بروزترین و برترین
سایت کنکوری کشور
WWW.KONKUR.INFO
Konkur.info
https://konkur.info

بسم الله الرحمن الرحیم

اَللّٰهُمَّ صَلِّ عَلٰی مُحَمَّدٍ وَ آلِ مُحَمَّدٍ وَ عَجِّلْ فَرَجَهُمْ

فیزیک (۲)

رشتهٔ علوم تجربی

پایهٔ یازدهم

دورهٔ دوم متوسطه

https://konkur.info

وزارت آموزش و پرورش
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

نام کتاب: فیزیک (۲)ـ پایهٔ یازدهم دورهٔ دوم متوسطه ـ ۱۱۱۲۴۴

پدیدآورنده: سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

مدیریت برنامه‌ریزی درسی وتألیف: دفتر تألیف کتاب‌های درسی عمومی و متوسطه نظری

شناسه افزوده برنامه‌ریزی و تألیف: احمد احمدی، روح‌الله خلیلی‌بروجنی، محمدرضا خوش‌بین‌خوش‌نظر، محمدرضا شریف‌زاده اکباتانی، سید هدایت سجادی، سیروان مردوخی و علیرضا نیکنام (اعضای شورای برنامه‌ریزی و گروه تألیف) ـ محمدکاظم بهنیا (ویراستار ادبی)

مدیریت آماده‌سازی هنری: اداره کلّ نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی

شناسه افزوده آماده‌سازی: احمدرضا امینی (مدیر امور فنی و چاپ) ـ مجید ذاکری یونسی (مدیر هنری) ـ محمّد مهدی ذبیحی (طراح جلد) ـ راحله زادفتح‌اله (طراح گرافیک و صفحه‌آرا) ـ فاطمه رئیسیان فیروزآباد (رسام)ـ مرضیه اخلاقی، سیّده فاطمه محسنی، پریسا پژوهی‌پاد، آذر روستایی فیروزآباد، زینت بهشتی شیرازی، حمید ثابت کلاچاهی (امور آماده‌سازی)

نشانی سازمان: تهران: خیابان ایرانشهر شمالی ـ ساختمان شمارهٔ ۴ آموزش و پرورش (شهید موسوی)
تلفن: ۹ـ۸۸۸۳۱۱۶۱، دورنگار: ۸۸۳۰۹۲۶۶، کدپستی: ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹
وبگاه: www.chap.sch.ir و www.irtextbook.ir

ناشر: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران: تهران ـ کیلومتر ۱۷ جادهٔ مخصوص کرج ـ خیابان ۶۱ (داروپخش) تلفن: ۵ـ۴۴۹۸۵۱۶۱، دورنگار: ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی: ۱۳۹ـ۳۷۵۱۵

چاپخانه: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران «سهامی خاص»

سال انتشار و نوبت چاپ: چاپ پنجم ۱۴۰۰

شابک ۶ـ۲۸۳۹ـ۰۵ـ۹۶۴ـ۹۷۸
ISBN: 978_964_05_2839_6

https://konkur.info

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

امام خمینی «قُدِّسَ سِرُّهُ»

https://konkur.info

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

https://konkur.info

فهرست

۱ الکتریسیتهٔ ساکن ۱

۱ـ۱ بار الکتریکی ۲
۱ـ۲ پایستگی و کوانتیده بودن بار الکتریکی ۳
۱ـ۳ قانون کولن ۵
۱ـ۴ میدان الکتریکی ۱۰
۱ـ۵ میدان الکتریکی حاصل از یک ذرهٔ باردار ۱۱
۱ـ۶ خطوط میدان الکتریکی ۱۶
۱ـ۷ انرژی پتانسیل الکتریکی ۲۰
۱ـ۸ پتانسیل الکتریکی ۲۲
۱ـ۹ توزیع بار الکتریکی در اجسام رسانا ۲۵
۱ـ۱۰ خازن ۲۸
۱ـ۱۱ انرژی خازن ۳۳
پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۱ ..... ۳۵

۲ جریان الکتریکی و مدارهای جریان مستقیم ۳۹

۲ـ۱ جریان الکتریکی ۴۰
۲ـ۲ مقاومت الکتریکی و قانون اهم ۴۳
۲ـ۳ عوامل مؤثر بر مقاومت الکتریکی ۴۵
۲ـ۴ نیروی محرکهٔ الکتریکی و مدارها ۵۰
۲ـ۵ توان در مدارهای الکتریکی ۵۳
۲ـ۶ ترکیب مقاومت‌ها ۵۵
پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۲ ..... ۶۲

https://konkur.info

۳ مغناطیس و القای الکترومغناطیسی ۶۵

۳ـ۱ مغناطیس و قطب‌های مغناطیسی ۶۶
۳ـ۲ میدان مغناطیسی ۶۷
۳ـ۳ نیروی مغناطیسی وارد بر ذرّهٔ باردار متحرک در میدان مغناطیسی ۷۱
۳ـ۴ نیروی مغناطیسی وارد بر سیم حامل جریان ۷۳
۳ـ۵ میدان مغناطیسی ایجاد شده به وسیلهٔ جریان الکتریکی ۷۶
۳ـ۶ ویژگی‌های مغناطیسی مواد ۸۳
۳ـ۷ پدیدهٔ القای الکترومغناطیسی ۸۵
۳ـ۸ قانون القای الکترومغناطیسی فاراده ۸۷
۳ـ۹ قانون لنز ۹۱
۳ـ۱۰ القاگرها ۹۳
۳ـ۱۱ جریان متناوب ۹۷
پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۳ ۱۰۱

پیوست ۱۰۵

واژه‌نامه ۱۰۶
منابع ۱۰۸

https://konkur.info

خرد هر کجا گنجی آرد پدید به نام خدا سازد آن را کلید

الف) سخنی با دانش‌آموزان عزیز

کتاب فیزیک ۲ برای پایه یازدهم دورهٔ نظری تألیف و چاپ شده است. این کتاب در ادامهٔ تغییر برنامهٔ درسی آموزش علوم تجربی در دورهٔ اوّل متوسطه و فیزیک دهم است. برای ارتباط مؤثرتر با برنامهٔ درسی این کتاب و تحقق اهداف آن، توجه به مواردی که در ادامه می‌آید توصیه می‌شود.

مسیر آموزش و یادگیری : دانش‌آموزان عزیز! مسیر آموزش و یادگیری، وقتی شوق‌انگیز و لذت‌بخش است که با تلاش و جدّیت شما برای پیمودن آن همراه شود. پیش از همه، باید به توانایی‌های خود باور و اعتماد داشته باشید. مفاهیمی که در هر سال تحصیلی می‌خوانید، با سطح درک و فهم شما متناسب است و برای بهبود و ارتقای زندگی فردی، اجتماعی و حرفه‌ای شما مفیدند. در فرایند آموزش، به طور فعال و باانگیزه مشارکت کنید. اگر امروز نتوانید دانش، مهارت و نگرش خود را بهبود ببخشید، ممکن است فردا دیر باشد! برای تعامل مؤثر و سازنده با دنیای پرشتاب و درحال تغییر امروز، راهی جز «کسب خرد» ندارید و این خرد به تدریج و به تبع باور، تلاش و مشارکت شما در فرایند آموزش به دست می‌آید.

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

یادگیری را بیاموزیم : هر یک از شما شیوه‌های یادگیری متفاوت و ابزار یادگیری ویژهٔ خود را دارید و بهتر است بر همین اساس روشی مناسب برای یادگیری خود بیابید و متناسب با آن برنامه‌ریزی کنید. شاید مهم‌ترین کاری که می‌توانید انجام دهید، آن باشد که برای خود زمان‌های مطالعه با برنامهٔ زمان‌بندی منظم و کافی در محیطی خالی از عامل‌های برهم‌زنندهٔ تمرکز، در نظر بگیرید. روشن است که باید وقت بیشتری را صرف جنبه‌هایی کنید که یادگیری آن برای شما دشوارتر است. اگر با شنیدن و انجام آزمایش مطالب درسی را می‌آموزید، حضور فعال در کلاس‌های درس بسیار مهم است. اگر با توضیح دادن آنها را می‌آموزید، آنگاه علاوه بر حضور فعال در کلاس‌های 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 مسئله‌ها کنید. با توجه به آنچه گفته شد، اکنون به پرسش‌های زیر پاسخ دهید :

آیا من توانایی به کاربردن مفهوم های ریاضی را در فیزیک دارم؟ اگر پاسخ شما منفی است، به کتاب‌های ریاضیات پایهٔ هفتم تا دهم خود مراجعه کنید و افزون بر اینها از معلم خود نیز راهنمایی‌های لازم را بخواهید. آسان‌ترین فعالیت‌ها در فیزیک برای من کدام‌ها بوده‌اند؟ نخست این فعالیت‌ها را انجام دهید؛ این کار به ایجاد اعتمادبه‌نفس در شما کمک می‌کند. آیا اگر کتاب را پیش از کلاس خوانده باشم، مطلب را بهتر می‌فهمم یا پس از آن؟ آیا زمانی که صرف یادگیری فیزیک می‌کنم کافی است؟ برای من بهترین ساعت روز برای مطالعهٔ فیزیک کدام است؟ زمان خاصی از روز را برگزینید و آن را تغییر ندهید. آیا در جای آرامی که بتوانم تمرکز خود را حفظ کنم، کار می‌کنم؟

کار گروهی : دانشمندان و مهندسان به ندرت در انزوا کار می‌کنند؛ بلکه بیشتر با یکدیگر همکاری دارند. در آموزش مدرسه‌ای نیز اگر با دیگر دوستانتان کار کنید، هم فیزیک بیشتر می‌آموزید و هم از این یادگیری بیشتر لذت خواهید برد. امروزه بسیاری از معلمان به این همکاری گروهی و مشارکت در یادگیری در کلاس‌های درس توجه ویژه‌ای دارند.

یادداشت برداری در کلاس درس : یک مؤلفه بسیار مهم در فرایند یادگیری هر درس، حضور فعال در کلاس آن درس و یادداشت‌برداری است. در کلاس فیزیک و در فرایند آموزش فعالیت‌هایی انجام می‌شود که شما را یاری می‌کند تا درک خوبی از مفاهیم فیزیکی و کاربردهای آنها پیدا کنید. اگر نتوانستید در یکی از جلسه‌های کلاسی شرکت کنید، از یکی از اعضای گروه یا هم کلاسی‌های خود بخواهید که شما را در جریان آنچه گذشته است، قرار دهد.

چه موقع فیزیک را فهمیده‌ایم؟ برخی از دانش‌آموزان هنگام خواندن درس فیزیک، خود را در این اندیشه می‌یابند که «من مفهوم‌ها را می‌دانم، اما نمی‌توانم مسئله‌ها را حل کنم.» حال آنکه در فیزیک، درک واقعی یک مفهوم یا اصل، با توانایی در به کار بردن آن اصل در مسئله‌های مختلف مرتبط است. فراگیری چگونگی حل مسئله‌ها اهمیت اساسی دارد؛ شما فیزیک را خوب فرا نگرفته‌اید؛ مگر آنکه بتوانید آنچه را فرا گرفته‌اید، در موقعیت‌های مناسب به کار برید.

مسئله‌های فیزیک را چگونه حل کنیم؟ برای حل انواع مختلف مسئله‌های فیزیک به روش‌های متفاوتی نیاز داریم. صرف نظر از نوع مسئله‌ای که در دست دارید، گام‌های کلیدی مؤثری وجود دارند که باید آنها را مراعات کنید.

https://konkur.info

• **گام اوّل؛ شناسایی مفهوم‌های مرتبط :** نخست تشخیص دهید چه مفهوم‌های فیزیکی‌ای به مسئله مربوط‌اند، اگرچه در این مرحله هیچ محاسبه‌ای وجود ندارد؛ امّا گاهی بحث‌انگیزترین بخش راه‌حلّ مسئله همین مرحله است. در این مرحله باید متغیر هدف مسئله ــ یعنی کمیتی را که سعی در یافتن مقدار آن دارید ــ شناسایی کنید. این کمیت می‌تواند نیروی الکتریکی وارد بر یک ذرهٔ باردار، توان یک مولد یا انرژی ذخیره‌شده در یک سیملوله باشد.

• **گام دوم؛ آمادگی برای حل مسئله :** براساس مفهوم‌هایی که در گام اوّل برگزیده‌اید، معادله‌هایی را که برای حلّ مسئله نیاز دارید، بنویسید و در مورد چگونگی به کار بردن آنها تصمیم بگیرید. اگر لازم می‌دانید طرح و مدلی از وضعیتی رسم کنیدکه توسط مسئله توصیف شده است.

• **گام سوم؛ اجرای راه حل :** در این مرحله، محاسبات ریاضی مسئله را انجام دهید. پیش از آنکه دست به کار محاسبه‌ها شوید، فهرستی از همهٔ متغیرهای معلوم و مجهول تهیه کنید. سپس معادله‌ها را حل کنید و مجهول‌ها را به دست آورید.

• **گام چهارم؛ ارزیابی پاسخ :** هدف شما از حلّ مسئلهٔ 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 دریابید که به شما چه می‌گوید. فراموش نکنید که از خود بپرسید «آیا این پاسخ با معناست؟» اگر مجهول شما اندازهٔ میدان مغناطیسی یک سیملولهٔ حامل جریان است، پاسخ شما نباید عدد بسیار بزرگی مانند ۵۰ تسلا باشد؛ در این صورت، حتماً چیزی در فرایند حلّ مسئله شما نادرست بوده است. بازگردید و روش کار خود را وارسی و راه‌حل را اصلاح کنید.

ب) سخنی با دبیران ارجمند

اهداف برنامهٔ آموزش فیزیک در دورهٔ متوسطه دوم، مطابق با برنامهٔ درسی ملّی در چهار عرصهٔ ارتباط با خود، خلق و خلقت مبتنی بر ارتباط با خدا تعریف شده و در جهت تقویت پنج عنصر تفکر و تعقل، ایمان، علم، عمل و اخلاق پیش خواهد رفت. بر این اساس مهم‌ترین شایستگی‌های مدّنظر حوزهٔ علوم‌تجربی که در درس فیزیک باید در دانش آموز تحقق یابد، عبارت‌اند از :

• نظام‌مندی 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 حلّ مسائل حال و آینده در ابعاد فردی و اجتماعی در قالب اندیشه یا ابزار ارائه دهد / به‌کار گیرد.

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

• با درک ماهیت، روش و فرایند علم تجربی، امکان به‌کارگیری این علم را در حلّ مسائل واقعی زندگی (حال و آینده)، تحلیل و محدودیت‌ها و توانمندی‌های علوم‌تجربی را در حلّ این مسائل گزارش کند.

• با استفاده از منابع علمی معتبر و بهره‌گیری از علم تجربی، بتواند اندیشه‌هایی مبتنی 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 نهفته در بیشتر مفاهیم فیزیک و کاربرد آنها در زندگی برای اغلب دانش‌آموزان امکان‌پذیر است. آنچه در این راه در میزان موفقیت دانش آموزان مؤثر است، شیوه‌های آموزش ما در کلاس درس است. این شیوه‌ها می‌توانند درهای درک و فهم مفاهیم فیزیک را برای همهٔ دانش‌آموزان، بدون توجه به توانایی علمی آنان، باز کند. بنابراین، می‌توان گفت شیوهٔ آموزش کارآمد کلید موفقیت هر برنامهٔ درسی است. انتظار می‌رود همکاران ارجمند با تکیه بر تجربهٔ خود و به‌کارگیری شیوه‌های آموزشی مؤثر، بستر مناسبی برای یادگیری و مشارکت دانش‌آموزان در فرایند آموزش و همچنین شوق انگیزتر شدن فضای کلاس فراهم کنند.

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

قدردانی

گروه فیزیک لازم می‌داند از دبیرخانهٔ راهبردی فیزیک، اتحادیهٔ 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.

http: //physics-dept . talif . sch . ir

گروه فیزیک دفتر تألیف کتاب‌های درسی عمومی و متوسطهٔ نظری

https://konkur.info

۱

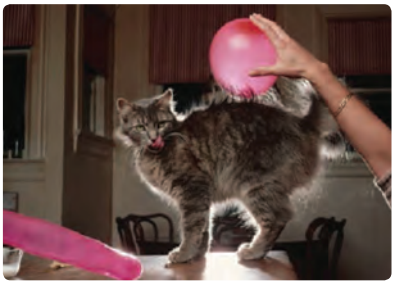
الکتریسیتهٔ ساکن

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

https://konkur.info

شکل ۱ـ۱ توصیف آذرخش مبتنی بر اصول الکتریسیتهٔ ساکن است.

شکل ۱ـ ۲ انتقال پیام‌های عصبی در دستگاه اعصاب به‌صورت الکتریکی صورت می‌گیرد.



شکل ۱ـ۳ مالش بادکنک به بدن گربه سبب ایجاد بار الکتریکی در آنها و در نتیجه برافراشته شدن موهای گربه می‌شود.

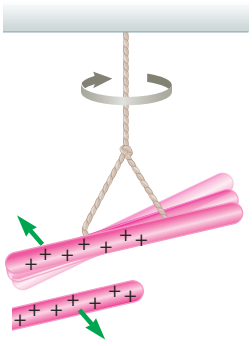
از آذرخش گرفته (شکل ۱ـ۱) تا درخشش لامپی کوچک، از آنچه اتم‌ها را به شکل مولکول به هم پیوند می‌دهد، تا پیام‌های عصبی در دستگاه اعصاب (شکل ۱ـ ۲)، و همچنین بسیاری از پدیده‌های دیگر مانند قابلیت چسبیدن نوار سلوفان بر ظروف و حتی بالا رفتن یک مارمولک از دیوار و بسیاری از وسیله‌های اطراف ما، همگی منشأ الکتریکی دارند. مبانی فیزیکی مرتبط با این پدیده‌ها نخستین بار مورد توجه فیلسوفان یونان قدیم قرار گرفت که دریافتند اگر قطعه‌ای از کهربا با پارچهٔ پشمی مالش داده شود و سپس به خرده‌های کاه نزدیک گردد، آن خرده‌ها به سوی کهربا کشیده می‌شوند. امروز می‌دانیم این کشش ناشی از یک نیروی الکتریکی است. در واقع واژهٔ الکتریسیته از واژهٔ یونانی الکترون[1] گرفته شده است که به معنای کهرباست.

وقتی لباس‌های بافتنی را از تن خارج می‌کنیم، یا پس از اینکه چند قدم بر روی فرشی راه می‌رویم، دستگیرهٔ فلزی در را با دست بگیریم، عملاً وجود الکتریسیته را به صورت یک شوک الکتریکی حس می‌کنیم.

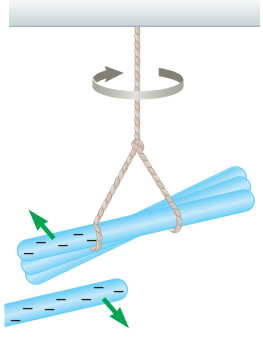
در این فصل، به مطالعهٔ بارهای ساکن می‌پردازیم که به آن الکتریسیتهٔ ساکن (الکتروستاتیک) می‌گویند و ضمن یادآوری مطالب الکتریسیتهٔ دورهٔ اوّل متوسطه، به جزئیات دقیق‌تری از چگونگی ایجاد بار الکتریکی در یک جسم، عوامل مؤثر بر نیروی الکتریکی بین دو بار الکتریکی ذرّه‌ای، میدان الکتریکی، انرژی پتانسیل الکتریکی و اختلاف پتانسیل الکتریکی، توزیع بار در یک جسم رسانا و کاربرد خازن‌ها می‌پردازیم.

۱ـ۱ بار الکتریکی

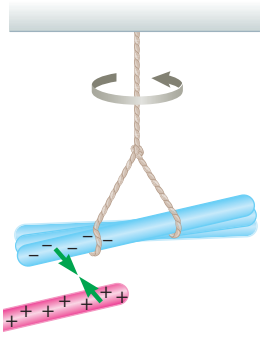
در کتاب علوم تجربی پایهٔ هشتم دیدید که معمولاً وقتی دو جسم با یکدیگر مالش داده می‌شوند، هر دوی آنها دارای بار الکتریکی می‌شوند (شکل ۱ـ۳) و بر یکدیگر نیرو وارد می‌کنند (شکل ۱ـ۴). از این تجربه‌ها نتیجه گرفتیم که دو نوع بار الکتریکی وجود دارد. این دو نوع بار الکتریکی توسط دانشمند آمریکایی *بنیامین فرانکلین*، 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 باشد، جمع جبری بارهای جسم صفر می‌شود که به معنای خنثی بودن آن جسم است.



الف) وقتی دو میلهٔ شیشه‌ای را با پارچهٔ ابریشمی مالش دهیم، همدیگر را دفع می‌کنند.



ب) وقتی دو میلهٔ پلاستیکی را با پارچهٔ پشمی مالش دهیم، همدیگر را دفع می‌کنند.



پ) وقتی میلهٔ پلاستیکی مالش داده شده با پارچهٔ پشمی را به میلهٔ شیشه‌ای مالش داده شده با پارچهٔ ابریشمی نزدیک کنیم، همدیگر را جذب می‌کنند.

شکل ۱ـ۴

۱ـ واژه یونانی الکترون به‌صورت elektron نوشته می‌شود.

https://konkur.info

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

الف) تصویری از یک الکتروسکوپ درجه‌بندی‌شدهٔ بدون بار

ب) جسمی باردار را به کلاهک الکتروسکوپ بدون بار نزدیک کرده یا تماس داده‌ایم.

شکل ۱ــ۵

یکای بار الکتریکی در SI، کولُن (C) است. توجه کنید یک کولُن مقدار بار بزرگی است؛ مثلاً در یک آذرخش نوعی، باری از مرتبهٔ ۱۰C به زمین منتقل می‌شود و از این رو، در این فصل غالباً با بارهایی از مرتبهٔ میکروکولن (μC) و نانو کولن (nC) سروکار داریم؛ به عنوان مثال، در مالش شانهٔ پلاستیکی با موهای سر، بارهای منتقل شده از مرتبهٔ نانوکولن (nC) است.

پرسش ۱ــ۱

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؟

۱ــ۲ پایستگی و کوانتیده بودن بار الکتریکی

در یک اتم خنثی، تعداد الکترون‌ها برابر با تعداد پروتون‌های هسته است. بنابراین، جمع جبری همهٔ بارها (بار خالص) دقیقاً برابر با صفر است. در تجربه‌هایی مانند مالش اجسام به یکدیگر، الکترون‌ها تولید نمی‌شوند و یا از بین نمی‌روند، بلکه صرفاً از جسمی به جسم دیگر منتقل می‌شوند.

اندازهٔ بار منفی الکترون دقیقاً برابر با اندازهٔ بار مثبت پروتون است. این مقدار را بار بنیادی (با نماد e) می‌گویند که برابر است با[1]

$$e = ۱/۶۰۲۱۷۶۵۳ \times ۱۰^{-۱۹}\text{C} \approx ۱/۶۰ \times ۱۰^{-۱۹}\text{ C}$$

بنیامین فرانکلین (۱۷۹۰ ــ ۱۷۰۶م)

بنیامین فرانکلین دانشمند، نویسنده و سیاستمدار آمریکایی، در شهر بوستون به دنیا آمد و در شهر فیلادلفیا دیده از جهان فروبست. فرانکلین در حدود سال ۱۷۴۴ میلادی با مبحث الکتریسیته آشنا شد و عمدهٔ کشفیات مهم و بزرگ خویش را در بین سال‌های ۱۷۳۷ و ۱۷۵۱ به انجام رسانید و به شهرت علمی بی‌سابقه‌ای رسید. جالب است که او برخلاف سایر دانشمندان بزرگ، پس از چهل‌سالگی کارهای علمی اساسی خود را آغاز کرد. مهم‌ترین اثر فرانکلین، کتاب «در باب الکتریسیته» است که بسیاری آن را با کتاب «اصول ریاضیات» اسحاق نیوتون مقایسه کرده‌اند. فرانکلین در این کتاب شالوده و بنیاد اصول علم الکتریسیته را بر مبنای تجربیات و مشاهدات علمی خود تشریح کرده است. در واقع تجربیات متعدد و مهم فرانکلین آغازگر دوره‌ای جدید در مبحث الکتریسیته بوده است و بسیاری از واژگانی که ما امروزه در الکتریسیته به‌کار می‌گیریم نخستین بار توسط فرانکلین به‌کار برده شده است. توانایی و مهارت فرانکلین در انجام آزمایش و بیان واضح وی از مفاهیم فیزیکی و بالاخره کشفیات مهم او موجب ارج و قرب علوم تجربی در قرن هجدهم شد.

۱ــ اندازه‌گیری بار الکترون نخستین بار توسط رابرت میلیکان در سال ۱۹۱۳ میلادی انجام شد. این نتیجه اندازه‌گیری مربوط به سال ۲۰۰۵ میلادی است.

https://konkur.info

در هنگام مالش، با انتقال تعدادی الکترون از یک جسم به جسمی دیگر، تعادل بارها در اتم خنثی بر هم می‌خورد و جسمی که الکترون از دست می‌دهد، تعداد الکترون‌هایش کمتر از تعداد پروتون‌های آن می‌شود و بار الکتریکی خالص آن مثبت می‌گردد و همچنین، جسمی که الکترون اضافی دریافت می‌کند، الکترون‌هایش از پروتون‌های آن فزونی می‌یابد و بار الکتریکی خالص آن منفی می‌شود. به‌دست آوردن یا از دست دادن الکترون دو جسم در تماس با یکدیگر را می‌توان براساس جدولی موسوم به سری الکتریسیتهٔ مالشی (تریبوالکتریک؛ Tribo در زبان یونانی به معنای مالش است) معلوم کرد (جدول ۱ــ۱). در این جدول مواد پایین‌تر، الکترون‌خواهی بیشتری دارند؛ یعنی اگر دو ماده در این جدول در تماس با یکدیگر قرار گیرند، الکترون‌ها از مادهٔ بالاتر جدول به ماده‌ای که پایین‌تر قرار دارد منتقل می‌شوند؛ مثلاً اگر تفلون با نایلون مالش یابد، الکترون‌ها از نایلون به تفلون منتقل می‌شوند.

جدول ۱ــ۱ سری الکتریسیته مالشی (تریبوالکتریک)[1]

انتهای مثبت سری
موی انسان
شیشه
نایلون
پشم
موی گربه
سُرب
ابریشم
آلومینیم
پوست انسان
کاغذ
چوب
پارچهٔ کتان
کهربا
برنج، نقره
پلاستیک، پلی‌اتیلن
لاستیک
تفلون
انتهای منفی سری

در مورد بارهای الکتریکی دو اصل وجود دارد. نخستین آنها اصل پایستگی بار است که بیان می‌دارد : مجموع جبری همهٔ بارهای الکتریکی در یک دستگاه منزوی[2] ثابت است؛ یعنی بار می‌تواند از جسمی به جسم دیگر منتقل شود، ولی هرگز امکان تولید یا نابودی یک بار خالص وجود ندارد. تاکنون هیچ آزمایشی این اصل را نقض نکرده است.

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

$$q = \pm ne \quad , \quad n = ۰,۱,۲,\ldots \qquad (۱ــ۱)$$

یک مثال آشنا از کوانتیده بودن یک کمیت، تعداد دانش‌آموزان یک کلاس یا تعداد تخم‌مرغ‌های درون یک ظرف است. برای مثال، ما نمی‌توانیم ۲۴/۳ دانش‌آموز در یک کلاس و یا ۱۲/۴ تخم‌مرغ در یک ظرف داشته باشیم.

مثال ۱ــ۱

وقتی روی فرش راه می‌روید و بدنتان بار الکتریکی پیدا می‌کند، هنگام دست دادن با دوستتان، ممکن است با انتقال باری در حدود ۱nC به او شوک خفیفی وارد کنید. در این انتقال بار، حدود چند الکترون بین شما و دوستتان منتقل شده است؟

پاسخ : از رابطه ۱ــ۱ داریم :

$$q = ne$$

$$n = \frac{q}{e} = \frac{۱\times ۱۰^{-۹}\,\mathrm{C}}{۱/۶۰\times ۱۰^{-۱۹}\,\mathrm{C}} = ۶\times ۱۰^{۹} \text{ الکترون}$$

تمرین ۱ــ۱

عدد اتمی اورانیوم $Z = ۹۲$ است. بار الکتریکی هستهٔ اتم اورانیم چقدر است؟ مجموع بار الکتریکی الکترون‌های اتم اورانیم (خنثی) چه مقدار است؟ بار الکتریکی اتم اورانیم (خنثی) چقدر است؟

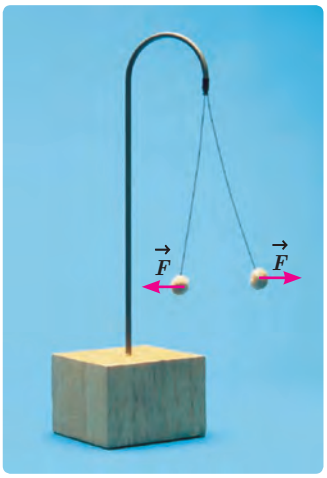
۱ــ نیازی به حفظ این جدول نیست.

۲ــ منظور از دستگاه منزوی در اینجا دستگاهی است که نه از محیط اطراف خود بار بگیرد و نه به آن بار بدهد.

https://konkur.info

۱ــ ۳ قانون کولُن

همان‌طور که می‌دانیم نیروی الکتریکی که دو جسم باردار برهم وارد می‌کنند می‌تواند جاذبه یا دافعه باشد. اگر بارهای الکتریکی دو جسم همنام باشند، این نیرو دافعه است (شکل ۱ــ۶). و اگر ناهمنام باشند، این نیرو جاذبه است.

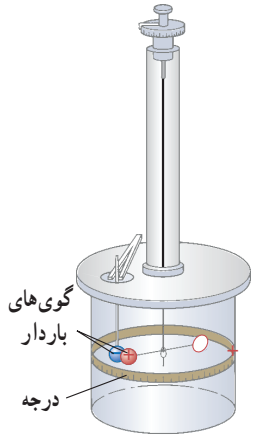


شکل ۱ــ ۶ گوی‌های باردار همنام یکدیگر را با نیرویی هم‌اندازه دفع کرده‌اند.

فعالیت ۱ــ۱ (کار در کلاس)

مطابق شکل، دو نیِ پلاستیکی را از نزدیکی یک انتهای آنها خم کنید و پس از مالش دادن با پارچه‌ای پشمی نزدیک یکدیگر قرار دهید. اگر نی‌ها به خوبی باردار شده باشند، نیروی دافعهٔ آنها را می‌توانید به وضوح بر روی انگشتان خود حس کنید.

نیروی الکتریکی بین دو جسم باردار، به چه عامل‌هایی بستگی دارد و اندازهٔ این نیروها را از چه رابطه‌ای می‌توان محاسبه کرد؟ *شارل آگوستین کولُن*، دانشمند فرانسوی برای نخستین بار با انجام آزمایش‌های ساده و هوشمندانه‌ای توانست عامل‌های مؤثر بر نیروی الکتریکی بین دو ذرّهٔ باردار را که اصطلاحاً بار نقطه‌ای خوانده می‌شود، شناسایی کند. نتیجهٔ آزمایش‌های او امروزه به نام قانون کولن خوانده می‌شود. شکل ۱ــ۷ طرحی از آزمایش کولن را نشان می‌دهد.



شکل ۱ــ۷ ترازوی پیچشی کولن. در یک سر یک میلهٔ نارسانای سبک افقی یک گوی باردار مثبت کوچک و در سر دیگر آن، یک قرص قرار دارد و میله از وسط توسط یک رشته سیم کشسان و نازک آویخته شده است. یک گوی با بار منفی از حفره‌ای به داخل استوانهٔ شیشه‌ای برده می‌شود. درجه‌هایی بر سطح استوانه حک شده است که زاویهٔ چرخش میله را نشان می‌دهد. نیروی مؤثر بین این بارها از اندازه‌گیری زاویهٔ چرخش تا رسیدن به حالت تعادل به‌دست می‌آید.

قانون کولن بیان می‌دارد :

اندازهٔ نیروی الکتریکی (الکتروستاتیکی) بین دو بار نقطه‌ای[1] که در راستای خط واصل آنها اثر می‌کند، با حاصل‌ضرب بزرگی آنها متناسب است و با مربع فاصلهٔ بین آنها نسبت وارون دارد. بنابراین، اندازهٔ این نیرو برابر است با

$$F = k\frac{|q_1||q_2|}{r^2} \qquad (۱ــ۲)$$

۱ــ در این بخش با نیروهای بین ذرّه‌های باردار (بارهای نقطه‌ای) سر و کار داریم. البته اگر فاصلهٔ یک جسم باردار با جسم باردار دیگر چنان زیاد باشد که بتوان از ابعاد هریک از دو جسم در مقایسه با فاصلهٔ بین آنها چشم‌پوشی کرد، می‌توان دو جسم را به صورت ذرّه‌های باردار در نظر گرفت.

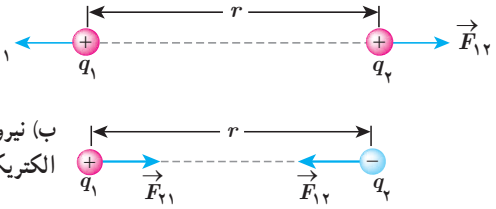
https://konkur.info

که در آن q_1 و q_2 بارهای الکتریکی دو بار نقطه‌ای برحسب کولن (C)، r فاصلهٔ بین دو بار برحسب متر (m) ، و F بزرگی نیروی الکتریکی وارد بر هر بار برحسب نیوتون (N) است. در این رابطه k ثابت الکتروستاتیکی یا ثابت کولن نام دارد و برابر است با[1]

$$k = ۸/۹۸۷۵۵۱۷۹ \times ۱۰^{۹}\ \mathrm{N.m^{۲}/C^{۲}} \approx ۹/۰ \times ۱۰^{۹}\ \mathrm{N.m^{۲}/C^{۲}}$$

در شکل ۱ــ۸، $\vec{F}_{۱۲}$ نیرویی است که بار نقطه‌ای q_1 به بار نقطه‌ای q_2 وارد می‌کند و $\vec{F}_{۲۱}$ 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 :

$$\vec{F}_{۱۲} = -\vec{F}_{۲۱} \Rightarrow F_{۱۲} = F_{۲۱} = F$$

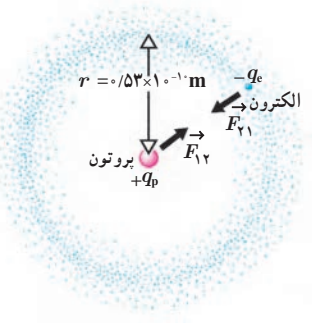


الف) نیروی الکتریکی بین دو بار الکتریکی همنام، دافعه است.

ب) نیروی الکتریکی بین دو بار الکتریکی ناهمنام، جاذبه است.

شکل ۱ــ۸

مثال ۱ــ۲



الف) در مدل بور برای اتم هیدروژن، فاصله الکترون از پروتون هسته در حالت پایه $۵/۳ \times ۱۰^{-۱۱}$ m است (شکل را ببینید). اندازهٔ نیروی الکتریکی که پروتون به الکترون وارد می‌کند را محاسبه کنید.

ب) در هستهٔ اتم هلیم دو پروتون به فاصلهٔ تقریبی $r = ۲/۴ \times ۱۰^{-۱۵}$ m از هم قرار دارند. اندازهٔ نیرویی که پروتون‌ها بر هم وارد می‌کنند را محاسبه کنید.

پاسخ :

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

$$F = k\frac{|q_1||q_2|}{r^2} = k\frac{|q_e||q_p|}{r^2} = (۹/۰ \times ۱۰^{۹}\ \mathrm{N.m^{۲}/C^{۲}})\frac{(۱/۶۰ \times ۱۰^{-۱۹}\ \mathrm{C})^{۲}}{(۵/۳ \times ۱۰^{-۱۱}\ \mathrm{m})^{۲}} = ۸/۲ \times ۱۰^{-۸}\ \mathrm{N}$$

ب) با استفاده از قانون کولن داریم :

$$F = k\frac{|q_p||q_p|}{r^2} = (۹/۰ \times ۱۰^{۹}\ \mathrm{N.m^{۲}/C^{۲}})\frac{(۱/۶۰ \times ۱۰^{-۱۹}\ \mathrm{C})^{۲}}{(۲/۴ \times ۱۰^{-۱۵}\ \mathrm{m})^{۲}} = ۴۰\ \mathrm{N}$$

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

شارل آگوستین کولن (۱۸۰۶ ــ ۱۷۳۶م)

شارل آگوستین کولن در فرانسه به دنیا آمد. او در دانشگاه مباحث متنوعی از قبیل فلسفه، ریاضیات، نجوم و شیمی را آموخت، و در طی دوازده سال پس از فارغ‌التحصیلی شغل‌های متنوعی در شاخه‌های مختلف مهندسی داشت و مدتی را نیز خارج از فرانسه گذراند. کولن پس از بازگشت به پاریس در سال ۱۷۸۵ میلادی تقریباً هم‌زمان با بنیامین فرانکلین آزمایش معروف خود را در مورد اینکه نیروی بین دو بار ذرّه‌ای با مربع فاصلهٔ بین آنها نسبت وارون دارد، به چاپ رساند. نتیجهٔ این آزمایش که به قانون کولن معروف شده است از هر آزمون و تجربه‌ای سربلند بیرون آمده است و تاکنون هیچ استثنایی برای آن یافت نشده است. کولن معتقد بود چنین قانونی برای قطب‌های مغناطیسی نیز برقرار است، گرچه هیچ‌وقت نتوانست به چنین رابطه‌ای برسد. نام کولن یکی از ۷۲ نامی است که روی برج ایفل ثبت شده است.

ثابت کولن (k) را می‌توان بر حسب یک ضریب ثابت دیگر به نام ضریب گذردهی الکتریکی خلأ ($\varepsilon_۰$) نیز نوشت :

$$k = \frac{۱}{۴\pi\varepsilon_۰}$$

که در آن

$$\varepsilon_۰ = ۸/۸۵ \times ۱۰^{-۱۲}\ \mathrm{C^{۲}/N.m^{۲}}$$

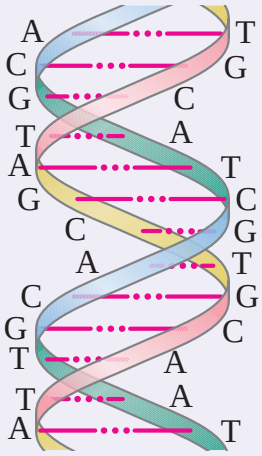
۱ــ به ذهن سپردن این اعداد لازم نیست.

https://konkur.info

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 اتم هیدروژن از مرتبه $10^{-47}\,N$ است. بنابراین، در حدود 10^{40} بار کوچک‌تر از نیروی الکتریکی بین این دو ذرّه 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 دِنا (DNA) وجود دارد. در واقع دِنا دارای اطلاعات و دستورهایی برای تعیین و ایجاد صفات ارثی ما و همهٔ جانداران است. در مولکول‌های دِنا چهار نوع باز به نام‌های آدنین (A)، سیتوزین (C)، گوانین (G) و تیمین (T) وجود دارد. دِنا مولکولی دورشته‌ای است که به صورت مارپیچ دوگانه پیچیده شده است. همان‌طور که در شکل نشان داده شده است این دو رشته 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، دو رشته را به هم زیپ می‌کنند. این جاذبه آن‌قدر هست که رشته‌ها از هم نگسلد، اما به حد کافی ضعیف نیز هست تا در فرایند رونویسی از هم گسیخته گردد.

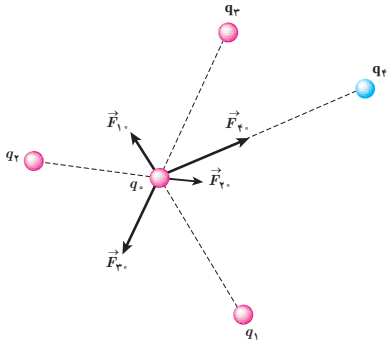
برایند نیروهای الکتریکی: اگر به جای دو ذرّهٔ باردار، تعدادی بار نقطه‌ای داشته باشیم، نیروی الکتریکی وارد بر هر ذرّه، برایند نیروهایی است که هر یک از ذرّه‌های دیگر به‌تنهایی بر آن ذرّه وارد می‌کند.

فرض کنید n ذرّهٔ باردار داشته باشیم که در نزدیکی بار نقطه‌ای q_0 قرار دارند. آن‌گاه نیروی خالص (برایند) وارد بر بار نقطه‌ای q_0 با جمع برداری زیر داده می‌شود:

$$\vec{F}_{T_0} = \vec{F}_{10} + \vec{F}_{20} + \cdots + \vec{F}_{n0}$$

شکل ۱ــ ۹ نیروی وارد بر بار q_0 از سوی چهار بار دیگر را نشان می‌دهد.

در این کتاب، مثال‌هایی را بررسی می‌کنیم که در آنها نیروهای الکتریکی وارد بر یک ذرّهٔ باردار در یک راستا قرار دارند یا عمود بر یکدیگرند [۱].



شکل ۱ــ ۹ نیروی برایند وارد بر بار q_0 در اینجا برابر است با

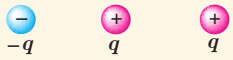
$$\vec{F}_{T0} = \vec{F}_{10} + \vec{F}_{20} + \vec{F}_{30} + \vec{F}_{40}$$

۱ــ بررسی حالت‌هایی که نیروها هم‌راستا و یا عمود برهم نیستند، خارج از برنامهٔ درسی این کتاب بوده و نباید مورد ارزشیابی قرار گیرد.

https://konkur.info

پرسش ۱ــ ۲

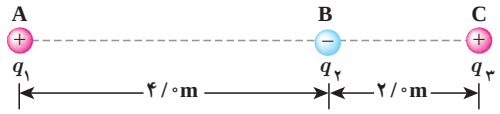
سه ذرّه باردار مانند شکل روبه‌رو، روی یک خط راست قرار دارند و فاصلهٔ بارهای سمت راست و چپ از بار میانی برابر است. الف) جهت نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار الکتریکی میانی را تعیین کنید.



ب) اگر ذرّهٔ سمت راست به جای q، بار $-q$ داشته باشد، جهت نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار میانی چگونه خواهد بود؟

مثال ۱ــ ۳

سه ذرّه با بارهای $q_1=+۲/۵\mu C$، $q_2=-۱/۰\mu C$ و $q_3=+۴/۰\mu C$ در نقطه‌های A، B و C مطابق شکل روبه‌رو ثابت شده‌اند. نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار q_3 را محاسبه کنید.



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

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

$$F_{13}=k\frac{|q_1||q_3|}{r_{13}^2}=(۹/۰\times۱۰^۹\,N.m^2/C^2)\frac{(۲/۵\times۱۰^{-۶}C)(۴/۰\times۱۰^{-۶}C)}{(۶/۰m)^2}$$

$$=۲/۵\times۱۰^{-۳}N$$

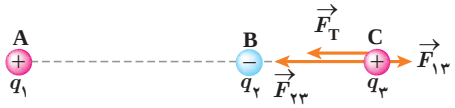
$$F_{23}=k\frac{|q_2||q_3|}{r_{23}^2}=(۹/۰\times۱۰^۹\,N.m^2/C^2)\frac{(۱/۰\times۱۰^{-۶}C)(۴/۰\times۱۰^{-۶}C)}{(۲/۰m)^2}$$

$$=۹/۰\times۱۰^{-۳}N$$

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

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

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



بنابراین، اندازهٔ نیروی برایند برابر با تفاضل اندازهٔ آنهاست :

$$F_T=F_{23}-F_{13}=۶/۵\times۱۰^{-۳}\,N$$

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

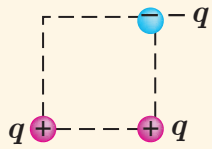
$$\vec{F}_T=(-۶/۵\times۱۰^{-۳}\,N)\,\vec{i}$$

https://konkur.info

تمرین ۱ــ ۲

در مثال ۱ــ ۳، نیروی خالص وارد بر بار $q_۲$ را به‌دست آورید.

پرسش ۱ــ ۳



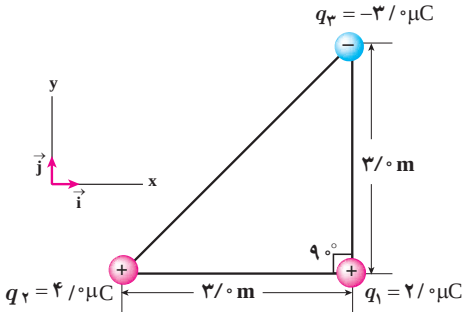
سه ذرّهٔ باردار مطابق شکل روبه‌رو، در سه گوشهٔ یک مربع قرار دارند.

الف) جهت نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار سمت راست پایینی را تعیین کنید.

ب) اگر ذرّهٔ سمت چپ پایینی به جای q، بار $-q$ داشته باشد، جهت نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار سمت راست پایینی چگونه خواهد بود؟

مثال ۱ــ ۴

سه ذرّهٔ باردار مطابق شکل روبه‌رو در سه رأس مثلث قائم‌الزاویه‌ای ثابت شده‌اند. نیروی الکتریکی خالص وارد بر ذرّهٔ واقع در رأس قائمه را به‌دست آورده و اندازهٔ این نیرو را محاسبه کنید.



پاسخ : نیروی الکتریکی بین بارهای $q_۱$ و $q_۲$ دافعه و نیروی بین بارهای $q_۱$ و $q_۳$، جاذبه است. با استفاده از رابطهٔ ۱ــ ۲ داریم :

$$F_{۲۱} = k\frac{|q_۲||q_۱|}{r_{۲۱}^۲} = (۹/۰\times۱۰^۹ \text{N.m}^۲/\text{C}^۲)\frac{(۴/۰\times۱۰^{-۶}\text{C})(۲/۰\times۱۰^{-۶}\text{C})}{(۳/۰\text{m})^۲} = ۸/۰\times۱۰^{-۳}\text{N}$$

با توجه به دستگاه مختصات داده شده، $\vec{F}_{۲۱}$ در جهت مثبت محور x است. بنابراین، $\vec{F}_{۲۱} = (۸/۰\times۱۰^{-۳}\text{N})\,\vec{i}$ می‌شود.

به همین ترتیب، برای نیروی بین بارهای $q_۳$ و $q_۱$ داریم :

$$F_{۳۱} = k\frac{|q_۳||q_۱|}{r_{۳۱}^۲} = (۹/۰\times۱۰^۹ \text{N.m}^۲/\text{C}^۲)\frac{(۳/۰\times۱۰^{-۶}\text{C})(۲/۰\times۱۰^{-۶}\text{C})}{(۳/۰\text{m})^۲} = ۶/۰\times۱۰^{-۳}\text{N}$$

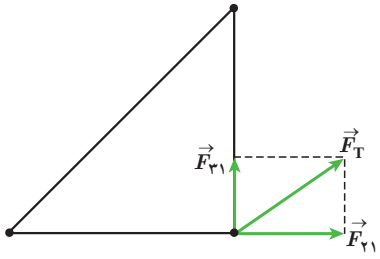
با توجه به دستگاه مختصات داده شده، $\vec{F}_{۳۱}$ در جهت مثبت محور y است. بنابراین، $\vec{F}_{۳۱} = (۶/۰\times۱۰^{-۳}\text{N})\,\vec{j}$ می‌شود.

پس برایند نیروهای الکتریکی وارد بر بار $q_۱$ برابر است با

$$\vec{F}_T = \vec{F}_{۲۱} + \vec{F}_{۳۱} = (۸/۰\times۱۰^{-۳}\text{N})\,\vec{i} + (۶/۰\times۱۰^{-۳}\text{N})\,\vec{j}$$

و بزرگی آن با استفاده از رابطهٔ فیثاغورس، چنین به‌دست می‌آید :

$$F_T = \sqrt{F_{۲۱}^۲ + F_{۳۱}^۲} = \sqrt{(۸/۰\times۱۰^{-۳}\text{N})^۲ + (۶/۰\times۱۰^{-۳}\text{N})^۲} = ۱/۰\times۱۰^{-۲}\text{N}$$



https://konkur.info

تمرین ۱ــ۳

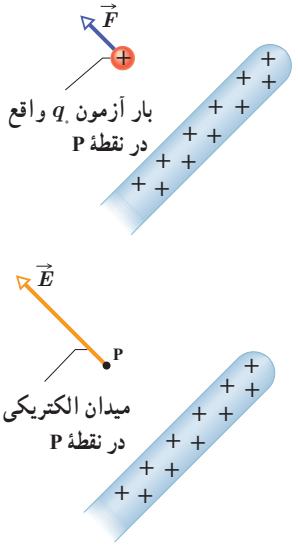
در مثال ۱ــ ۴ الف) اگر علامت بار q_2 تغییر کند جهت نیروی برایند وارد بر بار q_1 چگونه خواهد شد؟

ب) اگر علامت بار q_2 تغییر کند، جهت نیروی برایند وارد بر بار q_1 چگونه خواهد شد؟

پ) آیا اندازهٔ نیروی برایند وارد بر بار q_1 در قسمت‌های الف و ب با مقدار به دست آمده در مثال ۱ــ ۴ متفاوت است؟

۱ــ۴ میدان الکتریکی

در بخش ۱ــ۱ دیدیم که دو بار الکتریکی q_1 و q_2 که در فاصله‌ای از یکدیگر قرار دارند، برهم نیروی الکتریکی وارد می‌کنند. ولی این پرسش مطرح می‌شود که بارهای q_1 و q_2 چطور حضور یکدیگر را حس می‌کنند؟ به‌عبارت دیگر، این دو بار الکتریکی که در تماس با هم نیستند، چگونه می‌توانند بر یکدیگر نیرو وارد کنند؟ در فیزیک پاسخ این پرسش این‌گونه 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 الکتریکی‌ای قرار می‌گیرد که بار q_1 پیش‌تر در آن نقطه ایجاد کرده است. بنابراین، بار q_1، نه با تماس با بار q_2 بلکه به‌وسیلهٔ میدان الکتریکی خودش بر بار q_2 نیرو وارد می‌کند.



شکل ۱ــ ۱۰ میلهٔ باردار میدانی الکتریکی ایجاد می‌کند و به وسیلهٔ این میدان بر بار آزمون نیرو وارد می‌کند.

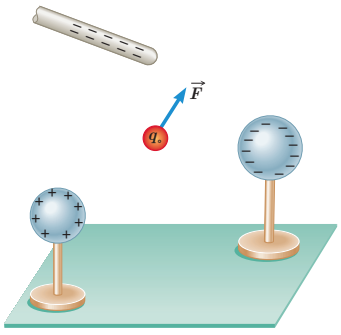
میدان الکتریکی در هر نقطه از فضای اطراف یک جسم باردار الکتریکی به صورت زیر تعیین می‌شود: نخست بار کوچک و مثبت q_0 موسوم به بار آزمون[1] را در آن نقطه قرار می‌دهیم و سپس نیروی الکتریکی $\vec{F}$ وارد بر آن را اندازه می‌گیریم. آن‌گاه میدان الکتریکی $\vec{E}$ ناشی از جسم باردار در آن نقطه به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \qquad (۱ــ۳)$$

بنا به تعریف میدان الکتریکی (رابطهٔ ۱ــ۳)، میدان الکتریکی کمیتی برداری است که اندازهٔ آن برابر $E = \frac{F}{q_0}$ و جهت آن همان جهت نیروی وارد بر بار آزمون است؛ مثلاً شکل ۱ــ۱۰ قسمتی از میلهٔ باردار را نشان می‌دهد که بر بار آزمون واقع در نقطهٔ P نیرو وارد می‌کند. پس میدان در این نقطه، براساس این نیرو تعریف می‌شود. در رابطهٔ ۱ــ۳ یکای میدان الکتریکی ($\vec{E}$)، نیوتون بر کولن (N/C) است.

