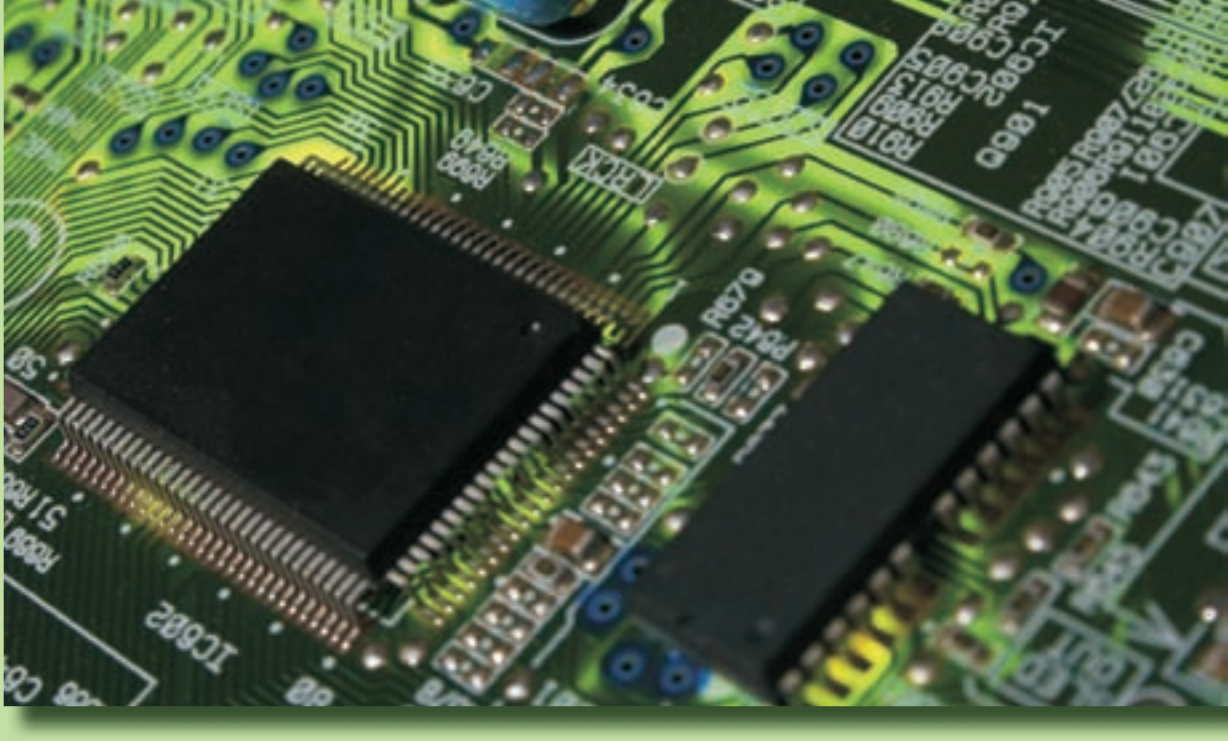
۳



جریان الکتریکی، مقاومت الکتریکی و مدارهای الکتریکی

در یک مدار پیچیده نظیر آن‌چه که در این تخته‌ی مدار است آیا می‌توان چند مقاومت الکتریکی متفاوت را به گونه‌ای به هم متصل کرد که جملگی اختلاف پتانسیل یکسانی داشته باشند؟ پاسخ در همین فصل.

سیمای فصل ۳

۳-۱ جریان الکتریکی

۳-۲ مقاومت و مقاومت ویژه‌ی الکتریکی

۳-۳ نیروی محرکه‌ی الکتریکی

۳-۴ مدارهای الکتریکی

ارزشیابی فصل ۳

جریان الکتریکی، مقاومت الکتریکی و مدارهای الکتریکی

در فصل پیش درباره‌ی الکتریسیته‌ی ساکن، یا همان فیزیک بارهای ساکن، بحث کردیم. در آغاز این فصل به بررسی جریان‌های الکتریکی، یا بارهای در حال حرکت، خواهیم پرداخت. سپس با مقاومت و نقش آن در مدارهای الکتریکی هنگام عبور جریان آشنا خواهیم شد.

مثال‌های جریان‌های الکتریکی فراوان است وحرفه‌های زیادی با آن سروکار دارند. زیست‌شناسان، فیزیولوژیست‌ها و مهندسانی که در فناوری پزشکی کار می‌کنند با جریان‌های عصبی‌ای که ماهیچه‌ها را کنترل می‌کنند سروکار دارند. مهندسان برق با دستگاه‌های الکتریکی بی‌شماری، از قبیل دستگاه‌های مولد برق، دستگاه‌های محافظ آذرخش و دستگاه‌های توزیع برق سروکار دارند. مهندسان فضایی و مخابرات جریان ذرات باردار حاصل از خورشید را مطالعه می‌کنند، چرا که این جریان می‌تواند دستگاه‌های مخابراتی در مدار زمین یا حتی دستگاه‌های انتقال برق در زمین را مختل کند.

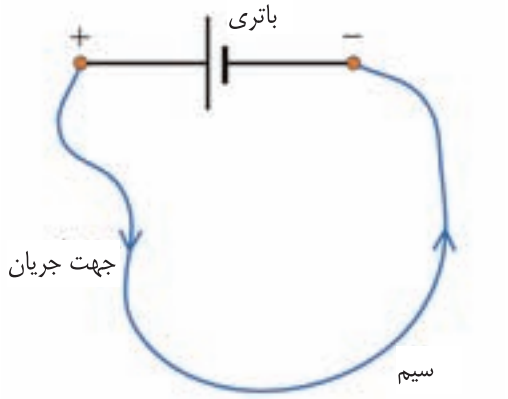
مهندسان رایانه در شاخه‌ی سخت‌افزار، با مدارهای یکپارچه و چگونگی کنترل جریان در اجزای این مدارها، ارتقای سرعت و کیفیت ذخیره‌سازی و بازخوانی اطلاعات و بسیاری دیگر از کارهای مرتبط با رایانه سروکار دارند.

۳-۱ جریان الکتریکی

درست همان طور که جریان آب روان شدن مولکول‌های H_2O است، **جریان الکتریکی** هم صرفاً روان شدن بار الکتریکی است. مثلاً، وقتی دو سر یک باتری را به

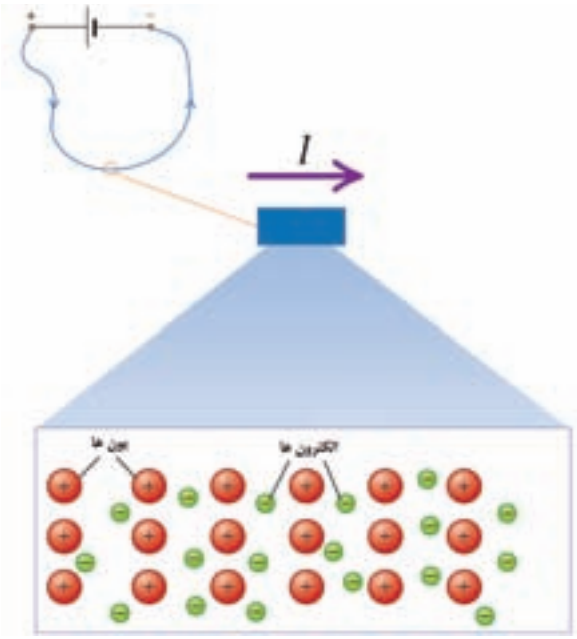
آندره ماری آمپر (۱۷۷۵–۱۸۳۶) دانشمند فرانسوی در دهکده‌ای نزدیک شهر لیون به دنیا آمد. چون در آن دهکده مدرسه‌ای نبود، آمپر به خودآموزی پرداخت. پدر او به هنگام انقلاب فرانسه محکوم به اعدام شد و این امر زندگی شخصی آمپر را عمیقاً تحت تأثیر قرار دارد. آمپر بعدها استاد ریاضیات در دانشگاه پاریس شد و در تکامل علوم فیزیک، ریاضیات و فلسفه سهم به سزایی ایفا کرد. آمپر پس از آزمایش‌های بسیار متوجه شد که دو سیم موازی حامل جریان به یکدیگر نیرو وارد می‌کنند.

کمک سیم رسانایی به هم وصل می‌کنید جریانی در سیم برقرار می‌شود (شکل ۳–۱). جهت قراردادی جریان از پایانه‌ی مثبت باتری به طرف پایانه‌ی منفی است.



شکل ۳–۱ وقتی دو سر باتری توسط سیم رسانایی به هم وصل می‌شود جریان برقرار می‌گردد.

اما، این پرسش مطرح است که چه اتفاقی درون سیم رخ می‌دهد که سبب ایجاد جریان می‌شود؟ برای پاسخ به این پرسش به شکل ۳–۲ توجه کنید که بخش بسیار کوچکی از سیم رسانای فلزی مدار را در مقیاس اتمی نشان می‌دهد. در این گونه سیم‌های فلزی، بارهای روان الکترون‌ها هستند. زیرا در سیم‌های رسانایی از جنس مس یا نقره، یک الکترون هر اتم می‌تواند آزادانه در شبکه‌ی اتمی حرکت کند. این حاملان بار را **الکترون‌های رسانش** یا **الکترون‌های آزاد** می‌نامند. از سوی دیگر یون‌های مثبت حرکت نمی‌کنند؛ زیرا در مکان خود تقریباً به طور ثابت قفل شده‌اند.

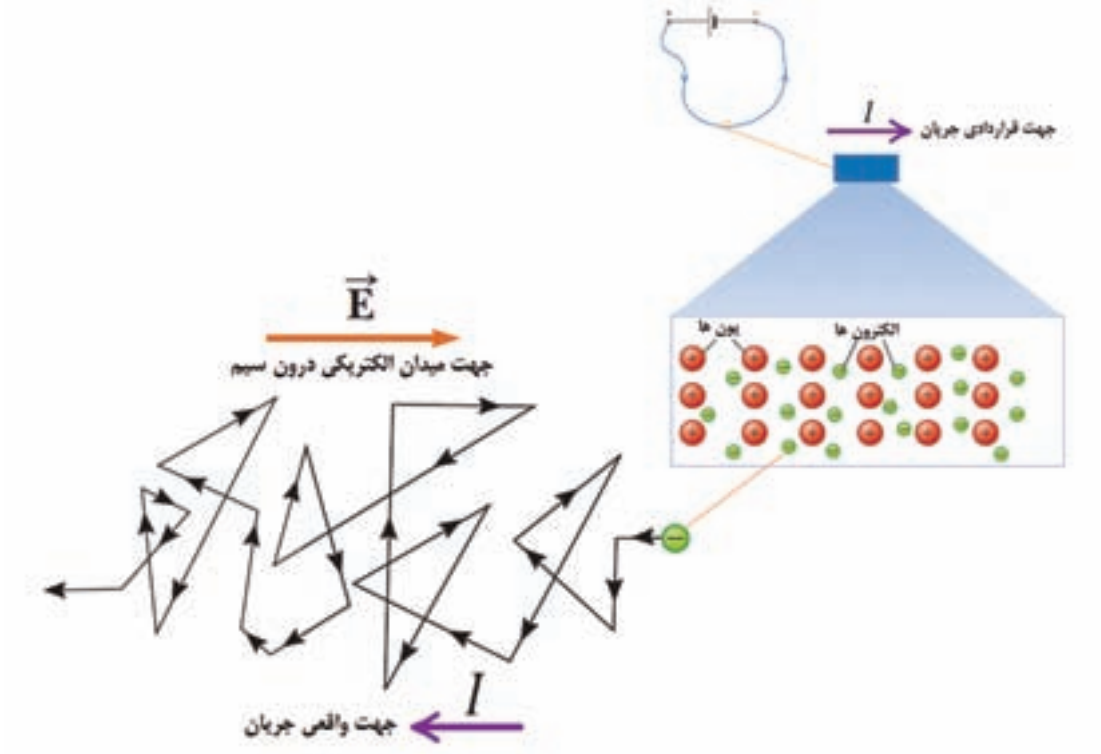


شکل ۳–۲ جریان I در یک مدار به دلیل حرکت الکترون‌های رسانش در مدار به وجود می‌آید. یون‌های مثبت در مکان خود تقریباً به طور ثابت قفل شده‌اند.

شبیه‌سازی

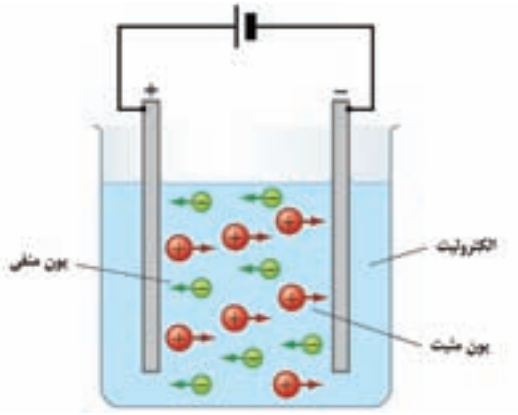
■ حرکت کاتوره ای الکترون‌های رسانش در یک تیغه‌ی فلزی

وقتی دو سر یک باتری توسط قطعه سیم رسانایی به یکدیگر وصل می‌شود، میدان الکتریکی‌ای درون سیم به وجود می‌آید. این میدان به الکترون‌های آزاد درون سیم نیرو وارد می‌کند و آن‌ها را در خلاف جهت میدان به حرکت وا می‌دارد (شکل ۳-۳). از آنجا که الکترون‌های آزاد هنگام حرکت به طرف پایانه‌ی مثبت باتری (برخلاف جهت $\vec{E}$) به الکترون‌های آزاد دیگر و هم چنین یون‌های مثبت برخورد می‌کنند جهت حرکت آن‌ها زیگزاگی یا اصطلاحاً کاتوره‌ای است. اما جهت حرکت خالص آن‌ها برخلاف جهت میدان $\vec{E}$ و به طرف پایانه‌ی مثبت باتری است. به این جهت حرکت الکترون‌های آزاد، جهت واقعی جریان گفته می‌شود.



شکل ۳-۳ چون الکترون‌ها دارای بار منفی‌اند، برخلاف جهت میدان الکتریکی درون سیم و از پایانه‌ی منفی باتری به طرف پایانه‌ی مثبت آن حرکت می‌کنند. این جهت واقعی جریان و برخلاف جهت قراردادی جریان است. به دلایل تاریخی، جهت قراردادی جریان را در یک مدار در نظر می‌گیریم.

توجه: الکترون‌ها حامل‌های بار در فلزها هستند. در حالی که در محلول‌های یونی یا نیمرساناها، حامل‌های بار متفاوت‌اند. مثلاً در محلول‌های یونی که **الکترولیت** نامیده می‌شوند یون‌های منفی و مثبت حامل‌های بار هستند (شکل ۳-۴). در این فصل تنها به فلزها که نقش مهمی در مدارهای الکتریکی دارند و در نتیجه الکترون‌های رسانش یا آزاد توجه خواهیم داشت. با این وجود به یاد داشته باشید که حاملان بار همواره الکترون‌ها نیستند.



شکل ۳-۴ در یک محلول یونی (الکترولیت)، هر دوی بارهای مثبت و منفی می‌توانند حرکت کنند و جریان الکتریکی را به وجود آورند.

جریان و بار

اگر در بازه‌ی زمانی Δt، بار خالص ΔQ از یک مقطع فرضی سیم مدار، مانند سطح A در شکل ۳-۵ ، عبور کند جریان الکتریکی متوسط به صورت زیر تعریف می‌شود

$$\bar{I} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \qquad (۱-۳)$$

اگر آهنگ و جهت شارش بار از هر مقطع رسانا، در هر لحظه‌ی زمان ثابت بماند، جریان الکتریکی را مستقیم می‌نامند و آن را به اختصار با نماد dc نمایش می‌دهند. در این حالت همان طور که در فیزیک (۱) و آزمایشگاه دیدیم، جریان از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$I = \frac{Q}{t} \qquad (۲-۳)$$

یکای SI جریان، **آمپر** است. یک آمپر به صورت یک کولن بر ثانیه ($1A = 1C/s$) تعریف می‌شود. این نام به افتخار آندره ماری آمپر دانشمند فرانسوی انتخاب شده است. در جدول ۳-۱ مقدارهای تقریبی جریان در برخی از پدیده‌ها و دستگاه‌های مختلف آمده است.

جدول ۳-۱ برخی مقدارهای تقریبی جریان الکتریکی

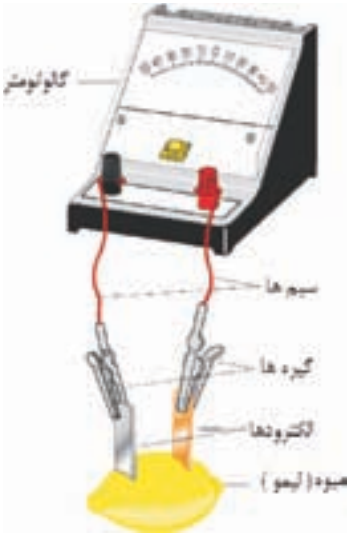
پدیده یا دستگاه	مقدار (A)
آذرخش	10^{4}
خط انتقال فشار قوی	10^{3}
در لحظه‌ی استارت موتور اتومبیل	۱۰۰ – ۲۰۰
چراغ قوه ی روشن	۰/۵ – ۱
مدارهای رادیو و تلویزیون	10^{-3} – 10^{-6}
مدارهای رایانه	10^{-9} – 10^{-12}

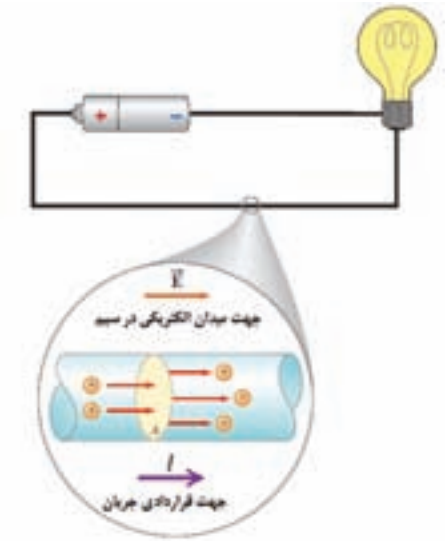
بیش‌تر بدانید

- پیل الکتریکی
- الکترولیز

آزمایش کنید

ابتدا با مشاهده‌ی آزمایش«ساخت باتری میوه‌ای» از روی CD ضمیمه، وسیله‌های مورد نیاز آزمایش را فراهم کنید و آن را به طور گروهی در کلاس انجام دهید.





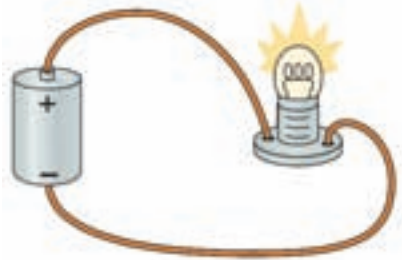
شکل ۳-۵ بارهای در حال حرکت از یک سطح A. آهنگ شارش بار از این سطح به صورت جریان I تعریف می‌شود. جهت قراردادی جریان، در جهت حرکت بارهای مثبت است.

مثال ۳-۱

جریان عبوری از رشته‌ی سیم لامپ مدار شکل ۳-۶ برابر ۰/۵A است.

الف) در یک ثانیه چند کولن بار از یک مقطع فرضی رشته‌ی سیم این لامپ می‌گذرد؟

ب) این مقدار بار برابر بار چه تعداد الکترون است؟



شکل ۳-۶ یک مدار الکتریکی ساده

حل: الف) با استفاده از رابطه‌ی (۳-۲) داریم

$$Q = I\,t = (۰/۵\ \mathrm{A})\,(۱\mathrm{s}) = ۰/۵\ \mathrm{C}$$

ب) با استفاده از رابطه‌ی $Q = \mathrm{n}\,e$، تعداد الکترون‌هایی که این مقدار بار را ایجاد می‌کنند، برابر است با:

$$\mathrm{n} = \frac{Q}{e} = \frac{۰/۵\,\mathrm{C}}{۱/۶\times ۱۰^{-۱۹}\,\mathrm{C}} = ۳/۱۲۵\times ۱۰^{۱۸}$$

همان طور که دیده می‌شود در هر ثانیه بیش از هزار میلیون هزار میلیون الکترون از یک مقطع فرضی رشته‌ی سیم لامپ می‌گذرد.

پایستگی جریان

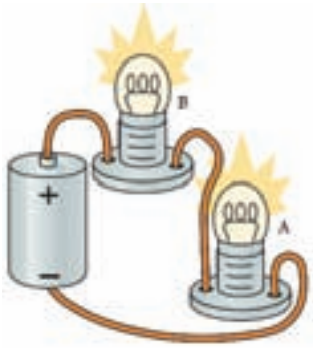
شکل ۳-۷ مداری شامل دو لامپ مشابه و یک باتری را نشان می‌دهد. فکر می‌کنید روشنایی دو لامپ در مقایسه با یکدیگر چگونه است؟ آیا هر دو لامپ روشنایی یکسانی دارند یا روشنایی یکی از لامپ‌ها بیش‌تر از دیگری است؟ پیش از انجام فعالیت زیر سعی کنید پاسخی قانع کننده برای پیش‌بینی خود ارائه دهید.

شبیه‌سازی

■ جریان الکتریکی و انرژی الکتریکی

فعالیت عملی ۳-۱

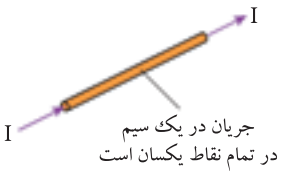
به کمک دو لامپ مشابه، یک باتری و سیم‌های رابط مداری مطابق شکل ۳-۷ بسازید و روشنایی لامپ‌ها را با یکدیگر مقایسه کنید.



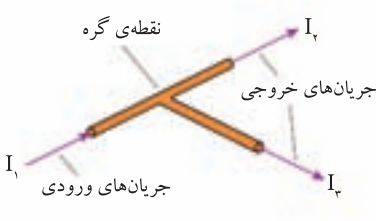
شکل ۳-۷ مداری شامل دو لامپ مشابه و باتری

همان طور که از فعالیت۳-۱ نیز دیدید روشنایی دو لامپ یکسان است، زیرا جریان یکسانی از دو لامپ مشابه گذشته است. این آزمایش ساده نشان می‌دهد که هر چند ابتدا جریان وارد لامپ B و سپس لامپ A شده است، ولی هیچ تغییری در مقدار آن به وجود نیامده است. به عبارت دیگر، آهنگ الکترون‌هایی که وارد لامپ (یا هر وسیله‌ی دیگری) می‌شوند درست برابر با آهنگ الکترون‌هایی است که از آن خارج می‌شوند، پس به عنوان یک نتیجه‌ی مهم می‌توان گفت: جریان در همه‌ی نقاط یک سیم حامل جریان یکسان است و مقدار آن تغییرنمی‌کند. به این بیان، **قانون پایستگی جریان** نیز گفته می‌شود. قانون پایستگی جریان در واقع کاربرد عملی قانون پایستگی بار الکتریکی است.

شکل ۳-۸الف قانون پایستگی جریان را برای یک رشته سیم بیان می‌کند. اما وقتی یک رشته سیم به دو یا چند شاخه تقسیم می‌شود یا این که دو یا چند شاخه سیم به یکدیگر می‌رسند و یک رشته سیم را تشکیل می‌دهند (شکل ۳-۸ ب)، آیا باز هم قانون پایستگی جریان برقرار است؟ باید گفته شود در این حالت نیز قانون پایستگی جریان برقرار است به طوری که در قالب یک قاعده‌ی کلی می‌توان گفت: مجموع جریان‌های ورودی به هر گره (انشعاب) باید برابر با مجموع جریان‌هایی باشد که آن گره را ترک می‌کند. این قاعده اغلب **قاعده‌ی گره کیرشهف** (یا **قانون جریان کیرشهف**) خوانده می‌شود.



(الف)

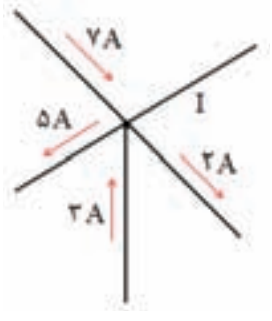


(ب)

شکل ۳-۸ (الف) جریان در همه‌ی نقاط یک رشته سیم یکسان است. (ب) جمع جریان‌هایی که به یک انشعاب وارد می‌شوند باید برابر با جمع جریان‌هایی باشند که آن انشعاب را ترک می‌کنند.

تمرین ۳-۱

شکل ۳-۹ بخشی از یک مدار را نشان می‌دهد. بزرگی و جهت جریان I در سیم پایینی چیست؟



شکل ۳-۹ بخشی از یک مدار

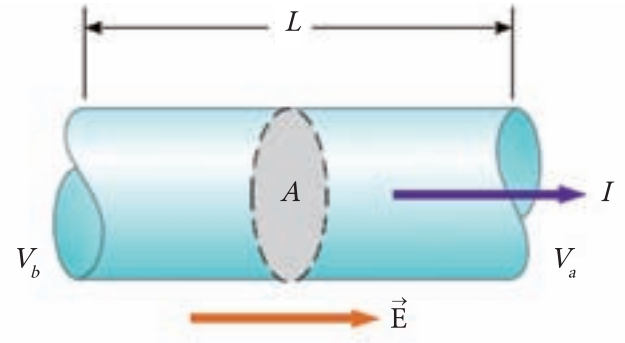
۳-۲ مقاومت و مقاومت ویژه‌ی الکتریکی

اگر ولتاژ یکسانی را به دو سر دو میله‌ی مسی و شیشه‌ای که شکل هندسی یکسانی دارند اعمال کنیم، جریان‌های بسیار متفاوتی حاصل می‌شود. آن مشخصه‌ای از جسم که در اینجا نقش بازی می‌کند، **مقاومت الکتریکی** است.

مقاومت بین هردو نقطه‌ای از رسانا را با اعمال اختلاف پتانسیل ΔV بین آن دو نقطه و اندازه‌گیری جریان I ی حاصل از آن، تعیین می‌کنیم (شکل ۳-۱۰). آنگاه مقاومت R چنین تعریف می‌شود:

$$R = \frac{\Delta V}{I} \qquad (۳-۳)$$

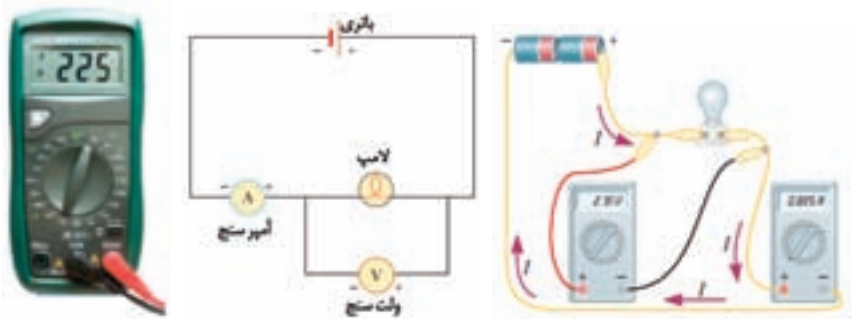
یکای مقاومت در SI ولت بر آمپر $(\mathrm{V/A})$ است که آن را اهم (با نماد Ω) می‌نامیم.



شکل ۳-۱۰ رسانایی یکنواخت به طول L و سطح مقطع A که به دو سر آن ولتاژ $\Delta V = V_b - V_a$ اعمال شده است. جریان عبوری از این رسانا، با ولتاژ دو سر آن متناسب است.

مقاومت یک رسانا را با دستگاهی به نام **اهم‌سنج** اندازه می‌گیرند. بعضی از دستگاه‌های اندازه‌گیری علاوه بر اهم‌سنج، شامل ولت‌سنج و آمپرسنج نیز هستند.

به این دستگاه‌های اندازه‌گیری چندکاره، **آوومتر** یا **چندسنجشی** گفته می‌شود (شکل ۳-۱۱).



(پ) (ب) (الف)

شکل ۳-۱۱ (الف) نموداری از یک مدار واقعی و نحوه‌ی بستن آمپرسنج و ولت‌سنج در مدار، (ب) نموداری طرحوار از یک مدار الکتریکی. (پ) چند سنجشی دیجیتال قادر به اندازه‌گیری ولتاژ، جریان و مقاومت است.

بیش‌تر بدانید

- آمپر سنج
- ولت سنج
- مقاومت سنج

تمرین ۳-۲

مقاومت لامپ جلوی اتومبیلی 36Ω است. وقتی به دو سر این لامپ ولتاژ $12V$ اعمال می‌شود، چه جریانی از آن می‌گذرد؟

قانون اهم

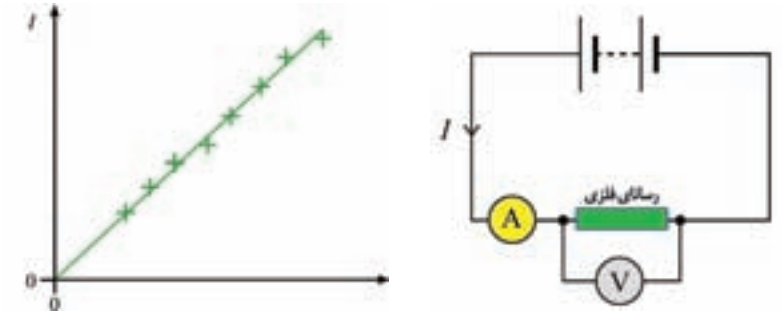
شبیه‌سازی

- بررسی رابطه‌ی $\Delta V = IR$
- بررسی قانون اهم

در فیزیک (۱) و آزمایشگاه با قانون اهم آشنا شدیم. بنا به این قانون، برای یک رسانای فلزی در دمای ثابت، جریان عبوری از رسانا با ولتاژ دو سر آن متناسب است.

توجه: بیان قانون اهم بسیار دقیق است و نباید آن را با معادله‌ی «$\Delta V = IR$» اشتباه بگیرید! اغلب ادعا می‌شود که $\Delta V = IR$ بیانی از قانون اهم است. این درست نیست. این معادله تعریفی از مقاومت است و برای هر وسیله‌ی رسانایی به کار می‌رود، چه آن وسیله از قانون اهم پیروی کند و چه نکند.

برای بررسی قانون اهم می‌توان از مداری مطابق شکل ۳-۱۲ الف استفاده کرد. چنانچه در دمای ثابت، نمودار جریان عبوری از رسانا برحسب ولتاژ دو سر آن به صورت شکل۳-۱۲ب شد، گفته می‌شود که این رسانا از قانون اهم پیروی می‌کند. رساناهایی که از قانون اهم پیروی کنند، رساناهای اهمی خوانده می‌شوند.



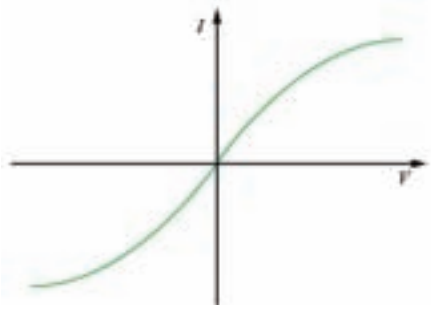
شکل ۳-۱۲ (الف) مداری شامل باتری یا منبع تغذیه که می‌تواند ولتاژهای متفاوتی را به دو سر رسانای فلزی اعمال کند. (ب) نمودار $I-V$ یک رسانای فلزی اهمی

مثال مفهومی ۳-۲

آیا به نظر شما یک لامپ رشته‌ای از قانون اهم پیروی می‌کند(شکل ۳-۱۳).

پاسخ: از آنجا که دمای رشته‌ی لامپ هنگام روشن شدن و همچنین پس از آن تغییر می‌کند، آزمایش نشان می‌دهد که نمودار $I-V$ آن به صورت شکل ۳-۱۴ است و از قانون اهم پیروی نمی‌کند.

شکل ۳-۱۳



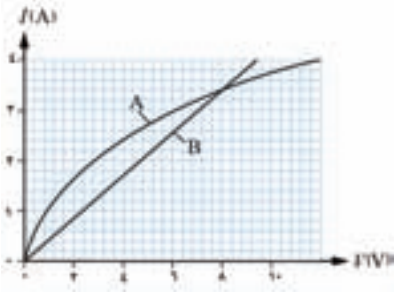
شکل ۳-۱۴ نمودار $I-V$ رشته‌ی یک لامپ

شکل ۳-۱۵ نمودار $I-V$ مربوط به یک رشته‌ی لامپ و یک رسانای فلزی را نشان می‌دهد.

الف) نمودار مربوط به هر کدام را مشخص کنید.

