فصل دوم

آشنایی با روش‌های تولید الکتریسیته

هدف‌های رفتاری

در پایان این فصل، از هنرجو انتظار می‌رود :

۱ــ روش‌های تولید الکتریسیته را نام ببرد.

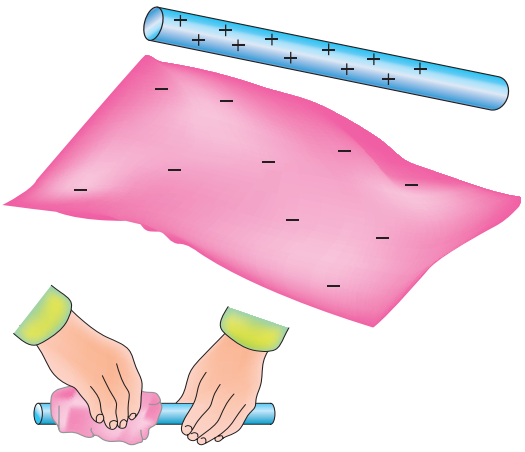
۲ــ هر یک از روش‌های تولید الکتریسیته را شرح دهد.

۳ــ مورد استفاده‌ی هر یک از روش‌های تولید الکتریسیته را نام ببرد.

در فصل اول، در مورد چگونگی خارج کردن الکترون‌ها از مدارهایشان سخن گفتیم ولی در مورد چگونگی انجام این کار توضیح ندادیم. این کار را به روش‌های زیر می‌توان انجام داد.

۱ــ۲ــ الکتریسیته‌ی حاصل از اصطکاک (مالش)

هنگامی که پارچه‌ی ابریشمی را با یک میله‌ی شیشه‌ای یا یک میله‌ی کائوچویی را به پارچه‌ی پشمی مالش دهیم، بار الکتریکی تولید می‌شود. به این بارها **الکتریسیته‌ی ساکن** می‌گویند. الکتریسیته‌ی ساکن هنگامی به‌وجود می‌آید که جسمی الکترون‌هایش را به جسم دیگر منتقل کند. بر اثر مالش، انرژی حرارتی بر اتم‌های سطح خارجی به‌وجود می‌آید که موجب آزادکردن الکترون‌های والانس می‌شود. به این **اثر تریبوالکتریک** (TRIBOELECTRIC) نیز می‌گویند.

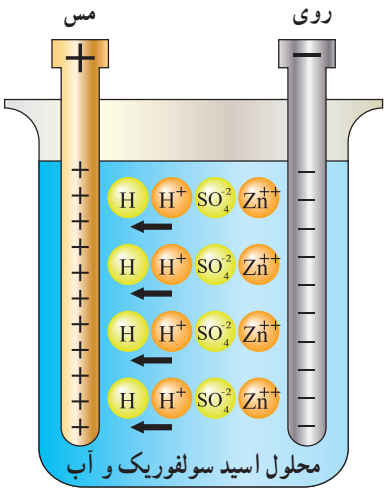


پس از مالش دادن یک میله‌ی شیشه‌ای به پارچه‌ی ابریشمی، آن‌ها دارای بار الکتریکی می‌شوند.

شکل ۱ــ۲ــ الکتریسیته‌ی مالشی (تریبوالکتریک)