مثال ۱ــ۵

بار آزمون نشان داده شده در شکل $q_0 = +۳/۰ \times ۱۰^{-۸}\,C$ است و از سوی دو گوی و یک میلهٔ باردار نیرویی برابر با $F = ۶/۰ \times ۱۰^{-۵}\,N$ در جهت نشان داده شده بر آن وارد می‌شود.



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

ب) اگر بار $+۱۲ \times ۱۰^{-۸}\,C$ را به جای q_0 قرار دهیم، چه نیرویی به آن وارد می‌شود؟

۱ــ بار آزمون باید آن‌قدر کوچک باشد که توزیع بار جسم را برهم نزند.

https://konkur.info

پاسخ : الف) بزرگی میدان الکتریکی با استفاده از رابطهٔ ۱ــ ۳ برابر است با

$$E=\frac{F}{q_0}=\frac{۶/۰\times۱۰^{-۵}\,\mathrm{N}}{۳/۰\times۱۰^{-۸}\,\mathrm{C}}=۲/۰\times۱۰^{۳}\,\mathrm{N/C}$$

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

ب) دوباره با استفاده از رابطهٔ ۱ــ۳ داریم :

$$F=q_0E=(۱۲\times۱۰^{-۸}\,\mathrm{C})(۲/۰\times۱۰^{۳}\,\mathrm{N/C})=۲۴\times۱۰^{-۵}\,\mathrm{N}$$

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

خوب است بدانید: میدان الکتریکی مخازن نفت‌کش‌ها

وقتی آب به سطحی برخورد کند و از آن بپاشد، 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 منفی‌اند بیشتر در هوا می‌مانند. اگر تهویهٔ هوا کم باشد، تعداد قطره‌های موجود در هوا به‌طور چشمگیری افزایش می‌یابد و بدین‌ترتیب، یک میدان الکتریکی بزرگ (حدود ۸۰۰ N/C) ایجاد می‌شود؛ این وضعیتی است که معمولاً در حمام رخ می‌دهد. به همین ترتیب، در حین تمیزکردن مخازن کشتی‌های نفت‌کش، وقتی قطره‌های آب به صورت افشانه از شیلنگ خارج شده و بر کف مخزن یا دیواره‌های آن می‌پاشند، باردار می‌شوند و در نتیجه مخزن پر از بخار آب باردار می‌شود. ممکن است این ذرات باردار با نوک فلزی آب‌فشان شیلنگ جرقه بزنند. اگر مخزن محتوی بخار نفت خام باشد، این جرقه‌ها می‌توانند بخار را مشتعل کنند و باعث انفجار مخزن گردند. برای رفع این خطر، پیش از تمیزکردن مخزن، یک گاز بی‌اثر به درون آن پمپ می‌شود تا اکسیژن موجود به اندازه‌ای کاهش یابد که از بروز انفجار جلوگیری کند.

۱ــ۵ میدان الکتریکی حاصل از یک ذرهٔ باردار

می‌خواهیم میدان الکتریکی ناشی از ذرّه‌ای با بار q را در نقطهٔ A که به فاصلهٔ r از بار q قرار دارد (شکل ۱ــ ۱۱)، محاسبه کنیم. برای این محاسبه از رابطهٔ ۱ــ ۳ استفاده می‌کنیم. اگر بار آزمون q_0 در نقطهٔ 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 رابطهٔ $E=F/q_0$، بزرگی میدان الکتریکی بار q را در نقطهٔ A به‌دست می‌آوریم :

شکل ۱ــ ۱۱ می‌خواهیم میدان حاصل از ذرهٔ باردار q را در نقطهٔ A محاسبه کنیم.

$$E=\frac{F}{q_0}\qquad\text{و}\qquad F=k\frac{|q|\,q_0}{r^{۲}}$$

در نتیجه :

$$E=k\frac{|q|}{r^{۲}}\qquad(۴ــ۱)$$

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

https://konkur.info

مثال ۱ــ۶

مولّد وان دوگراف[1] وسیله‌ای است که با استفاده از تسمه‌ای متحرک، بار الکتریکی را بر روی یک کلاهک توخالی فلزی جمع می‌کند. فرض کنید کلاهک این مولد، کره‌ای با شعاع ۰/۱۰m است و باری به بزرگی ۱/۰μC روی آن جمع می‌شود. با فرض آنکه همهٔ این بار در مرکز کره قرار داشته باشد، بزرگی میدان الکتریکی این بار را در فاصله‌های ۱/۰m، ۲/۰m، ۳/۰m و ۴/۰m، از مرکز کره به دست آورید و سپس با نقطه‌یابی، نمودار بزرگی میدان الکتریکی را برحسب فاصله از مرکز کره رسم کنید.

پاسخ : با استفاده از رابطهٔ ۱ــ۴ بزرگی میدان را در نقطه‌های مورد نظر به دست می‌آوریم :

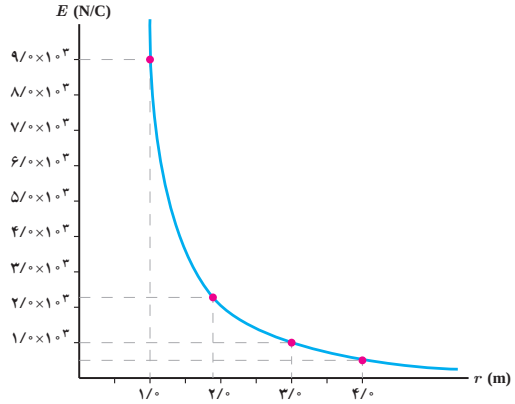
$$E = k\frac{|q|}{r^2}$$

$$E_1 = (9/0\times10^9\,\mathrm{N.m^2/C^2})\frac{(1/0\times10^{-6}\,\mathrm{C})}{(1/0\,\mathrm{m})^2} = 9/0\times10^3\,\mathrm{N/C}$$

$$E_2 = (9/0\times10^9\,\mathrm{N.m^2/C^2})\frac{(1/0\times10^{-6}\,\mathrm{C})}{(2/0\,\mathrm{m})^2} = 2/25\times10^3\,\mathrm{N/C} \approx 2/3\times10^3\,\mathrm{N/C}$$

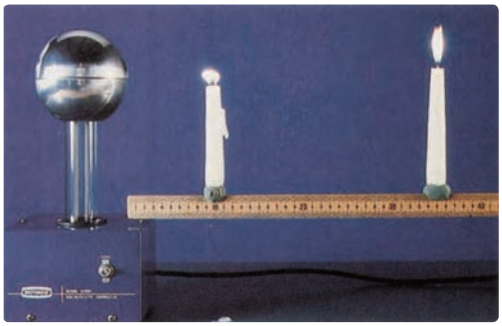
$$E_3 = (9/0\times10^9\,\mathrm{N.m^2/C^2})\frac{(1/0\times10^{-6}\,\mathrm{C})}{(3/0\,\mathrm{m})^2} = 1/0\times10^3\,\mathrm{N/C}$$

$$E_4 = (9/0\times10^9\,\mathrm{N.m^2/C^2})\frac{(1/0\times10^{-6}\,\mathrm{C})}{(4/0\,\mathrm{m})^2} = 0/5625\times10^3\,\mathrm{N/C} \approx 0/56\times10^3\,\mathrm{N/C}$$



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

برای مشاهدهٔ تجربی نتایج مثال ۱ــ۶ 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 وان‌دوگراف قرار گرفته‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌کنید شعلهٔ شمع نزدیک‌تر به سمت کلاهک کشیده شده است، در حالی که شعلهٔ شمع دورتر تغییر چندانی نکرده است. دلیل، آن است که کلاهک مولد وان‌دوگراف بار منفی بزرگی دارد که یون‌های مثبت شعلهٔ شمع نزدیک‌تر را به سمت خود می‌کشد، در حالی که شمع دیگر در فاصلهٔ دوری از کلاهک قرار گرفته است که تحت تأثیر میدان الکتریکی ضعیف‌تری قرار می‌گیرد.



۱ــ Van de Graaff generator

https://konkur.info

تمرین ۱ــ۴

طبق *مدل بور* برای اتم هیدروژن، در حالت پایه فاصلهٔ الکترون از پروتون هسته برابر با $۵/۳\times۱۰^{-۱۱}\,m$ است.

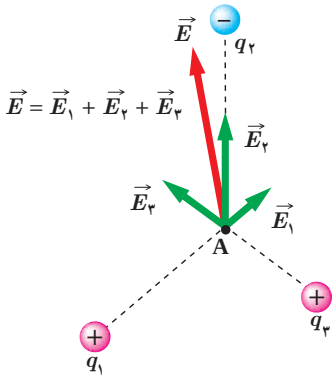
الف) اندازهٔ میدان الکتریکی ناشی از پروتون هسته را در این فاصله تعیین کنید.

ب) در چه فاصله‌ای از پروتون هسته، بزرگی میدان الکتریکی برابر با بزرگی میدان الکتریکی حاصل از مولد وان‌دوگراف مثال پیش در فاصلهٔ $۱/۰\,m$ از مرکز کلاهک آن است؟

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

$$\vec{E} = \vec{E}_۱ + \vec{E}_۲ + \dots \qquad (۵ــ۱)$$

مثلاً شکل ۱ــ۱۲ میدان الکتریکی خالص در نقطهٔ 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[۱].



شکل ۱ــ ۱۲ میدان الکتریکی $\vec{E}$ در نقطهٔ A، جمع برداری میدان‌های $\vec{E}_۱$ ، $\vec{E}_۲$ و $\vec{E}_۳$ در این نقطه است.

مثال ۱ــ۷

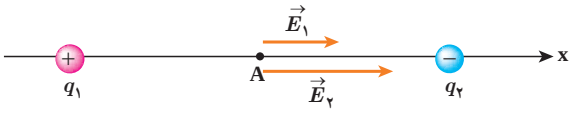
مطابق شکل، دو ذرّه با بارهای $q_۱=۴/۰\,\mu C$ و $q_۲=-۶/۰\,\mu C$ در فاصلهٔ $۸/۰\,m$ از یکدیگر ثابت شده‌اند. اندازهٔ میدان الکتریکی خالص را در نقطه‌های زیر به‌دست آورید :

الف) در وسط خط واصل دو ذرّه،

ب) در نقطه‌ای روی خط واصل دو ذرّه به فاصلهٔ $۸/۰\,m$ از بار $q_۱$ و $۱۶\,m$ از بار $q_۲$.

پاسخ : در غیاب هر یک از دو ذرّه، میدان حاصل از بار دیگر را محاسبه می‌کنیم. میدانِ حاصل از مجموعهٔ دو بار، برایند این دو میدان خواهد بود.

الف) در شکل اگر بار آزمون را در نقطهٔ A واقع در وسط خط واصل دو ذرّه قرار دهیم، بار $q_۱$ آن را دفع و بار $q_۲$ آن را جذب می‌کند. بنابراین، همان‌طور که شکل نشان می‌دهد، $\vec{E}_۱$ و $\vec{E}_۲$ در نقطهٔ A هم‌جهت و به سوی بار $q_۲$ (در سوی مثبت محور x) هستند.



میدان خالص در نقطهٔ A، برایند میدان‌های $\vec{E}_۱$ و $\vec{E}_۲$ است :

$$\vec{E}_A = \vec{E}_۱ + \vec{E}_۲ = E_۱\,\vec{i} + E_۲\,\vec{i}$$

۱ــ بررسی حالت‌هایی که میدان‌ها هم‌راستا و یا عمود برهم نیستند، خارج از برنامهٔ درسی این کتاب بوده و نباید مورد ارزشیابی قرار بگیرد.

https://konkur.info

مقادیر E_1 و E_2 را با استفاده از رابطهٔ ۱ــ۴ به‌دست می‌آوریم :

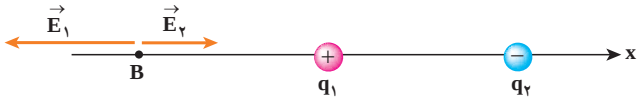
$$E_1 = k\frac{|q_1|}{r_1^2} = (9/0\times10^9\,\mathrm{N.m^2/C^2})\frac{(4/0\times10^{-6}\,\mathrm{C})}{(4/0\,\mathrm{m})^2} = 2/25\times10^3\,\mathrm{N/C} \approx 2/3\times10^3\,\mathrm{N/C}$$

$$E_2 = k\frac{|q_2|}{r_2^2} = (9/0\times10^9\,\mathrm{N.m^2/C^2})\frac{(6/0\times10^{-6}\,\mathrm{C})}{(4/0\,\mathrm{m})^2} = 3/375\times10^3\,\mathrm{N/C} \approx 3/4\times10^3\,\mathrm{N/C}$$

بنابراین :

$$\vec{E}_A \simeq (2/3\times10^3\,\mathrm{N/C})\,\vec{i} + (3/4\times10^3\,\mathrm{N/C})\,\vec{i} = (5/7\times10^3\,\mathrm{N/C})\,\vec{i}$$

ب) اکنون اگر بار آزمون را در نقطهٔ B قرار دهیم شکل میدان‌های الکتریکی به‌صورت زیر در می‌آید :



میدان خالص در نقطهٔ B، برایند میدان‌های $\vec{E}_1$ و $\vec{E}_2$ 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 با

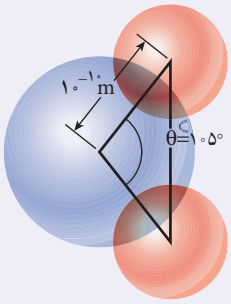
$$E_1 = k\frac{|q_1|}{r_1^2} = (9/0\times10^9\,\mathrm{N.m^2/C^2})\frac{(4/0\times10^{-6}\,\mathrm{C})}{(8/0\,\mathrm{m})^2} = 5/625\times10^2\,\mathrm{N/C} \approx 5/6\times10^2\,\mathrm{N/C}$$

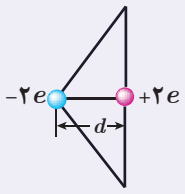
$$E_2 = k\frac{|q_2|}{r_2^2} = (9/0\times10^9\,\mathrm{N.m^2/C^2})\frac{(6/0\times10^{-6}\,\mathrm{C})}{(16\,\mathrm{m})^2} = 2/109\times10^2\,\mathrm{N/C} \approx 2/1\times10^2\,\mathrm{N/C}$$

بنابراین :

$$\vec{E}_B \simeq (-5/6\times10^2\,\mathrm{N/C})\,\vec{i} + (2/1\times10^2\,\mathrm{N/C})\,\vec{i} = (-3/5\times10^2\,\mathrm{N/C})\,\vec{i}$$

خوب است بدانید





دوقطبی الکتریکی آرایشی از بارهای الکتریکی است که در آن دو ذرّه با بزرگی بار q یِ یکسان و علامت مخالف در فاصلهٔ d از هم روی محوری که به آن محور دوقطبی گفته می‌شود قرار گرفته‌اند.

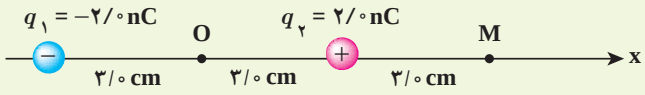
مولکول آب (H_2O) از دو اتم هیدروژن و یک اتم اکسیژن ساخته شده است. اتم اکسیژن الکترون‌های دو اتم هیدروژن را به سمت خود می‌کشد و بدین ترتیب اتم‌های هیدروژن بار مثبت و خودش بار منفی پیدا می‌کند. این سه اتم مطابق شکل به گونه‌ای قرار گرفته‌اند که خطوط وصل کنندهٔ مراکز اتم‌های هیدروژن به مرکز اتم اکسیژن، زاویهٔ ۱۰۵° با یکدیگر می‌سازند. با فرض اینکه کل بار مثبت (+۲e) دقیقاً در میانهٔ خطی باشد که مراکز اتم‌های هیدروژن را به هم متصل می‌کند و بار منفی (−۲e) 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 مولکول‌های قطبی (مانند مولکول آب) در میدان‌های الکتریکی دارد.

https://konkur.info

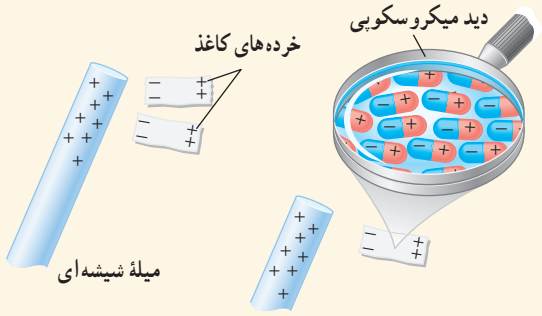
تمرین ۱ــ۵

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

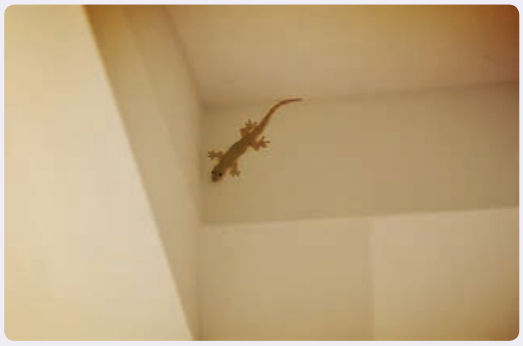


پرسش ۱ــ۴

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



خوب است بدانید: نیروی وان‌دروالس[1] و چسبیدن مارمولک‌ها به دیوار



نیروی وان‌درووالس برای توصیف نیروی جاذبهٔ الکتریکی بین مولکول‌ها استفاده می‌شود. دلیل این نام‌گذاری این است که وان‌درووالس در سال ۱۸۷۳ نخستین پیشنهاد را برای نیروهای الکتریکی بین ذرّه‌های سازندهٔ گاز به منظور توصیف برخی از ویژگی‌های گازهای غیرآرمانی و مایعات ارائه کرد. منشأ نیروی وان‌درووالس برهم‌کنش الکتریکی بین دوقطبی‌های الکتریکی است. براساس نیروی وان درووالس می‌توان بسیاری از چسبندگی‌ها ازجمله چسبندگی پای مارمولک روی دیوار را توضیح داد.

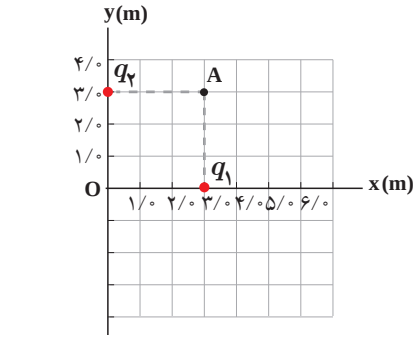
پای مارمولک تعداد بی‌شماری مو موسوم به سِتا دارد که هر مو صدها برجستگی یا سرمثلثی دارد که به کاردک معروف‌اند. وقتی مارمولک پای خود را بر دیوار می‌فشارد تمام این کاردک‌ها توسط نیروی وان درووالس به دیوار می‌چسبند. در این حالت، دوقطبی‌های موجود در سطح کاردک‌ها و سطح دیوار، یکدیگر را جذب می‌کنند. گرچه نیروی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

۱ــ Van der Waals

https://konkur.info

مثال ۱ــ۸

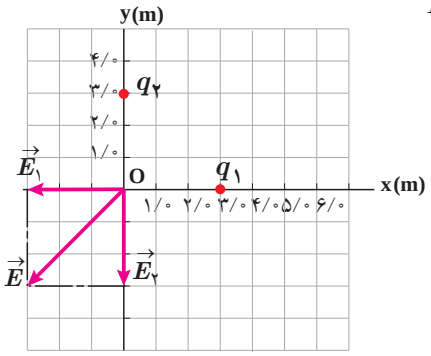
شکل روبه‌رو، دو بار نقطه‌ای q_1 و q_2 را در صفحهٔ xy نشان می‌دهد. میدان الکتریکی خالص را در نقطهٔ O (مبدأ مختصات) تعیین کنید. ($q_1 = q_2 = 5/0\ \mu C$)



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

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

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



در نتیجه میدان الکتریکی خالص برابر است با

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

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

و از آنجا اندازهٔ میدان الکتریکی خالص چنین می‌شود :

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

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

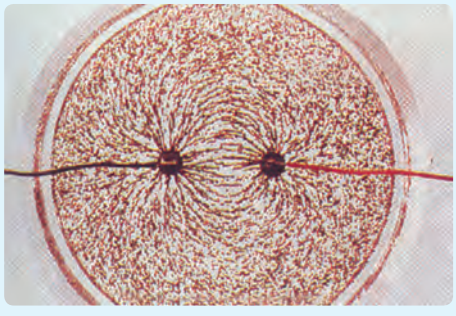
تمرین ۱ــ۶

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

۱ــ۶ خطوط میدان الکتریکی

پیش از این دیدیم بارهای الکتریکی در فضای پیرامون خود میدان الکتریکی ایجاد می‌کنند. آیا می‌توانید بردار میدان الکتریکی را در نقاط پیرامون یک ذرهٔ باردار مثبت یا منفی تجسم کنید؟ *مایکل فاراده* نخستین بار در میانهٔ قرن نوزدهم میلادی روشی را برای تجسم این بردارها ارائه کرد. برای مجسم‌کردن میدان الکتریکی در فضای اطراف اجسام باردار از خط‌های جهت‌داری موسوم به خطوط میدان الکتریکی استفاده می‌کنیم.

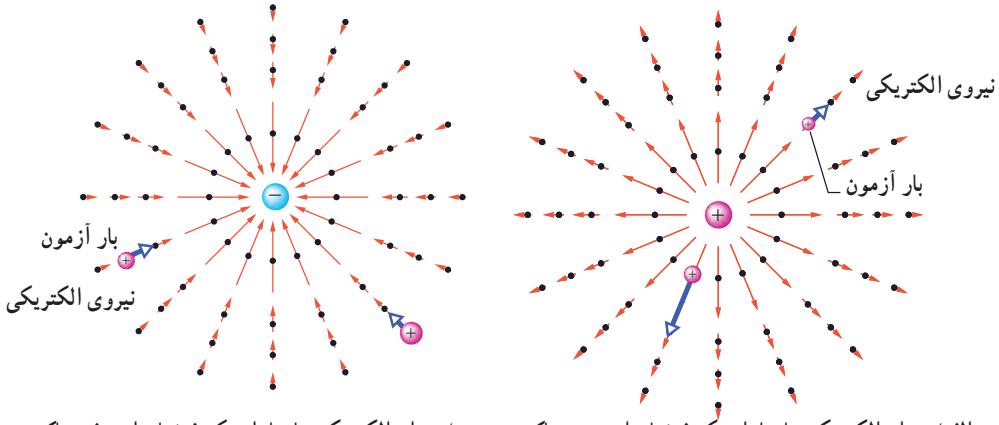
فعالیت ۱ــ۲ (کار در کلاس)



درون یک ظرف شیشه‌ای یا پلاستیکی با عمق کم، مقداری پارافین مایع یا روغن کرچک به عمق حدود ۰/۵cm بریزید و داخل آن دو الکترود نقطه‌ای قرار دهید. الکترودها را با سیم به پایانه‌های مثبت و منفی یک مولد ولتاژ بالا، مانند مولد وان‌دوگراف وصل کنید. روی سطح پارافین، مقدار کمی بذر چمن یا خاکشیر بپاشید. مولد را روشن کنید. اکنون به سمت‌گیری دانه‌ها در فضای بین دو الکترود توجه کنید. شکل سمت‌گیری دانه‌ها در این فضا را رسم کنید.

https://konkur.info

اگر یک بار آزمون را در نزدیکی یک ذرّهٔ باردار مثبت یا منفی قرار دهیم، بسته به نوع بار، نیروی الکتریکی وارد به بار آزمون در جهت دور شدن از ذرّه (شکل ۱ــ۱۳ــ الف) و یا در جهت نزدیک شدن به آن (شکل ۱ــ۱۳ــ ب) خواهد بود.

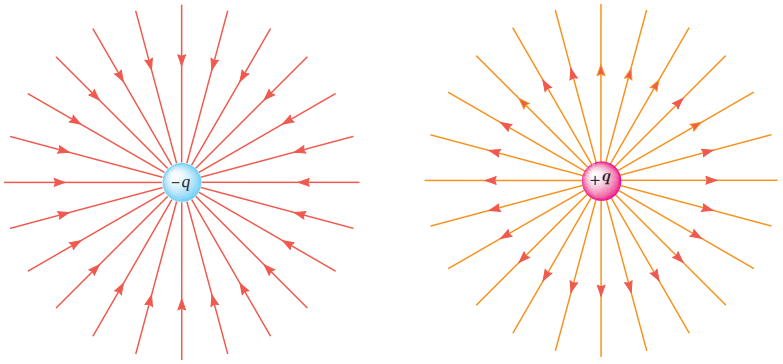


الف) میدان الکتریکی حاصل از یک ذرّهٔ باردار مثبت ساکن.

ب) میدان الکتریکی حاصل از یک ذرّهٔ باردار منفی ساکن.

شکل ۱ــ ۱۳

خط‌های میدان در هر نقطه، هم‌جهت با بردار میدان الکتریکی در آن نقطه است (شکل ۱ــ۱۴).



الف) خطوط میدان الکتریکی در جهتِ دور شدن از ذرّهٔ باردار $q+$ است.

ب) خطوط میدان الکتریکی به سمت ذرّهٔ باردار $q-$ است.

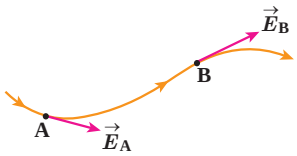
شکل ۱ــ ۱۴

بنابراین، طرحی که از سمت‌گیری دانه‌ها در فعالیت ۱ــ۲ دیدید، در واقع طرحی از خطوط میدان الکتریکی در فضای بین دو الکترود بوده است.

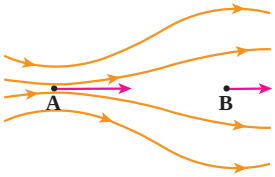
قاعده‌های رسم خطوط میدان الکتریکی عبارت‌اند از :

۱ــ در هر نقطه، بردار میدان الکتریکی باید مماس بر خط میدان الکتریکی عبوری از آن نقطه و در همان جهت باشد (شکل ۱ــ۱۵).

۲ــ میزان تراکم خطوط میدان در هر ناحیه از فضا نشان‌دهندهٔ اندازهٔ میدان در آن ناحیه است؛ هرجا خطوط میدان متراکم‌تر باشد، اندازهٔ میدان بیشتر است (شکل ۱ــ۱۶).



شکل ۱ــ۱۵ میدان الکتریکی در هر نقطه برداری است مماس بر خط میدانی که از آن نقطه می‌گذرد و با آن خط میدان هم‌جهت است.



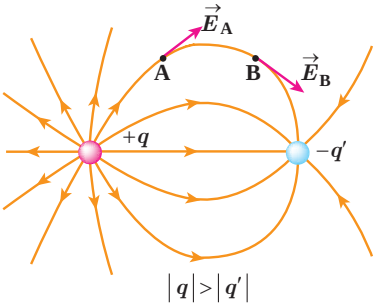
شکل ۱ــ۱۶ اطراف نقطهٔ A خطوط میدان متراکم‌تر از اطراف نقطهٔ B است. بنابراین، بزرگی میدان در نقطهٔ A بیشتر از نقطهٔ B است.

https://konkur.info

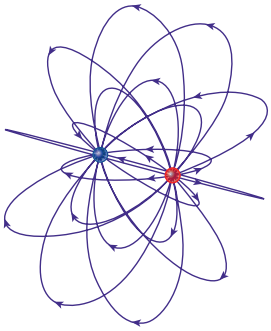
۳ــ در آرایشی از بارها خطوط میدان الکتریکی از بارهای مثبت شروع و به بارهای منفی ختم می‌شوند

۴ــ خطوط میدان برایند هرگز یکدیگر را قطع نمی‌کنند (شکل ۱ــ۱۷) یعنی از هر نقطهٔ فضا فقط یک خط میدان الکتریکی می‌گذرد.

تجسم واقعی خطوط میدان، در فضاست، و بنابراین طرحی سه‌بعدی دارد (شکل ۱ــ۱۸).



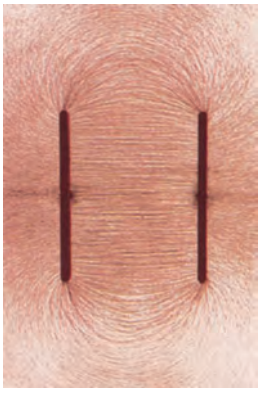
شکل ۱ــ۱۷ خطوط میدان از بارهای مثبت شروع و به بارهای منفی ختم می‌شوند و هرگز یکدیگر را قطع نمی‌کنند.



شکل ۱ــ۱۸ نمایش سه‌بعدی خطوط میدان برای یک دوقطبی الکتریکی.

پرسش ۱ــ۵

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



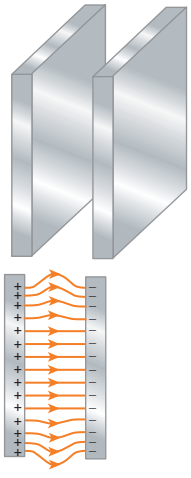
شکل ۱ــ۱۹ سمت‌گیری دانه‌ها در فضای بین دو الکترود صفحه‌ای موازی

میدان الکتریکی یکنواخت: اگر دوباره اسباب فعالیت ۱ــ۲ را سوار کنید و این بار الکترودهای نقطه‌ای را با دو صفحهٔ فلزی موازی جایگزین کنید و دوباره به سمت‌گیری دانه‌ها در فضای بین دو الکترود توجه کنید، طرحی از خطوط میدان الکتریکی را مشاهده می‌کنید که در شکل ۱ــ۱۹ 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 یکنواخت گفته می‌شود (شکل ۱ــ۲۰).

نیروی 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 $\vec{E}$ ناشی از اجسام باردار دیگری قرار گیرد، این میدان بر آن نیروی $\vec{F}$ را وارد می‌کند. نیروی $\vec{F}$ از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

$$\vec{F} = q\vec{E} \qquad (۱ــ۶)$$

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

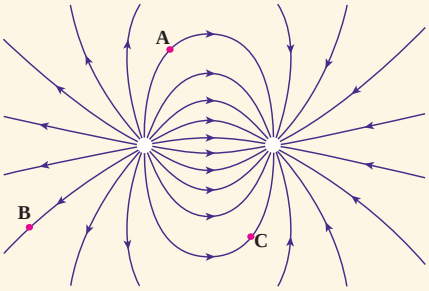


شکل ۱ــ۲۰ طرحی از خطوط میدان یکنواخت بین دو صفحهٔ رسانای موازی با بارهای هم‌اندازه و ناهمنام

https://konkur.info

پرسش ۱ـ۶

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



فعالیت ۱ـ۳

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

تمرین ۱ـ۷

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

فعالیت ۱ـ۴

رسوب‌دهندهٔ الکتروستاتیکی (ESP)[1] دود و غبار را از گازهای زائدی 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.

۱– Electrostatic Precipitator

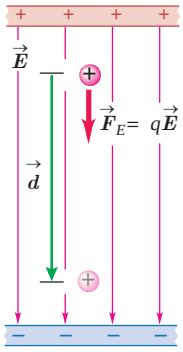
https://konkur.info

۱ــ۷ انرژی پتانسیل الکتریکی

دو ذرّهٔ باردار الکتریکی شکل ۱ــ۲۱ را درنظر 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 به‌وجود آمده باشد. به‌نظر 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 ذرهٔ شکل ۱ــ۲۱ وابسته است و همان‌طور که در کتاب فیزیک سال دهم دیدید به آن انرژی پتانسیل الکتریکی می‌گوییم. برای آنکه به توصیفی کمّی از این انرژی دست یابیم، میدان الکتریکی یکنواختی را مطابق شکل ۱ــ۲۲ درنظر می‌گیریم که در فضای میان دو صفحهٔ باردار برقرار شده است.

شکل ۱ــ ۲۱ ذرهٔ باردار q_2+ در میدان الکتریکی فضای اطراف بار q_1+ رها شده است.

اگر بار الکتریکی $q+$ را از مجاورت صفحه مثبت رها کنیم، تحت تأثیر میدان الکتریکی (با چشم‌پوشی از گرانش)، به طرف صفحهٔ منفی شروع به حرکت می‌کند و به‌تدریج 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 به‌تدریج افزایش می‌یابد (شکل ۱ــ۲۳). همچنین دیدیم که کار نیروی گرانشی برابر با منفیِ تغییر انرژی پتانسیل گرانشی است ($W_g = -\Delta U_g$).

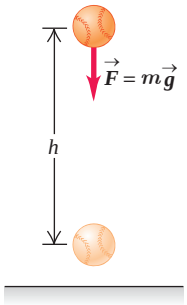


شکل ۱ــ ۲۲ ذرهٔ باردار $q+$ در میدان الکتریکی یکنواخت رها می‌شود و به‌تدریج بر انرژی جنبشی آن افزوده می‌شود (از نیروی گرانشی چشم‌پوشی شده است).

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

$$W_E = -\Delta U_E \qquad (۷ــ۱)$$

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



شکل ۱ــ۲۳ جسم در میدان گرانشی یکنواخت زمین رها می‌شود و به‌تدریج بر انرژی جنبشی آن افزوده می‌شود.

بار ذرّه‌ای q را در میدان الکتریکی یکنواخت $\vec{E}$ درنظر بگیرید که جابه‌جایی $\vec{d}$ را موازی میدان الکتریکی، انجام می‌دهد (شکل ۱ــ۲۲). طبق تعریف کار که در سال قبل دیدید، کار انجام‌شده توسط نیروی الکتریکی ثابت $\vec{F}_E$ در طی جابه‌جایی $\vec{d}$ از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

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

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

$$W_E = |q|\, Ed \cos\theta$$

اکنون با استفاده از رابطهٔ ۱ــ۷ تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی بار ذرّه‌ای q چنین محاسبه می‌شود:

$$\Delta U_E = -W_E = -|q|\, E\, d \cos\theta \qquad (۸ــ۱)$$

که در آن، θ زاویهٔ بین نیروی $\vec{F}_E$ و جابه‌جایی $\vec{d}$ است. (در این کتاب، در استفاده از رابطهٔ ۱ــ۸، صرفاً با جابه‌جایی‌های هم‌راستا با میدان الکتریکی و یا عمود بر میدان الکتریکی سروکار خواهیم

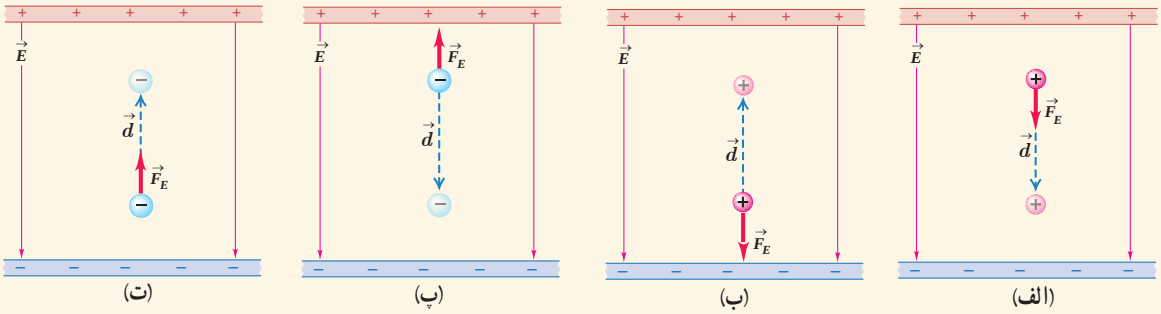
https://konkur.info

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

پرسش ۱ــ۷

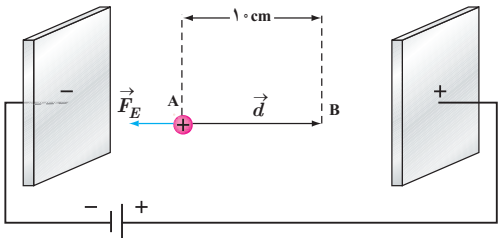
در هریک از شکل‌های زیر، با توجه به علامت بار ذرهٔ جابه‌جا شده، و جهت میدان الکتریکی ($\vec{E}$)، جهت نیروی الکتریکی ($\vec{F}_E$) و جهت جابه‌جایی ذرّه ($\vec{d}$)، تعیین کنید که :

الف) کار نیروی الکتریکی (W_E) مثبت است یا منفی. ب) انرژی پتانسیل الکتریکی (U_E) کاهش یافته است یا افزایش.



مثال ۱ــ۹

در یک میدان الکتریکی یکنواخت $E = ۲/۰\times۱۰^{۳}\,N/C$، پروتونی از نقطهٔ A با سرعت $\vec{v}_{۰}$ در خلاف جهت میدان الکتریکی پرتاب شده است. پروتون سرانجام در نقطهٔ B متوقف می‌شود. بار پروتون $۱/۶\times۱۰^{-۱۹}\,C$ و جرم آن $۱/۶۷\times۱۰^{-۲۷}\,kg$ است.



الف) تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی پروتون در این جابه‌جایی چقدر است؟

ب) تندی پرتاب پروتون را پیدا کنید (از وزن پروتون و مقاومت هوا چشم‌پوشی شود).

پاسخ :

الف) با توجه به رابطهٔ ۱ــ۸ داریم :

$$\Delta U_E = -W_E = -|q|Ed\cos\theta = -(۱/۶\times۱۰^{-۱۹}\,C)(۲/۰\times۱۰^{۳}\,N/C)(۱۰\times۱۰^{-۲}\,m)(\cos۱۸۰^{\circ}) = ۳/۲\times۱۰^{-۱۷}\,J$$

ب) طبق قضیهٔ کار ــ انرژی جنبشی می‌توان نوشت :

$$W_E = \Delta K \Rightarrow -\Delta U_E = \frac{۱}{۲}m(۰ - v_{۰}^{۲})$$

$$-۳/۲\times۱۰^{-۱۷}\,J = \frac{۱}{۲}(۱/۶۷\times۱۰^{-۲۷}\,kg)(-v_{۰}^{۲}) \Rightarrow v_{۰} = ۱/۹۶\times۱۰^{۵}\,m/s \approx ۲/۰\times۱۰^{۵}\,m/s$$

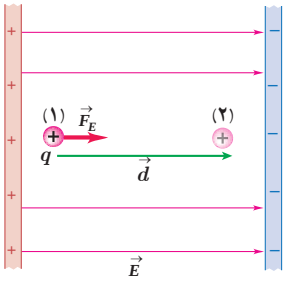
تمرین ۱ــ۸

در مثال ۱ــ۹ اگر جای قطب‌های باتری عوض شود و پروتون را در نقطهٔ A از حالت سکون رها کنیم، پروتون با چه تندی‌ای به نقطهٔ B می‌رسد؟

https://konkur.info

۱ــ۸ پتانسیل الکتریکی

در بخش قبل دیدیم تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی یک ذرهٔ باردار به بار الکتریکی آن بستگی دارد؛ مثلاً با دوبرابر شدن بار ذرّه، تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی آن نیز دو برابر می‌شود. بنابراین، نسبت تغییر انرژی پتانسیل به بار ذرّه، مستقل از نوع و اندازهٔ بار الکتریکی است. به این نسبت، **اختلاف پتانسیل الکتریکی** دونقطه‌ای می‌گوییم که ذرّه میان آنها جابه‌جا شده است (شکل ۱ــ۲۴) و آن را با ΔV نمایش می‌دهیم :



شکل ۱ــ۲۴ نسبت تغییر انرژی پتانسیل به بار، مستقل از نوع و اندازهٔ بار الکتریکی است.

$$\Delta V = V_2 - V_1 = \frac{\Delta U_E}{q} \qquad (۹ــ۱)$$

که در آن V کمیتی نرده‌ای 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) برحسب ژول بر کولن (J/C) است که آن را به افتخار *الساندرو ولتا*، ولت می‌نامند و با نماد V نمایش می‌دهند.

گرچه این رابطه را برای میدان الکتریکی یکنواخت بیان کردیم، اما برای میدان‌های الکتریکی غیریکنواخت نیز برقرار است. توجه کنید که در این رابطه علامت q باید در نظر گرفته شود. جدول ۱ــ۲ برخی از اختلاف پتانسیل‌ها (ولتاژهای) متداول را نشان می‌دهد.

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

$$V = \frac{U_E}{q} \qquad (۱۰ــ۱)$$

جدول ۱ــ۲ برخی از ولتاژهای متداول

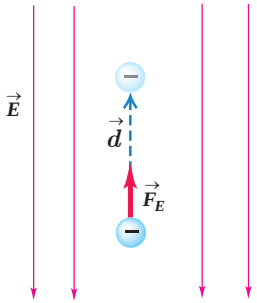
پتانسیل استراحت نورون	۶۰ــ۹۰mV
باتری قلمی	۱/۵V
باتری اتومبیل	۱۲V
برق خانگی در برخی از کشورها	۱۱۰ــ۱۲۰V
برق خانگی در ایران و اغلب کشورها	۲۲۰ــ۲۴۰V
مولد نیروگاه برق	۲۴۰۰۰V
خطوط انتقال برق ولتاژ بالا	10^4ــ10^6V
آذرخش	10^8ــ10^9V

الساندرو ولتا (۱۸۲۷ ــ ۱۷۴۵م)

الساندرو ولتا در ایتالیا به دنیا آمد. نخست به شغل معلمی روی آورد و تا سنّ سی‌سالگی به این کار ادامه داد. سپس در دانشگاه *پاویا* به استادی فیزیک برگزیده شد. در آنجا وظیفه داشت علاوه بر تدریس، آزمایشگاهی نیز دایر کند. وقتی در دانشگاه تدریس می‌کرد دستگاهی به نام الکتروفور را اختراع کرد و شرح جزئیات دستگاه را برای جوزف پریستلی فرستاد. ولتا با استفاده از این دستگاه قوانین فیزیکی زیادی را کشف کرد، در سال ۱۷۹۱ لوئیجی گالوانی استاد زیست‌شناسی و فیزیولوژی دانشگاه بولوگنا موقعی که سرگرم تشریح قورباغه‌ای در آزمایشگاهش بود، یک گیرهٔ برنجی را در نخاع جانور قرار داد و متوجه شد که پس از برخورد ماهیچهٔ پای قورباغه با چاقوی جراحی، خصوصاً وقتی قسمت بالای چاقو با گیره تماس پیدا کند، ماهیچه به‌شدت منقبض می‌شود و علت انقباض ماهیچهٔ پای قورباغه را الکتریسیته‌ای پنداشت که در بدن جانور به‌وجود می‌آید. اما ولتا برخلاف گالوانی عقیده داشت منشأ پیدایش این الکتریسیته از بدن جانور نیست و در نامه‌ای به تاریخ ۱۸۰۰ میلادی دربارهٔ پیلی توضیح داد که امروزه پیل ولتا خوانده می‌شود. پیل ولتا از تعدادی صفحات نقره، مقوای آغشته به یک محلول الکترولیت و روی درست شده است که به ترتیب روی هم چیده شده‌اند. این پیل یک منبع الکتریسیته بود که امروزه به نام باتری خشک مورد استفاده قرار می‌گیرد. اختراع ولتا راه تازه‌ای را در پیشرفت علم گشود و با استفاده از پیل ولتا، دانشمندان توانستند در مدت زمان کوتاهی آب را به دو عنصر اکسیژن و هیدروژن تجزیه کنند.

https://konkur.info

مثال ۱ــ۱۰



در نتیجهٔ برخورد پرتوهای کیهانی با مولکول‌های هوا، الکترون‌هایی از این مولکول‌ها کنده می‌شوند. در نزدیکی سطح زمین، میدان الکتریکی با بزرگی ۱۵۰N/C و جهت رو به پایین وجود دارد. الف) اگر یکی از این الکترون‌ها، تحت تأثیر این میدان ۵۰۰m رو به بالا جابه‌جا شود، انرژی پتانسیل الکتریکی آن چقدر تغییر می‌کند؟ ب) اختلاف پتانسیل الکتریکی دو نقطه‌ای که الکترون بین آنها جابه‌جا شده چقدر است؟

پاسخ : الف) با استفاده از رابطهٔ ۱ــ۸ برای تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی الکترون داریم :

$$\Delta U_E = -W_E = -|q|Ed\cos\theta = -(۱/۶۰\times۱۰^{-۱۹}\text{C})(۱۵۰\text{N/C})(۵۰۰\text{m})\cos۰^\circ$$
$$= -۱/۲۰\times۱۰^{-۱۴}\text{J}$$

ب) با استفاده از رابطهٔ ۱ــ۹ برای اختلاف پتانسیل داریم :

$$\Delta V = \frac{\Delta U_E}{q} = \frac{-۱/۲۰\times۱۰^{-۱۴}\text{J}}{-۱/۶۰\times۱۰^{-۱۹}\text{C}} = ۷/۵۰\times۱۰^{۴}\text{V} = ۷۵/۰\text{kV}$$

تمرین ۱ــ۹

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.

شما با انواع باتری‌ها که در وسیله‌های الکتریکی نظیر چراغ‌قوه یا گوشی تلفن همراه از آنها استفاده می‌شود (شکل ۱ــ۲۵) و نیز با باتری خودرو آشنایی دارید. باتری‌ها ولتاژهای متفاوتی دارند؛ مثلاً باتری خودروهای سواری معمولاً ۱۲ ولتی و باتری کامیون‌ها ۲۴ولتی 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 پایانهٔ مثبت منهای پتانسیل پایانهٔ منفی است. اگر پتانسیل پایانهٔ منفی را با V_- و پتانسیل پایانهٔ مثبت را با V_+ نشان دهیم، داریم :

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

شکل ۱ــ۲۵ برخی از باتری‌های متداول

بنابراین، وقتی می‌گوییم باتری خودرو ۱۲ ولت است، یعنی پتانسیل پایانهٔ مثبت به اندازهٔ ۱۲ ولت از پتانسیل پایانهٔ منفی آن بیشتر است؛ مثلاً اگر پتانسیل پایانهٔ منفی را برابر با ۴V− فرض کنیم، پتانسیل پایانهٔ مثبت برابر۸V+ خواهد شد. می‌توان پایانهٔ منفی را مرجع پتانسیل درنظر گرفت؛ در این صورت، پتانسیل پایانهٔ مثبت برابر ۱۲V+ می‌شود. معمولاً (به‌خصوص در مهندسی برق) پتانسیل زمین یا نقطه‌ای از مدار را برابر صفر می‌گیرند و به آن نقطه، اصطلاحاً نقطهٔ زمین می‌گویند و پتانسیل نقطه‌های دیگر را نسبت به آن می‌سنجند. نقطهٔ زمین را در مدارهای الکتریکی با نماد ⏚ نشان می‌دهند.

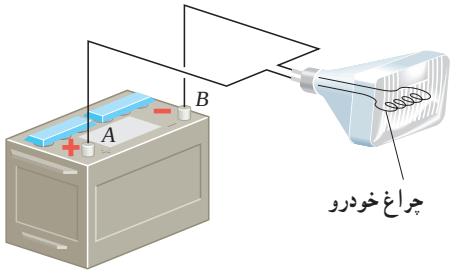
https://konkur.info

تمرین ۱ــ۱۰

اگر پایانهٔ مثبت یک باتری ۱۲ ولتی را مرجع پتانسیل درنظر بگیریم، پتانسیل پایانهٔ منفی آن چند ولت خواهد شد؟

مثال ۱ــ۱۱

اختلاف پتانسیل الکتریکی پایانه‌های باتری خودروی نشان داده شده در شکل برابر ۱۲/۰V است. اگر بار الکتریکی ۵۰/۰− کولن از پایانهٔ منفی به پایانهٔ مثبت باتری جابه‌جا شود، انرژی پتانسیل الکتریکی آن چقدر تغییر می‌کند؟



پاسخ : با استفاده از رابطهٔ ۱ــ۹ داریم :

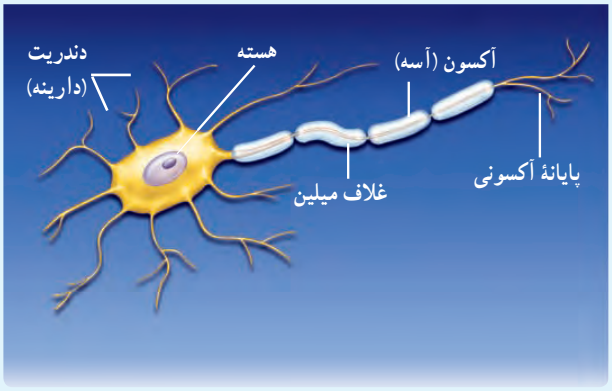
$$\Delta V = \frac{\Delta U_E}{q}$$

$$\Delta U = q\Delta V = q(V_+ - V_-) = (-۵۰/۰\,C)(+۱۲/۰\,V) = -۶۰۰\,J$$

بنابراین، انرژی پتانسیل الکتریکی این بار به اندازهٔ ۶۰۰ J کاهش یافته است.

فعالیت ۱ــ۵

عمل مغز اساساً برمبنای کنش‌ها و فعالیت‌های الکتریکی است. سیگنال‌های عصبی چیزی جز عبور جریان‌های الکتریکی نیست. مغز این سیگنال‌ها را دریافت می‌کند و اطلاعات به‌صورت سیگنال‌های الکتریکی در امتداد اعصاب گوناگون منتقل می‌شوند. هنگام انجام هر عمل خاصی، سیگنال‌های الکتریکی زیادی تولید می‌شوند. این سیگنال‌ها حاصل کنش الکتروشیمیایی در یاخته‌های عصبی موسوم به نورون هستند. دربارهٔ چگونگی کار نورون‌ها تحقیق و به کلاس گزارش کنید.



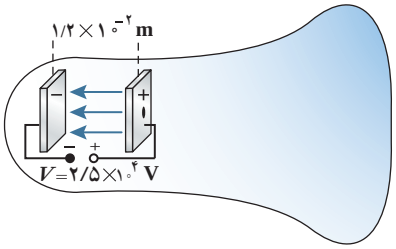
رابطهٔ اختلاف پتانسیل دو نقطه و اندازهٔ میدان الکتریکی یکنواخت : همان‌طور که پیش‌تر گفتیم اختلاف پتانسیل الکتریکی دو نقطه از میدان الکتریکی، مستقل از نوع و اندازهٔ بار جابه‌جا شده بین دو نقطه است. برای اختلاف پتانسیل ΔVی دو نقطه به فاصلهٔ d از یکدیگر، که خط واصل آنها هم‌راستا با میدان الکتریکی $\vec{E}$ است، رابطهٔ زیر برقرار است :

$$|\Delta V| = Ed \qquad (۱۱ــ۱)$$

در این رابطه ΔV برحسب ولت، E برحسب نیوتون بر کولن، و d برحسب متر است. بنابراین می‌توان نوشت : $1N/C=1V/m$.

https://konkur.info

مثال ۱ــ ۱۲



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

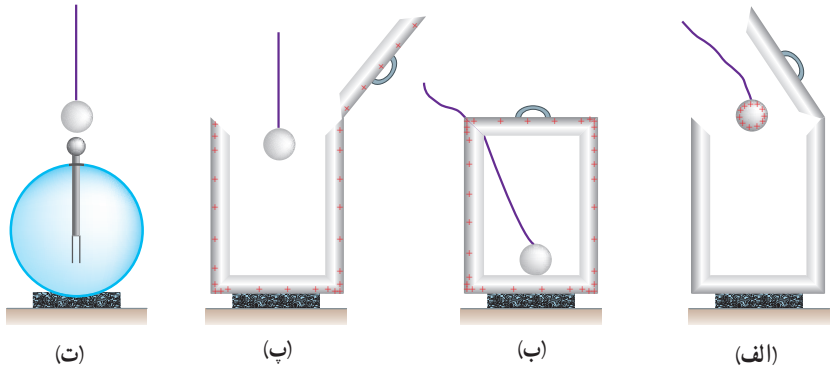
پاسخ : با استفاده از رابطهٔ ۱ــ۱۱ داریم :

$$E=\frac{|\Delta V|}{d}=\frac{2/5\times10^{4}\,V}{1/2\times10^{-2}\,m}=2/08\times10^{6}\,V/m\approx2/1\,MV/m$$

۱ــ۹ 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 فاراده در سال ۱۸۳۶ میلادی با انجام آزمایشی به این سؤال پاسخ داد.