ب) به ازای چه ولتاژی هر دو دارای مقاومت یکسانی هستند؟

پ) مقدار مقاومت را به ازای ولتاژ قسمت (ب) پیدا کنید.



شکل ۳-۱۵ نمودار $I-V$ مربوط به دو عنصر الکتریکی متفاوت

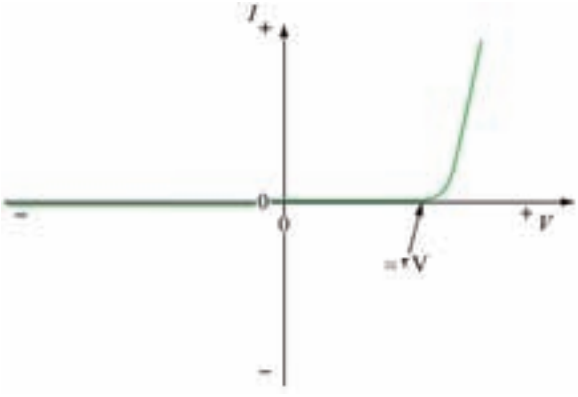
دیودها

میکروالکترونیک و نانوالکترونیک امروزی تقریباً به طور کامل به وسیله‌هایی بستگی دارد که از قانون اهم پیروی نمی‌کنند. مثلاً گوشی تلفن همراه شما، پر از چنین وسیله‌هایی است. یکی از این وسیله‌ها، که نقش مهمی در هر مدار ایفا می‌کند، **دیود** است.

دیودها را در مدارهای الکتریکی با نماد ⟶|⟵ نشان می‌دهند و ویژگی مهم آن‌ها این است که جریان را فقط در یک جهت از خود عبور می‌دهند. یکی از انواع آن‌ها، **دیود نورگسیل** یا LED است که وقتی از آن جریان می‌گذرد از خود نورگسیل می‌کند (شکل ۳-۱۶).

شکل ۳-۱۶

شکل ۳-۱۷ نمودار $I-V$ یک LED را نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود تنها به ازای یک ولتاژ آستانه (حدود ۲V) از LED جریان می‌گذرد و شروع به گسیل نور می‌کند. امروزه LED ها کاربرد بسیاری پیدا کرده‌اند و علاوه بر کاربردهای متداول، در ساخت صفحه‌های نمایش گوشی‌های همراه، نمایشگرهای رایانه و تلویزیون از آن‌ها استفاده می‌شود.



شکل ۳-۱۷ نمودار $I-V$ برای یک دیود نورگسیل (LED). نمودار به صورت یک خط راست نیست، زیرا LED ها از قانون اهم پیروی نمی‌کنند.

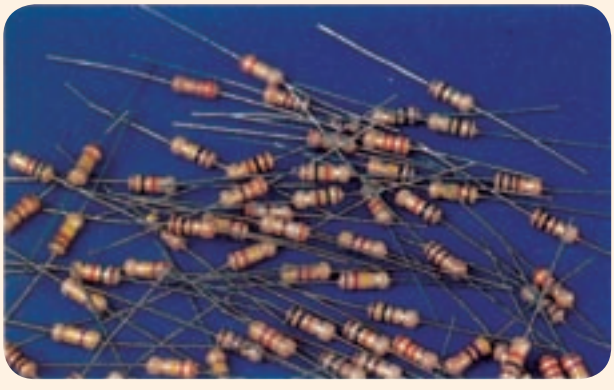
جرج سیمون اهم (۱۷۸۷-۱۸۵۴) دانشمند آلمانی، در خانواده‌ای متوسط زندگی می‌کرد. پدر او قفل‌ساز بود و علاقه‌ی زیادی به مطالعه‌ی کتاب‌های علمی داشت و پسر را نیز تشویق به این کار می‌کرد. اهم در ۱۸ سالگی معلم ریاضی شد و پس از گرفتن دکترای ریاضی، استاد دانشگاه شهر کلن شد. در این زمان بود که با استفاده از تشابهی که میان انتقال گرما و الکتریسیته کشف کرد به اندازه‌گیری جریان الکتریکی از رساناهای مختلف پرداخت و قانونی را ارائه داد که امروزه به نام قانون اهم معروف است. یکای مقاومت الکتریکی در SI، به افتخار او اهم نامیده می‌شود.

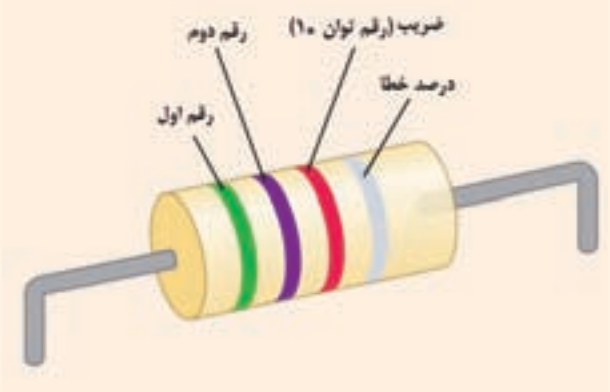
مطالعه‌ی آزاد
کدگذاری مقاومت‌ها

مقاومت‌های کربنی، یکی از انواع مقاومت‌هایی هستند که تقریباً در همه‌ی مدارهای الکتریکی به کار می‌روند (شکل ۳–۱۸ الف). هنگام ساخت این مقاومت‌ها، سه یا چهار نواررنگی روی هر مقاومت چاپ می‌شود تا بتوان مقدار آن مقاومت را بدون استفاده از اهم‌سنج تعیین کرد (شکل ۳–۱۸ ب). هر رنگ نشان دهنده‌ی عدد خاصی است که در جدول ۳–۲ آمده است و نوار چهارم در صورت وجود، درصد خطا را نشان می‌دهد. اگر رنگ نوار چهارم طلایی باشد خطای تعیین مقدار مقاومت ± ۵ درصد و اگر نقره‌ای باشد ± ۱۰ درصد و اگر بدون رنگ باشد ± ۲۰ درصد است. مثلاً مقدار مقاومت شکل ۳–۱۸ ب، که از چپ به راست دارای سه رنگ سبز، بنفش و قرمز است با توجه به جدول ۳–۲ برابر $۵۷\times ۱۰\Omega$ است. از طرفی چون نوار چهارم آن به رنگ نقره‌ای است، مقدار مقاومت با ± ۱۰ درصد خطا برابر $(۵۷۰۰\pm ۵۷)\Omega$ خواهد بود.

جدول ۳–۲ کدهای رنگ مقاومت‌ها

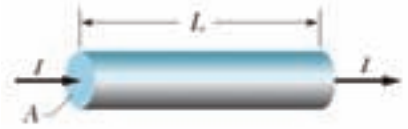
رنگ	مقدار رقم	مقدار ضریب
سیاه	۰	۱
قهوه‌ای	۱	۱۰
قرمز	۲	$۱۰^{۲}$
نارنجی	۳	$۱۰^{۳}$
زرد	۴	$۱۰^{۴}$
سبز	۵	$۱۰^{۵}$
آبی	۶	$۱۰^{۶}$
بنفش	۷	$۱۰^{۷}$
خاکستری	۸	$۱۰^{۸}$
سفید	۹	$۱۰^{۹}$





شکل ۳–۱۸ (الف) با چاپ ۳ یا ۴ نوار رنگی روی هر مقاومت کربنی به راحتی می‌توان مقدار مقاومت آن را تعیین کرد. (ب) مقاومت‌های کربنی تقریباً در همه‌ی مدارهای الکتریکی کاربرد دارند.

مقاومت ویژه‌ی الکتریکی



شکل ۳-۱۹ سیمی رسانا به طول L و سطح مقطع A

آزمایش نشان می‌دهد که مقاومت یک رسانا به اندازه، شکل و جنس آن بستگی دارد. به طوری که مطابق شکل ۳-۱۹ برای یک سیم فلزی به طول L و سطح مقطع A داریم

$$R = \rho \frac{L}{A} \qquad (۳-۳)$$

که در آن ρ به جنس سیم و پاره‌ای از عامل‌های فیزیکی مانند دما بستگی دارد و **مقاومت ویژه‌ی رسانا** خوانده می‌شود. یکای ρ در SI با توجه به رابطه‌ی (۳-۳) اهم متر $(\Omega.m)$ است.

مقدار مقاومت ویژه‌ی چند ماده‌ی مختلف در جدول ۳-۳ داده شده است. توجه کنید که این مقدارها به ازای دمای $۲۰^\circ C$ به دست آمده‌اند.

جدول ۳-۳ مقاومت ویژه‌ی برخی از مواد در دمای اتاق $(۲۰^\circ C)$

ماده	مقاومت ویژه $(\Omega.m)$
نقره	$۱/۶۰\times۱۰^{-۸}$
مس	$۱/۶۹\times۱۰^{-۸}$
نیکروم[۱]	$۱/۳۰\times۱۰^{-۸}$
آلومینیوم	$۳/۲۱\times۱۰^{-۸}$
جیوه	$۶۹/۰\times۱۰^{-۸}$
گرافیت	۸۰۰×۱۰^{-۸}
شیشه	$۱۰^{۱۰}-۱۰^{۱۴}$
کوارتز	۵×۱۰^{۱۶}

۱- نیکروم، آلیاژی از نیکل، کروم و آهن است که در المنت‌های بخاری‌های برقی به کار می‌رود و تا دمای ۱۰۰۰ درجه‌ی سلسیوس اکسید نمی‌شود.

مثال ۳-۳

سیمی از جنس نیکروم دارای طول $۱m$ و سطح مقطع $۱mm^۲$ است.
مقاومت این قطعه سیم در دمای اتاق چقدر است؟

حل: طول سیم $L = ۱m$ و سطح مقطع آن برابر است با

$$A = ۱mm^۲ = ۱۰^{-۶}m^۲$$

با توجه به جدول ۳-۳، مقاومت ویژه‌ی نیکروم برابر است با

$$\rho = ۱/۳۰\times۱۰^{-۸}\ \Omega.m$$

با جای گذاری مقادیر بالا در رابطه‌ی ۳-۳ داریم

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

$$= (۱/۳۰\times۱۰^{-۸}\Omega.m)\frac{۱m}{۱۰^{-۶}m^۲} = ۱/۳\times۱۰^{-۲}\Omega$$

تمرین ۳-۴

مقاومت ویژه‌ی سیمی به قطر ۱mm، طول ۲m و مقاومت ۵۰ میلی اهم چقدر است؟

۳-۳ نیروی محرکه‌ی الکتریکی

اگر بخواهیم الکترون‌ها را درون یک لامپ یا مقاومت الکتریکی جاری کنیم، باید دو سر این وسیله یک اختلاف پتانسیل مناسب برقرار کنیم. یک راه برای انجام این کار، اتصال هر یک از سرهای این وسیله به یک صفحه‌ی خازن باردار است (شکل ۳-۲۰). مشکل این روش این است که شارش بارها موجب تخلیه‌ی خازن می‌شود و صفحه‌ها به سرعت هم پتانسیل می‌شوند.

در این صورت، دیگر هیچ میدان الکتریکی‌ای در وسیله وجود نخواهد داشت و در نتیجه شارش بار یا جریان الکتریکی متوقف خواهد شد.

برای ایجاد یک جریان پیوسته و مداوم از بارهای الکتریکی، به یک «پمپ بار» نیاز داریم. پمپ بار، وسیله‌ای است که با دادن انرژی به حامل‌های بار، اختلاف پتانسیل بین دو پایانه را ثابت نگه می‌دارد.

چنین وسیله‌ای را **مولد نیروی محرکه‌ی الکتریکی** یا به اختصار emf می‌نامند و گفته می‌شود این وسیله نیروی محرکه‌ی الکتریکی‌ای برابر ε را مهیا می‌کند (شکل ۳-۲۱).

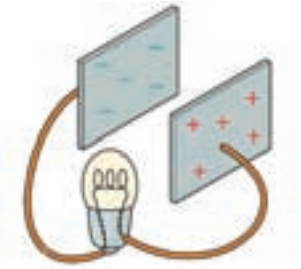
عبارت نیروی محرکه‌ی الکتریکی مربوط به زمانی است که دانشمندان هنوز به خوبی نحوه‌ی کار یک وسیله‌ی emf را درک نکرده بودند. امروزه می‌دانیم که یک وسیله‌ی emf، علاوه بر ثابت نگه داشتن ولتاژ دو سر پایانه‌ها، به حامل‌های بار انرژی می‌دهد تا در مدار شارش کنند و به همین جهت یکای آن ژول بر کولن (J/C) یا ولت (V) است.

ولتاژ، انرژی و توان مولد

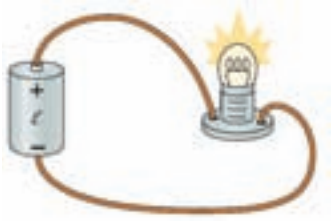
شکل ۳-۲۲ الف یک باتری یا مولد آرمانی را نشان می‌دهد که بدون هیچ اتلافی، انرژی لازم را برای شارش حامل‌های بار در مدار به آن‌ها می‌دهد. در مولدهای آرمانی، اختلاف پتانسیل دو سر پایانه‌ها، درست برابر نیروی محرکه‌ی مولد است. شکل ۳-۲۲ ب یک باتری یا مولد واقعی را نشان می‌دهد.

هر مولد واقعی دارای مقاومتی است که آن را با نماد r نشان می‌دهیم و آن را مقاومت درونی مولد می‌نامیم.

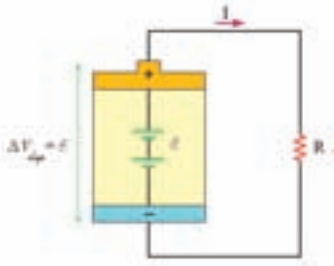
وجود مقاومت درونی، سبب می‌شود که همه‌ی انرژی مولد در اختیار حامل‌های بار قرار نگیرد و بخشی از آن درون مولد به صورت گرما تلف شود. به همین جهت اختلاف پتانسیل دو سر پایانه‌های مولدهای واقعی کم‌تر از نیروی محرکه‌ی مولد و برابر $\Delta V_{\text{مولد}} = \varepsilon - I r$ است.



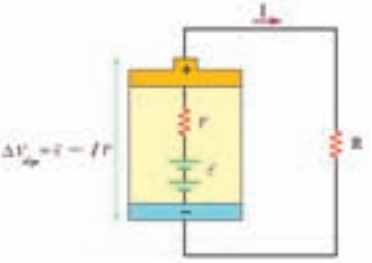
شکل ۳-۲۰ با اتصال دو سر لامپ به هر یک از صفحه‌های یک خازن باردار، خازن تخلیه شده و برای یک لحظه‌ی کوتاه جریانی در مدار برقرار می‌شود که سبب روشن شدن لامپ می‌شود.



شکل ۳-۲۱ مولد با مهیا ساختن نیروی محرکه‌ی ε، جریان مداومی از حامل‌های بار در مدار برقرار می‌سازد.



(الف) مولد آرمانی



(ب) مولد واقعی

شکل ۳-۲۲ (الف) در یک مولد آرمانی ولتاژ دو سر پایانه‌ها درست برابر نیروی محرکه‌ی مولد است، در حالی که در یک مولد واقعی (ب) ولتاژ دو سر پایانه‌ها کم‌تر از نیروی محرکه‌ی مولد است.

اگر انرژی‌ای را که مولد به بار الکتریکی Q می‌دهد تا در مداری مطابق شکل ۳-۲۳ شارش کند با ΔU نشان دهیم، با توجه به آنچه در فصل پیش دیدیم، می‌توان نوشت:

$$\varepsilon = \frac{\Delta U}{Q} \qquad (۴-۳)$$

همچنین اگر مولد این مقدار انرژی (ΔU)را درمدت t به بار Q بدهد توان آن برابر است با :

$$P_{۱} = \frac{\Delta U}{t} \qquad (۵-۳)$$

با استخراج (ΔU)از رابطه‌ی (۳-۴) و قراردادن آن در رابطه‌ی (۳-۵) داریم:

$$P_{۱} = \left(\frac{Q}{t}\right)\varepsilon$$

از طرفی بنا به رابطه‌ی (۳-۲) می‌توان نوشت:

$$P_{۱} = I\varepsilon \qquad (۶-۳)$$

در هر یک از رابطه‌های (۳-۵) یا (۳-۶) که معادل یکدیگرند، $P_{۱}$ را **توان تولیدی** مولد می‌نامند. از آنجا که در مولدهای واقعی بخشی از این توان، درون خود مولد به مصرف می‌رسد، **توان مفید** یا **توان خروجی** یک مولد از این مقدار کم‌تر و برابر است با:

$$P_{۲} = \varepsilon I - I^{۲} r \qquad (۷-۳)$$

که در آن $I^{۲}r$، توان تلف شده توسط مقاومت درونی مولد است.

آزمایش کنید

ابتدا با مشاهده‌ی آزمایش«ساخت مدار الکتریکی ساده» از روی CD ضمیمه، وسیله‌های مورد نیاز آزمایش را فراهم کنید و آن را به طور گروهی در کلاس انجام دهید.

بیش‌تر بدانید

- اتصال کوتاه
- آشنایی با مولدهای مختلف

شبیه‌سازی

- مقایسه‌ی مولد و رفتار آب در یک مخزن

مثال ۳-۴

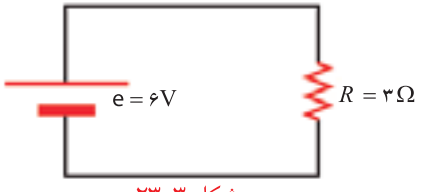
در مدار شکل ۳-۲۳ اگر مقاومت درونی مولد ناچیز باشد، توان تولیدی آن چقدر است؟

حل: چون مقاومت درونی مولد ناچیز فرض شده است، بنابراین مولد، آرمانی است و ولتاژ دو سر آن با نیروی محرکه‌ی ε برابر است. به این ترتیب با توجه به رابطه‌ی (۳-۳) ، جریان عبوری از مدار برابر است با:

$$I = \frac{\Delta V}{R} = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{۶\,\mathrm{V}}{۳\,\Omega} = ۲\,\mathrm{A}$$

پس توان تولیدی مولد با توجه به رابطه‌ی (۳-۶) برابر است با:

$$P_{۱} = \mathrm{e}\,I = (۶\mathrm{V})(۲\mathrm{A}) = ۱۲\mathrm{W}$$



شکل ۳-۲۳

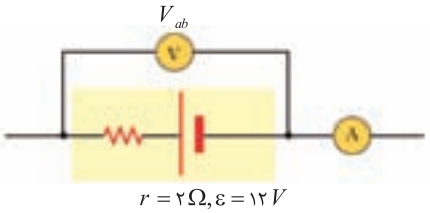
مثال ۳-۵

شکل ۳-۲۴ بخشی از یک مدار الکتریکی را نشان می‌دهد. اگر ولت‌سنج عدد ۱۰ ولت را بخواند مطلوب است

الف) عددی که آمپرسنج نشان می‌دهد.

ب) توان تولیدی مولد.

پ) توان مفید مولد.



شکل ۳-۲۴ بخشی از یک مدار الکتریکی

حل: الف) چون مولد دارای مقاومت درونی است، ولتاژ دو سر آن $\Delta V_{\text{مولد}} = V_a - V_b$ است که می‌توان آن را به صورت V_{ab} نمایش داد. بنابراین:

$$V_{ab} = \varepsilon - I r$$
$$۱۰\,\text{V} = ۱۲\,\text{V} - ۲I \Rightarrow I = ۱\,\text{A}$$

پس عددی که آمپرسنج می‌خواند برابر ۱A است.

ب) توان تولیدی مولد برابر است با:

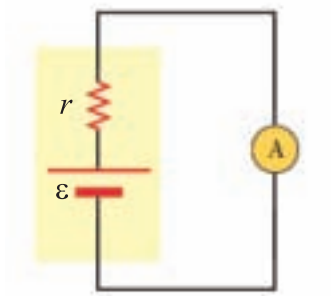
$$P_{۱} = \varepsilon I = (۱۲\,\text{V})(۱\,\text{A}) = ۱۲\,\text{W}$$

پ) توان مفید یا توان خروجی مولد برابر است با:

$$P_{۱} = \varepsilon I - I^{۲} r = (۱۲\,\text{V})(۱\,\text{A}) - (۱\,\text{A})^{۲}(۲\Omega) = ۱۰\,\text{W}$$

مثال ۳-۶

هرگاه دو سر یک قطعه‌ی الکتریکی مانند مقاومت، خازن یا مولد را توسط سیم بدون مقاومتی به هم وصل کنیم، گفته می‌شود که دو سر قطعه **اتصال کوتاه** شده است. شکل ۳-۲۵ مولدی با نیروی محرکه‌ی ۱/۵V و مقاومت درونی r را نشان می‌دهد که توسط سیم بدون مقاومتی اتصال کوتاه شده است. برای اندازه‌گیری جریان از آمپرسنج استفاده شده که عدد را ۲/۳A می‌خواند. مقاومت درونی مولد و توان تلف شده در آن را پیدا کنید. (اشاره: مقاومت آمپرسنج‌ها بسیار ناچیز است و عملاً آن را نادیده می‌گیرند.)



شکل ۳-۲۵ دو سر یک مولد اتصال کوتاه شده است.

حل: چون دو سر مولد توسط سیم‌های بدون مقاومت اتصال کوتاه شده است ولتاژ دو سر آن صفر می‌شود. به این ترتیب:

$$\varepsilon - Ir = ۰$$
$$۱/۵\,\text{V} - (۲/۳\,\text{A})\, r = ۰ \Rightarrow r \simeq ۰/۶۵\Omega$$

به این ترتیب توان تلف شده در مولد برابر است با:

$$I^{۲} r = (۲/۳\,\text{A})^{۲}\,(۰/۶۵\Omega) = ۳/۴۴\,\text{W}$$

تمرین ۳-۵

الف) توان تولیدی و توان مفید مولد مثال ۳-۶ را پیدا کنید.
ب) نسبت توان مفید به توان تولیدی این مولد چقدر است؟

فعالیت عملی ۳-۲

دو باتری ۱/۵ ولت قلمی، یکی نو و دیگری استفاده شده را انتخاب کنید و به کمک سیم‌های اتصال و آمپرسنج مقاومت درونی هر باتری را پیدا کنید. نتیجه‌ی حاصل را در کلاس درس به بحث بگذارید.

مطالعه‌ی آزاد
شوک الکتریکی

کدام یک باعث شوک الکتریکی در بدن می‌شود: جریان یا ولتاژ؟ اثرهای زیان‌آور شوک ناشی از عبور جریان از بدن است. از قانون اهم می‌توان دریافت که این جریان هم به ولتاژ اعمال شده به بدن و هم به مقاومت الکتریکی آن بستگی دارد. مقاومت بدن، که تابع وضعیت آن است، از حدود ۱۰۰ اهم وقتی که با آب نمک خیس شده باشد تا حدود ۵۰۰ کیلو اهم اگر پوست کاملاً خشک باشد تغییر می‌کند. اگر با انگشتان خشک به دو الکترود یک باتری دست بزنیم، و با دست های خود مدار کاملی به وجود آوریم، انتظار داریم مقاومت آن حدود ۱۰۰ کیلو اهم باشد. معمولاً جریان حاصل از ۱۲ ولت را حس نمی‌کنیم و در ۲۴ ولت تنها بدنمان گزگز می‌کند.

اگر پوست مرطوب باشد، ۲۴ ولت ممکن است کاملاً آزاردهنده باشد. جدول صفحه‌ی بعد اثر مقدارهای مختلف جریان را بر بدن نشان می‌دهد.

جدول اثر جریان‌های الکتریکی بر بدن

جریان (A)	اثر
۰/۰۰۱	می‌توان آن را احساس کرد.
۰/۰۰۵	دردناک است.
۰/۰۱۰	سبب انقباض غیر ارادی (گرفتگی) عضله می‌شود.
۰/۰۱۵	باعث از دست رفتن کنترل بر عضله می‌شود.
۰/۰۷۰	اگر از قلب بگذرد سبب اختلال جدی می‌شود؛ اگر بیش از یک ثانیه دوام آورد، احتمالاً کشنده است.

هر سال تعداد زیادی از مردم جهان با جریان حاصل از مدارهای ۲۲۰ ولت معمولی کشته می‌شوند. اگر هنگامی که روی زمین ایستاده‌اید به کلید برق معیوبی دست بزنید، بین دست شما و زمین ۲۲۰ ولت «فشار الکتریکی» وجود خواهد داشت، که جریان حاصل از آن به احتمال زیاد برای آسیب رساندن به شما کافی نیست. اما اگر پا برهنه درون وان مرطوبی بایستید که از طریق لوله‌کشی به زمین متصل است، مقاومت بین شما و زمین بسیار کم است. مقاومت کلی شما به قدری کم است که اختلاف پتانسیل ۲۲۰ ولت جریان زیان بخشی را در بدنتان تولید می‌کند. هنگام حمام کردن به هیچ وسیله‌ی الکتریکی دست نزنید.

قطره‌های آبی که اطراف کلیدهای روشن- خاموش وسیله‌هایی چون سشوار جمع می‌شود ممکن است جریان را به کاربر آن هدایت کنند. گرچه آب تقطیر شده عایق خوبی است، اما یون‌های موجود در آب معمولی شهر مقاومت الکتریکی آن را بسیار کم می‌کنند. این یون‌ها حاصل مواد حل شده در آب، مخصوصاً نمک‌ها، است. معمولاً بر اثر تعریق لایه‌ای نمک روی پوست شما باقی می‌ماند، و وقتی که پوستتان مرطوب باشد، مقاومت آن را بسته به اینکه ولتاژ در چه فاصله‌ای از آن اعمال شود، به چند صد اهم یا کمتر کاهش می‌دهد.

شوک الکتریکی به دلیل اختلاف پتانسیل الکتریکی- اختلاف ولتاژ- بین بخشی از بدن و بخش دیگر آن وارد می‌شود. بیش‌تر جریان از مسیری با کم ترین مقاومت بین این دو نقطه عبور می‌کند. اگر هنگام پایین افتادن از پلی موفق به چنگ زدن به یک سیم فشار قوی شوید که مانع از سقوط شما می‌شود، مادامی که چیزی با پتانسیلی متفاوت را لمس نکنید، هیچ شوکی دریافت نخواهید کرد. حتی اگر پتانسیل سیم هزاران ولت بیش تر از پتانسیل زمین باشد، و حتی اگر با هر دو دست از آن آویزان شوید، بار قابل ملاحظه‌ای از یک دست به دست دیگر روان نمی‌شود، زیرا اختلاف پتانسیل قابل ملاحظه‌ای بین دست‌های شما وجود ندارد. با این همه، اگر با دست دیگر به سیمی با پتانسیل متفاوت چنگ بزنید ... از پا در می‌آیید! همه ما پرندگانی را دیده‌ایم که روی سیم‌های فشار قوی نشسته‌اند. پتانسیل تمام بخش‌های بدن آن‌ها همان پتانسیل زیاد سیم است، بنابراین در معرض هیچ اثر زیان باری قرار نمی‌گیرند، (شکل زیر).

این پرنده می‌تواند بدون آسیب دیدن روی سیم با ولتاژ بالا بایستد.

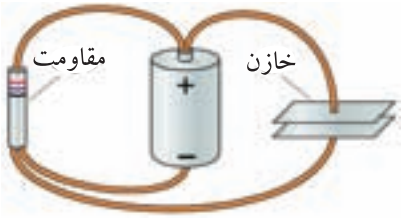
شوک الکتریکی می‌تواند سبب گرم شدن بیش از حد بافت‌های بدن و مختل شدن کارهای عادی عصب شود و ضرباهنگ‌های الکتریکی حفظ کننده‌ی ضربان منظم قلب را بر هم زند و ممکن است مرکز عصبی تنظیم تنفس را مختل کند. اولین کار برای نجات قربانیان شوک مشخص کردن و قطع منبع توان است. سپس تا رسیدن کمک به قربانی تنفس مصنوعی بدهید. از سوی دیگر، برای قربانیان حمله قلبی گاهی شوک الکتریکیِ مناسب می‌تواند سبب شروع به کار قلب شود.

۳-۴ مدارهای الکتریکی

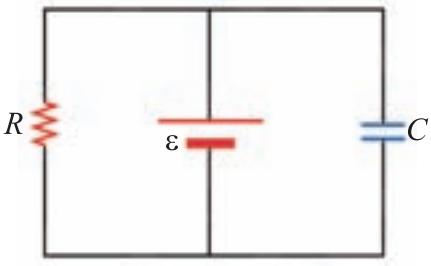
هر مسیری که الکترون‌ها بتوانند بدون وقفه در آن جریان یابند **مدار الکتریکی** است. اغلب مدارها بیش از یک قطعه برای دریافت انرژی الکتریکی دارند. این قطعه‌ها را در مدار معمولاً به یکی از دو صورت، سری یا موازی، به هم وصل می‌کنند. در مدارهای سری تنها یک مسیر برای روان شدن الکترون‌ها بین پایانه‌های باتری یا مولد وجود دارد در حالی که در مدارهای موازی بیش از یک مسیر وجود دارد.

قطعه‌ها و نمودارهای مدار الکتریکی

شکل ۳-۲۶ الف یک مدار الکتریکی شامل مقاومت، خازن و باتری را نشان می‌دهد که توسط سیم‌هایی به یکدیگر وصل شده‌اند. برای درک عملکرد این مدار، لازم نیست که ببینیم سیم‌ها خمیده‌اند یا مستقیم، باتری در طرف چپ مقاومت قرار دارد یا طرف راست آن. برای تحلیل و بررسی مدارها، مرسوم است که از تصویری ساده شده از مدار به نام **نمودار مدار** استفاده می‌شود. شکل ۳-۲۶ ب نمودار مدار مربوط به شکل ۳-۲۶ الف را نشان می‌دهد.



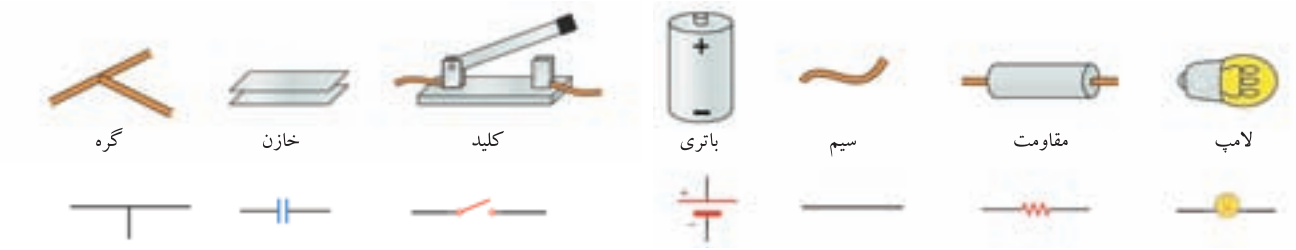
(الف)



(ب)

شکل ۳-۲۶ (الف) یک مدار الکتریکی، (ب) نمودار مدار الکتریکی شکل الف.

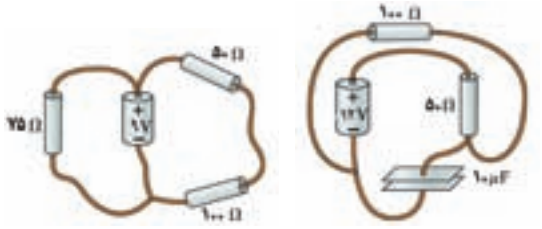
همان طور که در شکل ۳-۲۶ ب نیز دیده می‌شود از نمادهای خاصی برای هر یک از قطعه‌های مدار شکل ۳-۲۰ الف استفاده شده است. در شکل ۳-۲۷ برخی از قطعه‌هایی که در بیش‌تر مدارهای الکتریکی به کار می‌روند همراه با نماد آن‌ها نشان داده شده است.



شکل ۳-۲۷ برخی از قطعه‌ها و نمادهای مربوط به آن‌ها که در اغلب مدارهای الکتریکی به کار می‌روند.

تمرین ۳-۶

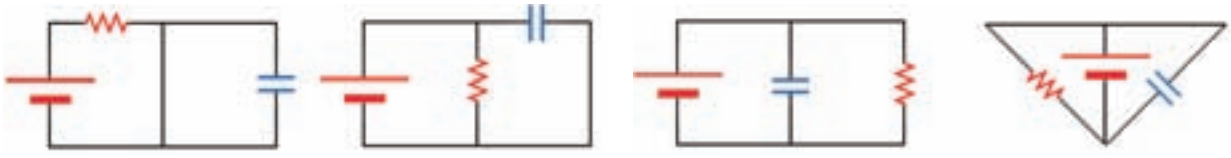
برای هر یک از مدارهای شکل ۳-۲۸ یک نمودار مدار رسم کنید.



