رو). اندازه نیروی وارد بر هر ذره را حساب کنید.



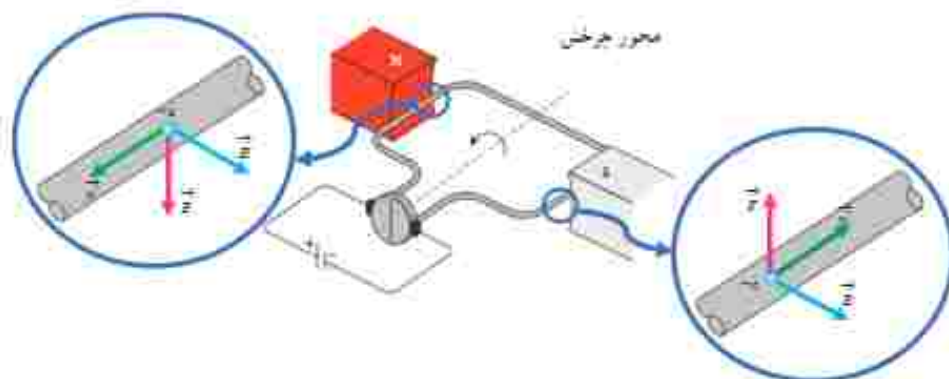
۳- الکترونی با تندی $v = 2/4 \times 10^6 \text{ m/s}$ درون میدان مغناطیسی یکنواختی در حرکت است. اندازه نیروی که از طرف میدان مغناطیسی بر این الکترون وارد می‌شود، هنگامی یکنواخت است که الکترون به سمت جنوب حرکت کند.

الف) اگر جهت این نیروی یکنواخت، رو به بالا و اندازه آن برابر $F = 6/8 \times 10^{-12} \text{ N}$ باشد، اندازه و جهت میدان مغناطیسی را تعیین کنید.

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

۳-۳ نیروی مغناطیسی وارد بر سیم حامل جریان

موتورهای الکتریکی ابزارهایی هستند که انرژی الکتریکی را به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کنند و اساس کار بسیاری از دستگاه‌ها نظیر جاروی برقی، مته برقی، آسیاب برقی، ماشین لباسشویی، پنکه و... را تشکیل می‌دهند. شکل ۳-۱۱ طرحی ساده از اجزای اصلی یک موتور الکتریکی را نشان می‌دهد که در علوم سال هشتم با نحوه ساختن آن آشنا شدید. چه چیزی باعث می‌شود یک موتور الکتریکی کار کند؟ در هر موتور الکتریکی، سیم‌هایی وجود دارند که حامل جریان اند (یعنی بارهای الکتریکی در آنها در حرکت اند) و آهن‌رباهایی نیز وجود دارند که بر بارهای متحرک نیرو وارد می‌کنند. از این رو، بر هر سیم حامل جریان، نیروی مغناطیسی وارد می‌شود و این نیروها حلقه را می‌چرخاند.



شکل ۳-۱۱ طرحی ساده از یک موتور الکتریکی. نیروی مغناطیسی F وارد بر الکترون‌هایی که با سرعت v درون رسانا حرکت می‌کنند حلقه را می‌چرخاند.

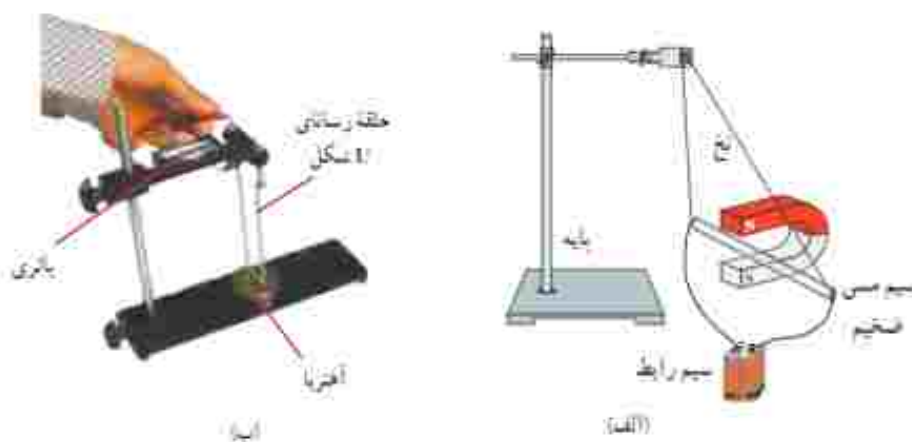
آزمایش ۲-۳

هدف: بررسی نیروی وارد بر سیم حامل جریان

وسایلهای مورد نیاز: آهنربای قطبی شکل، سیم مسی ضخیم، سیم رابط، پایه، نخ و باتری

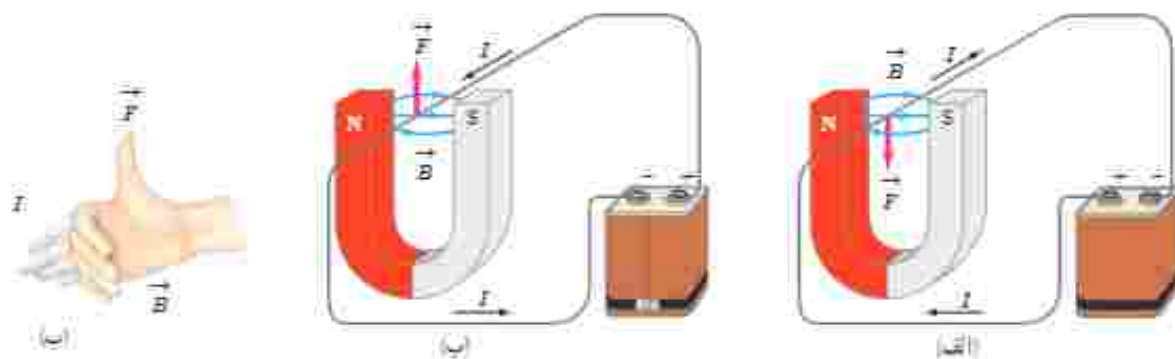
شرح آزمایش:

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

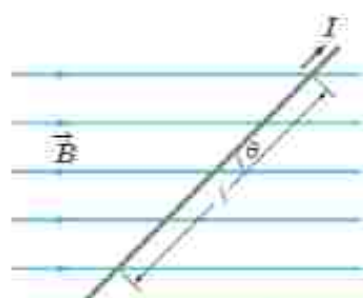


اورسند (فیزیک‌دان دانمارکی) با انجام آزمایش‌هایی شبیه آزمایش ۲-۳ و اندازه‌گیری نیرویی که بر سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی وارد می‌شود، نشان داد:

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



نکته ۱۲-۳: القاء نیروی مغناطیسی وارد بر سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی (ابداً نیروی مغناطیسی وارد بر سیم در حالی که جهت جریان از روله تپه است. ابداً قاعده دست راست برای تعیین جهت نیروی مغناطیسی وارد بر سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی شکل آنها).



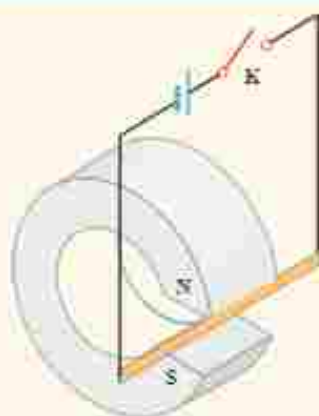
شکل ۳-۳۳ سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی نیروی مغناطیسی وارد بر سیم درون مواضع در صفحه کتاب به طرف داخل است.

عوامل‌های مؤثر بر نیروی مغناطیسی وارد بر سیم راست رسانای حامل جریان؛ آزمایش‌هایی مشابه آزمایش ۳-۲ نشان می‌دهند که نیروی مغناطیسی وارد بر یک سیم رسانای حامل جریان در میدان مغناطیسی یکنواخت، به عوامل‌های مختلفی بستگی دارد که این عوامل‌ها در رابطه زیر بیان شده‌اند:

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

در این رابطه طول بخشی از سیم رساناست که در میدان مغناطیسی یکنواخت B قرار دارد. زاویه‌ای را که امتداد سیم با خطوط میدان مغناطیسی می‌سازد با θ نشان داده‌ایم (شکل ۳-۱۳).

پرسش ۳-۵



۱- اگر در شکل ۳-۱۳ سیم حامل جریان در امتداد میدان مغناطیسی قرار گیرد، نیروی مغناطیسی وارد بر آن چقدر خواهد بود؟ در چه حالتی بزرگی این نیرو بستینه می‌شود؟

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

مثال ۳-۲

یک سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی یکنواختی به بزرگی 400 G در راستای قرار دارد که با جهت میدان زاویه 30° می‌سازد. اگر جریان عبوری از سیم 5 A باشد، بزرگی نیروی مغناطیسی وارد بر 1 m از این سیم را حساب کنید.

پاسخ: با توجه به فرض‌های مسئله داریم:

$$B = 400 \times 10^{-4} \text{ T}, \theta = 30^\circ, I = 5 \text{ A} \text{ و } \ell = 1 \text{ m}$$

با قرار دادن داده‌های بالا در رابطه ۳-۳ داریم:

$$F = I \ell B \sin \theta = (5 \text{ A})(1 \text{ m})(400 \times 10^{-4} \text{ T}) \sin 30^\circ = 0.1 \text{ N}$$

تمرین ۲-۲

۱- سیم مستقیمی به طول $2/4 \text{ m}$ حامل جریان $2/5 \text{ A}$ از شرق به غرب است. اندازه میدان مغناطیسی زمین در محل این سیم 45 G و جهت آن از جنوب به شمال است. اندازه و جهت نیروی مغناطیسی وارد بر این سیم را تعیین کنید.

میدان مغناطیسی زمین به طرف شمال \vec{B} $I = 2/5 \text{ A}$



۴- سیم رسانای CD به طول ۲m مطابق شکل رویه‌رو عمود بر میدان مغناطیسی درون سیم با اندازه ۰.۵T قرار گرفته است؛ اگر اندازه نیروی مغناطیسی وارد بر سیم برابر ۱N باشد، جهت و مقدار جریان عبوری از سیم را تعیین کنید.

فعالیت ۴-۳

آزمایشی را طراحی کنید که به کمک آن بتوان نیروی مغناطیسی وارد بر سیم حامل جریان الکتریکی درون میدان مغناطیسی را اندازه‌گیری کرد. در صورت لزوم، برای اجرای این آزمایش می‌توانید از ترازوهای دیجیتال (رقمی) با دقت ۰.۰۱g استفاده کنید.

۴-۵ میدان مغناطیسی حاصل از جریان الکتریکی

تا اینجا بی‌بردم که در فضای اطراف آهن‌رباهای دائمی میدان مغناطیسی وجود دارد؛ در ادامه این فصل با جسمه‌های دیگر ایجاد میدان مغناطیسی آشنا خواهیم شد. اوستاد دانشمند دانمارکی، در سال ۱۸۲۰ میلادی ضمن انجام برخی آزمایش‌های الکتریسته، مشاهده کرد که عقربه مغناطیسی در کنار سیم حامل جریان الکتریکی منحرف می‌شود (شکل ۳-۱۴). او با انجام دادن آزمایش‌های بیشتر کشف کرد که عبور جریان الکتریکی از یک سیم رسانا در اطراف آن یک میدان مغناطیسی به وجود می‌آورد. این کشف اوستاد گام مهمی در راه درک رابطه بین الکتریسته و مغناطیس بود که به گسترش مبحث الکترومغناطیس انجامید. در این بخش، به بررسی میدان مغناطیسی حاصل از جریان الکتریکی در سیم‌ها می‌پردازیم.



هنس کریستیان اوستاد (۱۸۵۱-۱۷۷۷)

فیزیکدان و شیمی‌دان مشهور دانمارکی است که آثار بسیار بزرگی در تاریخ فیزیک کلاسیک است. کشفیات وی بر زمینه الکتریسته و مغناطیس، اولین گام در شکل‌گیری نظریه الکترومغناطیس بود. تئوریست که معمولاً بر کلان‌مقیاس «انجام آزمایش‌ها می‌پردازد» در یکی از روزهای سال ۱۸۲۰ میلادی، در حالی که مشغول آموزش الکتریسته و تولید جریان با باتری الکتریکی بود، متوجه انحراف جهت عقربه قطب‌نمای شد که در کنار سیم حامل جریان قرار داشت. در ابتدا تصور کرد که ممکن است جریان‌های بی‌اثر سیم حامل جریان سبب انحراف عقربه شده است، اما با انجام آزمایش‌های دقیق‌تر، به ارتباط مستقیم الکتریسته و مغناطیس پی برد. برداشتن این کشف مهیا، دانشمندان دیگری همچون آمپیر، فارادای هاری، ماکسویل و هرتز تحقیقات در الکترومغناطیس را ادامه دادند. اوستاد در حوزه فلسفه هم مطلقاًی داشت و همچنین یکی از دوستان نزدیک آستان‌نویس مشهور نودگان، هنس کریستیان آندرسن بود.

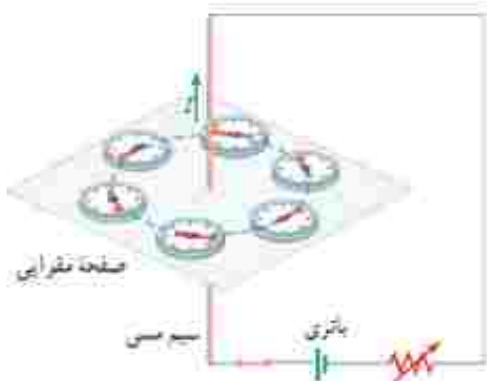


شکل ۳-۱۴ میدان مغناطیسی اطراف سیم حامل جریان را می‌توان با قرار دادن تعدادی عقربه مغناطیسی بی‌اثر آن نشان داد.

آزمایش ۳-۳

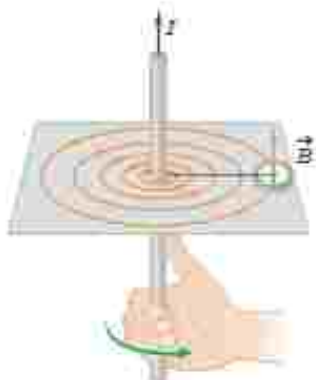
هدف: بررسی آثار مغناطیسی جریان الکتریکی (آزمایش اهرستد)

وسایله‌های مورد نیاز: باتری، سیم مسی نسبتاً ضخیم، صفحه مقوایی، عقربه مغناطیسی (قطب‌نما)، رول‌سناسیم رابط شرح آزمایش:



- سیم مسی را از صفحه مقوایی بگذرانید و با آن مداري مطابق شکل روبه‌رو تشکیل دهید.
- قبل از برقراری جریان الکتریکی، عقربه مغناطیسی را در مجاورت سیم، روی مقوا قرار دهید و به راستای قرار گرفتن آن توجه کنید.
- با وصل کردن مدار، جریان الکتریکی را از سیم مسی عبور دهید و به جهت گیری عقربه مغناطیسی توجه کنید.
- عقربه مغناطیسی را در نقطه‌های مختلف روی مقوا قرار دهید و جهت آن را بررسی کنید.

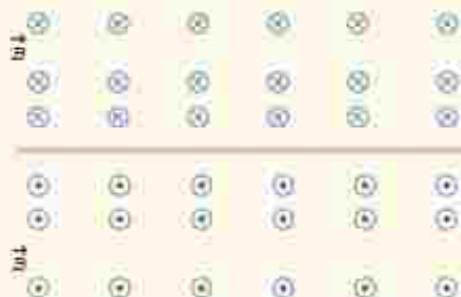
- با توجه به جهت گیری عقربه در نقاط مختلف صفحه مقوایی، چند خط میدان مغناطیسی را رسم کنید.
- این آزمایش را بار دیگر با جریانی در جهت مخالف تکرار کنید.
- به کمک چند باتری دیگر با تغییر مقاومت رول‌سناسیم، افزایش یا کاهش جریان چه تأثیری در نتیجه آزمایش دارد؟
- نتیجه این آزمایش را در گروه خود بحث کنید و آن را به کلاس گزارش دهید.



با انجام این آزمایش می‌بینید که خط‌های میدان مغناطیسی حاصل از یک سیم حامل جریان، مطابق شکل ۳-۱۵ به صورت دایره‌های هم‌مرکز در اطراف سیم حامل جریان هستند. جهت خط‌های میدان مغناطیسی سیم مستقیم حامل جریان را می‌توان به کمک عقربه مغناطیسی تعیین کرد. علاوه بر آن، با استفاده از قاعده دست راست نیز می‌توان این جهت را تعیین کرد؛ مطابق این قاعده، اگر سیم را در دست راست خود بگیرید به گونه‌ای که انگشت شست در جهت جریان الکتریکی باشد، جهت خم شدن چهار انگشت دست شما جهت خط‌های میدان مغناطیسی را در اطراف سیم نشان می‌دهد.