آزمایش فاراده : ظرف رسانایی با درپوش فلزی را درنظر بگیرید که روی پایهٔ 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 ۱ــ ۲۶الف). اکنون گوی را با کف ظرف تماس می‌دهیم و سپس درپوش فلزی را می‌بندیم (شکل ۱ــ ۲۶ــ ب). آن‌گاه درپوش فلزی را با دستهٔ عایقش برمی‌داریم (شکل ۱ــ ۲۶ــ پ). پس از خارج کردن گوی فلزی از ظرف، آن را به کلاهک الکتروسکوپ نزدیک می‌کنیم. مشاهده می‌شود عقربهٔ الکتروسکوپ تکان نمی‌خورد (شکل ۱ــ ۲۶ــ ت). 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 ۱ــ۲۶ شرحی تصویری از آزمایش فاراده

۱ــ Cathode – Ray Tube

https://konkur.info

خوب است بدانید بار در سطح خارجی رسانا به‌گونه‌ای توزیع می‌شود که میدان الکتریکی در داخل رسانا صفر شود. پدیدهٔ القا که در علوم هشتم با آن آشنا شدید ناشی از همین واقعیت است. مثلاً در شکل ۱ــ۲۷ جسم رسانای خنثایی در میدان الکتریکی خارجی میلهٔ بارداری قرار گرفته است. وقتی یک رسانای خنثی را در یک میدان الکتریکی خارجی قرار می‌دهیم، بار طوری روی سطح خارجی توزیع می‌شود (القا 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 ۱ــ۲۷ نزدیک کردن میلهٔ باردار منفی به گوی فلزی خنثایی که روی پایهٔ عایقی قرار گرفته است، موجب ایجاد بارهای القایی مثبت و منفی در دو طرف گوی فلزی می‌شود.

فعالیت ۱ــ۶

الف) در شکل شخصی را داخل یک قفس توری فلزی می‌بینید که نوعی از قفس فاراده است. در مورد قفس فاراده 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.

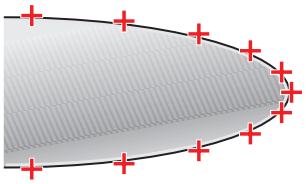
پ) با اعضای گروه خود آزمایش‌های دیگری را طراحی و اجرا کنید که نشان دهد بار اضافی داده شده به رسانا، روی سطح خارجی آن قرار می‌گیرد.

شکل ۱ــ۲۸ اسباب آزمایش چگونگی توزیع بار روی سطح خارجی یک جسم رسانای باردار

دیدیم که بار الکتریکی روی سطح خارجی رسانا توزیع می‌شود. برای اینکه دریابید بار الکتریکی داده‌شده به یک رسانا چگونه روی سطح خارجی آن توزیع می‌شود آزمایش زیر را در نظر بگیرید که اسباب آن در شکل ۱ــ۲۸ نشان داده شده است. یک جسم رسانای دوکی‌شکل را روی پایهٔ عایق قرار دهید و آن را با تماس با کلاهک مولد وان‌دوگراف باردار کنید. گلوله‌ای فلزی را که به دسته‌ای عایق متصل است با بخش پهن 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 با نوک تیز دوک بیشتر از انحراف صفحه‌ها با بخش پهن

https://konkur.info

آن است. آزمایش‌هایی از این دست نشان می‌دهد تراکم بار در نقاط تیزِ سطح جسم رسانای باردار از نقاط دیگر آن بیشتر است (شکل ۱ــ۲۹).



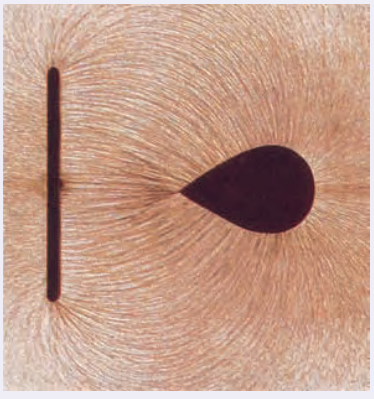
شکل ۱ــ۲۹ تراکم بار در نقاط تیزتر سطح یک جسم رسانای باردار بیشتر است.

فعالیت ۱ــ۷

در مورد برق‌گیرهای ساختمان تحقیق کنید و بررسی کنید آنها چگونه ساختمان‌ها را از گزند آذرخش در امان نگه می‌دارند.

خوب است بدانید: تخلیهٔ هاله‌ای[1]

همان‌طور که دیدیم در قسمت‌های نوک‌تیز اجسام رسانای باردار، تراکم بار الکتریکی بیشتر است. با اسباب آزمایش فعالیت ۱ــ۲ می‌توان نشان داد که خطوط میدان الکتریکی در نقاط نوک‌تیز متراکم‌تر و در نتیجه میدان الکتریکی قوی‌تر است (شکل الف). اگر بزرگی این میدان از یک مقدار حدّی فراتر برود، این میدان شدید می‌تواند الکترون‌ها را از مولکول‌های هوا بکَند 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 جِلِزّ وِلِز 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، *تخلیهٔ هاله‌ای* یا *آتش سنت‌المو*[2] گفته می‌شود.



الف) اسباب آزمایش فعالیت ۱ــ۲ به‌طوری‌که در آن الکترودها با یک صفحه تخت رسانا و یک رسانای دوکی‌شکل جایگزین شده‌اند. میدان الکتریکی در نقاط تیزتر جسم دوکی‌شکل قوی‌تر است.

ب) تخلیهٔ هاله‌ای

۱ــ Corona discharge

۲ــ St. Elmo fire

https://konkur.info

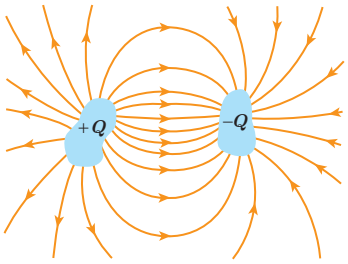
۱ــ۱۰ خازن

شکل ۱ــ۳۰ انرژی فلاش دوربین در یک خازن ذخیره شده است.

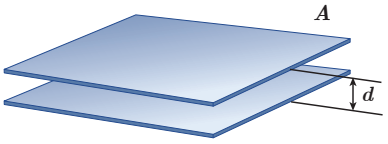
خازن وسیله‌ای الکتریکی است که می‌تواند بار و انرژی الکتریکی را در خود ذخیره کند؛ مثلاً باتری‌های یک دوربین با باردار کردن یک خازن، انرژی را در خازن فلاش دوربین ذخیره می‌کنند (شکل ۱ــ۳۰). باتری‌ها معمولاً می‌توانند انرژی را فقط با آهنگ نسبتاً کمی به مدار بدهند که این آهنگ برای گسیل نور از فلاش دوربین بسیار کم است، اما وقتی خازن باردار می‌شود، می‌تواند انرژی را با آهنگ بسیار زیادی برای فلاش زدن آماده کند.

شکل ۱ــ۳۱ چند خازن را در اندازه‌ها و شکل‌های مختلف نشان می‌دهد. شکل ۱ــ۳۲ اجزای اصلی یک خازن معمولی را نشان می‌دهد که شامل دو رسانا با هر شکلی است. این رساناها را صفحه‌های خازن می‌نامیم.

شکل ۱ــ۳۱ تصویری از چند خازن مختلف



شکل ۱ــ۳۲ اجزای اصلی یک خازن باردار



شکل ۱ــ۳۳ یک خازن تخت، از دو صفحه با مساحت A ساخته شده است که به فاصلهٔ d از هم قرار گرفته‌اند.

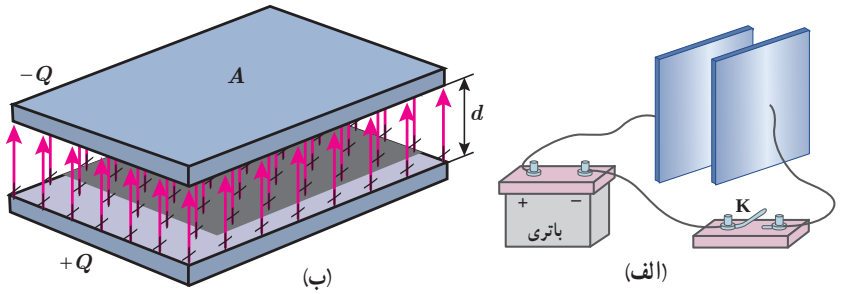
شکل ۱ــ۳۳ آرایش خازنی موسوم به خازن‌تخت[1] را نشان می‌دهد که شامل دو صفحهٔ رسانای موازی با مساحت A است که به فاصلهٔ d (که در برابر ابعاد صفحه‌ها ناچیز است) از هم قرار گرفته‌اند. گرچه نمادی که برای نشان دادن یک خازن به‌کار می‌بریم (⊣⊢) مبتنی بر شکل یک خازن تخت است، ولی از آن برای نشان دادن خازن‌ها با هر شکلی استفاده می‌شود. خازن‌ها به‌طور گسترده‌ای در مدارهای الکترونیکی وسایلی مانند رادیو، تلویزیون، رایانه، گوشی همراه و... به‌کار می‌روند؛ مثلاً شکل ۱ــ۳۴ مدار یک تقویت‌کننده (آمپلی‌فایر) را نشان می‌دهد که در آن چندین خازن به‌کار رفته است. برخی از این خازن‌ها با پیکان‌هایی 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 ۱ــ۳۵ــ الف). وقتی کلید K بسته (وصل) شود بار از طریق سیم‌های رسانا جریان می‌یابد. این شارش بار تا هنگامی ادامه پیدا می‌کند که اختلاف پتانسیل میان دو صفحهٔ خازن با اختلاف پتانسیل میان دو پایانهٔ 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 به‌صورت Q نشان می‌دهند که همان بار صفحهٔ مثبت است. بین دو صفحهٔ خازن باردار یک میدان الکتریکی ایجاد می‌شود که خطوط این میدان از صفحهٔ مثبت به منفی است (شکل ۱ــ۳۵ــ ب).

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

۱ــ parallel – plate capacitor

https://konkur.info



شکل ۱ــ ۳۵ الف) یک روش برای باردار کردن خازن، اتصال صفحه‌های آن به یک باتری است. ب) صفحه‌های این خازن بارهایی هم‌اندازه و با علامت مخالف پیدا می‌کنند. میدان الکتریکی از صفحهٔ مثبت به سمت صفحهٔ منفی است.

ظرفیت خازن : اگر اختلاف پتانسیل بین صفحه‌های خازن (ΔV) را زیاد کنیم، بار خازن (Q) نیز به همان نسبت زیاد می‌شود. به‌عبارتی 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 اندازهٔ بار خازن و نیز اختلاف پتانسیل دو صفحهٔ آن بستگی ندارد. عبارت ظرفیت الکتریکی را نخستین بار ولتا در تشابه با ظرفیت گرمایی به‌کار برد. بنابه دلایل تاریخی، قدرمطلق اختلاف پتانسیل ΔV بین دو صفحهٔ خازن را با V نمایش می‌دهند. بنابراین :

$$C=\frac{Q}{V} \qquad (۱۲\text{ــ}۱)$$

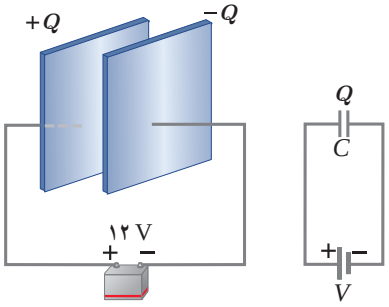
در رابطهٔ ۱ــ۱۲ یکای بار الکتریکی، کولن (C)، یکای اختلاف پتانسیل، ولت (V) و بنابراین یکای ظرفیت، کولن بر ولت (C/V) می‌شود که به پاس خدمات مایکل فاراده، فاراد (F) نامیده شده است. فاراد یکای بسیار بزرگی است و عملاً ظرفیت اکثر خازن‌های متداول در محدودهٔ پیکوفاراد (10^{-12}F) تا میلی‌فاراد (10^{-3}F) است. گرچه امروزه فنّاوری ساخت خازن‌ها، دستیابی به ظرفیت‌هایی بسیار بیشتر را نیز ممکن ساخته است.

مثال ۱ــ ۱۳

صفحه‌های خازنی را مطابق شکل به پایانه‌های یک باتری با اختلاف پتانسیل ۱۲V وصل می‌کنیم. اگر بار خازن ۲۴μC شود،

الف) ظرفیت خازن را محاسبه کنید.

ب) اگر این خازن را به اختلاف پتانسیل ۳۶ V وصل کنیم، بار الکتریکی آن چقدر می‌شود؟



پاسخ :

الف) با استفاده از رابطهٔ ۱ــ۱۲ داریم :

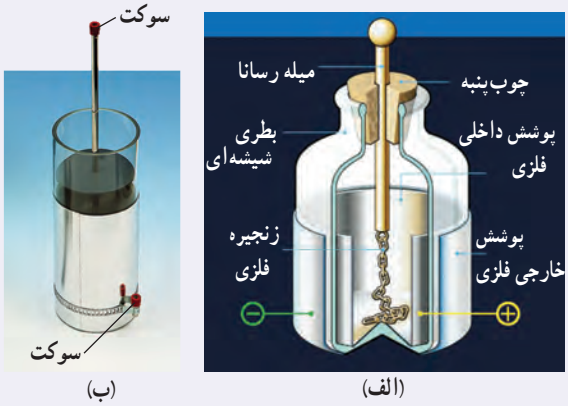
$$C=\frac{Q}{V}=\frac{۲۴\times۱۰^{-۶}\text{C}}{۱۲\text{V}}=۲/۰\times۱۰^{-۶}\text{F}=۲/۰\mu\text{F}$$

ب) با توجه به اینکه ظرفیت خازن همواره مقدار ثابتی است از ظرفیت به‌دست آمده در قسمت الف استفاده می‌کنیم. آنگاه با استفاده از رابطهٔ ۱ــ۱۲ می‌توان نوشت :

$$Q=CV=(۲/۰\times۱۰^{-۶}\text{F})(۳۶\text{ V})=۷۲\times۱۰^{-۶}\text{C}=۷۲\mu\text{C}$$

https://konkur.info

خوب است بدانید: بطری لیدن[۱]

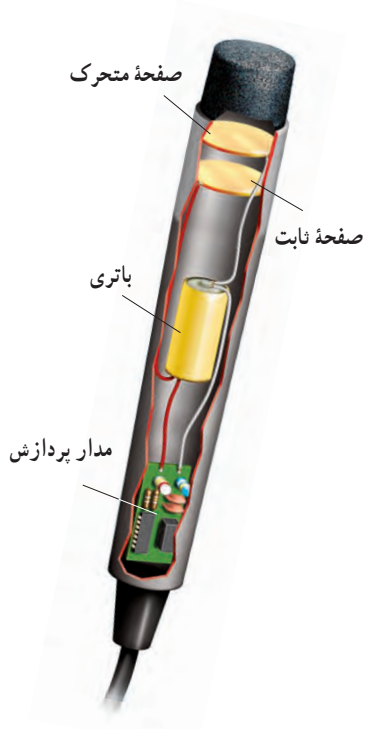


بطری لیدن، قدیمی‌ترین نوع خازن است که در میانهٔ سدهٔ هجدهم در شهر لیدن که امروزه در هلند واقع شده است، ساخته شد. در یک نوع ابتدایی، این خازن از یک بطری شیشه‌ای ساخته شده است که سطح درونی و بیرونی آن با ورقهٔ نازک قلع پوشیده شده است. ورقهٔ درونی توسط سیم یا زنجیری فلزی به میلهٔ فلزی ثابت داخل بطری اتصال دارد (شکل الف). امروزه برای باردار کردن بطری لیدن، روی بدنهٔ فلزی و سر میلهٔ فلزی سوکت (جای فیش)هایی نصب شده است (شکل ب) که از طریق آنها، خازن توسط قطب‌های یک مولد ولتاژبالا مانند مولد وان‌دوگراف یا مولد *ویم‌چرست*[۲] باردار می‌شود. ظرفیت یک بطری لیدن با اندازهٔ متوسط از مرتبهٔ ۱nF است. آزمایش با بطری لیدن خطرناک است و باید تحت نظارت مربی یا دبیر محترم انجام شود.

ظرفیت خازن تخت : آزمایش و محاسبه نشان می‌دهد که ظرفیت یک خازن تخت با مساحت صفحه های A وفاصلهٔ جدایی صفحه‌های d، از رابطهٔ زیر به دست می‌آید :

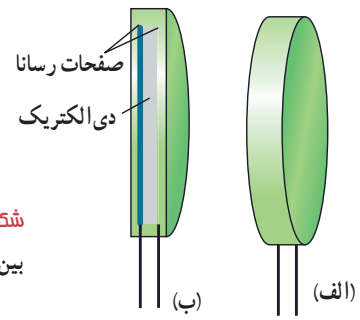
$$C_{\circ}=\varepsilon_{\circ}\frac{A}{d} \qquad (۱ـ۱۳)$$

که در آن $\varepsilon_{\circ}$ همان ضریب گذردهی الکتریکی خلأ ($\varepsilon_{\circ}=۸/۸۵\times۱۰^{-۱۲}\ F/m$) است. مثالی کاربردی از این رابطه، میکروفون خازنی است که براثر تغییر ظرفیت یک خازن تخت سیگنال الکتریکی ایجاد می‌کند (شکل ۱ـ۳۶).



شکل ۱ـ۳۶ در یک میکروفون خازنی، با ارتعاش صفحهٔ متحرک(دیافراگم) خازن براثر صدا، فاصلهٔ صفحه‌های خازن تغییر می‌کند. بنابراین ظرفیت خازن تخت تغییر می‌کند که به ایجاد یک سیگنال الکتریکی می‌انجامد.

حال اگر فضای میان صفحه‌های یک خازن را با ماده‌ای عایق (مانند کاغذ یا پلاستیک) که به آن دی‌الکتریک گفته می‌شود پُر کنیم (شکل ۱ـ۳۷) برای ظرفیت خازن چه پیش می‌آید؟ مایکل فاراده نخستین بار در سال ۱۸۳۷ میلادی، با استفاده از وسایل ساده‌ای دریافت که ظرفیت خازن با ضریبی موسوم به ثابت دی‌الکتریک مادهٔ عایق (که آن را با κ[۳] نشان می‌دهند) افزایش می‌یابد؛ یعنی اگر ظرفیت



شکل ۱ـ۳۷ الف) بیرون و ب) درون یک خازن که بین صفحه‌های فلزی آن لایهٔ عایقی قرارگرفته است.

۱ـ Leyden jar

۲ ـ Wimshurst Machine

۳ـ از حروف الفبای یونانی که کاپا خوانده می‌شود.

https://konkur.info

خازن بدون دی‌الکتریک را با C_0 نمایش دهیم، آن‌گاه ظرفیت خازن با دی‌الکتریک برابر است با

$$C = \kappa C_0 \qquad (۱۴_۱)$$

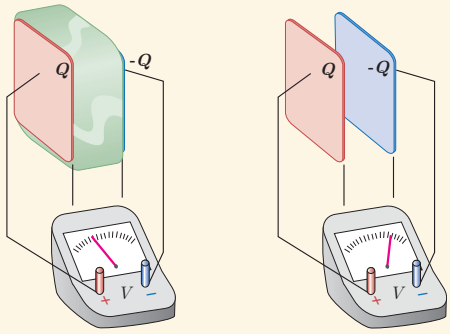
جدول ۱ــ۳ ثابت دی‌الکتریک چند مادهٔ عایق را نشان می‌دهد.

جدول ۱ــ۳ــ ثابت دی الکتریک برخی عایق‌ها در دمای $20^\circ C$

مادهٔ دی‌الکتریک	ثابت دی‌الکتریک
هوای ۱atm	۱/۰۰۰۶
تفلون	۲/۱
پارافین	۲/۲
پلی‌استیرن	۲/۶
میلار	۳/۱
پی‌وی‌سی	۳/۴
کاغذ	۳/۵
کوارتز	۴/۳
شیشهٔ پیرکس	۵
میکا	۷
آب خالص	۸۰
تیتانید استرانسیوم	۳۱۰

پرسش ۱ــ۸

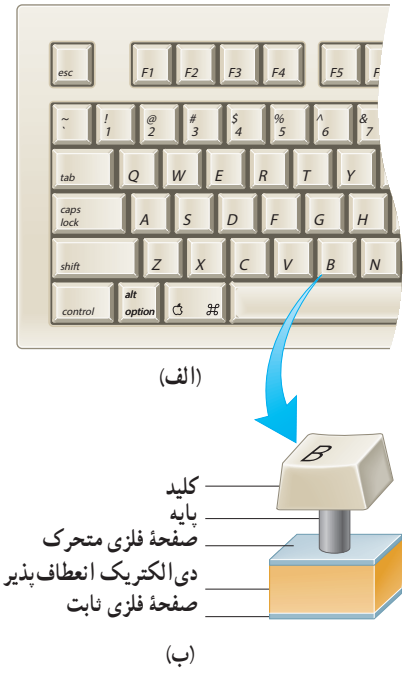
در شکل زیر صفحه‌های باردار یک خازن تخت را که بین آنها هواست، به ولت‌سنج وصل می‌کنیم. با وارد کردن دی‌الکتریک در بین صفحه‌ها، اختلاف پتانسیل دو صفحه کاهش می‌یابد. علت آن را توضیح دهید (توجه کنید که این آزمایش با بیشتر ولت‌سنج‌های معمولی و رایج ممکن نیست).



مثال ۱ــ۱۴

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 صفحهٔ فلزی متحرک متصل است. این صفحهٔ فلزی خود توسط یک دی‌الکتریک انعطاف‌پذیر از صفحهٔ فلزی ثابتی جدا شده است و درواقع این دو صفحه یک خازن تخت را تشکیل می‌دهند (شکل ب). با فشار دادن کلید، صفحهٔ متحرک به صفحهٔ ثابت نزدیک می‌شود و ظرفیت خازن افزایش می‌یابد. این تغییر ظرفیت به‌صورت سیگنالی الکتریکی توسط مدارهای الکترونیکی رایانه آشکار می‌شود و بدین‌ترتیب، مشخص می‌شود که کدام کلید فشار داده شده است.

فاصلهٔ بین صفحه‌ها عموماً $۵/۰۰ \times ۱۰^{-۳}\,m$ است که این فاصله با فشار دادن کلید به $۰/۱۵۰ \times ۱۰^{-۳}\,m$ می‌رسد. مساحت صفحه‌ها $۹/۵۰ \times ۱۰^{-۵}\,m^۲$ است و خازن از ماده‌ای با ثابت دی‌الکتریک ۳/۵۰ پر شده است. تغییر ظرفیتی که با فشار دادن کلید، توسط مدارهای الکترونیکی رایانه آشکار می‌شود چقدر است؟



(الف)

(ب)

https://konkur.info

پاسخ : با استفاده از رابطه‌های ۱ــ۱۳ و ۱ــ۱۴ ظرفیت خازن پیش از فشار دادن کلید برابر است با

$$C=\kappa\varepsilon_{\circ}\frac{A}{d}=۳/۵\circ(۸/۸۵\times۱\circ^{-۱۲}\,\mathrm{F/m})\frac{(۹/۵\circ\times۱\circ^{-۵}\,\mathrm{m^{۲}})}{(۵/\circ\circ\times۱\circ^{-۳}\,\mathrm{m})}$$

$$=\circ/۵۸۹\times۱\circ^{-۱۲}\mathrm{F}=\circ/۵۸۹\mathrm{pF}$$

پس از فشرده شدن کلید، فاصلهٔ بین صفحه‌ها به $۱\circ^{-۳}\mathrm{m}\times\circ/۱۵\circ$ می‌رسد و با محاسبه‌ای مشابه به $C=۱۹/۶\times۱\circ^{-۱۲}\mathrm{F}=۱۹/۶\mathrm{pF}$ می‌رسیم. بنابراین، تغییر ظرفیت خازن که به‌صورت سیگنالی آشکار می‌شود از تفاضل دو مقدار بالا به‌دست می‌آید :

$$\Delta C=۱۹/۶\mathrm{pF}-\circ/۵۸۹\mathrm{pF}=۱۹/\circ\mathrm{pF}$$

فعالیت ۱ــ۸

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

شکل ۱ــ۳۸ نقش‌های لیچنبرگ. فروریزش الکتریکی باعث تشکیل مسیرهای رسانشی سرخس شکلی در دی الکتریک شده است.

فروریزش الکتریکی : اثر دیگر حضور دی الکتریک‌ها درخازن، افزایش حداکثر ولتاژ قابل تحمل خازن است. اگر اختلاف پتانسیل دو صفحهٔ یک خازن را به اندازهٔ کافی زیاد کنیم، تعدادی از الکترون‌های اتم‌های مادهٔ دی‌الکتریک، توسط میدان الکتریکی ایجادشده بین دو صفحه، کنده می‌شوند و مسیرهایی رسانا درون دی‌الکتریک[۱] ایجاد می‌شود (شکل ۱ــ۳۸) که سبب تخلیهٔ خازن می‌گردد. به این پدیده فروریزش الکتریکی[۲] مادهٔ دی‌الکتریک می‌گویند. فروریزش الکتریکی در عایق بین دو صفحهٔ خازن‌ها معمولاً، با ایجاد یک جرقه همراه است و در بیشتر مواقع خازن را می‌سوزاند. خازن‌ها معمولاً با مقدار ظرفیت آنها و اختلاف پتانسیل بیشینه‌ای که می‌توانند تحمل کنند مشخص می‌شوند (شکل ۱ــ۳۹).

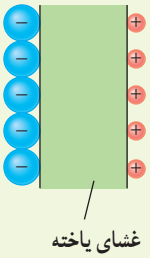
شکل ۱ــ۳۹ تصویری از یک خازن که روی آن ظرفیت و اختلاف پتانسیل بیشینهٔ قابل تحمل نوشته شده است.

۱ــ موسوم به نقش‌های لیچنبرگ (Lichtenberg)

۲ــ Electrical Breakdown

https://konkur.info

تمرین ۱ــ۱۱



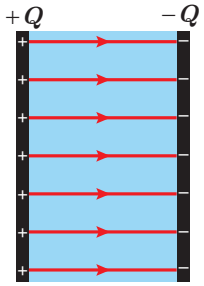
یک یاختهٔ عصبی(نورون) را می‌توان با یک خازن تخت مدل‌سازی کرد، به‌طوری‌که غشای سلول به عنوان دی الکتریک و یون های باردار با علامت مخالف که در دو طرف غشا هستند به عنوان بارهای روی صفحه‌های خازن عمل کنند (شکل روبه‌رو). ظرفیت یک سلول عصبی و تعداد یون های لازم (بافرض آنکه هر یون یک بار یونیده باشد)، برای آنکه یک اختلاف پتانسیل ۸۵mV ایجاد شود چقدر است؟ فرض کنید غشا دارای ثابت دی الکتریک $\kappa = ۳/۰$، ضخامت $۱۰/۰\ nm$ و مساحت سطح $۱/۰ \times ۱۰^{-۱۰}\ m^۲$ است.

فعالیت ۱ــ۹

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

۱ــ۱۱ انرژی خازن

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



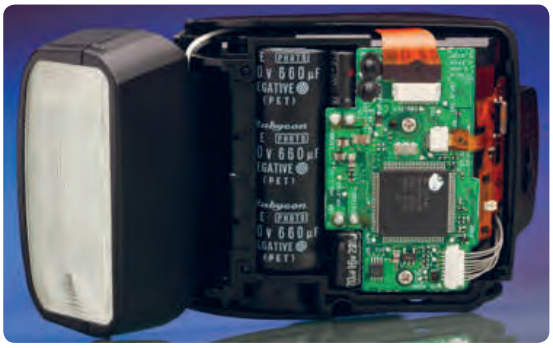
شکل ۱ــ۴۰ انرژی در میدان الکتریکی بین صفحات خازن ذخیره می‌شود.

این انرژی به‌صورت انرژی پتانسیل الکتریکی در میدان الکتریکی فضای بین صفحه‌های خازن ذخیره می‌شود (شکل ۱ــ۴۰). می‌توان نشان داد انرژی پتانسیل ذخیره شده در خازن برابر است با

$$U_{\text{خازن}} = \frac{۱}{۲}QV = \frac{۱}{۲}CV^۲ = \frac{۱}{۲}\frac{Q^۲}{C} \qquad (۱۵ــ۱)$$

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

مثال ۱ــ۱۵



مدار یک فلاش عکاسی، انرژی را با ولتاژ ۳۳۰V، در یک خازن $۶۶۰\ \mu F$، ذخیره می‌کند. الف) چه مقدار انرژی الکتریکی در این خازن ذخیره می‌شود؟ ب) اگر تقریباً همهٔ این انرژی در مدت $۱/۰\ ms$ آزاد شود، توان متوسط خروجی فلاش چقدر است؟

https://konkur.info

پاسخ : با توجه به رابطهٔ ۱ــ۱۵ داریم

$$U=\frac{۱}{۲}CV^{۲}=\frac{۱}{۲}(۶۶۰\times۱۰^{-۶}\mathrm{F})\,(۳۳۰\mathrm{V})^{۲}=۳۵/۹\ \mathrm{J}$$

با توجه به تعریف توان داریم :

$$P=\frac{U}{t}=\frac{۳۵/۹\mathrm{J}}{۱/۰\times۱۰^{-۳}\mathrm{s}}=۳/۶\times۱۰^{۴}\mathrm{J/s}=۳۶\mathrm{kW}$$

که این در تأیید گفته ای است که در ابتدای بخش ۱ــ۱۰ در مورد خازن بیان کردیم و گفتیم یک خازن باردار می‌تواند انرژی را با آهنگ بسیار بیشتری از یک باتری برای فلاش دوربین مهیّا کند.

مثال ۱ــ۱۶: دستگاه رفع لرزش نامنظم قلب (دِفیبریلاتور[۱])

توانایی خازن برای ذخیرهٔ انرژی پتانسیل الکتریکی، اساس کار دستگاه‌های رفع لرزشی است که برای توقف لرزش بطنی افراد دچار حملهٔ قلبی به‌کار می‌رود. در این بیماری، انبساط و انقباض ناهماهنگ قلب باعث می‌شود خون به‌درستی به مغز فرستاده نشود. در این دستگاه یک باتری، خازنی را تا اختلاف پتانسیل حدود ۶kV باردار می‌کند. صفحه‌های رابط (کفشک‌ها[۲]) روی قفسهٔ سینهٔ بیمار قرار داده می‌شوند و خازن بخشی از انرژی ذخیره شدهٔ خود را از طریق کفشک‌ها به بدن بیمار منتقل می‌کند. هدف از این کار این است که قلب به‌طور موقت از کار بیفتد و پس از آن با آهنگ منظم و طبیعی خود به‌کار افتد.

اگر ظرفیت خازن این دستگاه ۱۱/۰μF باشد و با ولتاژ ۶/۰۰kV شارژ شود و سپس تمام انرژی آن از طریق کفشک‌ها به درون بدن بیمار تخلیه شود،

الف) چقدر انرژی در بدن بیمار تخلیه شده است؟ ب) چه مقدار بار الکتریکی از بدن بیمار عبور کرده است؟ پ) اگر تخلیهٔ انرژی تقریباً در مدت ۲/۰۰ms صورت پذیرفته باشد این انرژی با چه توان متوسطی در بدن بیمار تخلیه شده است؟

پاسخ : الف) انرژی ذخیره‌شده در خازن با استفاده از رابطهٔ ۱ــ۱۵ به‌دست می‌آید :

$$U=\frac{۱}{۲}CV^{۲}=\frac{۱}{۲}(۱۱/۰\times۱۰^{-۶}\mathrm{F})(۶/۰۰\times۱۰^{۳}\mathrm{V})^{۲}=۱۹۸\mathrm{J}$$

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

ب) بار اولیهٔ روی صفحات خازن برابر است با

$$Q=CV\Rightarrow Q=(۱۱/۰\times۱۰^{-۶}\mathrm{F})\,(۶/۰۰\times۱۰^{۳}\mathrm{V})=۶/۶۰\times۱۰^{-۲}\mathrm{C}$$

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

پ) توان متوسط انرژی تخلیه‌شده در بدن بیمار برابر است با

$$P=\frac{U}{t}=\frac{۱۹۸\mathrm{J}}{۲/۰۰\times۱۰^{-۳}\mathrm{s}}=۹۹/۰\mathrm{kW}$$

۱ــ Defibrillator ۲ــ Paddles

https://konkur.info

۱ــ۱ و ۱ــ۲ بارالکتریکی، پایستگی و کوانتیده بودن بار

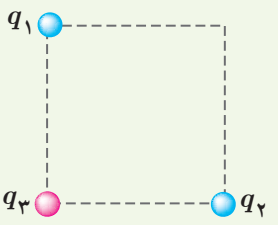
۱ یک میلهٔ پلاستیکی را با پارچهٔ پشمی مالش می‌دهیم. پس از مالش، بار الکتریکی میلهٔ پلاستیکی $-۱۲/۸\,nC$ می‌شود.
الف) بار الکتریکی ایجاد شده در پارچهٔ پشمی چقدر است؟
ب) تعداد الکترون‌های منتقل‌شده از پارچهٔ پشمی به میلهٔ پلاستیکی را محاسبه کنید.

۲ الف) بار الکتریکی اتم و هستهٔ اتم کربن ($_{۶}^{۱۲}C$) چند کولن است؟
ب) بار الکتریکی اتم کربن یک بار یونیده (C^{+}) چقدر است؟

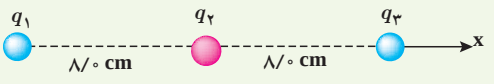
۱ــ۳ قانون کولن

۳ دو گوی رسانا، کوچک و یکسان به بارهای $q_۱=۴/۰\,nC$ و $q_۲=-۶/۰\,nC$ را با هم تماس می‌دهیم و سپس تا فاصلهٔ $r=۳۰\,cm$ از هم دور می‌کنیم. نیروی برهم‌کنش الکتریکی بین دو گوی را محاسبه کنید. این نیرو رانشی است یا ربایشی؟

۴ سه ذرّهٔ باردار $q_۱$، $q_۲$ و $q_۳$ مطابق شکل در سه رأس مربعی به ضلع $۳m$ ثابت شده‌اند. اگر $q_۱=q_۲=-۵\mu C$ و $q_۳=+۰/۲\mu C$ باشد، نیروی خالص الکتریکی وارد بر بار $q_۳$ را برحسب بردارهای یکهٔ $\vec{i}$ و $\vec{j}$ تعیین کنید.



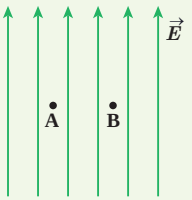
۵ بارهای الکتریکی نقطه‌ای $q_۱=-۴/۰\,nC$، $q_۲=+۵/۰\,nC$ و $q_۳=-۴/۰\,nC$ مطابق شکل، در جای خود ثابت شده‌اند. نیروی خالص الکتریکی وارد بر هر یک از بارهای $q_۲$ و $q_۳$ را محاسبه کنید.



۶ در شکل روبه‌رو، دو گوی مشابه به جرم $۲/۵g$ و بار یکسان مثبت q در فاصلهٔ $۱/۰\,cm$ از هم قرار دارند، به‌طوری که گوی بالایی به حالت معلق مانده است.
الف) اندازهٔ بار q را به‌دست آورید.
ب) تعداد الکترون‌های کنده‌شده از هر گوی چقدر است؟

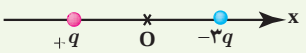
۱ــ۴، ۱ــ۵ و ۱ــ۶ میدان الکتریکی، میدان الکتریکی حاصل از یک ذرّهٔ باردار و خطوط میدان الکتریکی

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



۸ هستهٔ اتم آهن شعاعی در حدود $۴/۰\times۱۰^{-۱۵}m$ دارد و تعداد پروتون‌های آن ۲۶ عدد است. الف) بزرگی نیروی دافعهٔ بین دو پروتون این هسته که به فاصلهٔ $۴/۰\times۱۰^{-۱۵}m$ از هم قرار دارند چقدر است؟ ب) اندازهٔ میدان الکتریکی ناشی از هسته در فاصلهٔ $۱/۰\times۱۰^{-۱۰}m$ از مرکز هسته چقدر است؟

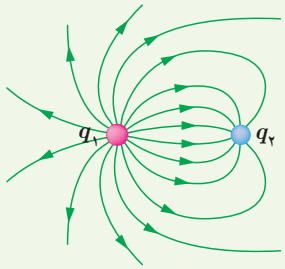
۹ شکل زیر، دو ذرّهٔ باردار را نشان می‌دهدکه در جای خود روی محور x ثابت شده‌اند. بارها در فاصلهٔ یکسان a از مبدأ مختصات (نقطهٔ O) قرار دارند.
الف) در کجای این محور (غیر از بی‌نهایت) نقطه‌ای وجود دارد که در آنجا میدان الکتریکی برایند برابر با صفر است؟ ب) بزرگی و جهت میدان الکتریکی برایند در مبدأ مختصات را بیابید.



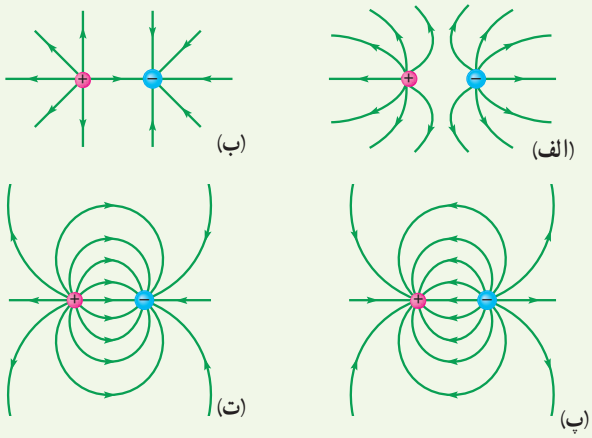
۱۰ در یک میدان الکتریکی یکنواخت به بزرگی $۵/۰\times۱۰^{۵}N/C$ که جهت آن قائم و رو به پایین است، ذرّهٔ بارداری به جرم $۲/۰g$ معلّق و به حال سکون قرار دارد. اگر $g=۱۰\,N/kg$ باشد، اندازه و نوع بار الکتریکی ذرّه را مشخص کنید.

https://konkur.info

۱۱ خطوط میدان الکتریکی برای دو کرهٔ رسانای باردار کوچک در شکل زیر نشان داده شده است. نوع بار هر کره را تعیین کرده و اندازهٔ آنها را مقایسه کنید.



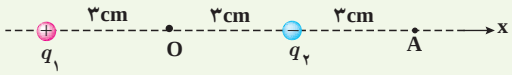
۱۲ در شکل‌های زیر، اندازهٔ دو بار، یکسان ولی علامت آنها مخالف هم است. کدام آرایش‌های خطوط میدان نادرست است؟ دلیل آن را توضیح دهید.



۱۳ دو بار الکتریکی نقطه‌ای غیرهمنام $q_1=+1/0\,nC$ و $q_2=-1/0\,nC$ مطابق شکل زیر به فاصلهٔ ۶/۰cm از یکدیگر قرار دارند.

الف) جهت و اندازهٔ میدان الکتریکی را در نقطه‌های O و A به‌دست آورید.

ب) آیا بر روی محور، نقطه‌ای وجود دارد که میدان خالص در آن صفر شود؟



۱۴ بادکنک باردار شکل زیر را به آب نزدیک کرده‌ایم. توضیح دهید چرا آب به‌جای اینکه به‌طور قائم فرو ریزد، خمیده می‌شود؟

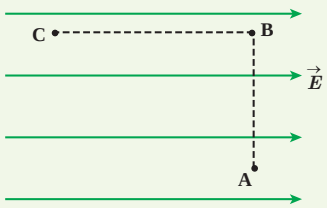
۱ــ۷ و ۱ــ۸ انرژی پتانسیل الکتریکی و پتانسیل الکتریکی

۱۵ مطابق شکل زیر، بار $q=+50\,nC$ را در میدان الکتریکی یکنواخت $8/0\times10^5\,N/C$ نخست از نقطهٔ A تا نقطهٔ B و سپس تا نقطهٔ C جابه‌جا می‌کنیم. اگر $AB=0/20\,m$ و $BC=0/40\,m$ باشد، مطلوب است :

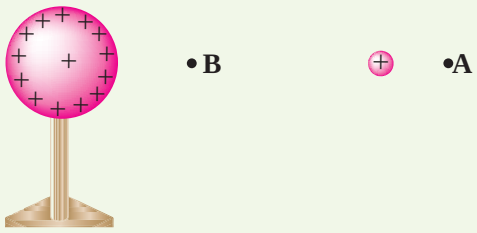
الف) نیروی الکتریکی وارد بر بار q،

ب) کاری که نیروی الکتریکی در این جابه‌جایی انجام می‌دهد،

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

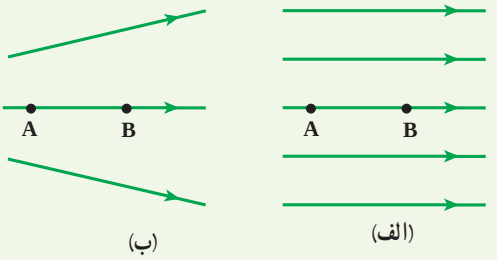


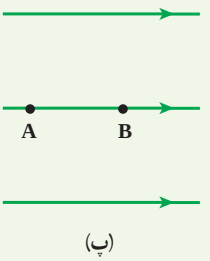
۱۶ در شکل زیر ذرّهٔ باردار مثبت و کوچکی را از نقطهٔ A به سمت کرهٔ باردار که روی پایهٔ عایقی قرار دارد، نزدیک می‌کنیم و در نقطهٔ B قرار می‌دهیم. (الف) در این جابه‌جایی، کار نیروی الکتریکی مثبت است یا منفی؟ (ب) انرژی پتانسیل ذرّهٔ باردار در این جابه‌جایی چگونه تغییر می‌کند؟ (پ) پتانسیل نقطه‌های A و B را با هم مقایسه کنید.



https://konkur.info

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



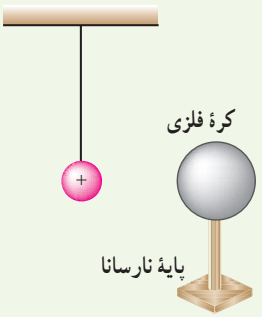


۱۸ دو صفحهٔ رسانا با فاصلهٔ ۲/۰۰ cm را موازی یکدیگر قرار می‌دهیم و آنها را به‌اختلاف پتانسیل ۱۰۰V وصل می‌کنیم. درنتیجه، یکی از صفحه‌ها به‌طور منفی و دیگری به‌طور مثبت باردار می‌شوند و میان دو صفحه میدان الکتریکی یکنواختی به‌وجود می‌آید. اندازهٔ این میدان الکتریکی را حساب کنید و با توجه به جهت خطوط میدان الکتریکی در فضای بین دو صفحه توضیح دهید که کدام‌یک از دو صفحه پتانسیل الکتریکی بیشتری دارند.

۱۹ بار الکتریکی $q=-۴۰\,nC$ از نقطه‌ای با پتانسیل الکتریکی $V_۱=-۴۰\,V$ تا نقطه‌ای با پتانسیل $V_۲=-۱۰\,V$ 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.

۱ــ۹ توزیع بار الکتریکی در اجسام رسانا

۲۰ یک کرهٔ فلزی بدون بار الکتریکی را که روی پایهٔ نارسانایی قرار دارد، به آونگ الکتریکی بارداری نزدیک می‌کنیم. با ذکر دلیل توضیح دهید که چه اتفاقی می‌افتد.



۱ــ۱۰ خازن

۲۱ اگر ساختمان یک خازن را تغییر ندهیم، در هریک از شرایط زیر ظرفیت خازن چگونه تغییر می‌کند؟

الف) بار آن دو برابر شود.

ب) اختلاف پتانسیل میان صفحه‌های آن سه برابر شود.

۲۲ اختلاف پتانسیل بین دو صفحهٔ یک خازن را از ۲۸ ولت به ۴۰ ولت افزایش می‌دهیم. اگر با این کار ۱۵ میکروکولن بر بار ذخیره شده در خازن افزوده شود، ظرفیت خازن را حساب کنید.

۲۳ ظرفیت یک خازن تخت با فاصله صفحات ۱/۰mm که بین صفحه‌های آن هوا قرار دارد، برابر ۱/۰F است. مساحت صفحه‌های این خازن چقدر است؟ از این مسئله چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

۲۴ یک خازن تخت به یک باتری بسته شده است تا باردار شود. پس از مدتی، درحالی‌که باتری همچنان به خازن متصل است، فاصلهٔ بین صفحه‌های خازن را دو برابر می‌کنیم. کدام‌یک از موارد زیر درست است؟

الف) میدان الکتریکی میان صفحه‌ها نصف می‌شود.

ب) اختلاف پتانسیل میان صفحه‌ها نصف می‌شود.

پ) ظرفیت خازن دو برابر می شود.

ت) بار روی صفحه‌ها تغییر نمی‌کند.

https://konkur.info

۲۵ مساحت هریک از صفحه‌های خازن تختی، $1/00\ m^2$ و فاصلهٔ دو صفحه از هم، $0/500\ mm$ است. عایقی با ثابت دی‌الکتریک ۴/۹ بین دو صفحه قرار داده شده است. ظرفیت خازن را تعیین کنید.

۱ـ۱۱ انرژی خازن

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

۲۷ ظرفیت خازن تختی $20nF$ و بار الکتریکی آن $180nC$ است.

الف) انرژی ذخیره‌شده در این خازن چقدر است؟

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

https://konkur.info

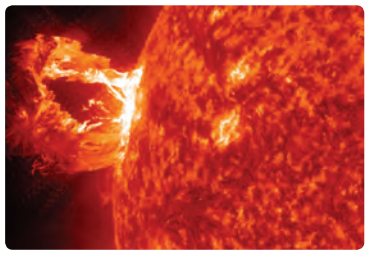
۲
جریان الکتریکی و مدارهای جریان مستقیم

پژوهش‌های زیادی دربارهٔ بهبود کیفیت باتری خودروهای الکتریکی و هیبریدی (که در آنها از موتورهای درون‌سوز بنزینی و الکتریکی با هم استفاده می‌شود) در حال انجام است. یک نوع از این باتری‌ها، باتری لیتیمی است که یکی از قطب‌های آن لیتیم 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 منبع‌های نیروی محرکه است که از اَبَر خازن‌ها استفاده می‌کند. با استفاده از این فنّاوری ممکن است بتوان خودروهای الکتریکی را در مدت کوتاهی شارژ کرد.

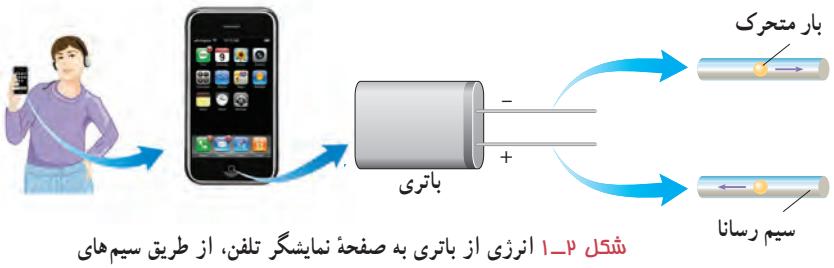
https://konkur.info

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

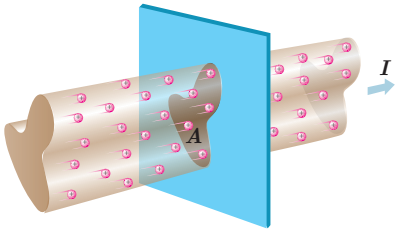
مثال‌های فراوانی می‌توان از کاربردهای جریان الکتریکی ارائه کرد؛ مثلاً انرژی موردنیاز صفحهٔ نمایشگر تلفن همراه توسط یک باتری تأمین می‌شود. انرژی الکتریکی از طریق مسیرهای رسانایی که در آنها بارهای الکتریکی در جریان‌اند به نمایشگر تلفن همراه می‌رسد (شکل ۲ــ۱). همچنین مهندسان برق با دستگاه‌های الکتریکی زیادی از قبیل مولدهای برق و دستگاه‌های ذخیرهٔ اطلاعات سر و کار دارند و مهندسان مخابرات نگران اختلالات ناشی از فوران‌های خورشیدی (شکل ۲ــ ۲) هستند. فیزیولوژیست‌ها و مهندسان پزشکی نیز با جریان‌های الکتریکی در رشته‌های عصبی سروکار دارند.



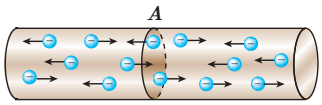
شکل ۲ــ۲ فوران عظیمی از الکترون‌ها و یون‌ها که از سطح خورشید پرتاب می‌شوند.



شکل ۲ــ۱ انرژی از باتری به صفحهٔ نمایشگر تلفن، از طریق سیم‌های رسانایی که در آنها بارهای الکتریکی در جریان‌اند، منتقل می‌شود.



شکل ۲ــ۳ باریکه‌ای از بارهای مثبت از سطح مقطع A می‌گذرند و جریان I را ایجاد می‌کنند.

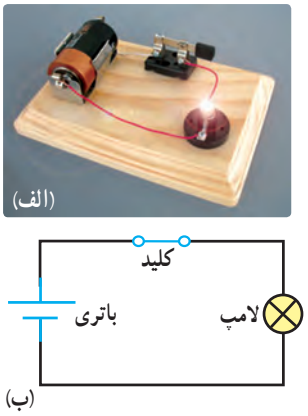


شکل ۲ــ۴ در نبود اختلاف پتانسیل، شارش بار خالصی از مقطع معیّن A سیم، نداریم.

اکنون با این پرسش 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 معیّن رخ دهد (شکل ۲ــ۳) که به این منظور نیاز به ابزاری مانند باتری داریم تا با ایجاد یک میدان الکتریکی، بارها را در جهت معیّنی به حرکت درآورد.

۲ــ۱ جریان الکتریکی

جریان الکتریکی ناشی از شارش بارهای متحرک است، ولی همهٔ بارهای متحرک، جریان ایجاد نمی‌کنند. برای داشتن جریان الکتریکی باید یک شارش خالص بار از یک سطح مقطع معیّن داشته باشیم. به این منظور سیمی فلزی را در نظر بگیرید. الکترون‌های آزاد در طول این سیم با تندی‌هایی از مرتبهٔ $10^6 m/s$ در حرکت‌اند، ولی این حرکت به‌طور کاتوره‌ای در همهٔ جهت‌هاست. بنابراین، هیچ شارش خالص باری از مقطعی معیّن نداریم (شکل ۲ــ۴). ولی اگر این سیم را در مداری الکتریکی مانند شکل ۲ــ۵ 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 ۲ــ۶) به‌طوری که می‌تواند لامپ مدار ۲ــ۵ 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[1] در خلاف جهت میدان به‌طور بسیار آهسته‌ای سوق پیدا می‌کنند که این موجب

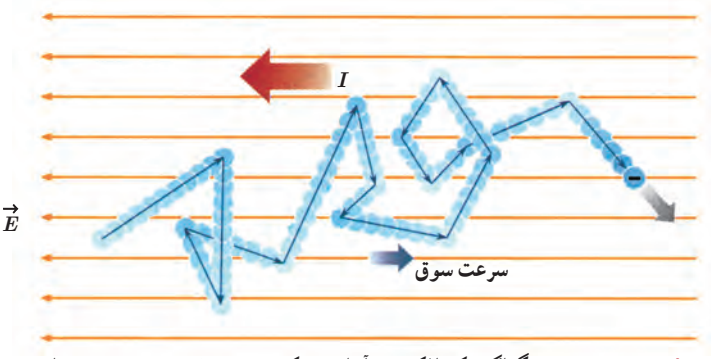


شکل ۲ــ۵ الف) یک مدار الکتریکی ساده که از لامپ، باتری، کلید و سیم‌های رابط تشکیل شده است. ب) معمولاً برای رسم مدار از نمادهای استاندارد شده‌ای برای نشان دادن اجزای مدار استفاده می‌شود.