شکل ۳-۲۸

پرسش ۳-۱

در شکل ۳-۲۹، چهار نمودار مدار رسم شده است. کدام یک از این نمودارها مربوط مدار الکتریکی متفاوتی است؟



(الف) (ب) (پ) (ت)

شکل ۳-۲۹

مدارهای متوالی

شکل ۳-۳۰ الف دو لامپ را نشان می‌دهد که به طور متوالی به یک باتری وصل شده‌اند. جریان در هر دو لامپ یکسان است و حامل‌های بار هنگام شارش در مدار، در هیچ لامپی «انباشته نمی‌شوند». افزون بر این‌ها، جریانی که از هر یک از لامپ‌ها می‌گذرد، درست برابر جریانی است که از باتری می‌گذرد. به این ترتیب برای یک مدار متوالی، که آن‌ها را مدار تک حلقه‌ای نیز می‌خوانند (شکل ۳-۳۰ ب)، می‌توان گفت:

۱- تنها یک مسیر برای جریان وجود دارد و جریان در همه‌ی قطعه‌های مدار یکسان است.

شبیه‌سازی

- مدار الکتریکی ۱ و ۲

بیش‌تر بدانید

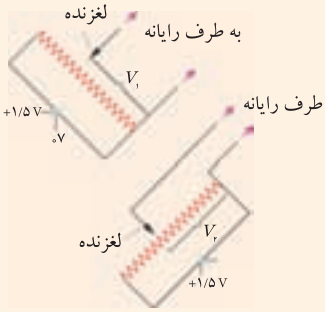
- مدار یکپارچه (IC)

دسته‌ی بازی (Joystick)

دسته‌ی بازی یا اهرمک که در بازی‌های رایانه‌ای استفاده می‌شود از ترکیب مقاومت‌ها به طور متوالی سود می‌برد. دسته‌ی بازی شامل دو سیملوله‌ی مستقیم به عنوان مقاومت است که عمود بر هم قرار گرفته‌اند. با حرکت دسته‌ی بازی، لغزنده‌ی آهنی روی دو سیملوله جابجا می‌شود. همانطور که در بخش (ب) شکل نشان داده شده، هر سیملوله به یک باتری ۱/۵ ولت متصل شده است. چون یک سر سیملوله در ۱/۵ ولت و سر دیگر در صفر ولت است، ولتاژ لغزنده چیزی بین این دو عدد است. ولتاژ لغزنده سمت چپی V_1 و ولتاژ لغزنده‌ی سمت راستی V_2 است.

ولتاژ لغزنده‌ها توسط تکه سیمی به رایانه‌ای فرستاده می‌شود که آن‌ها را به داده‌های مکانی لغزنده روی سیملوله تفسیر می‌کند. در عمل لغزنده، هر سیملوله را به دو سیملوله کوچک‌تر که به صورت متوالی به هم وصل هستند تقسیم کرده و ولتاژ نقطه‌ای که این دو به هم متصل می‌شوند را نشان می‌دهد.

ب) لغزنده‌ها، ولتاژهای V_1 و V_2 را نشان می‌دهند که رایانه سپس آن‌را به اطلاعات مکانی تفسیر می‌کند.



الف) در دسته‌ی بازی دو لغزنده عمود بر هم متحرک رفته و هر کدام از آن‌ها مرتبط با مقاومت سیملوله است.

۲- اختلاف پتانسیل یا ولتاژ کل اعمال شده توسط باتری، بین تک‌تک قطعه‌های الکتریکی مدار تقسیم می‌شود. یعنی در هر مدار متوالی، مجموع جبری ولتاژها صفر است.[۱]

پس برای هر یک از مقاومت‌های مدار شکل ۳-۳۰ب داریم:

$$V_b - V_a = R_1 I$$
$$V_c - V_b = R_2 I$$

با جمع دو طرف این دو رابطه داریم

$$V_c - V_a = (R_1 + R_2) I$$

چون سیم‌های رابط بدون مقاومت فرض می‌شوند، ولتاژ دو سر باتری برابر است با:

$$\Delta V = V_c - V_a$$

پس

$$\Delta V = (R_1 + R_2) I$$

اکنون فرض کنید مقاومتی مانند R_{eq} در اختیار داریم که با اعمال ولتاژ ΔV به دو سر آن، جریان I از آن عبور کند (مدار شکل ۳-۳۰ پ)، در این صورت:

$$\Delta V = R_{eq} I$$

از مقایسه‌ی دو رابطه‌ی اخیر داریم:

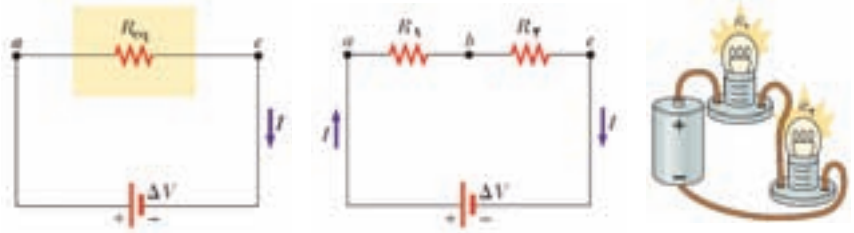
$$R_{eq} I = (R_1 + R_2) I$$

یا

$$R_{eq} = R_1 + R_2 \qquad (۸-۳)$$

در این صورت R_{eq} را مقاومت معادل R_1 و R_2 می‌نامیم. اگر بیش از دو مقاومت به طور متوالی به یکدیگر وصل شده باشند، مقاومت معادل با تحلیلی مشابه آنچه بیان شد از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots \qquad (۹-۳)$$



شکل ۳-۳۰ (الف) مداری متوالی شامل دو لامپ و یک باتری. (ب) ولتاژ دو سر باتری بین هر یک از مقاومت‌های R_1 و R_2 تقسیم می‌شود. (پ) R_{eq} مقاومت معادل R_1 و R_2 است. زیرا با اعمال ولتاژ ΔV به دو سر آن، جریان I از آن می‌گذرد.

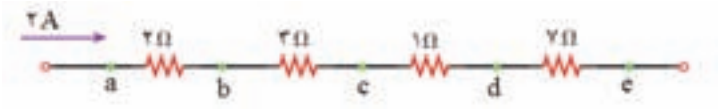
۱- این موضوع، قاعده‌ی حلقه‌ی کیرشهف (یا قانون ولتاژ کیرشهف) خوانده می‌شود.

مثال ۳-۷

شکل ۳-۳۱ بخشی از یک مدار الکتریکی را نشان می‌دهد.

الف) جریان در هر یک از نقطه‌های a تا e چقدر است؟

ب) ولتاژ دو سر هر مقاومت و همچنین ولتاژ دو سر a و e چقدر است؟



شکل ۳-۳۱ بخشی از یک مدار الکتریکی شامل چند مقاومت متوالی.

حل: الف) جریان در همه‌ی قسمت‌های مختلف این بخش از مدار یکسان و برابر ۲A است. مقاومت‌ها به طور متوالی به یکدیگر وصل شده‌اند و حامل‌های بار هنگام شارش در آن‌ها، در هیچ یک از مقاومت‌ها انباشته نمی‌شوند.

ب) با توجه به رابطه‌ی $\Delta V = I R$ ، برای هر یک از مقاومت‌ها داریم:

$$V_b - V_a = (۲\,\Omega)(۲\,\mathrm{A}) = ۴\,\mathrm{V}$$
$$V_c - V_b = (۳\,\Omega)(۲\,\mathrm{A}) = ۶\,\mathrm{V}$$
$$V_d - V_c = (۱\,\Omega)(۲\,\mathrm{A}) = ۲\,\mathrm{V}$$
$$V_e - V_d = (۷\,\Omega)(۲\,\mathrm{A}) = ۱۴\,\mathrm{V}$$

به این ترتیب ولتاژ دو سر a و e برابر است با جمع ولتاژ دو سر هر یک از مقاومت‌هاکه برابر است با:

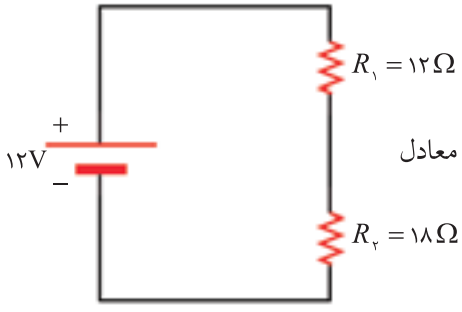
$$V_e - V_a = ۴\,\mathrm{V} + ۶\,\mathrm{V} + ۲\,\mathrm{V} + ۱۴\,\mathrm{V} = ۲۶\,\mathrm{V}$$

مثال ۳-۸

در مدار شکل ۳-۳۲ مطلوب است

الف) مقاومت معادل مدار.

ب) توان تلف شده در هر مقاومت.



شکل ۳-۳۲

حل: الف) چون دو مقاومت به طور متوالی به یکدیگر وصل شده‌اند، مقاومت معادل آن‌ها برابر است با:

$$R_{eq} = R_۱ + R_۲$$
$$= ۱۲\,\Omega + ۱۸\,\Omega = ۳۰\,\Omega$$

ب) ابتدا جریان عبوری از مدار را به دست می‌آوریم:

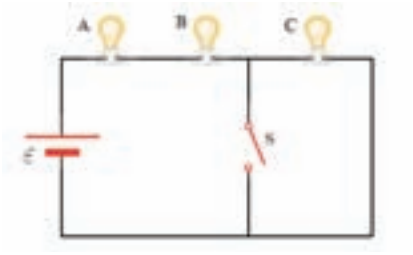
$$\Delta V = R_{eq}\, I$$
$$۱۲\,\mathrm{V} = ۳۰ I \Rightarrow I = ۰/۴\,A$$

با توجه به رابطه‌ی $P = R I^۲$ ، که از فیزیک (۱) و آزمایشگاه نیز با آن آشنا شده‌اید، توان تلف شده در هر مقاومت برابر است با:

$$P_۱ = R_۱ I^۲ = (۱۲\,\Omega)(۰/۴\,\mathrm{A})^۲ = ۱/۹۲\,\mathrm{W}$$
$$P_۲ = R_۲ I^۲ = (۱۸\,\Omega)(۰/۴\,\mathrm{A})^۲ = ۲/۸۸\,\mathrm{W}$$

مثال مفهومی ۳-۹

شکل ۳-۳۳ مداری شامل سه لامپ مشابه و یک باتری با نیروی محرکه‌ی ε را نشان می‌دهد که به طور متوالی به یکدیگر وصل شده‌اند. با بستن کلید S چه تغییری در روشنایی هر یک از لامپ‌ها رخ می‌دهد؟ (مقاومت درونی باتری ناچیز است.)



شکل ۳-۳۳

پاسخ: وقتی کلید S باز است، چون لامپ‌ها مشابه یکدیگر فرض شده‌اند، میزان درخشندگی آن‌ها نیز یکسان است. زیرا ولتاژ دو سر باتری به مقدار یکسانی بین تک‌تک لامپ تقسیم می‌شود.

با بستن کلید S، دو سر لامپ C اتصال کوتاه و از مدار حذف می‌شود. در نتیجه لامپ C خاموش و دو لامپ دیگر با شدت بیش‌تری می‌درخشند. توجه کنید در این وضعیت ولتاژ دو سر باتری تنها بین دو لامپ A و B تقسیم می‌شود در حالی که پیش از بستن کلید S، بین هر سه لامپ تقسیم می‌شد.

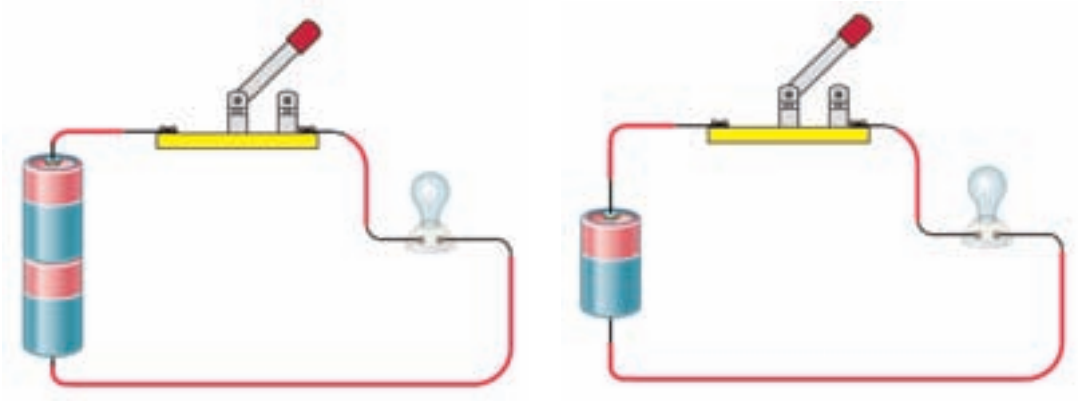
پرسش ۳-۲

اگر یکی از لامپ‌های مدار متوالی بسوزد، چه اتفاقی برای جریان در لامپ‌های دیگر مدار رخ می‌دهد؟

فعالیت عملی ۳-۳

ابتدا مطابق شکل ۳-۳۴ الف لامپ کوچکی را توسط یک باتری ۱/۵ ولتی و سپس توسط دو باتری ۱/۵ ولتی روشن کنید (شکل ۳-۳۴ ب).

روشنایی لامپ را در هر دو حالت با هم مقایسه کنید و دلیل آن را با توجه به مفاهیمی که تاکنون فراگرفته‌اید در کلاس به بحث بگذارید.


(ب) (الف)

شکل ۳-۳۴

مدارهای موازی

اکنون مداری شامل یک باتری و دو لامپ را در نظر بگیرید که مطابق شکل ۳-۳۵ الف به طور موازی به یکدیگر وصل شده‌اند. برای یک مدار موازی، که آن‌ها را مدار چند حلقه‌ای نیز می‌خوانند (شکل ۳-۳۵ ب)، می‌توان گفت:

۱- ولتاژ دو سر هر قطعه‌ی الکتریکی با ولتاژ دو سر باتری برابر است.

۲- جریان کل مدار بین شاخه‌های موازی تقسیم می‌شود. چون ولتاژ دو سر هر شاخه یکسان است، مقدار جریان در هر شاخه با مقاومت آن نسبت عکس دارد (به رابطه‌ی $\Delta V = RI$ توجه کنید.)

به این ترتیب می‌توان نوشت:

$$I = I_1 + I_2$$

همچنین داریم:

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

و یا

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

اکنون فرض کنید مقاومتی مانند R_{eq} در اختیار داریم که با ولتاژ ΔV به دو سر آن، جریان I از آن عبور کند (مدار شکل ۳-۳۵ پ)، در این صورت:

$$I = \frac{\Delta V}{R_{eq}}$$

از مقایسه‌ی دو رابطه‌ی اخیر داریم:

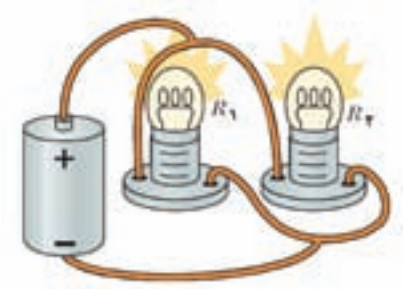
$$\frac{\Delta V}{R_{eq}} = \Delta V \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

یا

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \qquad (۳-۱۰)$$

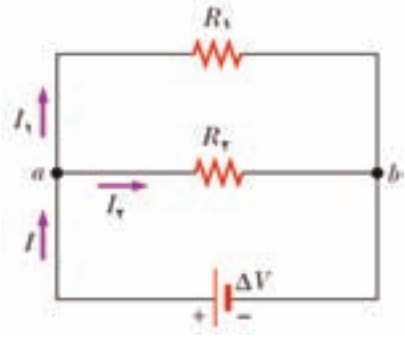
اگر بیش از دو مقاومت به طور موازی به یکدیگر وصل شده باشند، وارون مقاومت معادل برابر است با مجموع وارون همه‌ی مقاومت‌ها. یعنی:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots \qquad (۳-۱۱)$$



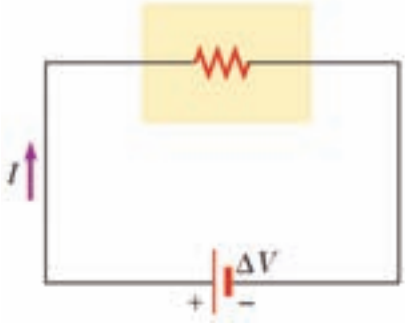
(الف)

$$\Delta V_1 = \Delta V_2 = \Delta V$$



(ب)

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



(ب)

شکل ۳-۳۵ (الف) مدار موازی شامل دو لامپ و یک باتری. (ب) جریان کل مدار بین شاخه‌های موازی تقسیم می‌شود و ولتاژ دو سر هر مقاومت با ولتاژ دو سر باتری برابر است. (پ) و در به هم بستن مقاومت‌ها به طور موازی، وارون مقاومت معادل برابر مجموع وارون مقاومت‌هاست.

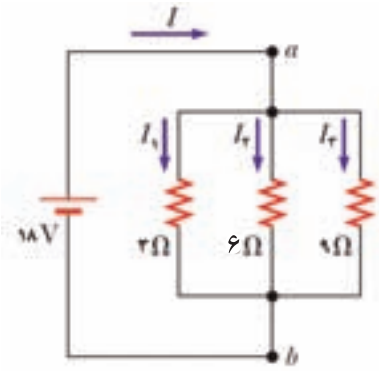
مثال ۳-۱۰

سه مقاومت مختلف و یک باتری با مقاومت درونی ناچیز به طور موازی به یکدیگر وصل شده‌اند (شکل ۳-۳۶).

الف) مقدار جریان را در شاخه‌ی مدار پیدا کنید.

ب) توان تلف شده در هر مقاومت و کل توانی را که باتری در اختیار مدار می‌گذارد به دست آورید.

پ) مقاومت معادل مدار را حساب کنید.



شکل ۳-۳۶ مداری شامل یک باتری و سه مقاومت که به طور موازی وصل شده‌اند.

حل: الف) با استفاده از رابطه‌ی $I = \frac{\Delta V}{R}$ ، جریان را در هر شاخه به دست می‌آوریم

$$I_۱ = \frac{\Delta V}{R_۱} = \frac{۱۸\,\mathrm{V}}{۳\,\Omega} = ۶\,\mathrm{A}$$

$$I_۲ = \frac{\Delta V}{R_۲} = \frac{۱۸\,\mathrm{V}}{۶\,\Omega} = ۳\,\mathrm{A}$$

$$I_۳ = \frac{\Delta V}{R_۳} = \frac{۱۸\,\mathrm{V}}{۹\,\Omega} = ۲\,\mathrm{A}$$

ب) با استفاده از رابطه‌ی $P = I^۲R$ ، توان تلف شده در هر مقاومت برابر است با:

مقاومت ۳ اهمی : $P_۱ = I_۱^۲R_۱ = (۶\,\mathrm{A})^۲(۳\Omega) = ۱۰۸\,\mathrm{W}$

مقاومت ۶ اهمی : $P_۲ = I_۲^۲R_۲ = (۳\,\mathrm{A})^۲(۶\Omega) = ۵۴\,\mathrm{W}$

مقاومت ۹ اهمی : $P_۳ = I_۳^۲R_۳ = (۲\,\mathrm{A})^۲(۹\Omega) = ۳۶\,\mathrm{W}$

به این ترتیب کل توانی که باتری در اختیار مدار می‌گذارد برابر است با:

$$P_{\text{کل}} = P_۱ + P_۲ + P_۳$$
$$= ۱۰۸\,\mathrm{W} + ۵۴\,\mathrm{W} + ۳۶\,\mathrm{W} = ۱۹۸\,\mathrm{W}$$

پ) با استفاده از رابطه‌ی (۳-۱۱) داریم:

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

پس

$$= \frac{۱}{۳\,\Omega} + \frac{۱}{۶\,\Omega} + \frac{۱}{۹\,\Omega} = \frac{۱۱}{۱۸\,\Omega}$$

$$R_{eq} = \frac{۱۸}{۱۱}\Omega = ۱/۶\,\Omega$$

شکل ۳–۳۷ قسمتی از یک مدار الکتریکی را نشان می‌دهد.

الف) مقاومت معادل بین دو نقطه‌ی a و b را پیدا کنید.

ب) اگر یک باتری با مقاومت درونی ناچیز و ولتاژ ۴۲ V به دو سر a و c وصل شود جریان I چقدر است؟

حل: الف) در شکل ۳–۳۸ دو مرحله برای به دست آوردن مقاومت معادل بین دو نقطه‌ی a و c به طور طرحوار نشان داده شده است. برای دو مقاومت ۸ و ۴ اهمی که به طور سری به هم وصل شده‌اند داریم:

$$R_{eq} = R_۱ + R_۲ = ۸\,\Omega + ۴\,\Omega = ۱۲\,\Omega$$

همچنین برای دو مقاومت ۶ و ۳ اهمی که به طور موازی به هم وصل شده‌اند، داریم:

$$\frac{۱}{R_{eq}} = \frac{۱}{R_۱} + \frac{۱}{R_۲} = \frac{۱}{۶\,\Omega} + \frac{۱}{۳\,\Omega} = \frac{۱}{۲\,\Omega}$$

پس

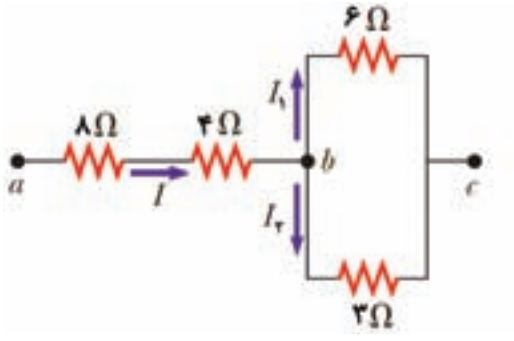
$$R_{eq} = ۲\,\Omega \cdot$$

حالا با توجه به شکل ۳–۳۸ ب، دو مقاومت ۱۲ و ۲ اهمی داریم که به طور متوالی به هم وصل شده‌اند. به این ترتیب مقاومت معادل بین a و c برابر است با:

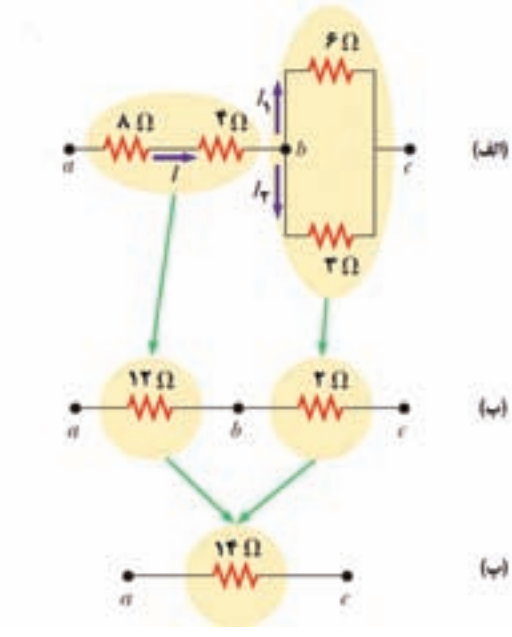
$$R_{eq} = R_۱ + R_۲ = ۱۲\,\Omega + ۲\,\Omega = ۱۴\,\Omega$$

ب) از رابطه‌ی $\Delta V = R\,I$ داریم:

$$I = \frac{\Delta V_{ac}}{R_{eq}} = \frac{۴۲\,V}{۱۴\,\Omega} = ۳A$$



شکل ۳–۳۷ قسمتی از یک مدار شامل ۴ مقاومت

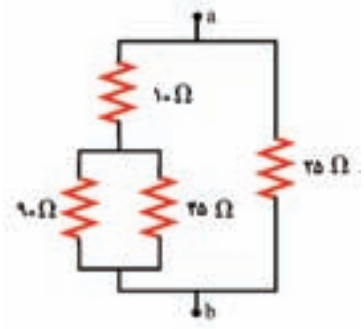


شکل ۳–۳۸

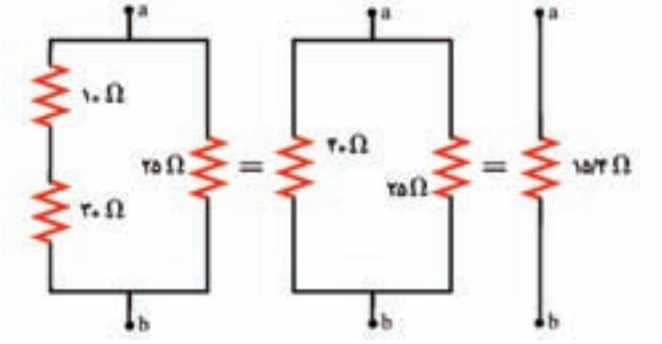
مثال ۳-۱۲

مقاومت معادل بین دو نقطه a و b را در شکل ۳-۳۹ که بخشی از یک مدار الکتریکی است به دست آورید.

حل: نحوه‌ی پیدا کردن مقاومت معادل در سه مرحله در شکل ۳-۴۰ آمده است. جزئیات محاسبه را به عهده‌ی خودتان می‌گذاریم.



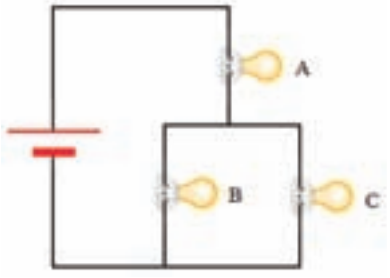
شکل ۳-۳۹ بخشی از یک مدار الکتریکی شامل چندین مقاومت.



شکل ۳-۴۰

مثال مفهومی ۳-۱۳

شکل ۳-۴۱ مداری شامل سه لامپ مشابه و یک باتری با مقاومت درونی ناچیز را نشان می‌دهد. روشنایی هر سه لامپ را با هم مقایسه کنید.

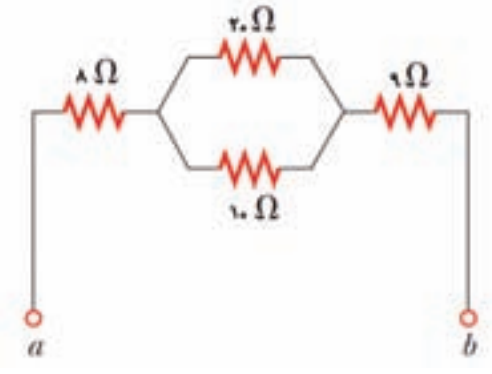


شکل ۳-۴۱

پاسخ: لامپ A بیش‌ترین روشنایی و روشنایی لامپ‌های B و C برابر یکدیگر است. توجه کنید که جریان I پس از عبور از لامپ A بین لامپ‌های B و C به طور یکسان تقسیم می‌شود.

تمرین ۳-۷

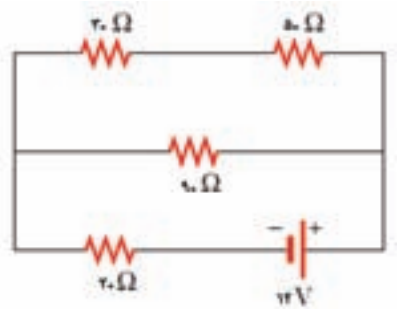
مقاومت معادل بین دو نقطه‌ی a و b را در شکل ۳-۴۲ که بخشی از یک مدار الکتریکی است به دست آورید.



شکل ۳-۴۲

تمرین ۳-۸

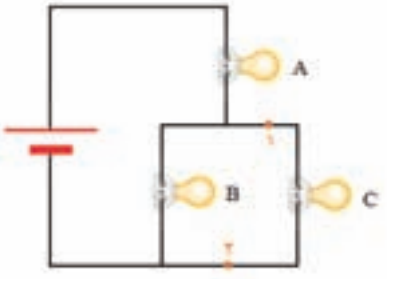
اگر مقاومت درونی باتری در مدار شکل ۳-۴۳ ناچیز باشد، توان تلف شده در مقاومت ۲۰ اهمی چقدر است؟ راهنمایی: ابتدا مقاومت معادل را به دست آورید و با توجه به آن جریان عبوری از مقاومت ۲۰ اهمی را پیدا کنید.



شکل ۳-۴۳

فعالیت عملی ۳-۴

سه لامپ مشابه کوچک و یک باتری را توسط سیم‌های رابط مطابق مدار شکل ۳-۴۴ به یکدیگر ببندید. ابتدا روشنایی لامپ‌ها را با یکدیگر مقایسه کنید. سپس توسط یک سیم رابط دو نقطه‌ی ۱ و ۲ را به یکدیگر وصل کنید. در این حالت روشنایی لامپ‌ها را با هم مقایسه کرده و نتیجه را در کلاس به بحث بگذارید.



شکل ۳-۴۴

آزمایش کنید

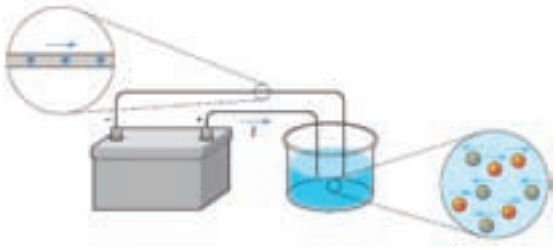
ابتدا با مشاهده‌ی آزمایش‌های زیر از روی CD ضمیمه، وسیله‌های مورد نیاز هر آزمایش را فراهم کنید و آن‌ها را به طور گروهی در کلاس انجام دهید. بین مشاهده‌های خود و مفاهیمی که فرا گرفته‌اید ارتباط برقرار کنید.

- مدارهای سری و متوالی
- اندازه‌گیری ولتاژ در مدار
- اندازه‌گیری جریان در مدار

به آزمایشگاه مجازی ساخت مدارهای الکتریکی بروید و یک سری مثال‌ها، تمرین‌ها، فعالیت‌ها و همچنین پرسش‌ها و مسئله‌های پایان فصل را شبیه‌سازی کنید و نتیجه را با آنچه به طور نظری به آن رسیده‌اید مقایسه کنید.

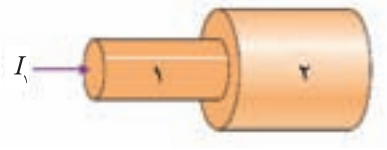
پرسش‌های مفهومی

۱– دریافت خود را از شکل ۳–۴۵ بر اساس مفاهیمی که در بخش ۳–۱ فرا گرفته‌اید بیان کنید.



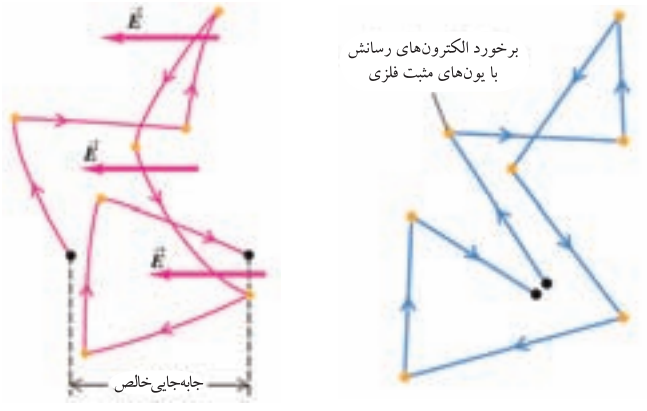
شکل ۳–۴۵

۲– سیم شکل ۳–۴۶ شامل دو بخش با قطرهای متفاوت است که جنس مشابهی دارند. جریان در قطعه‌ی ۱ برابر I_1 است. توضیح دهید جریانی که از بخش ۲ می‌گذرد نسبت به جریان I_1 کمتر، بزرگ‌تر، یا برابر است.



شکل ۳–۴۶

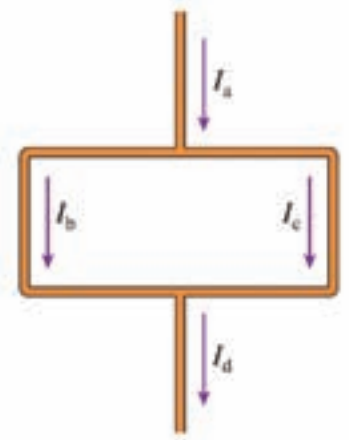
۳– شکل ۳–۴۷ الف حرکت کاتوره‌ای یک الکترون رسانش نوعی را درون یک قطعه فلز نشان می‌دهد. شکل ۳–۴۷ ب حرکت یک الکترون رسانش را درون همان قطعه فلز نشان می‌دهد که به دو سر آن اختلاف پتانسیل ΔV اعمال شده است. با توجه به این دو شکل توضیح دهید مهم‌ترین تفاوت حرکت الکترون‌های رسانش درون یک قطعه فلز که به دو سر آن اختلاف پتانسیل اعمال شده با حالتی که هیچ اختلاف پتانسیلی اعمال نشده است چیست.