۲ــ۲ــ الکتریسیته‌ی حاصل از فعل و انفعالات شیمیایی

مواد شیمیایی با فلزات مخصوصی ترکیب می‌شوند و واکنش‌هایی شیمیایی را ایجاد می‌کنند که باعث انتقال الکترون‌ها و تولید بارهای الکتریکی می‌گردد. باتری معمولی از این راه الکتریسیته تولید می‌کند. این پدیده بر قوانین الکتروشیمی مبتنی است. برای مثال، می‌توان باتری تر را نام برد. اسید سولفوریک هنگامی که در یک ظرف شیشه‌ای با آب (به عنوان الکترولیت) مخلوط می‌شود، به دو ماده‌ی شیمیایی ــ هیدروژن (H) و سولفات (SO_4) ــ تجزیه می‌گردد. به علت طبیعت ترکیبات شیمیایی، اتم‌های هیدروژن یون‌های مثبت (H^+) و اتم‌های سولفات یون‌های منفی (SO_4^{-2}) دارند. تعداد بارهای مثبت و منفی مساوی‌اند و در نتیجه، کل محلول ازنظر بار الکتریکی خنثی است. پس از آن، هنگامی که میله‌های مسی یا روی را به داخل محلول وارد می‌کنیم، با محلول ترکیب می‌شوند.



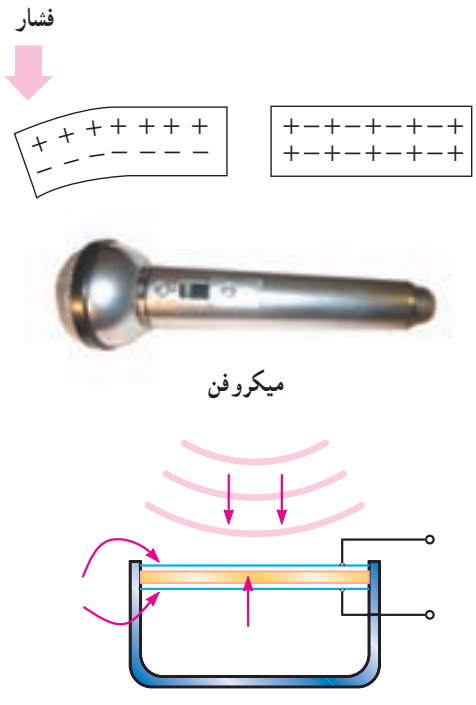
شکل ۲ــ۲ــ ساختمان یک نوع باتری تر

فلز روی با یون‌های سولفات ترکیب می‌شود. چون این اتم‌ها منفی‌اند، یون‌های مثبت(Zn^{++}) از میله‌ی فلزی روی خارج می‌شوند. در اثر خارج شدن یون‌های مثبت از میله‌ی روی، میله دارای الکترون‌های اضافی می‌شود. پس به‌طور منفی باردار می‌گردد. یون‌های روی با یون‌های سولفات ترکیب می‌شوند و آن‌ها را خنثی می‌کنند. در این حالت، محلول از نظر بارهای مثبت غنی‌تر است. یون‌های مثبت هیدروژن الکترون‌های آزاد میله‌ی مسی را جذب و محلول را دوباره خنثی می‌کنند ولی در این حالت، میله‌ی مسی کمبود الکترون خواهد داشت. در نتیجه، به‌طور مثبت باردار خواهد شد.

۳ــ۲ــ الکتریسیته‌ی حاصل از فشار مکانیکی

هنگامی که به بعضی اجسام فشار وارد می‌کنیم، الکترون‌های آن‌ها در جهت نیرو از مدار خارج می‌شوند. در نتیجه، الکترون‌ها یک طرف جسم را ترک می‌کنند و در طرف دیگر آن جمع می‌شوند. بنابراین، در دو جهت مخالف جسم بارهای مثبت و منفی به‌وجود می‌آیند.

به اثر فشار برای تولید بارهای الکتریکی، **اثر پیزوالکتریک**[1] می‌گویند. پیزو یک کلمه‌ی یونانی به معنای فشار است. این اثر بیش‌تر در مورد کریستال‌ها و بعضی سرامیک‌های مخصوص خود را نشان می‌دهد. کریستال‌های پیزوالکتریک در بعضی میکروفون‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند.