۱ــ drift velocity

https://konkur.info

برقراری جریان الکتریکی در رسانا می‌شود (شکل ۲ــ۷). اندازهٔ سرعت سوق در یک رسانای فلزی بسیار کم و مثلاً در سیم‌های مسی از مرتبه بزرگی $10^{-5}\,m/s$ یا $10^{-4}\,m/s$ است. توجه کنید که جهت قراردادی جریان الکتریکی I، برخلاف جهت سوق الکترون‌هاست.



شکل ۲ــ۷ مسیر زیگزاگ یک الکترون آزاد در یک رسانای فلزی. در حضور میدان الکتریکی، این مسیر زیگزاگ در خلاف جهت میدان سوق یافته است[1].

فعالیت ۲ــ۱

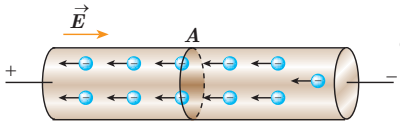
سرعت سوق الکترون‌های آزاد در یک رسانا می‌تواند به کندیِ سرعت حرکت یک حلزون باشد. اگر سرعت سوق الکترون‌ها این‌قدر کم است، پس چرا وقتی کلید برق را می‌زنیم چراغ‌های خانه به سرعت روشن می‌شوند؟ (*راهنمایی*: شیلنگ شفافی را در نظر بگیرید. وقتی شیر را باز می‌کنید، هنگامی که شیلنگ پر از آب است، آب بلافاصله از سر دیگر شیلنگ جاری می‌شود؛ ولی اگر لکه‌ای رنگی را درون آب چکانده باشیم، می‌بینیم این لکهٔ رنگی به آهستگی در آب حرکت می‌کند.)

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

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} \qquad (۲ــ۱)$$

در رابطهٔ ۲ــ۱ بار الکتریکی (Δq) برحسب کولن (C)، مدت زمان (Δt) برحسب ثانیه (s) و جریان (I) برحسب آمپر (A) است. برخی از مقادیر تقریبی جریان‌های متداول عبارت‌اند از ۱A برای لامپ حبابیِ ۱۰۰W، ۲۰۰A برای استارت خودرو، ۱mA برای تأمین انرژی نمایشگر گوشی همراه، ۱nA برای جریان نورون‌های مغزی، ۱۰kA در یک یورش آذرخش نوعی، و ۱GA در بادهای خورشیدی[2].

در این فصل با جریان مستقیم[3] سروکار داریم که در آن جهت جریان با زمان تغییر نمی‌کند و مقدار جریان ثابت می‌ماند.



شکل ۲ــ۶ در حضور اختلاف پتانسیل، شارش بار خالص از مقطع A سیم، دیگر برابر صفر نیست.

آندره ماری آمپر (۱۸۳۶ــ۱۷۷۵م)

آندره ماری‌آمپر در حومه شهر لیون فرانسه به‌دنیا آمد. در کودکی و نوجوانی عشق و علاقهٔ فراوانی به ریاضیات داشت و پیوسته اطلاعاتش در زمینهٔ علوم ریاضی را تکمیل می‌کرد. سرانجام به سبب نوشتن مقاله‌ای که در مورد سرگرمی‌های ریاضی که در آن مسئله‌ای را حل کرده بود و ذهن دانشمندان را مدت‌ها مشغول کرده بود، مورد توجه ریاضی‌دان‌ها و دانشمندان قرار گرفت. دو اخترشناس و ریاضی‌دان فرانسوی به نام‌های *ژان دالامبر* و *ژوزف لالاند* که تحت تأثیر نبوغ و استعداد آمپر قرار گرفته بودند به او پیشنهاد کردند که به‌عنوان معلم ریاضی و نجوم در مدرسهٔ لیون تدریس کند. دو سال در مدرسهٔ لیون تدریس کرد و در سال ۱۸۰۵ به پاریس سفر کرد تا در کالج پلی‌تکنیک مشغول به کار شود. در سال ۱۸۰۹ به سمت استاد ریاضی و مکانیک این کالج برگزیده شد. در سال ۱۸۱۹ دانشمند دانمارکی، *یوهان اُرستد* کشف کرد که عقربهٔ مغناطیسی در اثر عبور جریان از یک سیم رسانا منحرف می‌شود. آمپر با تکمیل آزمایش او، تأثیر دو سیم رسانای حامل جریان بر یکدیگر را بررسی کرد و نتیجه گرفت وقتی جهت جریان در رساناها یکسان باشد یکدیگر را جذب می‌کنند و چنان‌که جهت جریان‌ها برعکس باشد همدیگر را دفع می‌کنند. خلاصه‌ای از این تجربیات بعدها تحت عنوان کتابی به نام «مغناطیس و الکتریسیته» از آمپر به چاپ رسید.

آمپر از دانشمندانی بود که خدمات بزرگی به جهان علم کرد و به همین خاطر و قدردانی از زحمات او، دانشمندان یکای جریان را به‌نام آمپر نام‌گذاری کردند.

۱ــ در واقع، هر بخش این مسیر زیگزاگ اندکی خمیده است که در شکل برای سادگی نشان داده نشده است.

۲ــ به‌خاطر سپردن این مقادیر ضرورتی ندارد.

۳ــ Direct Current (DC)

https://konkur.info

مثال ۲ــ۱

ولتاژ باتری یک نوع ماشین‌حساب ۳/۰V است. وقتی ماشین‌حساب روشن است، این باتری باعث عبور جریان ۰/۱۷mA 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 ماشین‌حساب می‌دهد؟

پاسخ : الف) باری که در یک ساعت از مدار می‌گذرد، با استفاده از رابطهٔ ۲ــ۱ برابر است با

$$\Delta q = I(\Delta t) = (۰/۱۷ \times ۱۰^{-۳}\mathrm{A})(۳/۶ \times ۱۰^{۳}\mathrm{s}) = ۰/۶۱\mathrm{C}$$

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

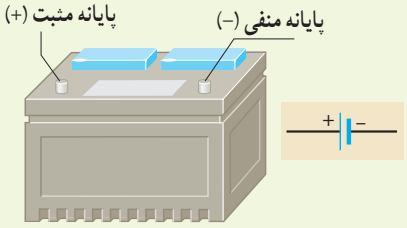
$$\text{انرژی داده شده به مدار} = \Delta U = q\Delta V = (۰/۶۱\mathrm{C})(۳/۰\mathrm{V}) = ۱/۸\mathrm{J}$$

تمرین ۲ــ۱

در رابطهٔ $\Delta q = I(\Delta t)$ اگر I برحسب آمپر و Δt برحسب ساعت باشد، یکای Δq، *آمپر ـ ساعت* می‌شود. باتری خودروها با آمپر ــ ساعت (Ah) و باتری گوشی‌های همراه باميلی‌آمپرــساعت (mAh) مشخص می‌شود. هرچه آمپر ــ ساعتِ یک باتری بیشتر باشد حداکثر باری که باتری می‌تواند از مدار عبور دهد تا به‌طور ایمن تخلیه شود، بیشتر است.

الف) باتری استاندارد خودرویی، ۵۰Ah است. اگر این باتری جریان متوسط ۵/۰A را فراهم سازد، چقدر طول می‌کشد تا خالی شود؟

ب) روی یک باتری قلمی مقدار ۱۰۰۰mAh نوشته شده است. اگر این باتری جریان متوسط ۱۰۰μA را فراهم سازد، چه مدت طول می‌کشد تا خالی شود؟



خوب است بدانید: یون‌رانی[۱]

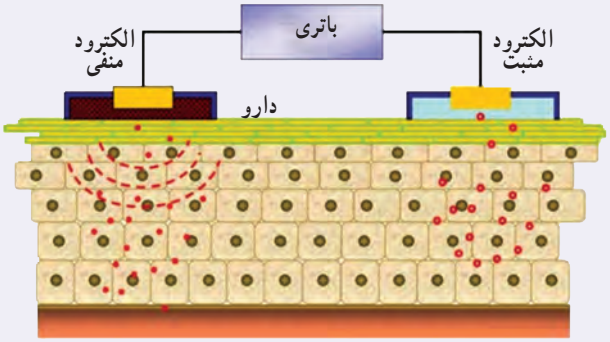
برای درمان التهاب سه روش وجود دارد. روش نخست که بدون درد است، خوردن دارو است. در این روش مقدار کمی دارو، از مرتبهٔ ۱μg، به بافت آسیب‌دیده می‌رسد. روش دوم تزریق آمپول است. این روش دردناک است، ولی می‌تواند داروی زیادی، از مرتبهٔ ۱۰mg را به بافت آسیب‌دیده برساند، یعنی ۱۰۰۰۰ برابر بیش از روش خوردن دارو. اما از دههٔ ۹۰ میلادی روش سومی نیز مطرح شده است که بدون درد است، ولی می‌تواند مقدار دارویی از مرتبهٔ ۱۰۰μg را به بافت آسیب‌دیده برساند. این روش که موسوم به *یون‌رانی* است، دارو را با استفاده از جریان‌های الکتریکی بسیار ضعیف به بافت آسیب دیده می‌رساند. یک وسیلهٔ یون‌رانی شامل یک باتری و دو الکترود است (و نیز برخی مدارهای الکترونیکی که پرستار را قادر می‌سازد که بزرگی جریان اعمال شده را کنترل کند). داروی ضد التهاب (معمولاً دگزامتازون[۲]) را به محل التهاب مالیده و الکترود منفی را روی آن

۱ــ Iontophoresis

۲ــ Dexamethasone

https://konkur.info

قرار می‌دهند. جریان از طریق پوست عبور می‌کند و دارو را به بافت آسیب‌دیده تا عمق حداکثر ۱/۷cm می‌رساند (شکل الف). اگر پرستاری بخواهد مثلاً ۸۰μg دارو را با جریان متداول ۰/۱۴mA به پای آسیب دیده برساند (شکل ب)، محاسبه نشان می‌دهد که این عمل ۱۵ دقیقه به طول خواهد انجامید.



(الف)

(ب)

۲ــ۲ مقاومت الکتریکی و قانون اهم

همان‌طور که در بخش قبل دیدیم وقتی در مداری الکتریکی کلید را می‌بندیم، یک اختلاف پتانسیل در دو سر سیم ایجاد می‌شود و باعث حرکت الکترون‌های آزاد در سیم مدار می‌شود. این الکترون‌ها با اتم‌های رسانا که در حال نوسان‌اند برخورد می‌کنند و این موضوع باعث گرم شدن رسانا می‌شود. در واقع الکترون‌های آزاد هنگام حرکت در رسانا همیشه با نوعی مقاومت روبه‌رو هستند. اصطلاحاً می‌گوییم رسانا دارای مقاومت الکتریکی[1] است. از اینجا می‌توان پیش‌بینی کرد که مقاومت الکتریکی به ابعاد هندسی رسانا، یعنی طول و سطح مقطع رسانا بستگی دارد. همچنین جنس مادهٔ رسانا و دمای آن بر مقاومت الکتریکی اثر می‌گذارد.

تحت یک اختلاف پتانسیل یکسان، دو سیم با مقاومت الکتریکی متفاوت، جریان‌های مختلفی را از خود عبور می‌دهند؛ به‌طوری که سیم با مقاومت کمتر، جریان بیشتری از خود عبور می‌دهد و بالعکس. از اینجا می‌توان مقاومت الکتریکی بین دو نقطه از یک رسانا را به صورت زیر تعریف کرد :

$$R = \frac{V}{I} \qquad (۲ــ۲)$$

در این رابطه مقاومت الکتریکی (R) برحسب ولت بر آمپر (V/A) می‌شود که به پاس خدمات علمی *جُرج سیمون اُهم* به نام اُهم نام‌گذاری شده است و با نماد Ω[2] نشان داده می‌شود. رسانایی را که دارای مقاومت الکتریکی است، اصطلاحاً مقاومت[3] می‌نامند و آن را در مدارهای الکتریکی با نماد ⎓ نمایش می‌دهند.

جورج سیمون اُهم (۱۸۵۴ــ ۱۷۸۷م)

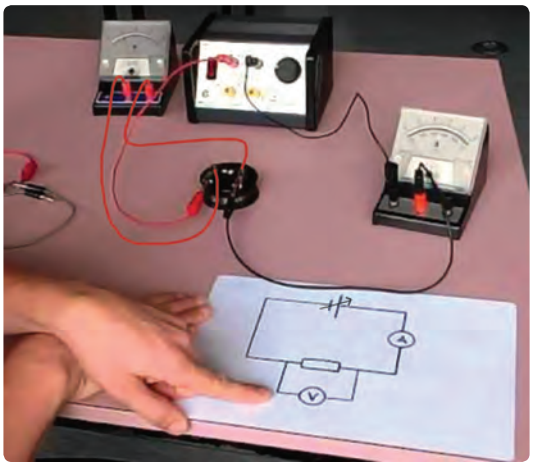
جورج سیمون اُهم در شهر باواریا آلمان متولد شد. جورج در ۱۸ سالگی به‌عنوان معلم ریاضی در یکی از مدارس سوئیس مشغول به کار شد. اُهم مطالعاتش را در رشتهٔ ریاضی دنبال کرد و در سال ۱۸۱۱ موفق به اخذ درجهٔ دکترای ریاضی شد. در سی سالگی به کالجی در کلن رفت و به‌عنوان استاد ریاضی مشغول به کار شد. در سال ۱۸۲۸ او مقاله‌ای تحت عنوان «اندازه‌گیری‌های 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 مفتخر گردید. در سال ۱۸۸۱، انجمن مهندسان برق جهان به اتفاق آرا یکای مقاومت الکتریکی را به نام «اُهم» نام‌گذاری کردند.

۱ــ Resistance

۲ــ از حروف الفبای یونانی که اُمگا خوانده می‌شود.

۳ــ Resistor

https://konkur.info



شکل ۲ــ۸ اسباب تحقیق قانون اُهم. توجه کنید که آمپرسنج در مدار به‌صورت متوالی و ولت‌سنج به‌صورت موازی بسته شده است.

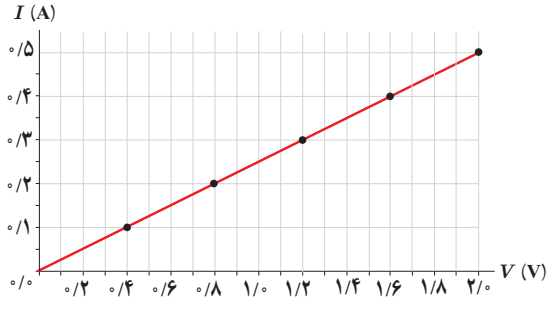
وسیله‌هایی که جریان الکتریکی را از خود عبور می‌دهند ممکن است با تغییر اختلاف پتانسیل اعمال‌شده و در نتیجه تغییر جریان عبوری، مقاومت ثابتی از خود بروز دهند و یا با تغییر اختلاف پتانسیل، مقاومت‌شان تغییر کند. برای تشخیص چنین وسایلی از هم، آزمایشی را تدارک می‌بینیم؛ به‌این ترتیب که وسیله را مانند شکل ۲ــ۸ به یک آمپرسنج، یک ولت‌سنج و یک منبع تغذیه با 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 ولت‌سنجِ مدار اندازه می‌گیریم و سپس با استفاده از رابطهٔ ۲ــ۲ مقاومت الکتریکی را محاسبه و نتایج را در جدولی یادداشت می‌کنیم. اگر مقاومت الکتریکی در ولتاژهای مختلف (در دمای ثابت)، مقدار ثابتی باشد، اصطلاحاً گفته می‌شود آن وسیله از قانون اهم پیروی می‌کند و آن وسیله را مقاومت یا رسانای اُهمی می‌نامند. به عبارتی جریان عبوری از یک مقاومت اهمی همواره با اختلاف پتانسیل اعمال‌شده به دو سر آن رابطهٔ مستقیم دارد.

این قانون برای فلزات و بسیاری از رساناهای غیر فلزی در دمای ثابت برقرار است. جدول ۲ــ۱ مقادیر اندازه‌گیری شده برای جریان و اختلاف پتانسیل یک مقاومت را نشان می‌دهد که از قانون اُهم پیروی می‌کند. همان‌طور که نمودار شکل ۲ــ۹ نشان می‌دهد جریان با ولتاژ برای این وسیله به‌طور خطی افزایش می‌یابد.

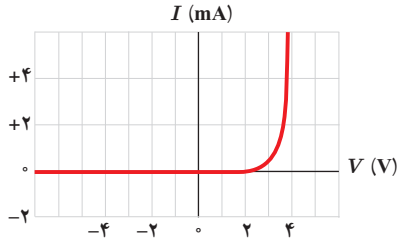
با این حال وسیله‌های زیادی نیز یافت می‌شود که از این قانون پیروی نمی‌کنند. یکی از این وسیله‌های غیراهمی، دیود نورگسیل (LED) است که با آن بعداً آشنا می‌شویم. نمودار جریان برحسب اختلاف پتانسیل چنین دیودی تقریباً شبیه شکل ۲ــ۱۰ است.

جدول ۲ــ۱ مقادیری نوعی برای یک رسانای اُهمی

V(V) اختلاف پتانسیل	I (A) جریان	R (Ω) مقاومت
۰/۴	۰/۱	۴
۰/۸	۰/۲	۴
۱/۲	۰/۳	۴
۱/۶	۰/۴	۴
۲/۰	۰/۵	۴



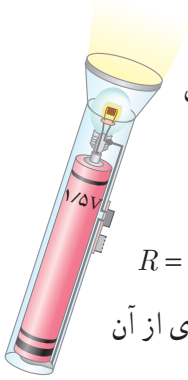
شکل ۲ــ۹ نمودار جریان برحسب اختلاف‌پتانسیل نشان می‌دهد که برای این رسانای اُهمی، جریان به‌طور مستقیم با ولتاژ افزایش می‌یابد.



شکل ۲ــ۱۰ نمودار جریان برحسب اختلاف‌پتانسیل برای یک دیود نورگسیل

https://konkur.info

مثال ۲ــ۲



یک لامپ چراغ قوهٔ کوچک از یک باتری ۱/۵V، جریانی برابر ۰/۳۰A می‌کشد. با فرض آنکه رشتهٔ لامپ، یک رسانای اُهمی باشد، الف) مقاومت آن چقدر است؟ ب) اگر باتری ضعیف شود و ولتاژ به ۱/۲V افت کند، جریان چقدر می‌شود؟

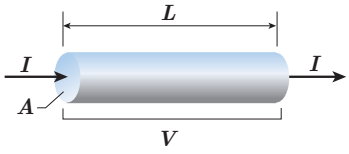
پاسخ : الف) با استفاده از رابطهٔ ۲ــ۲ برای مقاومت رشتهٔ لامپ داریم :

$$R=\frac{V}{I}=\frac{۱/۵\text{V}}{۰/۳۰\text{A}}=۵/۰\Omega$$

ب) دوباره از رابطهٔ ۲ــ۲ استفاده می‌کنیم. با توجه به اینکه اکنون مقاومت رشتهٔ لامپ را داریم، جریان عبوری از آن چنین می‌شود :

$$I=\frac{V}{R}=\frac{۱/۲\text{V}}{۵/۰\Omega}=۰/۲۴\text{A}$$

۲ــ۳ عوامل مؤثر بر مقاومت الکتریکی



شکل ۲ــ۱۱ از سیمی به طول L و مقطع یکنواخت A، تحت اختلاف پتانسیل V، جریان I می‌گذرد.

در بخش 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 ۲ــ۱۱)، مقاومت آن از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید :

$$R=\rho\frac{L}{A} \qquad (۲ــ۳)$$

که در آن طول رسانا (L) برحسب متر (m)، مساحت مقطع جسم (A) برحسب متر مربع (m^2)، و مقاومت جسم (R) برحسب اُهم (Ω) است، و بنابراین، کمیت ρ که به آن **مقاومت ویژه** گفته می‌شود برحسب اُهم‌ــمتر ($\Omega.\text{m}$) می‌شود. این بستگی مقاومت به طول و مساحت مقطع جسم را می‌توان با شبیه‌سازی‌های ساده‌ای نیز درک کرد. هرچه جسم بلندتر شود الکترون‌ها هنگام عبور از آن برخوردهای بیشتری با اتم‌ها 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 شاره‌ای در جریان است. کوچک‌تر شدن مقطع سبب کاهش عبور شاره می‌شود که به‌معنای افزایش مقاومت در برابر عبور شاره است.

مقاومت ویژهٔ یک ماده به ساختار اتمی و دمای آن بستگی دارد. رساناهای الکتریکی خوب مقاومت ویژهٔ بسیار کم و عایق‌های خوب مقاومت ویژهٔ بسیار زیادی دارند. جدول ۲ــ۲ مقاومت ویژهٔ 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 ویژهٔ آنها بین مقاومت ویژهٔ رساناها و نارساناهاست. به‌این دسته از مواد، **نیم‌رسانا** می‌گویند.

مقاومت ویژهٔ رساناهای فلزی با افزایش دما زیاد می‌شود در حالی که مقاومت ویژهٔ نیم‌رساناها 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 افت می‌کند و در دماهای پایین‌تر، همچنان صفر می‌ماند. این پدیده را **ابررسانایی** می‌گویند.

https://konkur.info

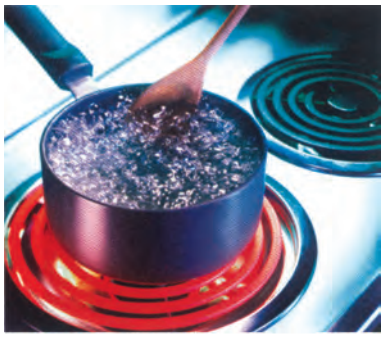
جدول ۲ــ۲ــ مقاومت ویژه در دمای $20^{\circ}C$ برخی از رساناها و نیم‌رساناها

ماده	مقاومت ویژه ρ $(\Omega.m)$
رسانای فلزی	
نقره	$1/6\times10^{-8}$
مس	$1/7\times10^{-8}$
طلا	$2/4\times10^{-8}$
آلومینیم	$2/8\times10^{-8}$
تنگستن	$5/5\times10^{-8}$
آهن	$9/7\times10^{-8}$
پلاتین	10×10^{-8}
سرب	22×10^{-8}
کُنستانتان [1]	44×10^{-8}
نیکروم [2]	100×10^{-8}
نیم‌رسانا	
گرافیت	$3/5\times10^{-5}$
ژرمانیُم	$0/46$
سیلیسیم خالص	$2/5\times10^{3}$
عایق	
انواع شیشه	10^{10}ــ10^{14}
لاستیک سخت	10^{13}
کوارتز (ذوب شده)	10^{16}

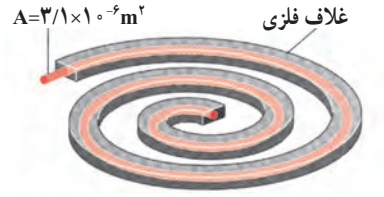
۱ــ ۶۰ درصد مس، ۴۰ درصد نیکل

۲ــ ۵۹ درصد نیکل، ۲۳ درصد مس، ۱۶ درصد کرم و ...

مثال ۲ــ۳



شکل روبه‌رو، المنت یک اجاق برقی را نشان می‌دهد. این المنت شامل سیمی به طول $1/1m$ و سطح مقطع $3/1\times10^{-6}m^2$ است که داخل مادهٔ عایقی قرار گرفته است که خود، درون یک غلاف فلزی است. با عبور جریان، المنت داغ می‌شود. مقاومت ویژهٔ مادهٔ سازندهٔ سیم در دمای $T_0 = 320^{\circ}C$ برابر با $\rho_0 = 6/8\times10^{-5}\Omega.m$ است. با افزایش دمای سیم مقاومت ویژهٔ آن افزایش می‌یابد و در دمای $420^{\circ}C$ به $8/2\times10^{-5}\Omega.m$ می‌رسد. مقاومت سیم در دماهای $320^{\circ}C$ و $420^{\circ}C$ چقدر است؟



یک اجاق برقی و طرحی از المنت آن

پاسخ :

با استفاده از رابطهٔ ۲ــ ۳ مقاومت سیم در دمای $320^{\circ}C$ برابر است با [1]

$$R=\rho\frac{L}{A}=(6/8\times10^{-5}\Omega.m)\frac{(1/1m)}{(3/1\times10^{-6}m^2)}=24\Omega$$

و در دمای $420^{\circ}C$ برابر است با

$$R=\rho\frac{L}{A}=(8/2\times10^{-5}\Omega.m)\frac{(1/1m)}{(3/1\times10^{-6}m^2)}=29\Omega$$

تمرین ۲ــ۲

سیم کشی خانه‌ها معمولاً با سیم‌های مسی‌ای صورت می‌گیرد که قطری برابر با $2/032\,mm$ دارد. مقاومت $100m$ از این سیم‌ها در دمای اتاق چقدر است؟

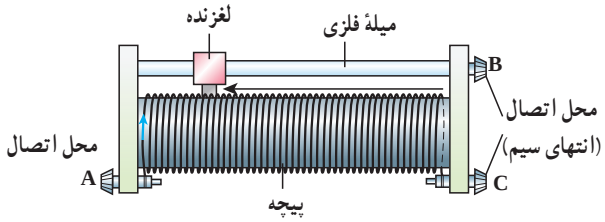
رئوستا : رئوستا [2] نوعی مقاومت متغیر است که از سیمی با مقاومت ویژهٔ نسبتاً زیاد ساخته شده است. این سیم روی استوانه‌ای نارسانا پیچیده شده و با استفاده از دکمه‌ای لغزنده که روی ریلی در بالای استوانه قرار دارد و انتهای آن با سیم در تماس است می‌تواند قسمت دلخواهی از سیم را در مسیر جریان قرار دهد، و بنابراین مقدار مقاومت را تغییر دهد (شکل ۲ــ۱۲). در مدارهای الکترونیکی وسیله‌ای به نام پتانسیومتر [3] نقش رئوستا را دارد.

۱ــ از افزایش طول و مساحت سیم بر اثر افزایش دما چشم‌پوشی می‌شود.

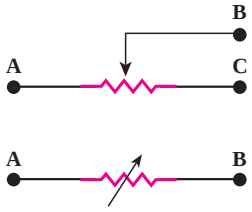
۲ــ Rheostat

۳ــ Potentiometer

https://konkur.info

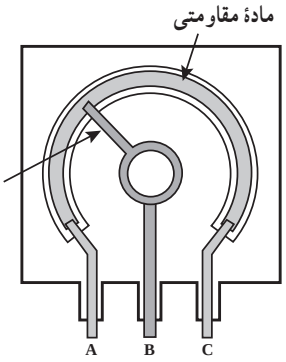


الف) طرحی از ساختار یک رئوستا



ب) نماد یک رئوستا یا پتانسیومتر در مدار الکتریکی

پ) تصویر واقعی یک رئوستا



ت) طرحی از یک پتانسیومتر

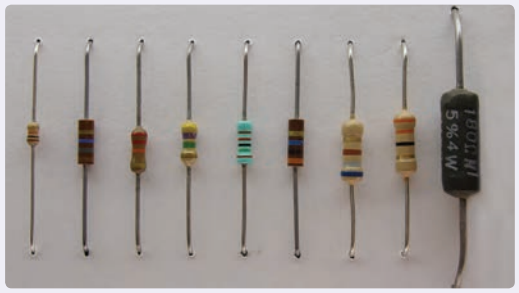
ث) تصویری واقعی از یک پتانسیومتر

شکل ۲ـ۱۲

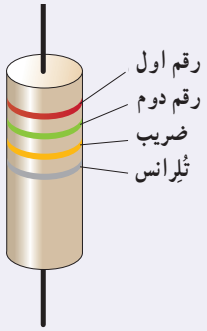
خوب است بدانید

مقاومت‌های ترکیبی

مقاومت‌ها با فنّاوری‌های مختلفی ساخته می‌شوند. نوعی از مقاومت‌ها، مقاومت‌های ترکیبی[۱] هستند. این مقاومت‌ها معمولاً از کربن، برخی نیم‌رساناها، و یا لایه‌های نازک فلزی ساخته شده‌اند. مقاومت‌های ترکیبی را در اندازه‌های خاص استانداردی تولید می‌کنند. مقدار این مقاومت‌ها یا روی آنها نوشته می‌شود، یا عمدتاً به‌صورت کدی رنگی نشان داده می‌شود که با ۳ یا ۴ حلقهٔ رنگی روی آنها مشخص شده است (شکل الف). هر رنگ، معرّف عددی است که در جدول داده شده است. دو حلقهٔ اوّل (از آن طرفی که به یک سر مقاومت نزدیک‌تر است) به ترتیب، رقم اوّل و رقم دوم مقاومت را نشان می‌دهند. رقم حلقهٔ سوم ضریبی



الف) تصویری از تعدادی مقاومت ترکیبی



ب) مقدار مقاومت‌های ترکیبی با کدهای رنگی مشخص می‌شود؛ مثلاً مقدار مقاومت شکل ۲۵kΩ با تلرانس ۱۰ درصد است.

جدول کد رنگی مقاومت‌ها

رنگ	عدد	ضریب	تلرانس
سیاه	۰	۱	
قهوه‌ای	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		$۱۰^{-۱}$	٪۵
نقره‌ای		$۱۰^{-۲}$	٪۱۰
بی‌رنگ			٪۲۰

۱ـ composition resistors

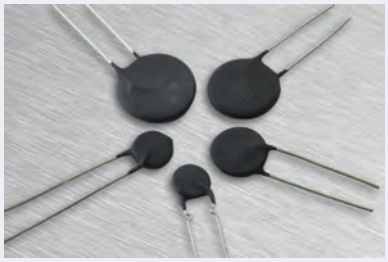
https://konkur.info

است به‌صورت 10^{n} که در ستون سوم جدول مشخص شده است. حلقهٔ چهارم یک حلقهٔ طلایی یا نقره‌ای رنگ است که تُلرانس[1] نامیده می‌شود و مقدار مجاز انحراف از مقدار دقیق مقاومت را برحسب درصد مشخص می‌کند (شکل ب). نبود نوار چهارم به معنای آن است که تلرانس ۲۰ درصد است. برای خواندن حلقه‌های رنگی، مقاومت را طوری به دست می‌گیریم که حلقهٔ تلرانس در سمت راست قرار گیرد و بقیهٔ حلقه‌ها را از سمت چپ به راست می‌خوانیم.

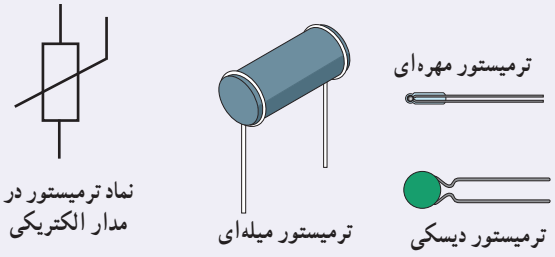
مقاومت‌های خاص و دیودها

۱ــ ترمیستور[2] : ترمیستور نوعی از مقاومت است که بستگی مقاومت الکتریکی آن به دما با مقاومت‌های الکتریکی معمولی تفاوت دارد. اغلب از ترمیستورها به عنوان حسگر دما در مدارهای حساس به دما مانند زنگ خطر آتش و دماپاها 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).

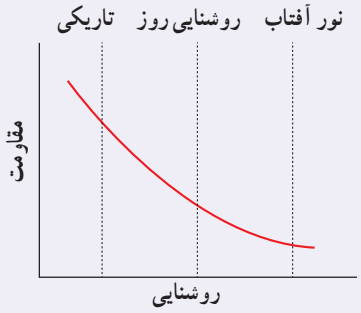


ب) تصویری از چند ترمیستور دیسکی واقعی



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

۲ــ مقاومت‌های نوری[3] **LDR**[4] : 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 تاریکی مقاومتی چند مگا اُهمی دارد، در حالی که در یک نور مناسب، مقاومت آن به چند صد اُهم می‌رسد. نوعی از این مقاومت‌ها از جنس نیم‌رسانای خالص، مانند سیلیسیم هستند که با افزایش شدت نور تابیده‌شده از مقاومت آنها کاسته می‌شود. مثلاً شکل پ مقاومت الکتریکی چنین LDRهایی را بر حسب روشنایی[5] (که با یکای LUX سنجیده می‌شود) نشان می‌دهد. شکل ت تصویری از چند LDR و شکل ث دو نماد این مقاومت‌ها در مدارهای الکتریکی را نشان می‌دهد.



پ) مقاومت بر حسب روشنایی برای یک LDR نوعی

ت) تصویری از چند LDR

ث) نماد LDR در دو استاندارد متفاوت

۱ــ Tolerance

۲ــ Thermistor، برگرفته از عبارت Thermal Sensetive Resistor به معنای مقاومت حساس به دما.

۳ــ Photoresistor

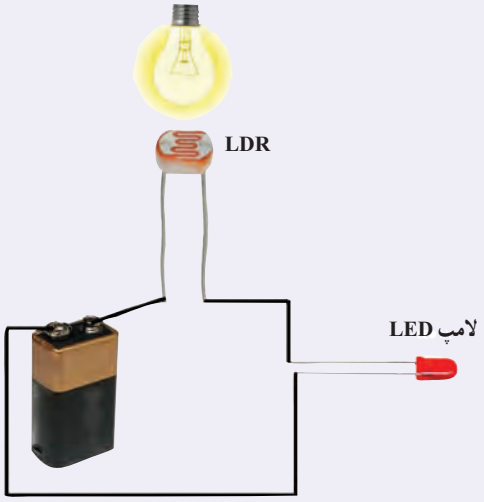
۴ــ Light Dependent Resistor

۵ــ Illumination

https://konkur.info

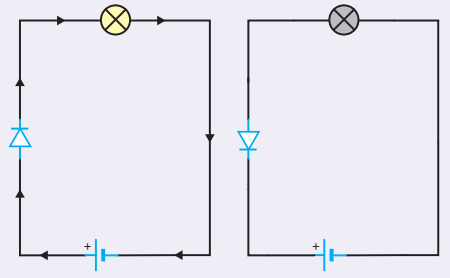
برای اینکه به درکی از ساز وکار این مقاومت‌ها برسید، شکل ج را در نظر بگیرید که در آن یک LDR در مداری ساده به یک لامپ LED متصل شده است. تا هنگامی که لامپِ روشناییِ شکل خاموش باشد، LDR مقاومت بالایی دارد و مانع از روشن شدن لامپ LED می‌شود. با روشن شدن لامپ روشنایی از مقاومت LDR کاسته می‌شود و لامپ LED روشن می‌گردد. با تنظیم لامپ روشنایی به ترتیبی 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.



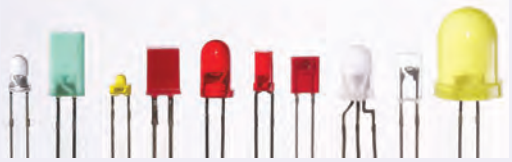
ج) یک مدار ساده متشکل از یک LDR، یک باتری، و یک لامپ LED. با روشن شدن چراغ روشنایی لامپ LED روشن می‌شود.

۳ــ دیودها[1] : 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. به‌همین دلیل، دیود را اغلب به عنوان یک‌سوکنندهٔ جریان در نظر می‌گیرند و آن را با نماد ⊣▷⊢ در مدارهای الکتریکی نشان می‌دهند. پیکان در این نماد جهتی را نشان می‌دهد که جریان می‌تواند از دیود عبور کند. مثلاً مدارهای سادهٔ شکل چ 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.

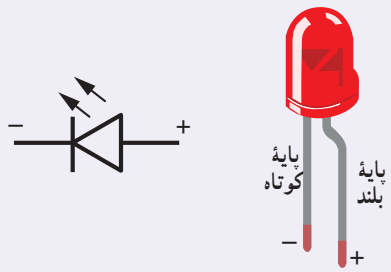


چ) دیود در یک جهت جریان را عبور می‌دهد و در جهت مخالف مانع عبور جریان می‌شود.

دیودها انواع متفاوتی دارند که یکی از معروف‌ترین آنها دیودهای نورگسیل یا LED[2] است (شکل ح). شکل خ تصویری واضح از یک LED و نماد آن در مدارهای الکتریکی 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 الکتریکی به نور تبدیل می‌شود. بسته به نوع نیم‌رسانای به کاررفته، رنگ نورگسیل شده از LED می‌تواند از فروسرخ تا فرابنفش باشد.



ح) تصویری از چند دیود نورگسیل



خ) تصویری از یک LED و نماد آن در مدارهای الکتریکی

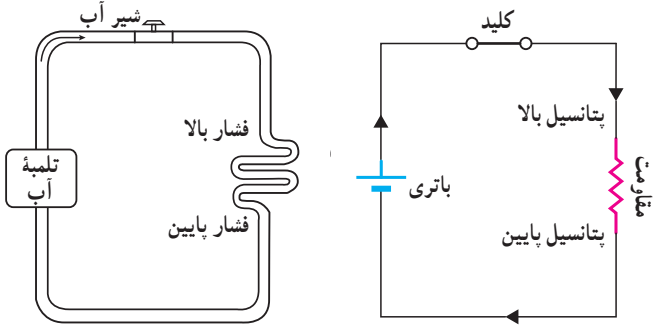
۱ــ Diode
۲ــ Light Emitting Diode

https://konkur.info

۲ــ۴ نیروی محرکهٔ الکتریکی و مدارها

شکل ۲ــ ۱۳ یک سرسرهٔ آبی. در واقع یک تلمبه، آب را مدام به بالای سرسره پمپ می‌کند و موجب جریان یافتن آب و سُرخوردن شخص بر روی سرسره می‌شود.

برای بالا بردن آب از سطح زمین به یک تلمبهٔ آب نیاز است تا آب را به ارتفاع معیّنی برساند. بدین‌ترتیب، آب انرژی پتانسیل گرانشی لازم برای جریان یافتن و انجام کار معیّنی را کسب می‌کند (شکل ۲ــ۱۳). برای اینکه بارهای الکتریکی را نیز از یک مقاومت الکتریکی عبور دهیم تا جریان ثابتی 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 ثابتی از بارهای الکتریکی در یک مدار ایجاد می‌کند، منبع نیروی محرکهٔ الکتریکی گفته می‌شود. منبع‌های نیروی محرکهٔ الکتریکی (مانند باتری‌ها) با افزایش انرژی پتانسیل بارهای الکتریکی هنگام عبور از منبع، جریان ثابتی را در مدار برقرار می‌کنند (شکل ۲ــ۱۴).



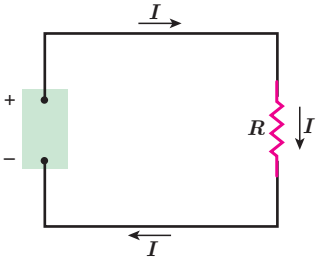
شکل ۲ــ ۱۴ همان‌طور که تلمبهٔ آب انرژی لازم برای شارش آب را فراهم می‌کند، باتری نیز انرژی لازم برای برقراری یک جریان را مهیا می‌سازد.

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

مدار سادهٔ الکتریکی شکل ۲ــ۱۵ را در نظر بگیرید. منبع نیروی محرکه هنگام عبور بار Δq از منبع کاری به اندازهٔ ΔW روی آن انجام می‌دهد تا آن را در مدار به حرکت درآورد. کاری که منبع نیروی محرکهٔ الکتریکی روی واحد بار الکتریکی مثبت انجام می‌دهد تا آن را از پایانهٔ با پتانسیل کمتر به پایانهٔ با پتانسیل بیشتر ببرد، اصطلاحاً نیروی محرکهٔ الکتریکی[۱] (emf) نامیده و با رابطهٔ زیر تعریف می‌شود[۲] :

$$\mathscr{E} = \frac{\Delta W}{\Delta q} \qquad (۲ــ۴)$$

یکای کمیت نیروی محرکهٔ الکتریکی همان یکای اختلاف پتانسیل الکتریکی، یعنی ولت (V) است (۱V=۱J/۱C). پس اگر نیروی محرکهٔ 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.



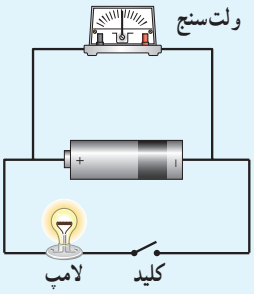
شکل ۲ــ۱۵ یک مدار سادهٔ الکتریکی شامل مقاومت R، منبع نیروی محرکهٔ الکتریکی $\mathscr{E}$ و سیم‌های رابط

۱ــ Electromotive Force

۲ــ توجه کنید که نیروی محرکهٔ الکتریکی واژهٔ نامناسبی است؛ زیرا emf نیرو نیست؛ بلکه مانند پتانسیل یک کمیت انرژی به ازای واحد بار است. نماد نیروی محرکهٔ الکتریکی $\mathscr{E}$ است که فونت خاصی از حرف E یونانی می‌باشد.

https://konkur.info

فعالیت ۲ــ۲



به کمک یک باتری، سیم‌های رابط، لامپ کوچک، ولت‌سنج و کلید، مداری همانند شکل روبه‌رو درست 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؟

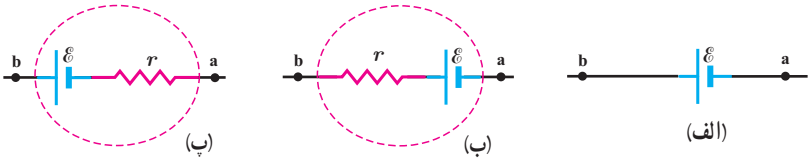
در ادامه با علت تفاوت این دو عدد آشنا خواهید شد.

منبع‌های نیروی محرکهٔ الکتریکی، یا آرمانی هستند و یا واقعی. اختلاف پتانسیل پایانه‌های مثبت و منفی یک منبع آرمانی برابر با نیروی محرکهٔ الکتریکی $\mathscr{E}$ آن است :

$$\Delta V = \mathscr{E} \qquad (۵ــ۲)$$

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

منبع آرمانی در واقعیت وجود ندارد و منبع‌های نیروی محرکهٔ 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 محرکهٔ الکتریکی خواهد شد. شکل ۲ــ۱۶ نماد منبع نیروی محرکه را در مدارهای الکتریکی نشان می‌دهد.



شکل ۲ــ۱۶ در مدارهای الکتریکی، منبع نیروی محرکهٔ الکتریکی آرمانی را به‌صورت (الف) و منبع‌های واقعی را به صورت (ب) یا (پ) نمایش می‌دهند.

در یک مدار الکتریکی ساده که از یک منبع نیروی محرکهٔ واقعی با نیروی محرکهٔ $\mathscr{E}$ و مقاومت داخلی r و یک مقاومت R ساخته شده است (شکل ۲ــ۱۷) اختلاف پتانسیل پایانه‌های منبع از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید :

$$V = \mathscr{E} - Ir \qquad (۶ــ۲)$$

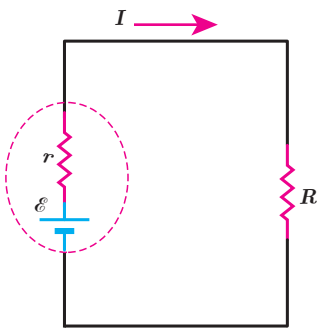
که در آن I جریان گذرنده از منبع است.

در مدار شکل ۲ــ۱۷ دو سر باتری به دو سر مقاومت R وصل شده است. بنابراین اختلاف پتانسیل دو سر باتری ($V = \mathscr{E} - Ir$) با اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت ($V = IR$) برابر است. در نتیجه داریم :

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

و بنابراین :

$$I = \frac{\mathscr{E}}{R + r} \qquad (۷ــ۲)$$



شکل ۲ــ۱۷ مداری ساده شامل یک باتری واقعی و مقاومت R

https://konkur.info

خوب است بدانید: ماهی الکتریکی

ماهی‌های عظیم‌الجثهٔ الکتریکی مانند *تورپدو* در اقیانوس اطلس شمالی و ماهی *الکتروفوروس* در آمازون می‌توانند جریانی کافی برای کشتن یا بی‌حس کردن طعمه، یا حتی بی‌حس کردن یک انسان تولید کنند. مثلاً ماهی تورپدو این کار را با یک تپ(پالس) ۵۰ آمپر و حدوداً ۶۰ ولت انجام می‌دهد. در زمان‌های دور، گاهی از ماهی‌های الکتریکی برای مقاصد درمانی استفاده می‌شد که این نخستین نوع شوک درمانی بود. ولتاژ این شوک ناشی از سلول‌های زیستی پولکی شکلی موسوم به الکتروپلاک است که در واقع مانند یک باتری عمل می‌کنند. شکل، تصویر ماهی الکتریکی تورپدو را نشان می‌دهد. در زیر بالچه‌های این ماهی، انبوهی از الکتروپلاک‌ها کنار هم قرار گرفته‌اند.

خوب است بدانید: آثار تخریبی الکتریسیته بر بدن انسان

اگر بین دو نقطه از بدن ما اختلاف پتانسیلی برقرار شود، جریان الکتریکی از بدن می‌گذرد. مقدار این جریان به مقاومت الکتریکی بدن بستگی دارد که عمدتاً ناشی از پوست است. هرچه پوست خشک‌تر باشد، مقاومت بیشتری دارد، ولی اگر پوست خیس یا مرطوب باشد، زخمی سَر باز داشته باشد، و یا با کرمی پوشیده شده باشد، مقاومت کمتر می‌شود و مقدار خطرناکی از جریان می‌تواند از بدن شخص عبور کند. به همین ترتیب، اگر شخصی بر زمین خیس، یا در آب ایستاده باشد و بین نقطه‌ای از بدن او با 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 می‌تواند آن‌قدر زیاد باشد که موجب مرگ شود. از سوی دیگر اگر مقاومت الکتریکی منطقهٔ تماس زیاد باشد و مثلاً شخص بر پایه‌های عایق ایستاده باشد، این خطر بسیار کم می‌شود.

اثر جریان‌های الکتریکی بر بدن

جریان	اثر
کمتر از ۰/۰۰۰۱A	جریان حس نمی‌شود.
۰/۰۰۰۱A	احساس سوزش یا گرما
۰/۰۰۱A تا ۰/۰۱A	انقباض غیرعادی عضله‌ها، احساس درد
۰/۰۱۵A	از دست رفتن کنترل عضله‌ها
۰/۰۷A	اگر از قلب بگذرد، سبب اختلال جدی می‌شود.
۰/۱۰A تا ۰/۵۰A	پرش عضلهٔ بطنی قلب
۰/۵۰A تا چند آمپر	ایست قلبی، اگر جریان سریع قطع شود، قلب مجدداً به‌کار می‌افتد.
بیشتر از چند آمپر	ایست قلبی، قطع تنفس، سوختگی.

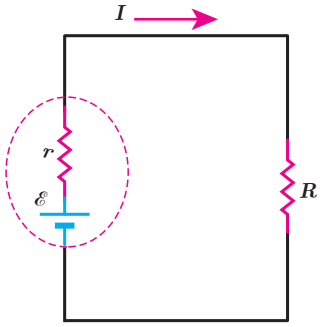
دستگاه مرکزی اعصاب انسان در مقابل شوک‌های الکتریکی بسیار آسیب‌پذیر است. اگر جریانی که در یک شوک الکتریکی از مغز می‌گذرد بزرگ باشد، ممکن است به بیهوشی کامل بینجامد و حتی در برخی موارد، موجب فراموشی شود. به‌طوری که بیمار زمان‌های قبل از وقوع حادثه را نیز به یاد نمی‌آورد. معمولاً مرگ در اثر شوک الکتریکی به سبب ایست قلبی یا تنفسی روی می‌دهد. جدول بالا اثر برخی از جریان‌های الکتریکی بر بدن را نشان می‌دهد.

https://konkur.info

مثال ۲ــ۴

در مدار شکل روبه‌رو فرض کنید $\mathscr{E} = ۱۲\text{V}$، $r = ۲/۰\Omega$ و $R = ۴/۰\Omega$ باشد.

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



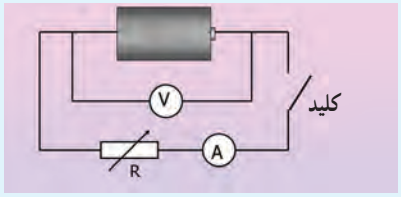
پاسخ : الف) بنا به رابطه ۲ــ۷ داریم :

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

ب) با استفاده از رابطهٔ ۲ــ۶ اختلاف پتانسیل دوسر باتری برابر است با

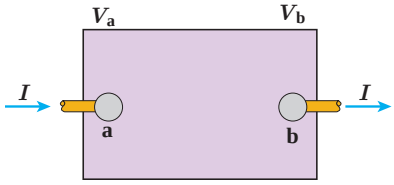
$$V = \mathscr{E} - Ir = ۱۲\text{V} - (۲/۰\text{A})(۲/۰\Omega) = ۸\text{V}$$

فعالیت ۲ــ۳ (کار در کلاس)



تفاوت یک باتری نو و فرسوده عمدتاً در مقدار مقاومت داخلی آن است که می‌تواند کمتر از یک اُهم برای باتری نو تا چند هزار اُهم برای باتری فرسوده باشد. برای اندازه‌گیری مقاومت داخلی یک باتری مدار ساده‌ای متشکل از یک باتری، یک کلید قطع و وصل و یک مقاومت یا لامپ کوچک را سوار کنید. نخست درحالی‌که کلید قطع است، ولتاژ دو سر باتری را با یک ولت‌سنج اندازه بگیرید و آن‌گاه پس از بستن کلید، دوباره ولتاژ دو سر 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 رابطهٔ ۲ــ۶ 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.

۲ــ۵ توان در مدارهای الکتریکی



شکل ۲ــ۱۸ یک جزء مدار که اختلاف پتانسیلی بین دو سر آن برقرار است.