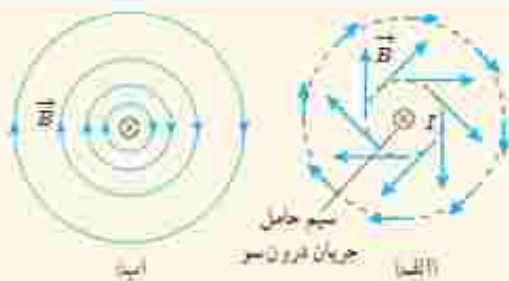
شکل ۳-۱۵ قاعده دست راست برای تعیین جهت \vec{B} اطراف سیم مستقیم حامل جریان

پوشش ۳-۶



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

پیش ۳-۷



۱- دریافت خود را از شکل های الف و ب بیان کنید. در بیان خود، به چگونگی تغییر جهت و اندازه میدان \vec{B} در اطراف سیم حامل جریان اشاره کنید.



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



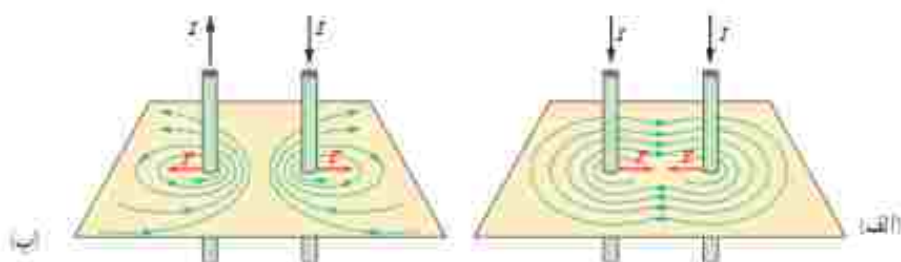
۳- جهت میدان مغناطیسی برآیند (خالص) ناشی از سیم های موازی و بلند حامل جریان را در هر یک از نقطه های a، b و c پیدا کنید. نقطه a در فاصله مساوی از دو سیم قرار دارد.

فناوری و کاربرد در میدان های مغناطیسی بدن



تمام یاخته های زندگی بدن انسان به طور الکتریکی فعال اند. جریان های الکتریکی ضعیف در بدن، میدان های مغناطیسی ضعیف ولی قابل اندازه گیری تولید می کنند. اندازه میدان های حاصل از عضله های اسکلتی کوچکتر از $10^{-10} T$ ، حتی در حدود یک میلیونیم میدان مغناطیسی زمین است. میدان های مغناطیسی حاصل از مغز بسیار ضعیفتر و در حدود $10^{-12} T$ هستند و برای اندازه گیری آنها باید مغناطیس سنج های بسیار حساس به کار برد. در حال حاضر، چنین مغناطیس سنج هایی به نام اسکویید ساخته شده اند. شکل رویه رو یک دستگاه اسکویید را نشان می دهد که در حال اندازه گیری میدان مغناطیسی تولید شده در مغز است.

نیروی بین سیم‌های موازی حامل جریان، در آزمایش اورستده، دیدیم که در فضای اطراف هر سیم حامل جریان، میدان مغناطیسی وجود دارد. همچنین در بخش ۳-۴ با نیروی مغناطیسی وارد بر سیم حامل جریان آشنا شدیم. حال فرض کنیم برای تولید میدان مغناطیسی به جای آهنربا، از یک سیم حامل جریان استفاده کنیم. اگر سیم حامل جریان دیگری را در نزدیکی این سیم قرار دهیم، آیا نیروی بر آن وارد می‌شود؟ آزمایش نشان می‌دهد که پاسخ این پرسش مثبت است. به طوری که اگر جریان‌ها در یک جهت از دو سیم موازی بگذرند، نیروی بین آنها رانشی است (شکل ۳-۱۶ الف). همچنین اگر جریان‌ها در دو جهت مخالف از دو سیم موازی بگذرند، نیروی بین آنها رانشی است (شکل ۳-۱۶ ب).



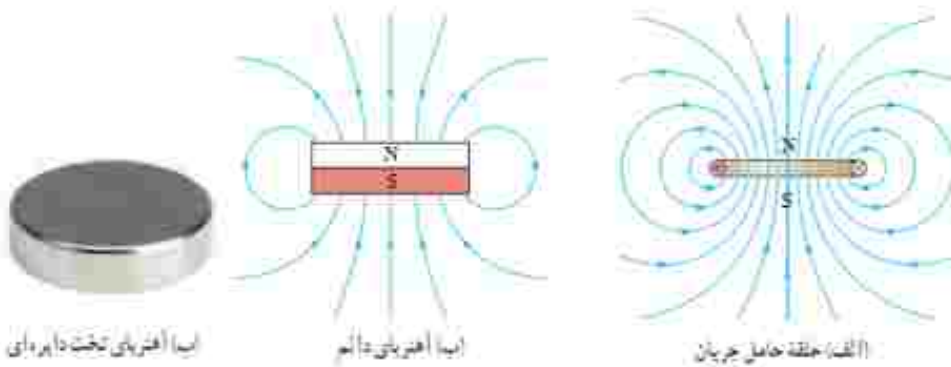
شکل ۳-۱۶ نیروی بین دو سیم موازی حامل جریان و رسم خطوط میدان مغناطیسی بر ایند آنها. الف) برای جریان‌های همسو، رانشی است و ب) برای جریان‌های ناهمسو، رانشی است

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



شکل ۳-۱۷ الف) خط‌های میدان مغناطیسی در اطراف یک حلقه حامل جریان. ب) طرح خط‌های میدان مغناطیسی یک حلقه حامل جریان با استفاده از براده آهن. ب) استفاده از قاعده دست راست برای تعیین جهت \vec{B} یک حلقه حامل جریان.

بررسی و مقایسه میدان مغناطیسی یک حلقه حامل جریان و یک آهنربای تخت دایره‌ای شکل، نشان می‌دهد که میدان مغناطیسی آنها درست مانند یکدیگر است (شکل ۳-۱۸). به همین دلیل، هر حلقه حامل جریان را به عنوان یک دو قطبی مغناطیسی در نظر می‌گیرند.



پوش ۳-۸

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



خوب است بدانید: طرز کار بلندگو

یک کاربرد متداول نیروهای مغناطیسی وارد بر سیم حامل جریان در بلندگوها یافت می‌شود (شکل زیر). میدان مغناطیسی که توسط آهنربای دائمی تولید می‌شود نیرویی بر بیجه صدا وارد می‌کند که با جریانی که از بیجه می‌گذرد مناسب است؛ جهت این نیرو بسته به جهت جریان، به طرف راست یا به طرف چپ است. جریانی که از تقویت‌کننده می‌آید هم از نظر جهت و هم از نظر بزرگی نوسان می‌کند. بیجه و مخروط بلندگو که به آن متصل است با دامنه‌ای مناسب با دامنه جریان در بیجه، نوسان می‌کند. با افزایش جریان تقویت‌کننده، دامنه‌های نوسان و موج صوتی حاصل از حرکت مخروط افزایش می‌یابد.



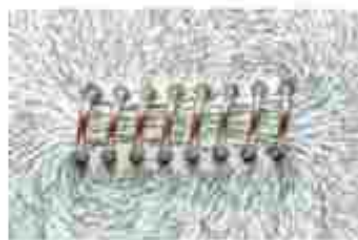
اجزای یک بلندگو. آهنربای دائمی میدان مغناطیسی‌ای تولید می‌کند که نیروهایی بر جریان‌هایی که از بیجه صدا می‌گذرد وارد می‌کند؛ برای جریان I که در شکل نشان داده شده است نیرو به طرف راست است. اگر جریان الکتریکی در بیجه صدا نوسان کند، مخروط بلندگو که متصل به بیجه صداست با همان پهنای نوسان می‌کند.



شکل ۱۹-۳ بجه

استفاده از یک تک حلقه برای تولید میدانی با اندازه مطلوب ممکن است نیازمند آن چنان جریان بزرگی باشد که از یثبته جریان مجاز سیم حلقه فراتر باشد. در چنین شرایطی به جای تک حلقه، از بجه‌ها برای تولید میدان مغناطیسی استفاده می‌شود (شکل ۱۹-۳). از بجه‌ها برای تولید میدان مغناطیسی در بسیاری از وسیله‌های برقی استفاده می‌شود.

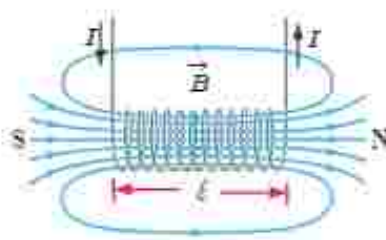
میدان مغناطیسی حاصل از سیملوله حامل جریان: سیملوله، سیم درازی است که به صورت مارپیچی بلند، بجه شده است. با عبور جریان الکتریکی از سیملوله، در فضای اطراف آن میدان مغناطیسی به وجود می‌آید. طرح خط‌های میدان مغناطیسی یک سیملوله حامل جریان الکتریکی در شکل ۲-۳ الف و ب نشان داده شده است. همان گونه که دیده می‌شود، خط‌های میدان داخل سیملوله بسیار متراکم‌تر از خط‌های میدان در خارج آن است و این نشانگر بزرگ‌تر بودن میدان در داخل سیملوله است. افزون بر این، خط‌های میدان در داخل سیملوله، به ویژه در نقطه‌های نسبتاً دور از لبه‌های آن تقریباً موازی و هم‌فاصله اند و این، نشانگر یکواخت بودن میدان مغناطیسی درون سیملوله است. جهت میدان مغناطیسی سیملوله، به کمک قاعده دست راست که در شکل نشان داده شده است تعیین می‌شود (شکل ۲-۳ ب).



بیا



بیا



الف)

شکل ۲-۳ الف) میدان مغناطیسی یک سیملوله حامل جریان: بیا تعیین جهت میدان به کمک قاعده دست راست. بیا) طرح خط‌های میدان مغناطیسی سیملوله با استفاده از براده آهن.

اگر قطر حلقه‌های سیملوله در مقایسه با طول آن، بسیار کوچک و حلقه‌های آن، خیلی به هم نزدیک باشند، به این سیملوله، **سیملوله آرمانی** گفته می‌شود. میدان مغناطیسی داخل یک سیملوله آرمانی در نقطه‌های دور از لبه‌ها یکواخت است و اندازه آن از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$B = \frac{\mu_0 NI}{l} \quad (سیملوله آرمانی) \quad (۴-۳)$$

در این رابطه، I جریان عبوری، l طول سیملوله، N تعداد دورهای سیملوله و μ_0 تراوایی مغناطیسی خلأ و برابر $4\pi \times 10^{-7} \text{ Tm/A}$ است.

مثال ۲-۳

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

پاسخ: با توجه به داده‌های مسئله داریم:

$$l = 15\text{cm} = 0.15\text{m}, \quad N = 600, \quad I = 800\text{mA} = 800 \times 10^{-3}\text{A}, \quad B = ?$$

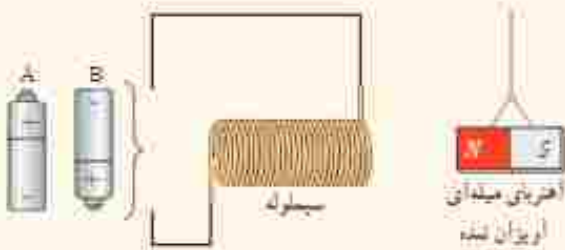
به این ترتیب داریم:

$$B = \frac{\mu_0 NI}{l} = \frac{(4\pi \times 10^{-7} \text{ Tm/A})(600)(800 \times 10^{-3} \text{ A})}{0.15\text{m}} \approx 4/0 \times 10^{-2} \text{ T} = 40 \text{ G}$$

تمرین ۲-۲

سیملوله‌ای آرماتی به طول 400 cm چنان طراحی شده است که جریان تشنه‌ای به شدت $1/2\text{ A}$ می‌تواند از آن بگذرد. با عبور این جریان از سیملوله، اندازه میدان مغناطیسی درون آن و دور از لبه‌ها 27 mG می‌شود. تعداد دورهای سیملوله چقدر باید باشد؟

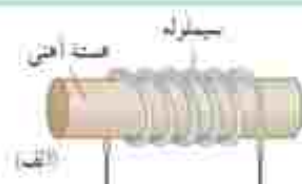
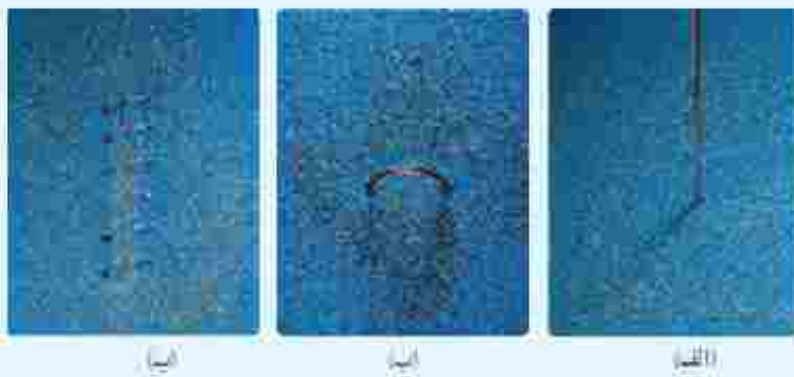
پرسش ۳-۳



کدام باتری را در مدار شکل رویه‌رو قرار دهید تا آهنربای میله‌ای اویزان شده به طرف سیملوله جذب شود؟ دلیل انتخاب خود را توضیح دهید.

فعالیت ۳-۵

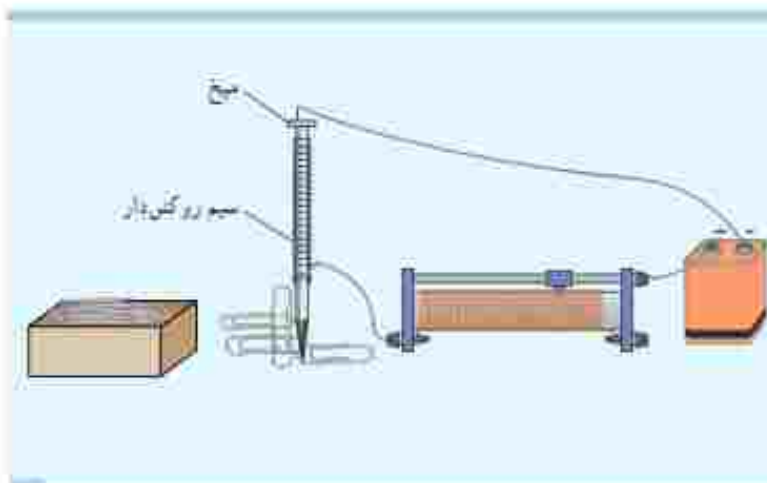
آزمایشی را طراحی و اجرا کنید که به کمک آن بتوان با استفاده از براده آهن، طرح خط‌های میدان مغناطیسی را در اطراف یک سیم بلند (شکل الف)، یک حلقه دایره‌ای (شکل ب) و یک سیملوله حامل جریان (شکل ج) ایجاد کرد.



شکل الف: سیملوله با هسته آهنی
ایده آهنربای الکتریکی صنعتی

سیملوله با هسته آهنی - آهنربای الکتریکی : شکل ۳-۲۱ الف سیملوله‌ای با یک هسته آهنی را نشان می‌دهد. وقتی جریانی در سیملوله برقرار می‌شود، میدان مغناطیسی سیملوله، در هسته آهنی خاصیت مغناطیسی القا می‌کند و هسته آهنی، آهنربا می‌شود. این آهنربا را آهنربای الکتریکی می‌نامند. آهنربای الکتریکی صنعتی (شکل ۳-۲۱ ب) شامل بیجه‌ای حامل جریان است که تعداد دور سیم زیادی دارد و میدان مغناطیسی حاصل از آن قادر است مقدار زیادی میله‌های فولادی و دیگر فراضه‌های آهن را بلند کند. هر چه تعداد دورهای سیملوله و جریانی که از آن می‌گذرد بیشتر باشد، آهنربای الکتریکی قوی‌تر خواهد بود. وجود هسته آهنی باعث تقویت میدان مغناطیسی سیملوله می‌شود. میدان مغناطیسی سیملوله بدون هسته آهنی به قدری ضعیف است که در عمل کاربردهای کمی دارد.

فعالیت ۳-۶



قسمتی از سیم نازک روکش‌داری را دور میخ آهنی نسبتاً بلندی ببندید و مدارهای مطابق شکل تشکیل دهید. با تغییر مقاومت رُوسنا، جریان عبوری از مدار را تغییر دهید. بررسی کنید برای جریان‌های متفاوت، آهنربای الکتریکی چه تعداد گیره فیزی را می‌تواند بلند کند. با اکثر تعداد دورهای سیم دو برابر شود، نتیجه کار چه تفاوتی خواهد داشت؟

۳-۶ ویژگی‌های مغناطیسی مواد

رفتار آهنرباهای دائمی، توارهای مغناطیسی پست کارت‌های بانکی و دیسک‌های رایانه‌ای به‌طور مستقیم به ویژگی‌های مغناطیسی مواد بستگی دارد.