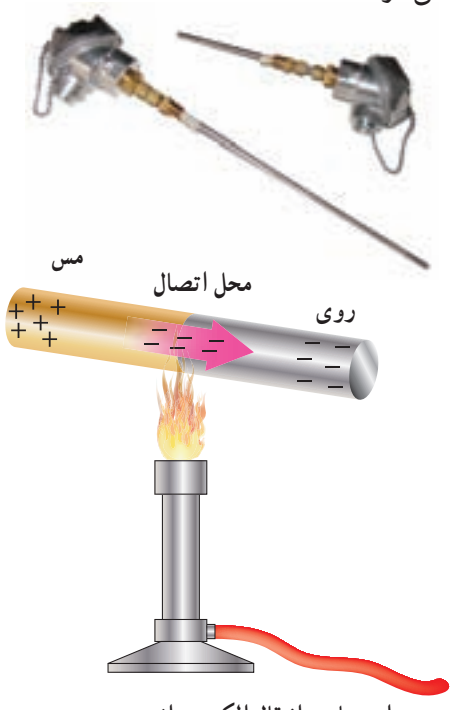
شکل ۳ــ۲ــ اثر پیزوالکتریک

۱ ــ Piezo Electric Effect

۴ــ۲ــ تولید الکتریسیته به‌وسیله‌ی حرارت

همان‌طور که در فصل قبل گفته شد، بعضی از اجسام الکترون از دست می‌دهند و بعضی دیگر الکترون جذب می‌کنند. در نتیجه بین دوجسم غیرمشابه هنگام اتصال، انتقال الکترون صورت می‌گیرد. فلزات فعال در درجه حرارت معمولی اتاق نیز می‌توانند الکترون آزاد کنند.

بارهایی که در درجه‌ی حرارت اتاق تولید می‌شوند، کم هستند ؛ ولی اگر محل اتصال دو فلز(مثلاً روی و مس) را حرارت دهیم، انرژی بیش‌تری تولید می‌شود و الکترون‌های بیش‌تری آزاد می‌گردند. به روش تولید الکتریسیته به وسیله‌ی حرارت **ترموالکتریک** گفته می‌شود. هرچه حرارت داده شده بیش‌تر باشد، بار بیش‌تری تولید می‌شود. هنگامی که حرارت قطع شود، فلزها سرد می‌شوند و بارها از بین می‌روند. به‌اتصال این دو فلز **ترموکوپل** می‌گویند. هنگامی که چندین ترموکوپل به یک‌دیگر متصل شوند، یک **ترموپیل** (باتری حرارتی) به‌وجود می‌آید. از ترموکوپل برای اندازه‌گیری درجه‌ی حرارت در کوره‌ها استفاده می‌شود.

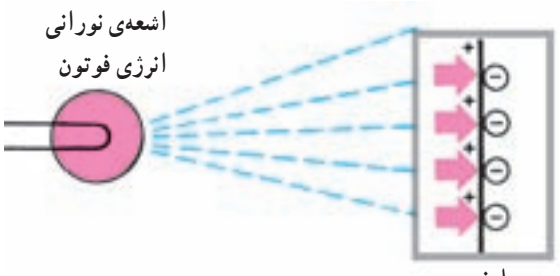


حرارت باعث انتقال الکترون از مس به روی می‌شود.

شکل ۴ــ۲ــ ترموالکتریک (الکتریسیته‌ی حرارتی) و یک نمونه واقعی آن

۵ــ۲ــ الکتریسیته‌ی حاصل از نور

نور نوعی انرژی است که از ذرات حامل انرژی به نام فوتون به‌وجود می‌آید. هنگامی که فوتون‌های یک شعاع نوری با جسمی برخورد می‌کنند، انرژی خود را از دست می‌دهند. در بعضی اجسام، انرژی فوتون‌ها باعث آزادی الکترون‌ها می‌شود. انرژی نورانی تابیده شده به یکی از دو صفحه‌ی متصل به هم، باعث تخلیه‌ی الکترون از یکی به دیگری می‌شود. در نتیجه، مانند باتری در دو صفحه بارهای مخالف ایجاد می‌شود (شکل ۵ــ۲) که به آن اثر فوتوولتیک[1] می‌گویند.