اکنون می‌خواهیم رابطه‌هایی برای انرژی و توان در مدارهای الکتریکی به‌دست آوریم. جعبهٔ شکل ۲ــ۱۸ بخشی از یک مدار الکتریکی را نشان می‌دهد که می‌تواند شامل باتری، مقاومت و یا هرچیز دیگری باشد که اختلاف پتانسیلی بین پایانه‌های آن برقرار است. فرض کنید بار q در مدت زمان t تحت اختلاف پتانسیل ΔV از پایانهٔ a به پایانهٔ 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 :

$$P = IV \qquad (۸ــ۲)$$

https://konkur.info

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

توان الکتریکی مصرفی در یک مقاومت : همان‌طور که گفتیم رابطهٔ ۲ــ۸ برای مقاومت‌های الکتریکی نیز برقرار است. برای محاسبهٔ توان مصرفی مقاومت، کافی است در این رابطه به‌جای V از رابطهٔ تعریف مقاومت ($R = V/I$) استفاده کنیم :

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

در نتیجه :

$$P_{\text{مصرفی}} = IV = RI^2 = \frac{V^2}{R} \qquad (۹ــ۲)$$

مثال ۲ــ۵

وقتی دو سر یک بخاری برقی را به اختلاف پتانسیل ۲۲۰ V وصل کنیم، جریان ۱۰/۰A از آن می‌گذرد. الف) توان این بخاری چقدر است؟ ب) اگر این بخاری به مدت ۳/۰۰h در روز کار کند و قیمت برق مصرفی به ازای هر کیلووات ساعت ۵۰ تومان باشد، هزینهٔ یک ماه مصرف این بخاری چقدر می‌شود؟

پاسخ : الف) بنا به رابطهٔ ۲ــ۸ توان مورد نیاز بخاری چنین می‌شود :

$$P = IV = (۱۰/۰\text{A})(۲۲۰\text{V}) = ۲/۲۰\times۱۰^۳\text{W} = ۲/۲۰\text{kW}$$

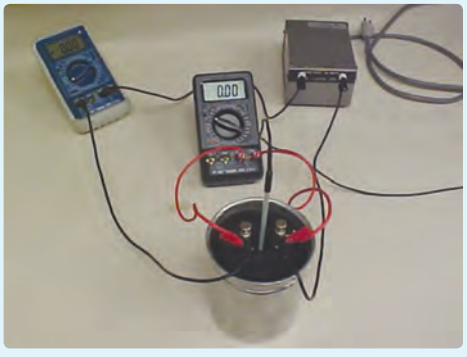
ب) انرژی مصرفی بخاری برابر Pt می‌شود که بر حسب یکاهای SI ، P بر حسب وات (W) ، t بر حسب ثانیه (s) است و انرژی مصرفی بر حسب ژول (J) می‌شود. اما برای محاسبهٔ مصرف برق، P را بر حسب کیلووات (kW) و t را بر حسب ساعت (h) می‌گیرند. بنابراین، انرژی الکتریکی مصرفی بر حسب کیلووات ساعت (kWh) می‌شود ($۱\text{kWh} = (۱۰۰۰\frac{\text{J}}{\text{s}})(۳۶۰۰\text{s}) = ۳/۶\times۱۰^۶\text{J}$).
پس انرژی مصرفی بخاری در یک ماه، برابر است با

$$U = Pt = (۲/۲۰\text{kW})(۳۰\times۳/۰۰\text{h}) = ۱۹۸\text{kWh}$$

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

$$\text{بها} = (۱۹۸\text{kWh})(۵۰\ \frac{\text{تومان}}{\text{kWh}}) = ۹۹۰۰\ \text{تومان}$$

فعالیت ۲ــ۴



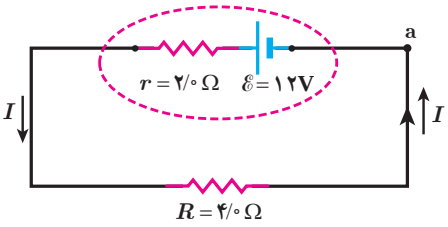
قانون ژول بیان می‌دارد گرمای تولید شده توسط جریان I ی عبوری از یک مقاومت R در مدت زمان t برابر با RI^2t است. این قانون را می‌توان به روش گرماسنجی با یک گرماسنج که در فیزیک دهم با آن آشنا شدید تحقیق کرد. اسباب این آزمایش در شکل نشان داده شده است. دربارهٔ چگونگی این آزمایش تحقیق کنید.

https://konkur.info

فعالیت ۲ــ۵

همانند شکل با یک اهم‌متر، مقاومت رشتهٔ سیم داخل لامپ ۱۰۰واتی را اندازه‌گیری کنید. سپس با استفاده از رابطهٔ $P_{\text{مصرفی}}=V^{۲}/R$ ، و با داشتن مشخصات روی لامپ، مقاومت آن را در حالت روشن محاسبه کنید. چرا مقدار اندازه‌گیری‌شده با مقدار محاسبه‌شده متفاوت است؟ نتیجه را پس از گفت‌وگوی گروهی، گزارش دهید.

مثال ۲ــ۶



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 رابطهٔ ۲ــ۷ به دست می‌آوریم :

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

اکنون توان مصرفی مقاومت R چنین می‌شود :

$$P_{\text{مصرفی}}=RI^{۲}=(۴/۰\Omega)(۲/۰\text{A})^{۲}=۱۶\text{W}$$

ب) با استفاده از پایستگی انرژی بدیهی است که توان الکتریکی خروجی باتری برابر با توان مصرفی مقاومت ۴ اهمی، یعنی ۱۶W می‌شود. با این حال، این را می‌توانیم به‌طور مستقیم نیز نشان دهیم :

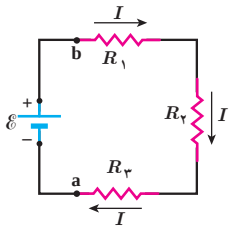
$$V_{\text{باتری}}=\mathscr{E}-Ir=۱۲/۰\text{V}-(۲/۰\text{A})(۲/۰\Omega)=۸/۰\text{V}$$

$$P_{\text{خروجی باتری}}=IV_{\text{باتری}}=(۲/۰\text{A})(۸/۰\text{V})=۱۶\text{W}$$

۲ــ۶ ترکیب مقاومت‌ها

مقاومت‌ها در انواع وسایل الکتریکی دیده می‌شوند، از ساده‌ترین وسیله‌ها مانند بخاری‌های برقی و موخشک‌کن‌ها گرفته تا وسایل الکتریکی پیچیده‌تری مانند تلویزیون و رایانه‌ها. مدارهای این وسیله‌ها اغلب چندین مقاومت دارند؛ در نتیجه لازم است که ترکیبی از مقاومت‌ها را در نظر بگیریم. رشته‌ای از لامپ‌ها که در چراغانی‌ها به‌کار می‌رود، نمونهٔ ساده‌ای از ترکیب مقاومت‌هاست که در آن هر لامپ به‌عنوان یک مقاومت عمل می‌کند و رشتهٔ لامپ‌ها از دیدگاه تحلیل مدار، ترکیبی است از مقاومت‌ها. ترکیب مقاومت‌ها ممکن است بسیار پیچیده باشد، اما کار کردن با دو نوع از این ترکیب‌ها بسیار ساده است : مقاومت‌های متوالی و مقاومت‌های موازی. وقتی مقاومت‌ها به‌طور متوالی، یا موازی یا ترکیبی از هر دو بسته شده باشند، آنها را می‌توانیم با یک مقاومت معادل

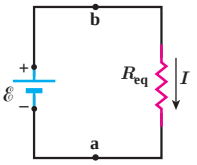
https://konkur.info



شکل ۲ــ۱۹ سه مقاومت که به‌طور متوالی به یک باتری آرمانی متصل شده‌اند.

جایگزین کنیم. در این بخش به این موضوع می‌پردازیم و اینکه چگونه می‌توان مقاومت معادل ترکیبی از مقاومت‌ها را تعیین کرد.

به هم بستن متوالی مقاومت‌ها : شکل ۲ــ۱۹ سه مقاومت را نشان می‌دهد که به‌طور متوالی به یک باتری آرمانی با نیروی محرکهٔ الکتریکی $\mathscr{E}$ بسته شده‌اند. توجه کنید واژهٔ «متوالی» ربط چندانی به‌چگونگی رسم مقاومت‌ها ندارد. «متوالی» به معنای بسته شدن مقاومت‌ها یکی پس از دیگری است، به‌طوری که هیچ انشعابی بین آنها وجود نداشته باشد و اختلاف پتانسیل V به دوسر این مجموعه از مقاومت‌ها اعمال شده باشد. در بستن متوالی مقاومت‌ها از همهٔ مقاومت‌ها جریان یکسان I عبور می‌کند. به عبارتی اگر آمپرسنج‌هایی را در نقطه‌های مختلفی از این مدار قرار دهیم، همگی جریان یکسانی را نشان می‌دهند. مقاومت‌هایی را که به‌طور متوالی بسته شده‌اند می‌توان با یک مقاومت معادل R_{eq} جایگزین کرد که دارای همان اختلاف پتانسیل کل اعمال شده به دو سر مجموعهٔ مقاومت‌ها و همان جریان I است.



شکل ۲ــ۲۰ مدار معادل شکل ۲ــ۱۹ که در آن سه مقاومت با مقاومت R_{eq} جایگزین شده است.

اختلاف پتانسیل کلّ اعمال شده به دو سر مجموعهٔ مقاومت‌ها، برابر با جمع اختلاف پتانسیل‌های دو سر مقاومت‌هاست : $V = \mathscr{E} = V_۱ + V_۲ + V_۳$. اکنون به سراغ محاسبهٔ جریان I می‌رویم. با به‌کارگیری تعریف مقاومت الکتریکی $(R = V/I)$ برای هر یک از مقاومت‌ها و با توجه به برابر بودن جریان آنها داریم :

$$V = \mathscr{E} = IR_۱ + IR_۲ + IR_۳$$

و در نتیجه

$$I = \frac{\mathscr{E}}{R_۱ + R_۲ + R_۳}$$

با تعریف مقاومت معادل، به‌صورت

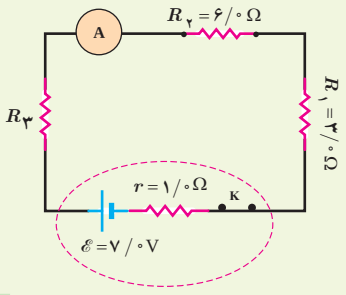
$$R_{eq} = R_۱ + R_۲ + R_۳$$

مدار شکل ۲ــ۱۹ را می‌توان با مدار معادل شکل ۲ــ۲۰ جایگزین کرد. بدیهی است که اگر به‌جای سه مقاومت، n مقاومت متوالی داشته باشیم، مقاومت معادل آنها از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید :

$$R_{eq} = R_۱ + R_۲ + R_۳ + \cdots + R_n \qquad (۱۰ــ۲)$$

توجه کنید وقتی مقاومت‌ها به‌طور متوالی بسته شده‌اند، مقاومت معادل آنها بزرگ‌تر از مقاومت هریک از آنهاست.

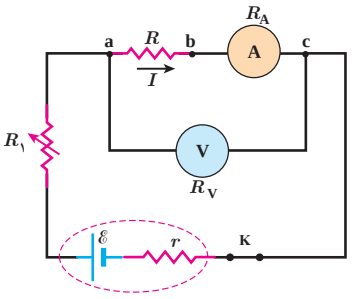
تمرین ۲ــ۳



در شکل روبه‌رو، سه مقاومت به همراه یک آمپرسنج به‌صورت متوالی به یک باتری وصل شده‌اند و مقاومت آمپرسنج صفر است (آمپرسنج آرمانی). اگر مقاومت معادل مقاومت‌های $R_۱$ ، $R_۲$ و $R_۳$ برابر با $۱۳/۰\,\Omega$ باشد : الف) مقاومت $R_۳$ چقدر است؟ ب) جریانی را که آمپرسنج نشان می‌دهد به‌دست آورید. پ) توان خروجی باتری چقدر است؟

https://konkur.info

مثال ۲ــ۷



شکل روبه‌رو مداری را برای اندازه‌گیری مقاومت مجهول R نشان می‌دهد. فرض کنید در این مدار ولت‌سنج $24/0\ V$ و آمپرسنج $0/200\ A$ را نشان دهد. مقاومت ولت‌سنج $R_V = 1/00\times10^4\Omega$ و مقاومت آمپرسنج $R_A = 1/00\Omega$ است. مقاومت R را به‌دست آورید.

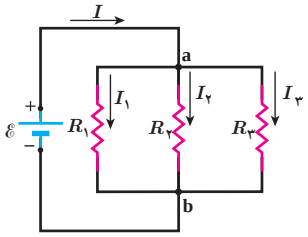
پاسخ : مقاومت‌های R و R_A به‌طور متوالی به هم بسته شده‌اند و اختلاف پتانسیل دوسر آنها برابر با $24/0\ V$ است. با توجه به اینکه آمپرسنج جریان $0/200\ A$ را نشان می‌دهد و به‌طور متوالی به مقاومت R بسته شده است، جریان عبوری از این دو مقاومت نیز برابر $0/200\ A$ است :

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

با توجه به اینکه $R_{eq} = R + R_A$ و $R_A = 1/00\Omega$ 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 ۲ــ۲۱ یک مدار الکتریکی را نشان می‌دهد که سه مقاومت به‌صورت موازی به یک باتری آرمانی با نیروی محرکهٔ الکتریکی $\mathscr{E}$ بسته شده‌اند. توجه کنید واژهٔ «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، هریک از مقاومت‌ها اختلاف پتانسیل یکسان V در دوسر خود دارد؛ یعنی :



شکل ۲ــ۲۱ مداری شامل سه مقاومت که به‌صورت موازی به نقطه‌های a و b بسته شده‌اند.

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

مجموعهٔ 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 رابطهٔ بین جریان‌های I، I_1، I_2، و I_3 را بررسی می‌کنیم. با توجه به پایستگی بار الکتریکی و اینکه هیچ باری نمی‌تواند در یک نقطهٔ مدار جمع گردد، بار ورودی به نقطهٔ a در واحد زمان با مجموع بارهای خروجی از نقطهٔ a در واحد زمان برابر است. همان‌طور که می‌دانیم بار عبوری در واحد زمان همان جریان است. بنابراین داریم :

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

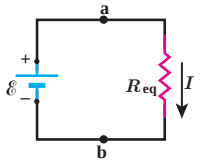
از طرفی، از تعریف مقاومت می‌توانیم جریان‌های عبوری از هریک از مقاومت‌ها را به‌دست آوریم :

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

با قرار دادن این جریان‌ها در معادلهٔ قبلی خواهیم داشت :

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

https://konkur.info



شکل ۲ـ۲۲ مدار معادل شکل ۲ـ۲۱ که در آن مقاومت معادل، R_{eq} جایگزین مقاومت‌های $R_۱$، $R_۲$ و $R_۳$ شده است.

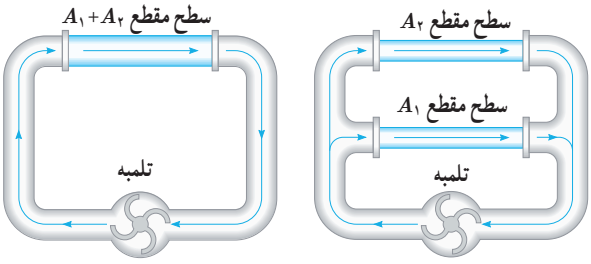
اگر ترکیب موازی مقاومت‌ها را با مقاومت R_{eq} جایگزین کنیم $I=\frac{V}{R_{eq}}$ می‌شود و از آنجا خواهیم داشت :

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

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

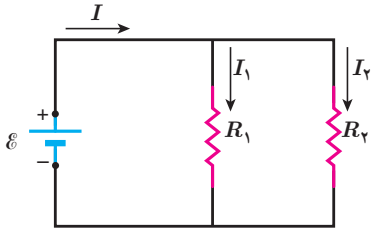
$$\frac{۱}{R_{eq}}=\frac{۱}{R_۱}+\frac{۱}{R_۲}+\frac{۱}{R_۳}+\cdots+\frac{۱}{R_n} \qquad (۱۱ـ۲)$$

مدار شکل ۲ـ۲۱ به مدار معادل شکل ۲ـ۲۲ تبدیل می‌شود. توجه کنید هرگاه چند مقاومت به‌صورت موازی به هم بسته شوند، مقاومت معادل آنها کوچک‌تر از هریک از مقاومت‌های موجود در آن ترکیب است. برای اینکه به درکی از این نتیجه برسیم، مشابهت‌سازی با لوله‌های آب می‌تواند راه‌گشا باشد. شکل ۲ـ۲۳ـ الف دو لولهٔ هم‌طول با سطح مقطع‌های $A_۱$ و $A_۲$ را نشان می‌دهد که به‌طور موازی به یک تلمبهٔ آب متصل شده‌اند. در شکل ۲ـ۲۳ـ 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 لولهٔ عریض‌تر در مقایسه با هر یک از لوله‌ها عبور می‌دهد. به عبارتی، لولهٔ عریض‌تر مقاومت کمتری نسبت به شارش آب در مقایسه با هر یک از دو لولهٔ باریک‌تر دارد.



شکل ۲ـ۲۳ (الف) دو لولهٔ هم‌طول با سطح مقطع‌های $A_۱$ و $A_۲$ به طور موازی به تلمبهٔ آبی متصل شده‌اند. (ب) دو لولهٔ بخش الف معادل با تک‌لوله‌ای با همان طول و سطح مقطع مجموع آنهاست.

مثال ۲ـ۸



در شکل روبه‌رو، یک باتری آرمانی اختلاف پتانسیل $\mathscr{E}=۱۲\,V$ را به دو سر مقاومت‌های $R_۱=۴/۰\,\Omega$ و $R_۲=۶/۰\,\Omega$ 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 $R_۱$، و مقاومت $R_۲$ را به ترتیب با I، $I_۱$ و $I_۲$ نشان داده‌ایم.

الف) بدیهی است که اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت‌های $R_۱$ و $R_۲$ برابر با اختلاف پتانسیل باتری است. بنابراین داریم :

$$V_۱=\mathscr{E}=I_۱R_۱\Rightarrow I_۱=\frac{\mathscr{E}}{R_۱}=\frac{۱۲\,V}{۴/۰\,\Omega}=۳/۰\,A$$

$$V_۲=\mathscr{E}=I_۲R_۲\Rightarrow I_۲=\frac{\mathscr{E}}{R_۲}=\frac{۱۲\,V}{۶/۰\,\Omega}=۲/۰\,A$$

ب) و برای جریان عبوری از باتری داریم :

$$I=I_۱+I_۲=۳/۰\,A+۲/۰\,A=۵/۰\,A$$

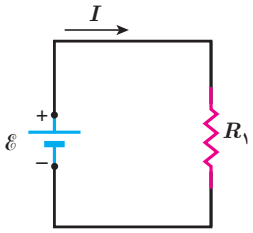
فعالیت ۲ـ۶

مداری مانند مدار مثال ۲ـ۸ ببندید و در هر شاخهٔ آن، یک آمپرسنج قرار دهید. با خواندن آمپرسنج‌ها، رابطهٔ بین جریان‌ها را بررسی کنید.

https://konkur.info

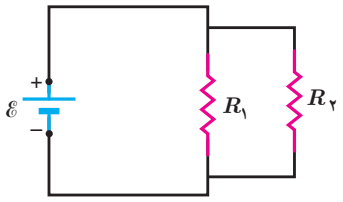
مثال ۲ــ۹

مدار سادهٔ شکل روبه‌رو را که شامل یک منبع نیروی محرکهٔ الکتریکی آرمانی با $\mathscr{E} = ۱۵۰\,V$ و یک مقاومت با $R_۱ = ۱۰۰\,k\Omega$ است، در نظر بگیرید.



الف) جریان عبوری از منبع را به‌دست آورید.

ب) اگر مقاومت $R_۲ = ۱۰/۰\,M\Omega$ به‌طور موازی به دو سر مقاومت $R_۱$ متصل شود، مقاومت معادل مدار چقدر می‌شود و چه جریانی از منبع می‌گذرد؟



پاسخ : الف) با استفاده از تعریف مقاومت داریم :

$$I = \frac{\mathscr{E}}{R_۱} = \frac{۱۵۰\,V}{۱۰۰\times۱۰^{۳}\,\Omega} = ۱/۵۰\times۱۰^{-۳}\,A = ۱/۵۰\,mA$$

ب) با استفاده از رابطهٔ ۲ــ۱۱ داریم :

$$\frac{۱}{R_{eq}} = \frac{۱}{R_۱} + \frac{۱}{R_۲}$$

در نتیجه

$$R_{eq} = \frac{R_۱R_۲}{R_۱ + R_۲} = \frac{(۱۰۰\times۱۰^{۳}\,\Omega)(۱۰/۰\times۱۰^{۶}\,\Omega)}{۱۰۰\times۱۰^{۳}\,\Omega + ۱۰/۰\times۱۰^{۶}\,\Omega} = ۹۹/۰\,k\Omega$$

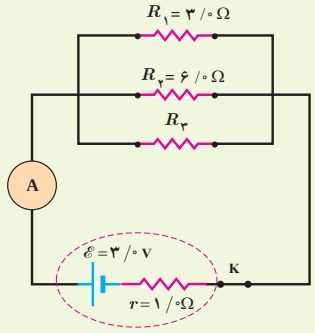
و بنابراین، جریان عبوری از منبع برابر است با

$$I = \frac{\mathscr{E}}{R_{eq}} = \frac{۱۵۰\,V}{۹/۹۰\times۱۰^{۴}\,\Omega} = ۱/۵۲\times۱۰^{-۳}\,A = ۱/۵۲\,mA$$

همان‌طور که می‌بینید، مقاومت معادل در این حالت که یکی از مقاومت‌ها خیلی بزرگ‌تر از مقاومت دیگر است ($R_۲ >> R_۱$) تقریباً برابر با مقاومت کوچک‌تر ($R_۱$) است.

تمرین ۲ــ۴

در شکل روبه‌رو سه مقاومت موازی به همراه یک آمپرسنج آرمانی به دو سر یک باتری وصل شده‌اند. اگر مقاومت معادل این ترکیب ۱/۶Ω باشد، الف) مقاومت $R_۳$ چقدر است؟ ب) جریانی که آمپرسنج نشان می‌دهد را به‌دست آورید. پ) توان خروجی باتری چقدر است؟



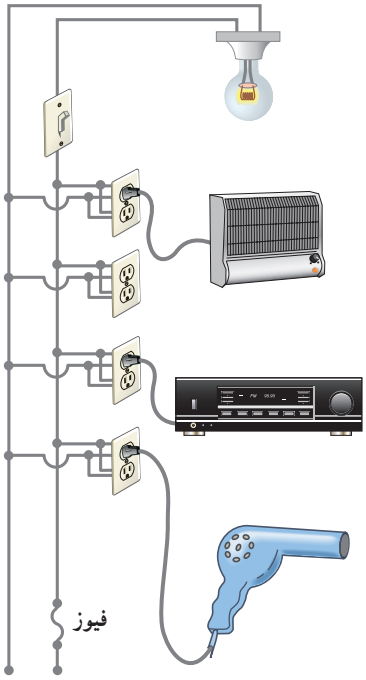
مثال ۲ــ۱۰

یک لامپ رشته‌ای ۱۰۰W، یک بخاری برقی ۲۰۰۰W، یک دستگاه پخش‌صوت ۲۰۰W، و یک سشوار (موخشک‌کن) ۲۲۰۰W مطابق شکل به پریزهای یک مدار سیم‌کشی خانگی ۲۲۰V وصل شده است.

الف) اگر فیوز شکل ۱۵A باشد، یعنی حداکثر بتواند جریان ۱۵A را تحمل کند، آیا فیوز خواهد پرید؟

ب) نشان دهید توان الکتریکی مصرفی مقاومت معادل برابر با مجموع توان‌های الکتریکی مصرفی در هریک از آنهاست.

https://konkur.info



پاسخ : الف) همان‌طور که در شکل می‌بینیم در سیم‌کشی منازل همهٔ مصرف‌کننده‌ها به‌طور موازی متصل می‌شوند. بنابراین، جریان کل عبوری از فیوز برابر با مجموع جریان‌های عبوری از هریک از مصرف‌کننده‌هاست. با استفاده از رابطهٔ $I = P/V$ جریان عبوری از هریک از این چهار مصرف‌کننده را به‌دست می‌آوریم. بنابراین، به ترتیب داریم :

$$I_{\text{لامپ}} = \frac{P_{\text{لامپ}}}{V} = \frac{۱۰۰\,\text{W}}{۲۲۰\,\text{V}} = ۰/۴۵۵\,\text{A}$$

$$I_{\text{بخاری}} = \frac{P_{\text{بخاری}}}{V} = \frac{۲۰۰۰\,\text{W}}{۲۲۰\,\text{V}} = ۹/۰۹\,\text{A}$$

$$I_{\text{پخش}} = \frac{P_{\text{پخش}}}{V} = \frac{۲۰۰\,\text{W}}{۲۲۰\,\text{V}} = ۰/۹۰۹\,\text{A}$$

$$I_{\text{سشوار}} = \frac{P_{\text{سشوار}}}{V} = \frac{۲۲۰۰\,\text{W}}{۲۲۰\,\text{V}} = ۱۰/۰\,\text{A}$$

بنابراین، جریان کل عبوری از فیوز برابر است با

$$I_{\text{فیوز}} = I_{\text{کل}} = I_{\text{لامپ}} + I_{\text{بخاری}} + I_{\text{پخش}} + I_{\text{سشوار}}$$
$$= ۰/۴۵۵\text{A} + ۹/۰۹\text{A} + ۰/۹۰۹\text{A} + ۱۰/۰\text{A} = ۲۰/۵\text{A}$$

چون فیوز ۱۵A است. بنابراین، فیوز خواهد پرید. در اغلب منازل چند مدار سیم‌کشی جداگانه داریم که هریک فیوز مربوط به خود را دارد. برای اینکه بتوانیم به‌طور هم‌زمان از چند وسیلهٔ برقی استفاده کنیم، باید وسایل برقی را به‌طور هم‌زمان به یک مدار وصل نکنیم و مدارهای دیگر را نیز به‌کار گیریم.

ب) دیدیم که همهٔ مصرف‌کننده‌ها به‌طور موازی متصل می‌شوند. بنابراین، مقاومت معادل مصرف‌کننده‌های شکل از رابطهٔ ۲ــ۱۱ به‌دست می‌آید. بنابراین، برای محاسبهٔ مقاومت لازم است مقاومت هریک از وسیله‌ها را به‌طور جداگانه محاسبه کنیم. مقاومت هر مصرف‌کننده با استفاده از رابطهٔ $P = \frac{V^۲}{R}$ به‌دست می‌آید. بنابراین، به ترتیب داریم :

$$R_{\text{لامپ}} = \frac{V^۲}{P_{\text{لامپ}}} = \frac{(۲۲۰\,\text{V})^۲}{۱۰۰\,\text{W}} = ۴۸۴\,\Omega$$

$$R_{\text{بخاری}} = \frac{V^۲}{P_{\text{بخاری}}} = \frac{(۲۲۰\,\text{V})^۲}{۲۰۰۰\,\text{W}} = ۲۴/۲\,\Omega$$

$$R_{\text{پخش}} = \frac{V^۲}{P_{\text{پخش}}} = \frac{(۲۲۰\,\text{V})^۲}{۲۰۰\,\text{W}} = ۲۴۲\,\Omega$$

$$R_{\text{سشوار}} = \frac{V^۲}{P_{\text{سشوار}}} = \frac{(۲۲۰\,\text{V})^۲}{۲۲۰۰\,\text{W}} = ۲۲/۰\,\Omega$$

پس مقاومت معادل چنین محاسبه می‌شود :

$$\frac{۱}{R_{\text{eq}}} = \frac{۱}{R_{\text{لامپ}}} + \frac{۱}{R_{\text{بخاری}}} + \frac{۱}{R_{\text{پخش}}} + \frac{۱}{R_{\text{سشوار}}} =$$

$$= \frac{۱}{۴۸۴\,\Omega} + \frac{۱}{۲۴/۲\,\Omega} + \frac{۱}{۲۴۲\,\Omega} + \frac{۱}{۲۲/۰\,\Omega} = ۰/۰۹۳۰\,\Omega^{-۱}$$

و در نتیجه $R_{\text{eq}} = ۱۰/۷۵\,\Omega \approx ۱۰/۸\,\Omega$. بنابراین، توان مصرفی مقاومت معادل چنین می‌شود :

$$P_{R_{\text{eq}}} = \frac{V^۲}{R_{\text{eq}}} = \frac{(۲۲۰\,\text{V})^۲}{۱۰/۷۵\,\Omega} = ۴/۵۰\,\text{kW}$$

https://konkur.info

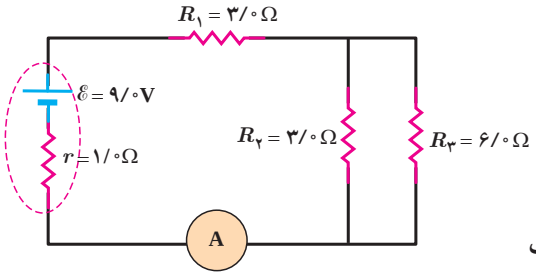
اکنون می‌خواهیم این نتیجه را با مجموع توان‌های هریک از مصرف‌کننده‌ها مقایسه کنیم.

مجموع توان مصرف‌کننده‌ها برابر است با

$$P_{\text{کل}} = P_{\text{لامپ}} + P_{\text{بخاری}} + P_{\text{پخش}} + P_{\text{سشوار}} = ۱۰۰\,\text{W} + ۲۰۰۰\,\text{W} + ۲۰۰\,\text{W} + ۲۲۰۰\,\text{W} = ۴۵۰۰\,\text{W}$$

که همان توان مصرفی مقاومت معادل است.

مثال ۲ــ۱۱



در مدار شکل روبه‌رو

الف) مقاومت معادل،

ب) جریانی که آمپرسنج نشان می‌دهد، و

پ) جریان گذرنده از مقاومت‌های $R_۱$ و $R_۲$ را محاسبه کنید.

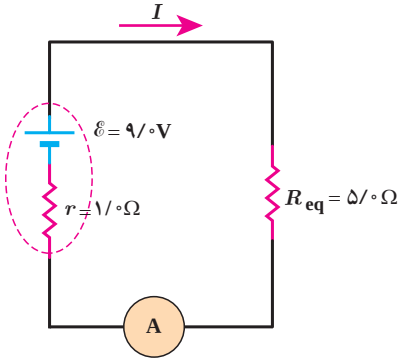
پاسخ : الف) مقاومت‌های $R_۲$ و $R_۳$ موازی با هم وصل شده‌اند، مقاومت معادل آنها را $R_{۲۳}$ می‌نامیم.

$$\frac{۱}{R_{۲۳}} = \frac{۱}{R_۲} + \frac{۱}{R_۳} \Rightarrow R_{۲۳} = \frac{R_۲ R_۳}{R_۲ + R_۳} = \frac{(۳/۰\,\Omega)(۶/۰\,\Omega)}{۳/۰\,\Omega + ۶/۰\,\Omega} = ۲/۰\,\Omega$$

مقاومت معادلِ $R_{۲۳}$ و مقاومت $R_۱$ متوالی با هم وصل شده‌اند. مقاومت معادل آنها را با R_{eq} نشان می‌دهیم :

$$R_{\text{eq}} = R_۱ + R_{۲۳} = ۳/۰\,\Omega + ۲/۰\,\Omega = ۵/۰\,\Omega$$

ب) با استفاده از رابطهٔ ۲ــ۷ برای شکل روبه‌رو داریم :



$$I = \frac{\mathscr{E}}{R_{\text{eq}} + r} = \frac{۹/۰\,\text{V}}{۵/۰\,\Omega + ۱/۰\,\Omega} = ۱/۵\,\text{A}$$

جریان گذرنده از باتری، مقاومت معادلِ R_{eq} و آمپرسنج یکسان است. بنابراین آمپرسنج جریان ۱/۵A را نشان می‌دهد.

پ) می‌دانیم جریان گذرنده از مقاومت‌های متوالی با جریان مقاومت معادل آنها برابر است. پس،

$$I_۱ = I_{۲۳} = I \Rightarrow I_۱ = I_{۲۳} = ۱/۵\,\text{A}$$

برای به‌دست آوردن $I_۲$، نخست $V_۲$ را به دست می آوریم. می‌دانیم در مقاومت‌های موازی، ولتاژ هر مقاومت با ولتاژ مقاومت معادل برابر است. پس $V_{۲۳} = V_۲$ ، و بنابراین کافی است $V_{۲۳}$ را بیابیم :

$$V_{۲۳} = R_{۲۳} I_{۲۳} = (۲/۰\,\Omega)(۱/۵\,\text{A}) = ۳/۰\,\text{V}$$

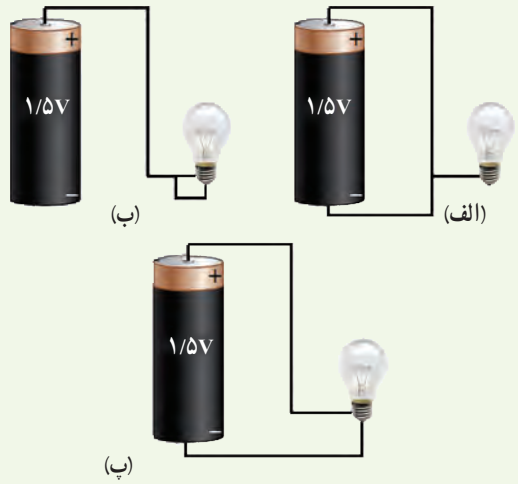
در نتیجه برای جریان $I_۲$ داریم :

$$I_۲ = \frac{V_۲}{R_۲} = \frac{V_{۲۳}}{R_۲} = \frac{۳/۰\,\text{V}}{۳/۰\,\Omega} = ۱/۰\,\text{A}$$

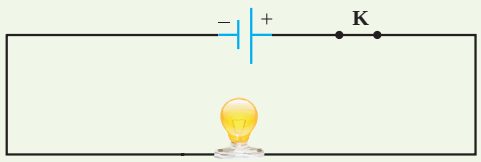
https://konkur.info

۲ـ۱ و ۲ـ۲ جریان الکتریکی، مقاومت الکتریکی و قانون اهم

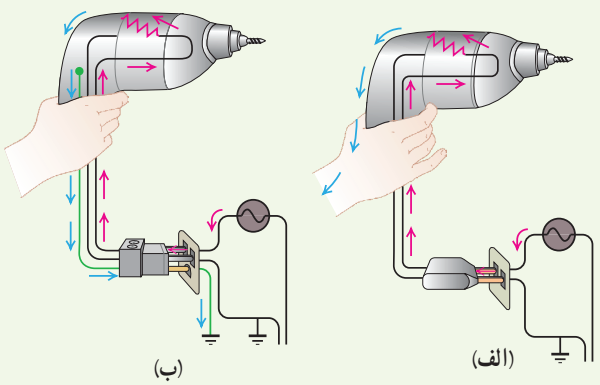
۱ در کدام یک از شکل‌های زیر، لامپ روشن می‌شود؟



۲ در مدار شکل زیر اختلاف پتانسیل دو سر لامپ ۴/۰V و مقاومت آن ۵/۰Ω است. در مدت ۵ دقیقه چه تعداد الکترون از لامپ می‌گذرد؟



۳ بررسی کنید اگر متهٔ برقی (دریل) معیوبِ شکل‌های زیر را با دوشاخه (شکل الف) یا سه‌شاخه (شکل ب) به پریز وصل کنیم، چه رخ می‌دهد؟



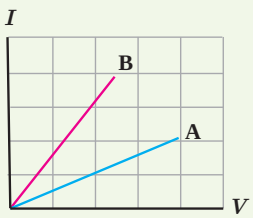
۴ آذرخش مثالی جالب از جریان الکتریکی در پدیده‌های طبیعی است. در یک آذرخش نوعی $۱/۰\times۱۰^{۹}\,J$ انرژی تحت اختلاف‌پتانسیل $۵/۰\times۱۰^{۷}\,V$ در بازهٔ زمانی ۰/۲۰s آزاد می‌شود. با استفاده از این اطلاعات الف) مقدار بار کل منتقل‌شده بین ابر و زمین، ب) جریان متوسط در یک یورش آذرخش و پ) توان الکتریکی آزادشده در ۰/۲۰s را به‌دست آورید.

۵ در آزمایش تحقیق قانون اهم، نتایج جدول زیر به‌دست آمده است.

شمارهٔ آزمایش	عدد ولت‌سنج (V)	عدد آمپرسنج (A)
۱	صفر	صفر
۲	۱/۶	۰/۱۶
۳	۴/۴	۰/۴۳
۴	۷/۰	۰/۶۸
۵	۹/۰	۰/۷۲
۶	۱۰/۰	۰/۷۵

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 کدام‌یک بیشتر است؟ چرا؟



۲ـ۳ عوامل مؤثر بر مقاومت الکتریکی

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

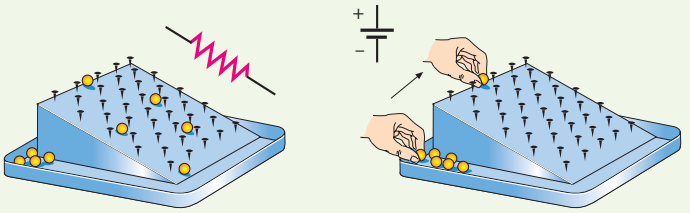
۸ در ماشین‌های چمن‌زنی برقی برای مسافت‌های حداکثر تا ۳۵ m از سیم‌های مسی نمرهٔ ۲۰ (قطر ۰/۰۸ cm) و برای مسافت‌های طولانی‌تر از سیم‌های ضخیم‌تر نمرهٔ ۱۶ (قطر ۰/۱۳cm) استفاده می‌کنند تا بدین ترتیب مقاومت سیم را تا آنجا که ممکن است کوچک نگه دارند. الف) مقاومت یک

https://konkur.info

سیم ۳۰ متری ماشین چمن‌زنی چقدر است؟ ب) مقاومت یک سیم ۷۰ متری ماشین چمن‌زنی چقدر است؟ (دمای سیم‌ها را $20^{\circ}C$ درنظر بگیرید.)

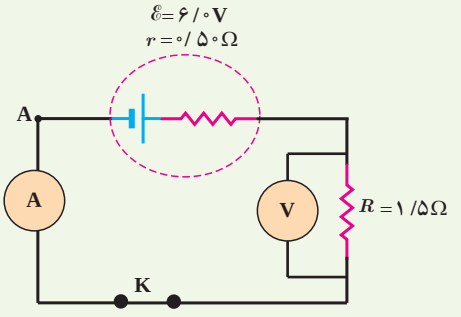
۲ــ۴ نیروی محرکهٔ الکتریکی و مدارها

۹ شکل زیر یک مشابهت‌سازی مکانیکی برای درک مقاومت و نیروی محرکهٔ الکتریکی را نشان می‌دهد که در آن بر سطح شیب‌داری میخ‌هایی تعبیه شده و تیله‌ها از ارتفاع بالای سطح شیب‌دار رها می‌شوند و سپس دوباره به بالای سطح شیب‌دار بازگردانده می‌شوند. این مشابهت‌سازی مکانیکی را توجیه کنید.



۱۰ یک باتری را در نظر بگیرید که وقتی به مدار بسته نیست پتانسیل دو سرش برابر ۱۲/۰V است. وقتی یک مقاومت ۱۰/۰Ω به این باتری بسته شود، اختلاف پتانسیل دو سر باتری به ۱۰/۹V کاهش می‌یابد. مقاومت داخلی باتری چقدر است؟

۱۱ در شکل زیر آمپرسنج و ولت‌سنج چه عددهایی را نشان می‌دهند؟



۲ــ۵ توان در مدارهای الکتریکی

۱۲ دو لامپ رشته‌ای در اختیار داریم که جنس و طول رشتهٔ آنها یکسان است، ولی رشتهٔ لامپ B ضخیم‌تر از رشتهٔ لامپ A است. وقتی لامپ‌ها به ولتاژ یکسانی وصل شوند، کدام لامپ پر نورتر خواهد بود و چرا؟

۱۳ بر روی وسیله‌های الکتریکی، اعداد مربوط به ولتاژ و توان نوشته می‌شود. برای دو وسیلهٔ زیر،

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

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

۲۲۰V، ۸۵۰W، اتوی برقی

۲۲۰V، ۲۴۰۰W، کتری برقی

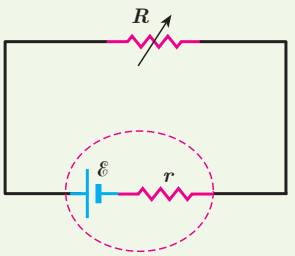
۱۴ تلویزیون و یکی از لامپ‌های خانهٔ خود را درنظر بگیرید و فرض کنید که هرکدام روزی ۸ ساعت با اختلاف پتانسیل ۲۲۰ولت روشن باشد.

الف) انرژی الکتریکی مصرفی هرکدام در یک دورهٔ یک ماهه (۳۰ روز) چند kWh است؟ (توان مصرفی هر وسیله را از روی آن بخوانید.)

ب) بهای برق مصرفی هر کدام از قرار هر کیلووات ساعت ۵۰تومان در یک دورهٔ یک ماهه چقدر می‌شود؟

پ) اگر در شهر شما هر خانه یک لامپ ۱۰۰ وات اضافی را به مدت ۳ ساعت در شب روشن کند، در طول یک ماه تقریباً چند کیلووات ساعت انرژی الکتریکی اضافی مصرف می‌شود؟

۱۵ در شکل زیر، الف) نیروی محرکهٔ الکتریکی و مقاومت



https://konkur.info

داخلی منبع را که توان خروجی آن به ازای $I_1 = 5/00\,A$ برابر $9/50\,W$ و به ازای $I_2 = 7/00\,A$ برابر $12/6\,W$ است، محاسبه کنید.

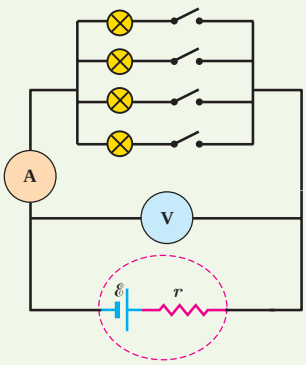
ب) نمودار اختلاف پتانسیل دو سر باتری برحسب جریان گذرنده از آن را رسم کنید.

۲ـ۶ ترکیب مقاومت‌ها

۱۶ لامپ‌های یک درخت زینتی، به طورمتوالی متصل شده‌اند. اگر یکی از لامپ‌ها بسوزد، چه اتّفاقی می‌افتد؟ به‌نظر شما چرا همهٔ چراغ‌های خودرو (چراغ‌های جلو، عقب و ...) به‌طور موازی بسته می‌شوند؟

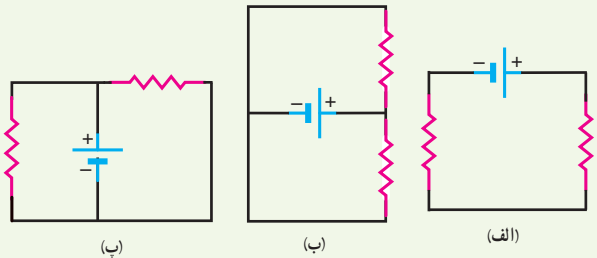
۱۷ مقاومت یک آمپرسنج برای اندازه‌گیری جریان در یک مدار باید چگونه باشد تا جریان اندازه‌گیری‌شده توسط آمپرسنج با جریان قبل از قرار دادن آمپرسنج، نزدیک به هم باشد؟

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 آمپرسنج 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 می‌بندیم 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؟

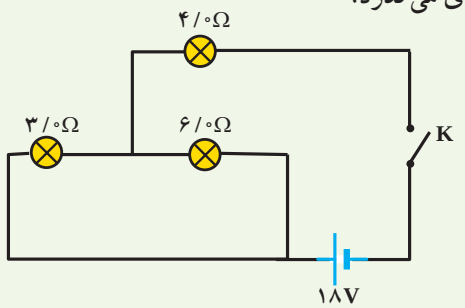
۲۰ در شکل‌های زیر، آیا مقاومت‌ها به‌طور متوالی بسته شده‌اند یا موازی و یا هیچ کدام؟



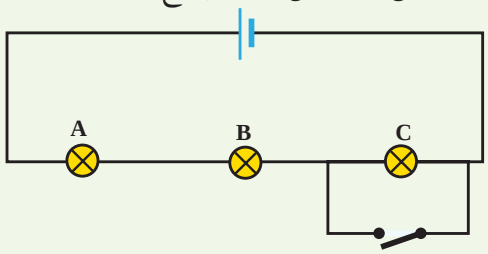
۲۱ سه مقاومت مشابه ۱۲ اُهمی را یک‌بار به‌طور متوالی و بار دیگر به‌طور موازی به یکدیگر می‌بندیم و به اختلاف پتانسیل ۱۲ولت وصل می‌کنیم. در هر بار، چه جریانی از هر مقاومت می‌گذرد؟

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

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



۲۴ لامپ‌های A، B و C در شکل زیر همگی یکسان‌اند. با بستن کلید، کدام‌یک از تغییرات زیر در اختلاف‌پتانسیل رخ می‌دهد؟ (ممکن است بیش از یک پاسخ درست باشد).



الف) اختلاف‌پتانسیل دو سر A و B تغییر نمی‌کند.

ب) اختلاف‌پتانسیل دو سر C به اندازهٔ ۵۰٪ کاهش می‌یابد.

پ) هریک از اختلاف‌پتانسیل‌های دو سر A و B به‌اندازهٔ ۵۰٪ افزایش می‌یابد.

ت) اختلاف‌پتانسیل دو سر C به صفر کاهش می‌یابد.

۲۵ درسیم‌کشی منازل، همهٔ مصرف‌کننده‌ها به‌طور موازی متصل می‌شوند. یک اتوی ۱۱۰۰W، یک نان برشته‌کن (توستر) ۱۸۰۰W، پنج لامپ رشته‌ای ۱۰۰W و یک بخاری ۱۱۰۰W به پریزهای یک مدار سیم‌کشی خانگی ۲۲۰V که حداکثر می‌تواند جریان ۱۵A را تحمل کند وصل شده‌اند. آیا این ترکیب مصرف‌کننده‌ها باعث پریدن فیوز می‌شود یا خیر؟

https://konkur.info

۳

مغناطیس و القای الکترومغناطیسی

وقتی کارت بانکی درون دستگاه کارت‌خوان «کشیده» می‌شود، اطلاعات رمزینه شده در نوار مغناطیسی پشت کارت، به مرکز اطلاعات بانک ارسال می‌شود. چرا به جای ثابت نگه داشتن کارت در شکاف دستگاه کارت خوان، 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 فنّاوری دیجیتال به میزان زیادی جایگزین ضبط مغناطیسی به شیوه‌های سنتی شده‌است، با وجود این، ذخیرهٔ اطلاعات به‌صورت صفر و یک، هنوز هم در بیشتر روش‌ها به محیط‌های مغناطیسی وابسته است.

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

شکل ۳ــ۱ سنگ آهنربای طبیعی. تالس که اغلب از او به عنوان پدر علم یونان یاد می‌شود، مادهٔ کانی مگنتیت Fe_3O_4 را که ویژگی آهنربایی دارد می‌شناخت.

۳ــ۱ مغناطیس و قطب‌های مغناطیسی

آثار مغناطیسی دست‌کم ۲۵۰۰ سال پیش در تکه‌هایی از سنگ آهن مغناطیسی شده در نزدیکی شهر باستانی مگنسیا (که نام امروزی آن مانیسا و در غرب ترکیه واقع است) مشاهده شد. این تکه‌ها نمونه‌هایی هستند از چیزی که امروزه آهنربای دائمی‌خوانده می‌شود (شکل ۳ــ۱). چینی‌های باستان نیز با ویژگی‌های مغناطیسی برخی از سنگ‌های آهنربایی آشنایی داشتند و از آنها در ساخت قطب‌نما برای جهت‌یابی استفاده می‌کردند (شکل ۳ــ۲).

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

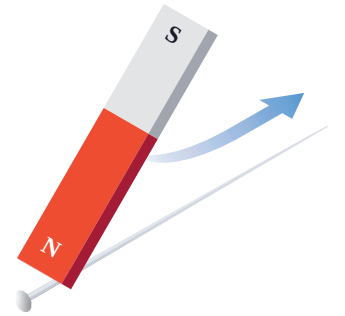
در علوم هشتم دیدید که هرگاه آهنربایی را درون ظرف محتوی برادهٔ آهن فرو ببریم، براده‌های آهن به مقدار زیادی جذب ناحیه‌های خاصی از آهنربا می‌شوند. این ناحیه‌ها را قطب‌های مغناطیسی یا قطب‌های آهنربا می‌نامند (شکل ۳ــ۳).

شکل ۳ــ۳ در آهنربا، دو ناحیه وجود دارد که خاصیت مغناطیسی درآنجا بسیار بیشتر از قسمت‌های دیگر است.

پرسش ۳ــ۱

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

هنگامی که یک آهنربای دائمی برای چندین بار و در یک جهت به یک سوزن خیاطی یا سوزن ته‌گرد کشیده شود، سوزن نیز برای مدتی آهنربا می‌شود (شکل ۳ــ۴). اگر این سوزن را به آرامی روی سطح آب درون ظرفی شناور کنیم، یا آن را توسط ریسمانی از وسط آن بیاویزیم که بتواند آزادانه بچرخد، یک سر آن تقریباً به سوی شمال جغرافیایی قرار می‌گیرد. این سر را *قطب شمال* یا قطب N و سر دیگر را *قطب جنوب* یا قطب S می‌نامند.



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

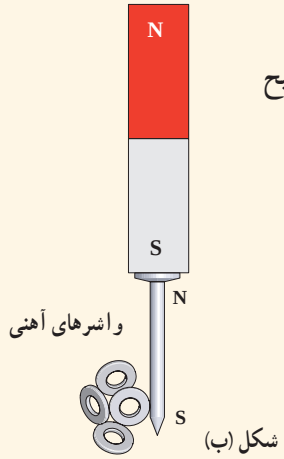
ممکن است مفهوم قطب‌های مغناطیسی به نظر، مشابه مفهوم بارهای الکتریکی باشد و قطب‌های شمال و جنوب، مشابه بارهای مثبت و منفی به نظر بیاید؛ ولی این مشابهت می‌تواند گمراه کننده باشد. بارهای مثبت و منفی مجزا وجود دارند، در حالی‌که هیچ گواه تجربی بر وجود تک قطبی مغناطیسی وجود ندارد؛ قطب‌های مغناطیسی همواره به‌صورت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

https://konkur.info

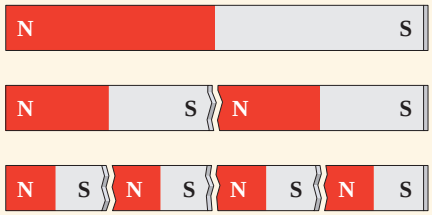
پرسش ۳ــ۲

۱ــ دریافت خود را از شکل الف بیان کنید.

۲ــ در علوم هشتم با پدیدهٔ القای مغناطیسی آشنا شدید. با توجه به شکل ب این پدیده را توضیح دهید و بیان کنید چرا در پدیدهٔ القای مغناطیسی همواره جذب وجود دارد؟

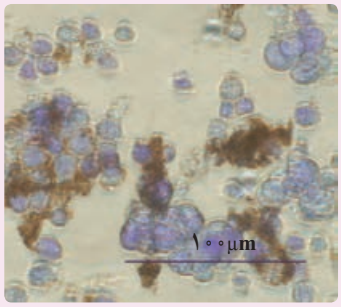


شکل (ب)



شکل (الف)

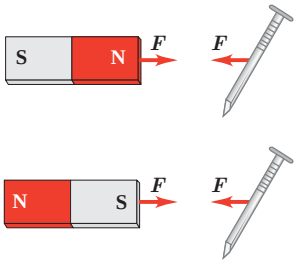
فنّاوری و کاربرد: نانو ذرّه‌های مغناطیسی برای درمان



لکه‌های تیره در تصویر میکروسکوپی روبه‌رو، یاخته‌های سرطانی‌اند که از توموری جدا شده‌اند و خطر پخش آنها در سرتاسر بدن بیمار وجود دارد. در یک روش تجربی برای مبارزه با این یاخته‌ها از ذرّه‌های یک مادهٔ مغناطیسی استفاده می‌شود که به بدن تزریق می‌شوند. این ذرّه‌ها با مادهٔ شیمیایی خاصی پوشیده شده‌اند که به‌طور هدفمند به یاخته‌های سرطانی متصل می‌شوند. سپس با استفاده از یک آهنربا در بیرون از بدن بیمار، این ذرّه‌ها (که در شکل به رنگ قهوه‌ای نشان داده شده است) بیرون «رانده» می‌شوند و یاخته‌های سرطانی را با خود می‌برند.

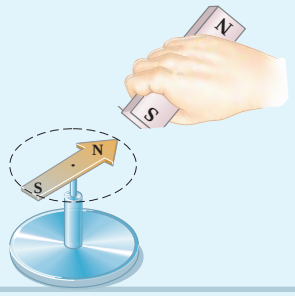
۳ــ۲ میدان مغناطیسی

هرگاه آهنربایی را به یک میخ آهنی نزدیک کنید می‌بینید که میخ به طرف آهنربا حرکت می‌کند و به سمت آن جذب می‌شود (شکل ۳ــ۵). مشابه آنچه دربارهٔ اجسام باردار دیدید، برای توجیه این پدیده می‌گوییم 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 شدید، کمیتی برداری است و آن را با نماد $\vec{B}$ نمایش می‌دهیم.



شکل ۳ــ۵ در فضای اطراف آهنربا میدان مغناطیسی وجود دارد به طوری که هر جسم آهنی مانند میخ را به سوی خود جذب می‌کند.