موادی را که آن‌ها با مولکول‌های سازنده آنها خاصیت مغناطیسی داشته باشند، مواد مغناطیسی می‌نامند. در واقع می‌توان گفت کوچک‌ترین ذره‌های تشکیل‌دهنده این مواد (اتم‌ها یا مولکول‌ها) مانند دوقطبی مغناطیسی رفتار می‌کنند. در این کتاب، دوقطبی‌های مغناطیسی را یا یک بیگان کوچک نشان دادیم که می‌تواند جهت‌گیری‌های متفاوتی داشته باشند و هرکدام از آنها وابسته به یک اتم یا مولکول اند. در ادامه به بررسی برخی از مواد مغناطیسی می‌پردازیم.

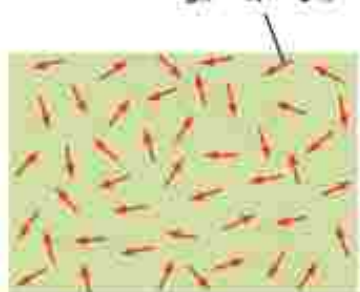
مواد پارامغناطیسی: اتم‌های مواد پارامغناطیسی، خاصیت مغناطیسی دارند اما دوقطبی‌های مغناطیسی وابسته به آنها، به‌طور کائوره‌ای سمت‌گیری کرده‌اند و میدان مغناطیسی خالصی ایجاد نمی‌کنند (شکل ۳-۲۲). با قرار دادن مواد پارامغناطیسی درون میدان مغناطیسی خارجی قوی (مثلاً نزدیک یک آهنربای قوی)، دوقطبی‌های مغناطیسی آنها، مانند عقربه قطب‌نما در نزدیکی آهنربا رفتار می‌کنند و به مقدار مختصری در راستای خط‌های میدان مغناطیسی منظم می‌شوند. با دور کردن آهنربا از این مواد، دوقطبی‌های مغناطیسی آنها، دوباره به‌طور کائوره‌ای سمت‌گیری می‌کنند. به این ترتیب، می‌توان گفت مواد پارامغناطیسی در حضور میدان‌های مغناطیسی قوی، خاصیت مغناطیسی ضعیف و موقت پیدا می‌کنند. اوراتیم، پلاتین، آلومینیوم، سدیم، اکسیژن و اکسید نیتروژن از جمله مواد پارامغناطیسی اند.

فعالیت ۳-۷



یک لوله آزمایش را تا نزدیکی لبه آن از الکل طلی (انانول ۹۶ درجه) پر کنید. در لوله را بپندید و آن را به‌طور افقی قرار دهید. مطلقاً شکل، یک آهنربای نئودیم را بالای حباب هوای درون لوله بگذارید و به آرامی آهنربا را حرکت دهید. دلیل آنچه را مشاهده می‌کنید در گروه خود به گفت‌وگو بگذارید.

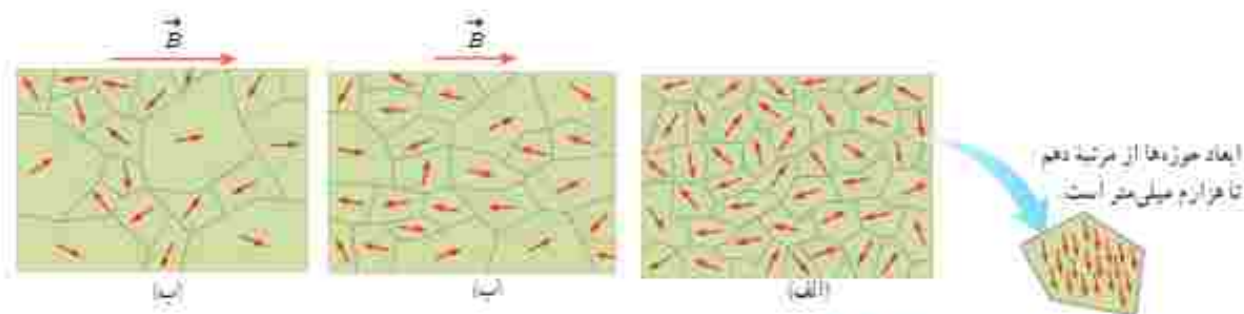
هر ذره سازنده مواد پارامغناطیسی یک آهنربای میکروسکوپی است



شکل ۳-۲۲ سمت‌گیری کائوره‌ای دوقطبی‌های مغناطیسی در یک ماده پارامغناطیسی در نبود میدان مغناطیسی

مواد دیامغناطیسی: اتم‌های مواد دیامغناطیسی، نظیر مس، نقره، سرب و بیسموت، به‌طور ذاتی فاقد خاصیت مغناطیسی‌اند. به عبارت دیگر، هیچ‌یک از اتم‌های این مواد، دارای دو قطب مغناطیسی خالصی نیستند. با وجود این، حضور میدان مغناطیسی خارجی، می‌تواند سبب القای دو قطبی‌های مغناطیسی در خلاف سوی میدان خارجی، در مواد دیامغناطیسی شود.

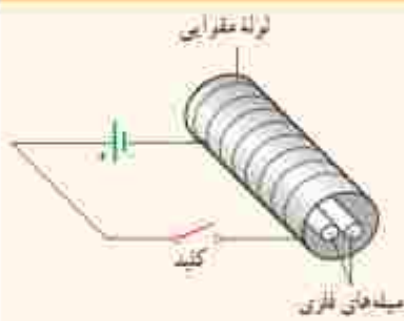
مواد فرومغناطیسی: نوع دیگری از مواد به نام مواد فرومغناطیسی وجود دارد که اتم‌های آنها به‌طور ذاتی دارای دو قطب مغناطیسی هستند. آهن، نیکل، کبالت و بسیاری از آلیاژهای دارای این عنصرها فرومغناطیسی‌اند. برهم‌کنش‌های قوی بین دو قطب‌های مغناطیسی در این مواد موجب می‌شود که این دو قطب‌ها، حتی در نبود میدان خارجی، در ناحیه‌هایی که حوزه‌های مغناطیسی نامیده می‌شود، همسو شوند. نمونه‌ای از ساختار حوزه‌ها در مواد فرومغناطیسی در شکل ۳-۲۳ الف نشان داده شده است. مواد فرومغناطیسی را می‌توان با قرار دادن در یک میدان مغناطیسی، آهنربا کرد. اثر میدان مغناطیسی خارجی بر حوزه‌های مغناطیسی باعث می‌شود که دو قطب‌های مغناطیسی هر حوزه تحت تأثیر میدان مغناطیسی قرار گیرد و جهت آنها به جهت میدان خارجی متمایل شود. به این ترتیب، حوزه‌هایی که نسبت به میدان همسو هستند، رشد می‌کنند و حججشان زیاد می‌شود. از سوی دیگر حجم حوزه‌هایی که سمت‌گیری آنها در راستای میدان نیست، کم می‌شود. در این فرایند، مرز بین بیشتر حوزه‌ها جابه‌جا می‌شود، و ماده خاصیت آهنربایی پیدا می‌کند. شکل ۳-۲۳ ب یک ماده فرومغناطیسی را در یک میدان مغناطیسی خارجی ضعیف و شکل ۳-۲۳ پ در یک میدان مغناطیسی خارجی قوی تر نشان می‌دهد.



شکل ۳-۲۳ الف) ماده فرومغناطیسی در نبود میدان مغناطیسی خارجی. ب) ماده فرومغناطیسی در حضور میدان مغناطیسی خارجی ضعیف. پ) ماده فرومغناطیسی در حضور میدان مغناطیسی خارجی قوی

حوزه‌های مغناطیسی برخی از مواد فرومغناطیسی، در حضور میدان مغناطیسی خارجی به سهولت تغییر می‌کنند و ماده به‌سادگی آهنربا می‌شود و با حذف میدان خارجی نیز، خاصیت آهنربایی خود را به‌آسانی از دست می‌دهد. این مواد را مواد فرومغناطیسی نرم می‌نامند، از این مواد در ساخت هسته بیجه‌ها و سیم‌نوله‌ها استفاده می‌شود. مواد فرومغناطیسی نرم برای ساختن آهنرباهای الکتریکی (آهنرباهای غیر دائم) نیز مناسب‌اند (جرایم). برخی مواد دیگر مانند فولاد (آهن به اضافه ۲ درصد کربن)، آلیاژهای آهن، کبالت و نیکل به سختی آهنربا می‌شوند؛ یعنی در حضور میدان مغناطیسی خارجی، حجم حوزه‌ها در آنها به سختی تغییر می‌کند. این مواد را مواد فرومغناطیسی سخت می‌نامند. در این مواد، سمت‌گیری دو قطب‌های مغناطیسی حوزه‌ها پس از حذف میدان خارجی، تا مدت زمان زیادی، تقریباً بدون تغییر باقی می‌ماند. به همین دلیل، این مواد برای ساختن آهنرباهای دائمی مناسب‌اند.

پرسش ۳-۱۰



دو میله فلزی بلند مطابق شکل رویه‌رو بدون سیم‌لوله‌ای که دور یک لوله مقوایی پیچیده شده است قرار دارند. با بستن کلید و عبور جریان از این سیم‌لوله، مشاهده می‌شود که دو میله از یکدیگر دور می‌شوند. وقتی کلید باز و جریان در مدار قطع می‌شود، میله‌ها به محل اولیه باز می‌گردند.

الف) چرا با عبور جریان از بیجه، میله‌ها از یکدیگر دور می‌شوند؟
 ب) با دلیل توضیح دهید میله‌های فلزی از قطب مغناطیسی در کدام دسته قرار می‌گیرند.

۳-۷ پدیده القای الکترومغناطیسی

با اینجا، با آثار مغناطیسی جریان الکتریکی آشنا شدید که در سال ۱۸۲۰ میلادی توسط اورستد کشف شد. در سال ۱۸۳۱ فاراده پس از آزمایش‌های فراوان، مشاهده کرد که عبور آهنربا از یک بیجه، سبب برقراری جریان الکتریکی در بیجه می‌شود. این اثر که امروزه به قانون القای الکترومغناطیسی فاراده شناخته می‌شود، اساس کار مولدها برای تولید جریان الکتریکی است. در این بخش، به بررسی القای نیروی محرکه الکتریکی در یک مدار بسته خواهیم پرداخت. این پدیده را القای الکترومغناطیسی می‌نامند. با انجام آزمایش زیر با این پدیده بیشتر آشنا می‌شوید.

آزمایش ۲-۲

هدف: بررسی پدیده القای الکترومغناطیسی

وسایلهای مورد نیاز: گالوانومتر، آهنربای میله‌ای، سیم‌لوله یا بیجه و سیم رابط
 شرح آزمایش:



- دو سر سیم‌لوله را به گالوانومتر ببندید.
- یکی از قطب‌های آهنربا را وارد سیم‌لوله کنید (شکل رویه‌رو).
 مشاهدات خود را هنگام انجام این کار، یادداشت کنید.
- اکنون آهنربا را از سیم‌لوله خارج کنید. مشاهدات خود را هنگام انجام این کار، دوباره یادداشت کنید.
- مراحل بالا را برای قطب دیگر آهنربا تکرار کنید.
- آزمایش را در حالی انجام دهید که آهنربا ثابت بماند و سیم‌لوله به آن نزدیک یا از آن دور شود. آیا نتیجه آزمایش تغییری می‌کند؟ توضیح دهید.



مایکل فاراد (۱۸۶۷-۱۷۹۱)

مایکل فاراد، بزرگ آهنگر انگلیسی بود. به گفته خود او: «اصطلاح من بسیار معمولی بود. جوانان را نمی‌شناسم از چه مقامی و نوبت و رتبه‌ها را در چه دستگاه یک مدرسه روزانه می‌دانستند. ساعت‌های خارج از مدرسه من در خانه و خیابان‌ها می‌گذشت. وی در سن ۱۹ سالگی به عنوان شاگرد در یک کتابفروشی مشغول به کار شد. فاراد ۱۹ ساله بود که به او اجازه داده شد تا در جلسه سخنرانی بیرونی نیوی-سیس‌دان مشهور (۱۸۱۹-۱۷۷۸) که در مؤسسه سلطنتی لندن برگزار می‌شد، حضور یابد. مؤسسه سلطنتی یک مرکز مهم پژوهش و آموزش علوم بود. فاراد به شدت علاقه‌مند شد و پیش خود به تحصیل علم شغلی پرداخت. در سال ۱۸۱۳ فاراد با نظری در مؤسسه سلطنتی کرد و دیوی او را به عنوان یک همکار در امور پژوهشی استخدام کرد. فاراد، به زودی شروع کرد به عنوان یک آزمایشگر نشان داد، وی مطالعه‌های مهمی در سنجش خواص مغناطیسی، الکتریسیته و نور نوشت و سرانجام به عنوان رئیس مؤسسه سلطنتی برگزیده شد. فاراد را به سمت تشنه‌های بسیاری یکی از بزرگ‌ترین دانشمندان تجربی عصر خود می‌دانند.

در سال ۱۸۳۱ میلادی مایکل فاراد، دانشمند انگلیسی و تقریباً هم‌زمان با او جوزف هنری دانشمند آمریکایی، با انجام آزمایش‌هایی مشابه آزمایش ۳-۴ در یافتند که هنگام دور و نزدیک کردن آهنربا به بیجه، عقربه گالوانومتر منحرف می‌شود و عبور جریان را از مدار نشان می‌دهد؛ درست مانند وقتی که در مدار، باتری وجود دارد (شکل ۳-۲۲). این پدیده را القای الکترومغناطیسی و جریان تولید شده را جریان الکتریکی القایی می‌نامند.



شکل ۳-۲۲ فاراد برای بی بردن به بیجه القای الکترومغناطیسی، به جای آهنربای دائمی، از آهنربای الکتریکی (سیم‌لوله A) که به باتری وصل شده است، استفاده کرد. فاراد مشاهده کرد که با عبور آهنربا از درون سیم‌لوله B و تغییر میدان مغناطیسی در محل این سیم‌لوله، عقربه گالوانومتر منحرف می‌شود.

پیش از این دیدیم که با تغییر اندازه میدان در محل سیم‌لوله، جریان در آن القا می‌شود. به جز این روش، به روش‌های دیگری نیز می‌توان در بیجه یا سیم‌لوله، جریان الکتریکی القا کرد. اگر مساحت بیجه‌ای اعطف‌پذیر را درون میدان مغناطیسی یکواخت \vec{B} تغییر دهیم (شکل ۳-۲۵) یا بیجه‌ای را درون میدان مغناطیسی یکواخت \vec{B} بچرخانیم (شکل ۳-۲۶)، مشاهده می‌شود که در هنگام انجام این کارها، جریانی در بیجه القا می‌شود.



شکل ۳-۲۵ تغییر مساحت بیجه در میدان مغناطیسی \vec{B} . جریانی در بیجه القا می‌کند.



شکل ۳-۲۶ با چرخاندن بیجه درون میدان مغناطیسی \vec{B} ، زاویه بین میدان مغناطیسی و سطح بیجه تغییر می‌کند. این تغییر زاویه سبب القای جریان در بیجه می‌شود.

۳-۸ قانون القای الکترومغناطیسی فاراده

پیش از این دیدیم که به دلایلی مانند تغییر میدان مغناطیسی در محل یک بیجه، تغییر مساحت بیجه در حضور میدان مغناطیسی یا چرخش بیجه درون میدان مغناطیسی، جریان الکتریکی در آن القا می‌شود. عامل اساسی و مشترک در ایجاد جریان القایی در همه این آزمایش‌ها، **تغییر شار مغناطیسی** عبوری از بیجه است.

شار مغناطیسی، کمیتی زرده‌ای است و برای میدان مغناطیسی یکنواخت \vec{B} که از بیجه‌ای با مساحت معین A می‌گذرد به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\Phi = BA \cos \theta \quad (۵-۳)$$

همان‌طور که در شکل ۳-۲۷ دیده می‌شود: θ زاویه بین بردار میدان مغناطیسی و نیم خط عمود بر سطح حلقه است (این نیم خط را به طور خط چین روی شکل نشان داده‌ایم).