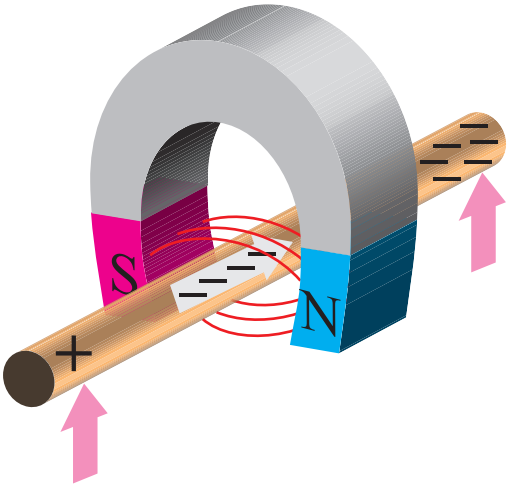
پیل نوری

شکل ۵ ــ۲ــ سلول‌های خورشیدی که براساس اثر فوتوولتیک کار می‌کنند.

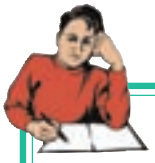
۱ــ Photo Voltaic

۶ــ۲ــ الکتریسیته‌ی حاصل از مغناطیس

از نیروی میدان مغناطیسی برای حرکت الکترون‌ها می‌توان استفاده کرد. هنگامی که یک هادی خوب مانند مس را در داخل میدان مغناطیسی یک آهنربا حرکت دهیم میدان مغناطیسی آن‌قدر انرژی دارد که اتم‌های مس، الکترون‌های والانسشان را آزاد کنند و در سیم در یک جهت به حرکت درآیند. به الکتریسیته‌ای که توسط نیروی میدان مغناطیسی حاصل شده است **الکتریسیته‌ی مغناطیسی** گفته می‌شود. اساس تولید الکتریسیته در ژنراتورهای الکتریکی این روش است.



شکل ۶ ــ۲ــ الکتریسیته‌ی ناشی از مغناطیس



پرسش

۱ــ چه عاملی باعث خارج شدن الکترون‌ها از مدارهایشان می‌شود؟
۲ــ اثر وارد شدن فشار به کریستال برخی میکروفون‌ها چیست؟
۳ــ اثر تریبوالکتریک چیست؟
۴ــ در ترموالکتریک، به محل اتصال دو فلز ..... حرارت داده می‌شود.
۵ــ تفاوت بین ترموکوپل و ترموپیل چیست؟
۶ــ الکتریسیته‌ی حاصل از مغناطیس را بیان کنید.
۷ــ ژنراتور الکتریکی براساس ..... کار می‌کند.

فصل سوم

الکتریسیته ی جاری

هدف‌های رفتاری

در پایان این فصل، از هنرجو انتظار می‌رود :

۱ــ چگونگی حرکت الکترون‌ها و مفهوم سرعت حرکت الکترون‌ها را بیان کند.

۲ــ مفهوم جریان الکتریکی و تفاوت میان سرعت الکترون‌ها و سرعت انتقال اثر را شرح دهد.

۳ــ واحد کمیّت‌های جریان و ولتاژ را تعریف کند و محاسبات لازم را انجام دهد.

۴ــ مدار باز و مدار بسته را تشریح کند.