(ب) (الف)

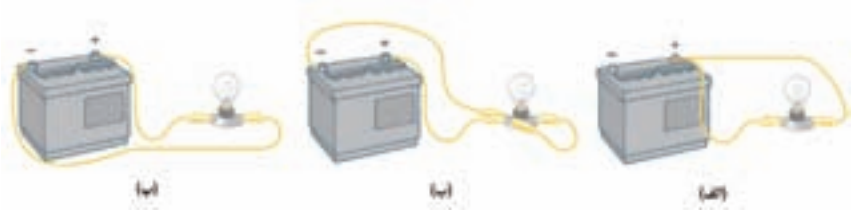
شکل ۳–۴۷

۴- همه‌ی سیم‌ها در شکل ۳-۴۸ از ماده‌ی مشابهی ساخته شده‌اند و قطر برابری دارند. جریان‌های I_a تا I_d را، از بیش‌ترین تا کم‌ترین مقدار به ترتیب بنویسید.



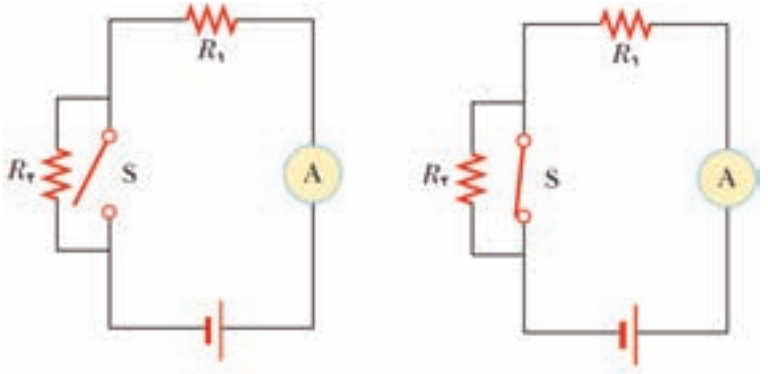
شکل ۳-۴۸

۵- به سه مدار شکل ۳-۴۹ توجه کنید. در کدام یک از این مدارها لامپ روشن می‌شود؟



شکل ۳-۴۹

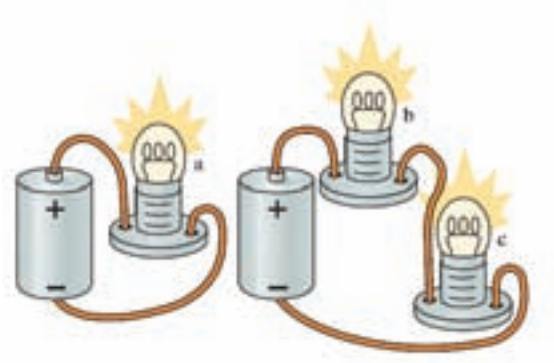
۶- در مدار شکل ۳-۵۰ الف جریان توسط آمپرسنج اندازه‌گیری می‌شود. وقتی مطابق مدار شکل ۳-۵۰ ب کلید S باز شود، جریانی که آمپرسنج می‌خواند چه تغییری می‌کند؟ توضیح دهید.



(ب) (الف)

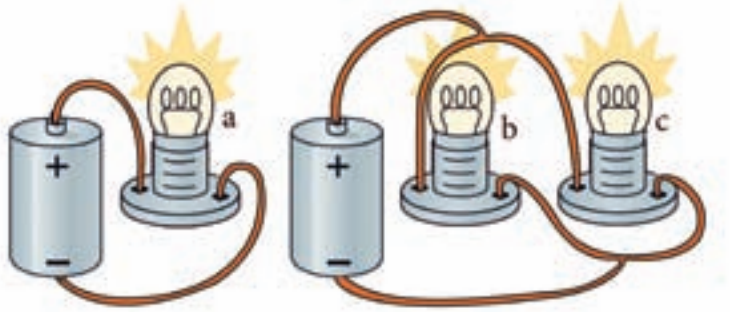
شکل ۳-۵۰

۷- باتری‌ها و لامپ‌ها در هر دو مدار شکل ۳-۵۱ مشابه‌اند. روشنایی هر یک از لامپ‌های a، b و c را، از بیش‌ترین تا کم‌ترین مقدار به ترتیب بنویسید. پاسخ خود را توضیح دهید.



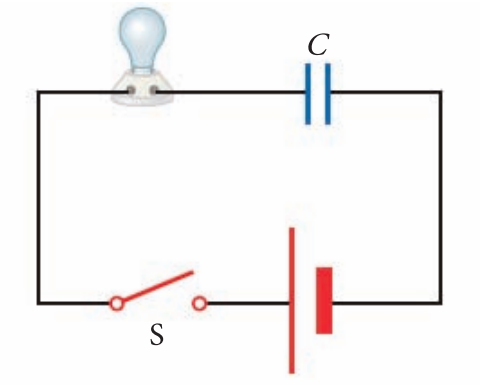
شکل ۳-۵۱

۸- پرسش ۶ را برای مدار شکل ۳-۵۲ پاسخ دهید.



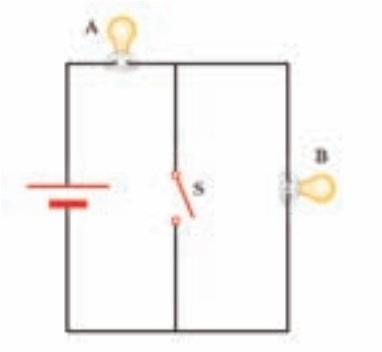
شکل ۳-۵۲

۹- توضیح دهید پس از بستن کلید در مدار شکل ۳-۵۳ چه اتفاقی برای لامپ رخ می‌دهد. فرض کنید ظرفیت خازن زیاد و پیش از بستن کلید بدون بار بوده است. این مدار ساده را بسازید و نتیجه‌ی آزمایش را با آنچه بیان کردید مقایسه کنید.



شکل ۳-۵۳

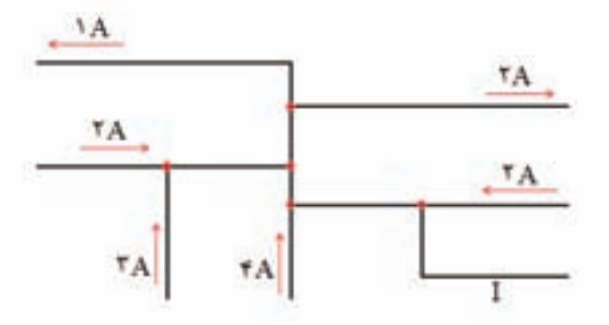
۱۰- پیش از بستن کلید S در مدار شکل ۳-۵۴ هر دو لامپ A و B با روشنایی یکسانی می‌درخشند. با بستن کلید S نور هر یک از لامپ‌ها را با حالت قبلی مقایسه کنید.



شکل ۳-۵۴

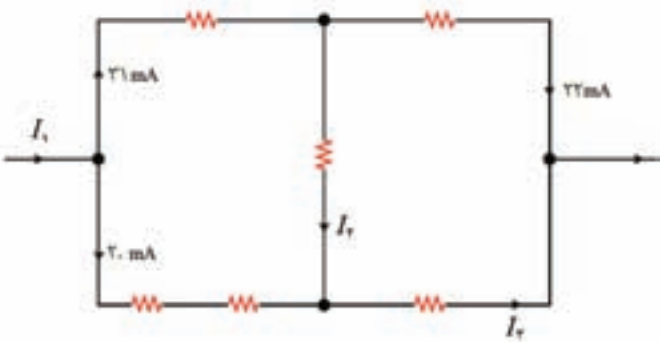
مسئله‌ها

۱- با استفاده از قانون جریان‌های کیرشهف، جریان I در سیم پایین سمت راست شکل ۳-۵۵ را پیدا کنید. جهت این جریان را تعیین کنید.



شکل ۳-۵۵

۲- شکل ۳-۵۶ بخشی از یک مدار الکتریکی را نشان می‌دهد. با توجه به قانون جریان‌های کیرشهف جریان‌های I_1، I_2 و I_3 را تعیین کنید.

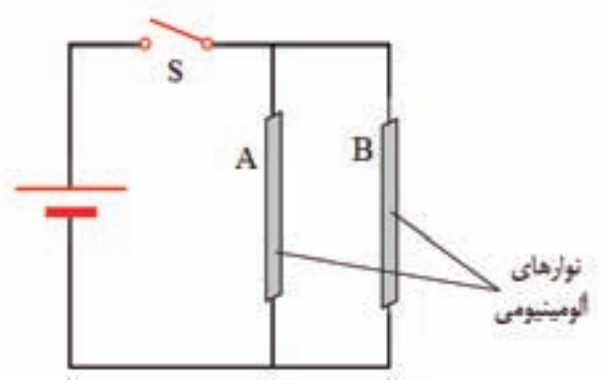


شکل ۳-۵۶

۳– الف) توضیح دهید جریان الکتریکی چیست.

ب) یکای بار الکتریکی در SI، کولن است. کولن را تعریف کنید.

پ) شکل ۳–۵۷ مدار شامل دو نوار آلومینیومی را نشان می‌دهد که به یک مولد وصل شده‌اند. با بستن کلید S ، باری که در مدت ۵۰s از یک مقطع معین یکی از نوارهای آلومینیومی می‌گذرد برابر ۳۴۰C است. جریان در این نوار آلومینیومی چقدر است؟



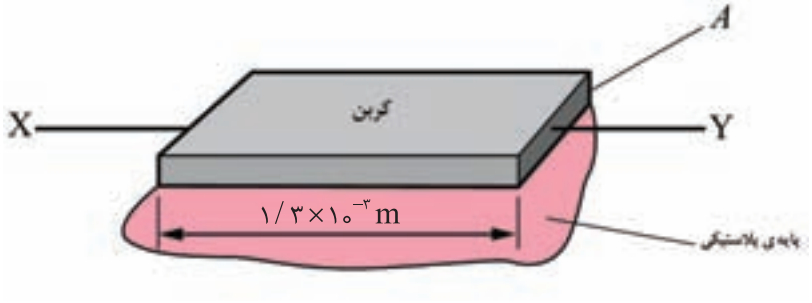
شکل ۳–۵۷

۴– الف) یک گوشی تلفن همراه به مدت ۳۰ دقیقه به شارژی وصل شده است. در این مدت جریان ثابت ۳۵۰mA در مدار برقرار است. بار کل منتقل شده به باتری گوشی تلفن همراه را در این مدت حساب کنید.

ب) جرم هر الکترون $9/11\times10^{-31}$kg است. با توجه به نتیجه‌ی قسمت (الف)، تعیین کنید پس از شارژ شدن باتری گوشی تلفن همراه، چقدر بر جرم آن افزوده شده است؟ (راهنمایی: برای به دست آوردن تعداد الکترون‌های منتقل شده در فرایند شارژ شدن باتری، از رابطه‌ی $Q=ne$ استفاده کنید.)

۵– الف) مقاومت ویژه‌ی قطعه‌ای فلزی به طول L و مساحت سطح مقطع A برابر ρ است. رابطه‌ای بنویسید که مقاومت الکتریکی R این قطعه فلز را بر حسب L ، A و ρ بیان کند.

ب) شکل ۳–۵۸ مقاومتی را نشان می‌دهد که با گذاردن یک لایه‌ی نازک کربن روی یک پایه‌ی پلاستیکی ساخته شده است.



شکل ۳–۵۸

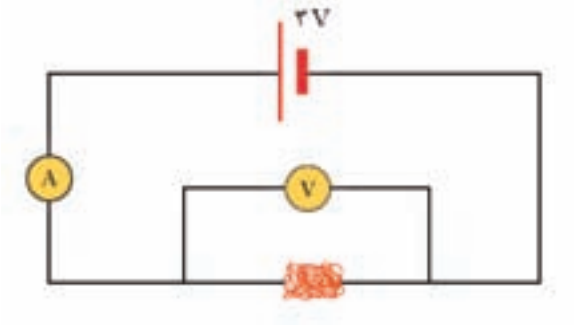
مقاومت لایه‌ی کربنی بین X و Y برابر 2200Ω است. مقاومت ویژه‌ی کربن $3/5\times10^{-5}\ \Omega.m$ و طول لایه‌ی کربنی $1/3\times10^{-2}\ m$ است. نشان دهید که سطح مقطع A لایه‌ی کربنی حدود $2\times10^{-10}\ m^2$ است.

۶- الف) مقاومت الکتریکی یک سیم فلزی به دما و مقاومت ویژه‌ی آن بستگی دارد. افزون بر این‌ها به دو عامل دیگر که مقاومت سیم به آن‌ها بستگی دارد اشاره کنید.

ب) شکل ۳-۵۹ یک مدار الکتریکی را نشان می‌دهد که در قسمتی از آن یک کلاف سیم مسی نازک روکش‌دار قرار دارد. آمپرسنج و ولت‌سنج آرمانی‌اند؛ یعنی مقاومت آمپرسنج ناچیز و مقاومت ولت‌سنج بی‌نهایت است. قطر، طول و مقاومت سیم مسی به ترتیب برابر، $0/27mm$، $1/8m$ و $0/54\Omega$ است.

i) مقاومت ویژه‌ی مس را پیدا کنید.

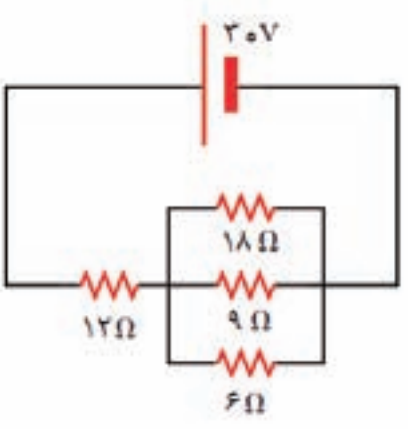
ii) با عبور جریان از کلاف سیم مسی دما و در نتیجه مقاومت آن افزایش می‌یابد. توضیح دهید این موضوع چه تأثیری روی عددهایی که آمپرسنج و ولت‌سنج می‌خوانند می‌گذارد.



شکل ۳-۵۹

۷- الف) مقاومت معادل را در مدار شکل ۳-۵۹ به دست آورید.

ب) جریانی که از مقاومت ۱۲ اهمی می‌گذرد، چقدر است؟

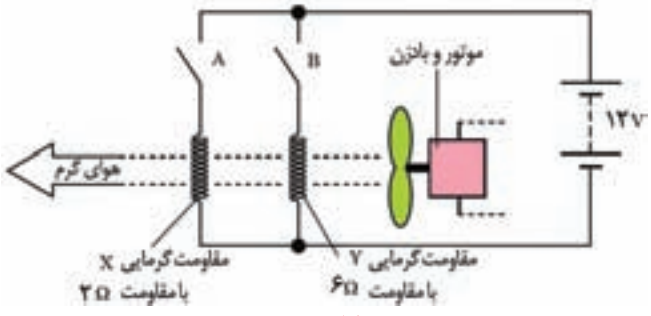


شکل ۳-۶۰

۸– شکل ۳–۶۱ قسمتی از یک مدار الکتریکی را نشان می‌دهد. مقاومت معادل بین دو نقطه‌ی a و b را برای هر شکل پیدا کنید.

شکل ۳–۶۱

۹– شکل ۳–۶۲ مدار الکتریکی یک مو خشک کن کوچک را نشان می‌دهد که برای تولید جریان باد گرم استفاده می‌شود.



شکل ۳–۶۲

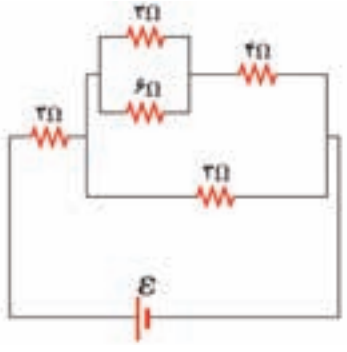
مقاومت درونی مولد ناچیز است و مقاومت هر یک از پیچه‌های X و Y به ترتیب ۲ و ۶ اهم است.

الف) وقتی هر دو کلید A و B بسته می‌شوند، مقاومت معادل مدار را به دست آورید.

ب) وقتی تنها کلید A بسته می‌شود، توان تلف شده در پیچه‌ی X را به دست آورید.

۱۰– الف) مقاومت معادل را در مدار شکل ۳–۶۳ به دست آورید.

ب) اگر توان کل داده شده به مدار ۴۰ وات باشد، نیروی محرکه‌ی مولد ε را پیدا کنید، مولد را آرمانی $r=0$ فرض کنید.



شکل ۳–۶۳

۴

مغناطیس، جریان متناوب و موج‌های الکترومغناطیسی

زندگی امروز و فردای بشر، بستگی انکارناپذیری به ذخیره‌ی اطلاعات به صورت صفر و یک در محیط‌های مناسب پیدا کرده است. محیط‌هایی که بتوان حجم زیادی از اطلاعات را به سرعت در آن‌ها و در فضای کمی ذخیره کرد و با کم‌ترین و اپیچش و در کوتاه‌ترین زمان ممکن آن‌ها را بازیابی کرد. آیا می‌دانید محیط‌های مناسب برای ذخیره‌ی اطلاعات، چه محیط‌هایی هستند؟ پاسخ در همین فصل.

سیمای فصل ۴

۴- ۱ آهنربا و قطب‌های مغناطیسی

۴-۲ میدان مغناطیسی

۴-۳ خواص مغناطیسی مواد

۴-۴ الکترومغناطیس

۴-۵ تولید الکتریسیته

۴-۶ موج‌های الکترومغناطیسی

ارزشیابی فصل ۴

مغناطیس، جریان متناوب و موج‌های الکترومغناطیسی

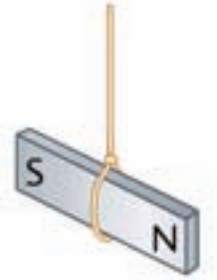
کاربردهای مغناطیس در جنبه‌های مختلف زندگی بشر بی‌شمارند. برای بیش از یک قرن ضبط صدا و تصویر روی صفحه‌ها و نوارهایی انجام می‌شد که مغناطیس نقش اصلی را در آن‌ها ایفا می‌کرد. گرچه فناوری دیجیتالی به میزان زیادی جایگزین ضبط مغناطیسی شده است، با این حال ذخیره‌ی اطلاعات به صورت صفر و یک هنوز هم به آهنرباهایی وابسته است که دستگاه‌های پخش CD و DVD و درایوهای سخت‌افزار رایانه‌ها را کنترل می‌کنند. آهنرباها همچنین در بلندگوی گوشی‌ها، در تلویزیون‌ها، در رایانه‌ها و در تلفن‌ها کاربرد دارند. اتومبیل‌های امروزی به ده‌ها آهنربا مجهزند، زیرا روشن کردن موتور، بالا و پایین بردن شیشه‌های اتومبیل، باز و بسته کردن سقف متحرک آن‌ها و کنترل برف پاکن کن‌ها به آن‌ها نیاز دارد. اغلب سامانه‌های هشدار ایمنی، زنگ درها و قفل درهای خودکار از آهنرباها بهره می‌گیرند. خلاصه این که، ما در محاصره‌ی آهنرباها قرار گرفته‌ایم!

۴- ۱ آهنربا و قطب‌های مغناطیسی

همه‌ی ما، زمانی را در دوران کودکی خود به یاد می‌آوریم که شیفته‌ی عملکرد آهنربا بودیم. به خصوص وقتی یک آهنربا، میخی را که در نزدیکی آن قرار داشت به حرکت در می‌آورد و به سوی خود می‌کشید؛ یا وقتی یک آهنربا، آهنربای دیگری را جذب یا دفع می‌کرد به وجد می‌آمدیم و پرسش‌های زیادی در ذهنمان جریان می‌یافت.

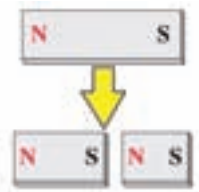
هرگاه آهنربایی را به درون ظرفی از براده‌ی آهن فرو ببریم، مشاهده می‌کنیم که براده‌های آهن به مقدار زیادی جذب ناحیه‌های خاصی از آهنربا می‌شوند. این ناحیه‌ها، **قطب‌های آهنربا** نامیده می‌شوند. قطب‌ها، قوی‌ترین ناحیه‌های مغناطیسی هر آهنربا هستند.

اگر به مرکز یک آهنربای میله‌ای نخی ببندید و آن را آویزان کنید (شکل ۴-۱)، قطب‌نما خواهید داشت. یک سر آن که قطب شمال‌گرا نامیده می‌شود شمال و سر دیگر آن موسوم به قطب جنوب‌گرا، جنوب را نشان می‌دهد. آن‌ها را قطب‌های شمال و جنوب مغناطیسی نیز می‌نامند.



شکل ۴-۱ اگر یک آهنربای میله‌ای طوری آویزان شود که بتواند آزادانه بچرخد، در حالی که قطب شمال آن سمت شمال و قطب جنوب آن سمت جنوب را نشان می‌دهد، ساکن می‌شود. وقتی این اتفاق می‌افتد آهنربا مانند یک قطب‌نما رفتار می‌کند.

تمام آهنرباها هم قطب شمال دارند و هم قطب جنوب. اگر یک آهنربای میله‌ای را دو قسمت کنید، هر قسمت آن یک آهنربای کامل است (شکل ۴-۲). اگر باز هم آن‌ها را دو قسمت کنید چهار آهنربای کامل خواهید داشت.



شکل ۴-۲ شکستن یک آهنربای میله‌ای. هر قسمت یک قطب شمال و یک قطب جنوب دارد، حتی اگر اندازه‌ی دو قسمت متفاوت باشد. (خاصیت آهنربایی قطعه‌ی کوچک‌تر، ضعیف‌تر است.)

می‌توانید تقسیم کردن را ادامه دهید ولی هرگز یک قطب تنها یا به عبارتی دیگر تک قطبی مغناطیسی نخواهید داشت. حتی وقتی ضخامت قطعه‌ی شما به اندازه‌ی اتم شود، دو قطب دارد، که نشان می‌دهد خود اتم هم آهنرباست.

وقتی قطب‌های همنام دو آهنربا را به یکدیگر نزدیک کنید، یکدیگر را دفع می‌کنند (شکل ۴-۳ الف)، اما اگر قطب‌های ناهمنام به یکدیگر نزدیک شوند، یکدیگر را جذب خواهند کرد (شکل ۴-۳ ب).

(ب) (الف)

شکل ۴-۳ (الف) قطب‌های همنام یکدیگر را دفع و (ب) قطب‌های ناهمنام یکدیگر را جذب می‌کنند.

فعالیت عملی ۴-۱

قطب نماهایی که دریانوردان در دریا و کوهنوردان به هنگام مه غلیظ برای تعیین جهت حرکت خود به کار می‌برند، در واقع یک آهنربای میله‌ای نازک است که روی پایه‌ای سوار است و می‌تواند آزادانه روی آن بچرخد و جهت‌های تقریبی شمال و جنوب را نشان دهد (شکل ۴-۴).

شکل ۴-۴ قطب‌نما را عقربه‌ی مغناطیسی نیز می‌نامند.

شما نیز می‌توانید به راحتی یک قطب‌نمای ساده بسازید. مطابق شکل ۴-۵ یک آهنربای میله‌ای کوچک را روی چوب پنبه‌ای که بر روی آب درون ظرفی شناور است قرار دهید. به حرکت چوب پنبه و آهنربا توجه کنید و پس از ساکن شدن آن‌ها، جهت تقریبی شمال و جنوب را تعیین کنید.

شکل ۴-۵

پرسش ۴-۱

اگر مطابق شکل ۴-۶ یک میله‌ی باردار (مثلاً منفی) را به یک عقربه‌ی مغناطیسی نزدیک کنید، چه انتظاری دارید؟

شکل ۴-۶ میله‌ی باردار چه تأثیری روی عقربه‌ی مغناطیسی می‌گذارد؟

۴-۲ میدان‌های مغناطیسی

وقتی یک آهنربا را به میخی آهنی نزدیک کنید، می‌بینید که میخ به طرف آهنربا حرکت می‌کند و پس از مدت کوتاهی جذب آن می‌شود (شکل ۴-۷). برای توجیه این پدیده، مشابه آنچه در خصوص جسم‌های دارای بار الکتریکی دیدیم، می‌گوییم که فضای اطراف آهنربا حاوی **میدان مغناطیسی** است. میدان مغناطیسی نیز مانند میدان الکتریکی، یک کمیت برداری است و آن را با نماد $\vec{B}$ نمایش می‌دهند.

شکل ۴-۷ اطراف یک آهنربا میدان مغناطیسی وجود دارد به طوری که هر کدام از قطب‌های آن می‌توانند هر جسم آهنی مانند میخ را به سوی خود جذب کنند.

همان گونه که برای میدان‌های الکتریکی انجام دادیم، میدان‌های مغناطیسی را نیز می‌توانیم با خط‌های میدان نشان دهیم. باز هم در اینجا قاعده‌های مشابهی به شرح زیر حاکم است:

جهت مماس بر خط میدان در هر نقطه، جهت $\vec{B}$ را در آن نقطه نشان می‌دهد.

اندازه‌ی فاصله‌ی بین خط‌ها، معرف بزرگی $\vec{B}$ است. هر جا خط‌ها به هم نزدیک‌تر باشند، میدان مغناطیسی قوی‌تر است و برعکس.

شکل ۴-۸ الف نشان می‌دهد که چگونه میدان مغناطیسی در نزدیکی یک آهنربای میله‌ای می‌تواند توسط خط‌های میدان نمایش داده شود. همه‌ی این خط‌ها از آهنربا

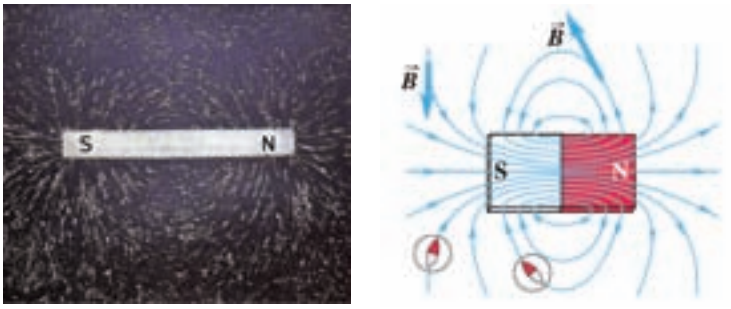
بیش‌تر بدانید

- تاریخچه‌ی مغناطیس
- جهت‌یابی مغناطیسی
- مغناطیس درمانی
- تک قطبی مغناطیسی

آزمایش کنید

■ فنر مغناطیسی

می‌گذرند، و همه‌ی آن‌ها حلقه‌ی بسته‌ای را تشکیل می‌دهند. در قطب‌های آهنربا، خط‌های میدان دارای بیش‌ترین فشردگی هستند. بنابراین میدان مغناطیسی آهنربای میله‌ای عمدتاً براده‌های آهن را در نزدیکی دو سر آن جمع می‌کند (شکل ۴-۸ب).



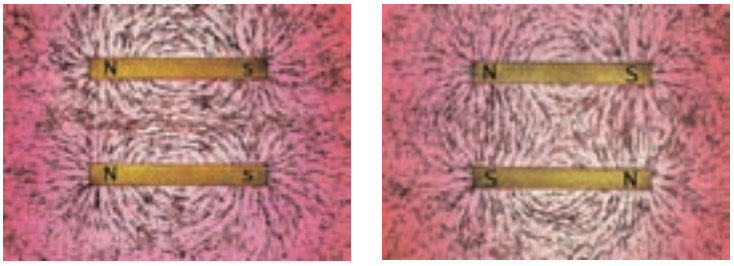
(ب) (الف)

شکل ۴-۸ (الف) خط‌های میدان در هر نقطه در جهت عقربه‌ی مغناطیسی هستند. افزون بر این، خط‌های میدان از قطب شمال (N) خارج شده و به قطب جنوب (S) وارد می‌شوند. (ب) منظره‌ی براده‌های آهن پاشیده شده روی یک آهنربا از بالا. براده‌ها طرح خط‌های میدان مغناطیسی فضای اطراف یک آهنربا را ترسیم می‌کنند.

بیش‌تر بدانید

■ تعلیق مغناطیسی

وقتی دو آهنربای میله‌ای نزدیک یکدیگر قرار می‌گیرند، میدان‌های مغناطیسی آن‌ها بر یکدیگر اثر می‌گذارند. شکل ۴-۹ دو نوع متفاوت همپوشانی میدان‌های مغناطیسی را نشان می‌دهد.

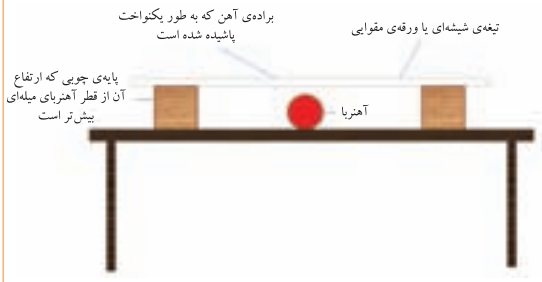


(ب) (الف)

شکل ۴-۹ طرح‌های میدان مغناطیسی برای یک جفت آهنربا. (الف) قطب‌های ناهمنام نزدیک یکدیگرند، و (ب) قطب‌های همنام نزدیک یکدیگرند.

فعالیت عملی ۴-۲

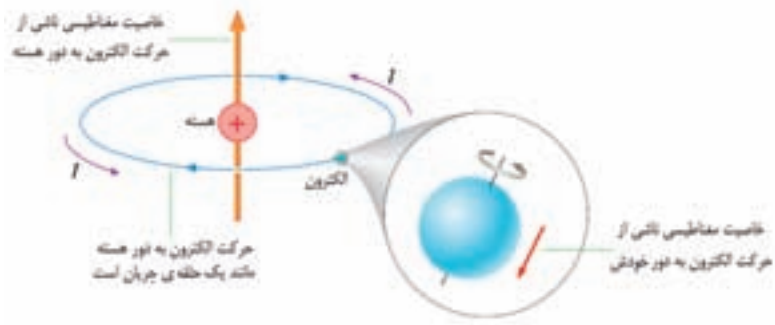
شما نیز به سادگی می‌توانید طرحی از خط‌های میدان مغناطیسی یک آهنربای میله‌ای (یا هر آهنربای دیگری) تهیه کنید. برای این منظور، یک تیغه‌ی شیشه‌ای یا ورقه‌ی مقوایی را روی پایه‌هایی از جنس چوب قرار دهید و یک آهنربای میله‌ای را مطابق شکل ۴-۱۰ در زیر آن بگذارید. سپس با استفاده از یک نمک پاش، براده‌های آهن را به طور یکنواخت روی تیغه‌ی شیشه‌ای بپاشید و همزمان با یک مداد ضربه‌های آرامی به تیغه شیشه‌ای بزنید. براده‌های آهن هر کدام مانند یک عقربه‌ی مغناطیسی عمل می‌کنند و طرحی از میدان مغناطیسی آهنربای میله‌ای می‌سازند.



شکل ۴-۱۰ منظره‌ی جانبی از وسیله‌هایی که برای ایجاد طرحی از خط‌های میدان مغناطیسی به کار رفته‌اند.

۳-۴ خواص مغناطیس مواد

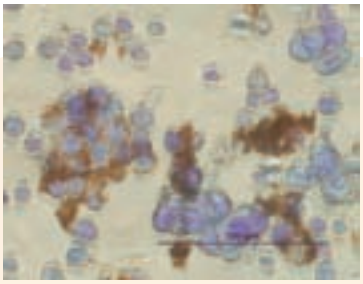
منشاء خاصیت مغناطیس ماده، به کوچک‌ترین جزء سازنده‌ی آن یعنی اتم‌ها مربوط می‌شود. شکل ۴-۱۱ اتمی شامل یک الکترون را نشان می‌دهد که افزون بر چرخش به دور هسته، به دور خود نیز می‌چرخد. در واقع، منشاء مغناطیسی اتم ناشی از این دو نوع حرکت الکترون است. به این ترتیب می‌توان گفت هر الکترون چرخان یک آهنربای بسیار ریز است. اگر اتم، یک جفت الکترون داشته باشد که در یک جهت بچرخند، آهنربای قوی‌تری را به وجود می‌آورند. اما اگر این جفت الکترون در جهت‌های مخالف یکدیگر بچرخند، بر ضد هم عمل می‌کنند و اثر مغناطیسی یکدیگر را خنثی می‌کنند. به همین سبب است که برخی از مواد خاصیت مغناطیسی از خود بروز می‌دهند و برخی دیگر دارای خواص مغناطیسی نیستند.