یکای SI شار مغناطیسی، وبر (Wb) است که با توجه به رابطه ۳-۵ داریم: $1 \text{ Wb} = 1 \text{ T} \times 1 \text{ m}^2$

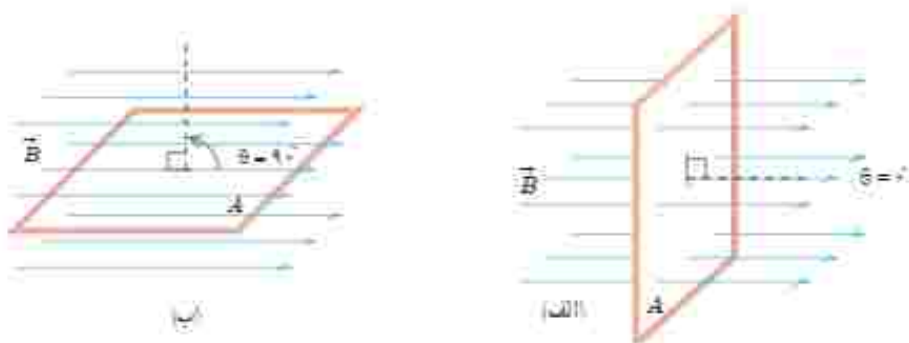
توجه: همواره دو جهت برای رسم نیم خط عمود بر یک سطح معین وجود دارد. علامت شار مغناطیسی عبوری از این سطح نیز به انتخاب این جهت بستگی دارد. برای مثال، در شکل ۳-۲۷، نیم خط عمود را در طرفی از سطح رسم کرده‌ایم که زاویه بین آن و جهت میدان \vec{B} کمتر از 90° است و در نتیجه شار عبوری از سطح مثبت می‌شود. اگر نیم خط عمود را در طرف دیگر سطح انتخاب کنیم، در این صورت، زاویه آن با جهت میدان \vec{B} بیشتر از 90° خواهد شد و شار عبوری از سطح منفی می‌شود. هر دو انتخاب به یک اندازه مفیدند، ولی در حل یک مسئله، همواره باید یکی را انتخاب کنیم و تا پایان آن را تغییر ندهیم.

مثال ۳-۴

الف) مطابق شکل الف، سطح حلقه رسانایی، به شکل مربع یا ضلع 20 cm ، عمود بر میدان مغناطیسی یکنواختی به بزرگی 250 G قرار دارد. شار عبوری از این حلقه را به دست آورید.

ب) اگر حلقه را بچرخانیم به طوری که سطح حلقه موازی با خط‌های میدان مغناطیسی شود، شار مغناطیسی عبوری از آن چقدر می‌شود؟

ج) تغییر شار مغناطیسی عبوری از حلقه را وقتی از موقعیت شکل الف به موقعیت شکل ب می‌چرخد به دست آورید. (تا اگر این تغییر شار مغناطیسی در بازه زمانی 0.16 s رخ داده باشد، آنگاه تغییر شار $(\Delta\Phi/\Delta t)$ را پیدا کنید.



باسخ: الف) وقتی مطابق شکل الف، سطح حلقه عمود بر خط‌های میدان مغناطیسی قرار می‌گیرد، زاویه بین میدان \vec{B} و نیم خط عمود بر سطح حلقه برابر صفر می‌شود. به این ترتیب، شار عبوری از سطح حلقه برابر است با

$$A = 0.2\text{m} \times 0.2\text{m} = 0.04\text{m}^2, \quad B = 25\text{G} = 2/50 \times 10^{-4}\text{T}, \quad \theta = 0^\circ$$

$$\Phi = B A \cos \theta = (2/50 \times 10^{-4}\text{T})(0.04\text{m}^2) \cos 0^\circ = 1 \times 10^{-6}\text{Wb} = 1\text{mWb}$$

ب) وقتی مطابق شکل ب، حلقه می‌چرخد و سطح آن موازی با خط‌های میدان مغناطیسی قرار می‌گیرد، زاویه بین میدان \vec{B} و نیم خط عمود بر سطح حلقه برابر 90° می‌شود. از آنجا که $\cos 90^\circ = 0$ است، در این شرایط، هیچ شاری از سطح حلقه عبور نمی‌کند.

پ) همان‌طور که دیدیم شار عبوری از سطح حلقه در وضعیت شکل الف و وضعیت شکل ب، به ترتیب، برابر $\Phi_1 = 1\text{mWb}$ و $\Phi_2 = 0$ است. به این ترتیب، تغییر شار عبوری از سطح حلقه برابر $\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = -1\text{mWb}$ می‌شود. علامت منفی نشان می‌دهد در حین چرخش حلقه از وضعیت شکل الف به وضعیت شکل ب، شار مغناطیسی عبوری از سطح آن کاهش یافته است. (ن) یا توجه به نتیجه قسمت ب، آهنگ تغییر شار $(\Delta\Phi/\Delta t)$ برابر است با

$$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{-1 \times 10^{-6}\text{Wb}}{0.1\text{s}} = -10^{-6}\text{Wb/s}$$

تمرین ۳-۲

الف) حلقه‌ای به مساحت 25cm^2 درون میدان مغناطیسی یکنواخت بدون سویی به اندازه 0.3T قرار دارد (شکل الف). شار مغناطیسی عبوری از حلقه را به دست آورید.

ب) اگر مطابق شکل ب و بدون تغییر \vec{B} ، مساحت سطح حلقه را به 1cm^2 برسانیم، شار مغناطیسی عبوری از حلقه را در این وضعیت به دست آورید.

پ) اگر این تغییر شار در بازه زمانی $\Delta t = 0.1\text{s}$ رخ داده باشد، آهنگ تغییر شار $(\Delta\Phi/\Delta t)$ را پیدا کنید.



پوشش ۳-۱۱

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

Ω

A

V

V/A

اکنون که با تعریف و مفهوم شار مغناطیسی آشنا شدیم دوباره نگاهی می‌کنیم به پدیده القای الکترومغناطیسی که در بخش قبیل بررسی کردیم. همان‌طور که گفتیم عامل مشترک در تمامی پدیده‌هایی که منجر به تولید جریان القایی در مدار می‌شود، تغییر شار مغناطیسی عبوری از بیجه یا سیم‌لوله است. بنابر قانون فاراد، هرگاه شار مغناطیسی ای که از مدار بسته‌ای می‌گذرد تغییر کند، نیروی محرکه‌ای در آن القا می‌شود که بزرگی آن با آهنگ تغییر شار مغناطیسی متناسب است؛ یعنی هرچه آهنگ تغییر

شار مغناطیسی بیشتر باشد، نیروی محرکه القایی و در نتیجه جریان القایی تولید شده در مدار بیشتر خواهد بود. مثلاً در آزمایش‌های بخش ۷-۳، هرچه حرکتی که سبب تغییر شار مغناطیسی می‌شود سریع‌تر انجام شود، عقربه گالوانومتر بیشتر منحرف می‌شود. و این نشان می‌دهد که جریان القایی بزرگ‌تری به وجود آمده است.

قانون فارادای برای بیجه یا سیم‌لوله‌ای که از N دور مشابه تشکیل شده باشد با رابطه زیر بیان می‌شود:

$$\mathcal{E}_i = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (6-3)$$

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

$$I_{i,av} = \frac{\mathcal{E}_{i,av}}{R} \quad (7-3)$$

همان‌طور که از رابطه ۷-۳ دیده می‌شود، هرچه مقاومت بیجه یا مداری که در آن شار مغناطیسی تغییر می‌کند، بیشتر باشد، جریان کوچک‌تری در آن القا می‌شود.

مثال ۳-۵



بیجه‌ای شامل ۲۰۰ دور که مساحت هر حلقه آن 25cm^2 است، مطابق شکل روی دو بین قطب‌های یک آهنربای الکتریکی قرار گرفته است که میدان مغناطیسی یکنواخت تولید می‌کند. خط‌های میدان بر سطح بیجه عمودند. اگر اندازه میدان در بازه زمانی 2ms از 1.8T به 2.2T افزایش یابد، الف) نیروی محرکه القایی متوسط ایجاد شده در بیجه چقدر است؟

ب) اگر مقاومت بیجه $1\ \Omega$ باشد، جریان القایی متوسط که از بیجه می‌گذرد چقدر است؟

پاسخ: الف) نیم خط عمود بر سطح حلقه‌های بیجه را همسوی با \vec{B} می‌گیریم. با توجه به داده‌های مسئله داریم:

$$N = 200 \quad \text{دور} \quad A = 25\text{cm}^2 \quad \theta = 0 \quad \Delta t = 2 \times 10^{-3}\text{s}$$

$$B_1 = 1.8\text{T} \quad B_2 = 2.2\text{T} \quad \mathcal{E}_{i,av} = ?$$

$$\Phi_1 = B_1 A \cos\theta = (1.8\text{T})(25 \times 10^{-4}\text{m}^2)(\cos 0^\circ) = 4.5 \times 10^{-3}\text{Wb}$$

$$\Phi_2 = B_2 A \cos\theta = (2.2\text{T})(25 \times 10^{-4}\text{m}^2)(\cos 0^\circ) = 5.5 \times 10^{-3}\text{Wb}$$

به این ترتیب، تغییر شار مغناطیسی برابر است با:

$$\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = (5.5 \times 10^{-3}\text{Wb}) - (4.5 \times 10^{-3}\text{Wb}) = 1.0 \times 10^{-3}\text{Wb}$$

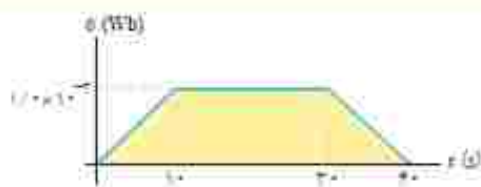
با قرار دادن این مقدار و داده‌های بالا در رابطه ۶-۳ داریم:

$$\mathcal{E}_{i,av} = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -(200) \frac{1.0 \times 10^{-3}\text{Wb}}{2.0 \times 10^{-3}\text{s}} = -1.0\text{V}$$

ب) با توجه به رابطه ۷-۳، جریان القایی متوسط در بیجه برابر است با:

$$I_{i,av} = \frac{\mathcal{E}_{i,av}}{R} = \frac{-1.0\text{V}}{1\ \Omega} = -1.0\text{A}$$

مثال ۳-۶



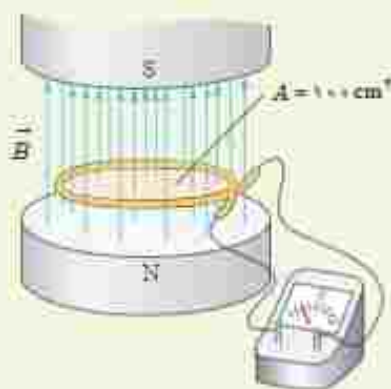
تغییرات شار مغناطیسی که از یک حلقه می‌گذرد بر حسب زمان در نمودار شکل رویه‌رو نشان داده شده است. نیروی محرکه القایی متوسط در حلقه را در هر یک از بازه‌های زمانی $(0, 1)$ ، $(1, 3)$ و $(3, 4)$ محاسبه کنید.

پاسخ: در بازه زمانی $0 \leq t \leq 1$ ، نیروی محرکه القایی متوسط برابر است با:

$$\mathcal{E}_{\text{متوسط}} = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = -(1) \frac{(1.0 \times 10^{-2} \text{ Wb} - 0)}{1 \text{ s}} = -1.0 \times 10^{-2} \text{ V}$$

در بازه زمانی $1 \leq t \leq 3$ شار ثابت مانده است، در نتیجه نیروی محرکه القایی متوسط برابر صفر است. در بازه زمانی $3 \leq t \leq 4$ شبیه آنچه در مورد بازه زمانی صفر تا $1 \leq t$ گفتیم، نیروی محرکه القایی متوسط برابر $-1.0 \times 10^{-2} \text{ V}$ است.

تمرین ۳-۵



۱- میدان مغناطیسی بین قطب‌های آهنربای الکتریکی شکل رویه‌رو که بر سطح حلقه عمود است با زمان تغییر می‌کند و در مدت 0.45 s از 0.28 T رو به بالا، به 0.17 T رو به پایین می‌رسد. در این مدت،

الف) نیروی محرکه القایی متوسط در حلقه را بدست آورید.

ب) اگر مقاومت حلقه 1Ω باشد، جریان القایی متوسط در حلقه را پیدا کنید.

۲- مساحت هر حلقه پنجاهی 3 cm^2 و پنجاه منشکل از 1000 حلقه است. در ابتدا سطح حلقه‌ها بر میدان مغناطیسی زمین عمود است. اگر در مدت 0.2 s پنجاه بچرخد و سطح حلقه‌ها موازی میدان مغناطیسی زمین شود، نیروی محرکه القایی متوسط در آن حلقه است؟ اندازه میدان زمین را 0.5 G در نظر بگیرید.

پوش ۳-۱۲



تندی سنج دوچرخه‌های مسابقه‌ای شامل یک آهنربای کوچک و یک پنجاه است. آهنربا به یکی از بوه‌های جرخ جلو و پنجاه به دو شاخ فرمان متصل است (تنگل رویه‌رو). دو سر پنجاه یا سیم‌های رسانا به نمایشگر تندی سنج که در واقع نوعی رایانه کوچک است) وصل شده است. به نظر شما تندی سنج دوچرخه چگونه کار می‌کند؟ این موضوع را در گروه خود به گفت‌وگو بگذارید و نتیجه را به کلاس درس ارائه دهید.

فناوری و کاربرد: کارت های اعتباری و دستگاه های کارت خوان

توار مغناطیسی پشت کارت های اعتباری حاوی تعداد بسیار زیادی ذره فرومغناطیسی است که نوعی چسب خاص آنها را به هم متصل می کند. داده ها را که به صورت دودویی، با صفر و یک به رمز درآورده اند، در توار مغناطیسی پشت کارت ذخیره می کنند (شکل الف). وقتی کارت اعتباری درون دستگاه کارت خوان کشیده می شود، میدان مغناطیسی ناشی از توار مغناطیسی، روی بیجه قرار داده شده در دستگاه کارت خوان اثر می گذارد و جریان اندکی را در بیجه القا می کند (شکل ب). این جریان بسیار کوچک توسط دستگاه دیگری تقویت و داده های ذخیره شده در توار مغناطیسی پشت کارت، رمزگشایی می شود. پس از رمزگشایی داده ها، دستور مورد نظر انجام می شود.



الف) کشیدن کارت جریان اندکی در بیجه دستگاه کارت خوان القا می کند.



الف) داده ها را به صورت صفر و یک در توار مغناطیسی پشت کارت ذخیره می کنند.

خوب است بدانید: معاینه مغز با نیروهای محرکه القایی



برانگیزش (تحرکت) مغناطیسی فرا جمجمه ای (TMS) روشی برای بررسی عملکرد بخش های مختلف مغز است. در این روش، بیجه ای روی سر شخصی بیمار قرار داده می شود که جریان الکتریکی متغیری از آن می گذرد و در نتیجه میدان مغناطیسی متغیری تولید می کند. این میدان متغیر، سبب ایجاد تیروی محرکه القایی و جریان القایی در ناحیه ای از مغز می شود که در زیر بیجه قرار دارد. پزشک با مشاهده واکنش مغز (مثلاً اینکه کدام عضله ها به علت برانگیزش بخش خاصی از مغز حرکت می کنند) می تواند شرایط عصب شناختی مختلفی را بیازماید.

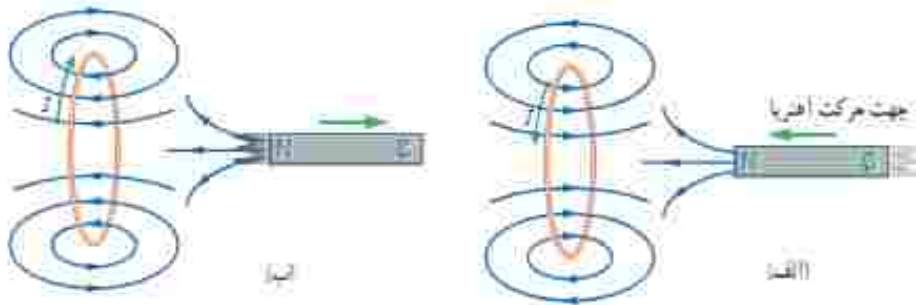
۳-۹ قانون لنز

مدت کوتاهی پس از آنکه فاراده قانون القای الکترومغناطیسی را ارائه کرد، هاینریش لیزر، دانشمند روس نیاز، در سال ۱۸۳۴ میلادی روشی را برای تعیین جهت جریان القایی در یک بیجه یا در هر مدار بسته دیگری پیشنهاد کرد. این روش که بعدها به قانون لنز شهرت یافت، حاکی از آن است که: **جریان حاصل از تیروی محرکه القایی در یک مدار یا بیجه در جهتی است که آثار مغناطیسی ناشی از آن، با عامل به وجود آورنده جریان القایی، یعنی تیسر نام مغناطیسی، مخالفت می کند.** علامت منفی در رابطه ۳-۶ نشان دهنده همین مخالفت است. توضیح دقیق تر این مطلب فراتر از سطح این کتاب است. در اینجا تنها به ذکر مثال هایی از چگونگی استفاده از قانون لنز برای تعیین جهت جریان القایی اکتفا می کنیم.