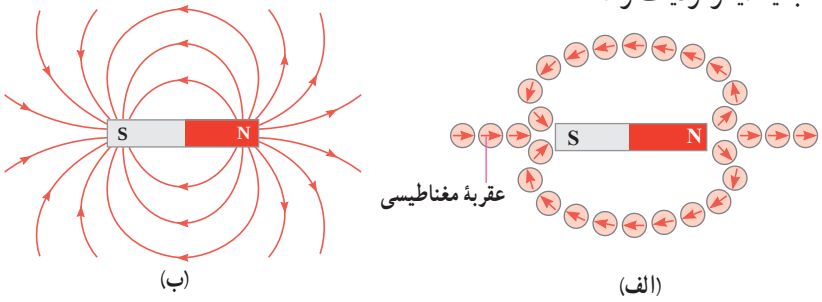
فعالیت ۳ــ۱



یکی از قطب‌های یک آهنربای میله‌ای را به یک عقربهٔ مغناطیسی نزدیک کنید (شکل روبه‌رو). آنچه را می‌بینید توضیح دهید. با دور کردن آهنربا از قطب‌نما چه اتفاقی می‌افتد؟ دلیل آن را شرح دهید. درصورتی‌که قطب‌نما در اختیار ندارید، یک سوزن ته‌گرد مغناطیسی شده را روی سطح آب، درون ظرفی شناور سازید. به این ترتیب، سوزن ته‌گرد مانند عقربهٔ مغناطیسی یک قطب‌نما رفتار می‌کند.

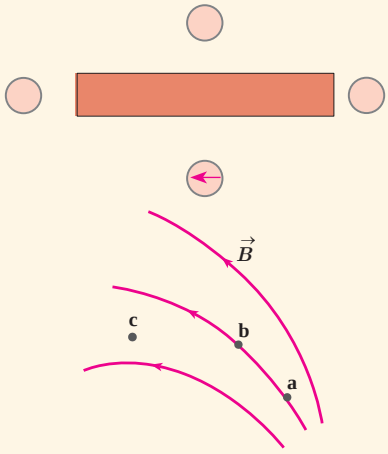
https://konkur.info

به کمک عقربهٔ مغناطیسی می‌توان جهت میدان مغناطیسی را در هر نقطه از فضای اطراف یک آهنربا تعیین کرد (شکل ۳ــ۶ الف). بنا به تعریف، بردار میدان مغناطیسی در هر نقطه از فضای پیرامون یک آهنربا در جهتی است که وقتی عقربهٔ مغناطیسی در آن نقطه قرار می‌گیرد، قطب N عقربه، آن جهت را نشان می‌دهد. با تعیین جهت میدان مغناطیسی در هر نقطه از فضای اطراف آهنربا، می‌توان همان‌گونه که برای میدان الکتریکی انجام دادیم، خط‌های میدان مغناطیسی را رسم کنیم. شکل ۳ــ۶ ب خط‌های میدان مغناطیسی را در اطراف یک آهنربای میله‌ای نشان می‌دهد. این خط‌ها از آهنربا می‌گذرند و هریک از آنها یک حلقهٔ بسته را تشکیل می‌دهند. افزون بر اینها، خط‌های میدان مغناطیسی در نزدیکی قطب‌ها به یکدیگر نزدیک‌ترند.



شکل ۳ــ۶ (الف) تعیین جهت میدان مغناطیسی به کمک عقربهٔ مغناطیسی. (ب) خط‌های میدان مغناطیسی در هر نقطه در جهت عقربهٔ مغناطیسی‌اند و از قطب N خارج و به قطب S وارد می‌شوند. (در این شکل، خط‌های درون آهنربا نشان داده نشده است.)

پرسش ۳ــ۳



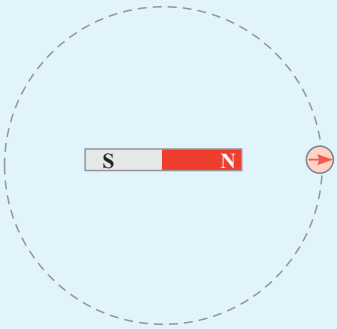
۱ــ شکل روبه‌رو، یک آهنربای میله‌ای و تعدادی عقربهٔ مغناطیسی را نشان می‌دهد.

(الف) کدام سر آهنربا قطب N و کدام سر قطب S است؟

(ب) جهت‌گیری عقربه‌های مغناطیسی را در دیگر مکان‌های روی شکل تعیین کنید.

۲ــ شکل روبه‌رو، خط‌های میدان مغناطیسی در ناحیه‌ای از فضا را نشان می‌دهد. بردار میدان مغناطیسی را در هر یک از نقطه‌های روی شکل رسم کنید. به اندازه و جهت بردار میدان در هر نقطه توجه کنید.

فعالیت ۳ــ۲



یک آهنربای میله‌ای را روی سطح افقی میزی قرار دهید. یک قطب‌نما یا عقربهٔ مغناطیسی را مقابل یکی از قطب‌های آهنربا قرار دهید. روی مسیری دایره‌ای شکل دور آهنربا، عقربه را به آرامی حرکت دهید (شکل روبه‌رو). بررسی کنید پس از یک دور حرکت، عقربه چند درجه می‌چرخد.

https://konkur.info

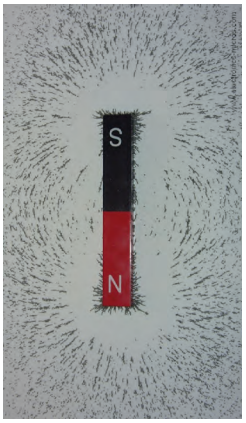
آزمایش ۳ـ۱

هدف: مشاهدهٔ طرح خط‌های میدان مغناطیسی با استفاده از برادهٔ آهن

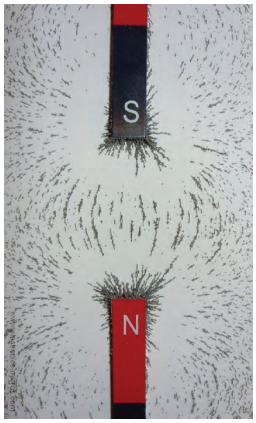
وسیله‌های مورد نیاز : آهنربای میله‌ای (دو عدد)، برادهٔ آهن، یک ورقهٔ شیشه‌ای یا مقوایی، نمک پاش (یا وسیلهٔ دیگری برای پاشیدن برادهٔ آهن) و دوربین برای عکس گرفتن از نتیجهٔ آزمایش (اختیاری)

شرح آزمایش :

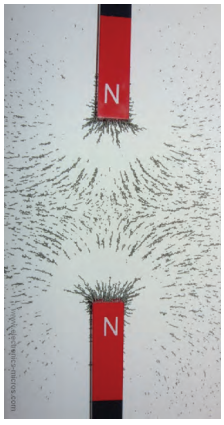
- یکی از آهنرباهای میله‌ای را روی میز قرار دهید و صفحهٔ شیشه‌ای (یا مقوایی) را روی آن بگذارید.
- به کمک نمک پاش، کمی برادهٔ آهن را به طور یکنواخت روی شیشه (مقوا) بپاشید.
- چند ضربهٔ آرام به صفحهٔ شیشه‌ای بزنید تا برادهای آهن در راستای خط‌های میدان مغناطیسی قرار گیرند. طرحی که روی صفحهٔ شیشه‌ای پدیدار می‌شود، نقشه‌ای از خط‌های میدان مغناطیسی یک آهنربای میله‌ای است (شکل الف).
- مراحل بالا را برای دو آهنربای میله‌ای که به‌ترتیب : قطب‌های ناهمنام و قطب‌های همنام آنها به یکدیگر نزدیک‌اند انجام دهید (شکل‌های ب و پ).



(الف)

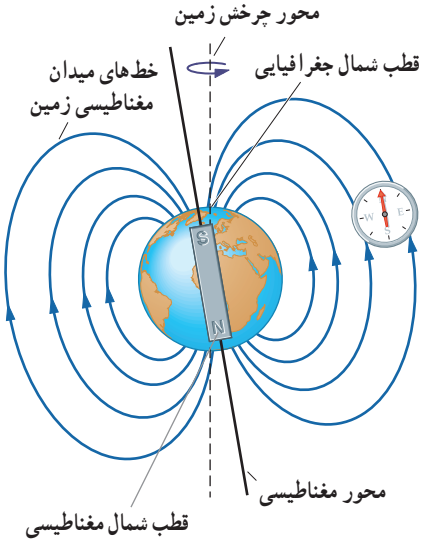


(ب)



(پ)

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 نزدیکی مرکز زمین قرار دارد و قطب شمال آن در نزدیکی قطب جنوب جغرافیایی زمین است (شکل ۳ـ۷). نشان دادن خط‌های میدان مغناطیسی زمین به صورت خط‌های میدان یک آهنربای میله‌ای، تنها یک مدل ساده از ساختار پیچیده و ناشناختهٔ عوامل ایجاد میدان مغناطیسی زمین است. شواهد زمین‌شناختی نشان می‌دهند که جهت این میدان در بازه‌های زمانی نامنظّم از ده هزار تا یک‌میلیون سال به‌طور کامل وارون می‌شود. قطب‌های مغناطیسی زمین بر قطب‌های جغرافیایی آن منطبق نیستند. در واقع، قطب‌های مغناطیسی و جغرافیایی زمین فاصلهٔ نسبتاً زیادی از یکدیگر دارند؛ مثلاً قطب جنوب مغناطیسی تقریباً در فاصلهٔ ۱۸۰۰ کیلومتری قطب شمال جغرافیایی قرار دارد. این بدان معناست که عقربهٔ مغناطیسی قطب‌نما درجهت شمال واقعی جغرافیایی قرار نمی‌گیرد و تا حدودی از شمال جغرافیایی انحراف دارد.



شکل ۳ـ۷ طرح ساده‌ای از میدان مغناطیسی زمین. عقربهٔ مغناطیسی قطب‌نما در هر نقطه در امتداد خط‌های این میدان قرار می‌گیرد.

https://konkur.info

فعالیت ۳ـ۳

وقتی یک سوزن مغناطیسی شده یا یک عقربهٔ 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، **شیب مغناطیسی** گفته می‌شود.

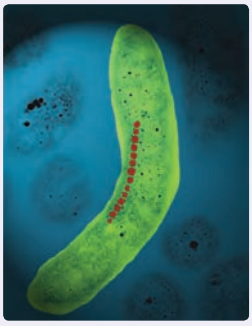
برای یافتن شیب مغناطیسی محلی که در آن زندگی می‌کنید درست به وسط یک سوزن مغناطیسی شده یا عقربهٔ مغناطیسی بزرگ، نخی را ببندید و آن را آویزان کنید. پس از تعادل، به کمک نقاله، زاویه‌ای را اندازه بگیرید که امتداد سوزن یا عقربهٔ مغناطیسی با راستای افق می‌سازد. عدد به‌دست آمده، شیب مغناطیسی محل زندگی شماست[۱]. چنانچه در آزمایشگاه مدرسه شیب‌سنج 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 درونی 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.

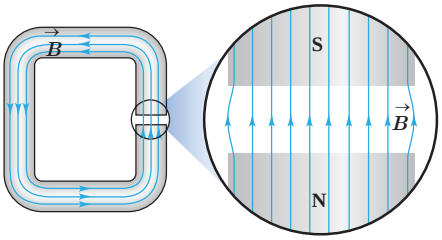
در سال ۱۹۷۵ میلادی، دانشمندان مؤسسهٔ فنّاوری ماساچوست (MIT) هنگام بررسی باکتری‌های موجود در لجن ته باتلاق‌ها، متوجه شدند که این باکتری‌ها دارای قسمت‌هایی کوچک در بدن خود هستند که خاصیت مغناطیسی دارند. این قسمت‌ها به صورت زنجیری در یک خط قرار دارند؛ در نتیجه یک عقربهٔ مغناطیسی کوچک را تشکیل می‌دهند (شکل ب). باکتری‌ها به کمک این مغناطیس داخلی می‌توانند از میدان مغناطیسی زمین بهره بگیرند و به طرف مواد غذایی در ته آبگیر هدایت شوند. جالب اینکه باکتری‌های مربوط به نیمکرهٔ جنوبی زمین، برای رسیدن به تهِ آبگیر در خلاف جهت خط‌های میدان مغناطیسی زمین قرار می‌گیرند.

(الف)



(ب)

میدان مغناطیسی یکنواخت : هرگاه در نقاط مختلف ناحیه‌ای از فضا جهت و اندازهٔ میدان مغناطیسی یکسان باشد، در این صورت میدان مغناطیسی را در آن ناحیه یکنواخت می‌گویند. ایجاد میدان مغناطیسی یکنواخت در ناحیهٔ بزرگی از فضا بسیار دشوار و در عمل امکان‌ناپذیر است. با این وجود، می‌توان در ناحیهٔ کوچکی از فضا، مانند ناحیهٔ بین قطب‌های یک آهنربای C شکل[۲]، میدان مغناطیسی یکنواخت ایجاد کرد (شکل ۳ـ۸).



شکل ۳ـ۸ میدان مغناطیسی در فضای بین قطب‌های یک آهنربای C شکل با تقریب خوبی یکنواخت است.

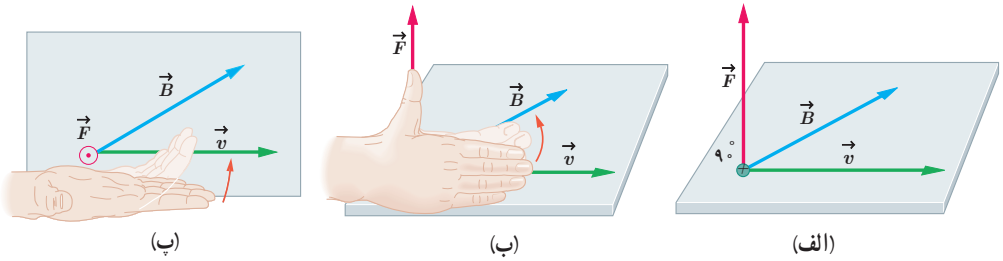
۱ـ می‌توانید به سایت www.magnetic-declination.com بروید و درستی شیب مغناطیسی (magnetic inclination) به دست آمده در فعالیت ۳ـ۳ را بررسی کنید. یا با نصب برنامهٔ inclination meter روی گوشی تلفن همراه خود، شیب مغناطیسی را در محل زندگی خود اندازه بگیرید. شیب مغناطیسی در ایران از حدود 40° تا حدود 60° از مناطق جنوبی تا مناطق شمال غربی متغیر است.

۲ـ C ـ Shaped Magnet

https://konkur.info

۳ــ۳ نیروی مغناطیسی وارد بر ذرّهٔ باردار متحرک در میدان مغناطیسی

آزمایش نشان می‌دهد که اگر ذرّهٔ 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 ۳ــ۹ الف بر راستای سرعت و میدان مغناطیسی عمود است. این نیرو را نیروی مغناطیسی می‌نامند و جهت آن، مطابق شکل ۳ــ۹ ب و پ به کمک قاعدهٔ دست راست تعیین می‌شود. اگر دست راست خود را طوری نگه داریم که انگشتان باز شدهٔ ما در جهت $\vec{v}$ باشد ــ به گونه‌ای که وقتی آنها را روی زاویهٔ کوچک‌تری که $\vec{v}$ با $\vec{B}$ می‌سازد، و در جهت چرخش طبیعی انگشتان خم کنیم در جهت $\vec{B}$ قرار گیرد ــ انگشت شست ما در جهت نیروی وارد بر ذرّهٔ باردار مثبت خواهد بود. توجه کنید که نیروی وارد بر بار منفی، در خلاف جهت نیروی وارد بر بار مثبت است.



شکل ۳ــ۹ (الف) بر ذرّهٔ باردار q که 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 قاعدهٔ دست راست تعیین می‌شود.

اندازهٔ نیروی مغناطیسی وارد بر بار الکتریکی در حال حرکت از رابطهٔ زیر به دست می‌آید :

$$F=|q|vB\sin\theta \qquad (۱ــ۳)$$

در این رابطه $|q|$ بزرگی بار الکتریکی، v تندی (اندازه سرعت) بار الکتریکی، B اندازهٔ میدان مغناطیسی و θ زاویهٔ بین جهت حرکت بار الکتریکی (بردار $\vec{v}$) با جهت میدان مغناطیسی (بردار $\vec{B}$) است (شکل ۳ــ۱۰).

رابطهٔ ۳ــ۱ نشان می‌دهد وقتی بار الکتریکی q عمود بر راستای میدان مغناطیسی حرکت کند ($\sin\theta=\sin ۹۰^\circ=۱$)، اندازهٔ نیروی مغناطیسی وارد بر بار الکتریکی، بیشینه می‌شود ($F=F_{max}$). بنا به رابطهٔ ۳ــ۱، یکای SI میدان مغناطیسی معادل است با :

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

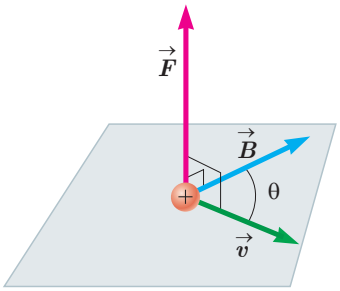
این یکا به احترام نیکُلا تسلا دانشمند و مخترع نامی، تسلا نامیده می‌شود و به اختصار با نماد T نشان داده می‌شود. به این ترتیب می‌توان نوشت :

$$۱\text{T}=۱\frac{\text{N}}{\text{C.m/s}}=۱\frac{\text{N}}{\text{A.m}} \qquad (۲ــ۳)$$

نیکُلا تسلا (۱۹۴۳ــ۱۸۵۶)

تسلا در کرواسی به دنیا آمد. او بعدها به امریکا مهاجرت و مدتی با ادیسون همکاری کرد. ادیسون همواره با جریان مستقیم (dc) کار می‌کرد، با این وجود، وی کارکردن با جریان متناوب (ac) با ولتاژهای بسیار بالا را عملی ساخت. تسلا از اینکه جریان متناوب برای اوّلین بار در صندلی الکتریکی به منظور اعدام مورد استفاده قرار گرفت شدیداً ناراحت بود. وی همچنین طراح تولید برق در آبشار نیاگارا بود. به پاس خدمات وی، یکای SI میدان مغناطیسی را با تسلا نشان می‌دهند.

⊙ نماد بردار عمود بر صفحه به‌طرف بیرون (برون‌سو)
⊗ نماد بردار عمود بر صفحه به‌طرف درون (درون‌سو)



شکل ۳ــ۱۰ نیروی $\vec{F}$ بر 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.

https://konkur.info

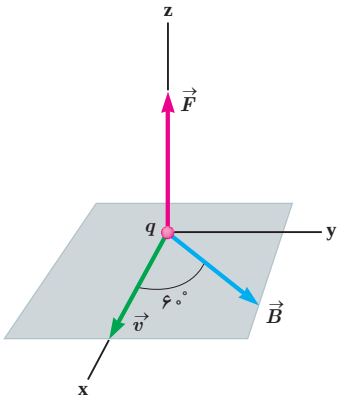
کارل فریدریش گاوس (۱۸۵۵ــ۱۷۷۷)

گاوس، ریاضی‌دان، فیزیک‌دان و ستاره‌شناس آلمانی است که مدتی مدیر رصدخانهٔ گوتینگن بوده است. گاوس یکی از ریاضی‌دان‌های بزرگ و برجسته‌ترین کارش در نظریهٔ اعداد است. او به انجام محاسبه‌های بی‌اندازه بغرنج علاقه‌مند بود. وی همچنین روش‌های تازه‌ای برای محاسبه در مکانیک سماوی به‌دست آورد. گاوس روی پدیده‌های الکتریکی و مغناطیسی نیز فعالیت زیادی کرد و قانونی به نام وی در مبحث الکتریسیته وجود دارد.

تسلا یکای بزرگی است و در برخی موارد از یکای قدیمی(غیر SI) و کوچک‌تری به نام گاوس (با نماد G) استفاده می‌کنند به طوری‌که داریم $1\,T=10^{4}\,G$. اندازهٔ میدان مغناطیسی زمین در نزدیکی سطح زمین در قطب‌ها بیشترین (۰/۶۵ G) و در استوا کمترین (۰/۲۵ G) است. بزرگی میدان مغناطیسی در نزدیکی آهنرباهای میله‌ای کوچک حدود ۰/۰۱ تا ۰/۱ تسلا است. همچنین بزرگ‌ترین میدان مغناطیسی مداوم[1] که امروزه در آزمایشگاه تولید شده، حدود ۴۵ تسلا است.

مثال ۳ــ۱

ذرّه‌ای با بار $q=-4/0\,nC$ و با تندی $v=20\,m/s$ در جهتی حرکت می‌کند که با میدان مغناطیسی یکنواخت $B=120\,G$ زاویهٔ $\theta=60^\circ$ می‌سازد (شکل روبه‌رو). اندازهٔ نیروی مغناطیسی وارد بر این ذرّه را حساب کنید.



پاسخ : با توجه به فرض‌های مسئله داریم :

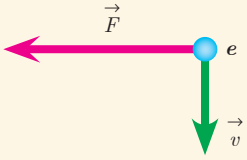
$$|q|=+4/0\times10^{-9}\,C\ ,\ v=20\,m/s\ ,$$
$$B=120\times10^{-4}\,T\ \text{و}\ \theta=60^\circ$$

با قرار دادن داده‌های بالا در رابطهٔ ۳ــ۱ داریم :

$$F=|q|vB\sin\theta$$
$$=(4/0\times10^{-9}\,C)(20\,m/s)(120\times10^{-4}\,T)\sin60^\circ\approx8/3\times10^{-6}\,N$$

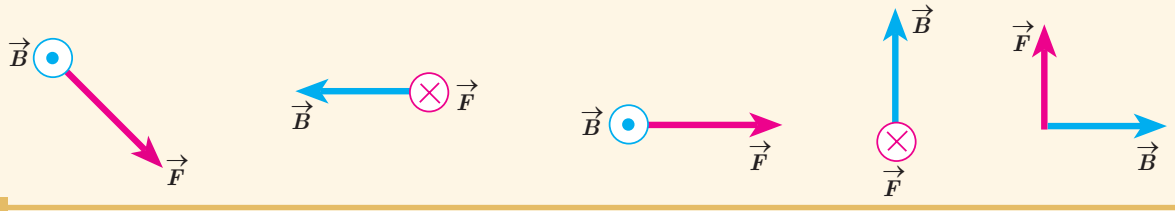
پرسش ۳ــ۴

۱ــ الکترونی عمود بر میدان مغناطیسی یکنواختی در حرکت است. با توجه به شکل، جهت میدان $\vec{B}$ کدام است؟



☐ بالا ☐ راست ☐ درون‌سو ☐ برون‌سو

۲ــ 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 هریک از حالت‌های نشان داده شده جهت سرعت الکترون را تعیین کنید.



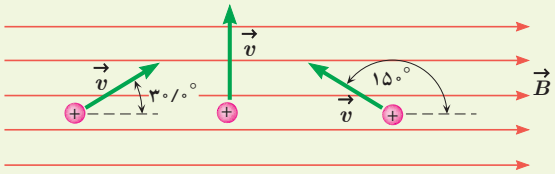
۱ــ Strongest Continous Magnetic Field

https://konkur.info

تمرین ۳ــ۱

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

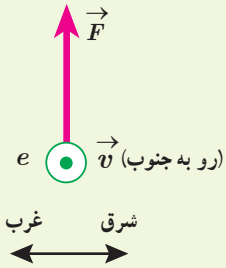
۲ــ سه ذرّه، هر کدام با بار $q=۶/۱۵\,\mu C$ و تندی $v=۴۶\,m/s$، در میدان مغناطیسی یکنواختی به‌اندازهٔ $B=۰/۱۶۵T$ در حرکت‌اند (شکل روبه‌رو). اندازهٔ نیروی وارد بر هر ذرّه را حساب کنید.



۳ــ الکترونی با تندی $۲/۴\times۱۰^{۵}m/s$ درون میدان مغناطیسی یکنواختی در حرکت است. اندازهٔ نیرویی که از طرف میدان مغناطیسی بر این الکترون وارد می‌شود، هنگامی بیشینه است که الکترون به سمت جنوب حرکت کند.

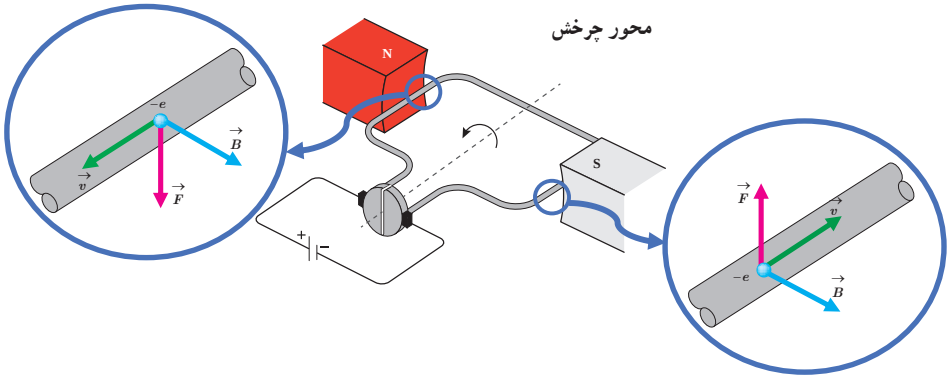
الف) اگر جهت این نیروی بیشینه، رو به بالا و اندازهٔ آن برابر $۶/۸\times۱۰^{-۱۴}N$ باشد، اندازه و جهت میدان مغناطیسی را تعیین کنید.

ب) اندازهٔ میدان الکتریکی چقدر باشد تا همین نیرو را ایجاد کند؟



۳ــ۴ 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، متهٔ برقی، آسیاب برقی، ماشین لباسشویی، پنکه و... را تشکیل می‌دهند. شکل ۳ــ۱۱ طرحی ساده از اجزای اصلی یک موتور الکتریکی را نشان می‌دهد که در علوم سال هشتم با نحوهٔ ساختن آن آشنا شدید. چه چیز باعث می‌شود یک موتور الکتریکی کار کند؟ در هر موتور الکتریکی، سیم‌هایی وجود دارند که حامل جریان‌اند (یعنی بارهای الکتریکی در آنها در حرکت‌اند) و آهنرباهایی نیز وجود دارند که بر بارهای متحرک نیرو وارد می‌کنند. از این رو، بر هر سیم حامل جریان، نیروی مغناطیسی وارد می‌شود و این نیروها حلقه را می‌چرخاند.



شکل ۳ــ۱۱ طرحی ساده از یک موتور الکتریکی. نیروی مغناطیسی F وارد بر الکترون‌هایی که با سرعت سوق v درون رسانا حرکت می‌کنند حلقه را می‌چرخاند.

https://konkur.info

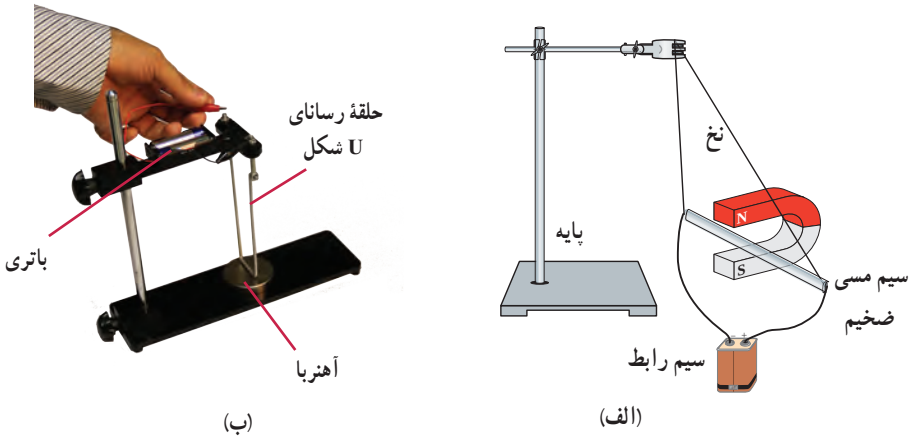
آزمایش ۳ــ۲

هدف: بررسی نیروی وارد بر سیم حامل جریان

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

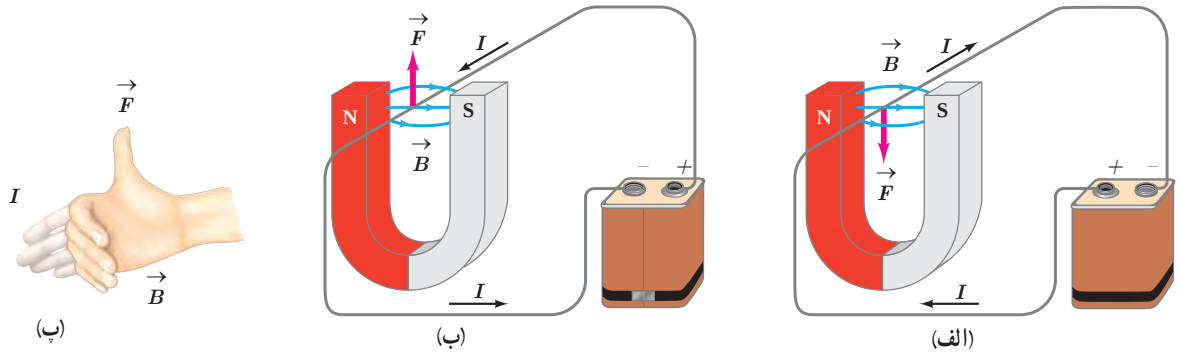
شرح آزمایش :

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



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

نیرویی که در میدان مغناطیسی بر سیم حامل جریان الکتریکی وارد می‌شود، بر راستای سیم و نیز بر راستای میدان مغناطیسی عمود است. جهت نیروی وارد بر سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی را می‌توان با استفاده از قاعدهٔ دست راست تعیین کرد (شکل ۳ــ۱۲).



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

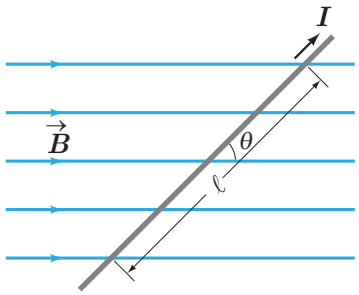
https://konkur.info

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

آزمایش‌هایی مشابه آزمایش ۳ــ۲ نشان می‌دهند که نیروی مغناطیسی وارد بر یک سیم رسانای حامل جریان در میدان مغناطیسی یکنواخت، به عامل‌های مختلفی بستگی دارد که این عامل‌ها در رابطهٔ زیر بیان شده‌اند :

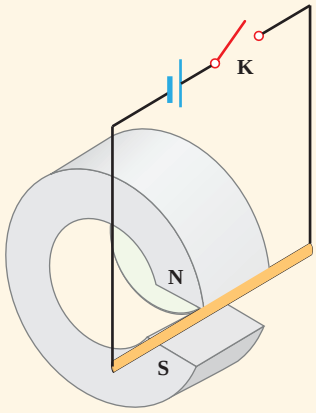
$$F = I\ell B\sin\theta \qquad (۳ــ۳)$$

در این رابطه l 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 ۳ــ۱۳).



شکل ۳ــ۱۳ سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی. نیروی مغناطیسی وارد بر سیم درون‌سو (عمود بر صفحهٔ کتاب و به طرف داخل) است.

پرسش ۳ــ۵



۱ــ اگر در شکل ۳ــ۱۳ سیم حامل جریان در امتداد میدان مغناطیسی قرار گیرد، نیروی مغناطیسی وارد بر آن چقدر خواهد بود؟ در چه حالتی بزرگی این نیرو بیشینه می‌شود؟

۲ــ یک میلهٔ 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 میلهٔ رسانا رخ می‌دهد؟ توضیح دهید.

مثال ۳ــ۲

یک سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی یکنواختی به بزرگی ۴۰۰G در راستایی قرار دارد که با جهت میدان زاویهٔ 30° می‌سازد. اگر جریان عبوری از سیم ۵/۰A باشد، بزرگی نیروی مغناطیسی وارد بر ۱/۰m از این سیم را حساب کنید.

پاسخ : با توجه به فرض‌های مسئله داریم :

$$B = ۴۰۰\times۱۰^{-۴}\,\mathrm{T}\ ،\ \theta = ۳۰^\circ\ ،\ I = ۵/۰\,\mathrm{A}\ \text{ و }\ \ell = ۱/۰\,\mathrm{m}$$

با قرار دادن داده‌های بالا در رابطهٔ ۳ــ۳ داریم :

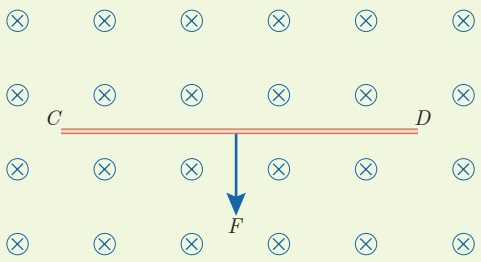
$$F = I\ell B\sin\theta = (۵/۰\,\mathrm{A})(۱/۰\,\mathrm{m})(۴۰۰\times۱۰^{-۴}\,\mathrm{T})\sin ۳۰^\circ = ۰/۱۰\,\mathrm{N}$$

تمرین ۳ــ۲

۱ــ سیم مستقیمی به طول ۲/۴m حامل جریان ۲/۵A از شرق به غرب است. اندازهٔ میدان مغناطیسی زمین در محل این سیم ۰/۴۵G و جهت آن از جنوب به شمال است. اندازه و جهت نیروی مغناطیسی وارد بر این سیم را تعیین کنید.

https://konkur.info

۲ــ سیم رسانای CD به طول ۲m مطابق شکل روبه‌رو عمود بر میدان مغناطیسی درون‌سو با اندازهٔ ۰/۵T قرار گرفته است؛ اگر اندازهٔ نیروی مغناطیسی وارد بر سیم برابر ۱N باشد، جهت و مقدار جریان عبوری از سیم را تعیین کنید.



فعالیت ۳ــ۴

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.

هانس کریستیان اورستد (۱۷۷۷–۱۸۵۱) فیزیک‌دان و شیمی‌دان مشهور دانمارکی است که تأثیر بسیار بزرگی در تاریخ فیزیک گذاشته است. کشفیات وی در زمینهٔ الکتریسیته و مغناطیس، اولین گام در شکل‌گیری نظریهٔ الکترومغناطیس بود. اورستد که معمولاً در کلاس‌هایش به انجام آزمایش هم می‌پرداخت، در یکی از روزهای سال ۱۸۲۰ میلادی، در حالی که مشغول آموزش الکتریسیته و تولید جریان با پیل الکتریکی بود، متوجه انحراف جهت عقربهٔ قطب‌نمایی شد که در کنار سیم حامل جریان قرار داشت. در ابتدا تصور کرد که ممکن است جریان هوای پیرامون سیم حامل جریان سبب انحراف عقربه شده است، اما با انجام آزمایش‌هایی دقیق‌تر، به ارتباط مستقیم الکتریسیته و مغناطیس پی برد. به دنبال این کشف مهم، دانشمندان دیگری همچون آمپر، فاراده، هانری، ماکسول و هرتز تحقیقات در الکترومغناطیس را ادامه دادند. اورستد در حوزهٔ فلسفه هم مطالعاتی داشت و همچنین یکی از دوستان نزدیک داستان‌نویس مشهور کودکان، هانس کریستیان آندرسن بود.

۳ــ۵ میدان مغناطیسی حاصل از جریان الکتریکی

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

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

شکل ۳ــ۱۴ میدان مغناطیسی اطراف سیم حامل جریان را می‌توان با قرار دادن تعدادی عقربهٔ مغناطیسی پیرامون آن نشان داد.

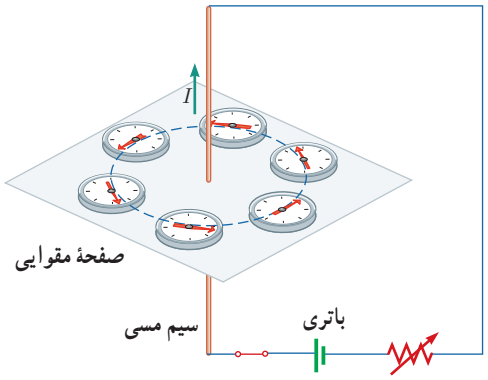
https://konkur.info

آزمایش ۳ــ۳

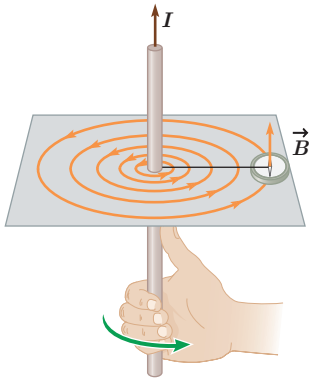
هدف: بررسی آثار مغناطیسی جریان الکتریکی (آزمایش اورستد)

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

شرح آزمایش :



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

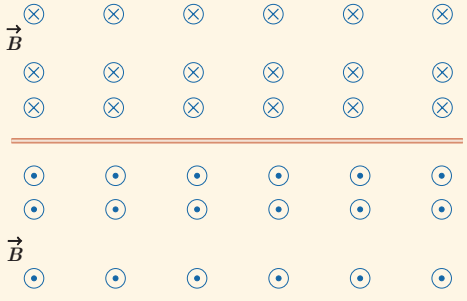


شکل ۳ــ۱۵ قاعدهٔ دست راست برای تعیین جهت $\vec{B}$ اطراف سیم بلند مستقیم حامل جریان

با انجام این آزمایش می‌بینید که خط‌های میدان مغناطیسی حاصل از یک سیم حامل جریان، مطابق شکل ۳ــ۱۵ به صورت دایره‌های هم‌مرکز در اطراف سیم حامل جریان هستند. جهت خط‌های میدان مغناطیسی سیم مستقیم حامل جریان را می‌توان به کمک عقربهٔ مغناطیسی تعیین کرد. علاوه بر آن، با استفاده از قاعدهٔ دست راست نیز می‌توان این جهت را تعیین کرد؛ مطابق این قاعده، اگر سیم را در دست راست خود بگیرید به‌گونه‌ای که انگشت شست در جهت جریان الکتریکی باشد، جهت خم شدن چهار انگشت دست شما جهت خط‌های میدان مغناطیسی را در اطراف سیم نشان می‌دهد.

پرسش ۳ــ۶

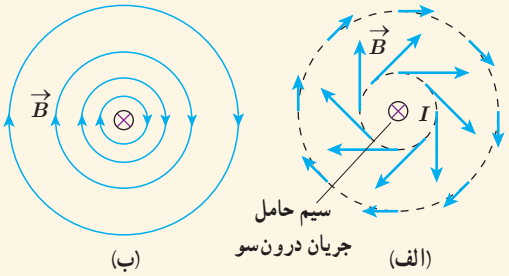
شکل روبه‌رو، جهت میدان مغناطیسی در اطراف یک سیم افقی و مستقیم حامل جریان را نشان می‌دهد. در ناحیهٔ بالای سیم، جهت میدان مغناطیسی درون‌سو و در ناحیهٔ پایین آن برون‌سو است. جهت جریان را در سیم تعیین کنید.



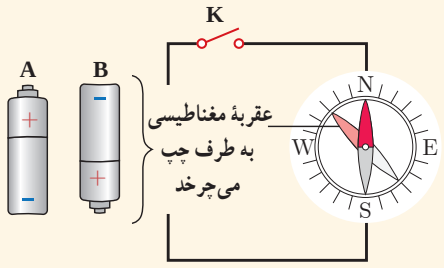
https://konkur.info

پرسش ۳ــ۷

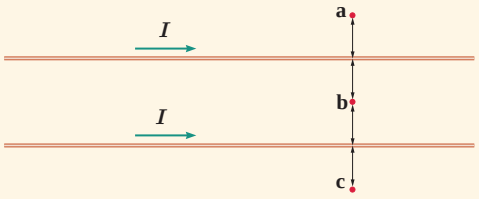
۱ــ دریافت خود را از شکل‌های الف و ب بیان کنید. در بیان خود، به چگونگی تغییر جهت و اندازهٔ میدان $\vec{B}$ در اطراف سیم حامل جریان اشاره کنید.



۲ــ کدام باتری را در مدار شکل روبه‌رو قرار دهیم تا پس از بستن کلید K، عقربه قطب‌نما که روی سیم قرار دارد، در خلاف جهت حرکت عقربه‌های ساعت شروع به چرخش کند؟ دلیل انتخاب خود را توضیح دهید.



۳ــ جهت میدان مغناطیسی برایند (خالص) ناشی از سیم‌های موازی و بلند حامل جریان را در هر یک از نقطه‌های a، b و c پیدا کنید. نقطهٔ b در فاصلهٔ مساوی از دو سیم قرار دارد.



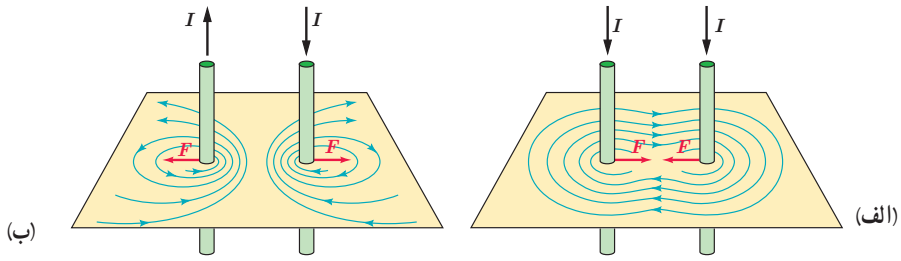
فنّاوری و کاربرد: میدان‌های مغناطیسی بدن

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

۱ــ SQUID (Superconducting Quantum Interference Device)

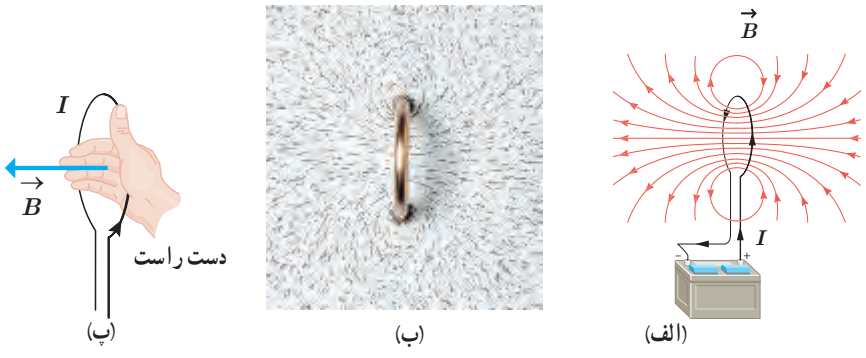
https://konkur.info

نیروی بین سیم‌های موازی حامل جریان : در آزمایش اورستد، دیدیم که در فضای اطراف هر سیم حامل جریان، میدان مغناطیسی وجود دارد. همچنین در بخش ۳ــ۴ با نیروی مغناطیسی وارد بر سیم حامل جریان آشنا شدیم. حال فرض کنید برای تولید میدان مغناطیسی به جای آهنربا، از یک سیم حامل جریان استفاده کنیم. اگر سیم حامل جریان دیگری را در نزدیکی این سیم قرار دهیم، آیا نیرویی بر آن وارد می‌شود؟ آزمایش نشان می‌دهد که پاسخ این پرسش مثبت است. به طوری که اگر جریان‌ها در یک جهت از دو سیم موازی بگذرند، نیروی بین آنها ربایشی است (شکل ۳ــ۱۶ الف). همچنین اگر جریان‌ها در دو جهت مخالف از دو سیم موازی بگذرند، نیروی بین آنها رانشی است (شکل ۳ــ۱۶ب).



شکل ۳ــ۱۶ نیروی بین دو سیم موازی حامل جریان و رسم خطوط میدان مغناطیسی برایند آنها. الف) برای جریان‌های همسو، ربایشی است و (ب) برای جریان‌های ناهمسو، رانشی است.

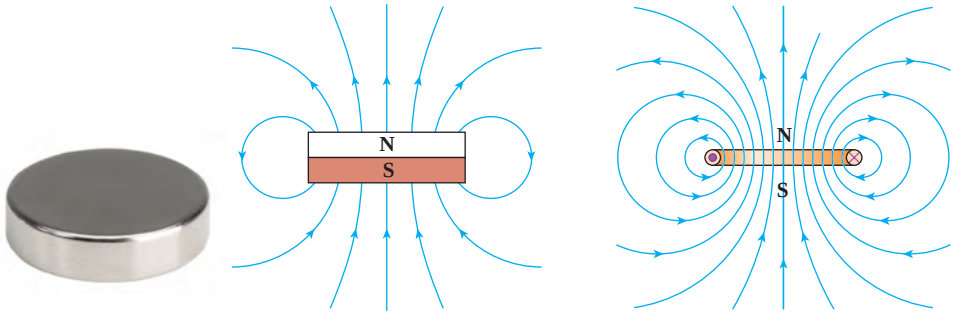
میدان مغناطیسی ناشی از یک حلقهٔ دایره‌ای حامل جریان : شکل ۳ــ۱۷ الف خط‌های میدان مغناطیسی را در اطراف یک حلقهٔ رسانای دایره‌ای نشان می‌دهد که حامل جریان I است. همان‌طور که دیده می‌شود خط‌های میدان مغناطیسی در ناحیهٔ داخل حلقه به یکدیگر نزدیک‌ترند؛ یعنی، میدان در این ناحیه قوی‌تر است. افزون براین، در نقطه‌های روی محورحلقه، میدان موازی محور است. جهت خط‌های میدان مغناطیسی حلقه را می‌توان با قاعدهٔ دست راست به روش نشان داده شده در شکل ۳ــ۱۷ پ تعیین کرد.



شکل ۳ــ۱۷ (الف) خط‌های میدان مغناطیسی در اطراف یک حلقهٔ حامل جریان. (ب) طرح خط‌های میدان مغناطیسی یک حلقهٔ حامل جریان با استفاده از برادهٔ آهن. (پ) استفاده از قاعدهٔ دست راست برای تعیین جهت $\vec{B}$ یک حلقهٔ حامل جریان.

https://konkur.info

بررسی و مقایسهٔ میدان مغناطیسی یک حلقهٔ حامل جریان و یک آهنربای تخت دایره‌ای شکل، نشان می‌دهد که میدان مغناطیسی آنها درست مانند یکدیگر است (شکل ۳ــ۱۸). به همین دلیل، هر حلقهٔ حامل جریان را به‌عنوان یک دو قطبی مغناطیسی در نظر می‌گیرند.

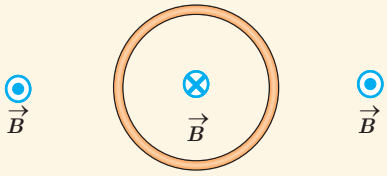


(پ) آهنربای تخت دایره‌ای (ب) آهنربای دائم (الف) حلقهٔ حامل جریان

شکل ۳ــ۱۸ حلقهٔ حامل جریان دو قطب دارد و میدان مغناطیسی آن مانند یک آهنربای دائم تختِ دایره‌ای شکل است.

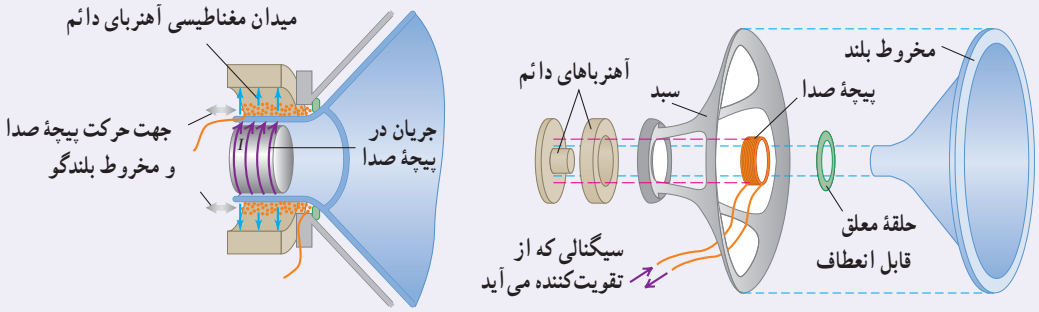
پرسش ۳ــ۸

شکل روبه‌رو، یک حلقهٔ 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.



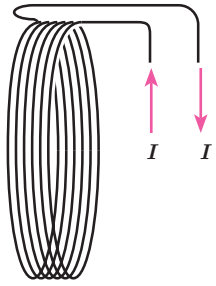
خوب است بدانید: طرز کار بلندگو

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 پیچهٔ صدا وارد می‌کند که با جریانی که از پیچه می‌گذرد متناسب 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. پیچه و مخروط بلندگو که به آن متصل است با دامنه‌ای متناسب با دامنهٔ جریان در پیچه، 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 پیچهٔ صدا می‌گذرد وارد می‌کند؛ برای جریان I که در شکل نشان داده شده است نیرو به طرف راست است. اگر جریان الکتریکی در پیچهٔ صدا نوسان کند، مخروط بلندگو که متصل به پیچهٔ صداست با همان بسامد نوسان می‌کند.

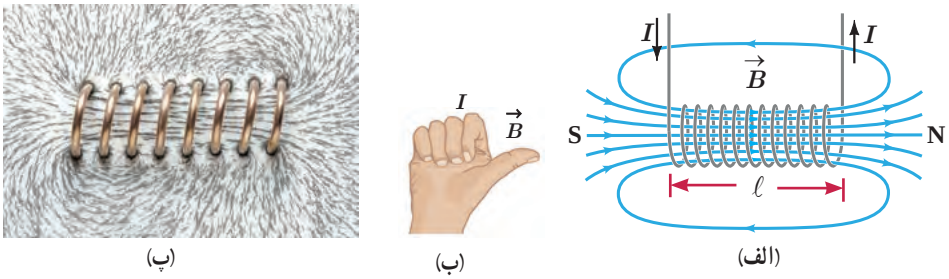
https://konkur.info



شکل ۳ــ۱۹ پیچه

استفاده از یک تک حلقه برای تولید میدانی با اندازهٔ مطلوب ممکن است نیازمند آن‌چنان جریان بزرگی باشد که از بیشینهٔ جریان مجاز سیمِ حلقه فراتر باشد. در چنین شرایطی به جای تک‌حلقه، از پیچه‌ها برای تولید میدان مغناطیسی استفاده می‌شود (شکل ۳ــ۱۹). از پیچه‌ها برای تولید میدان مغناطیسی در بسیاری از وسیله‌های برقی استفاده می‌شود.

میدان مغناطیسی حاصل از سیملولهٔ حامل جریان : سیملوله، سیم درازی است که به‌صورت مارپیچی بلند، پیچیده شده است. با عبور جریان الکتریکی از سیملوله، در فضای اطراف آن میدان مغناطیسی به‌وجود می‌آید. طرح خط‌های میدان مغناطیسی یک سیملولهٔ حامل جریان الکتریکی در شکل ۳ــ۲۰ الف و پ نشان داده شده است. همان‌گونه 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، به‌ویژه در نقطه‌های نسبتاً دور از لبه‌های آن تقریباً موازی و هم‌فاصله‌اند و این، نشانگر یکنواخت بودن میدان مغناطیسی درون سیملوله است. جهت میدان مغناطیسی سیملوله، به کمک قاعدهٔ دست راست که در شکل نشان داده شده است تعیین می‌شود (شکل ۳ــ۲۰ ب).



(پ) (ب) (الف)

شکل ۳ــ۲۰ (الف) میدان مغناطیسی یک سیملولهٔ حامل جریان. (ب) تعیین جهت میدان به کمک قاعدهٔ دست راست. (پ) طرح خط‌های میدان مغناطیسی سیملوله با استفاده از برادهٔ آهن.

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

$$B = \frac{\mu_0 NI}{\ell} \qquad \text{(سیملولهٔ آرمانی)} \qquad (۳ــ۴)$$

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

مثال ۳ــ۳

سیملوله‌ای آرمانی به طول $15\,\mathrm{cm}$ دارای ۶۰۰ حلقهٔ سیم نزدیک به هم است. اگر جریان $800\,\mathrm{mA}$ از سیملوله بگذرد، بزرگی میدان مغناطیسی را در نقطه‌ای درون سیملوله و دور از لبه‌های آن پیدا کنید.