۱ــ۳ــ الکترون آزاد

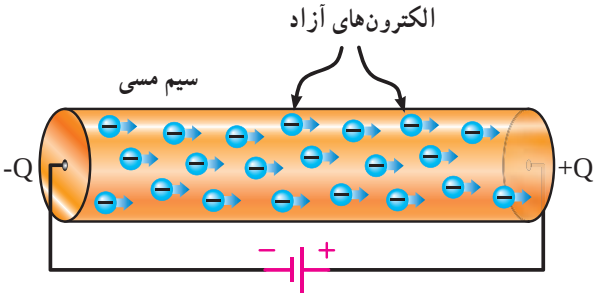
اغلب الکترون‌های والانس به طور مداوم ولی بدون ترتیب، مدارهایشان را عوض می‌کنند و سرگردان و بی‌مقصدند ؛ یعنی، هیچ یک از الکترون‌های والانس مختص یک اتم نیستند بلکه همه‌ی اتم‌ها الکترون‌های والانسشان را به اشتراک می‌گذارند و بدین ترتیب به یک دیگر متصل می‌شوند. این گونه پیوند، **پیوند فلزی** نام دارد و الکترون‌های سرگردان و بی‌مقصد الکترون آزاد نامیده می‌شوند. بنابراین، الکترون‌های آزاد در یک سیم مسی به طور اتفاقی مدارهای خود را تغییر می‌دهند و این عمل مداوم است. بدین ترتیب، هر اتم همیشه الکترونی دارد که در حال جابه‌جا شدن است در نتیجه، هیچ بار الکتریکی‌ای حاصل نمی‌شود ولی هادی مقدار زیادی الکترون آزاد دارد.

شکل ۱ــ۳ ــ حرکت تصادفی الکترون‌های آزاد

۲ــ۳ــ حرکت الکترون

برای این که جریان الکتریکی تولید شود، همه‌ی الکترون‌های آزاد در سیم مسی باید در یک جهت حرکت کنند. این عمل را می‌توان با قرار دادن بارهای الکتریکی در ابتدا و انتهای سیم مسی انجام داد. بدین ترتیب که یک بار منفی در یک سر، و بار مثبت در سر دیگر قرار گیرد.

در شکل ۲ــ۳ الکترون‌های آزاد به وسیله‌ی بارهای منفی دفع و به وسیله بارهای مثبت جذب شده‌اند و در نتیجه، مدارهای آن‌ها عوض شده و به طرف بارهای مثبت جذب شده‌اند. بار الکتریکی الکترون‌ها منفی است ؛ پس به وسیله‌ی بارهای منفی اعمالی دفع و به وسیله‌ی بارهای مثبت اعمالی جذب می‌شوند. به‌همین علت نمی‌توانند به مداری تغییر مکان دهند که باعث حرکت آن‌ها در خلاف جهت نیروی بارهای الکتریکی شود. در عوض، مدارهایشان را چنان تغییر می‌دهند که حرکتشان در جهت بار مثبت باشد. بدین لحاظ، جریان الکتریکی در جهت بار منفی به‌طرف بار مثبت برقرار می‌شود.



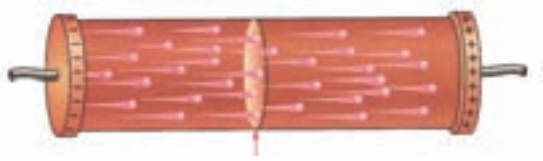
انرژی داده شده به مدار

شکل ۲ــ۳ــ حرکت الکترون‌ها

۳ــ۳ــ جریان الکتریکی

برای این که بتوانیم از انرژی الکتریکی برای انجام کار استفاده کنیم، الکتریسیته باید جاری باشد. این عمل وقتی صورت می‌گیرد که الکترون‌های آزاد درجهت معینی به‌حرکت درآیند و جریان الکتریکی تولید گردد.

هنگامی که تعداد زیادی الکترون‌های آزاد در یک سیم در یک جهت حرکت کنند، می‌گوییم جریان الکتریکی از سیم عبور می‌کند.