هنریش هرزش (۱۸۵۷-۱۸۹۴) میل از ۱۸۵۷ تا ۱۸۹۴
 فیزیک‌دان مشهور آلمانی و مدبری تار روس بود. وی در استونی که در آن دوران تبع امپراتوری روسیه بود به دنیا آمد. پس از اتمام دوره تحصیل در سال ۱۸۸۰ وارد دانشگاه گرتینگن و به تحصیل در زمینه فیزیک و ریاضی پرداخت. در طی سال‌های ۱۸۸۳ تا ۱۸۹۴ میلادی، در ضمن یک سفر تفریحی به دور دنیا به مطالعه شرایط آسرو هوایی و همچنین ویژگی‌های فیزیک آتوم پرداخت و نتایج آن را در سال ۱۸۳۹ منتشر کرد. پس از این سفر، در دانشگاه سن پترزبورگ آغاز به کار نمود. پس مطالعه الکترودینامیکس را در سال ۱۸۳۹ شروع کرد و دست‌نویس‌های وی در مورد پدیده‌های قانون لورنتز در الکترودینامیکس در سال ۱۸۴۴ است.

شکل ۲-۲۸ الف، آهنربایی را نشان می‌دهد که قطب N آن در حال نزدیک شدن به یک حلقه رساناست. در این وضعیت اندازه \vec{B} در محل حلقه افزایش می‌یابد و در نتیجه شار گذرانده از حلقه زیاد می‌شود. بنا به قانون لورنتز، جهت جریان القایی ایجاد شده در حلقه چنان است که میدان مغناطیسی ناشی از آن با افزایش شار مخالفت کند. بنابراین، میدان مغناطیسی حلقه در خلاف سوی میدان مغناطیسی آهنربا می‌شود. یا توجه به فاعده دست راست و از روی جهت میدان مغناطیسی حلقه، جهت جریان در حلقه تعیین می‌شود. همچنین اگر مطابق شکل ۲۸-۳ ب، قطب N آهنربا را از حلقه رسانا دور کنیم، جریان القایی در جهتی خواهد بود که میدان مغناطیسی تولید شده توسط حلقه، همسو با میدان آهنربا می‌شود و به این ترتیب با کاهش شار عبوری از حلقه، مخالفت می‌کند.



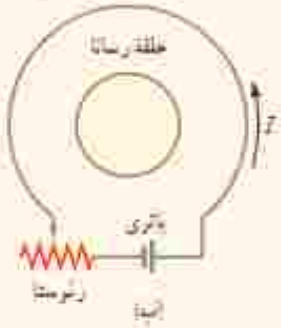
شکل ۳-۲۸ الف و ب آهنربا به حلقه رسانا نزدیک می‌شود جریان در جهتی در حلقه القا می‌شود که میدان مغناطیسی ناشی از آن با افزایش شار مغناطیسی حلقه مخالفت کند. ب با دور شدن آهنربا از حلقه رسانا، جریان در جهتی در حلقه القا می‌شود که میدان مغناطیسی ناشی از آن با کاهش شار مغناطیسی حلقه مخالفت کند.

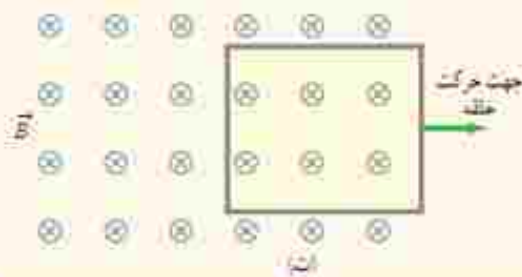
پرسش ۲-۱۳

- ۱- با توجه به جهت جریان القایی در مدار شکل الف، توضیح دهید که آیا آهنربا رو به بالا حرکت می‌کند یا رو به پایین.
- ۲- شکل ب سیم بلند و مستقیمی را نشان می‌دهد که جریان عبوری از آن در حال افزایش است. جهت جریان القایی را در حلقه رسانای مجاور سیم تعیین کنید.



- ۳- اگر در مدار شکل ب مقاومت رتوسا افزایش یابد، جریان القایی در حلقه رسانای داخلی در چه جهتی ایجاد می‌شود؟





۴- حلقه رسانای مستطیل شکلی را مطابق شکل ت به طرف راست می‌کشیم و از میدان مغناطیسی درون سویی خارج می‌کنیم. جهت جریان القا می‌شود در حلقه در چه جهتی است؟

خوب است بدانید: اثر دیامغناطیس

جرخس هر الکترون به دور هسته اتم را می‌توان به صورت یک حلقه میکروسکوپی جریان مثل سازی کرد. هرگاه ماده‌ای در یک میدان مغناطیسی خارجی قرار گیرد، شار مغناطیسی گذرنده از هر یک از این حلقه‌های میکروسکوپی افزایش می‌یابد و در نتیجه بنابر قانون لژ، در این حلقه‌ها، یک میدان مغناطیسی در خلاف جهت میدان مغناطیسی خارجی القا می‌شود. به این ویژگی که در اتم‌های همه ماده در حضور یک میدان مغناطیسی خارجی رخ می‌دهد، پدیده یا اثر دیامغناطیس گفته می‌شود. اثر دیامغناطیسی در موادی نظیر بسموت، جنود، نئود، سرب، مس و کربن (گرافیت) بهتر نمایان می‌شود، زیرا اتم‌های آنها، فاقد دو قطبی‌های مغناطیسی دائمی اند. از آنجا که اثر دو قطبی‌های مغناطیسی دائمی در مواد فرومغناطیسی و پارامغناطیسی بسیار بیشتر از اثر دو قطبی‌های القا می‌شود، اثر دیامغناطیس در این گونه مواد نمود کمتری دارد.

۳-۱۰ الفاکرها

در فصل ۲ دیدیم که در فضای بین صفحه‌های یک خازن باردار، میدان الکتریکی ایجاد می‌شود و انرژی الکتریکی در این میدان ذخیره می‌شود. به همین ترتیب، می‌توان از الفاکر (سپیس) برای تولید میدان مغناطیسی دلخواه و همچنین ذخیره انرژی در این میدان استفاده کرد. الفاکر مانند مقاومت و خازن یکی از اجزای ضروری مدارهای الکترونیکی است.

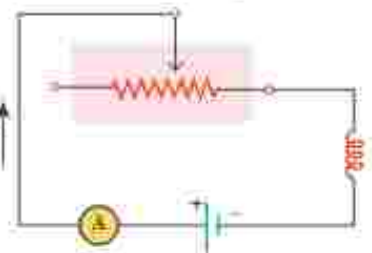
شکل ۳-۲۹ تصویر چند الفاکر را در اندازه‌ها و شکل‌های متفاوت نشان می‌دهد. نماد مداری الفاکر، H است. ویژگی‌های فیزیکی هر الفاکر، توسط ضریب القاوری آن تعیین می‌شود. ضریب القاوری که با نماد L نمایش داده می‌شود به عواملی همچون تعداد دور، طول و سطح مقطع الفاکر و جنس هسته‌ای که داخل آن قرار می‌گیرد بستگی دارد. یکای SI ضریب القاوری، هنتری (H) نام دارد.



جوزف هنری (۱۸۷۸-۱۷۹۷) یکی از فیزیکدانان برجسته قرن نوزدهم است که در آمریکا به دنیا آمد و کار خود را با آموزش علوم در یک مدرسه روستایی آغاز کرد. سپس به تحصیل در طب و مهندسی علاقه‌مند شد و سرانجام به فیزیک و ریاضیات روی آورد. هنری در سال ۱۸۳۱، همزمان و مستقل از فاراد، موفق به کشف پدیده القای الکترومغناطیسی شد. وی همچنین توانست یعنی مولود الکترومغناطیسی و یک تلگراف جدید و کارآمد اختراع کند. یکای SI ضریب القاوری به احترام یک عمر فعالیت‌های علمی وی، هنری (H) انتخاب شده است.



شکل ۳-۲۹ تصویر از چند الفاکر در اندازه‌ها و شکل‌های متفاوت



شکل ۳۳- مدار ساده شامل رنوستا، القاگر، باتری و آمپر سنج

خود - القاوری: مداری را مطابق شکل ۳۳-۳ در نظر بگیرید. این مدار شامل منبع نیروی محرکه، رنوستا، آمپر سنج و القاگری است که به طور متوالی به یکدیگر بسته شده‌اند. با تغییر مقاومت رنوستا، جریان در مدار تغییر می‌کند. تغییر جریان در مدار، سبب تغییر میدان مغناطیسی القاگر می‌شود و در نتیجه شار مغناطیسی عبوری از آن نیز تغییر می‌کند. این فرایند سبب القای نیروی محرکه‌ای در القاگر می‌شود که بنابر قانون لنز با تغییر جریان عبوری از آن مخالفت می‌کند. این پدیده که می‌تواند در هر القاگری (از قبیل بیجه یا سیملوله) رخ دهد اثر خود - القاوری نامیده می‌شود.

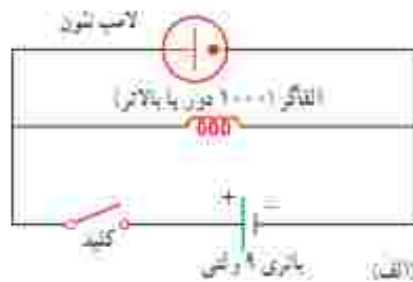
آزمایش ۳-۵

هدف: بررسی اثر خود - القاوری

وسایله‌های مورد نیاز: لامپ ۱ تنون (لامپ فازمتری)، القاگر (۱۰۰۰ دور یا بالاتر)، کلید دور یا بالاتر، باتری قلمی (۲ عدد) یا باتری ۹ ولتی، سیم رابط، کلید

شرح آزمایش:

- مداری مطابق شکل الف بپنید.
- کلید را وصل کنید. آیا لامپ روشن است؟ اینک کلید را قطع کنید. در لحظه قطع کردن کلید چه چیزی مشاهده می‌کنید؟ دلیل آنچه را مشاهده می‌کنید در گروه خود به گفت‌وگو بگذارید و نتیجه را به کلاس ارائه دهید.
- توجه: می‌توانید مطابق شکل ب، به جای القاگر از القاگر لامپ‌های مهتابی (که به استباه ترانس نامیده می‌شود) نیز استفاده کنید.



خوب است بدانید:

کاربرد القاگرها در سامانه‌های انتقال برقی

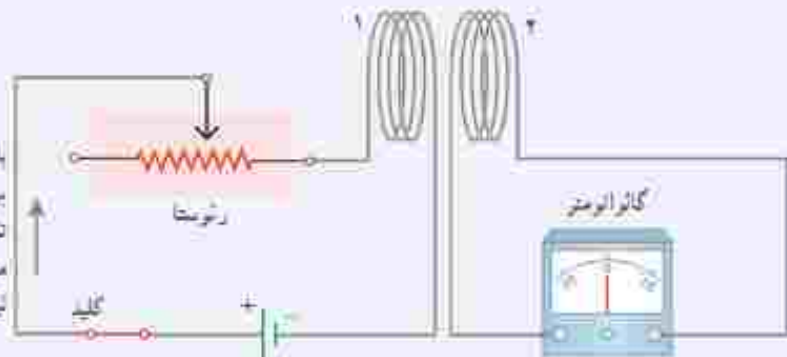
برخورد آذرخش به بخشی از یک سامانه انتقال توان الکتریکی موجب افزایش ناگهانی ولتاژ می‌شود که می‌تواند به اجزای سامانه و هر چیز دیگری که به آن وصل باشد (برای مثال، وسایله‌های برقی خانگی) آسیب برساند. برای کمینه کردن این آثار، القاگرهای بزرگی را در مسیر سامانه انتقال قرار می‌دهند. این کار باعث می‌شود که القاگرها هر تغییر سریع در جریان مخالفت کند و آن را فرو نرساند!

کاربرد القاگرها در لامپ‌های فلونورسان

همان‌طور که در ابتدای این بخش دیدیم القاگرها با تغییرات سریع جریان در مدار مخالفت می‌کنند، به همین دلیل نقش مهمی در لامپ‌های فلونورسان (مهتابی) دارند. در این لامپ‌ها، جریان الکتریکی از گاز رقیقی که فضای درون لامپ را پر کرده است می‌گذرد و گاز را یونیده و به پلازما تبدیل می‌کند. پلازما یک رسانای غیراھمی است و هرچه بیشتر یونیده شود مقاومت آن کمتر می‌شود. اگر ولتاژ به حد کافی بالایی به گاز اعمال شود، جریان می‌تواند بسیار زیاد شود و به مدار بیرونی لامپ فلونورسان آسیب برساند. برای جلوگیری از این مسئله، یک القاگر را به طور متوالی با لامپ فلونورسان می‌بندند تا مانع افزایش زیاد جریان شود. متعادل کننده همچنین باعث می‌شود تا لامپ فلونورسان بتواند با ولتاژ متناوب کار کند.

خوب است بدانید: القای متقابل

شکل زیر اسباب آزمایش ساده‌ای را برای بررسی اثر القای متقابل نشان می‌دهد. جریان عبوری از بیجه ۱، میدان مغناطیسی \vec{B} را به وجود می‌آورد. این میدان \vec{B} ، سار مغناطیسی ای را از بیجه ۲ می‌گذراند که در مجاورت آن قرار دارد. یا تغییر داین مقاومت روستا و تغییر جریان در بیجه ۱، میدان مغناطیسی بیجه ۱ و در نتیجه سار عبوری از بیجه ۲ نیز تغییر می‌کند؛ بنابراین قانون فاراد، این تغییر سار، نیروی محرکه‌ای را در بیجه ۲ القا می‌کند که به ایجاد جریان القایی در این بیجه می‌انجامد. همچنین تغییر جریان در بیجه ۲، سبب ایجاد نیروی محرکه القایی در بیجه ۱ می‌شود. این فرایند، **القای متقابل** نامیده می‌شود و به کمک آن می‌توان انرژی را از یک بیجه، به بیجه دیگر منتقل کرد.



با تغییر مقاومت روستا و تغییر جریان عبوری از بیجه ۱ سار عبوری از بیجه ۲ نیز تغییر می‌کند. این تغییر سار، سبب ایجاد نیروی محرکه القایی در بیجه ۲ می‌شود. هم‌زمان تغییر جریان در بیجه ۲، سبب ایجاد نیروی محرکه القایی در بیجه ۱ می‌گردد.



برای به حداقل رساندن اثر القای متقابل در برخی از مدارهای الکترونیکی، القاگرهای مجاور را به گونه‌ای قرار می‌دهند که سطح حلقه‌های آنها بر یکدیگر عمود باشد.

در برخی از مدارهایی که از چندین القاگر به وجود آمده است، تغییرات جریان در یک القاگر می‌تواند نیروهای محرکه ناخواسته‌ای را در القاگرهای مجاور القا کند. به همین دلیل، در برخی از مدارهای الکترونیکی، القای متقابل می‌تواند مزاحم باشد. برای هرچه کمتر کردن این اثر ناخواسته، باید سطح حلقه‌های القاگرهای مجاور را به طور عمود بر یکدیگر قرار داد (شکل روبه‌رو). در این صورت، اثر القای متقابل تا حد امکان کوچک می‌شود. القای متقابل کاربردهای مفید بسیاری نیز دارد. مثلاً در متعلقاتی که در پایان همین فصل با آنها آشنا خواهید شد، القای متقابل، نقش مهمی در مقدار ولتاژ خروجی مبدل ایفا می‌کند.

انرژی ذخیره شده در القاگر: وقتی توسط یانری جریانی در القاگر برقرار شود، مولد به القاگر انرژی می‌دهد. بخشی از این انرژی در مقاومت الکتریکی سیم‌های القاگر به صورت گرما تلف و بقیه آن در میدان مغناطیسی القاگر ذخیره می‌شود. مقدار انرژی ذخیره شده در میدان القاگر با ضرب القای L ، از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$U = \frac{1}{2} LI^2 \quad (۸-۳)$$

مقاومت با جریان I انرژی تلف شده است.



الفاگر با جریان I انرژی ذخیره شده است.



لازم است رفتار مقاومت و الفاگر را به لحاظ انرژی استیاء نگریه (شکل ۳-۳۱)، هنگام عبور جریان از مقاومت، انرژی وارد آن می‌شود، جریان چه پایا باشد و چه تغییر کند، این انرژی در مقاومت به انرژی گرمایی تبدیل می‌شود؛ در حالی که در یک الفاگر آرمانی (با مقاومت صفر) تنها وقتی انرژی وارد الفاگر می‌شود که جریان در آن افزایش یابد، این انرژی تلف نمی‌شود؛ بلکه در میدان مغناطیسی الفاگر ذخیره شده و هنگام کاهش جریان، آزاد می‌شود. هنگام عبور جریان پایا از یک الفاگر آرمانی (سیم بی‌مقاومت)، انرژی به آن وارد یا از آن خارج نمی‌شود.