شکل ۴-۱۱ چرخش الکترون به دور هسته و به دور خودش، منشاء خاصیت مغناطیسی الکترون‌ها در اتم است. همانطور که دیده می‌شود سهم خاصیت مغناطیسی ناشی از حرکت الکترون‌ها به دور هسته، بیش‌تر از سهم ناشی از حرکت الکترون‌ها به دور خودشان است.

در موادی نظیر آهن، نیکل و کبالت و بسیاری از آلیاژهایی که دارای این عنصرها هستند خاصیت مغناطیسی ناشی از حرکت الکترون‌های هر اتم اثر یکدیگر را کاملاً خنثی نمی‌کنند و تک تک اتم‌های این گونه مواد دارای خاصیت مغناطیسی ذاتی هستند. این مواد، مواد فرّو مغناطیسی نامیده می‌شوند که کاربردهای فراوانی در صنعت و فناوری دارند. از این مواد می‌توان در ساخت آهنرباهای دائم و غیر دائم استفاده کرد (شکل ۴-۱۲).

شکل ۴-۱۲ در این هارد دیسک رایانه که از یک ماده‌ی فرو مغناطیس ساخته شده است، اطلاعات به صورت صفر و یک ذخیره می‌شود.



نانو ذره‌های مغناطیسی برای درمان سرطان

لکه‌های تیره در این تصویر میکروسکوپی یاخته‌های سرطانی هستند که از توموری جدا شده و این خطر وجود دارد که در سرتاسر بدن بیمار پخش شوند. در یک روش تجربی برای مبارزه با این یاخته‌ها از ذره‌های مغناطیسی بسیار ریز که به درون بدن بیماری تزریق می‌شوند استفاده می‌شود.

این نانو ذره‌ها با یک ماده‌ی شیمیایی که ترجیحاً به یاخته‌های سرطانی متصل می‌شوند پوشیده شده‌اند. سپس با استفاده از یک آهن‌ربا که بیرون از بدن بیمار قرار دارد این ذره‌ها به بیرون «رانده» شده و یاخته‌های سرطانی را نیز با خود می‌برند.

شبیه‌سازی

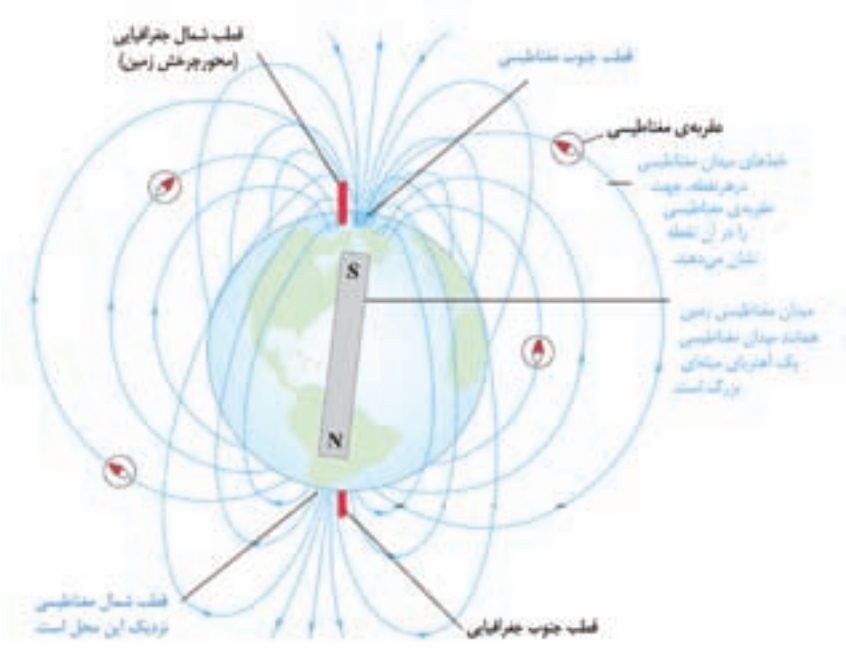
- آهنربای میله‌ای ۱
- آهنربای میله‌ای ۲
- میدان مغناطیسی زمین
- آهنربای نعلی شکل
- برهم نهش (برایند) میدان‌های مغناطیسی

بیش‌تر بدانید

- منشاء میدان مغناطیسی زمین
- کمربندهای تابش قرن آلن

میدان مغناطیسی زمین

زمین خود آهنربایی عظیم است و شکل میدان مغناطیسی آن مانند یک آهنربایی میله‌ای بزرگ است که نزدیک مرکز زمین قرار گرفته باشد (شکل ۴-۱۳)[۱]. قطب‌های مغناطیسی زمین بر قطب‌های جغرافیایی آن منطبق نیستند- در واقع، قطب‌های مغناطیسی و جغرافیایی زمین فاصله‌ی نسبتاً زیادی از هم دارند. مثلاً قطب جنوب مغناطیسی تقریباً در فاصله‌ی ۱۸۰۰ کیلومتری قطب شمال جغرافیایی قرار دارد. این بدان معناست که عقربه‌ی قطب نما معمولاً در جهت شمال واقعی قرار نمی‌گیرد. اختلاف بین سمت‌گیری عقربه‌ی مغناطیسی و شمال واقعی به **میل مغناطیسی** معروف است.

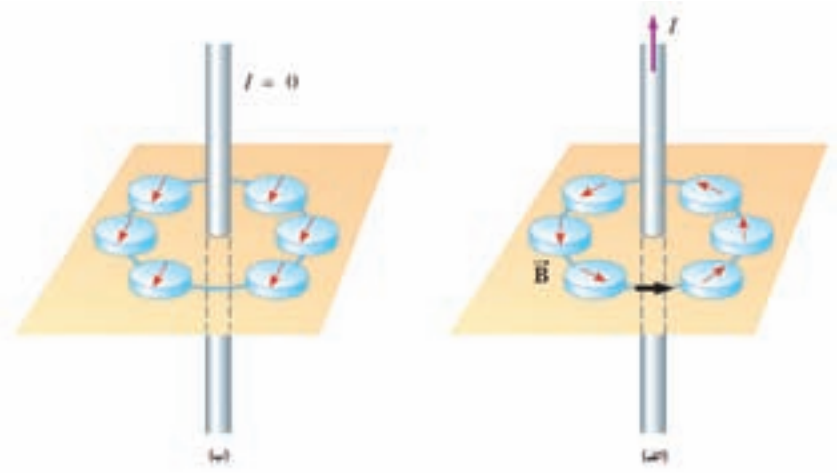


شکل ۴-۱۳ طرح میدان مغناطیسی زمین. عقربه‌ی قطب‌نما در هر نقطه در امتداد این میدان می‌ایستد. نشان دادن خط‌های میدان مغناطیسی زمین به صورت خط‌های میدان یک آهنربای میله‌ای، تنها یک توجیه ساده از ساختار پیچیده و ناشناخته‌ی عوامل ایجاد میدان مغناطیسی زمین است.

۴-۴ الکترومغناطیس

اگر جریان الکتریکی I را از سیمی عبور دهیم، میدان مغناطیسی نسبتاً ضعیفی در اطراف آن به وجود می‌آید (شکل ۴-۱۴). این ارتباط بین الکتریسیته و مغناطیس برای نخستین بار در سال ۱۸۱۹/۱۱۹۸ توسط دانشمند دانمارکی به نام اورستد کشف شد. او این کشف را **الکترومغناطیس** نامید.

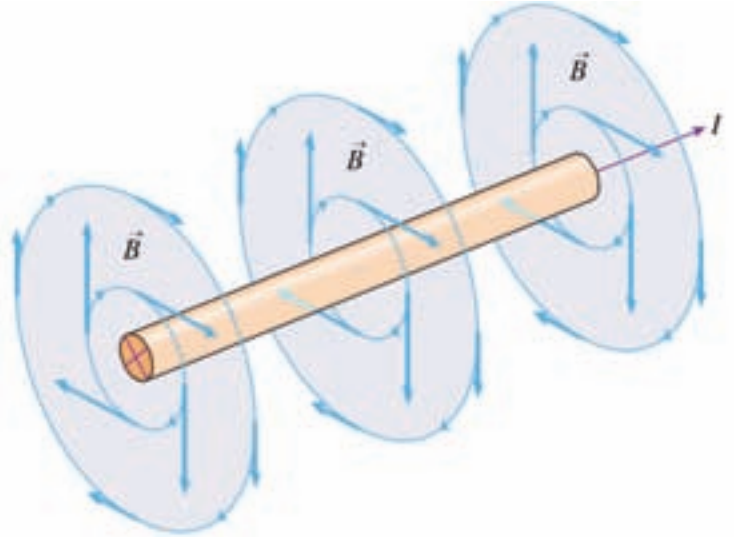
۱. بزرگی میدان مغناطیسی زمین در حدود ۰/۶ گوس یا 6×10^{-5} تسلا است. توجه کنید که یکای میدان مغناطیسی در SI، تسلا و هر تسلا برابر ۱۰۰۰۰ گوس است ($1T = 10^4 G$).



شکل ۴-۱۴ (الف) میدان مغناطیسی اطراف سیم حامل جریان را می‌توان با قرار دادن تعدادی عقربه‌ی مغناطیسی پیرامون آن نشان داد. قطب نماها شکل دایره‌ای میدان مغناطیسی را نشان می‌دهند که سیم حامل جریان I را احاطه کرده است. (ب) وقتی جریان عبوری از سیم قطع شود، همه‌ی عقربه‌های مغناطیسی در امتداد میدان مغناطیسی زمین می‌ایستند.

برای تعیین جهت میدان مغناطیسی در اطراف یک سیم حامل جریان از قاعده‌ی دست راست استفاده می‌شود. بنابر این قاعده، اگر سیم را مطابق شکل ۴-۱۵ در دست راست خود بگیرید، به گونه‌ای که انگشت شست در جهت جریان الکتریکی باشد، جهت خم شدن چهار انگشت دست شما جهت خط‌های میدان مغناطیسی را در اطراف سیم حامل جریان نشان می‌دهد.

در مغناطیس بیش از الکتریسیته نیازمند درکی سه بعدی از فرایندها هستیم . مثلاً شکل ۴-۱۶ میدان مغناطیسی اطراف سیم حامل جریان I را نشان می‌دهد که تنها در چند محل این خط‌ها رسم شده‌اند.



شکل ۴-۱۶ خط‌های میدان در اطراف یک سیم بلند و مستقیم حامل جریان I

شکل ۴-۱۵ استفاده از قاعده‌ی دست راست برای تعیین جهت $\vec{B}$ در اطراف یک سیم بلند و مستقیم حامل جریان

هانس کریستین اورستد (۱۸۵۱-۱۷۷۷)، فیزیکدان دانمارکی، نوشته‌های شلینگ را درباره‌ی فلسفه‌ی طبیعت مطالعه کرد و خود او درباره‌ی موضوع‌های فلسفی مطالب بسیاری نوشت. اورستد در مقاله‌ای که به سال ۱۸۱۳ منتشر شد پیش‌بینی کرد که رابطه‌ای میان الکتریسیته و مغناطیس میتوان یافت. او در سال ۱۸۲۰ قطب‌نمایی را زیر یک سیم حامل جریان گذاشت و کشف کرد که یک میدان مغناطیسی جریان الکتریکی را احاطه می‌کند. در سال‌های بعد او نظر دانشمندان دیگر مبنی بر این که کشف او درباره‌ی الکترومغناطیس تصادفی بوده است، به شدت انکار کرد.

از آنجا که رسم تصویرهای سه بعدی دشوار است، تصاویر مورد نیاز را به صورت دو بعدی رسم می‌کنیم و هنگام رسم یا بررسی آن‌ها باید به قراردادهای استانداردی توجه داشته باشیم. در شکل ۴–۱۷ قراردادهای مورد استفاده برای بردارها و سیم‌های حامل جریان نشان داده شده است.

(الف) بردارها عمود بر صفحه
به طرف داخل

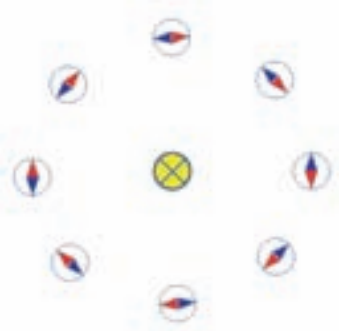
(ب) بردارها عمود بر صفحه
به طرف بیرون

(پ) سیم حامل جریان عمود بر صفحه
به طرف داخل

(ت) سیم حامل جریان عمود بر صفحه
به طرف بیرون

شکل ۴–۱۷ قراردادهایی که برای نمایش کمیت‌های برداری و سیم‌های حامل جریان به کار می‌رود.

با توجه به آنچه دیدیم اکنون درک درستی از شکل ۴–۱۸ داریم. این شکل سیم حامل جریانی را نشان می‌دهد که بر صفحه عمود و جهت جریان عبوری از آن به طرف داخل است. عقربه‌های مغناطیسی مماس بر امتداد جهت میدان مغناطیسی سیم می‌ایستند.



شکل ۴–۱۸ جریان به طرف داخل

پرسش ۴–۲

جهت میدان مغناطیسی در نقطه‌ی P ، نزدیک سیم حامل جریان I در شکل ۴–۱۹، چگونه است؟

شکل ۴–۱۹ سیم در صفحه قرار دارد و جهت جریان از چپ به راست است.

فعالیت عملی ۴–۳

آزمایشی طراحی کنید که به کمک آن بتوان طرحی از خط‌های میدان مغناطیسی در اطراف یک سیم بلند و مستقیم حامل جریان I تهیه کرد (شکل ۴–۲۰).

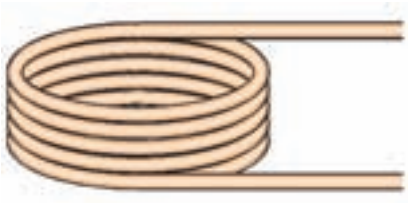
شکل ۴–۲۰ براده‌های آهن پاشیده شده روی ورقه‌ی مقوایی پیکربندی میدان مغناطیسی اطراف سیم بلند و مستقیم حامل جریان را نشان می‌دهد.

پیچه‌ها و سیملوله‌ها

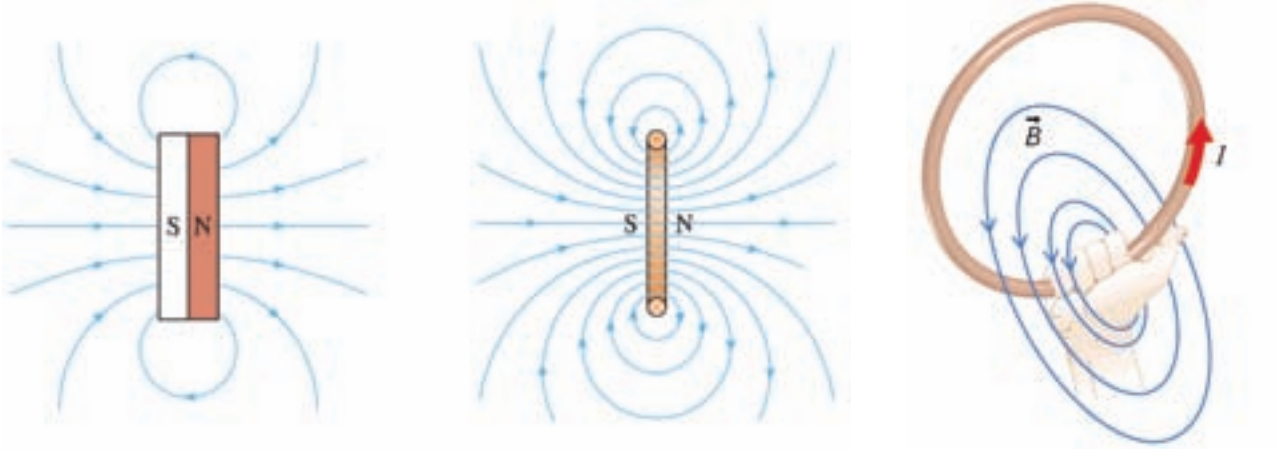
میدان مغناطیسی ایجاد شده توسط سیم مستقیمی که از آن جریان I می‌گذرد ضعیف است. بزرگی میدان مغناطیسی با پیچیدن سیم به صورت چندین حلقه و عبور جریان I از آن می‌تواند به میزان قابل توجهی افزایش یابد.

اگر سیمی مستقیمی را به صورت چندین حلقه‌ی فشرده به هم در آوریم به آن **پیچه** گفته می‌شود (شکل ۴-۲۱). با عبور جریان I از پیچه، میدان مغناطیسی نسبتاً بزرگی ایجاد می‌شود که هر حلقه‌ی پیچه در به وجود آمدن آن میدان نقش دارد.

جهت میدان $\vec{B}$ در پیچه‌ها نیز از قاعده‌ی دست راست تعیین می‌شود. طرح خط‌های میدان یک پیچه شبیه یک آهنربای تخت است (شکل ۴-۲۲).



شکل ۴-۲۱ پیچه از چندین دور سیم نازک به شکل حلقه تشکیل شده است که به هم فشرده‌اند.

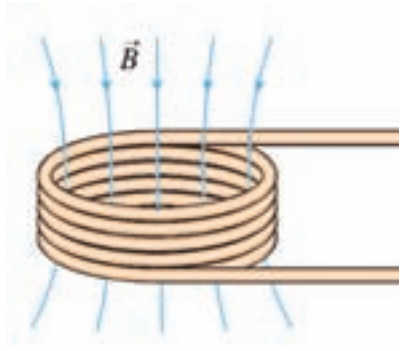


(پ) (ب) (الف)

شکل ۴-۲۲ (الف) نحوه‌ی پیدا کردن جهت میدان مغناطیسی یک پیچه به کمک قاعده‌ی دست راست. (ب) منظره‌ی خط‌های میدان مغناطیسی یک پیچه از رو به رو. این خط‌ها شبیه (پ) خط‌های میدان یک آهنربای تخت است که در بیرون آن تشکیل شده‌اند.

پرسش ۴-۳

خط‌های میدان $\vec{B}$ درون پیچه‌ای مطابق شکل ۴-۲۳ است. جهت جریان را در این پیچه تعیین کنید.



شکل ۴-۲۳ خط‌های میدان درون یک پیچه

شبیه‌سازی

- میدان مغناطیسی یک سیملوله‌ی واقعی
- اثر میدان مغناطیسی پیچه بر یک عقربه‌ی مغناطیسی

آزمایشگاه مجازی

- تصویربرداری MRI

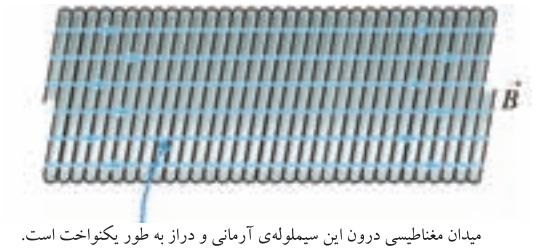
تصویربرداری MRI

روشی تشخیصی‌ای که MRI یا تصویربرداری تشدید مغناطیسی خوانده می‌شود به میدان مغناطیسی بزرگی در حدود ۱/۵ تسلا نیاز دارد. در یک روش نوعی MRI بیمار درون یک پیچه که میدان مغناطیسی قوی را تولید می‌کند دراز می‌کشد. جریان‌های مورد نیاز بسیار بزرگ هستند، در نتیجه پیچه‌ها را درون هلیوم مایع در دمای $-۲۹۶^{\circ}C$ فرو می‌برند تا از گرم شدن بیش از حد آن‌ها جلوگیری شود.

اکنون توجه خود را معطوف به وضعیت دیگری می‌کنیم که مربوط به میدان مغناطیسی حاصل از جریان در پیچه‌ای از سیم است که به شکل مارپیچ بلندی تنگ هم پیچیده شده‌اند. چنین پیچه‌ای، **سیملوله** خوانده می‌شود (شکل ۴-۲۴). طول سیملوله معمولاً بسیار بزرگ‌تر از قطر آن است.

شکل ۴-۲۵ خط‌های میدان مغناطیسی $\vec{B}$ را درون یک سیملوله آرمانی دراز نشان می‌دهد. میدان مغناطیسی درون این سیملوله و کمی دورتر از لبه‌های آن یکنواخت و بیرون آن صفر است.

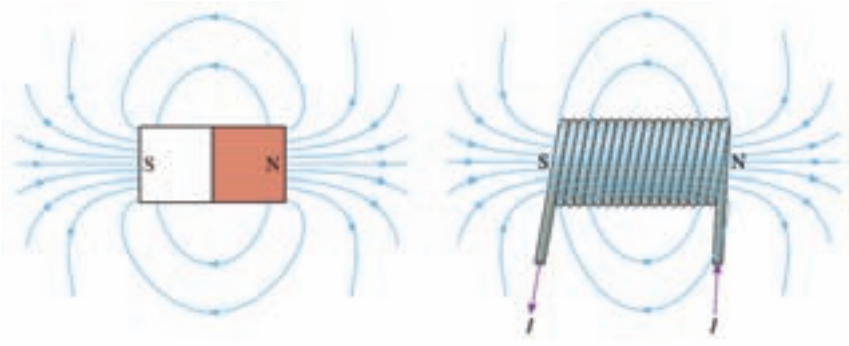
شکل ۴-۲۴ یک سیملوله که حاصل جریان I است.



میدان مغناطیسی درون این سیملوله‌ی آرمانی و دراز به طور یکنواخت است.

شکل ۴-۲۵ میدان یکنواخت $\vec{B}$ درون یک سیملوله‌ی آرمانی دراز که دورهای آن تنگ هم پیچیده شده‌اند.

خط‌های میدان مغناطیسی یک سیملوله‌ی واقعی به طول متناهی، درون آن تقریباً یکنواخت و بیرون آن ضعیف است. شکل ۴-۲۶ خط‌های میدان مغناطیسی یک سیملوله‌ی با طول متناهی را نشان می‌دهد که شبیه خط‌های میدان یک آهنربای میله‌ای است.

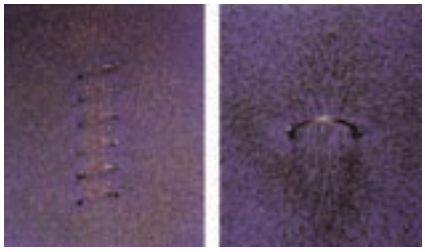


(ب) (الف)

شکل ۴-۲۶ (الف) خط‌های میدان مغناطیسی یک سیملوله‌ی واقعی به طول متناهی با خط‌های میدان (ب) یک آهنربای میله‌ای مشابه است

فعالیت عملی ۴-۴

آزمایشی طراحی کنید که به کمک آن بتوان طرحی از خط‌های میدان مغناطیسی در اطراف یک پیچه و یک سیملوله تهیه کرد (شکل ۴-۲۷).



شکل ۴-۲۷ براده‌های آهن پاشیده شده روی ورقه‌ی مقوایی پیکربندی میدان مغناطیسی اطراف (الف) یک پیچه و (ب) یک سیملوله‌ی حامل جریان را نشان می‌دهد.

آهنرباهای الکتریکی

اگر جریان در پیچه‌ی درازی که دور یک هسته‌ی آهنی پیچیده شده است شارش کند، یک میدان مغناطیسی قوی ایجاد می‌شود. پیچه‌ای که دور یک ماده‌ی مغناطیسی مانند آهن پیچیده شده است، **آهنربای الکتریکی** نامیده می‌شود. استفاده از آهنرباهای الکتریکی قدرتمند برای بلند کردن اتومبیل‌ها در اوراق فروشی‌ها متداول است.

فعالیت عملی ۴–۵

به کمک یک میخ، یک باتری و سیم روکش‌دار به سادگی می‌توانید یک آهنربای الکتریکی بسازید (شکل ۴–۲۸). با ساختن این آهنربا، نوک میخ را به براده‌های آهن یا سوزن‌های ته‌گرد نزدیک و نتیجه را گزارش کنید.

شکل ۴–۲۸ یک آهنربای الکتریکی ساده

پرسش ۴–۴

اگر در فعالیت ۴–۵ به جای یک باتری، از دو باتری استفاده کنید چه تغییری در نتیجه‌ی آزمایش رخ می‌دهد؟

۴–۵ تولید الکتریسیته

تا ۲۰۰ سال پیش، پیل‌های ولتایی تنها ابزارهای تولید جریان بودند که با حل فلزها در اسید، جریان‌های مختصری تولید می‌کردند (شکل ۴–۲۹).

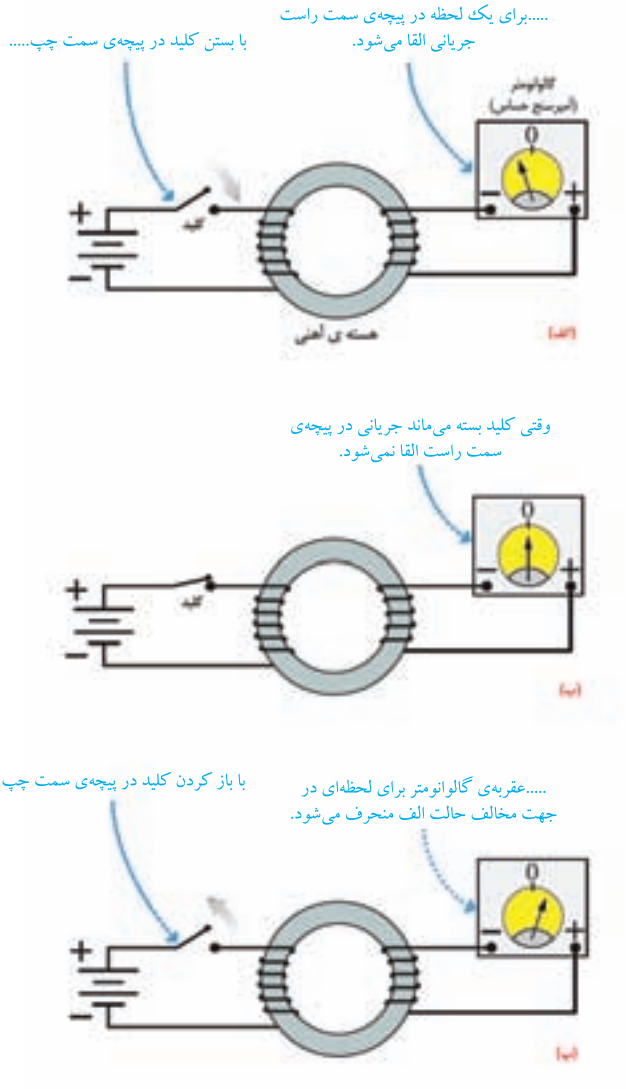
در سال ۱۸۲۰، اورستد دریافت که سیم‌های حامل جریان میدان مغناطیسی تولید می‌کنند. پس از آن ده‌ها دانشمند تلاش کردند به این پرسش پاسخ دهند که آیا می‌توان با استفاده از مغناطیس الکتریسیته تولید کرد؟ تا این که در سال ۱۸۳۱ جوزف هِنری، معلم علوم آمریکایی، برای نخستین بار کشف کرد که چگونه می‌توان از مغناطیس الکتریسیته تولید کرد. اما از آنجا که هنری تمام وقت خود را به تدریس و وظایف مربوط به آن صرف می‌کرد، فرصتی نداشت تا کشفی را که به عمل آورده بود، دنبال کند. تقریباً در همان زمان، مایکل فارادی در انگلستان به کشف مشابهی دست یافت و نتایج کار خود را منتشر کرد. از آن پس زندگی بشر وارد دوران جدیدی شد و روز به روز الکتریسیته جنبه‌های بیش‌تری از زندگی بشر را در سیطره‌ی خود در آورد. و این یعنی نقش بی‌همتای فیزیک در زندگی بشر!

شکل ۴–۲۹ پیل‌های ولتایی طلایه‌داران باتری‌های امروزی بودند.

کشف فارادی

کشف فارادی در سال ۱۸۳۱ میلادی، مشابه کشف اورستد، تا حدی تصادفی بود. او با دو سیم پیچ که به دور یک حلقه‌ی آهنی پیچیده بود آزمایش‌هایی انجام داد. فارادی در یکی از آزمایش‌ها ملاحظه کرد که وقتی کلید بسته می‌شود (شکل ۴-۳۰ الف)، برای لحظه‌ای کوتاه جریانی در پیچه‌ی سمت راست القا شده و در نتیجه عقربه‌ی گالوانومتر[1] منحرف می‌شود.

او همچنین مشاهده کرد وقتی کلید بسته می‌ماند (شکل ۴-۳۰ ب)، عقربه‌ی گالوانومتر روی صفر می‌ایستد و هیچ جریانی را نشان نمی‌دهد. اما آنچه باعث شگفتی بیش‌تر فارادی شد این بود که با باز کردن کلید (شکل ۴-۳۰ پ)، دوباره برای لحظه‌ای کوتاه جریانی در پیچه سمت راست القا و عقربه‌ی گالوانومتر در خلاف جهت اول منحرف می‌شد.



شکل ۴-۳۰ کشف القای الکترومغناطیسی فارادی.

۱- گالوانومتر، وسیله‌ای برای اندازه‌گیری جریان‌های در حدود میکروآمپر است.

مایکل فارادی (۱۸۶۷-۱۷۹۱)

پسر یک آهنگر انگلیسی بود. به گفته‌ی خود او: «تحصیلات من بسیار معمولی بود. خواندن را کمی بیش‌تر از حد مقدماتی و نوشتن و ریاضیات را در حد شاگرد یک مدرسه‌ی روزانه می‌دانستم. ساعت‌های خارج از مدرسه‌ی من در خانه و خیابان‌ها می‌گذشت.» او در سن ۱۲ سالگی به عنوان شاگرد در یک کتاب فروشی مشغول به کار شد. پس از آن با یک صحاف همکاری داشت.

فارادی ۱۹ ساله بود که به او اجازه داده شد تا در جلسه‌ی سخنرانی سِر همفری دیوی که در مؤسسه‌ی سلطنتی لندن برگزار می‌شد، حضور یابد. مؤسسه‌ی سلطنتی یک مرکز مهم پژوهش و آموزش علوم بود. فارادی به شدت علاقه‌مند علوم شد و پیش خود به تحصیل علم شیمی پرداخت. در سال ۱۸۱۳ تقاضای شغلی در مؤسسه‌ی سلطنتی کرد و دیوی او را به عنوان یک همکار در امور پژوهشی استخدام کرد.

فارادی به زودی نبوغ خود را به عنوان یک آزمایشگر نشان داد. او مقاله‌های مهمی در شیمی، خواص مغناطیسی، الکتریسیته و نور نوشت و سرانجام به عنوان رئیس مؤسسه‌ی سلطنتی برگزیده شد. فارادی را به سبب کشف‌های بسیارش یکی از بزرگ‌ترین دانشمندان تجربی می‌دانند.

خلاصه‌ی نتیجه کار فارادی به این شرح است:

تنها در صورتی در یک پیچه جریان القا می‌شود که میدان مغناطیسی در محل پیچه تغییر کند.

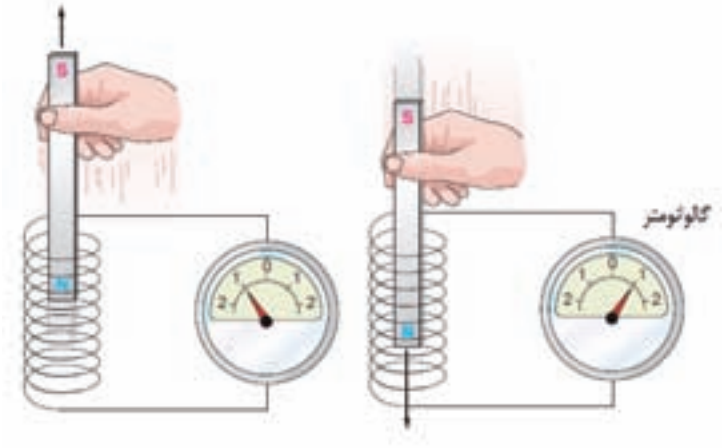
این عبارت بیانی ساده **از قانون القای الکترومغناطیسی فارادی** و یا به اختصار **قانون فارادی** است که نقشی بسیار شگرف در زندگی بشر ایفا کرده است.