پاسخ : با توجه به داده‌های مسئله داریم :

$$\ell = 15\,\mathrm{cm} = 0/15\,\mathrm{m}, \quad N = 600, \quad I = 800\,\mathrm{mA} = 800\times10^{-3}\,\mathrm{A}, \quad B = ?$$

به این ترتیب داریم :

$$B = \frac{\mu_0 NI}{\ell} = \frac{(4\pi\times10^{-7}\,\mathrm{T.m/A})(600)(800\times10^{-3}\,\mathrm{A})}{0/15\,\mathrm{m}} \approx 4/0\times10^{-3}\,\mathrm{T} = 40\,\mathrm{G}$$

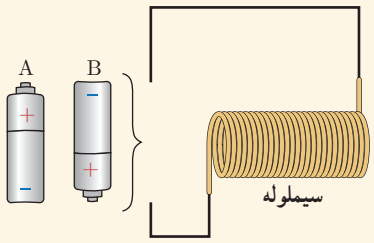
https://konkur.info

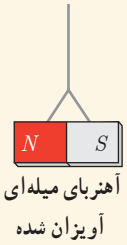
تمرین ۳ــ۳

سیملوله‌ای آرمانی به طول ۴۰/۰cm چنان طراحی شده است که جریان بیشینه‌ای به‌شدّت ۱/۲ A می‌تواند از آن بگذرد. با عبور این جریان از سیملوله، اندازهٔ میدان مغناطیسی درون آن و دور از لبه‌ها ۲۷۰ G می‌شود. تعداد دورهای سیملوله چقدر باید باشد؟

پرسش ۳ــ۹

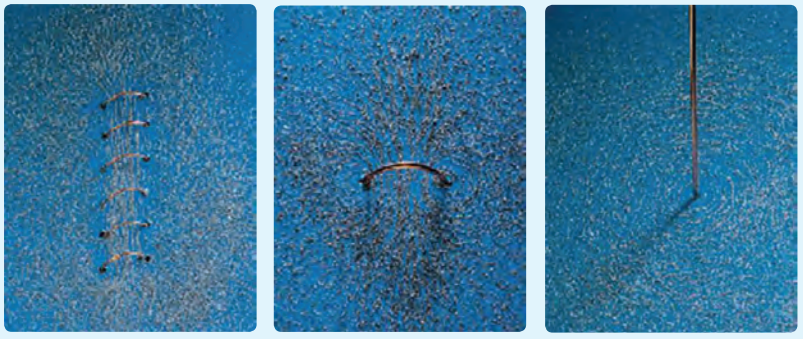
کدام باتری را در مدار شکل روبه‌رو قرار دهیم تا آهنربای میله‌ای آویزان شده به طرف سیملوله جذب شود؟ دلیل انتخاب خود را توضیح دهید.



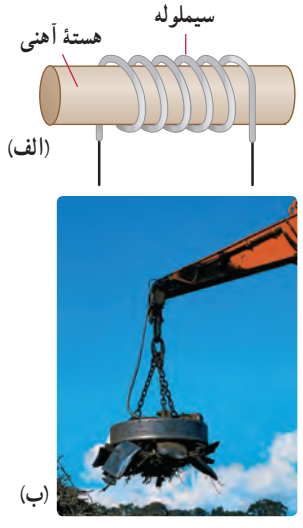


فعالیت ۳ــ۵

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


(پ) (ب) (الف)

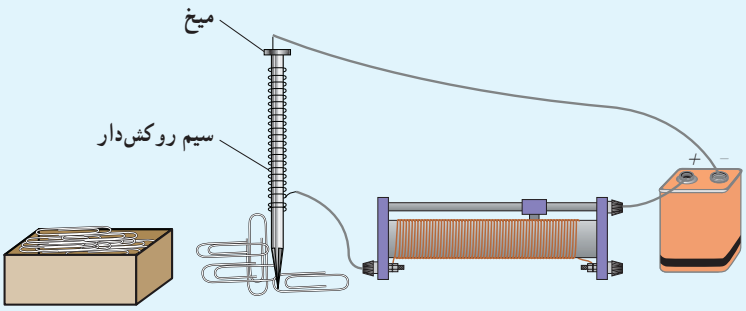
سیملوله با هستهٔ آهنی ــ آهنربای الکتریکی : شکل۳ــ۲۱ الف سیملوله‌ای با یک هستهٔ آهنی را نشان می‌دهد. وقتی جریانی در سیملوله برقرار می‌شود، میدان مغناطیسی سیملوله، در هستهٔ آهنی خاصیت مغناطیسی القا می‌کند و هستهٔ آهنی، آهنربا می‌شود. این آهنربا را آهنربای الکتریکی می‌نامند. آهنربای الکتریکی صنعتی (شکل ۳ــ۲۱ ب) شامل پیچه‌ای حامل جریان است که تعداد دور سیم زیادی دارد و میدان مغناطیسی حاصل از آن قادر است مقدار زیادی میله‌های فولادی و دیگر قُراضه‌های آهن را بلند کند. هر چه تعداد دورهای سیملوله و جریانی که از آن می‌گذرد بیشتر باشد، آهنربای الکتریکی قوی‌تر خواهد بود. وجود هستهٔ آهنی باعث تقویت میدان مغناطیسی سیملوله می‌شود. میدان مغناطیسی سیملولهٔ بدون هستهٔ آهنی به قدری ضعیف است که در عمل کاربردهای کمی دارد.



شکل ۳ــ۲۱ (الف) سیملوله با هستهٔ آهنی
(ب) آهنربای الکتریکی صنعتی

https://konkur.info

فعالیت ۳ـ۶



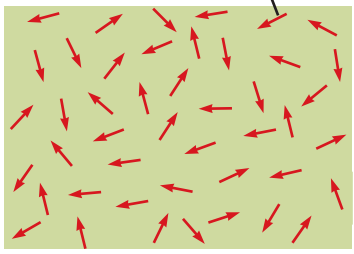
قسمتی از سیم نازک روکش‌داری را دور میخ آهنی نسبتاً بلندی بپیچید و مداری مطابق شکل تشکیل دهید. با تغییر مقاومت رئوستا، جریان عبوری از مدار را تغییر دهید. بررسی کنید برای جریان‌های متفاوت، آهنربای الکتریکی چه تعداد گیره فلزی را می‌تواند بلند کند. ب) اگر تعداد دورهای سیم دو برابر شود، نتیجهٔ کار چه تفاوتی خواهد داشت؟

۳ـ۶ ویژگی‌های مغناطیسی مواد

رفتار آهنرباهای دائمی، نوارهای مغناطیسیِ پشت کارت‌های بانکی و دیسک‌های رایانه‌ای به‌طور مستقیم به ویژگی‌های مغناطیسی مواد بستگی دارد.

موادی را که اتم‌ها یا مولکول‌های سازندهٔ آنها خاصیت مغناطیسی داشته باشند، مواد مغناطیسی می‌نامند. در واقع می‌توان گفت کوچک‌ترین ذرّه‌های تشکیل‌دهندهٔ این مواد (اتم‌ها یا مولکول‌ها) مانند دوقطبی مغناطیسی رفتار می‌کنند. در این کتاب، دوقطبی‌های مغناطیسی را با یک پیکان کوچک نشان داده‌ایم که می‌توانند جهت‌گیری‌های متفاوتی داشته باشند و هرکدام از آنها وابسته به یک اتم یا مولکول‌اند. در ادامه به بررسی برخی از مواد مغناطیسی می‌پردازیم.

هر ذرهٔ سازندهٔ مواد پارامغناطیسی یک آهنربای میکروسکوپی است.



شکل ۳ـ۲۲ سمت‌گیری کاتوره‌ای دوقطبی‌های مغناطیسی در یک مادهٔ پارامغناطیسی در نبود میدان مغناطیسی

مواد پارامغناطیسی : اتم‌های مواد پارامغناطیسی، خاصیت مغناطیسی دارند اما دوقطبی‌های مغناطیسی وابستهٔ به آنها، به‌طور کاتوره‌ای سمت‌گیری کرده‌اند و میدان مغناطیسی خالصی ایجاد نمی‌کنند (شکل ۳ـ۲۲). با قرار دادن مواد پارامغناطیسی درون میدان مغناطیسی خارجی قوی (مثلاً نزدیک یک آهنربای قوی)، دو قطبی‌های مغناطیسی آنها، مانند عقربهٔ 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 کاتوره‌ای سمت‌گیری می‌کنند.

به این ترتیب، می‌توان گفت مواد پارامغناطیسی در حضور میدان‌های مغناطیسی قوی، خاصیت مغناطیسی ضعیف و موقت پیدا می‌کنند. اورانیم، پلاتین، آلومینیم، سدیم، اکسیژن و اکسید نیتروژن از جمله مواد پارامغناطیسی‌اند.

فعالیت ۳ـ۷

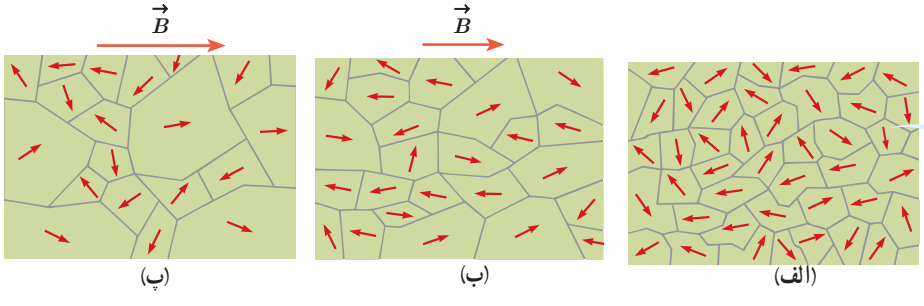
یک لولهٔ آزمایش را تا نزدیکی لبهٔ آن از الکل طبی (اتانول ۹۶ درجه) پر کنید. در لوله را ببندید و آن را به‌طور افقی قرار دهید. مطابق شکل، یک آهنربای نئودیمیم را بالای حباب هوای درون لوله بگیرید و به آرامی آهنربا را حرکت دهید. دلیل آنچه را مشاهده می‌کنید در گروه خود به گفت‌وگو بگذارید.

https://konkur.info

مواد دیامغناطیسی : اتم‌های مواد دیامغناطیسی، نظیر مس، نقره، سرب و بیسموت، به‌طور ذاتی فاقد خاصیت مغناطیسی‌اند. به عبارت دیگر، هیچ یک از اتم‌های این مواد، دارای دوقطبی مغناطیسی خالصی نیستند. با وجود این، حضور میدان مغناطیسی خارجی، می‌تواند سبب القای دوقطبی‌های 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 دوقطبی مغناطیسی هستند. آهن، نیکل، کبالت و بسیاری از آلیاژهای دارای این عنصرها فرومغناطیسی‌اند. برهم‌کنش‌های قوی بین دوقطبی‌های مغناطیسی در این مواد موجب می‌شود که این دوقطبی‌ها، حتی در نبود میدان خارجی، در ناحیه‌هایی که حوزه‌های مغناطیسی نامیده می‌شود، همسو شوند. نمونه‌ای از ساختار حوزه‌ها در مواد فرومغناطیسی در شکل ۳ــ۲۳ 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 دوقطبی‌های مغناطیسی هر حوزه تحت‌تأثیر میدان مغناطیسی قرار گیرند و جهت آنها به جهت میدان خارجی متمایل شود. به این ترتیب، حوزه‌هایی که نسبت به میدان همسو هستند، رشد می‌کنند و حجمشان 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 ۳ــ۲۳ ب یک مادهٔ فرومغناطیسی را در یک میدان مغناطیسی خارجی ضعیف و شکل ۳ــ۲۳ پ در یک میدان مغناطیسی خارجی قوی‌تر نشان می‌دهد.

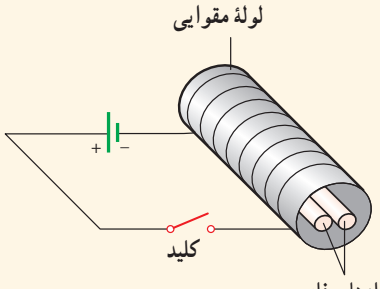


شکل ۳ــ۲۳ (الف) مادهٔ فرومغناطیسی در نبود میدان مغناطیسی خارجی. (ب) مادهٔ فرومغناطیسی در حضور میدان مغناطیسی خارجی ضعیف. (پ) مادهٔ فرومغناطیس در حضور میدان مغناطیسی خارجی قوی.

حوزه‌های مغناطیسیِ برخی از مواد فرومغناطیسی، در حضور میدان مغناطیسی خارجی به سهولت تغییر می‌کند 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 هستهٔ پیچه‌ها و سیملوله‌ها استفاده می‌شود. مواد فرومغناطیسی نرم برای ساختن آهنرباهای الکتریکی (آهنرباهای غیردائم) نیز مناسب‌اند (چرا؟). برخی مواد دیگر مانند فولاد (آهن به اضافهٔ 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 دوقطبی‌های 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.

https://konkur.info

پرسش ۳ــ۱۰



دو میلهٔ فلزی بلند مطابق شکل روبه‌رو درون سیملوله‌ای که دور یک لولهٔ 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 بازمی‌گردند.

الف) چرا با عبور جریان از پیچه، میله‌ها از یکدیگر دور می‌شوند؟

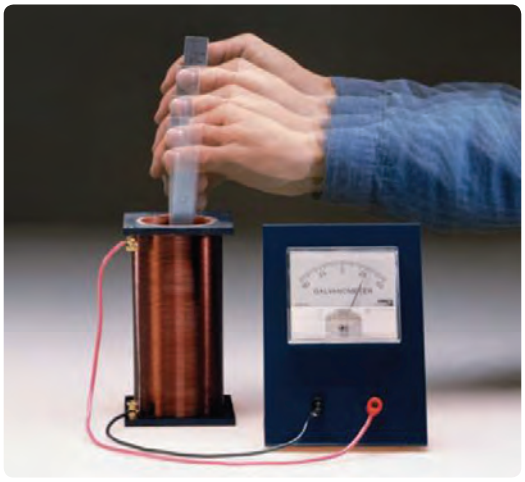
ب) با دلیل توضیح دهید میله‌های فلزی از نظر مغناطیسی در کدام دسته قرار می‌گیرند.

۳ــ۷ پدیدهٔ القای الکترومغناطیسی

تا 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 پیچه، سبب برقراری جریان الکتریکی در پیچه 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 محرکهٔ الکتریکی در یک مدار بسته خواهیم پرداخت. این پدیده را القای الکترومغناطیسی می‌نامند. با انجام آزمایش زیر با این پدیده بیشتر آشنا می‌شوید.

آزمایش ۳ــ۴

هدف: بررسی پدیدهٔ القای الکترومغناطیسی

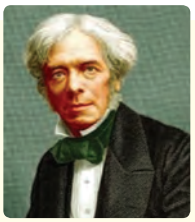


وسیله‌های مورد نیاز: گالوانومتر، آهنربای میله‌ای، سیملوله یا پیچه و سیم رابط

شرح آزمایش:

- دو سر سیملوله را به گالوانومتر ببندید.
- یکی از قطب‌های آهنربا را وارد سیملوله کنید (شکل روبه‌رو). 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 باشد و سیملوله به آن نزدیک یا از آن دور شود. آیا نتیجهٔ آزمایش تغییری می‌کند؟ توضیح دهید.

https://konkur.info

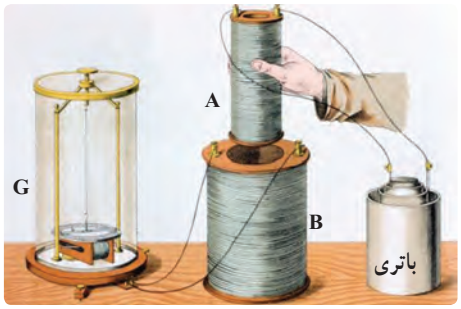


مایکل فاراده (۱۸۶۷ــ۱۷۹۱)

مایکل فاراده، پسر یک آهنگر انگلیسی بود. به گفتهٔ خود او: «تحصیلات من بسیار معمولی بود. خواندن را کمی بیشتر از حد مقدماتی و نوشتن و ریاضیات را در حد شاگرد یک مدرسهٔ روزانه می‌دانستم. ساعت‌های خارج از مدرسهٔ من در خانه و خیابان‌ها می‌گذشت.» وی در سن ۱۲سالگی به عنوان شاگرد در یک کتاب‌فروشی مشغول به کار شد. فاراده ۱۹ ساله بود که به او اجازه داده شد تا در جلسهٔ سخنرانی سِرهمفری دیوی، شیمی‌دان مشهور (۱۸۲۹ــ۱۷۷۸)، که در مؤسسهٔ سلطنتی لندن برگزار می‌شد، حضور یابد. مؤسسهٔ سلطنتی یک مرکز مهم پژوهش و آموزش علوم بود. فاراده به شدت علاقه‌مند علوم شد و پیش خود به تحصیل علم شیمی پرداخت.

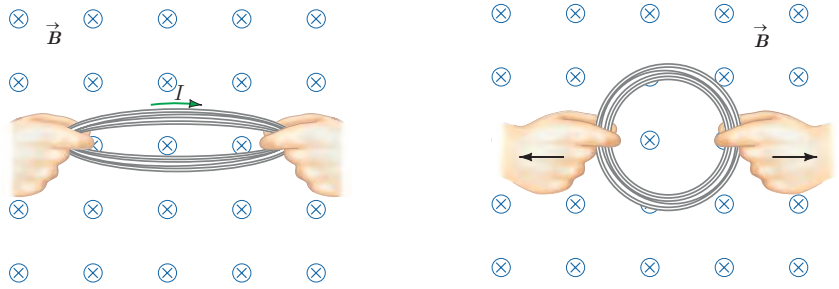
در سال ۱۸۱۳ تقاضای شغلی در مؤسسهٔ سلطنتی کرد و دیوی او را به عنوان یک همکار در امور پژوهشی استخدام کرد. فاراده به زودی نبوغ خود را به عنوان یک آزمایشگر نشان داد. وی مقاله‌های مهمی در شیمی، خواص مغناطیسی، الکتریسیته و نور نوشت و سرانجام به عنوان رئیس مؤسسهٔ سلطنتی برگزیده شد. فاراده را به سبب کشف‌های بسیارش یکی از بزرگ‌ترین دانشمندان تجربی عصر خود می‌دانند.

در سال ۱۸۳۱ میلادی مایکل فاراده دانشمند انگلیسی و تقریباً هم‌زمان با او جوزف هانری دانشمند امریکایی، با انجام آزمایش‌هایی مشابه آزمایش ۳ــ۴ دریافتند که هنگام دور و نزدیک کردن آهنربا به پیچه، عقربهٔ گالوانومتر منحرف می‌شود و عبور جریانی را از مدار نشان می‌دهد؛ درست مانند وقتی که در مدار، باتری وجود دارد (شکل ۳ــ۲۴). این پدیده را القای الکترومغناطیسی و جریان تولید شده را جریان الکتریکی القایی می‌نامند.



شکل ۳ــ۲۴ فاراده برای پی بردن به پدیدهٔ القای الکترومغناطیسی، به جای آهنربای دائمی، از آهنربای الکتریکی (سیملولهٔ A که به باتری وصل شده است) استفاده کرد. فاراده مشاهده کرد که با عبور آهنربا از درون سیملولهٔ B و تغییر میدان مغناطیسی در محل این سیملوله، عقربهٔ 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 پیچه یا سیملوله، جریان الکتریکی القا کرد. اگر مساحت پیچه‌ای انعطاف‌پذیر را درون میدان مغناطیسی یکنواخت $\vec{B}$ تغییر دهیم (شکل ۳ــ۲۵) یا پیچه‌ای را درون میدان مغناطیسی یکنواخت $\vec{B}$ بچرخانیم (شکل ۳ــ۲۶)، مشاهده می‌شود که در هنگام انجام این کارها، جریانی در پیچه القا می‌شود.



شکل ۳ــ۲۵ تغییر مساحت پیچه در میدان مغناطیسی $\vec{B}$، جریانی در پیچه القا می‌کند.

شکل ۳ــ۲۶ با چرخاندن پیچه درون میدان مغناطیسی $\vec{B}$، زاویهٔ بین میدان مغناطیسی و سطح پیچه تغییر می‌کند. این تغییر زاویه سبب القای جریان در پیچه می‌شود.

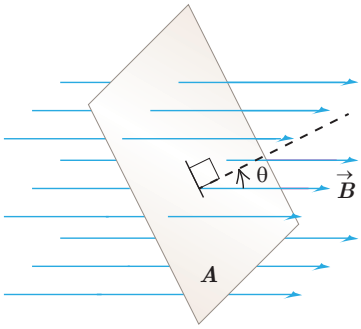
https://konkur.info

۳ــ ۸ قانون القای الکترومغناطیسی فاراده

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

شار مغناطیسی، کمیتی نرده‌ای است و برای میدان مغناطیسی یکنواخت $\vec{B}$ که از پیچه‌ای با مساحت معیّن A می‌گذرد به صورت زیر تعریف می‌شود :

$$\Phi = BA\cos\theta \qquad (۵ــ۳)$$



شکل ۳ــ۲۷ نیم خط عمود بر سطح، با میدان یکنواخت $\vec{B}$ زاویهٔ θ می‌سازد.

همان‌طور که در شکل ۳ــ۲۷ دیده می‌شود : θ زاویهٔ 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، وِبر(Wb) است که با توجه به رابطه ۳ــ۵ داریم : $1\,Wb = 1\,T \times 1\,m^2$

توجه : همواره دو جهت برای رسم نیم‌خط 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 ۳ــ۲۷، نیم‌خط عمود را در طرفی از سطح رسم کرده‌ایم که زاویهٔ بین آن و جهت میدان $\vec{B}$ کمتر از 90° است و در نتیجه شار عبوری از سطح مثبت می‌شود. اگر نیم‌خط عمود را در طرف دیگر سطح انتخاب کنیم، در این صورت، زاویهٔ 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 حلّ یک مسئله، همواره باید یکی را انتخاب کنیم و تا پایان آن را تغییر ندهیم.

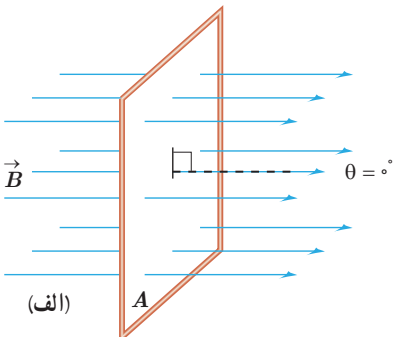
مثال ۳ــ۴

الف) مطابق شکل الف، سطح حلقهٔ رسانایی، به شکل مربع با ضلع $20\,cm$، عمود بر میدان مغناطیسی یکنواختی به بزرگی $250\,G$ قرار دارد. شار عبوری از این حلقه را به‌دست آورید.

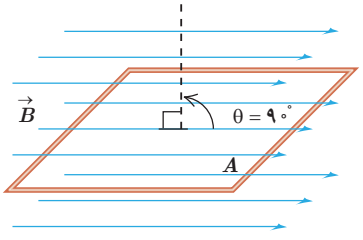
ب) اگر حلقه را بچرخانیم به طوری که سطح حلقه موازی با خط‌های میدان مغناطیسی شود، شار مغناطیسی عبوری از آن چقدر می‌شود؟

پ) تغییر شار مغناطیسی عبوری از حلقه را وقتی از موقعیت شکل الف به موقعیت شکل ب می‌چرخد به‌دست آورید.

ت) اگر این تغییر شار مغناطیسی در بازهٔ زمانی $\Delta t = 0/01\,s$ رخ داده باشد، آهنگ تغییر شار $(\Delta\Phi/\Delta t)$ را پیدا کنید.



(الف)



(ب)

https://konkur.info

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

$$A = ۰/۲\text{m} \times ۰/۲\text{m} = ۰/۰۴\text{m}^۲ \quad , \quad B = ۲۵۰\text{G} = ۲/۵۰ \times ۱۰^{-۲}\text{T} \quad , \quad \theta = ۰^\circ$$

$$\Phi = BA\cos\theta = (۲/۵۰ \times ۱۰^{-۲}\text{T})(۰/۰۴\text{m}^۲)(\cos ۰^\circ) = ۱ \times ۱۰^{-۳}\text{Wb} = ۱\text{mWb}$$

ب) وقتی مطابق شکل ب، حلقه می‌چرخد و سطح آن موازی با خط‌های میدان مغناطیسی قرار می‌گیرد، زاویهٔ بین میدان $\vec{B}$ و نیم‌خط عمود بر سطح حلقه برابر ۹۰° می‌شود. از آنجا که $\cos ۹۰^\circ = ۰$ است، در این شرایط، هیچ شاری از سطح حلقه عبور نمی‌کند.

پ) همان‌طور که دیدید شار عبوری از سطح حلقه در وضعیت شکل الف و وضعیت شکل ب، به‌ترتیب، برابر $\Phi_۱ = ۱\text{mWb}$ و $\Phi_۲ = ۰$ است. به این ترتیب، تغییر شار عبوری از سطح حلقه برابر $\Delta\Phi = \Phi_۲ - \Phi_۱ = -۱\text{mWb}$ 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.

ت) با توجه به نتیجهٔ قسمت پ، آهنگ تغییر شار $(\Delta\Phi/\Delta t)$ برابر است با

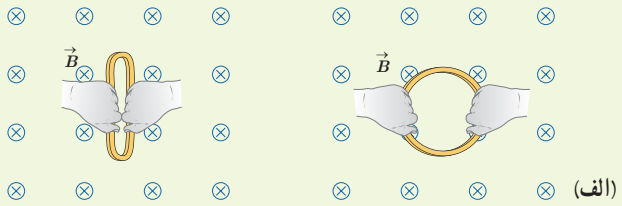
$$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{-۱ \times ۱۰^{-۳}\,\text{Wb}}{۰/۰۱\text{s}} = -۰/۱\text{Wb/s}$$

تمرین ۳ـ۴

الف) حلقه‌ای به مساحت $۲۵\text{cm}^۲$ درون میدان مغناطیسی یکنواخت درون سویی به اندازهٔ $۰/۰۳\text{T}$ 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 $۱۰\text{cm}^۲$ برسانیم، شار مغناطیسی عبوری از حلقه را در این وضعیت به دست آورید.

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



پرسش ۳ـ۱۱

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

☐ V/A ☐ V ☐ A ☐ Ω

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

https://konkur.info

شار مغناطیسی بیشتر باشد، نیروی محرکهٔ القایی و در نتیجه جریان القایی تولید شده در مدار بیشتر خواهد بود. مثلاً در آزمایش‌های بخش ۳ــ۷، هرچه حرکتی که سبب تغییر شارمغناطیسی می‌شود سریع‌تر انجام شود، عقربهٔ گالوانومتر بیشتر منحرف می‌شود، و این نشان می‌دهد که جریان القایی بزرگ‌تری به‌وجود آمده است.

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

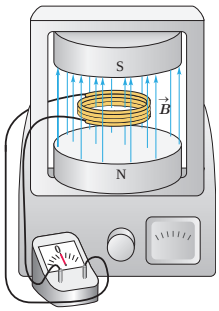
$$\bar{\mathscr{E}} = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \qquad (۳ــ۶)$$

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

$$\bar{I} = \frac{\bar{\mathscr{E}}}{R} \qquad (۳ــ۷)$$

همان‌طور که از رابطهٔ ۳ــ۷ دیده می‌شود، هرچه مقاومت پیچه یا مداری که در آن شار مغناطیسی تغییر می‌کند، بیشتر باشد، جریان کوچک‌تری در آن القا می‌شود.

مثال ۳ــ۵



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

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

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

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

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

$$B_۱ = ۰/۱۸T \quad B_۲ = ۰/۲۲T \quad \bar{\mathscr{E}} = ?$$

$$\Phi_۱ = B_۱ A\cos\theta = (۰/۱۸T)(۲/۵ \times ۱۰^{-۳}m^۲)(\cos ۰^\circ) = ۴/۵ \times ۱۰^{-۴}Wb$$

$$\Phi_۲ = B_۲ A\cos\theta = (۰/۲۲T)(۲/۵ \times ۱۰^{-۳}m^۲)(\cos ۰^\circ) = ۵/۵ \times ۱۰^{-۴}Wb$$

به این ترتیب، تغییر شار مغناطیسی برابر است با :

$$\Delta\Phi = \Phi_۲ - \Phi_۱ = (۵/۵ \times ۱۰^{-۴}Wb) - (۴/۵ \times ۱۰^{-۴}Wb) = ۱/۰ \times ۱۰^{-۴}Wb$$

با قرار دادن این مقدار و داده‌های بالا در رابطهٔ ۳ــ۶ داریم :

$$\bar{\mathscr{E}} = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -(۲۰۰)\frac{۱/۰ \times ۱۰^{-۴}Wb}{۲/۰ \times ۱۰^{-۳}s} = -۱۰V$$

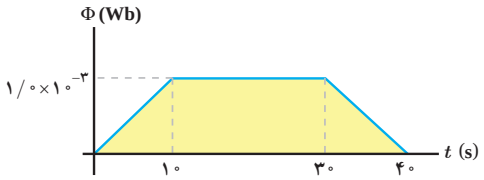
ب) با توجه به رابطهٔ ۳ــ۷، جریان القایی متوسط در پیچه برابر است با :

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

https://konkur.info

مثال ۳ــ۶

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



پاسخ : در بازهٔ زمانی ۰ تا ۱۰s، نیروی محرکهٔ القایی متوسط برابر است با :

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

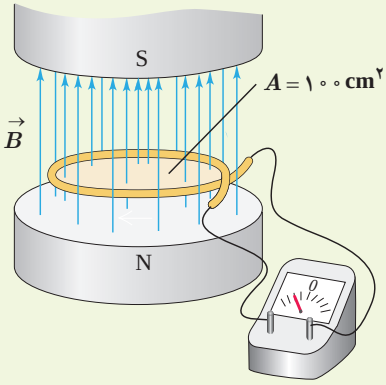
در بازه زمانی ۱۰s تا ۳۰s شار ثابت مانده است. در نتیجه نیروی محرکهٔ القایی متوسط برابر صفر است. در بازهٔ زمانی ۳۰s تا ۴۰s شبیه آنچه در مورد بازهٔ زمانی صفر تا ۱۰s گفتیم، نیروی محرکهٔ القایی متوسط برابر $1/0\times10^{-4}\,\mathrm{V}$ است.

تمرین ۳ــ۵

۱ــ میدان مغناطیسی بین قطب‌های آهنربای الکتریکی شکل روبه‌رو که بر سطح حلقه عمود است با زمان تغییر می‌کند و در مدت ۰/۴۵s از ۰/۲۸T، رو به بالا، به ۰/۱۷T، رو به پایین می‌رسد. در این مدت،

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

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



۲ــ مساحت هر حلقهٔ پیچه‌ای ۳۰cm² و پیچه متشکل از ۱۰۰۰ حلقه است. در ابتدا سطح حلقه‌ها بر میدان مغناطیسی زمین عمود است. اگر در مدت ۰/۰۲۰s پیچه بچرخد و سطح حلقه‌ها موازی میدان مغناطیسی زمین شود، نیروی محرکهٔ القایی متوسط در آن چقدر است؟ اندازهٔ میدان زمین را ۰/۵۰G درنظر بگیرید.

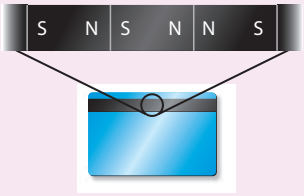
پرسش ۳ــ۱۲

تندی‌سنج دوچرخه‌های مسابقه‌ای شامل یک آهنربای کوچک و یک پیچه است. آهنربا به یکی از پره‌های چرخ جلو و پیچه به دو شاخ فرمان متصل است (شکل روبه‌رو). دو سر پیچه با سیم‌های رسانا به نمایشگر تندی‌سنج (که در واقع نوعی رایانهٔ کوچک است) وصل شده است. به نظر شما تندی‌سنج دوچرخه چگونه کار می‌کند؟ این موضوع را در گروه خود به گفت‌وگو بگذارید و نتیجه را به کلاس درس ارائه دهید.

https://konkur.info

فناوری و کاربرد: کارت‌های اعتباری و دستگاه‌های کارت‌خوان

نوار مغناطیسی پشت کارت‌های اعتباری حاوی تعداد بسیار زیادی ذرهٔ فرومغناطیسی است که نوعی چسب خاص آنها را به هم متصل می‌کند. داده‌ها را که به‌صورت دودویی، یا صفر و یک به رمز درآورده‌اند، در نوار مغناطیسی پشت کارت ذخیره می‌کنند (شکل الف). وقتی کارت اعتباری درون دستگاه کارت‌خوان کشیده می‌شود، میدان مغناطیسی ناشی از نوار مغناطیسی، روی پیچهٔ قرار داده شده در دستگاه کارت‌خوان اثر می‌گذارد و جریان اندکی را در پیچه القا می‌کند (شکل ب). این جریان بسیار کوچک توسط دستگاه دیگری تقویت و داده‌های ذخیره شده در نوار مغناطیسی پشت کارت، رمزگشایی می‌شود. پس از رمزگشایی داده‌ها، دستور مورد نظر انجام می‌شود.



(الف) داده‌ها را به‌صورت صفر و یک در نوار مغناطیسی پشت کارت ذخیره می‌کنند.

(ب) کشیدن کارت، جریان اندکی در پیچهٔ دستگاه کارت‌خوان القا می‌کند.

خوب است بدانید: معاینهٔ مغز با نیروهای محرکهٔ القایی

برانگیزش (تحریک) مغناطیسی فرا جمجمه‌ای[1] (TMS) روشی برای بررسی عملکرد بخش‌های مختلف مغز است. در این روش، پیچه‌ای روی سر شخص بیمار قرار داده می‌شود که جریان الکتریکی متغیری از آن می‌گذرد و در نتیجه میدان مغناطیسی متغیری تولید می‌کند. این میدان متغیر، سبب ایجاد نیروی محرکهٔ القایی و جریان القایی در ناحیه‌ای از مغز می‌شود که در زیر پیچه قرار دارد. پزشک با مشاهدهٔ واکنش مغز (مثلاً اینکه کدام عضله‌ها به علت برانگیزش بخش خاصی از مغز حرکت می‌کنند) می‌تواند شرایط عصب شناختی مختلفی را بیازماید.

۳ــ۹ قانون لنز

مدت کوتاهی پس از آنکه فاراده قانون القای الکترومغناطیسی را ارائه کرد، هاینریش لِنز، دانشمند روس تبار، در سال ۱۸۳۴ میلادی روشی را برای تعیین جهت جریان القایی در یک پیچه یا در هر مدار بستهٔ دیگری پیشنهاد کرد. این روش که بعدها به قانون لنز شهرت یافت، حاکی از آن است که :

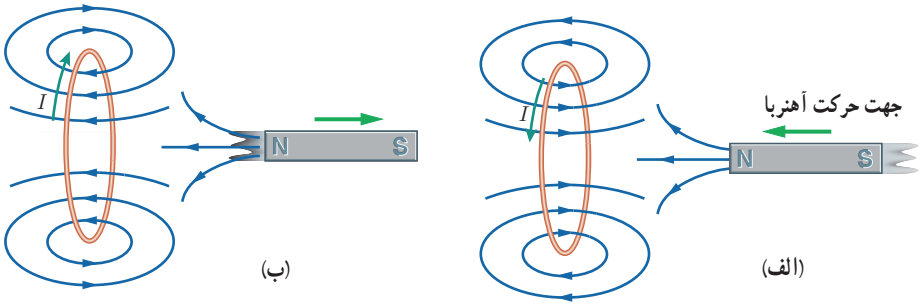
جریان حاصل از نیروی محرکهٔ القایی در یک مدار یا پیچه در جهتی است که آثار مغناطیسی ناشی از آن، با عامل به وجود آورندهٔ جریان القایی، یعنی تغییر شار مغناطیسی، مخالفت می‌کند.

علامت منفی در رابطهٔ ۳ــ۶ نشان دهندهٔ همین مخالفت است. توضیح دقیق‌تر این مطلب فراتر از سطح این کتاب است. در اینجا تنها به ذکر مثال‌هایی از چگونگی استفاده از قانون لنز برای تعیین جهت جریان القایی اکتفا می‌کنیم.

۱ــ Transcranial Magnetic Stimulation (TMS)

https://konkur.info

شکل ۳ــ۲۸ الف، آهنربایی را نشان می‌دهد که قطب N آن در حال نزدیک شدن به یک حلقهٔ رساناست. در این وضعیت اندازهٔ $\vec{B}$ در محل حلقه افزایش می‌یابد و در نتیجه شار گذرنده از حلقه زیاد می‌شود. بنا به قانون لنز، 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. با توجه به قاعدهٔ دست راست و از روی جهت میدان مغناطیسی حلقه، جهت جریان در حلقه تعیین می‌شود. همچنین اگر مطابق شکل ۳ــ۲۸ ب، قطب N آهنربا را از حلقهٔ رسانا دور کنیم، جریان القایی در جهتی خواهد بود که میدان مغناطیسی تولید شده توسط حلقه، همسو با میدان آهنربا می‌شود و به‌این ترتیب با کاهش شار عبوری از حلقه، مخالفت می‌کند.



شکل ۳ــ۲۸ الف) وقتی آهنربا به حلقهٔ 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 حلقهٔ رسانا، جریان در جهتی در حلقه القا می‌شود که میدان مغناطیسی ناشی از آن با کاهش شار مغناطیسی حلقه مخالفت کند.

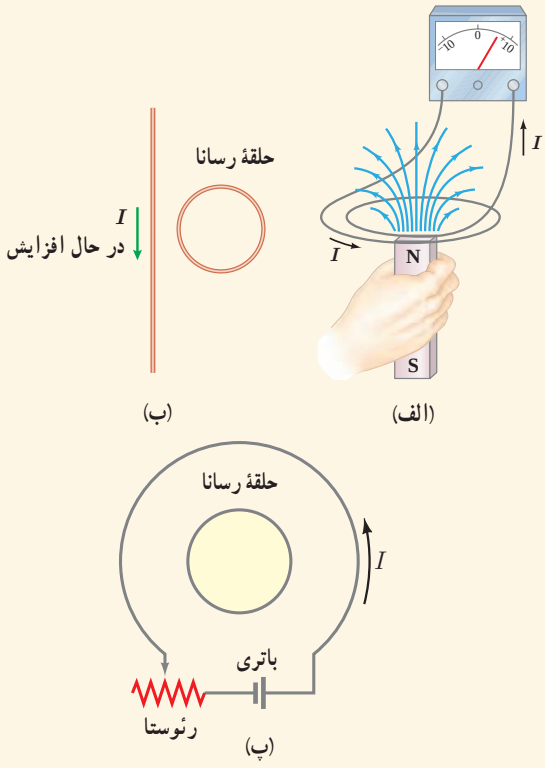
هاینریش فردریش امیل لِنز (۱۸۶۵-۱۸۰۴) از فیزیک‌دانان مشهور آلمانی و دارای تبار روس بود. وی در استونی که در آن دوران تحت امپراتوری روسیه بود به دنیا آمد. پس از اتمام دوره دبیرستان در سال ۱۸۲۰ وارد دانشگاه دُرپَت شد و به تحصیل در زمینهٔ فیزیک و شیمی پرداخت. لنز طی سال‌های ۱۸۲۳ تا ۱۸۲۶ میلادی، در ضمن یک سفر دریایی به دور دنیا، به مطالعهٔ شرایط آب و هوایی و همچنین ویژگی‌های فیزیک دریا پرداخت و نتایج آن را در سال ۱۸۳۱ منتشر کرد. پس از این سفر، در دانشگاه سن پترزبورگ آغاز به کار نمود. لنز مطالعهٔ الکترومغناطیس را در سال ۱۸۳۱ شروع کرد و بیشتر شهرتش برای فرمول‌بندی قانون لنز در الکترومغناطیس در سال ۱۸۳۴ است.

پرسش ۳ــ۱۳

۱ــ با توجه به جهت جریان القایی در مدار شکل الف، توضیح دهید که آیا آهنربا رو به بالا حرکت می‌کند یا رو به پایین.

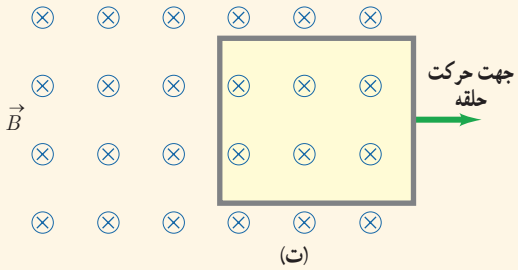
۲ــ شکل ب سیم بلند و مستقیمی را نشان می‌دهد که جریان عبوری از آن در حال افزایش است. جهت جریان القایی را در حلقهٔ رسانای مجاور سیم تعیین کنید.

۳ــ اگر در مدار شکل پ مقاومت رئوستا افزایش یابد، جریان القایی در حلقهٔ رسانای داخلی در چه جهتی ایجاد می‌شود؟



https://konkur.info

۴ــ حلقهٔ رسانای مستطیل شکلی را مطابق شکل ت به‌طرف راست می‌کشیم و از میدان مغناطیسی درون‌سویی خارج می‌کنیم. جهت جریان القایی در حلقه در چه جهتی است؟



(ت)

خوب است بدانید: اثر دیامغناطیس

چرخش هر الکترون به دور هستهٔ اتم را می‌توان به صورت یک حلقهٔ میکروسکوپی جریان مدل‌سازی 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 لنز، در این حلقه‌ها، یک میدان مغناطیسی در خلاف جهت میدان مغناطیس خارجی القا می‌شود. به این ویژگی که در اتم‌های همهٔ مواد در حضور یک میدان مغناطیسی خارجی رخ می‌دهد، پدیده یا اثر دیامغناطیس گفته می‌شود. اثر دیامغناطیسی در موادی نظیر بیسموت، جیوه، نقره، سرب، مس و کربن (الماس) بهتر نمایان می‌شود، زیرا اتم‌های آنها، فاقد دو قطبی‌های مغناطیسی دائمی‌اند. از آنجا که اثر دو قطبی‌های مغناطیسی دائمی در مواد فرومغناطیسی و پارامغناطیسی بسیار بیشتر از اثر دو قطبی‌های القایی است، اثر دیامغناطیس در این گونه مواد نمود کمتری دارد.

۳ــ۱۰ القاگرها

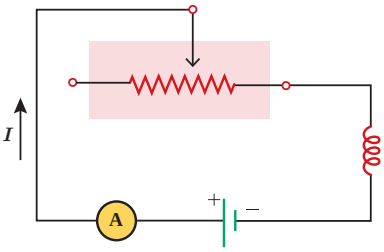
در فصل ۲ دیدیم که در فضای بین صفحه‌های یک خازن باردار، میدان الکتریکی ایجاد می‌شود و انرژی الکتریکی در این میدان ذخیره می‌شود. به همین ترتیب، می‌توان از القاگر (سیم‌پیچ) برای تولید میدان مغناطیسی دلخواه و همچنین ذخیرهٔ انرژی در این میدان استفاده کرد. القاگر مانند مقاومت و خازن یکی از اجزای ضروری مدارهای الکترونیکی است.

شکل ۳ــ۲۹ تصویر چند القاگر را در اندازه‌ها و شکل‌های متفاوت نشان می‌دهد. نماد مداری القاگر، —ooo— است. ویژگی‌های فیزیکی هر القاگر، توسط ضریب القاوری آن تعیین می‌شود. ضریب القاوری که با نماد L نمایش داده می‌شود به عواملی همچون تعداد دور، طول و سطح مقطع القاگر و جنس هسته‌ای که داخل آن قرار می‌گیرد بستگی دارد. یکای SI ضریب القاوری، هانری (H) نام دارد.

شکل ۳ــ۲۹ تصویری از چند القاگر در اندازه‌ها و شکل‌های متفاوت

جوزف هانری (۱۸۷۸ــ۱۷۹۷) : یکی از فیزیک‌دانان تجربی 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. هانری در سال ۱۸۳۱، همزمان و مستقل از فاراده، موفق به کشف پدیدهٔ القای الکترومغناطیسی شد. وی همچنین توانست نوعی موتور الکترومغناطیسی و یک تلگراف جدید و کارآمد اختراع کند. یکای SI ضریب القاوری به احترام یک عمر فعالیت‌های علمی وی، هانری (H) انتخاب شده است.

https://konkur.info



شکل ۳ــ۳۰ مداری ساده شامل رئوستا، القاگر، باتری و آمپرسنج

خود ــ القاوری : مداری را مطابق شکل ۳ــ۳۰ درنظر بگیرید. این مدار شامل منبع نیروی محرکه، رئوستا، آمپرسنج و القاگری است که به طور متوالی به یکدیگر بسته شده‌اند. با تغییر مقاومت رئوستا، 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 پیچه یا سیملوله) رخ دهد اثر خود ــ القاوری نامیده می‌شود.

آزمایش ۳ــ۵

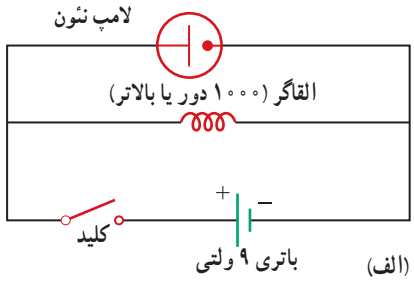
هدف: بررسی اثر خود ــ القاوری

وسیله‌های مورد نیاز : لامپ نئون (لامپ فازمتری)، القاگر(۱۰۰۰ دور یا بالاتر)، باتری قلمی (۲ عدد) یا باتری ۹ ولتی، سیم رابط، کلید

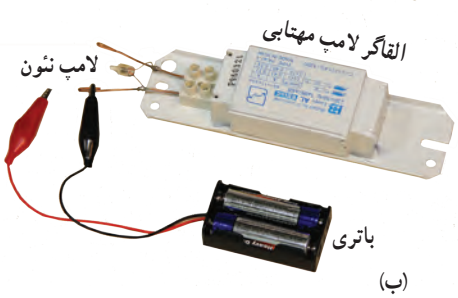
شرح آزمایش :

- مداری مطابق شکل الف ببندید.
- کلید را وصل کنید. آیا لامپ روشن است؟ اینک کلید را قطع کنید. در لحظهٔ 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 اشتباه ترانس نامیده می‌شود) نیز استفاده کنید.



(الف)



(ب)

خوب است بدانید:

کاربرد القاگرها در سامانه‌های انتقال برق

برخورد آذرخش به بخشی از یک سامانهٔ انتقال توان الکتریکی موجب افزایش ناگهانی ولتاژ می‌شود که می‌تواند به اجزای سامانه و هر چیز دیگری که به آن وصل باشد (برای مثال، وسیله‌های برقی خانگی) آسیب برساند. برای کمینه کردن این آثار، القاگرهای بزرگی را در مسیر سامانهٔ انتقال قرار می‌دهند. این کار باعث می‌شود که القاگر با هر تغییر سریع در جریان مخالفت کند و آن را فرو نشاند!

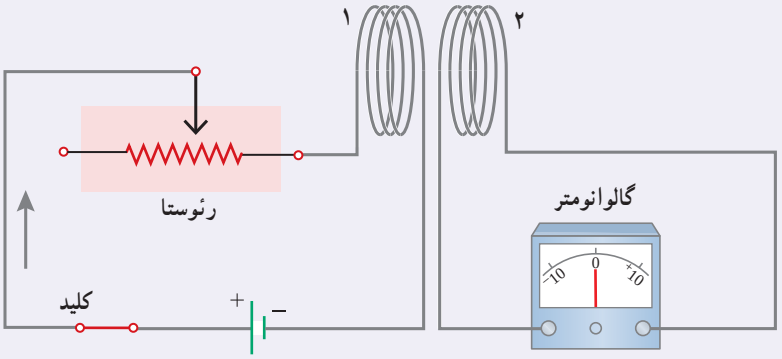
کاربرد القاگرها در لامپ‌های فلوئورسان

همان‌طور که در ابتدای این بخش دیدیم القاگرها با تغییرات سریع جریان در مدار مخالفت می‌کنند، به همین دلیل نقش مهمی در لامپ‌های فلوئورسان (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 پلاسما تبدیل می‌کند. پلاسما یک رسانای غیراهمی است و هرچه بیشتر یونیده شود مقاومت آن کمتر می‌شود. اگر ولتاژ به حدّ کافی بالایی به گاز اعمال شود، جریان می‌تواند بسیار زیاد شود و به مدار بیرونی لامپ فلوئورسان آسیب برساند. برای جلوگیری از این مسئله، یک القاگر را به طور متوالی با لامپ فلوئورسان می‌بندند تا مانع افزایش زیاد جریان شود. متعادل کننده همچنین باعث می‌شود تا لامپ فلوئورسان بتواند با ولتاژ متناوب کار کند.

https://konkur.info

خوب است بدانید: القای متقابل

شکل زیر اسباب آزمایش ساده‌ای را برای بررسی اثر القای متقابل نشان می‌دهد. جریان عبوری از پیچهٔ ۱، میدان مغناطیسی $\vec{B}$ را به وجود می‌آورد. این میدان $\vec{B}$، شار مغناطیسی‌ای را از پیچهٔ ۲ می‌گذراند که در مجاورت آن قرار دارد. با تغییر دادن مقاومت رئوستا و تغییر جریان در پیچهٔ ۱، میدان مغناطیسی پیچهٔ ۱ و در نتیجه شار عبوری از پیچهٔ ۲ نیز تغییر می‌کند؛ بنابر قانون فاراده، این تغییر شار، نیروی محرکه‌ای را در پیچهٔ ۲ القا می‌کند که به ایجاد جریان القایی در این پیچه می‌انجامد. همچنین تغییر جریان در پیچهٔ ۲، سبب ایجاد نیروی محرکهٔ القایی در پیچهٔ ۱ می‌شود. این فرایند، القای متقابل نامیده می‌شود و به کمک آن می‌توان انرژی را از یک پیچه، به پیچهٔ دیگر منتقل کرد.



با تغییر مقاومت رئوستا و تغییر جریان عبوری از پیچهٔ ۱ شار عبوری از پیچهٔ ۲ نیز تغییر می‌کند. این تغییر شار، سبب ایجاد نیروی محرکهٔ القایی در پیچهٔ ۲ می‌شود. هم‌زمان تغییر جریان در پیچهٔ ۲، سبب ایجاد نیروی محرکهٔ القایی در پیچهٔ ۱ می‌گردد.

در برخی از مدارهایی که از چندین القاگر به وجود آمده است، تغییرات جریان در یک القاگر می‌تواند نیروهای محرکهٔ ناخواسته‌ای را در القاگرهای مجاور القا کند. به همین دلیل، در برخی از مدارهای الکتریکی، 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 مبدّل‌ها که در پایان همین فصل با آنها آشنا خواهید شد، القای متقابل، نقش مهمی در مقدار ولتاژ خروجی مبدل ایفا می‌کند.

برای به حداقل رساندن اثر القای متقابل در برخی از مدارهای الکتریکی، القاگرهای مجاور را به گونه‌ای قرار می‌دهند که سطح حلقه‌های آنها بر یکدیگر عمود باشد.