نکته ۳-۳۱: مقاومت قطعه‌ای است که بر آن انرژی به طور غیرقابل برگشت تلف می‌شود. برخلاف آن، انرژی ذخیره شده در الفاگر حامل جریان را می‌توان هنگام کاهش جریان، بازیافت.

مثال ۳-۷.

منحصصان صنعت برق، علاقه‌مندند راه‌های مؤثری را برای ذخیره انرژی الکتریکی تولیدی در ساعت‌های کم‌مصرف (کم‌باری) بیابند تا با استفاده از آن، نیاز مشترکان را در ساعت‌های بر مصرف (بوج بار) تأمین کنند. یک ایده فرضی، استفاده از یک الفاگر بزرگ است. ضریب القاوری این الفاگر جقدر باشد تا بتواند $1/0 \text{ kWh}$ انرژی الکتریکی را در پیچه حامل جریان 20 A ذخیره کند؟ **پاسخ:** مقدار انرژی ذخیره شده مورد نیاز $U = 1/0 \text{ kWh}$ و جریان $I = 20 \text{ A}$ داده شده است. از معادله $U = LI^2/2$ ضریب القاوری را به دست می‌آوریم:

$$U = 1/0 \text{ kWh} = (1/0 \times 10^3 \text{ W})(3600 \text{ s}) = 3/6 \times 10^6 \text{ J}$$

$$U = \frac{1}{2} LI^2 \Rightarrow L = \frac{2U}{I^2} = \frac{2(3/6 \times 10^6 \text{ J})}{(20 \text{ A})^2} = 1/8 \times 10^7 \text{ H}$$

ضریب القاوری به دست آمده، بسیار بیشتر از ضریب القاوری یک الفاگر معمولی (در حد میلی‌هالزی) است که در آزمایشگاه از آن استفاده می‌کنیم. افزون بر این همان‌طور که در فصل ۲ دیدیم سیم‌های معمولی که بتوانند جریان 20 A را از خود عبور دهند باید قطر بسیار بزرگی داشته باشند، اندازه یک الفاگر 18 H که از سیم‌های معمولی ساخته شده باشد و بتواند چنین جریانی را تحمل کند باید خیلی بزرگ (به اندازه یک اتاق بزرگ) باشد. با توجه به فناوری‌های موجود، این ایده غیرعملی است و توجه اقتصادی ندارد.

فناوری و کاربرد: انرژی لازم برای جرقه زدن شمع خودرو.

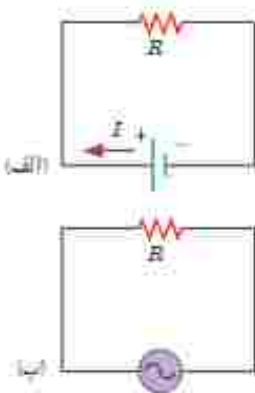


انرژی لازم برای جرقه زدن شمع خودرو، از انرژی ذخیره شده در میدان مغناطیسی پیچه احتراق تأمین می‌شود.

انرژی ذخیره شده در میدان مغناطیسی نقش مؤثری در دستگاه‌های احتراق خودروهایی با موتور بنزینی دارد. پیچه اولیه یا حدود 250 دور به یاتری خودرو بسته شده است و میدان مغناطیسی قوی‌ای تولید می‌کند. این پیچه، درون یک پیچه ثانویه یا 2500 دور سیم حیطی نازک قرار گرفته است. برای جرقه زدن شمع، جریان در پیچه اولیه قطع می‌شود و میدان مغناطیسی به سرعت به سلف می‌رسد و تیروی محرکه الکتریکی ده‌ها هزار ولتی در پیچه ثانویه القا می‌کند. در نتیجه انرژی ذخیره شده در میدان مغناطیسی همراه با جریانی لحظه‌ای از پیچه ثانویه به طرف شمع می‌رود و جرقه‌ای تولید می‌کند که سبب احتراق مخلوط سوخت و هوا در سیلندرهایی موتور می‌شود (شکل روبه‌رو).

۳-۱۱ جریان متناوب

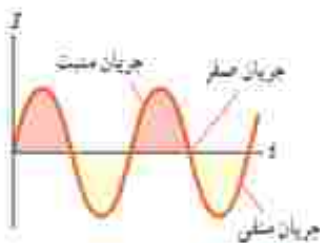
در اواخر قرن نوزدهم، بحث‌های داغی بین توماس ادیسون و جورج وستینگهاوس دربارهٔ بهترین روش انتقال انرژی الکتریکی از محل تولید تا محل مصرف صورت گرفت. ادیسون موافق جریان مستقیم (dc) بود، در حالی که وستینگهاوس از جریان متناوب (ac) حمایت می‌کرد. سرانجام، وستینگهاوس پیروز شد و پس از آن سامانه‌های انتقال و توزیع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



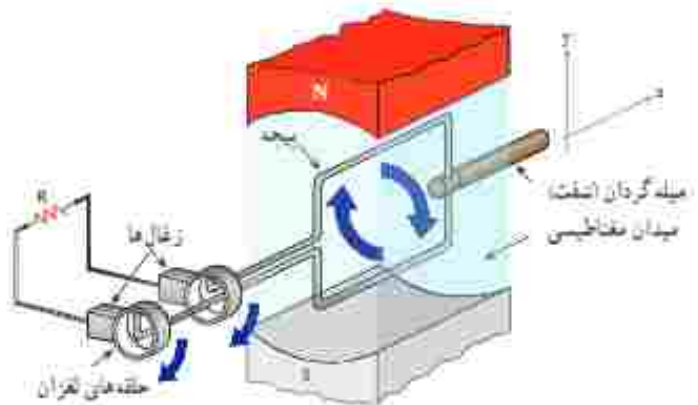
شکل ۳-۲۲ دو مدار ساده جریان مستقیم و جریان متناوب را نشان می‌دهد. همان‌طور که می‌بینید جهت جریان در مدار جریان مستقیم معین است، در حالی که در مدار جریان متناوب، به دلیل تغییر جهت جریان با گذشت زمان، نمی‌توان جهت معینی را برای جریان در نظر گرفت. نمایی نیروگاه‌های تولید برق در دنیا و از جمله ایران، جریان متناوب تولید می‌کنند که تابعی سینوسی از زمان است و به همین دلیل، جریان متناوب سینوسی نامیده می‌شود (شکل ۳-۲۳).

شکل ۳-۲۲ مدار ساده جریان مستقیم، که در آن جریان با گذشت زمان تغییر نمی‌کند (ب) مدار ساده جریان متناوب، که در آن ولتاژ و جریان با گذشت زمان به طور سینوسی تغییر می‌کنند.

تولید جریان متناوب: یکی از کاربردهای مهم اثر القای الکترومغناطیسی، تولید جریان متناوب است. پیش از این دیدیم که برای تولید نیروی محرکه القایی باید شار عبوری از بیجه تغییر کند. رایج‌ترین روش برای تغییر شار و در نتیجه تولید جریان القایی، تغییر زاویه θ در رابطه شار مغناطیسی، یعنی $\Phi = BA \cos \theta$ است. شکل ۳-۲۴ بیجه‌ای را نشان می‌دهد که می‌تواند در میدان مغناطیسی بکواخت دور محور z بچرخد.



شکل ۳-۲۳ جریان متناوب سینوسی متداول‌ترین نوع جریان متناوب است.



شکل ۳-۲۴ اجزای یک مولد (ژنراتور) جریان متناوب. حرکت مکانیکی از طریق میله گردان، سبب چرخیدن بیجه در میدان مغناطیسی می‌شود و جریان متناوبی را بر مدار به وجود می‌آورد.

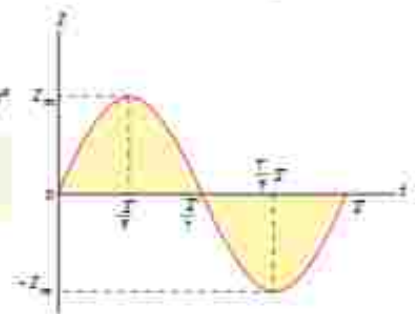
هر دور چرخش بیجه، معادل 2π رادیان است. اگر بیجه به‌طور بکواخت بچرخد و هر دور چرخش آن T ثانیه طول بکشد، بیجه در مدت t ثانیه، به اندازه $\frac{2\pi}{T}t$ دور خواهد چرخید. در نتیجه اگر سطح بیجه در لحظه $t=0$ عمود بر میدان مغناطیسی باشد ($\theta=0$)، پس از گذشت t ثانیه، زاویه θ برابر $(\frac{2\pi}{T})(t)$ رادیان است. زمان یک دور چرخش کامل بیجه (T) را **دوره** یا **زمان تناوب** می‌نامند. ساری که در لحظه t از بیجه می‌گذرد برابر است با

$$\Phi = BA \cos \frac{2\pi}{T}t \quad (۹-۳)$$

می توان نشان داد با تغییر شار مغناطیسی، جریانی که در بیجه القا می شود، از رابطه زیر بدست

می آید:

$$i = I_m \sin \frac{2\pi}{T} t \quad (۱-۳)$$



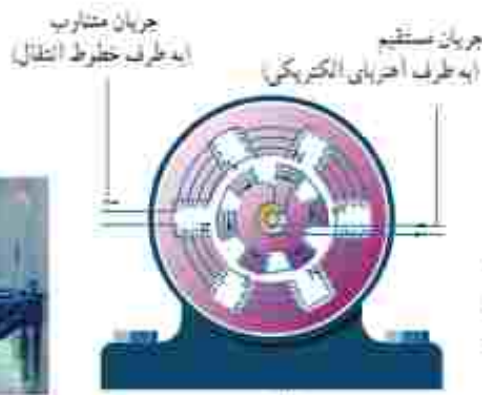
شکل ۳-۳ نمودار جریان متناوب سینوسی در یک دوره

در این رابطه I_m بیشینه جریان القا شده در بیجه است. رابطه ۱-۳ همچنین نشان می دهد که جریان القایی در بیجه، به طور سینوسی تغییر می کند، به همین سبب به آن **جریان متناوب** می گویند. نمودار این جریان بر حسب زمان، در یک دوره در شکل ۳-۳ رسم شده است.

در نیروگاه های تولید برق، برای تولید جریان متناوب از مولدهای خاصی استفاده می شود که به آنها مولدهای صنعتی جریان متناوب می گویند. در مولدهای صنعتی بیجه ها ساکن اند و آهنربای الکتریکی در آنها می چرخد (شکل ۳-۲۴). در نیروگاه های تولید برق در ایران، آهنربای الکتریکی در هر ثانیه، ۵۰ دور درون بیجه می چرخد. این کمیت را بسامد برفی تولید شده می نامند و به صورت 50 Hz بیان می کنند. یکای SI بسامد s^{-1} یا Hz (هرتز) است.



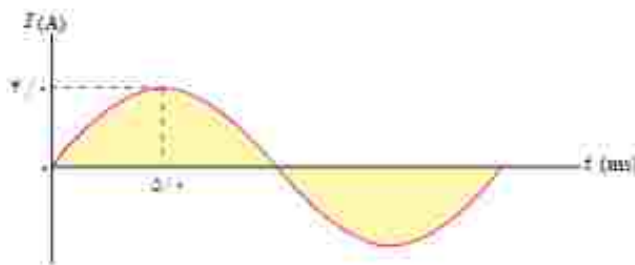
(ب)



(الف)

شکل ۳-۲۴ در مولدهای صنعتی با چرخیدن آهنربای الکتریکی بین بیجه ها، جریان متناوب تولید می شود. بیجا سازی از مولدهای صنعتی تولید برفی

مثال ۳-۸



شکل دوبه رویه، نمودار جریان متناوب سینوسی را نشان می دهد که یک مولد جریان متناوب تولید کرده است. معادله جریان بر حسب زمان را بنویسید.

پاسخ: چون ربع چرخه در 50 ms طی شده است، دوره تناوب برابر $T = 200 \text{ ms}$ است. همچنین با توجه به نمودار، بیشینه جریان $I_m = 4 \text{ A}$ است. در نتیجه از رابطه ۳-۱ داریم:

$$i = I_m \sin \frac{2\pi}{T} t = (4 \text{ A}) \sin \left(\frac{2\pi}{200 \times 10^{-3}} t \right) = 4 \sin (10\pi t) \text{ A}$$

نتیجه نهایی بر حسب یکاهای SI نوشته شده است.

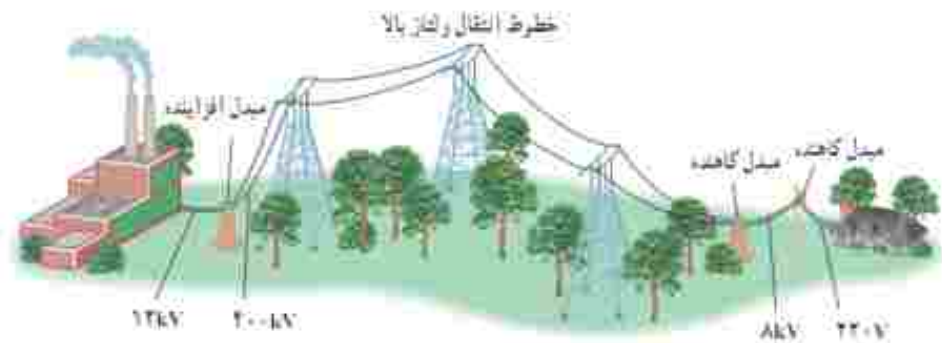
۱-۸ این رابطه خارج از اهداف برنامه درسی این کتاب است.

تمرین ۳-۶

معادله جریان در زمان یک مولد جریان متناوب بر حسب یکاهای SI به صورت $i = (4/0 \times 10^{-4}) \sin 250\pi t$ است. (الف) جریان در دو لحظه $t_1 = 4/0$ ms و $t_2 = 8/0$ ms چقدر است؟ (ب) دوره تناوب جریان را بدست آورید و نمودار جریان در زمان را در یک دوره کامل رسم کنید.

مبدل‌ها: یکی از مزیت‌های مهم توزیع توان الکتریکی ac بر dc آن است که افزایش و کاهش ولتاژ ac بسیار آسان‌تر از dc است. برای انتقال توان الکتریکی در فاصله‌های دور، ناچایی که امکان دارد باید از ولتاژهای بالا و جریان‌های کم استفاده کنیم. این کار اتلاف توان را در خط‌های انتقال کاهش می‌دهد. همچنین با توجه به کاهش جریان می‌توان از سیم‌های نازک‌تری استفاده و در مصرف مواد اولیه ساخت سیم صرفه‌جویی کرد.

خط‌های انتقال توان الکتریکی به طور معمول از ولتاژهایی در حدود 400 kV استفاده می‌کنند (شکل ۳-۳۸). از طرف دیگر، ملاحظات ایمنی و الزامات عایق‌بندی در ساخت وسایل خانگی و صنعتی، ولتاژهای به نسبت پایین‌تری را در محل مصرف انرژی ضروری می‌کند. ولتاژ استاندارد برای سیم‌کشی خانگی در ایران و بسیاری از کشورهای دیگر 220 V است. تبدیل ولتاژ مورد نیاز با استفاده از مبدل‌ها صورت می‌گیرد.

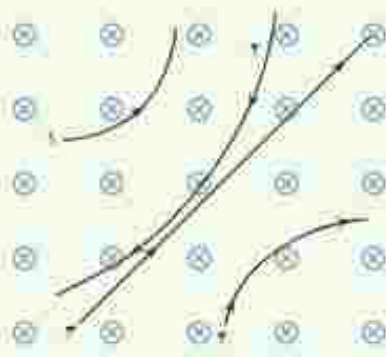


شکل ۳-۳۸ قبل از انتقال توان الکتریکی از نیروگاه‌ها، مبدل‌های افزایشده، ولتاژ را تا حدود 400 kV افزایش می‌دهند. در انتهای مسیر، مبدل‌های کاهشده، ولتاژ را کاهش می‌دهند تا توان الکتریکی با امنیت بیشتر به محل مصرف برسد.