بیش‌تر بدانید

- آهنرباهای الکتریکی ابررسانا
- اساس کار گیتارهای برقی
- سنجه‌های الکتریکی

فعالیت عملی ۴-۶

فارادی به روش ساده‌تری نیز آزمایشی برای بررسی پدیده‌ی القای الکترومغناطیسی انجام داد. او دو سر پیچه‌ای را به یک گالوانومتر بست و یک آهنربای میله‌ای را از طرف یکی از قطب‌های آن، مثلاً قطب N، وارد پیچه کرد و دوباره مشاهده کرد که عقربه‌ی گالوانومتر در حین ورود و خروج آهنربا منحرف می‌شود (شکل ۴-۳۱). شما نیز با تهیه‌ی وسایل مورد نیاز، این آزمایش را انجام دهید و به جهت حرکت عقربه‌ی گالوانومتر در حین ورود و خروج آهنربا به درون پیچه توجه کنید. در حالتی که آهنربا نسبت به پیچه ساکن است، عدم حرکت عقربه‌ی گالوانومتر را ملاحظه کنید.



شکل ۴-۳۱ ورود و خروج آهنربا به درون پیچه جریانی در آن القا می‌کند.

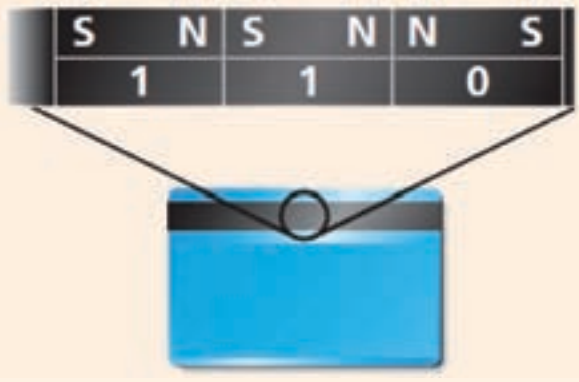
پرسش ۴-۵

در شکل ۴-۳۱، اگر آهنربا ثابت باشد و پیچه نسبت به آن حرکت کند، آیا باز هم در پیچه جریانی القا می‌شود؟ برای تأیید پاسخ خود به این پرسش، آزمایش کنید.

مطالعه‌ی آزاد

کارت‌های اعتباری و دستگاه‌های کارت خوان

نوار مغناطیسی پشت کارت‌های اعتباری حاوی میلیون‌ها ذره‌ی مغناطیسی (آهنربای بسیار کوچک) است که نوعی چسب صمغ آن‌ها را به هم متصل می‌کند. داده‌ها را که به صورت دو دویی، با صفر و یک به رمز در آورده‌اند، در این ذره‌های مغناطیسی ذخیره می‌کنند (شکل الف). وقتی کارت اعتباری شما درون دستگاه کارت خوان کشیده می‌شود، میدان مغناطیسی ناشی از ذره‌های مغناطیسی، روی پیچه‌ی تعبیه شده در دستگاه کارت خوان اثر می‌گذارد و جریان اندکی را در آن القا می‌کنند (شکل ب). این جریان بسیار کوچک توسط دستگاه دیگری تقویت و داده‌های ذخیره شده در آن رمزگشایی می‌شود. پس از رمز گشایی داده‌ها، دستور مورد نظر صورت می‌گیرد.



(الف) هر ذره‌ی مغناطیسی، که در واقع یک آهنربای بسیار کوچک است، یک داده را به صورت صفر یا یک در خود ذخیره می‌کند. در نوار مغناطیسی پشت هر کارت میلیون‌ها ذره‌ی مغناطیسی قرار دارد.

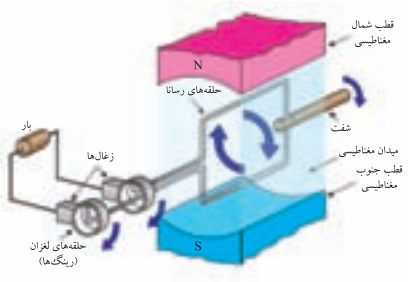
(ب) با کشیدن کارت، میدان مغناطیسی ناشی از ذره‌های مغناطیسی جریان اندکی در پیچه‌ی تعبیه شده در دستگاه کارت خوان القا می‌کنند.

مولدهای الکتریسیته و جریان متناوب

در سال ۱۸۸۰ میلادی بحث‌های داغ و تندی بین دو مخترع در مورد بهترین روش توزیع برق صورت گرفت. توماس ادیسون موافق جریان مستقیم، معینی جریانی که با زمان تغییر نمی‌کند، بود. در حالی که جرج وستینگهاوس از جریان متناوب حمایت می‌کرد که در آن ولتاژها و جریان به طور سینوسی نسبت به زمان تغییر می‌کنند.

وستینگهاوس معتقد بود که مبدل‌ها (که در پایان همین بخش بررسی خواهند شد) می‌توانند برای بالا بردن و پایین آوردن ولتاژ جریان متناوب مورد استفاده قرار گیرند. سرانجام وستینگهاوس پیروز شد و بیش‌تر وسایل خانگی، صنعتی وسامانه‌های توزیع برق با جریان متناوب کار می‌کنند.

به جهت اهمیت نحوه‌ی تولید جریان متناوب و آشنایی بیش‌تر با جزئیات آن، به شکل ۴-۳۲ که اجزای یک مولد ساده‌ی جریان متناوب را نشان می‌دهد، توجه کنید. با چرخیدن حلقه‌ی رسانا (یا پیچه) درون میدان مغناطیسی، جریانی در آن القا می‌شود که جهت آن به طور پی در پی تغییر می‌کند. به همین دلیل این نوع جریان، جریان متناوب (ac) نامیده می‌شود.

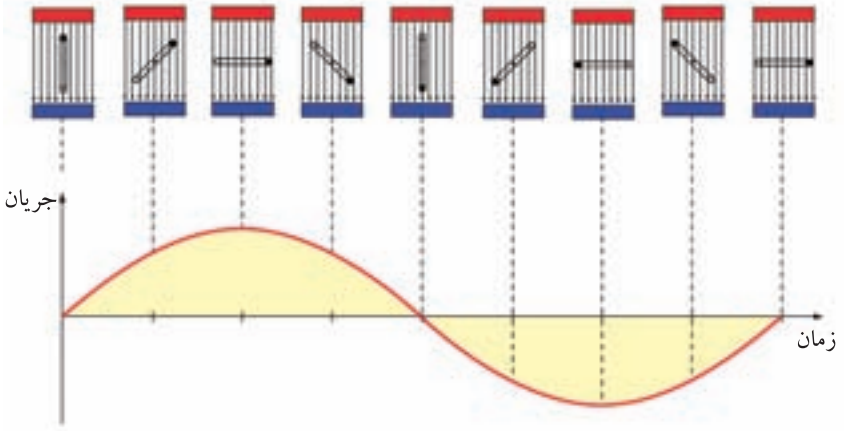


شکل ۴-۳۲ اجزای مولد (ژنراتور) ساده‌ی جریان متناوب (ca) حرکت مکانیکی از طریق شفت، سبب چرخیدن حلقه درون میدان مغناطیسی می‌شود و جریان متناوبی را در مدار برقرار می‌کند.

شبیه‌سازی

- مولد الکتریکی
- تاریخچه‌ی الکتریسیته و مغناطیسی

نمودار شکل ۴–۳۳ نشان می‌دهد که اندازه و جهت جریان متناوب چگونه با زمان تغییر می‌کند. همان‌طور که دیده می‌شود هنگامی که سطح حلقه با خط‌های میدان مغناطیسی در یک امتداد است، یعنی موازی است، جریانی القایی صفر و هنگامی که سطح حلقه بر خط‌های میدان مغناطیسی عمود باشد، جریان القایی بیشینه است.



شکل ۴–۳۳ نمودار جریان بر حسب زمان در یک مولد (ژنراتور) جریان متناوب.

در نیروگاه‌های تولید برق، برای ایجاد جریان متناوب از مولدهای مخصوصی استفاده می‌شود که به آن‌ها **مولدهای صنعتی جریان متناوب** گفته می‌شود. در مولدهای صنعتی، پیچه‌ها ساکن‌اند و آهنرباهای الکتریکی که با جریان مستقیم کار می‌کنند درون آن‌ها می‌چرخند (شکل ۴–۳۴).

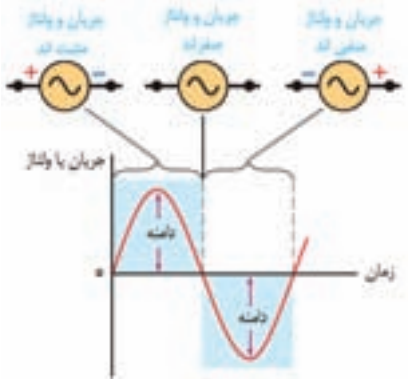
بسامد (فرکانس) برق تولید شده در نیروگاه‌های تولید برق در ایران ۵۰ هرتز (۵۰ Hz) است و این بدان معناست که آهنربای الکتریکی در هر ثانیه، ۵۰ مرتبه درون سیم‌پیچ می‌چرخد.

(ب) (الف)

شکل ۴–۳۴ (الف) در مولدهای صنعتی، با چرخیدن آهنربای الکتریکی درون پیچه‌ها، جریان متناوب تولید می‌شود. (ب) نمایی از مولدهای صنعتی تولید برق.

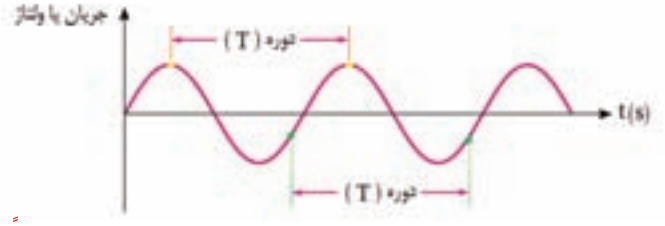
ویژگی‌های جریان متناوب سینوسی

اگر چه جریان متناوب می‌تواند شکل‌های متنوعی داشته باشد، ولی متداول‌ترین نوع آن همان است که شرکت‌های تولید برق فراهم می‌کنند و به جهت شباهت با یک موج سینوسی، **جریان متناوب سینوسی** نامیده می‌شود (شکل ۴–۳۵).



شکل ۴–۳۵ تغییرات ولتاژ و جریان دو سر یک مولد جریان متناوب سینوسی.

دوره‌ی تناوب: دوره‌ی تناوب، زمان یک چرخه کامل است و آن‌را با حرف T نمایش می‌دهند (شکل ۴–۳۶). این کمیت همواره مثبت است و یکای آن در SI، ثانیه است اما گاهی بر حسب «ثانیه بر چرخه» نیز بیان می‌شود.



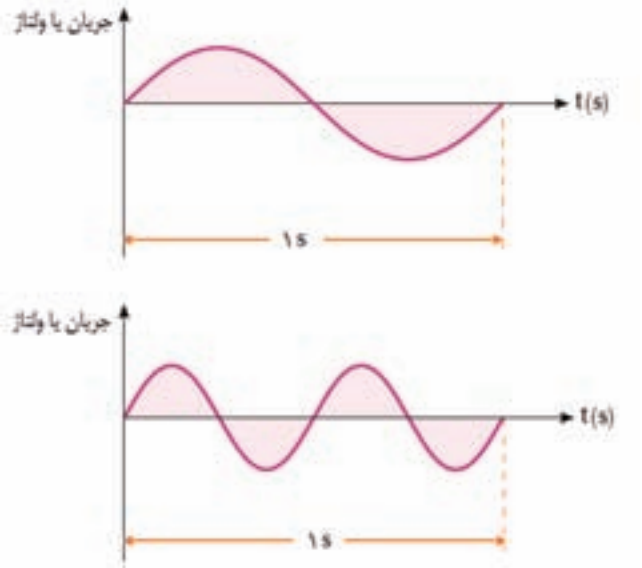
شکل ۴–۳۶ مدت زمانی که موج سینوسی از دو نقطه‌ی مشابه متوالی (مثلاً دو بیشینه‌ی مثبت متوالی) می‌گذرد، برابر دوره‌ی تناوب است.

بسامد (فرکانس): بسامد، f، تعداد چرخه‌ها در یکای زمان است و در واقع برابر عکس دوره‌ی تناوب است. یعنی:

$$f = \frac{1}{T} \qquad (۱–۴)$$

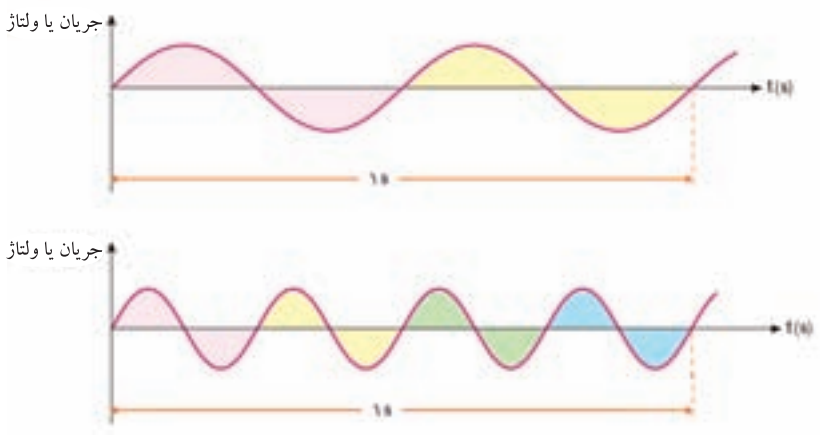
بسامد نیز، کمیتی است همواره مثبت و یکای آن در SI عکس ثانیه (s^{-1}) است که هرتز (Hz) نامیده می‌شود.

شکل ۴–۳۷ دو موج با دامنه‌ی یکسان ولی بسامد متفاوت را نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود یکی از موج‌ها در مدت 1s، یک چرخه‌ی کامل و موج دیگر در همین مدت، ۲ چرخه‌ی پیموده است. به این ترتیب بسامد موج اول 1Hz و بسامد موج دوم 2Hz است.



شکل ۴–۳۷ دو موج سینوسی با بسامد متفاوت و دامنه‌ی یکسان. بسامد موج پایینی دو برابر بسامد موج بالایی است.

بسامد و دوره‌ی تناوب هر یک از موج‌های سینوسی شکل ۴-۳۸ را پیدا کنید.

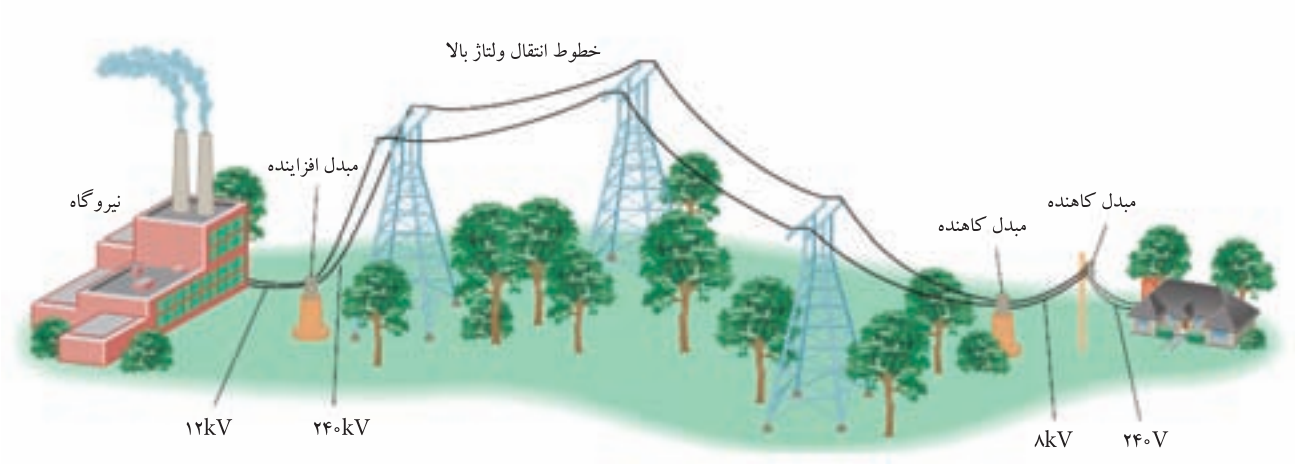


شکل ۴-۳۸

مبدل‌ها

یکی از برتری‌هایی که جریان ac بر جریان dc دارد در این است که ولتاژ جریان‌های ac را به راحتی می‌توان به هر میزان افزایش یا کاهش داد. این موضوع هنگام انتقال انرژی الکتریکی از نیروگاه‌ها به محل مصرف اهمیت حیاتی دارد. زیرا با افزایش ولتاژ می‌توان میزان اتلاف انرژی را در خط‌های انتقال به میزان زیادی کاهش داد(شکل ۴-۳۹).

مبدل، وسیله‌ای است که برای تغییر ولتاژ منبع ac مورد استفاده قرار می‌گیرد. اگر مبدل ولتاژ را کاهش دهد، **مبدل کاهنده** و اگر ولتاژ را افزایش دهد، **مبدل افزاینده** نامیده می‌شود. مبدل‌ها فقط می‌توانند ولتاژهای ac را تغییر دهند و قادر به تغییر ولتاژهای dc نیستند.



شکل ۴-۳۹ انرژی الکتریکی در نیروگاه برق تولید می‌شود. قبل از این که جریان الکتریکی، نیروگاه برق را ترک کند مبدل‌های افزاینده ولتاژ را تا حدود ۴۰۰ کیلو ولت افزایش می‌دهند. در انتهای راه مبدل‌های کاهنده ، ولتاژ را کاهش می‌دهند تا با امنیت بیش‌تر به خانه‌ها برسد.

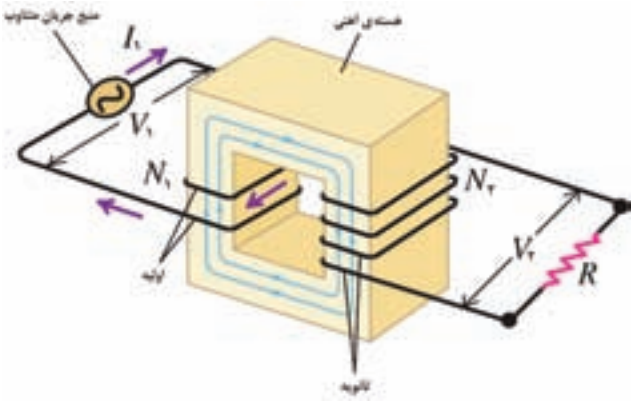
یک آداپتور رایانه‌ی کیفی یا گوشی تلفن همراه، ولتاژ ۲۲۰ ولت برق شهر را به ولتاژ کم dc تبدیل می‌کند.

در واقع هر آداپتور شامل یک مبدل کاهنده و مداری شامل چهار دیود و خازن است که ولتاژ ac را به dc تبدیل می‌کند.

مبدل آرمانی شکل ۴-۴۰ شامل دو پیچه با تعداد دورهای متفاوت است که به دور یک هسته‌ی آهنی پیچیده شده‌اند. (پیچه‌ها نسبت به هسته عایق‌بندی شده‌اند.) در عمل پیچه‌ی اولیه با N_1 دور به یک مولد جریان متناوب بسته شده است که ولتاژ آن V_1 است. پیچه‌ی ثانویه با N_2 دور به مصرف کننده‌ای (مقاومت R) وصل شده است که ولتاژ V_2 به دو سر آن اعمال می‌شود. برای مبدل‌های آرمانی که مقاومت پیچه‌های آن صفر فرض می‌شود، داریم:

$$\frac{V_2}{V_1}=\frac{N_2}{N_1} \qquad (۲-۴)$$

بنابراین با انتخاب نسبت مناسب $\frac{N_2}{N_1}$ می‌توان هر ولتاژ دلخواه ثانویه را به ازای ولتاژ اولیه‌ی معین به دست آورد.



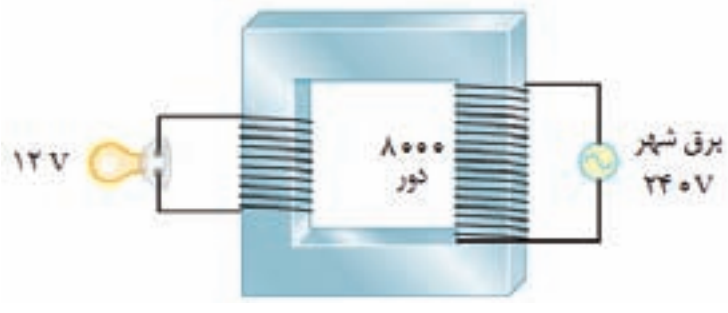
شکل ۴-۴۰ یک مبدل آرمانی شامل دو پیچه‌ی بدون مقاومت که روی یک هسته‌ی آهنی پیچیده شده‌اند.

مثال ۴-۱

شکل ۴-۴۱ یک مبدل ۲۴۰ ولت به ۱۲ ولت را نشان می‌دهد. تعداد دورهای ثانویه را به دست آورید.

حل: با توجه به رابطه‌ی ۴-۲ داریم:

$$\frac{V_2}{V_1}=\frac{N_2}{N_1} \Rightarrow \frac{12\,\mathrm{V}}{240\,\mathrm{V}}=\frac{N_2}{800} \Rightarrow N_2=40 \text{ دور}$$



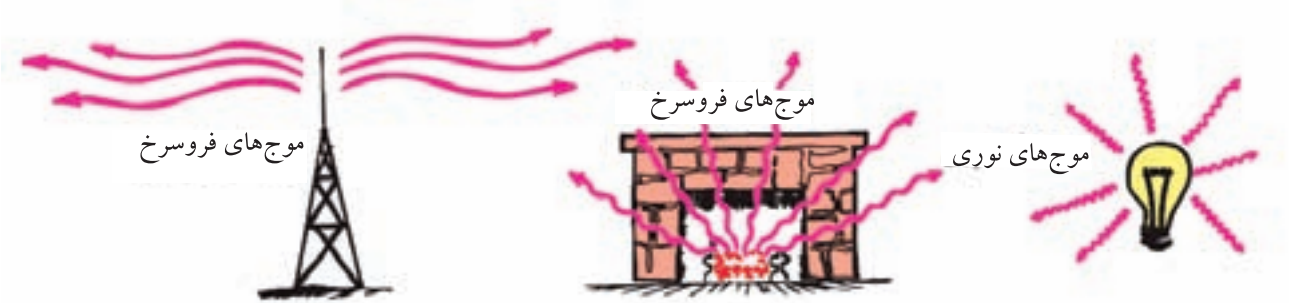
شکل ۴-۴۱

۴-۶ موج‌های الکترومغناطیسی

نور تنها چیزی است که می‌بینیم. اما خود نور چیست؟ این پرسش قرن‌های متمادی توسط بشر پرسیده شده است ولی تا وقتی که در نیمه‌ی دوم قرن نوزدهم، الکتریسیته و مغناطیس توسط جیمز کلارک ماکسول دانشمند اسکاتلندی با یکدیگر ادغام شدند پاسخی برای آن وجود نداشت. ماکسول با ادغام الکتریسیته و مغناطیس، علم جدیدی را به نام **الکترومغناطیس** بنا نهاد و نشان داد که نور پدیده‌ای الکترومغناطیسی است (شکل ۴-۴۲).

شبیه‌سازی

■ تولید موج‌های الکترومغناطیسی



(پ) (ب) (الف)

شکل ۴-۴۲ (الف) نور گسیل شده از یک رشته‌ی فروزان لامپ نمونه‌ای از یک موج الکترومغناطیسی است. (ب) آتش افروخته علاوه بر نور، موج‌های فرو سرخ نیز گسیل می‌کند. (پ) آنتن‌های رادیویی و تلویزیونی با تابش موج‌های الکترومغناطیسی اطلاعات را در فضا پخش می‌کنند.

تولید موج‌های الکترومغناطیسی

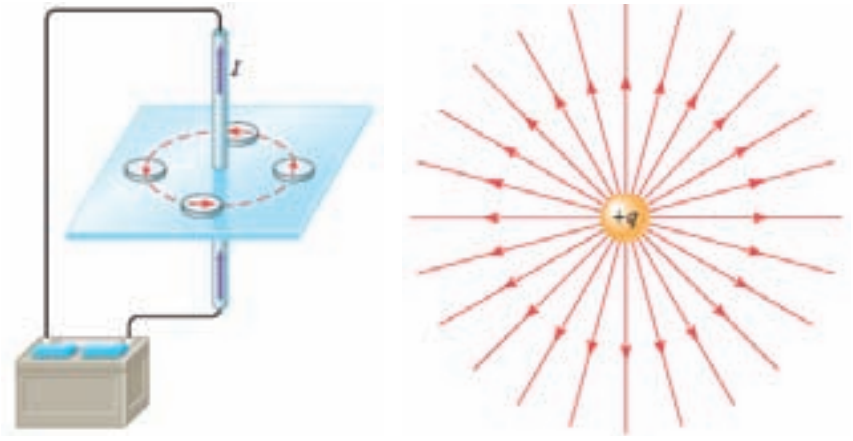
تا اینجا جنبه‌های مختلفی از میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی را مطالعه کردیم. فرا گرفتیم که در اطراف یک جسم باردار ساکن، میدان الکتریکی و در اطراف یک سیم حامل جریان ثابت I میدان مغناطیسی وجود دارد (شکل ۴-۴۳).

شبیه‌سازی

■ تولید موج‌های الکترومغناطیسی

آزمایشگاه مجازی

■ آنتن



(ب) (الف)

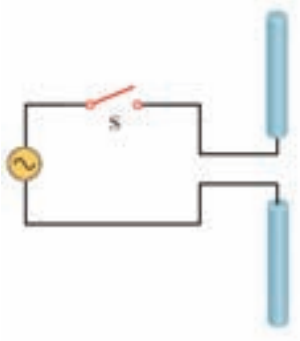
شکل ۴-۴۳ (الف) میدان الکتریکی در اطراف یک بار الکتریکی ساکن و (ب) میدان مغناطیسی در اطراف یک سیم حامل جریان ثابت.

اکنون فرض کنید جسم باردار ساکن در شکل ۴–۴۳ الف در مکان خود شروع به ارتعاش کند و یا جریانی که از مدار شکل ۴–۴۳ ب می‌گذرد ثابت نباشد و نسبت به زمان تغییر کند، در این صورت آزمایش نشان می‌دهد که در فضای اطراف آن‌ها اغتشاشی به وجود می‌آید که ویژگی‌های یک موج را خواهد داشت. از آن‌جا که جنس این موج ترکیبی از میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی است، آن‌را **موج الکترومغناطیسی** می‌نامند. شکل ۴–۴۴ ساده‌ترین روش را برای تولید یک موج الکترومغناطیسی نشان می‌دهد.

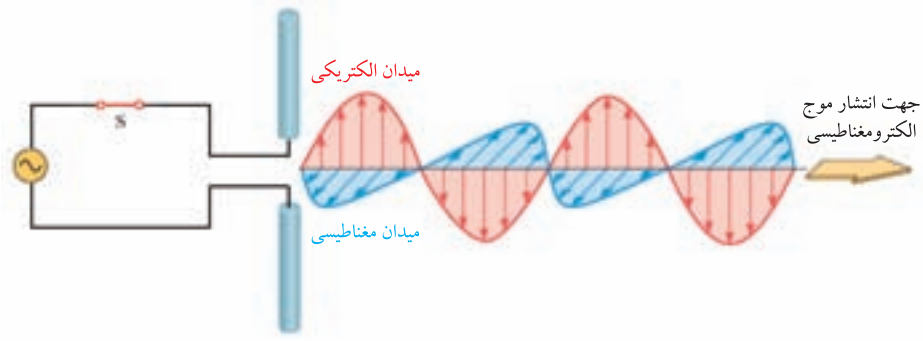
شکل ۴–۴۴ چنان‌چه میله‌ی بارداری را در فضا به طور پیوسته و به سرعت تکان دهید (یعنی میله‌ی باردار را به طور رفت و برگشتی و سریع به حرکت در آورید) در اطراف آن موج‌های الکترومغناطیسی تولید خواهید کرد.

شکل ۴–۴۵ ساختمان یک آنتن ساده را نشان می‌دهد که برای تولید موج‌های الکترومغناطیسی از آن استفاده می‌کنند. در این آنتن، یک منبع جریان متناوب از طریق سیم‌های رابط به دو میله‌ی رسانای در امتداد یکدیگر وصل شده است.

با بستن کلید S در آنتن شکل ۴–۴۵، در هر یک از میله‌ها جریانی برقرار می‌شود که جهت و مقدار آن به طور مداوم تغییر می‌کند. این عمل باعث می‌شود که در فضای اطراف آنتن موج‌های الکترومغناطیسی تولید شود (شکل ۴–۴۶).



شکل ۴–۴۵



شکل ۴–۴۶ تولید موج الکترومغناطیسی در یک آنتن ساده. میدان‌های الکتریکی و میدان‌های مغناطیسی بر یکدیگر و بر جهت انتشار موج عمودند.

زندگینامه

جیمز کلارک ماکسول (۱۸۷۹–۱۸۳۱)، دانشمند اسکاتلندی اولین کسی بود که به درستی سرشت و ماهیت بنیادی نور را درک کرد. او سهم عمده‌ای نیز در فیزیک گرما، اخترشناسی و عکاسی رنگی دارد. آلبرت اینشتین دستاوردهای ماکسول را به صورت «ژرف‌ترین و پرثمرترین تجربه‌ای که فیزیک از زمان نیوتون داشته است» توصیف می‌کرد.

سرعت موج‌های الکترومغناطیسی

وقتی صحبت می‌کنیم، موج‌های صوتی تولید شده توسط تارهای صوتی ما ذره‌های هوا را به ارتعاش درآورده و موج صوتی را در هوا پخش می‌کند. همان‌طور که در دوره‌ی راهنمایی دیدیم، موج صوتی، نوعی موج مکانیکی است و برای انتشار نیاز به محیط مادی دارد ولی یک موج الکترومغناطیسی به طرز شگفت‌انگیزی متفاوت است، چرا که برای حرکت خود به محیط مادی نیاز ندارد. در واقع اگرچه این موج‌ها می‌توانند در محیط‌هایی مانند هوا یا شیشه حرکت کنند، با این حال می‌توانند در فضای خلاء بین یک ستاره و ما نیز در حرکت باشند.

آزمایش نشان می‌دهد که موج‌های الکترومغناطیسی در خلأ با سرعت تقریباً $c = ۳\times ۱۰^{۸}\,m/s$ حرکت می‌کنند. سرعت این موج‌ها در محیط‌های مادی کمتر از این مقدار است و به جنس محیط مادی بستگی دارد. برای مثال، سرعت نور (که نوعی موج الکترومغناطیسی است) در یک قطعه‌ی شیشه‌ای با ضریب شکست $n = ۱/۵$ برابر است با:

$$v = \frac{c}{n} = \frac{۳\times ۱۰^{۸}}{۱/۵} = ۲\times ۱۰^{۸}\,m/s$$

با این موضوع در فصل پایانی فیزیک (۱) و آزمایشگاه آشنا شدیم!

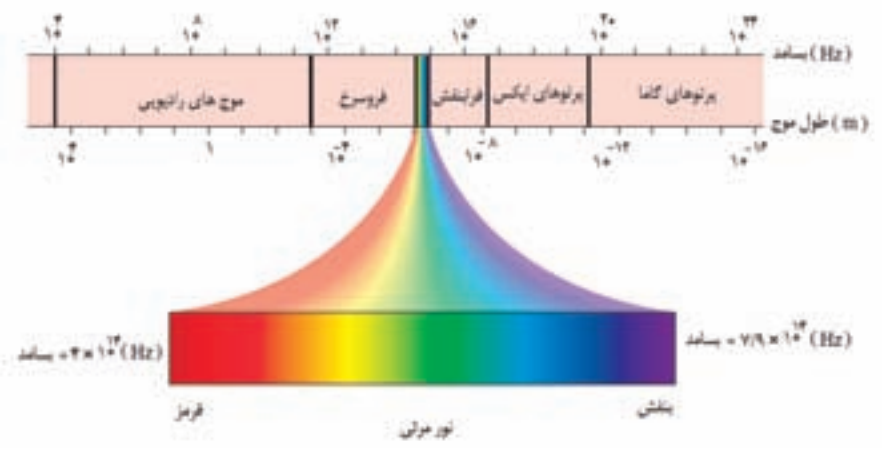
طیف الکترومغناطیسی

هر موج الکترومغناطیسی دارای بسامد f و طول موجی λ است که از طریق رابطه‌ی زیر به سرعت انتشار موج مرتبط می‌شوند:

$$v = f\lambda \qquad (۳-۴)$$

اگر موج در خلأ منتشر شود، $v = c$ و آنگاه داریم $c = f\lambda$.