سطح فرضی سیم

شکل ۳ــ۳ــ جریان الکتریکی

۴ــ۳ــ عبور جریان

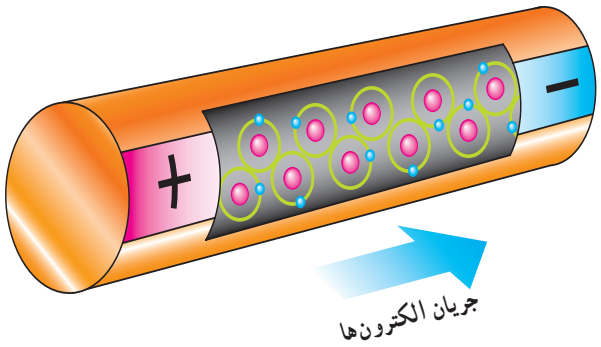
گاهی اوقات برای سادگی حرکت الکترون‌های آزاد را جریان الکتریکی می‌نامیم ولی صحیح‌تر این است که حرکت الکترون‌های آزاد را علت جریان الکتریکی بدانیم این موضوع با مقایسه سرعت یک الکترون با سرعت جریان روشن می‌شود.

الکترون آزادی که تحت تأثیر بارهای الکترواستاتیک به‌حرکت درمی‌آید، باید با نیروهای مداری اتمی مخالفت کند. در نتیجه، سرعت آن بسیار کم می‌شود و به حدود چند سانتی‌متر در ثانیه می‌رسد. اگر قرار بود که الکترون‌های آزاد در سیمی به طول ۳۰ کیلومتر حرکت کنند، بیش از ۳۰ روز طول می‌کشید اما می‌دانیم که جریان الکتریکی با سرعت نور یعنی ۳۰۰۰۰۰ کیلومتر در ثانیه حرکت می‌کند و این مسافت را در کسری از ثانیه طی می‌کند.

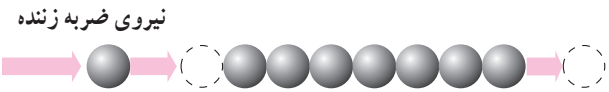
۵ــ۳ــ ضربان‌های الکترونی

جریان الکتریکی در واقع ضربان انرژی الکتریکی‌ای است که یک الکترون هنگام تغییر مدارش به الکترون دیگری انتقال می‌دهد. چون اتم‌ها خیلی به هم نزدیک‌اند و مدارهایشان روی هم قرار می‌گیرد ؛ بنابراین، الکترونی که آزاد می‌شود، برای ورود به مدار تازه لازم نیست مسافت زیادی را طی کند. الکترون درست در لحظه‌ای که به مدار تازه وارد می‌شود بار منفی‌اش بر بار منفی الکترونی که در آن مدار وجود دارد اثر می‌گذارد و انرژی خود را به الکترون بعدی منتقل می‌کند تا آن را آزاد سازد. این عمل در آنی صورت می‌گیرد و همه‌ی الکترون‌ها نیز عیناً همین عمل را انجام می‌دهند. بدین ترتیب، با این که الکترون به آرامی حرکت می‌کند، ضربان انرژی الکتریکی که در اتم‌ها انتقال می‌یابد سرعت زیادی دارد که برابر ۲۹۹۳۴۰ کیلومتر در ثانیه است. به این الکترون‌های آزاد **حامل‌های جریان** می‌گویند.

ضربان انرژی الکتریکی در الکترون‌ها بسیار شبیه به انتقال ضربه در یک ردیف طولانی از گلوله‌های فلزی است. در شکل ۵ــ۳ هنگامی که در یک سر ردیف گلوله‌ها، ضربه‌ای به یک گلوله وارد شود، این نیروی ضربه‌ای به هر یک از گلوله‌ها انتقال می‌یابد تا این که گلوله‌ی آخر آزاد گردد. این عمل چنان به‌سرعت انجام می‌گیرد که تقریباً در همان لحظه‌ای که به گلوله‌ی اول ضربه زده می‌شود، گلوله‌ی آخر رها می‌شود.