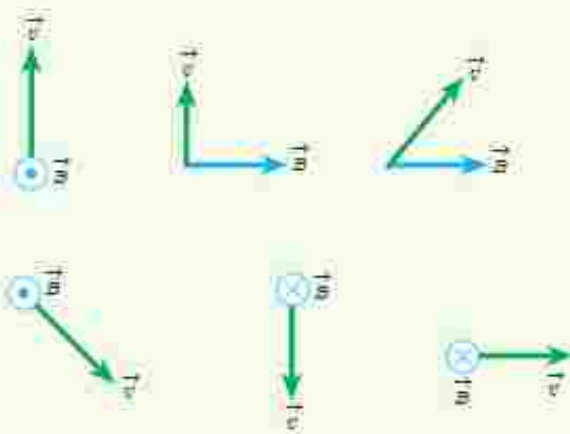
الف) هنگامی که آهنربای دائمی به نوک ثابت آهنی نزدیک می شود چه اتفاقی می افتد؟
 ب) ساختن نوک ثابت آهن چه مزیتی دارد؟
 پ) این وسیله را باید به درون گلولی کودک وارد و به سوی فلز بلعبده شده هدایت کرد؛ چرا غلاف باید انعطاف پذیر باشد؟
 ت) برشک می خواهد یک گیره آهنی کاشف و یک وایر آلومینیومی را از گلولی کودک بیرون بیاورد؛ کدام یک را می توان بیرون آورد؟ چرا؟

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

۱) چهار ذره هنگام عبور از میدان مغناطیسی درون سیم مسی مسطحی مطابق شکل زیر می نمایند. درباره نوع بار هر ذره چه می توان گفت؟

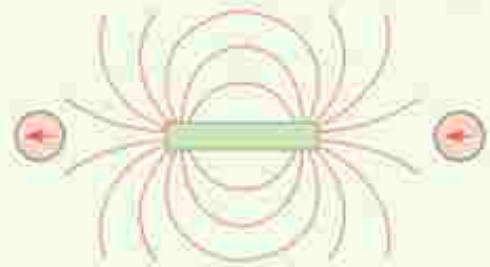


۲) جهت نیروی مغناطیسی وارد بر بار مثبت را در هر یک از حالت های نشان داده در شکل زیر تعیین کنید.



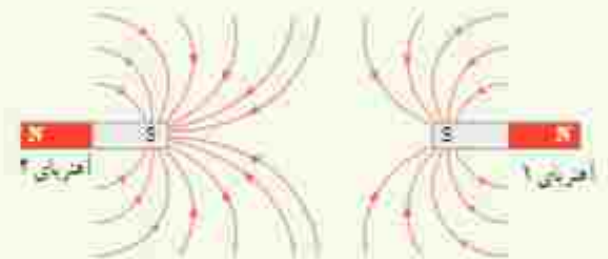
۳-۳ و ۳-۲ مغناطیسی و قطب های مغناطیسی و میدان مغناطیسی

۱) با توجه به جهت گیری عقربه های مغناطیسی در شکل زیر، قطب های آهنربای میله ای و جهت خط های میدان مغناطیسی را تعیین کنید.



۲) الف) آهنربای میله ای با قطب های نامشخص در اختیار داریم. دست کم دو روش را برای تعیین قطب های این آهنربا بیان کنید.

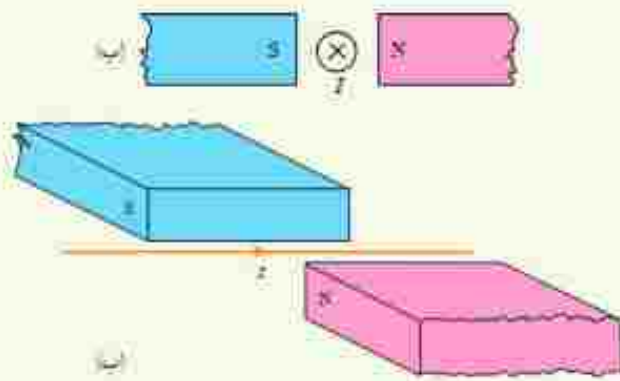
ب) خط های میدان مغناطیسی بین دو آهنربا در شکل زیر نشان داده شده است. اندازه میدان مغناطیسی را در نزدیکی قطب های آهنرباها با هم مقایسه کنید.



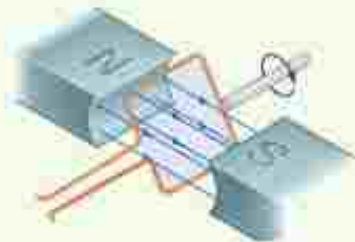
۳) کودکی یک قطعه کوچک آهنی را بلعبده است. برشک می خواهد آن را با دستگاه شکل زیر بیرون بیاورد.



قابلیت لولای انعطاف پذیر آهنربای دائم متحرک نوک آهنی ثابت



2 حلقه رسانای مستطیلی شکلی که حامل جریان I است، مطابق شکل درون میدان مغناطیسی یکواخت می‌چرخد. جهت جریان را در حلقه تعیین کنید.

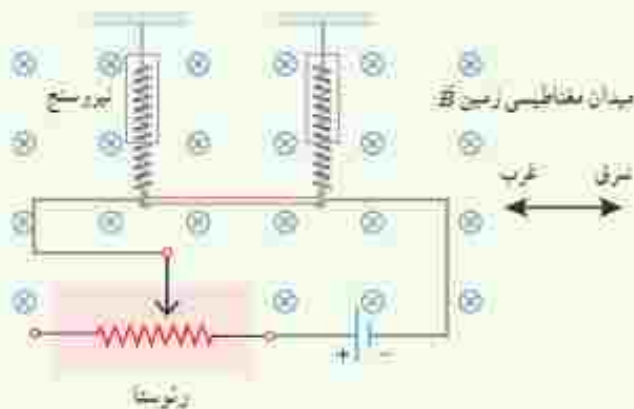


3 یک سیم حامل جریان $1/6$ آمپر مطابق شکل زیر یا دو نیروسنج فتری که به دو انتهای آن بسته شده‌اند، به‌طور افقی و در راستای غرب - شرق قرار دارد. میدان مغناطیسی زمین را یکواخت، به‌طرف شمال و اندازه 0.5 mT بگیرد.

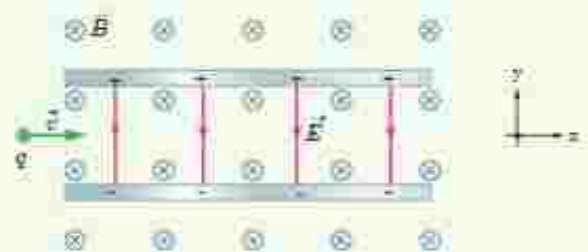
4 پروتونی با تندی $4/4 \times 10^6 \text{ m/s}$ درون میدان مغناطیسی یکواختی به‌اندازه 18 mT در حرکت است. جهت حرکت پروتون یا جهت \vec{B} زاویه 60° می‌سازد.

الف) اندازه نیروی مغناطیسی وارد بر هر متر این سیم را پیدا کنید. ب) اگر بخواهیم نیروسنج‌ها عدد صفر را نشان دهند، چه جریانی و در چه جهتی باید از سیم عبور کند؟ جرم هر متر از طول این سیم 8 گرم است ($g = 9.8 \text{ N/kg}$).

الف) اندازه نیروی وارد بر این پروتون را محاسبه کنید. ب) اگر تنها این نیرو بر پروتون وارد شود، شتاب پروتون را حساب کنید. (بار الکتریکی پروتون $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ و جرم آن را $1.7 \times 10^{-27} \text{ kg}$ در نظر بگیرید).

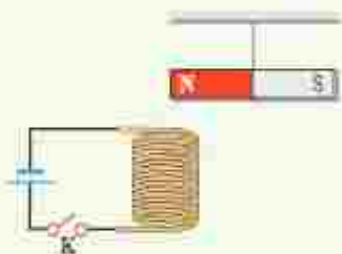


5 ذره یاردار مثبتی با جرم ناچیز و با سرعت v در امتداد محور x وارد فضایی می‌شود که میدان‌های یکواخت \vec{E} و \vec{B} وجود دارد (شکل زیر). اندازه این میدان‌ها برابر $E = 450 \text{ N/C}$ و $B = 0.18 \text{ T}$ است. تندی ذره حقیقاً باید نا در همان امتداد محور x به حرکت خود ادامه دهد؟



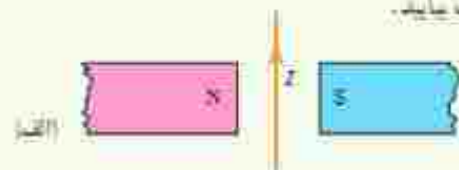
3-5 میدان مغناطیسی حاصل از جریان الکتریکی

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



3-4 نیروی مغناطیسی وارد بر سیم حامل جریان

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



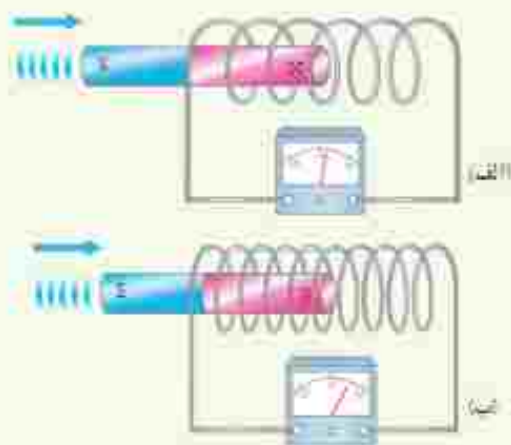


۱۲ با توجه به آنچه در بخش ویژگی های مغناطیسی مواد دیدیم، نقشه مفهومی زیر را کامل کنید.

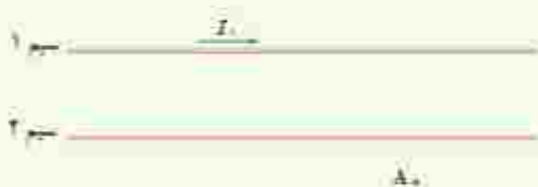


۸-۳ قانون الکترومغناطیسی فاراده

۱۳ دو سیملوله یا حلقه های با مساحت یکسان ولی با تعداد دور متفاوت را مطابق شکل های زیر به ولت سنج حساسی وصل کرده ایم. دریافت خود را از این شکل ها بنویسید. (آهنرباها مشابه اند و با تعدی یکسانی به طرف سیملوله ها حرکت می کنند.)

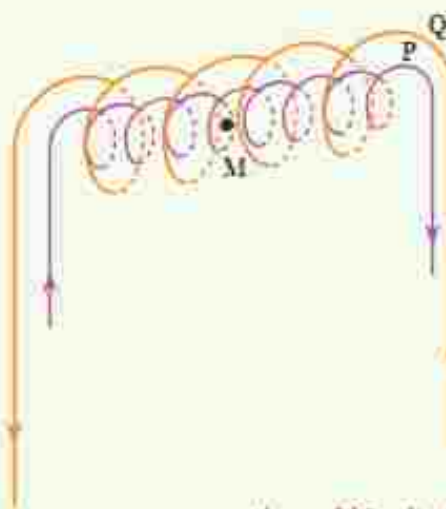


۱۴ شکل زیر، دو سیم موازی و بلند حامل جریان را نشان می دهد. اگر میدان مغناطیسی برآیند حاصل از این سیم ها در نقطه A صفر باشد، جهت جریان آن را در سیم ۲ پیدا کنید.



۱۵ سیملوله ای شامل ۲۵۰ حلقه است که دور یک لوله پلاستیکی توخالی به طول ۱۴ متر پیچیده شده است. اگر جریان گذرنده از سیملوله ۸۸/۸- باشد، اندازه میدان مغناطیسی درون سیملوله را حساب کنید.

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



۶-۳ ویژگی های مغناطیسی مواد

۱۵ شکل الف حوزه های مغناطیسی ماده فرومغناطیسی را درون میدان خارجی B نشان می دهد. شکل ب همان ماده را پس از حذف میدان B نشان می دهد. نوع ماده فرومغناطیسی را با ذکر دلیل تعیین کنید.

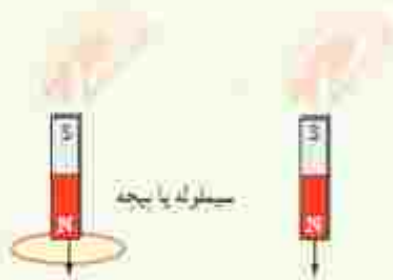
تغیر می کند و به 0.4 T در خلاف جهت اولیه می رسد. اگر سطح هر حلقه 5 cm^2 باشد، اندازه نیروی محرکه القایی متوسط در بجه را حساب کنید.

۳ قانون لنز

۱۱ قطب N یک آهنربا را مطابق شکل زیر به یک حلقه رسانا نزدیک می کنیم. جهت جریان القایی را در حلقه مشخص کنید.



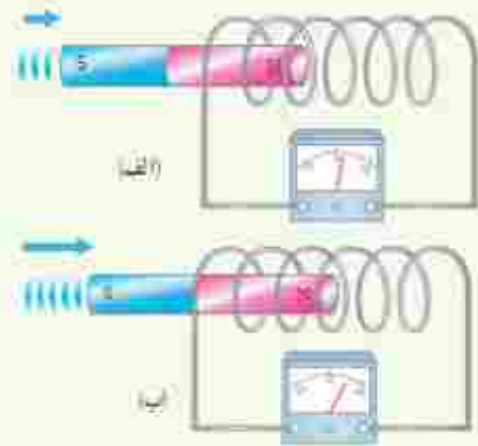
۱۲ دو آهنربای میله ای مشابه را مطابق شکل، به طور قائم از ارتفاع معینی نزدیک سطح زمین رها می کنیم به طوری که یکی از آنها از حلقه رسانایی عبور می کند. اگر سطح زمین در محل برخورد آهنربا نرم باشد، مقدار فرورفتگی آهنربا را در زمین با یکدیگر مقایسه کنید. (تأثیر میدان مغناطیسی زمین روی آهنرباها را نادیده بگیرید.)



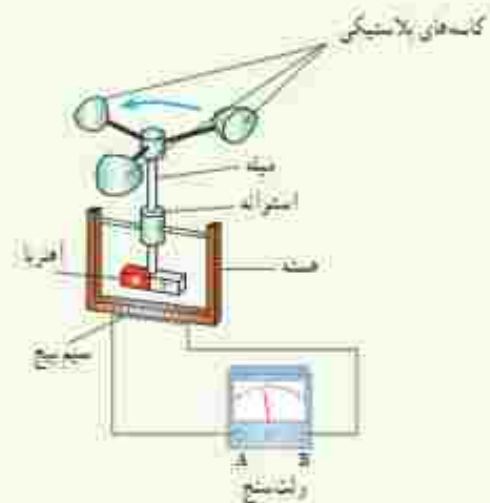
۱۳ جهت جریان القایی را در هر یک از حلقه های رسانای نشان داده شده در شکل های زیر تعیین کنید.



۱۴ دو سیملوله مشابه را مطابق شکل های زیر به ولتسنج حساسی وصل کرده ایم. دریافت خود را از شکل های زیر بنویسید. (آهنرباها مشابه اند ولی با تندی متفاوتی به طرف سیملوله حرکت می کنند.)

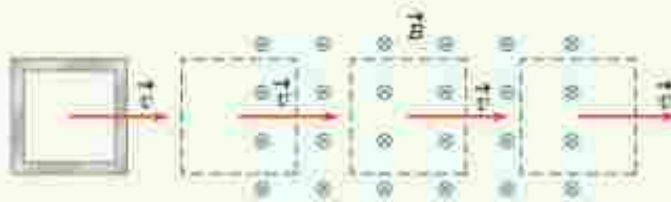


۱۵ شکل زیر ساختمان یک بادسنج را نشان می دهد. اگر این بادسنج را روی بام خانه نصب کنیم، به هنگام وزیدن باد میله آن می چرخد و ولتسنج عددی را نشان می دهد. (الف) چرا چرخش میله سبب انحراف عقربه ولتسنج می شود؟ (ب) آیا با افزایش تندی باده عددی که ولتسنج نشان می دهد تغییر می کند؟ چرا؟ (ج) برای بهبود و افزایش دقت کار دستگاه در پیشنهاد ارائه دهید.

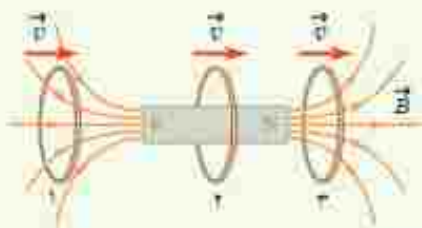


۱۶ سطح حلقه های سیمانی که دارای 1000 حلقه است، عمود بر میدان مغناطیسی یکجواختی که اندازه آن 0.4 T و جهت آن از راست به چپ است، قرار دارد. میدان مغناطیسی در مدت 0.1 s

الف) در کدام مرحله شار عبوری از حلقه بیشتر است؟ مقدار شار گذرنده از حلقه در این حالت چقدر است؟
 ب) در کدام وضعیت (ها) شار گذرنده از حلقه تغییر می‌کند؟ جهت جریان القایی را در حلقه تعیین کنید.

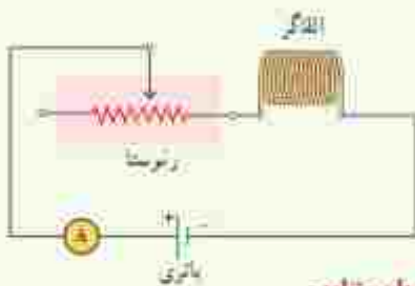


۱۱. حلقه رسانایی به طرف یک آهنربای میله‌ای حرکت می‌کند. شکل زیر حلقه را در سه وضعیت نسبت به آهنربا نشان می‌دهد. جهت جریان القایی را در حلقه برای هر وضعیت به طور جداگانه تعیین کنید.