طیف الکترومغناطیسی موج‌های الکترو مغناطیسی همه‌ی بسامدها و طول موج‌ها را در بر می‌گیرد. شکل ۴-۴۷ گستره‌ی تقریبی طول موج و بسامد را برای بیش‌تر بخش طیف الکترومغناطیسی نشان می‌دهد.



شکل ۴-۴۷ طیف الکترومغناطیسی گستره‌ی پیوسته‌ای از موج‌هایی است که از موج‌های رادیویی تا پرتوهای گاما گسترش یافته‌اند. نام‌های مورد استفاده در این بخش‌ها صرفاً یک طبقه‌بندی تاریخی است، زیرا ماهیت تمام موج‌ها یکی است و فقط بسامد و طول موج آن‌ها با هم متفاوت است و همه‌ی آن‌ها با یک سرعت حرکت می‌کنند.

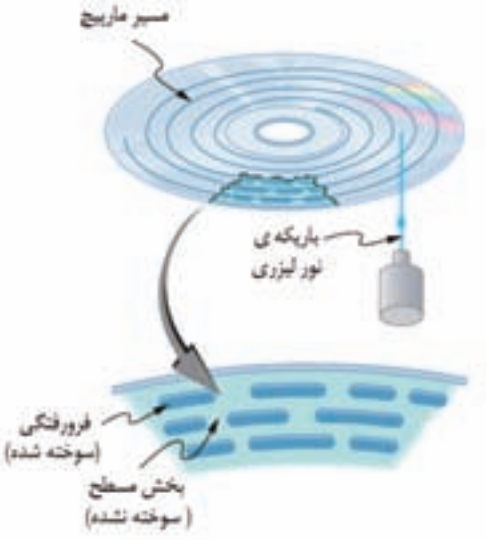
چشـــم ما فقط می‌تواند بخش بســـیار کوچکی از طیف الکترومغناطیسی را به طور مســـتقیم با احساس دیدن آشکار کند. این گستره را **نور مرئی** می‌نامیم. طول موج‌های این گســـتره از حدود ۳۸۰ تا ۷۵۰ mm هســـتند که متناظر با بســـامدهای $۷/۹\times۱۰^{۱۴}$ تا ۴×۱۰^{۱۴} Hz اســـت. قســـمت‌های متفاوت طیف مرئی در انسان احساس رنگ‌های مختلف را بر می‌انگیزد. طول موج‌های تقریبی مربوط به رنگ‌ها در طیف مرئی در جدول ۴–۱ داده شده‌اند[۱].

جدول ۴–۱ طول موج‌های نور مرئی

بنفش	۳۸۰ تا ۴۵۰mm
آبی	۴۵۰ تا ۴۹۵mm
سبز	۴۹۵ تا ۵۷۰mm
زرد	۵۷۰ تا ۵۹۰mm
نارنجی	۵۹۰ تا ۶۲۰mm
قرمز	۶۲۰ تا ۷۵۰mm

ثبت و پخش اطلاعات به کمک نور

دستگاه‌های ثبت (نوشتن) و پخش (خواندن) دیجیتالی از یک باریکه‌ی نور لیزری بهره می‌گیرند که طول موج آن‌ها می‌تواند در نواحی خاصی از طیف الکترومغناطیسی باشد. میلیاردها بیت اطلاعات که به صورت دیجیتالی درآمده‌اند، روی سطح بازتابنده‌ای که پوشش محافظی از پلاستیک شفاف دارد، توسط یک باریکه‌ی نور لیزری نوشته یا خوانده می‌شود. شکل ۴–۴۸ منظره‌ی میکروسکوپی فرورفتگی‌های موجود روی یک لوح فشرده را نشان می‌دهد.



شکل ۴–۴۸ هر فرورفتگی یا بخش مسطح مجاور آن روی مسیر مارپیچ، متناظر با یک بیت اطلاعات است که روی سطح بازتابنده به رمز در آمده‌اند.

دید فرابنفش

بســـیاری از حشـــرات و پرنـــدگان می‌تواننـــد طول موج‌هـــای فرابنفش را که انسان نمی‌تواند ببیند مشاهده کنند. به طور مثال، تصویر طرف چپ نشان می‌دهد که چگونه یک گل بـــه نظر ما می‌آید. تصویر طرف راست که با یک دوربین حساس به فرابنفش گرفته شده اســـت نشان می‌دهد که چگونه همین گل‌ها توســـط زنبورهایی که روی آن‌ها گرده افشـــانی می‌کنند دیده می‌شـــود. به لکه‌ی مرکزی بیـــرون زده که برای چشم انسان نامرئی است توجه کنید. به همین ترتیب، بسیاری از پرندگان با دید فرابنفش، از جمله مرغ‌های عشق، طوطی‌ها و طاووس‌هـــا، روی بـــدن خود نقش‌هایی فرابنفـــش دارند که آن‌هـــا را برای یکدیگر بیش‌تر از ما آشکار می‌کنند.

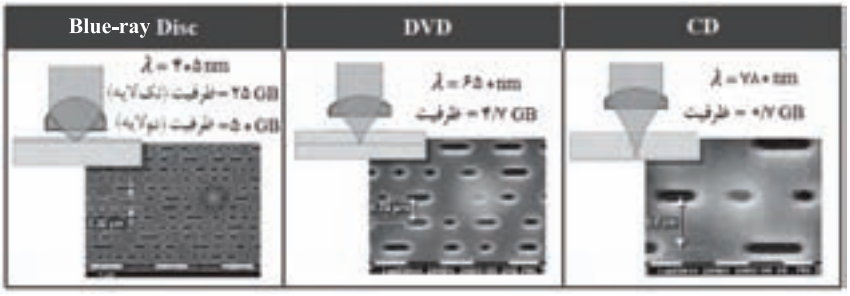
۱. نیازی به حفظ کردن این اعداد نیست.

وقتی نور لیزر بر بخش مسطح سطح بازتابنده فرود می‌آید، مستقیماً به حسگر نوری دستگاه پخش باز می‌تابد و یک علامت «روشن» تولید می‌کند. ولی وقتی باریکه‌ی فرودی از فرورفتگی‌ها می‌گذرد، مقدار بسیار اندکی از باریکه‌ی لیزر فرودی به حسگر نوری بر می‌گردد و در نتیجه یک علامت «خاموش» تولید می‌کند. تولید علامت‌های «روشن» و «خاموش» نظام دو دویی را به وجود می‌آورند که مبنای ثبت اطلاعات به صورت دیجیتالی محسوب می‌شود.

برای نوشتن یا خواندن اطلاعات روی لوح‌های فشرده (CD) از لیزرهایی با طول موج ۷۸۰nm استفاده می‌شود که در ناحیه‌ی فروسرخ طیف الکترومغناطیسی قرار دارد (شکل ۴۰–۴۹ الف). روی این لوح‌های فشرده حداکثر می‌توان تا ۷۰۰ مگابایت (۵۶۰۰ میلیون بیت) اطلاعات ذخیره کرد.

ظرفیت ذخیره‌سازی لوح‌های ویدئویی دیجیتالی (DVD) می‌توان ۴/۷ گیگا بایت (حدود ۳۸ میلیارد بیت) باشد. از آن‌جا که برای نوشتن یا خواندن اطلاعات روی DVDها از لیزرهایی با طول موج ۶۵۰nm استفاده می‌شود، فرورفتگی‌ها و بخش‌های مسطح کوچک‌ترند (شکل ۴–۴۹ ب).

امروزه لوح‌های فشرده‌ای با نام blue-ray به بازار عرضه شده است که با لیزر آبی با طول موج ۴۰۵nm قادر به نوشتن و خواندن اطلاعات هستند. ظرفیت این لوح‌های فشرده می‌تواند تا ۲۵ گیگابایت (نزدیک به ۲۰۰ میلیارد بیت) باشد (شکل ۴–۴۹ پ).



(پ) (ب) (الف)

شکل ۴–۴۹ نوشتن و خواندن اطلاعات روی یک سطح بازتابنده. هرچه طول موج نور لیزری که به این منظور به کار می‌رود کمتر باشد، حجم بیش‌تری از اطلاعات را می‌توان روی سطح بازتابنده ثبت کرد.

بلوتوث

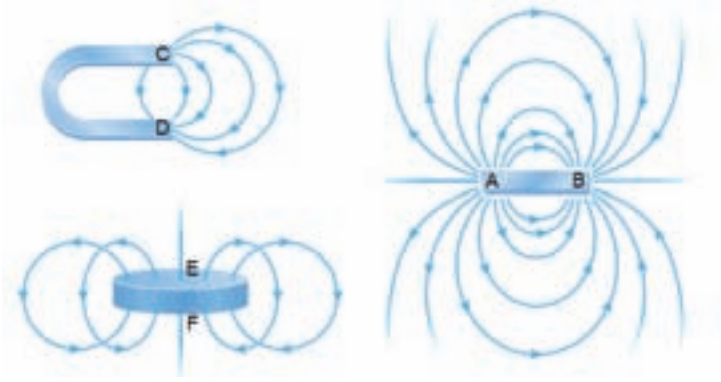
بلوتوث یک استاندارد برای ارتباط کوتاه برد و بی‌سیم است که در آن از فناوری موج‌های رادیویی استفاده می‌شود. این نوع ارتباط کم هزینه و مصرف انرژی آن ناچیز است. فکر اولیه‌ی بلوتوث در سال ۱۹۹۴ در شرکت موبایل اریکسون شکل گرفت و از سال ۱۹۹۵ به تدریج در بسیاری از دستگاه‌های صنعتی و خانگی مورد استفاده قرار گرفت.

فناوری بلوتوث برای ارسال و دریافت اطلاعات، در محدوده‌ی بسامد ۴/۰۲ تا ۴/۸۲ گیگاهرتز است که در واقع بخش کوچکی از ناحیه‌ی موج‌های رادیویی محسوب می‌شود. دلیل انتخاب این محدوده‌ی بسامد آن است که بنا به یک توافق بین‌المللی، انتقال اطلاعات در این محدوده در همه‌ی کشورها باید رایگان باشد و توسط فرستنده‌های دیگر نباید اشغال شود.

سرعت انتقال اطلاعات در بلوتوث‌های نسل اول ۱۲۵ کیلوبایت در ثانیه (1Mbit/s) است و در این نوع ارتباط دستگاه گیرنده و فرستنده به طور همزمان قادر به دریافت و ارسال اطلاعات هستند. در بلوتوث‌های نسل سوم که از سال ۲۰۰۹ میلادی به بازار عرضه شده‌اند سرعت انتقال اطلاعات می‌تواند تا ۳ مگا بایت بر ثانیه (24Mbit/s) باشد.

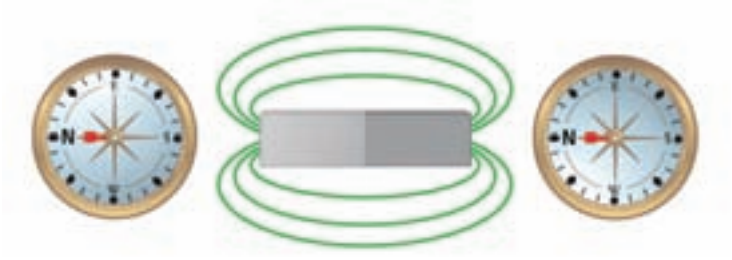
پرسش‌های مفهومی

۱- در شکل ۴-۵۰ با توجه به خط‌های میدان مغناطیسی، قطب‌های A,B,C,D,E و F را مشخص کنید.



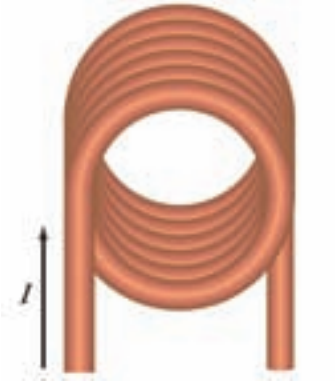
شکل ۴-۵۰

۲- در شکل ۴-۵۱ یک آهنربای میله‌ای و دو قطب‌نما دیده می‌شود. قطب‌های آهنربا و جهت خط‌های میدان را تعیین کنید.



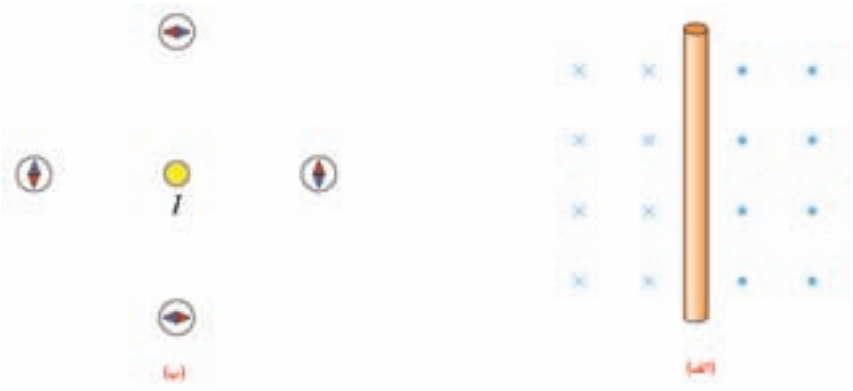
شکل ۴-۵۱

۳- شکل ۴-۵۲ منظره‌ی یک پیچه‌ی حامل جریان را از روبه‌رو نشان می‌دهد. جهت میدان مغناطیسی را درون و بیرون پیچه تعیین کنید.



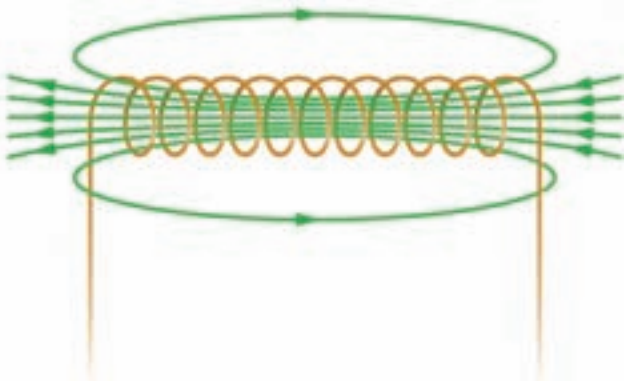
شکل ۴-۵۲

۴- جهت جریان را در هر یک از سیم‌های شکل ۴-۵۳ تعیین کنید.



شکل ۴-۵۳

۵- با توجه به خط‌های میدان مغناطیسی سیم‌لوله‌ی حامل جریان شکل ۴-۵۴، جهت جریان را در سیملوله تعیین کنید.

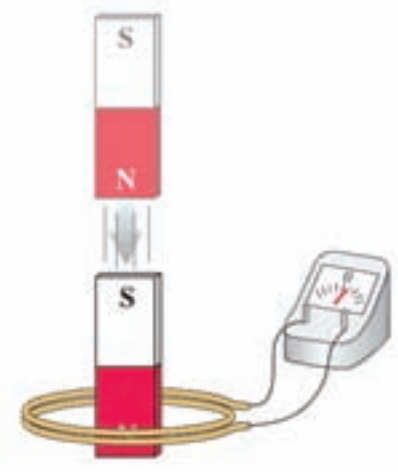


شکل ۴-۵۴

۶- در شکل ۴-۵۵ هنگامی که آهنربا به درون سیم پیچ حرکت می‌کند، عقربه‌ی گالوانومتر به سمت راست منحرف می‌شود.

الف) نام پدیده‌ای که بر اثر حرکت آهنربا ایجاد می‌شود چیست؟

ب) اگر آهنربا از سیم پیچ دور شود، انحراف عقربه چه تغییری می‌کند؟



شکل ۴-۵۵

۷- سرعت سنج دوچرخه‌های مسابقه‌ای شامل یک آهنربای کوچک و یک پیچه است. آهنربا به یکی از پره‌های چرخ جلو و پیچه به دو شاخ فرمان دوچرخه متصل است (شکل ۴-۵۶). با توجه به این که دو سر پیچه توسط سیم‌های رسانایی به سرعت‌سنج (که در واقع یک رایانه‌ی کوچک است) وصل شده است، به نظر شما سرعت سنج دوچرخه چگونه عمل می‌کند؟

شکل ۴-۵۶

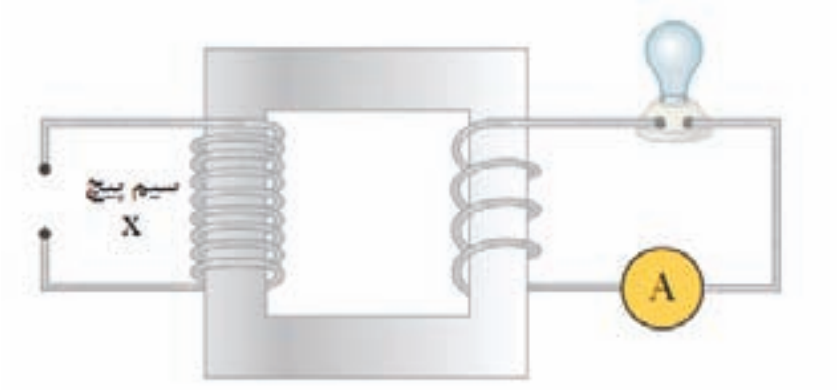
۸- مطابق شکل ۴-۵۷ دو سیم پیچ را به دور یک هسته‌ی آهنی پیچیده‌ایم. توضیح دهید عقربه‌ی آمپرسنج در هر یک از حالت‌های زیر چه تغییری می‌کند.

الف) جریان ثابت I (جریان dc) از سیم پیچ X بگذرد.

ب) جریان ثابت I که از سیم پیچ X می‌گذرد به طور پیوسته قطع و وصل شود.

پ) جریان متناوبی با بسامد ۵۰Hz از سیم پیچ X بگذرد.

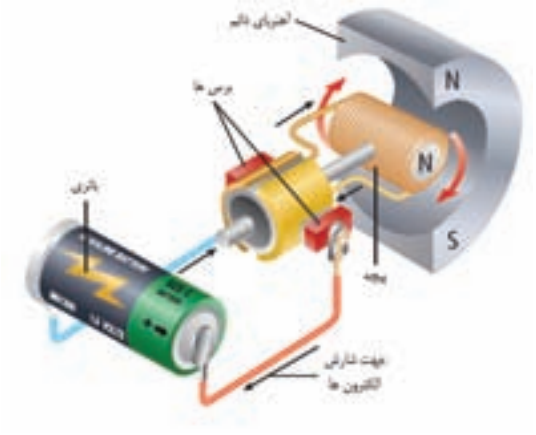
ت) وسیله‌ای که در شکل ۴-۵۷ مشاهده می‌کنید، مبدل (ترانسفورماتور) نامیده می‌شود. چند وسیله‌ی الکتریکی را که در خانه شامل مبدل هستند، نام ببرید.



شکل ۴-۵۷

۹- شکل ۴-۵۸ ساختمان یک موتور الکتریکی را نشان می‌دهد. اصولاً ساختمان موتور، مانند مولد است و این دو یکسان به نظر می‌رسند (شکل ۴-۳۰). همچنین هر دو طبق یک اصل اساسی کار می‌کنند. با توجه به این موضوع جاهای خالی را در عبارت زیر با یکی از واژه‌های «الکتریکی» یا «مکانیکی» کامل کنید.

در موتور، انـــرژی ورودی از نوع انـــرژی ..... و انرژی خروجی از نوع انرژی ..... اســـت؛ در حالی که در مولد، ورودی انـــرژی ..... و خروجی انرژی ..... است. هر دو وسیله صرفاً یک نوع انرژی را به نوع دیگر تبدیل می‌کنند.



شکل ۴-۵۸

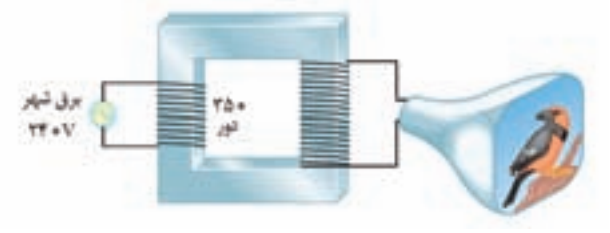
۱۰ - چند مثال از موج‌های الکترومغناطیسی ذکر کنید که در زندگی روزمره با آن‌ها مواجه می‌شویم. چه شباهت‌هایی دارند؟ چه تفاوت‌هایی دارند؟

۱۱- شـــکل ۴-۵۹ یـــک دماســـنج پیزوالکتریـــک را نشـــان می‌دهـــد که با اندازه‌گیری مقدار تابش فروسرخ گسیل شده از پرده‌ی گوش و بافت اطراف آن، دمای بدن را اندازه می‌گیرد. گســـتره‌ی موج‌های فروسرخ را بنویسید.

شکل ۴-۵۹

مسئله‌ها

۱– در نمایشگرهای لامپی از مبدل‌هایی استفاده می‌شود که ولتاژ ۲۴۰ ولتی برق شهر را به حدود ۱۵۰۰۰ ولت می‌رسانند (شکل ۴–۶۰). اگر پیچه‌ی اولیه‌ی مبدل دارای ۳۵۰ دور سیم باشد، تعداد دورهای پیچه‌ی ثانویه چقدر است؟

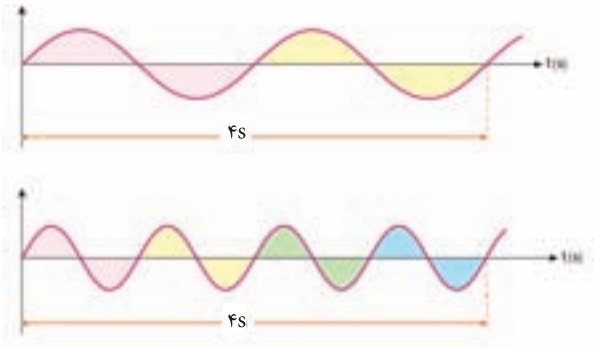


شکل ۴–۶۰

۲– طول موج یک موج رادیویی FM با بسامد ۱۰۴MHz چقدر است؟ سرعت انتشار موج را در هوا $3\times10^{8}\,m/s$ بگیرید.

۳– گوش انسان تا دوران جوانی قادر است موج‌های صوتی با بسامد ۲۰ تا ۲۰۰۰۰ هرتز را بشنود. اگر سرعت صوت در هوا ۳۴۵ متر بر ثانیه باشد، کم‌ترین و بیش‌ترین طول موج صوتی که گوش قادر به شنیدن آن است، چقدر است؟

۴– بسامد و دوره‌ی تناوب هر یک از موج‌های شکل ۴–۶۱ را پیدا کنید.



شکل ۴–۶۱

۵– دستگاه‌های بلوتوث که امروزه در اغلب وسیله‌های مختلف خانگی و صنعتی برای انتقال بی‌سیم اطلاعات در مسافت‌های کوتاه استفاده می‌شوند، در محدوده‌ی بسامدی ۲۴۰۰ تا ۲۴۸۰ مگاهرتز کار می‌کنند (صفحه‌ی ۱۲۳ را ببینید). این محدوده‌ی بسامدی متناظر با چه طول موج‌هایی است؟

سخن آخر

امیدواریم از فیزیک ۲ و آزمایشگاه لذت برده باشید و دانش خود از فیزیک را جزء ارزشمندی از آموزش عمومی خود بدانید. نگاه کردن به فیزیک به عنوان مطالعه‌ی قاعده‌های طبیعت شما را به فکر وامی‌دارد و باعث ارتقای چگونگی نگرش شما به جهان فیزیکی می‌شود. یعنی متوجه می‌شوید چیزهای بسیاری در طبیعت به هم مربوط‌اند و پدیده‌های ظاهراً متنوع اغلب از قاعده‌های بنیادی یکسانی پیروی می‌کنند.

مطالعه‌ی فیزیک یک ماجراجویی نیز هست. آن را هیجان انگیز، زمانی نومید کننده، گاهی پر زحمت و اغلب رضایت بخش خواهید یافت. این کار هم حس زیباشناسی و هم شعور عقلانی شما را بر می‌انگیزد. چقدر جالب است که قاعده‌های حاکم بر سرخی آسمان هنگام غروب آفتاب با آبی بودن آن در نیمروز مرتبط است، روان شدن بارهای الکتریکی در یک مدار ساده در مورد مدارهای پیچیده‌ی رایانه نیز صادق است، همچنین قاعده‌هایی که فارادی و هنری کشف کردند نشان می‌دهند چگونه الکتریسیته و مغناطیس در ارتباط با یکدیگر انرژی الکتریکی را به وجود می‌آورند. ارزش فیزیک بیش از کاربردهای آن در مورد شاتل‌های فضایی، رایانه‌های کوانتومی، دستگاه‌های MP4، تبلت‌ها و دیگر محصولات است.

بیش‌ترین اهمیت فیزیک در روش‌های شناخت و بررسی طبیعت نهفته است. هیچ نظریه‌ای در فیزیک تاکنون به عنوان حقیقت پایانی یا غایی در نظر گرفته نشده است. این امکان همواره وجود دارد که مشاهده‌های جدید ایجاب کنند که نظریه‌ای بازنگری یا رد شود. این در ماهیت هر نظریه‌ی فیزیکی نهفته است که می‌توانیم یک نظریه را در صورت یافتن رفتاری که با آن ناسازگار است رد کنیم، یعنی هرگز نمی‌توانیم ثابت کنیم که یک نظریه همواره صحیح است.

پیوست

پیوست الف

مروری کوتاه در ریاضیات

نشانه‌ها و نمادهای ریاضی

$a = b$ یعنی a مساوی bاست.

$a \neq b$ یعنی a مساوی bنیست.

$a \succ b$ یعنی a بزرگ تر از bاست.

$a \prec b$ یعنی a کوچک تر از bاست.

$a \geq b$ یعنی a کوچک تر از b نیست.

$a \leq b$ یعنی a بزرگ تر از b نیست.

$a \propto b$ یعنی a متناسب با bاست.

$a \simeq b$ یعنی a تقریباً مساوی bاست.

$a \gg b$ یعنی a بسیار بزرگ تر از bاست.

$a \ll b$ یعنی a بسیار کوچک تر از bاست.

توان‌ها و ریشه‌ها

برای هر عدد a، توان nاُم آن عدد عبارت است از n بار ضرب آن عدد در خودش، و به صورت a^n نوشته می‌شود. n را نما می‌نامند. از این قرار،

$$a^{۱} = a\,,\ a^{۲} = a.a\,,\ a^{۳} = a.a.a\,,\ a^{۴} = a.a.a.a\,,\ .....$$

برای مثال،

$$۳^{۲} = ۳\times ۳ = ۹\,,\ ۳^{۳} = ۳\times ۳\times ۳ = ۲۷\,,\ ۳^{۴} = ۳\times ۳\times ۳\times ۳\,,\ .....$$

یک نمای منفی دال بر این است که یک را n بار بر عدد تقسیم کنند؛ بنابراین

$$a^{-۱} = \frac{۱}{a}\,,\ a^{-۲} = \frac{۱}{a^{۲}}\,,\ a^{-۳} = \frac{۱}{a^{۳}}\,,.....$$

نمای صفر، بی توجه به مقدار a حاصلش ۱ است،

$$a^{۰} = ۱$$

قاعده‌های ترکیب نماها در حاصل‌ضرب‌ها، کسرها و در توان‌های توان‌ها عبارت‌اند از:

$$a^n . a^m = a^{n+m}$$

$$\frac{a^n}{a^m} = a^{n-m}$$

$$(a^n)^m = a^{n.m}$$

برای مثال، به سهولت می‌توان ثابت کرد که

$$۳^۲ \times ۳^۳ = ۳^۵$$
$$\frac{۳^۲}{۳^۳} = ۳^{-۱} = \frac{۱}{۳}$$
$$(۳^۲)^۳ = ۳^{۲\times ۳} = ۳^۶$$

توجه کنید که برای هر دو عدد a و b

$$(a.b)^n = a^n.b^n$$

برای مثال،

$$(۲\times ۳)^۳ = ۲^۳ \times ۳^۳$$

ریشه‌ی nام a عددی است که توان nاُم آن مساوی a است. ریشه nاُم عدد a به صورت $a^{۱/n}$ نوشته می‌شود. ریشه دوم عدد a یعنی $a^{۱/۲}$ را معمولاً جذر آن می‌نامند و به صورت $\sqrt{a}$ نمایش می‌دهند.

$$a^{۱/۲} = \sqrt{a}$$

چنانکه نمادگذاری $a^{۱/n}$ هم نشان می‌دهد، ریشه‌ها عبارت‌اند از توان‌های کسری. و ازقاعده‌های معمول در ترکیب نماها پیروی می‌کند:

$$(a^{1/n})^n = a^{n/n} = a$$
$$(a^{1/n})^m = a^{m/n}$$

حساب کردن با نمادگذاری علمی

نمادگذاری علمی برای عددها در ضرب و تقسیم عددهای بسیار بزرگ یا بسیار کوچک، کاملاً مفید است به خاطر این که می‌توانیم به بخش‌های اعشاری و صحیح اعداد به طور جداگانه بپردازیم. برای مثال، در ضرب ۴×۱۰^{۱۰} به ۵×۱۰^{۱۲} ، به صورت زیر، ۴ را در ۵ و $۱۰^{۱۰}$ را در $۱۰^{۱۲}$ ضرب می‌کنیم:

$$(۴\times ۱۰^{۱۰})\times(۵\times ۱۰^{۱۲}) = (۴\times ۵)\times(۱۰^{۱۰}\times ۱۰^{۱۲})$$
$$= ۲۰\times ۱۰^{۱۰+۱۲} = ۲۰\times ۱۰^{۲۲} = ۲\times ۱۰^{۲۳}$$

در تقسیم این اعداد نیز به همین شیوه عمل می‌کنیم:

$$\frac{۴\times ۱۰^{۱۰}}{۵\times ۱۰^{۱۲}} = \frac{۴}{۵}\times\frac{۱۰^{۱۰}}{۱۰^{۱۲}} = ۰/۸\times ۱۰^{۱۰-۱۲} = ۰/۸\times ۱۰^{-۲} = ۸\times ۱۰^{-۳}$$

در جمع یا تفریق‌عددها در نمادگذاری علمی، باید مراقب باشیم که عددها را با توان‌های یکسان ده بیان کنیم. برای مثال، مجموع ۳×۱۰^۸ و $۱/۵\times ۱۰^۹$ عبارت است از

$$۱/۵\times ۱۰^۹ + ۳\times ۱۰^۸ = ۱/۵\times ۱۰^۹ + ۰/۳\times ۱۰^۹ = ۱/۸\times ۱۰^۹$$

جبر

یک معادله، عبارت است از یک گزاره ریاضی که به ما می‌گوید یک کمیت یا ترکیبی از کمیت‌ها با کمیت یا ترکیبی از کمیت‌های دیگر مساوی است. بیشتر اوقات باید یکی از کمیت‌های معادله را برحسب کمیت‌های دیگر معادله به دست بیاوریم. برای مثال می‌توانیم با حل معادله‌ی

$$x + a = b$$

جواب x را برحسب a و b به دست بیاوریم. در اینجا a وb مقدارهای عددی ثابت، یا عبارات ریاضی هستند که معلوم تلقی می‌شوند وx به منزله‌ی مجهول معادله است.

قاعده‌های جبری به ما می‌آموزند که چگونه با تغییر و تبدیل در معادله ها به راه حل و جواب آن ها برسیم. مهم ترین قاعده‌ها، سه قاعده‌اند به شرح زیر:

۱– هرگاه جمله های یکسان به دو طرف یک معادله بیفزاییم یا از دو طرف آن کم کنیم، اعتبار معادله برقرار می‌ماند و تغییری در آن حاصل نمی‌شود.

این قاعده در حل معادله $x + a = b$ سودمند است. از دو طرف معادله a را کسر می‌کنیم و داریم:

$$x + a - a = b - a$$

یعنی

$$x = b - a$$

برای این که ببینیم این قاعده در یک مثال عددی مشخص چگونه عمل می‌کند معادله‌ی

$$x + ۷ = ۵$$

را در نظر می‌گیریم. با کسر کردن ۷ از دو طرف معادله، داریم:

$$x = ۵ - ۷$$

یا

$$x = -۲$$

توجه داشته باشید که در یک معادله به شکل $x + a = b$ ، ممکن است بخواهیم a را برحسب x و b پیدا کنیم، البته این در صورتی است که x قبلاً از روی اطلاعات دیگر معلوم بوده باشد اما a یک کمیت ریاضی باشد که هنوز معین نیست. اگر چنین باشد، باید x را از دو طرف معادله کسر کنیم، و خواهیم داشت:

$$a = b - x$$

بیش‌تر معادله‌های فیزیکی شامل چندین کمیت ریاضی هستند که بسته به شرایط گاهی اوقات نقش کمیت‌های معلوم را بازی می‌کنند و گاهی هم نقش کمیت‌های مجهول را. در نتیجه، بسته به همین برای یافتن کمیت (همچون x) مورد بررسی قرار دهیم.