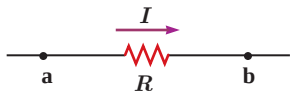
انرژی ذخیره شده در القاگر : وقتی توسط باتری جریانی در القاگر برقرار شود، مولد به القاگر انرژی می‌دهد. بخشی از این انرژی در مقاومت الکتریکی سیم‌های القاگر به صورت گرما تلف و بقیهٔ آن در میدان مغناطیسی القاگر ذخیره می‌شود. مقدار انرژی ذخیره شده در میدان القاگر با ضریب القاوری L، از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید :

$$U = \frac{۱}{۲} LI^{۲} \qquad (۸ـ۳)$$

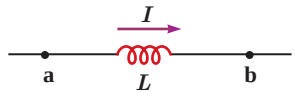
https://konkur.info

لازم است رفتار مقاومت و القاگر را به لحاظ انرژی اشتباه نگیرید (شکل ۳ــ۳۱). 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؛ درحالی‌که در یک القاگر آرمانی (با مقاومت صفر) تنها وقتی انرژی وارد القاگر می‌شود که جریان در آن افزایش یابد. این انرژی تلف نمی‌شود؛ بلکه در میدان مغناطیسی القاگر ذخیره شده و هنگام کاهش جریان، آزاد می‌شود. هنگام عبور جریان پایا از یک القاگر آرمانی (سیم‌پیچ بدون مقاومت)، انرژی به آن وارد یا از آن خارج نمی‌شود.

مقاومت با جریان I : انرژی تلف شده است.



القاگر با جریان I : انرژی ذخیره شده است.



شکل ۳ــ۳۱ مقاومت قطعه‌ای است که در آن انرژی به طور غیرقابل برگشت تلف می‌شود. برخلاف آن، انرژی ذخیره شده در القاگر حامل جریان را می‌توان هنگام کاهش جریان، بازیافت.

مثال ۳ــ۷

متخصصان 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 پرمصرف (اوج بار) تأمین کنند. یک ایدهٔ فرضی، استفاده از یک القاگر بزرگ است. ضریب القاوری این القاگر چقدر باشد تا بتواند ۱/۰kWh انرژی الکتریکی را در پیچهٔ حامل جریان ۲۰۰A ذخیره کند؟

پاسخ : مقدار انرژی ذخیره شدهٔ مورد نیاز $U=$ ۱/۰kWh و جریان $I=$۲۰۰A داده شده است. از معادلهٔ ۳ــ ۸ ضریب القاوری را به‌دست می‌آوریم :

$$U=۱/۰\ \text{kWh}=(۱/۰\times۱۰^{۳}\text{W})(۳۶۰۰\text{s})=۳/۶\times۱۰^{۶}\text{J}$$

$$U=\frac{۱}{۲}LI^{۲}\Rightarrow L=\frac{۲U}{I^{۲}}=\frac{۲(۳/۶\times۱۰^{۶}\text{J})}{(۲۰۰\text{A})^{۲}}=۱/۸\times۱۰^{۲}\text{H}$$

ضریب القاوری به‌دست آمده، بسیار بیشتر از ضریب القاوری یک القاگر معمولی (در حد میلی‌هانری) است که در آزمایشگاه از آن استفاده می‌کنیم. افزون بر این همان‌طور که در فصل ۲ دیدیم سیم‌های معمولی که بتوانند جریان ۲۰۰A را از خود عبور دهند باید قطر بسیار بزرگی داشته باشند. اندازهٔ یک القاگر ۱۸۰H که از سیم‌های معمولی ساخته شده باشد و بتواند چنین جریانی را تحمل کند باید خیلی بزرگ (به اندازهٔ یک اتاق بزرگ) باشد. با توجه به فنّاوری‌های موجود، این ایده غیرعملی است و توجیه اقتصادی ندارد.

فنّاوری و کاربرد: انرژی لازم برای جرقه زدن شمع خودرو

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

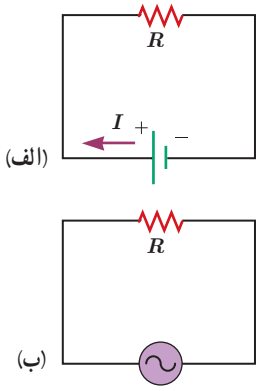
انرژی لازم برای جرقه زدن شمع خودرو، از انرژی ذخیره شده در میدان مغناطیسی پیچهٔ احتراق تأمین می‌شود.

https://konkur.info

۳ــ۱۱ جریان متناوب

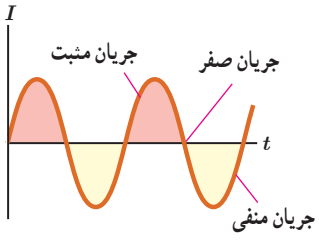
در اواخر قرن نوزدهم، بحث‌های داغی بین توماس ادیسون و جورج وستینگهاوس دربارهٔ بهترین روش انتقال انرژی الکتریکی از محل تولید تا محل مصرف صورت گرفت. ادیسون موافق جریان مستقیم (dc) بود، در حالی که وستینگهاوس از جریان متناوب (ac) حمایت می‌کرد. سرانجام، وستینگهاوس پیروز شد و پس از آن سامانه‌های انتقال و توزیع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

شکل ۳ــ۳۲ دو مدار سادهٔ جریان مستقیم و جریان متناوب را نشان می‌دهد. همان‌طورکه می‌بینید جهت جریان در مدار جریان مستقیم معیّن است، درحالی که در مدار جریان متناوب، به دلیل تغییر جهت جریان با گذشت زمان، نمی‌توان جهت معینی را برای جریان در نظر گرفت. تمامی نیروگاه‌های تولید برق در دنیا و از جمله ایران، جریان متناوب تولید می‌کنند که تابعی سینوسی از زمان است و به همین دلیل، جریان متناوب سینوسی نامیده می‌شود (شکل ۳ــ۳۳).

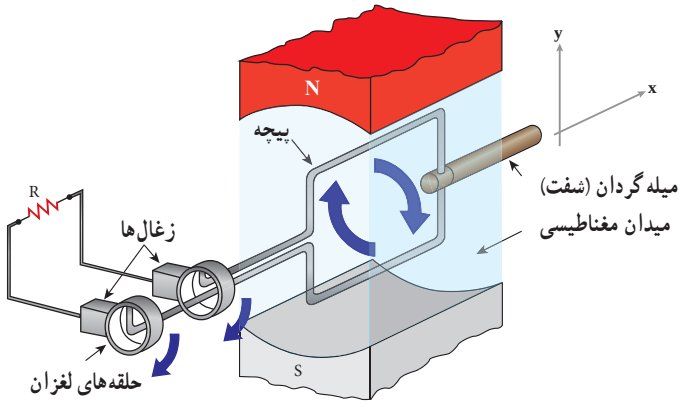


شکل ۳ــ۳۲ الف) مدار سادهٔ جریان مستقیم، که در آن جریان با گذشت زمان تغییر نمی‌کند. ب) مدار سادهٔ جریان متناوب، که در آن ولتاژ و جریان با گذشت زمان به طور سینوسی تغییر می‌کنند.

تولید جریان متناوب : یکی از کاربردهای مهم اثر القای الکترومغناطیسی، تولید جریان متناوب است. پیش از این دیدیم که برای تولید نیروی محرکهٔ القایی باید شار عبوری از پیچه تغییر کند. رایج‌ترین روش برای تغییر شار و در نتیجه تولید جریان القایی، تغییر زاویهٔ θ در رابطهٔ شار مغناطیسی، یعنی $\Phi=BA\cos\theta$ است. شکل ۳ــ۳۴ پیچه‌ای را نشان می‌دهد که می‌تواند در میدان مغناطیسی یکنواخت دور محور x بچرخد.



شکل ۳ــ۳۳ جریان متناوب سینوسی، متداول‌ترین نوع جریان متناوب است.



شکل ۳ــ۳۴ اجزای یک مولّد (ژنراتور) جریان متناوب. حرکت مکانیکی از طریق میله گردان، سبب چرخیدن پیچه در میدان مغناطیسی می‌شود و جریان متناوبی را در مدار به وجود می‌آورد.

هر دور چرخش پیچه، معادل 2π رادیان است. اگر پیچه به‌طور یکنواخت بچرخد و هر دور چرخش آن T ثانیه طول بکشد، پیچه در مدت t ثانیه، به اندازه $\frac{t}{T}$ دور خواهد چرخید. درنتیجه اگر سطح پیچه در لحظه $t=0$ عمود بر میدان مغناطیسی باشد ($\theta=0$)، پس از گذشت t ثانیه، زاویه θ برابر $(2\pi)(\frac{t}{T})$ رادیان است. زمان یک دور چرخش کامل پیچه (T) را **دوره** یا **زمان تناوب** می‌نامند. شاری که در لحظهٔ t از پیچه می‌گذرد برابر است با

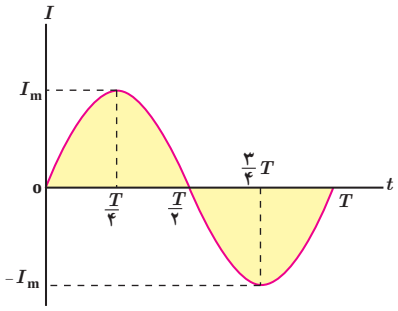
$$\Phi = BA\cos\frac{2\pi}{T}t \qquad (۹ــ۳)$$

https://konkur.info

می‌توان نشان داد با تغییر شار مغناطیسی، جریانی که در پیچه القا می‌شود، از رابطه زیر به‌دست می‌آید[۱] :

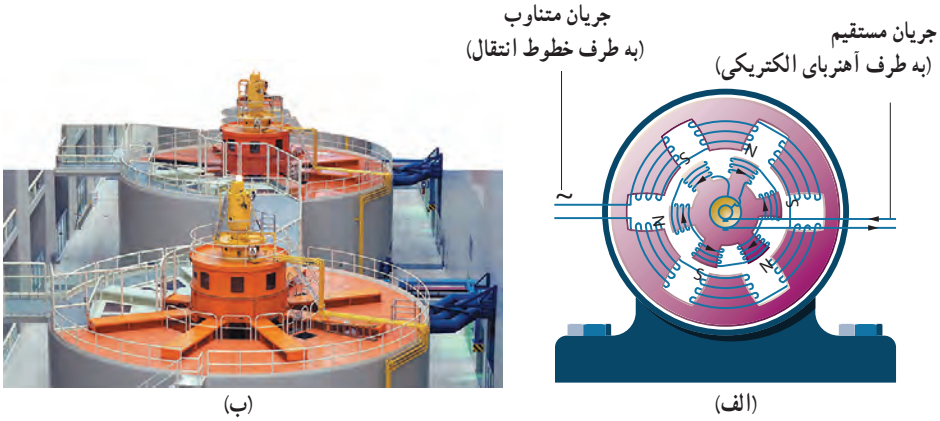
$$I = I_m \sin \frac{2\pi}{T} t \qquad (۱۰ـ۳)$$

در این رابطه I_m بیشینهٔ جریان القا شده در پیچه است. رابطهٔ ۳ـ۱۰ همچنین نشان می‌دهد که جریان القایی در پیچه، به‌طور سینوسی تغییر می‌کند، به‌همین سبب به آن **جریان متناوب** می‌گویند. نمودار این جریان برحسب زمان، در یک دوره در شکل ۳ـ۳۵ رسم شده است.



شکل ۳ـ۳۵ نمودار جریان متناوب سینوسی در یک دوره

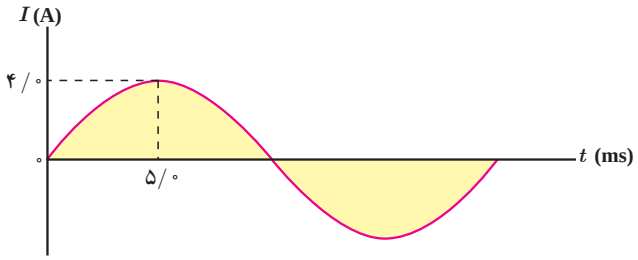
در نیروگاه‌های تولید برق، برای تولید جریان متناوب از مولدهای خاصی استفاده می‌شود که به آنها مولدهای صنعتی جریان متناوب می‌گویند. در مولدهای صنعتی پیچه‌ها ساکن‌اند و آهنربای الکتریکی در آنها می‌چرخد (شکل ۳ـ۳۶). در نیروگاه‌های تولید برق در ایران، آهنربای الکتریکی در هر ثانیه، ۵۰ دور درون پیچه می‌چرخد. این کمیت را بسامد برق تولید شده می‌نامند و به‌صورت ۵۰Hz بیان می‌کنند. یکای SI بسامد s^{-1} یا Hz (هرتز) است.



شکل ۳ـ۳۶ الف) در مولدهای صنعتی با چرخیدن آهنربای الکتریکی بین پیچه‌ها، جریان متناوب تولید می‌شود. ب) نمایی از مولدهای صنعتی تولید برق.

مثال ۳ـ۸

شکل روبه‌رو، نمودار جریان متناوب سینوسی را نشان می‌دهد که یک مولد جریان متناوب تولید کرده است. معادلهٔ جریان برحسب زمان را بنویسید.



پاسخ : چون ربع چرخه در ۵/۰ ms طی شده است، دوره تناوب برابر $T = ۲۰\,ms$ است. همچنین با توجه به نمودار، بیشینهٔ جریان $I_m = ۴/۰A$ است. در نتیجه از رابطهٔ ۳ـ۹ داریم :

$$I = I_m \sin \frac{2\pi}{T} t = (۴/۰A) \sin \left(\frac{2\pi}{۲۰\times۱۰^{-۳}s}\right) t = ۴/۰ \sin ۱۰۰\pi t$$

نتیجهٔ نهایی برحسب یکاهای SI نوشته شده است.

۱ـ اثبات این رابطه، خارج از اهداف برنامهٔ درسی این کتاب است.

https://konkur.info

تمرین ۳ــ۶

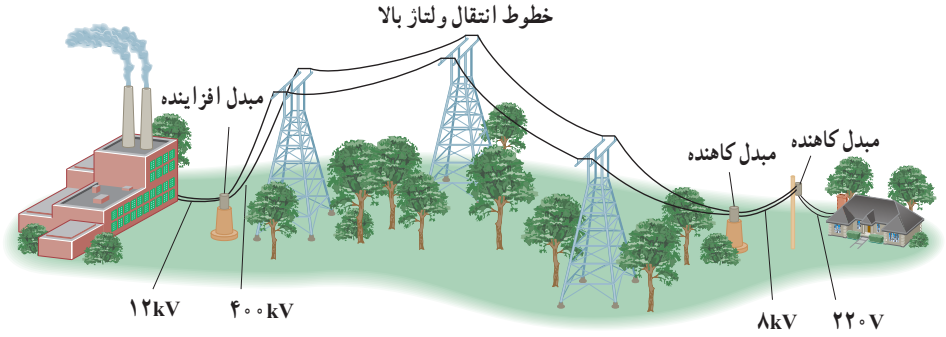
معادلهٔ جریان ــ زمان یک مولد جریان متناوب برحسب یکاهای SI به‌صورت $I = (۴/۰\times۱۰^{-۳})\sin۲۵۰\pi t$ است.

الف) جریان در دو لحظهٔ $t_۱= ۲/۰$ ms و $t_۲= ۸/۰$ ms چقدر است؟

ب) دورهٔ تناوب جریان را به‌دست آورید و نمودار جریان ــ زمان را در یک دورهٔ 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، تا جایی 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 اوّلیهٔ ساخت سیم صرفه‌جویی کرد.

خط‌های انتقال توان الکتریکی به طور معمول از ولتاژهایی در حدود ۴۰۰ kV استفاده می‌کنند (شکل ۳ــ۳۸). 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 ۲۲۰ V است. تبدیل ولتاژ مورد نیاز با استفاده از مبدل‌ها صورت می‌گیرد.

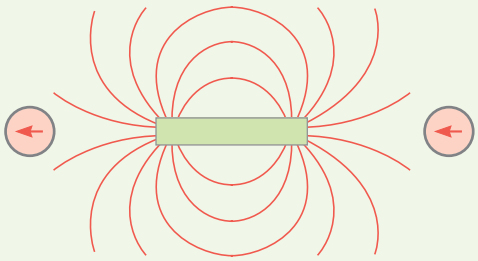


شکل ۳ــ۳۸ قبل از انتقال توان الکتریکی از نیروگاه‌ها، مبدل‌های افزاینده، ولتاژ را تا حدود ۴۰۰ kV افزایش می‌دهند. در انتهای مسیر، مبدل‌های کاهنده، ولتاژ را کاهش می‌دهند تا توان الکتریکی با امنیت بیشتر به محل مصرف برسد.

https://konkur.info

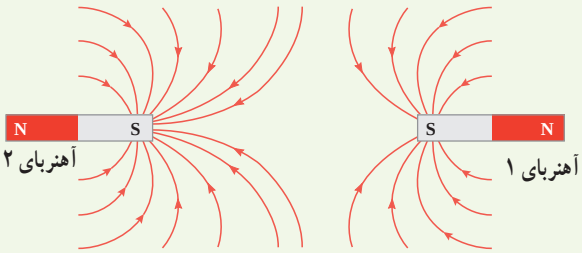
۳ـ۱ و ۳ـ۲ مغناطیس و قطب‌های مغناطیسی و میدان مغناطیسی

۱ با توجه به جهت‌گیری عقربه‌های مغناطیسی در شکل زیر، قطب‌های آهنربای میله‌ای و جهت خط‌های میدان مغناطیسی را تعیین کنید.

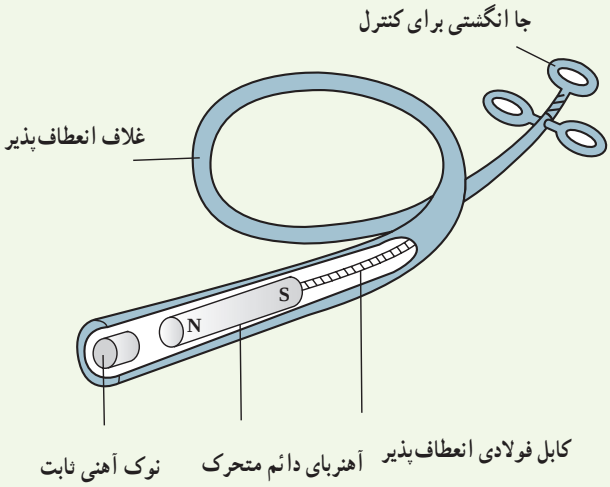


۲ الف) آهنربای میله‌ای با قطب‌های نامشخص در اختیار داریم. دست کم دو روش را برای تعیین قطب‌های این آهنربا بیان کنید.

ب) خط‌های میدان مغناطیسی بین دو آهنربا در شکل زیر نشان داده شده است. اندازهٔ میدان مغناطیسی را در نزدیکی قطب‌های آهنرباها با هم مقایسه کنید.



۳ کودکی یک قطعهٔ کوچک آهنی را بلعیده است. پزشک می‌خواهد آن را با دستگاه شکل زیر بیرون بیاورد.



الف) هنگامی‌که آهنربای دائمی به نوک ثابت آهنی نزدیک می‌شود چه اتفاقی می‌افتد؟

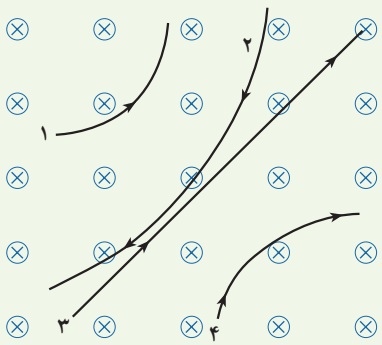
ب) ساختن نوک ثابت آهن چه مزیتی دارد؟

پ) این وسیله را باید به درون گلوی کودک وارد و به سوی فلز بلعیده شده هدایت کرد؛ چرا غلاف باید انعطاف‌پذیر باشد؟

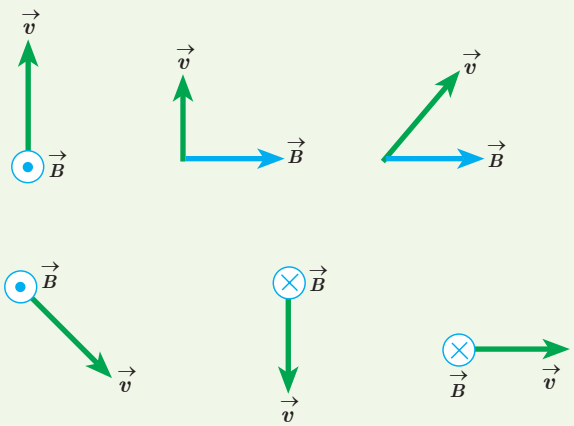
ت) پزشک می‌خواهد یک گیرهٔ آهنی کاغذ و یک واشر آلومینیومی را از گلوی کودک بیرون بیاورد؛ کدام‌یک را می‌توان بیرون آورد؟ چرا؟

۳ـ۳ نیروی مغناطیسی وارد بر ذره باردار متحرک در میدان مغناطیسی

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

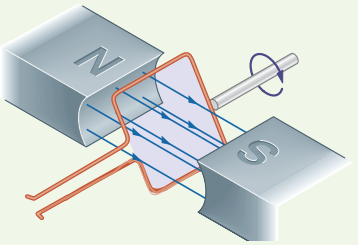


۵ جهت نیروی مغناطیسی وارد بر بار مثبت را در هریک از حالت‌های نشان داده در شکل زیر تعیین کنید.



https://konkur.info

۶ حلقهٔ رسانای مستطیل شکلی که حامل جریان I است، مطابق شکل درون میدان مغناطیسی یکنواخت می‌چرخد. جهت جریان را در حلقه تعیین کنید.

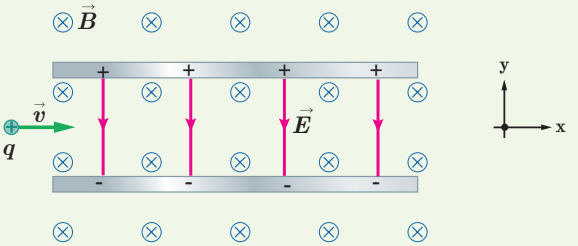


۷ پروتونی با تندی $4/4\times10^{6}\,m/s$ درون میدان مغناطیسی یکنواختی به‌اندازهٔ $18mT$ در حرکت است. جهت حرکت پروتون با جهت $\vec{B}$، زاویهٔ 60° می‌سازد.

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

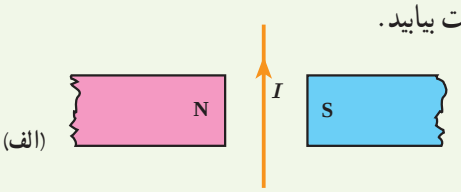
ب) اگر تنها این نیرو بر پروتون وارد شود، شتاب پروتون را حساب کنید. (بار الکتریکی پروتون $1/6\times10^{-19}C$ و جرم آن را $1/7\times10^{-27}kg$ در نظر بگیرید).

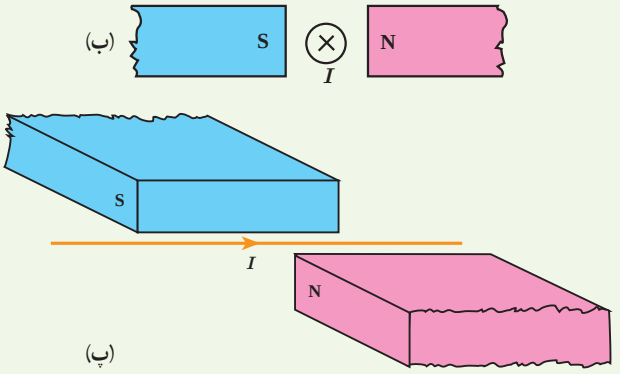
۸ ذرهٔ باردار مثبتی با جرم ناچیز و با سرعت $\vec{v}$ در امتداد محور x وارد فضایی می‌شود که میدان‌های یکنواخت $\vec{E}$ و $\vec{B}$ وجود دارد (شکل زیر). اندازهٔ این میدان‌ها برابر $E=450\,N/C$ و $B=0/18T$ است. تندی ذره چقدر باشد تا در همان امتداد محور x به حرکت خود ادامه دهد؟



۳ـ۴ نیروی مغناطیسی وارد بر سیم حامل جریان

۹ جهت نیروی الکترومغناطیسی وارد بر سیم حامل جریان را در هر یک از شکل‌های الف، ب و پ با استفاده از قاعدهٔ دست راست بیابید.

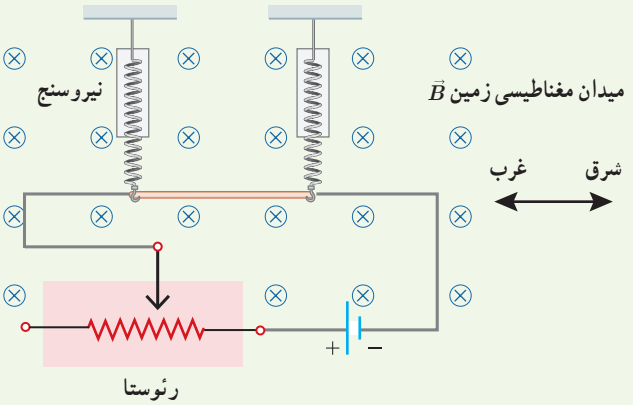




۱۰ یک سیم حامل جریان ۱/۶ آمپر مطابق شکل زیر با دو نیروسنج فنری که به دو انتهای آن بسته شده‌اند، به‌طور افقی و در راستای غرب ــ شرق قرار دارد. میدان مغناطیسی زمین را یکنواخت، به‌طرف شمال و اندازهٔ $0/05mT$ بگیرید.

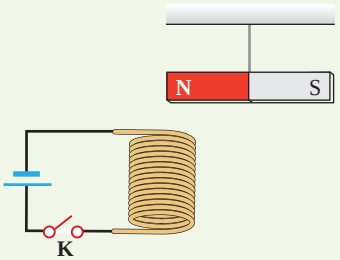
الف) اندازهٔ نیروی مغناطیسی وارد بر هر متر این سیم را پیدا کنید.

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 ۸ گرم است ($g = 9/8N/kg$).



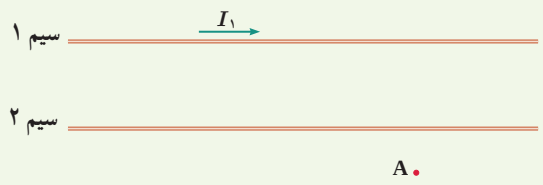
۳ـ۵ میدان مغناطیسی حاصل از جریان الکتریکی

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



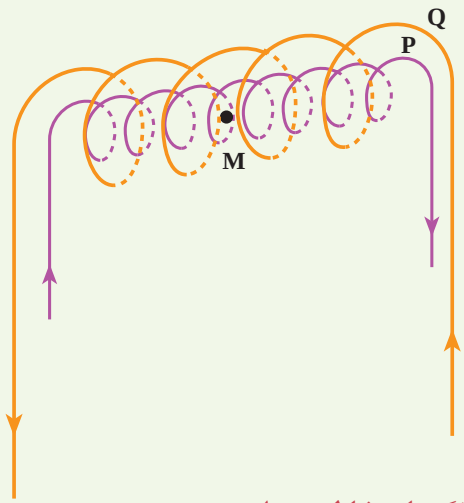
https://konkur.info

۱۲ شکل زیر، دو سیم موازی و بلند حامل جریان را نشان می‌دهد. اگر میدان مغناطیسی برایند حاصل از این سیم‌ها در نقطهٔ A صفر باشد، جهت جریان آن را در سیم ۲ پیدا کنید.



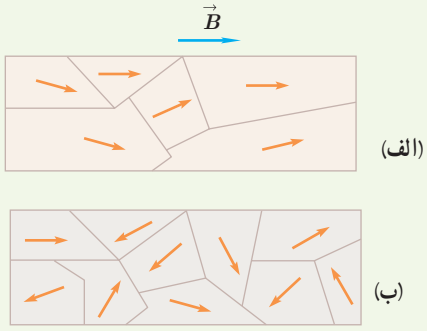
۱۳ سیملوله‌ای شامل ۲۵۰ حلقه است که دور یک لولهٔ پلاستیکی توخالی به طول ۰/۱۴ متر پیچیده شده است. اگر جریان گذرنده از سیملوله ۰/۸A باشد، اندازهٔ میدان مغناطیسی درون سیملوله را حساب کنید.

۱۴ در شکل زیر دو سیملولهٔ P و Q هم محورند و طول برابر دارند. تعداد دور سیملولهٔ P برابر ۲۰۰ و تعداد دور سیملولهٔ Q برابر ۳۰۰ است. اگر جریان ۱A از سیملولهٔ Q عبور کند، از سیملولهٔ P چه جریانی باید عبور کند تا برایند میدان مغناطیسی ناشی از دو سیملوله در نقطهٔ M (روی محور دو سیملوله) صفر شود؟

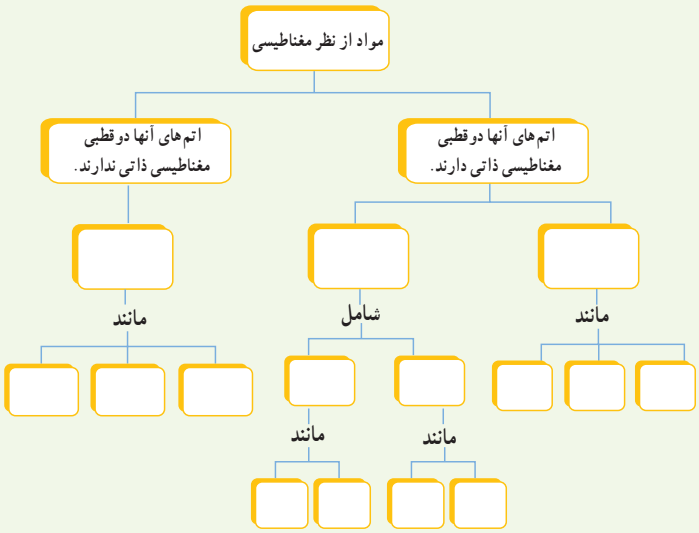


۳ـ۶ ویژگی‌های مغناطیسی مواد

۱۵ شکل الف حوزه‌های مغناطیسی مادهٔ فرومغناطیسی را درون میدان خارجی $\vec{B}$ نشان می‌دهد. شکل ب همان ماده را پس از حذف میدان $\vec{B}$ نشان می‌دهد. نوع مادهٔ فرومغناطیسی را با ذکر دلیل تعیین کنید.

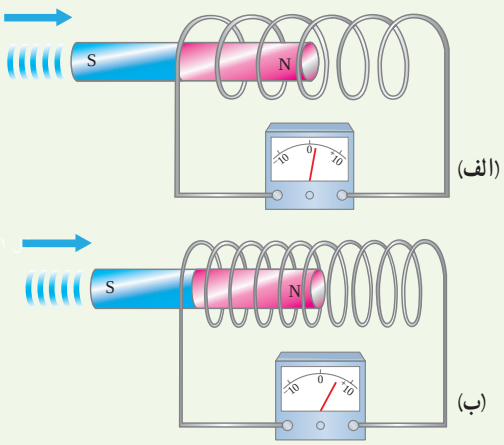


۱۶ با توجه به آنچه در بخش ویژگی‌های مغناطیسی مواد دیدید، نقشه مفهومی زیر را کامل کنید.



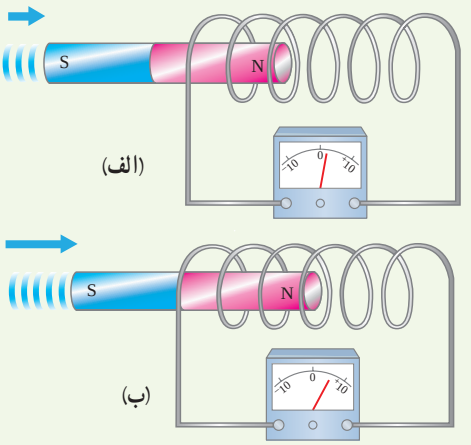
۳ـ۸ قانون القای الکترومغناطیسی فاراده

۱۷ دو سیملوله با حلقه‌های با مساحت یکسان ولی با تعداد دور متفاوت را مطابق شکل‌های زیر به ولت‌سنج حساسی وصل کرده‌ایم. دریافت خود را از این شکل‌ها بنویسید. (آهنرباها مشابه‌اند و با تندی یکسانی به‌طرف سیملوله‌ها حرکت می‌کنند.)



https://konkur.info

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

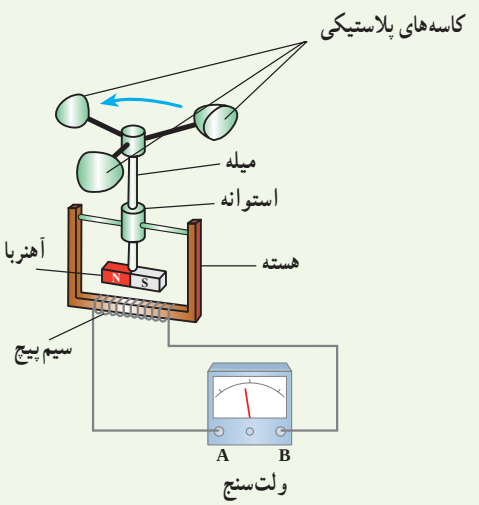


۱۹ شکل زیر ساختمان یک بادسنج را نشان می‌دهد. اگر این بادسنج را روی بام خانه نصب کنیم، به هنگام وزیدن باد میلهٔ آن می‌چرخد و ولت‌سنج عددی را نشان می‌دهد.

الف) چرا چرخش میله سبب انحراف عقربهٔ ولت‌سنج می‌شود؟

ب) آیا با افزایش تندی باد، عددی که ولت‌سنج نشان می‌دهد تغییر می‌کند؟ چرا؟

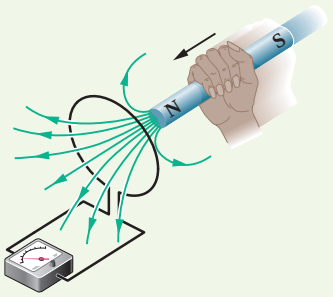
پ) برای بهبود و افزایش دقت کار دستگاه دو پیشنهاد ارائه دهید.



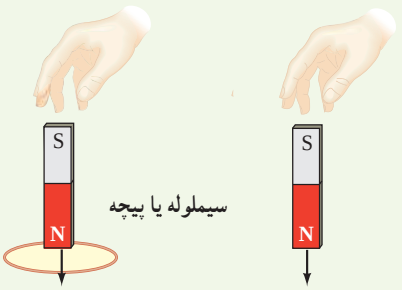
۲۰ سطح حلقه‌های پیچه‌ای که دارای ۱۰۰۰ حلقه است، عمود بر میدان مغناطیسی یکنواختی که اندازهٔ آن ۰/۰۴۰T و جهت آن از راست به چپ است، قرار دارد. میدان مغناطیسی در مدت ۰/۰۱۰s تغییر می‌کند و به ۰/۰۴۰T در خلاف جهت اولیه می‌رسد. اگر سطح هر حلقهٔ پیچه ۵۰cm² باشد، اندازهٔ نیروی محرکهٔ القایی متوسط در پیچه را حساب کنید.

۳ـ۹ قانون لنز

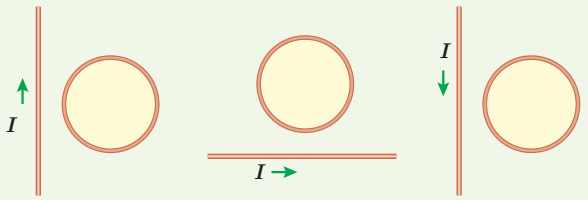
۲۱ قطب N یک آهنربا را مطابق شکل زیر به یک حلقهٔ رسانا نزدیک می‌کنیم. جهت جریان القایی را در حلقه مشخص کنید.



۲۲ دو آهنربای میله‌ای مشابه را مطابق شکل، به‌طور قائم از ارتفاع معینی نزدیک سطح زمین رها می‌کنیم به‌طوری‌که یکی از آنها از حلقهٔ رسانایی عبور می‌کند. اگر سطح زمین در محل برخورد آهنرباها نرم باشد، مقدار فرورفتگی آهنرباها را در زمین با یکدیگر مقایسه کنید. (تأثیر میدان مغناطیسی زمین روی آهنرباها را نادیده بگیرید.)

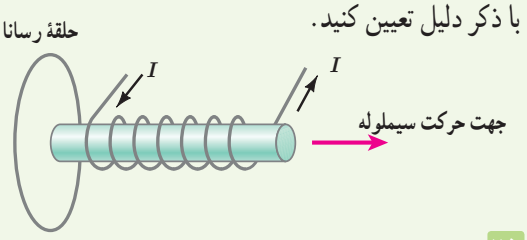


۲۳ جهت جریان القایی را در هریک از حلقه‌های رسانای نشان داده شده در شکل‌های زیر تعیین کنید.

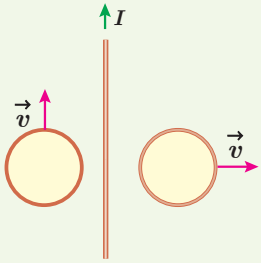


https://konkur.info

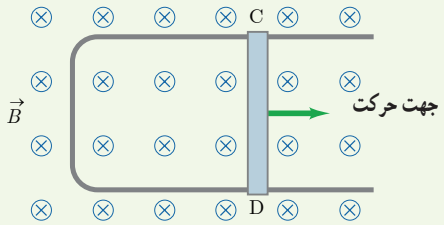
۲۴ شکل زیر سیملولهٔ حامل جریانی را نشان می‌دهد که در حال دور شدن از یک حلقهٔ رساناست. جهت جریان القایی را در حلقه با ذکر دلیل تعیین کنید.



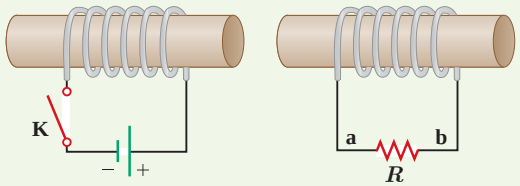
۲۵ دو حلقهٔ رسانا در نزدیکی یک سیم دراز حامل جریان ثابت I قرار دارند؛ این دو حلقه با تندی یکسان، ولی در جهت‌های متفاوت مطابق شکل روبه‌رو حرکت می‌کنند. جهت جریان القایی را در هر حلقه با ذکر دلیل تعیین کنید.



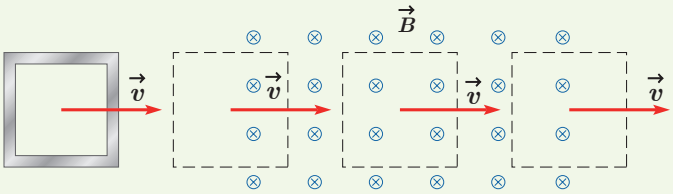
۲۶ شکل زیر رسانای U شکلی را درون میدان مغناطیسی یکنواخت $\vec{B}$ که عمود بر صفحهٔ شکل و رو به داخل صفحه است نشان می‌دهد. وقتی میلهٔ فلزی CD به طرف راست حرکت کند، جهت جریان القایی در مدار در چه جهتی است؟



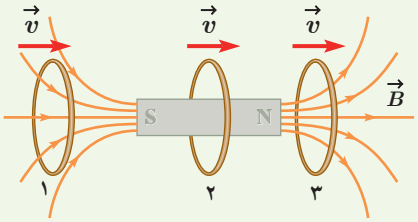
۲۷ در مدار نشان داده شده در شکل زیر، جهت جریان القایی را در مقاومت R در هریک از دو حالت زیر با ذکر دلیل پیدا کنید :
الف) در لحظهٔ بستن کلید K، ب) در لحظهٔ باز کردن کلید K.



۲۸ حلقهٔ رسانای مربعی شکل، به طول ضلع ۱۰cm وارد میدان مغناطیسی درون‌سویی به اندازهٔ ۲۰mT و سپس از آن خارج می‌شود.
الف) در کدام مرحله شار عبوری از حلقه بیشینه 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.

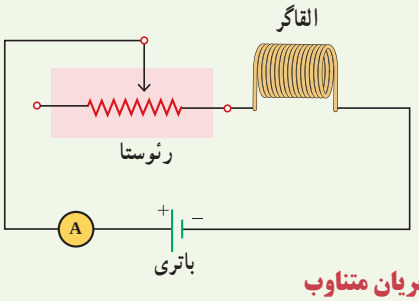


۲۹ حلقهٔ رسانایی به‌طرف یک آهنربای میله‌ای حرکت می‌کند. شکل زیر، حلقه را در سه وضعیت نسبت به آهنربا نشان می‌دهد. جهت جریان القایی را در حلقه برای هر وضعیت به‌طور جداگانه تعیین کنید.



۳ــ۱۰ القاگرها

۳۰ شکل زیر مداری را نشان می‌دهد؛ شامل یک القاگر (سیملوله)، باتری، رئوستا و آمپرسنج 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؟



۳ــ۱۱ جریان متناوب

۳۱ جریان متناوبی که بیشینهٔ آن ۲/۰A و دورهٔ آن ۰/۰۲۰s است، از یک رسانای ۵ اهمی می‌گذرد.
الف) اولین لحظه‌ای که در آن جریان بیشینه است چه لحظه‌ای است؟ در این لحظه نیروی محرکهٔ القایی چقدر است؟
ب) در لحظهٔ $t = \frac{۱}{۴۰۰}$s ، جریان چقدر است؟

https://konkur.info

پیوست

واژه‌نامهٔ فارسی ــ انگلیسی

آزمایش قطره ــ روغن میلیکان	Millikan's oil– drop experiment
آهنربای دائمی	Permanent magnet
آهنربای موقّت	Temporary magnet
آهنربای میله‌ای	Bar magnet
آهنربای نعلی‌شکل	Horseshoe magnet
ابررسانایی	Supercunductivity
اختلاف پتانسیل	Potential difference
افت پتانسیل	Voltage drop
القاگر	Inductor
القای الکترومغناطیسی	Electromagnetic induction
القای الکتریکی	Electric induction
القای مغناطیسی	Magnetic induction
انرژی پتانسیل الکتریکی	Electric potential energy
انرژی مغناطیسی	Magnetic energy
بار خالص	Net charge
بار قطبیده	Polarized charge
برق گیر	Lightning rod
بسامد زاویه‌ای	Angular frequency
بطری لیدن	Leyden jar
پارامغناطیس	Paramagnetism
پایستگی بار	Conservation of charge
پتانسیومتر	Potentiometer
پر کردن ــ شارژ (خازن)	Charging
پرتو کیهانی	Cosmic ray
پیچه	Coil
تخلیهٔ هاله‌ای	Corona discharge
تراوایی مغناطیسی	Magnetic permeability
ترمیستور	Thermistor
ثابت دی الکتریک	Dielectric constant
جریان القایی	Induced current
جریان الکتریکی	Electric Current
جریان متناوب	Alternating Current (AC)
جریان مستقیم	Direct Current (DC)
چگالی سطحی بار	Surface charge density
حلقه	Loop
حوزهٔ مغناطیسی	Magnetic domain
خازن	Capacitor
خازن تخت	Parallel ــ plate capacitor
خالی کردن (خازن)	Discharging
خط‌های میدان الکتریکی	Electric field lines
خط‌های میدان مغناطیسی	Magnetic field lines
خود ــ القاوری (خودالقایی)	Self ــ inductance
دوقطبی الکتریکی	Electric dipole
دوقطبی مغناطیسی	Magnetic dipole
دیامغناطیس	Diamagnetism
دیود نورگسیل	Light Emitting Diode (LED)
رسوب‌دهنده الکتروستاتیکی	Electrostatic precipitator
رئوستا	Rheostat
زاویهٔ شیب	Inclination angle
سرعت سوق	Drift velocity
سری الکتریسیتهٔ مالشی(تریبوالکتریک)	Triboelectric series
سیملوله	Solenoid

https://konkur.info

شارمغناطیسی	Magnetic flux
ضریب القاوری (ضریب خودالقایی)	Inductance
ضریب دمایی مقاومت ویژه	Coefficient of resistivity
ضریب گذردهی	Permitivity
ظرفیت	Capacitance
عایق	Insulator
فرّومغناطیس	Ferromagnetism
فروریزش الکتریکی	Electric breakdown
قاعدهٔ انشعاب	Junction rule
قانون القای الکترومغناطیسی فاراده	Faraday's law of electromagnetic induction
قانون کولن	Coulomb's law
قانون لنز	Lenz's law
قانون‌های کیرشهف	Kirchhoff's laws
قائده دست راست	Right hand rule
قطب جنوب	Magnetic inductionSouth pole
قطب شمال	North pole
قطبش	Polarization
قفس فاراده	Faraday cage
کوارک	Quark
کوانتیده	Quantized
محور مغناطیسی	Magnetic axis

مدارهای متوالی	Series circuits
مدارهای موازی	Parallel circuits
مقاومت	Resistor
مقاومت الکتریکی	Electric resistance
مقاومت پیچه‌ای	Wire_wound resistor
مقاومت ترکیبی	Composition resistor
مقاومت درونی	Internal resistance
مقاومت متغیر	Variable resistor
مقاومت معادل	Equivalent resistance
مقاومت نوری	Light Dependent Resistor (LDR)
مقاومت ویژه	Resistivity
موتور الکتریکی	Electric motor
مولّد وان دو گراف	Van de Graaff generator
میدان الکتریکی	Electric field
میدان مغناطیسی	Magnetic field
میل مغناطیسی	Magnetic declination
نقش‌های لیچنبرگ	Lichenberg patterns
نیروی الکتریکی	Electric force
نیروی محرکهٔ الکتریکی	Electro Motive Force (E.M.F.)
هستهٔ آهنی	Iron core
یون رانی	Iontophoresis

https://konkur.info

منابع

منابع انگلیسی

1. McGraw – Hill Dictionary of Scientific and Technical Terms, Sybil p. Parker, 4th edition, 1989, Mc Graw – 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, 1th edition, 2011, McGraw – Hill.

6. Physics, Douglas C. Giancoli, 7th Edition, 2014, Prentice – Hall International.

7. Physics, Allen Giambattista , Betty Richardson and Robert Richardson, 2th Edition, 2008, McGraw–Hill.

8. The Physics of Everyday Phenomena, 6th Edition, W. Thomas Griffith and Juliet W.Brosing , 2009, Mc Graw Hill.

9. Physics for Scientists and Engineers, Randall D. Knight, 3th Edition, 2013, Pearson.

10. Cambridge International AS and A Level Physics, Mike Crundell, 2th Edition, 2014, Hodder Educa–tion.

11. University Physics, Richard Wolfson, 2th 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.

https://konkur.info

منابع فارسی

۱ــ فیزیک دانشگاهی (جلد دوم)، ویراست سیزدهم، سیرز، زیمانسکی، یانگ و فریدمن، ترجمه اعظم پورقاضی، روح‌اله خلیلی بروجنی، محمدتقی فلاحی مروستی، چاپ اول ۱۳۹۱ ، مؤسسهٔ نشر علوم نوین.

۲ــ مبانی فیزیک (جلد دوم) الکتریسیته و مغناطیس، ویراست دهم، دیوید هالیدی، رابرت رزنیک و یرل واکر، ترجمه محمدرضا خوش بین خوش‌نظر، چاپ اول ۱۳۹۳، انتشارات نیاز دانش.

۳ــ مجموعه سه جلدی دانشنامه فیزیک، جان ریگدن و دیگران، ویراسته محمد ابراهیم ابوکاظمی ، ۱۳۸۷-۱۳۸۱، مرکز تحصیلات تکمیلی زنجان و بنیاد دانشنامه بزرگ فارسی.

۴ــ فیزیک مفهومی، ویراست دهم، پل جی هیوئیت، ترجمه منیژه رهبر، چاپ اوّل، ۱۳۸۸ ، انتشارات فاطمی.

۵ــ نمایش هیجان‌انگیز فیزیک، ویراست دوم، یرل واکر، ترجمه محمدرضا خوش‌بین خوش‌نظر و رسول جعفری نژاد، چاپ اول۱۳۹۱، انتشارات آراکس.

۶ــ اصول فیزیک (جلد دوم)، هانس اوهانیان، ترجمه بهرام معلمی و جهانشاه میرزابیگی، چاپ اول، ۱۳۸۳، مرکز نشر دانشگاهی.

۷ــ فیزیک (جلد دوم)، مارچلو آلونسو و ادوارد جی. فین. ترجمهٔ لطیف کاشیگر، چاپ اوّل، ۱۳۶۷، نشر روز.

https://konkur.info

سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی جهت ایفای 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 دریافت نظرات معلمان دربارهٔ کتاب‌های درسی نونگاشت، کتاب‌های درسی را در اولین سال چاپ، با کمترین اشکال به دانش‌آموزان و معلمان ارجمند تقدیم نماید. در انجام مطلوب این فرایند، همکاران گروه تحلیل محتوای آموزشی و پرورشی استان‌ها، گروه‌های آموزشی و دبیرخانهٔ راهبری دروس و مدیریت محترم پروژه آقای محسن باهو نقش سازنده‌ای را بر عهده داشتند. ضمن ارج نهادن به تلاش تمامی این همکاران، اسامی دبیران و هنرآموزانی که تلاش مضاعفی را در این زمینه داشته و با ارائهٔ نظرات خود سازمان را در بهبود محتوای این کتاب یاری کرده‌اند به شرح زیر اعلام می‌شود.

کتاب فیزیک ۲ ـ 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 وبختیاری	۲۷	نجمه رضوان نژاد	کرمان
۳	هایده فرهی	سمنان	۲۸	فرشته شاهوردی	چهارمحال وبختیاری
۴	سیمین فتحی	شهرستان‌های تهران	۲۹	عباس فرجی	یزد
۵	معصومه ضیا بری	سمنان	۳۰	مدیحه نامور	خراسان شمالی
۶	سیده فاطمه کمالی کارسالاری	مازندران	۳۱	اسدالله رفیعی	آذربایجان شرقی
۷	فتح اله دویرانی	زنجان	۳۲	فاطمه نصرت	اصفهان
۸	مجید عتیقی	خراسان رضوی	۳۳	ناصر غلامی	مرکزی
۹	فاطمه اوصانلو	زنجان	۳۴	فاطمه سادات کریمی دیوکلائی	قم
۱۰	مصطفی خسروی	فارس	۳۵	زهرا عزتی	آذربایجان غربی
۱۱	ملیحه مذنبی	هرمزگان	۳۶	محمد تقی غلامی	ایلام
۱۲	احمد کمالیان فر	فارس	۳۷	عمید عقیلی نژاد	گلستان
۱۳	سید جواد شاکری	خراسان شمالی	۳۸	مرضیه قدرتی	همدان
۱۴	مریم تفنگ ساز رحیمی	قزوین	۳۹	حمید رضا نوری	خراسان جنوبی
۱۵	صدیقه سیروسی	خراسان جنوبی	۴۰	سیده زهره دودمانی	گیلان
۱۶	بهاره فخرائی	کردستان	۴۱	اسماعیل مطیع	قم
۱۷	لیلا روحی	شهرستان‌های تهران	۴۲	مجید سعدآبادی	خراسان رضوی
۱۸	عبدالواحد خالدی	کردستان	۴۳	طیبه شفیعی	بوشهر
۱۹	مهسا جلیلی	شهرتهران	۴۴	غیاض سلیمانی	خوزستان
۲۰	محمد رضا شفیعی	کرمان	۴۵	علی حسن بهامین پیلی	کهگیلویه وبویراحمد
۲۱	مهسا حبیب الهی	شهرتهران	۴۶	مجید راسخ	گیلان
۲۲	محمد شفیع مرادی	همدان	۴۷	زریر زمانی	کهگیلویه وبویراحمد
۲۳	سعیده طاهری فر	ایلام	۴۸	محمد رضا عباسی	کرمانشاه
۲۴	الهام حیدری	خوزستان	۴۹	شیرین تلمه	کرمانشاه
۲۵	خشایار بازیاری	بوشهر			

معلّمان محترم، صاحب نظران، دانش آموزان عزیز و اولیای آنان می توانند نظر اصلاحی خود را دربارهٔ مطالب این کتاب از طریق نامه به نشانی تهران - صندوق پستی ۱۵۸۷۵/۴۸۷۴ - گروه درسی مربوط و یا پیام نگار (Email) talif@talif.sch.ir ارسال نمایند.

دفتر تألیف کتاب های درسی عمومی و متوسطه نظری

https://konkur.info

بروزترین و برترین
سایت کنکوری کشور
WWW.KONKUR.INFO
Konkur.info
https://konkur.info