شکل ۴ــ۳ــ ضربان‌های الکترونی



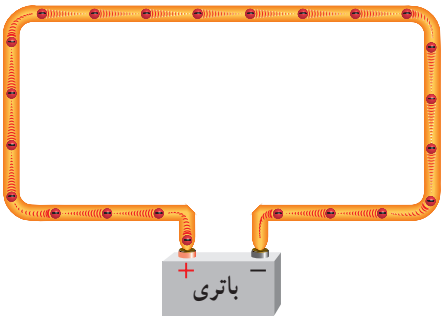
شکل ۵ــ۳ــ انتقال ضربه در گلوله‌های فلزی

۶ــ۳ــ شدت جریان الکتریکی

هنگامی که الکترون‌ها در جهت معینی حرکت کنند، جریان الکتریکی از مدار عبور می‌کند. بنابراین، اثر الکترون‌ها با یک‌دیگر جمع می‌شود و انرژی آزاد شده می‌تواند کار انجام دهد. هرچه تعداد الکترون‌های آزادی که در یک جهت حرکت می‌کنند بیش‌تر باشد، شدت جریان بیش‌تر است و مقدار انرژی بیش‌تری برای انجام دادن کار خواهیم داشت.

۷ــ۳ــ مدار کامل (بسته)

برای این‌که جریان الکتریکی برقرار شود، الکترون‌های آزاد باید به طور مداوم در جریان باشند، بدین لحاظ باید از منابع ولتاژ برای دادن بارهای مخالف به دو سر سیم استفاده شود. در این صورت، الکترون‌ها در قطب منفی سیم دفع شده و در طرف قطب مثبت به داخل منبع جذب می‌شوند. به ازای هر الکترونی که جذب منبع می‌شود، الکترون دیگری توسط طرف منفی منبع به سیم وارد می‌شود. در نتیجه، تا هنگامی که منبع ولتاژ تولید بار می‌کند، عبور جریان در سیم ادامه می‌یابد. چنین فرایندی یک مدار کامل (بسته) را تشکیل می‌دهد.

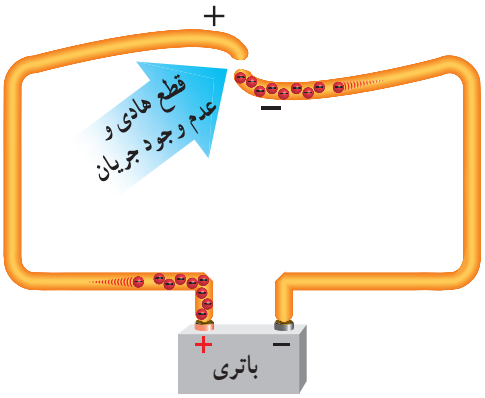


شکل ۶ ــ۳ــ مدار کامل (بسته)

قرارداد: قبل از کشف حرکت الکترون‌ها (که منشأ جریان الکتریکی است) چنین تصور می‌شد که جریان از پتانسیل بیش‌تر (مثبت) به‌طرف پتانسیل کم‌تر (منفی) برقرار می‌شود. پس، جهت جریان انرژی الکتریکی را نیز از قطب مثبت به طرف قطب منفی در نظر می‌گرفتند. اکنون ما با این‌که می‌دانیم حرکت الکترون‌ها از قطب منفی به طرف قطب مثبت است اما طبق همان قرارداد قدیمی در خارج از منبع، جهت جریان را از قطب مثبت به طرف قطب منفی در نظر می‌گیریم.

۸ــ۳ــ مدار باز

طبق شکل ۷ــ۳ اگر در یک مدار بسته سیم قطع شود، الکترون‌ها در انتهایی از سیم که به قطب منفی باتری متصل است، جمع می‌شوند و الکترون‌های آزاد انتهای دیگر سیم به قطب مثبت جذب می‌گردند ؛ بنابراین، بین دو سر قطع شدگی اختلاف بار به‌وجود می‌آید که با اختلاف بار الکتریکی منبع برابر است. در نتیجه، جریانی از مدار عبور نمی‌کند. به چنین مداری، **مدار باز** می‌گویند.