۲- هرگاه دو طرف یک معادله را به یک و همان عامل ضرب کنیم، اعتبار معادله محفوظ می‌ماند و تغییری در آن حاصل نمی‌شود.

این قاعده، در حل معادله‌ای چون

$$ax = b$$

سودمند است. به طور ساده، دو طرف را به a تقسیم می‌کنیم، و داریم:

$$\frac{ax}{a} = \frac{b}{a}$$

$$x = \frac{b}{a}$$

غالباً این ضرورت پیش می‌آید که هر دو قاعده‌ی بالا را با هم ترکیب کنیم، برای مثال، در حل معادله‌ی

$$۲x+۱۰=۱۶$$

با تفریق ۱۰ از دو طرف شروع می‌کنیم و داریم:

$$۲x+۱۰-۱۰ =۱۶-۱۰$$

یا

$$۲x = ۶$$

و سپس طرفین را به ۲ تقسیم می‌کنیم و به دست می‌آوریم:

$$x = \frac{۶}{۲}$$

یا

$$x = ۳$$

۳- هرگاه دو طرف یک معادله را به توان یکسان برسانیم اعتبار معادله محفوظ می‌ماند و تغییری در آن حاصل نمی‌شود.

این قاعده، حل معادله‌ی

$$x^۳ = b$$

را ممکن می‌سازد. هر دو طرف را به توان۱/۳ می‌رسانیم، و داریم:

$$(x^۳)^{۱/۳}=b^{۱/۳}$$

یا

$$x=b^{۱/۳}$$

رابطه‌ی معادله‌ی درجه‌ی دوم

$$a x^۲ + b x + c =۰ \Rightarrow x = \frac{-b \pm \sqrt{b^۲ - ۴ac}}{۲a}$$

قضیه‌ی فیثاغورس

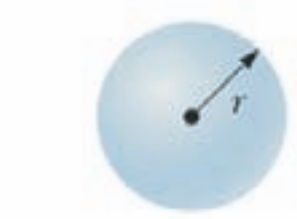
$$a^۲ + b^۲ = c^۲$$

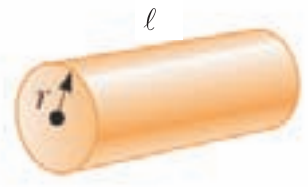
محیط، مساحت و حجم

کره‌ای به شعاع r

$$\text{مساحت} = ۴\pi r^۲$$

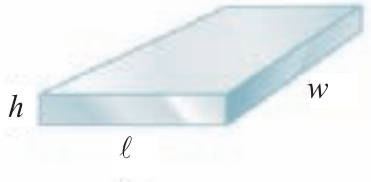
$$\text{حجم} = \frac{۴\pi r^۳}{۳}$$





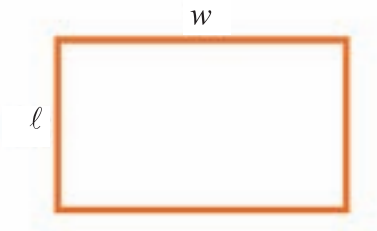
$$\text{مساحت} = ۲\pi r\ell$$

$$\text{حجم} = \pi r^۲\ell$$



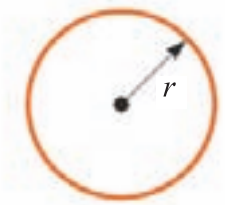
$$\text{مساحت} = ۲(\ell h + \ell w + hw)$$

$$\text{حجم} = \ell wh$$



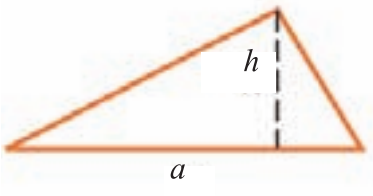
$$\text{مساحت} = \ell w$$

دایره‌ای به شعاع r



$$\text{مساحت} = ۲\pi r$$

$$\text{حجم} = \pi r^۲$$



$$\text{مساحت} = \frac{۱}{۲}ah$$

پیوست ب

داده‌های فیزیکی

سرعت نور در خلأ، c	$۲/۹۹۷۹\times۱۰^{۸}\ m/s \simeq ۳\times۱۰^{۸}\ m/s$
یکای نجومی (AU)، فاصله‌ی متوسط زمین خورشید	$۱/۵\times۱۰^{۱۱}\ m$
فاصله‌ی متوسط زمین – ماه	$۳/۸۴\times۱۰^{۸}\ m$
شعاع زمین (در استوا)	$۶/۳۷\times۱۰^{۶}\ m$
جرم خورشید	$۱/۹۹\times۱۰^{۳۰}\ kg$
جرم زمین	$۵/۹۸\times۱۰^{۲۴}\ kg$
جرم ماه	$۷/۳۶\times۱۰^{۲۲}\ kg$
بار الکترون، e	$-۱/۶\times۱۰^{-۱۹}\ C$
بار پروتون، p	$۱/۶\times۱۰^{-۱۹}\ C$
عدد آو و کادرو، N_A	$۶/۰۲۲\times۱۰^{۲۳}\ /mol$

علامت‌های اختصاری استاندارد

آمپر	A	دقیقه	min	گرم	g
اتمسفر	atm	نیوتون	N	ساعت	h
کولن	C	ثانیه	s	هرتز	Hz
درجه‌ی سلسیوس	°C	ولت	V	اینچ	in
الکترون ولت	eV	وات	W	ژول	J
اسب بخار	hp	اهم	Ω	کیلوگرم	kg
متر	m	مایل	mi		

ضرایب تبدیل

$۱\ \text{سال} = ۳۶۵\frac{۱}{۴}\ \text{روز} = ۳/۱۵۵۸\times۱۰^{۷}\ s$

$۱d = ۸۶۴۰۰s$

$۱h = ۳۶۰۰s$

$۱kWh = ۳/۶۰\times۱۰^{۶}\ J$

$۱eV = ۱/۶۰۲\times۱۰^{-۱۹}\ J$

$۱hp = ۷۴۶\ W$

$۱\ m/s = ۳/۶\ km/h$ $۱\ kg = ۱۰۰۰\ g$

$۱\ in = ۲/۵۴\ cm$

$۱\ mi = ۱۶۰۹\ m$

$۱\ liter = ۱۰^{۳}\ cm^{۳} = ۱۰^{-۳}\ m^{۳}$

بعضی از یکاهای فرعی SI

کمیت	نام یکا	نماد	یکای معادل
سطح	متر مربع	$m^{۲}$	
حجم	متر مکعب	$m^{۳}$	
بسامد	هرتز	Hz	
چگالی	کیلوگرم بر متر مکعب	$kg/m^{۳}$	
سرعت	متر بر ثانیه	m/s	
شتاب	متر بر مجذور ثانیه	$m/s^{۲}$	
نیرو	نیوتون	N	
انرژی	ژول	J	
توان	وات	W	J/s
مقدار بار الکتریکی	کولن	C	$A.s$
ولتاژ	ولت	V	
میدان الکتریکی	نیوتون بر کولن	N/C	
مقاومت الکتریکی	اهم	Ω	V/A
ظرفیت	فاراد	F	$A.s/V$
میدان مغناطیسی	تسلا	T	

پیوست پ

چیز هایی که لازم است بدانید

آمپر (A) **ampere**

یکای SI برای جریان الکتریکی. یک آمپر جریان یک کولن بار در یک ثانیه – $۶/۲۵\times۱۰^{۱۸}$ الکترون (یا پروتون) در ثانیه– است.

آمپرسنج **ammeter**

وسیله‌ای برای اندازه‌گیری جریان الکتریکی. گالوانومتر را ببینید.

آهنربا **magnet**

هر جسمی که خواص مغناطیسی، یعنی توانایی جذب اجسام آهنی یا مواد مغناطیسی دیگر را، داشته باشد.

آهنربای الکتریکی **electromagnet**

آهنربایی که ویژگی‌های مغناطیسی‌اش را جریان الکتریکی تولید می‌کند.

اتصال به زمین **grounding**

فراهم آوردن امکان حرکت آزادانه‌ی بارهای الکتریکی در امتداد مسیری از رسانا به زمین.

اتصال متوالی **in series**

اصطلاح متداول برای بخش‌هایی از مدار الکتریکی که طوری دنبال هم قرار گرفته‌اند که جریان پس از عبور از یکی از قطعه‌های آن، باید از بقیه هم بگذرد.

اتصال موازی **in parallel**

اصطلاح متداول برای بخش‌هایی از مدار الکتریکی که در دو نقطه به هم متصل شده‌اند تا مسیرهای متفاوتی را برای جریان بین این نقاط به وجود آورند.

اختلاف پتانسیل (ولتاژ) **potential difference**

اختلاف پتانسیل یا ولتاژ بین دو نقطه. بارهای آزاد وقتی در یک مدار الکتریکی شارش می‌یابند که اختلافی بین آن دو نقطه وجود داشته باشد و این شارش تا رسیدن دو نقطه به پتانسیل یکسان ادامه می‌یابد.

القای الکترومغناطیسی **electromagnetic induction**

پدیده‌ی القای جریان (یا ولتاژ) در رسانا با تغییر میدان مغناطیسی در نزدیکی آن. اگر بتوان میدان مغناطیسی داخل حلقه‌ی بسته‌ای را به هر طریق تغییر داد، جریانی در آن حلقه القا می‌شود. قانون فارادی را هم ببینید.

القا **induction**

باردار کردن جسم بدون تماس مستقیم.

القایی **induced**

الف) اصطلاحی برای بارهای الکتریکی که توزیعشان بر اثر حضور جسم باردار در آن حوالی تغییر می‌کند.

ب) اصطلاحی برای ولتاژ، جریان، میدان الکتریکی، یا میدان مغناطیسی که بر اثر تغییر یا حرکت در میدان الکتریکی یا مغناطیسی به وجود می‌آید.

الکترود **electrod**

پایانه، مثلاً پایانه‌ی باتری که جریان الکتریکی می‌تواند از آن عبور کند.

الکتریسیته‌ی ساکن **electrostatics**

مطالعه‌ی بارهای الکتریکی ساکن و بر هم کنش آن‌ها با یکدیگر.

الکترون **electron**

ذره‌ی منفی موجود در اتم.

الکترون‌های رسانش **conduction electrons**

الکترون‌های فلز که آزادانه حرکت و بار الکتریکی حمل می‌کنند.

الکتریسیته **electricity**

اصطلاحی کلی برای پدیده‌های الکتریکی.

الکتریکی قطبیده **electrically polarized**

اصطلاحی برای اتم یا مولکولی که بارها در آن طوری قرار گرفته‌اند که یک طرف آن اندکی مثبت‌تر یا منفی‌تر از طرف مقابل است.

انرژی پتانسیل الکتریکی **electric potential energy**

انرژی‌ای که بار الکتریکی به سبب موقعیت خود در میدان الکتریکی دارد.

اُهم (Ω) **ohm**

یکای SI برای مقاومت الکتریکی. یک اُهم مقاومت قطعه‌ای است که وقتی ولتاژ یک ولت به دو سر آن اعمال شود جریانی برابر یک آمپر را بِکِشد.

بار الکتریکی **electric charge**

ویژگی الکتریکی بنیادی که جاذبه یا دافعه‌ی متقابل بین الکترون‌ها و پروتون‌ها مربوط به آن است.

باردار کردن القایی **charging by induction**

باز توزیع بارهای الکتریکی درون و بیرون اجسام که ناشی از تأثیر جسم باردار در نزدیکی آن جسم و بدون تماس با آن است.

باردار کردن تماسی **charging by contact**

انتقال بار الکتریکی بین اجسام با مالش یا تماس ساده‌ی آن‌ها با یکدیگر.

پایستگی بار **conservation of charge**

این اصل که بار الکتریکی را نمی‌توان خلق یا نابود ساخت، بلکه فقط می‌توان آن را از جسمی به جسم دیگر منتقل کرد.

بسامد **frequency**

تعداد چرخه‌های کامل موج در واحد زمان. بسامد بر حسب هرتز (Hz) اندازه‌گیری می‌شود.

پتانسیل الکتریکی **electric potential**

انرژی پتانسیل الکتریکی (برحسب ژول) به ازای واحد بار (برحسب کولن) در محل میدان الکتریکی که با ولت اندازه‌گیری می‌شود.

$$۱\ \mathrm{V} = \frac{۱\ \mathrm{J}}{۱\ \mathrm{C}}$$

ترانزیستور **transistor**

پشت جلد کتاب را ببینید.

ترانسفورماتور (مبدل) **transformer**

وسیله‌ای برای زیاد یا کم کردن ولتاژ یا انتقال توان الکتریکی از یک پیچه‌ی سیم به پیچه‌ی دیگر، با استفاده از القای الکترومغناطیسی.

توان الکتریکی **electric power**

آهنگ انتقال انرژی الکتریکی یا آهنگ انجام یافتن کار که می‌توان آن را با حاصل ضرب جریان در ولتاژ اندازه گرفت.

توان الکتریکی= جریان × ولتاژ یا $P = VI$

جریان الکتریکی **electric current**

شارش بار الکتریکی که انرژی را از محلی به محل دیگر منتقل می‌کند. جریان الکتریکی برحسب آمپر اندازه‌گیری می‌شود که هر آمپر به معنای شارش $۶/۲۵ \times ۱۰^{۱۸}$ الکترون (یا پروتون) در ثانیه است.

جریان متناوب (ac) **alternating current**

جریان الکتریکی که جهتش به سرعت معکوس می‌شود. بارهای الکتریکی اطراف مکان‌های تقریباً ثابت، معمولاً با آهنگ ۶۰ هرتز، ارتعاش می‌کنند.

جریان مستقیم (dc) **direct current**

جریان الکتریکی که در آن بار همیشه در یک جهت شارش می‌یابد.

حجم **volume**

مقدار فضایی که جسم اشغال می‌کند.

خازن **capacitor**

وسیله‌ای که برای ذخیره‌سازی بار (انرژی الکتریکی) در مدار الکتریکی به کار می‌رود.

خاصیت مغناطیسی **magnetism**

ویژگی قابلیت جذب اجسام ساخته شده از آهن، فولاد و مگنتیت.

magnetic field lines **خط‌های میدان مغناطیسی**

خط‌هایی که شکل میدان مغناطیسی را نشان می‌دهند. قطب‌نمایی که روی چنین خطی قرار گیرد می‌چرخد تا با آن همسو شود.

vacuum **خلأ**

نبود ماده؛ تهی

amplitude **دامنه**

برای نوسان یا موج، بیشینه‌ی جا به جایی در هر طرف از وضعیت تعادل.

diode **دیود**

قطعه‌ای الکترونیکی که جریان الکتریکی را در مدار به یک جهت محدود سازد؛ وسیله‌ای برای تبدیل جریان متناوب به جریان مستقیم.

conductor **رسانا**

الف) ماده‌ای که گرما را در آن بتوان منتقل کرد.

ب) ماده‌ای، معمولاً فلزی، که بار الکتریکی در آن جریان می‌یابد.

conduction **رسانش**

الف) در گرما، انتقال انرژی از ذره‌ای به ذره‌ی دیگر در برخی مواد، یا از ماده‌ای به ماده‌ی دیگر که در تماس مستقیم با آن است.

ب) در الکتریسیته، جریان بار الکتریکی در رسانا.

generator **ژنراتور (مولد)**

ماشینی که معمولاً با چرخاندن پیچه‌ای در میدان مغناطیسی ثابت، جریان الکتریکی تولید می‌کند.

Joule **ژول (J)**

یکای SI برای کار و دیگر شکل‌های انرژی.

wavelenght **طول موج**

فاصله‌ی بین بیشینه‌ها، کمینه‌ها، یا بخش‌های یکسان متوالی از یک موج.

طیف الکترومغناطیسی **electromagnetic spectrum**

گستره‌ای از بسامدها که در آن تابش الکترومغناطیسی می‌تواند منتشر شود. پایین‌ترین بسامدها مربوطه به موج‌های رادیویی است؛ سپس به ترتیب ریز موج‌ها، تابش فروسرخ، نور مرئی، تابش فرابنفش، پرتوهای x و پرتوهای گاما قرار دارند.

فرا بنفش (UV) **ultraviolet**

موج‌های الکترومغناطیسی با بسامدهای بالاتر از بسامد نور بنفش

فیوز **fuse**

وسیله‌ای در مدار الکتریکی که وقتی جریان به اندازه‌ای زیاد شود که خطر آتش‌سوزی به وجود آید، آن را قطع می‌کند.

قانون **law**

فرضی کلی یا گزاره‌ای درباره‌ی کمیت‌های طبیعی که بارها به محکِ آزمون گذارده شده و هیچ گونه تناقضی برای آن یافت نشده است.

قانون اُهم **Ohm's law**

جریان در مدار با ولتاژ اعمال شده به آن نسبت مستقیم، و با مقاومت مدار نسبت عکس دارد.

$$I = \frac{\Delta V}{R}$$

قانون فارادی **Faraday's law**

تعبیر ساده شده‌ی این قانون به این صورت است که با تغییر میدان مغناطیسی در محل یک پیچه، جریان الکتریکی در آن پیچه القا می‌شود.

.

قانون کولن **Coulomb's law**

رابطه‌ی بین نیروی الکتریکی، بارها و فاصله: نیروی الکتریکی بین دو بار با حاصل ضرب بارها و عکس مجذور فاصله‌ی آن‌ها از هم متناسب است.

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

(ضریب تناسب k برابر $9\times10^9\ \mathrm{N.m^2/C^2}$ است). اگر بارها همنام باشند، نیرو دافعه است؛ اگر بارها ناهمنام باشند، نیروی جاذبه است.

کولن (C) **Colomb**

یکای SI برای بار الکتریکی. یک کولن بار الکترون (یا پروتون) است.

گالوانومتر **Galvanometer**

دستگاهی که برای آشکارسازی جریان‌های الکتریکی بسیار کوچک به کار می‌رود. معمولاً صفر گالوانومتر درمیان صفحه‌ی مدرج یا مقیاس‌بندی شده‌ی آن قرار دارد، یعنی عقربه‌ی آن در حالت عادی وسط صفحه‌ی مدرج می‌ایستد.

متر(m) **meter**

یکای استاندارد طول در SI.

مدار **circuit**

هر مسیر کاملی که بار الکتریکی بتواند در آن جریان یابد.

مدار متوالی **series circuit**

مدار الکتریکی که در آن قطعه‌های مختلف طوری به هم متصل شده‌اند که جریان یکسانی از همه‌ی آن‌ها می‌گذرد.

مدار کوتاه **short circuit**

گسیختگی مدار الکتریکی بر اثر شارش بار در مسیر دارای مقاومت کم بین دو نقطه‌ای که نباید مستقیماً به هم متصل شوند، در نتیجه جریان از مسیر درست خود منحرف می‌شود؛ عملاً «کوتاه شدن مدار» است.

مدار موازی **parallel circuit**

مدار الکتریکی متشکل از دو قطعه یا بیش‌تر که طوری به هم متصل شده‌اند که ولتاژ یکسانی به دو سر هر قطعه اعمال می‌شود و هر یک از آن‌ها مستقل از قطعه‌های دیگر مدار را کامل می‌کند.

مقاومت الکتریکی **(resistor) resistance**

قطعه‌ای در مدار الکتریکی که برای مقاومت در برابر شارش بار الکتریکی طراحی شده است.

مقاومت الکتریکی **electrical resistance**

مقاومت ماده در برابر شارش بار الکتریکی در آن که برحسب اُهم (با نماد Ω) اندازه‌گیری می‌شود.

منبع ولتاژ **voltage source**

ابزاری مثل باتری، یا ژنراتور (مولد) که اختلاف پتانسیل الکتریکی تأمین می‌کند.

موج‌های الکترومغناطیسی **electromaguetic waves**

موج‌هایی که از میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی متغیر با زمان به وجود می‌آیند.

موج‌های رادیویی **radio waves**

موج‌های الکترومغناطیسی با بلندترین طول موج و کوتاه‌ترین بسامد.

موج‌های فروسرخ **infrared waves**

موج‌های الکترومغناطیسی که بسامدی کمتر از بسامد نور قرمز طیف مرئی دارند.

میدان الکتریکی **electric field**

میدان نیرویی که فضای اطراف هر بار یا گروهی از بارهای را پر می‌کند. آن را برحسب نیرو تقسیم بر بار(N/C) اندازه‌گیری می‌کنند.

میدان مغناطیسی **magnetic field**

ناحیه‌ی تأثیر مغناطیسی اطراف قطب مغناطیسی یا ذره‌ی باردار متحرک.

نور مرئی **visible light**

بخشی از طیف الکترومغناطیسی که چشم انسان می‌تواند ببیند.

نوسان **oscilation**

همان ارتعاش است: حرکت تکراری رفت و برگشتی حول مکان تعادل. هم نوسان و هم ارتعاش مربوط به حرکت دوره‌ای، معینی حرکتی است که تکرار می‌شود.

نیروی الکتریکی **electrical force**

نیروی وارد از یک بار به بار دیگر. بارهای همنام یکدیگر را دفع و بارهای ناهمنام یکدیگر را جذب می‌کنند.

نیروی محرکه‌ی الکتریکی (emf) **electromotive force**

هر ولتاژی که جریان الکتریکی به وجود آورد. باتری یا ژنراتور (مولد) منبع emf هستند.

نیروی مغناطیسی **magnetic force**

بین دو آهنربا، برای قطب‌های ناهمنام جاذبه و برای قطب‌های همنام دافعه است.

نیمرسانا **semiconductor**

قطعه‌ی ساخته شده از ماده‌ای که نه تنها خواصی بین ماده‌ی رسانا و عایق دارد، بلکه مقاومتش بر اثر تغییر وضعیت دما، ولتاژ و میدان الکتریکی یا مغناطیسی ناگهان تغییر می‌کند.

وات **Watt**

یکای SI برای توان. هرگاه یک ژول کار در یک ثانیه انجام شود، یک وات به مصرف رسیده است.

$$1\,W = 1\,J/1s$$

ولت (V) **Volte**

یکای SI برای پتانسیل الکتریکی. یک ولت اختلاف پتانسیل الکتریکی‌ای است که در عبور از آن یک کولن بار انرژی یک ژون به دست می‌آورد یا از دست می‌دهد.

$$1\,V = \frac{1J}{1C}$$

ولتاژ **voltage**

معیاری از اختلاف پتانسیل الکتریکی.

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

ولت‌سنج **voltmeter**

دستگاهی برای اندازه‌گیری ولتاژ دو سر یک قطعه‌ی الکتریکی. ولت‌سنج را به طور موازی در مدارهای الکتریکی می‌بندند.

هرتز (Hz) **hertz**

یکای SI برای بسامد. هر هرتز برابر یک نوسان کامل یا یک چرخه در ثانیه است.

یون **ion**

اتم (یا گروهی از اتم‌های وابسته به هم) که با بار الکتریکی خالص حاصل از به دست آوردن یا از دست دادن الکترون‌ها به هم پیوسته‌اند. یون مثبت، اتمی که کمبود الکترون دارد، یک بار مثبت خالص دارد. یون منفی، اتمی که الکترون اضافی دارد، یک بار منفی خالص دارد.

پیوست ت

واژه‌نامه‌ی فارسی به انگلیسی

کمیت فیزیکی	physical quantity
تعریف عملیاتی	operational definition
یکا	unit
دستگاه بین‌المللی	International System (SI)
استاندارد	standard
دستگاه متریک	metric system
بازه‌ی زمانی	time interval
کمیت‌های اصلی	base quantities
کمیت‌های فرعی	derived quantities
تبدیل زنجیره‌ای	chain link conversion
ضریب تبدیل	conversion factor
عدم قطعیت	uncertainty
خطا	error
رقم‌های با معنا	significant figures
کمیت نرده‌ای	scalar quantity
کمیت برداری	vector quantity
بزرگی	magnitude
جابه‌جایی	displacement
مسافت	distance
موازی	parallel
پاد موازی	antiparallel
پیکان	arrow
پیشوندهای یکا	unit prefixes
طول	length
جرم	mass
زمان	time
درستی	accuracy

amber	کهربا
electric charge	بار الکتریکی
principle of conservation of charge	اصل پایستگی بار
conductor	رسانا
insulator	عایق
semiconductor	نیمرسانا
super conductor	ابر رسانا
charge polarization	قطبش بار
electric field	میدان الکتریکی
action at a distance	اثر از راه دور
test charge	بار آزمون
electrical breakdown	فرو ریزش الکتریکی
sparking	تخلیه‌ی جرقه‌ای
capacitance	ظرفیت
capacitor	خازن
discharge	تخلیه
charged	شارژ شده
electric current	جریان الکتریکی
resistance	مقاومت
coulomb	کولن
resistivty	مقاومت ویژه
ohm meter	اهم سنج
AVO meter	آوومتر
multimerter	چند سنجشی
circuit diagram	نمودار مدار
circuit elements	قطعه‌های مدار
series combination	ترکیب سری
parallel combination	ترکیب موازی
equivalent resistance	مقاومت معادل
electromotive force (emf)	نیروی محرکه‌ی الکتریکی
battery terminal	پایانه‌ی باتری

electrical power	توان الکتریکی
ammeter	آمپرسنج
volt meter	ولت سنج
internal resistance	مقاومت درونی
Kirchhoff 's laws	قانون‌های کیرشهف
coil	پیچه
magnetic field	میدان مغناطیسی
compass	قطب‌نما
north pole	قطب شمال
south pole	قطب جنوب
magnetic monopole	تک قطبی مغناطیسی
right hand rule	قاعده‌ی دست راست
permanent magnet	آهنربای دایمی
electromagnetic induction	القای الکترومغناطیسی
magnetic field lines	خط‌های میدان مغناطیسی
solenoid	سیملوله
alternating current	جریان متناوب
loop	حلقه
electric motor	موتور الکتریکی
iron core	هسته‌ی آهنی
generator	مولد
frequency	بسامد
Hertz	هرتز
visible light	نورمرئی
radio waves	موج‌های رادیویی
infrared waves	موج‌های فروسرخ
electromagnetic waves	موج‌های الکترومغناطیسی
wavelenght	طول موج
ultraviolet	فرا بنفش
amplitude	دامنه
electromagnetic spectrum	طیف الکترومغناطیسی

پیوست ث نمایه

آهنربا ۱۰۱
آهنربای الکتریکی ۱۱۱
اتصال کوتاه ۷۹
الکترولیت ۷۰
اصل پایستگی بار ۴۰
الکترومغناطیس ۱۰۶
الکترون ۳۹
الکترون آزاد ۶۸
الکترون رسانش ۶۸
الکتریسیته‌ی ساکن ۵۲
انرژی پتانسیل الکتریکی ۵۳
انرژی پتانسیل گرانشی ۵۳
اهم سنج ۷۳
بار آزمون ۴۷
بار الکتریکی ۳۵
بار نقطه‌ای ۴۸
بایت ۲۱
برایند ۲۶
بردارها ۲۴
بردارهای پاد موازی ۲۶
بردارهای موازی ۲۵
برق گیر ۴۲
بسامد ۱۱۶
بلوتوث ۱۲۳
بیت ۲۱
پایستگی بار الکتریکی ۳۹
پایستگی جریان ۷۲
پروتون ۳۹
پیچه ۱۰۹
پیشوندها ۲۰
تبدیل یکاها ۲۱
تبدیل زنجیره‌ای ۲۲
تخلیه‌ی جرقه‌ای ۵۱
تخلیه‌ی خازن ۵۸
توان مفید ۷۹
توان تولیدی ۷۹
ثابت گذر دهی خلاء ۵۹
جرم ۱۷
جریان الکتریکی ۶۷
جریان متناوب ۱۱۴
جریان مستقیم ۱۱۴
جمع برداری ۲۵ ، ۲۷
خازن ۵۷
خازن تخت ۵۷
خط‌های میدان ۴۹
دستگاه متریک ۱۴
زمان ۱۵
ساختار ماده ۴۱
سرعت سنج ۱۲۶
سیملوله ۱۰۹
شوک الکتریکی ۸۱
طول ۱۶
طول موج ۱۲۱
طیف الکترومغناطیسی ۱۲۱
ظرفیت خازن ۵۹
عدم قطعیت ۱۸
فرومغناطیس ۱۲۳
قاعده‌ی دست راست ۱۰۷
قانون القای الکترومغناطیسی ۱۱۳
قانون اهم ۷۴
قانون فارادی ۱۱۳
قانون کولن ۴۳
قطب‌های مغناطیسی ۱۰۱
قطب‌های ناهمنام ۱۰۲

قطب‌های همنام ۱۰۲
کدگذاری مقاومت‌ها ۷۶
کمیت‌های اصلی ۱۴
کمیت‌های فرعی ۱۴
کمیت‌های فیزیکی ۱۴
گالوانومتر ۱۱۲
مبدل ۱۱۷
مبدل افزاینده ۱۱۷
مبدل آرمانی ۱۱۸
مبدل کاهنده ۱۱۷
متر استاندارد ۱۶
مدار الکتریکی ۸۲
مدار سری (متوالی) ۸۳
مدار موازی ۸۷
مقاومت الکتریکی ۷۳
مقاومت درونی ۷۸
مقاومت ویژه ۷۷
موج‌های الکترومغناطیسی ۱۱۹
مولد الکتریسیته ۱۱۴
میدان الکتریکی ۵۷
میدان مغناطیسی ۱۰۳
میدان مغناطیسی زمین ۱۰۶
میل مغناطیسی ۱۰۶
نیروی الکترواستاتیکی ۴۴
نیروی محرکه‌ی الکتریکی ۷۸
نمودار مدار ۸۲
یکا ۱۴
یون مثبت ۳۹
یون منفی ۳۹

فهرست منابع

۱- درک فیزیک، بریان آرنولد، ترجمه‌ی روح‌اله خلیلی بروجنی و مریم عباسیان، چاپ دوم ۱۳۸۸، انتشارات مدرسه.

۲- میدان‌ها و نیروها، مارک السِ و کریس هانیول، ترجمه‌ی روح‌اله خلیلی بروجنی، چاپ اول ۱۳۸۷، انتشارات مدرسه.

۳- الکتریسیته و فیزیک گرما، مارک السِ و کریس هانیول، ترجمه‌ی روح‌اله خلیلی بروجنی و احمد توحیدی، چاپ اول ۱۳۸۹، انتشارات مدرسه.

۴- فیزیک مفهومی، پل جی. هیوئیت، جلد سوم، الکتریسیته، ترجمه‌ی منیژه رهبر، چاپ اول ۱۳۸۸، انتشارات فاطمی.

۵- فیزیک دانشگاهی، جلد اول، ویرایش دوازدهم، هیویانگ و راجر فریدمن، ترجمه‌ی اعظم پورقاضی، روح‌اله خلیلی بروجنی و محمد تقی فلاحی مروست، ویراسته‌ی ناصر مقبلی، چاپ اول ۱۳۸۹، نشر علوم نوین.

۶- فیزیک دانشگاهی، جلد دوم، ویرایش سیزدهم، هیویانگ و راجر فریدمن، ترجمه‌ی اعظم‌پور قاضی، روح‌اله خلیلی بروجنی و محمد تقی فلاح مروست، ویراسته‌ی ناصر مقبلی، چاپ اول ۱۳۹۱، نشر علوم نوین.

۷- مبانی فیزیک، جلد دوم، ویرایش هشتم، الکتریسیته و مغناطیس، دیوید هالیدی ،رابرت رزنیک و جرل واکر، ترجمه‌ی محمد رضا خوش بین خوش نظر، چاپ اول ۱۳۸۸، انتشارات آراکس.

8 - R .D .Knight ,Physics ,Second Edition ,Pearson Addison Wesley,2008 .

9-Douglas C.Giancoli ,Physics for Scientists and Engineers ,Prentice Hall, 2008 .

10-Serway /Vuille ,College Physics, 9th Edition, Brooks/ Cole, 2012.

11- Tipens, Physics, 7th Edition, Mc Graw Hill, 2007.

12- Physics, Principles and problems, Glencoe/ Mc Graw-Hill, 2005.

13-B. Heimbecker, Physics, Concepts and Connections, Irwin Publishing, 2002.

14- Jim Breithaupt, Key Science, 3th Edition, John Murray, 2001.