۳-۱۰ الفاکر

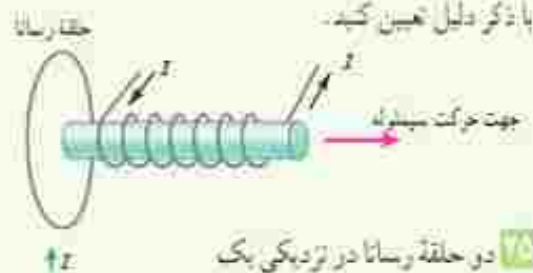
۱. شکل زیر مدار را نشان می‌دهد؛ شامل یک القاگر (سیم‌بسته)، باتری، رنوسا و آمپر سنج که به‌طور متوالی به یکدیگر بسته شده‌اند. اگر بخواهیم بدون تغییر ولتاژ باتری، انرژی ذخیره شده در القاگر را زیاد کنیم چه راهی پیشنهاد می‌کنید؟



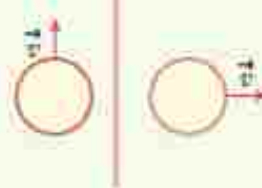
۳-۱۱ جریان متناوب

۱. جریان متناوبی که نسبت به آن $2\sqrt{2}$ A و دورش 20π است، از یک رسانای ۵ اهمی می‌گذرد. الف) اولین لحظه‌ای که در آن جریان بیشتر است چه لحظه‌ای است؟ در این لحظه نیروی محرکه القایی چقدر است؟ ب) در لحظه $t = \frac{1}{40}$ s، جریان چقدر است؟

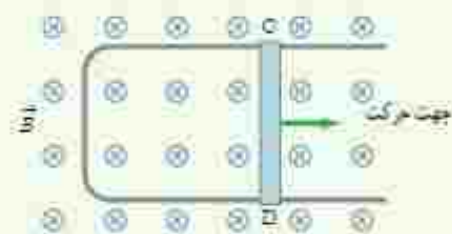
۱۲. شکل زیر سیم‌بسته حامل جریانی را نشان می‌دهد که در حال دور شدن از یک حلقه رساناست. جهت جریان القایی را در حلقه با ذکر دلیل تعیین کنید.



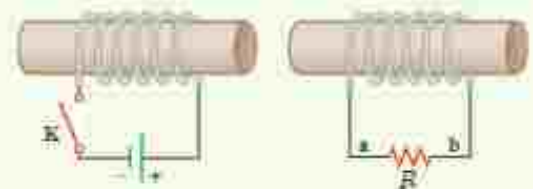
۱۳. دو حلقه رسانا در نزدیکی یک سیم دراز حامل جریان ثابت I قرار دارند؛ این دو حلقه با تندی یکسان، ولی در جهت‌های متفاوت مطابق شکل روبه‌رو حرکت می‌کنند. جهت جریان القایی را در هر حلقه با ذکر دلیل تعیین کنید.



۱۴. شکل زیر رسانای U شکلی را درون میدان مغناطیسی یکواخت \vec{B} که عمود بر صفحه شکل و رو به داخل صفحه است نشان می‌دهد. وقتی میله فلزی CD به طرف راست حرکت کند، جهت جریان القایی در مدار در چه جهتی است؟



۱۷. در مدار نشان داده شده در شکل زیر، جهت جریان القایی را در مقاومت R در هر یک از دو حالت زیر با ذکر دلیل پیدا کنید. الف) در لحظه پس‌نویس کلید K، ب) در لحظه باز کردن کلید K.



۱۸. حلقه رسانای مربعی شکل، به طول ضلع 10 cm وارد میدان مغناطیسی دایره‌سوی به اندازه 20 mT و سپس از آن خارج می‌شود.

پیوست

واژه‌نامه فارسی – انگلیسی

Magnetic permeability	تراواهی مغناطیسی	Millikan's oil- drop experiment	آزمایش قطره روغن میلکان
Thermistor	ترمیستور	Permanent magnet	آهنربای دائمی
Dielectric constant	ثابت دی الکتریک	Temporary magnet	آهنربای موقت
Induced current	جریان القایی	Bar magnet	آهنربای میله‌ای
Electric Current	جریان الکتریکی	Horseshoe magnet	آهنربای هلالی شکل
Alternating Current (AC)	جریان متناوب	Superconductivity	اُپرسائیلی
Direct Current (DC)	جریان مستقیم	Potential difference	اختلاف پتانسیل
Surface charge density	چگالی سطحی بار	Voltage drop	افت پتانسیل
Loop	حلقه	Inductive	الفاکری
Magnetic domain	حوزه مغناطیسی	Electromagnetic induction	القای الکترومغناطیسی
Capacitor	خازن	Electric induction	القای الکتریکی
Parallel – plate capacitor	خازن تخت	Magnetic induction	القای مغناطیسی
Discharging	خالی کردن (خازن)	Electric potential energy	انرژی پتانسیل الکتریکی
Electric field lines	خط‌های میدان الکتریکی	Magnetic energy	انرژی مغناطیسی
Magnetic field lines	خط‌های میدان مغناطیسی	Net charge	بار خالص
Self – inductance	خود – القاوری (خود القایی)	Polarized charge	بار قطبیده
Electric dipole	دوقطبی الکتریکی	Lightning rod	برق گیر
Magnetic dipole	دوقطبی مغناطیسی	Angular frequency	سامانه زاویه‌ای
Diamagnetism	دیامغناطیس	Leyden jar	ظرفی لیدن
Light Emitting Diode (LED)	دیود نورگسیل	Paramagnetism	پارامغناطیس
Electrostatic precipitator	رسوب‌دهنده الکترواستاتیکی	Conservation of charge	پایستگی بار
Rheostat	رئوستا	Potentiometer	پتانسیومتر
Inclination angle	زاویه شیب	Charging	پر کردن – سارز (خازن)
Drift velocity	سرعت سوق	Cosmic ray	رئو کیهانی
Triboelectric series	سری الکتریسیته مالشی (رئو الکتریک)	Coil	پیچ
Solenoid	سولنوئید	Corona discharge	نخلیه هاله‌ای

Series circuits	مدارهای متوالی	Magnetic flux	شار مغناطیسی
Parallel circuits	مدارهای موازی	Inductance	ضریب القابوری (ضریب خود القایی)
Resistor	مقاومت	Coefficient of resistivity	ضریب دمایی مقاومت ویژه
Electric resistance	مقاومت الکتریکی	Permittivity	ضریب گذردهی
Wire-wound resistor	مقاومت پیچ‌ای	Capacitance	ظرفیت
Composition resistor	مقاومت ترکیبی	Insulator	عایق
Internal resistance	مقاومت درونی	Ferromagnetism	فرومغناطیس
Variable resistor	مقاومت متغیر	Electric breakdown	فروپاشی الکتریکی
Equivalent resistance	مقاومت معادل	Junction rule	قاعده انشعاب
Light Dependent Resistor (LDR)	مقاومت نوری		قانون القای الکترومغناطیسی فارادی
Resistivity	مقاومت ویژه	Faraday's law of electromagnetic induction	
Electric motor	موتور الکتریکی	Coulomb's law	قانون کولمب
Van de Graaff generator	مولد وان دو گراف	Lenz's law	قانون لنز
Electric field	میدان الکتریکی	Kirchhoff's laws	قانون‌های کیرشهف
Magnetic field	میدان مغناطیسی	Right hand rule	قاعده دست راست
Magnetic declination	میل مغناطیسی	Magnetic induction South pole	قطب جنوب
Lichtenberg patterns	نقش‌های لیچنبرگ	North pole	قطب شمال
Electric force	نیروی الکتریکی	Polarization	قطبش
Electro Motive Force (E.M.F.)	نیروی محرکه الکتریکی	Faraday cage	قفس فارادی
Iron core	هسته آهنی	Quark	کوارک
Antephotosis	پوشش نوری	Quantized	کوانتیده
		Magnetic axis	محور مغناطیسی

منابع انگلیسی

1. McGraw – Hill Dictionary of Scientific and Technical Terms, Sybil p. Parker, 4th edition, 1989, McGraw – Hill.
2. Applied Physics, Dale Ewen, 10th Edition, 2012, Prentice Hall.
3. Physics, James S. Walker, 4th Edition, 2010, Pearson.
4. IGCSE Physics, Tom Duncan, 3th Edition, 2014, Hodder Education.
5. University Physics, Bauer and Westfall, 1st edition, 2011, McGraw – Hill.
6. Physics, Douglas C. Giancoli, 7th Edition, 2014, Prentice – Hall International.
7. Physics, Allen Giambattista , Betty Richardson and Robert Richardson, 2nd Edition, 2008, McGraw– Hill.
8. The Physics of Everyday Phenomena, 6th Edition, W. Thomas Griffith and Juliet W. Brosing , 2009, McGraw Hill.
9. Physics for Scientists and Engineers, Randall D. Knight, 3rd Edition, 2013, Pearson.
10. Cambridge International AS and A Level Physics, Mike Crundell, 2nd Edition, 2014, Hodder Education.
11. University Physics, Richard Wolfson, 2nd Edition, 2012, Pearson.
12. Holt Physics, Serway and Faughn, 1999, Holt Rinehart and Winston.
13. College Physics, Sears & Zemansky and Hugh D. Young, 9th edition 2012, Addison–Wesley.
14. Introduction to Physics, John D. Cutnell and Kenneth W. Johnson, 10th Edition, 2016, John Wiley & Sons, Inc.
15. Contemporary College Physics, Edwin Jones and Richard Childers, 2001 , McGraw–Hill.
16. Glencoe Physics, Paul W. Zitzewitz, 2000, McGraw – Hill.
17. Physics for Scientists and Engineers, Paul Tipler and Gene Mosca, 6th Edition 2008, W.H. Freeman.
18. Physical Science, Shipman & Wilson & Todd 13th Edition, 2013, Brooks/Cole.
19. How Things Work, Louis A. Bloomfield, 6th Edition, 2016, John Wiley & Sons, Inc.

منابع فارسی

- ۱- فیزیک دانشگاهی (جلد دوم)، ویراست سیزدهم، سرژ، ژیمالسکی، بانگ و فریدمن، ترجمه اعظم بورقازی، روح اله خلیلی بروجنی، محمدنقی فلاحتی مردوسی، چاپ اول ۱۳۹۱، مؤسسه نشر علوم نوین.
- ۲- مبانی فیزیک (جلد دوم) الکتریسته و مغناطیس، ویراست دهم، دیوید هالیدی، رابرت رزنیچک و برن واکر، ترجمه محمدرضا خوش بین خوش نظر، چاپ اول ۱۳۹۳، انتشارات نیاز دانش.
- ۳- مجموعه سه جلدی دانشنامه فیزیک، جان ریگدن و دیگران، ویراسته محمد ابراهیم ابوکاظمی، ۱۳۸۷-۱۳۸۱، مرکز تحصیلات تکمیلی زنجان و بنیاد دانشنامه بزرگ فارسی.
- ۴- فیزیک مفهومی، ویراست دهم، بل جی هیوئیث، ترجمه منیره زهرا، چاپ اول، ۱۳۸۸، انتشارات فاطمی.
- ۵- تدابیر هبجان انگیز فیزیک، ویراست دوم، برن واکر، ترجمه محمدرضا خوش بین خوش نظر و رسول جعفری نژاد، چاپ اول ۱۳۹۱، انتشارات آراکس.
- ۶- اصول فیزیک (جلد دوم)، هانس اوهارتین، ترجمه بهرام معلی و جهاننشاء میرزاینگی، چاپ اول، ۱۳۸۳، مرکز نشر دانشگاهی.
- ۷- فیزیک (جلد دوم)، مارچلو آلونسو و ادوارد جی. فین، ترجمه لطیف کانیگر، چاپ اول، ۱۳۶۷، سروروز.
- ۸- باثری اشکانی، ناصر کتغانی، ترجمه محمد شاهمیری، ۱۳۹۶، تهران، کتاب سبز.



سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی جهت افزایش نقش خطیر خود در اجرای سند تحول بنیادین در آموزش و پرورش و برنامه درسی ملی جمهوری اسلامی ایران، مشارکت معلمان را به‌عنوان یک سیاست اجرایی مهم دنبال می‌کند. برای تحقق این امر در اقدامی نوآورانه سامانه تعاملی بر خط اعتبارسنجی کتاب‌های درسی راه‌اندازی شد. تا با درایت نظرات معلمان درباره کتاب‌های درسی نویسنده کتاب‌های درسی را در اولین سال چاپ، یا کمترین اشکال به دانش‌آموزان و معلمان ارجعند. تقدیم نماید. در انجام مطلوب این فرایند، همکاران گروه تحلیل محتوای آموزشی و پرورشی استان‌ها، گروه‌های آموزشی و دبیرخانه راهبردی دروس و مدیریت محترم پروژه آفای محسن باحو نقش سازنده‌ای را بر عهده داشتند. ضمن ارج نهادن به تلاش تمامی این همکاران، اساسی دبیران و هنرآموزانی که تلاش مضاعفی را در این زمینه داشته و با ارائه نظرات خود سازمان را در بهبود محتوای این کتاب یاری کرده‌اند به شرح زیر اعلام می‌شود.

کتاب فیزیک ۲ - کد ۱۱۱۲۴۴

ردیف	نام و نام خانوادگی	استان محل خدمت	ردیف	نام و نام خانوادگی	استان محل خدمت
۱	لیلا لطفی	مرکزی	۲۶	علی اکبر خلیلی	آذربایجان غربی
۲	امید علی خلیل مقدم	چهارمحال و بختیاری	۲۷	نجمه رضوان نژاد	کرمان
۳	هاوید فرهی	سمنان	۲۸	فرشته شاهرودی	چهارمحال و بختیاری
۴	سپمن فتحی	شهرستان های تفران	۲۹	عیاش نجرعی	یزد
۵	معمومه شیابری	سمنان	۳۰	مدیحه نامور	خراسان شمالی
۶	سیده فاطمه کمانی کارسالاری	مازندران	۳۱	اندانه رحیمی	آذربایجان شرقی
۷	فتح اله دوزانی	زنجان	۳۲	فاطمه نصرت	اصفهان
۸	سجید غنایی	خراسان رضوی	۳۳	ناصر قاضی	مرکزی
۹	فاطمه اوصالیو	زنجان	۳۴	فاطمه سادات گریبی نیوکلاکی	هم
۱۰	مصطفی حسروی	فارس	۳۵	زهرا عزتی	آذربایجان غربی
۱۱	علیچه بذئی	هرمزگان	۳۶	محمد تقی فاضل	ایلام
۱۲	احمد کمانی فر	فارس	۳۷	عمید حقیقی نژاد	گنجان
۱۳	سید جواد شاکری	خراسان شمالی	۳۸	مرحبه قدرتی	همدان
۱۴	مریم تنگ ساز رحیمی	کرمان	۳۹	حمید رضا نوری	خراسان جنوبی
۱۵	صدیقه بیروسی	خراسان جنوبی	۴۰	سیده زهرا دودمانی	گیلان
۱۶	بهاره فخرانی	کردستان	۴۱	اسماعیل مطیع	هم
۱۷	لیلا روحی	شهرستان های تفران	۴۲	محمد سعید یاری	خراسان رضوی
۱۸	عباس‌واحد جالئی	کردستان	۴۳	طیبه شفیعی	بوشهر
۱۹	مهسا جلیلی	شهر تهران	۴۴	غیاثی سلیمانی	خوزستان
۲۰	محمد رضا شفیعی	کرمان	۴۵	علی حسن یحسین پینی	کهگیلویه و بویراحمد
۲۱	مهسا حبیب الهی	شهر تهران	۴۶	مجید راسخ	گیلان
۲۲	محمد تقی مرادی	همدان	۴۷	زینب زبانی	کهگیلویه و بویراحمد
۲۳	سیده علظهری قر	ایلام	۴۸	محمد رضا عباسی	کرمانشاه
۲۴	آیهام حدادی	خوزستان	۴۹	شیرین تقه	کرمانشاه
۲۵	حشمت‌آر و آرزوی	بوشهر			

مطمان محترم، صاحب نظران، دانش آموزان عزیز و اولیای آبان می‌توانند نظرات اصلاحی خود را در بازه مطالب

این کتاب از طریق نامه به نشانی تهران - صندوق پستی ۱۵۸۷۵/۴۸۲۲ کد پستی مربوطه و یا پیام‌نگار (Email)

talif@talif.sch.ir ارسال نمایند.

مقرتایش کتاب‌های ادبی عمومی، متوسطه عمومی