شکل ۷ــ۳ــ مدار باز

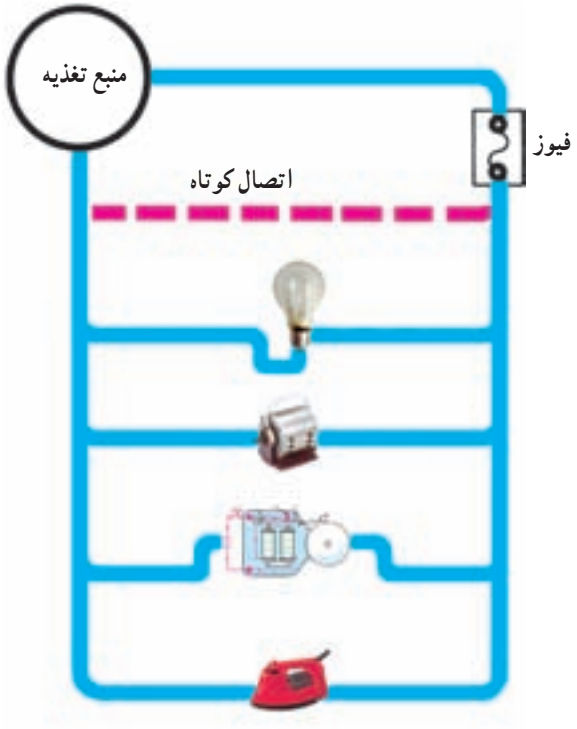
۹ــ۳ــ حالت اتصال کوتاه

هنگامی که یک سیم هادی مستقیماً به دو ترمینال یک باتری یا ژنراتور متصل می‌شود، مدار **اتصال کوتاه** ایجاد می‌گردد و جریانی بیش‌تر از آن‌چه باتری یا ژنراتور می‌تواند تغذیه کند، از سیم می‌گذرد. ممکن است باتری یا ژنراتور بسوزد و سیم خیلی داغ شود. به همین دلیل، از فیوزهای محافظ استفاده می‌کنند. هنگامی که جریان زیادی از سیم عبور کند، این فیوزها

عمل کرده و مدار باز می‌شود.

از سیم در دستگاه‌های الکتریکی برای جاری‌شدن جریان استفاده می‌شود تا این دستگاه‌ها را به کار اندازد. برای مثال، یک رشته سیم جریان را حمل می‌کند تا فیلامان لامپ گرم شود و نور به‌وجود آید یا انرژی الکتریکی لازم برای به راه افتادن موتور تأمین شود، زنگی به صدا درآید یا اتو گرم شود.

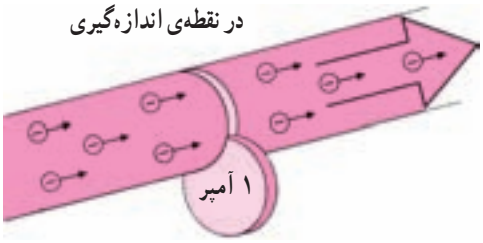
شکل ۸ــ۳ کاربردهای مختلف الکتریسیته‌ی جاری را نمایش می‌دهد.



شکل ۸ــ۳ــ کاربردهای الکتریسیته‌ی جاری

۱۰ــ۳ــ واحد اندازه‌گیری شدت جریان (آمپر)

تعداد الکترون‌هایی که از یک نقطه‌ی مدار می‌گذرند، مقدار جریان عبوری از مدار را تعیین می‌کنند. اگر از یک نقطه‌ی سیم در یک ثانیه ۱ کولن الکتریسیته ($۶/۲۸\times۱۰^{۱۸}$ الکترون) در جهت مشخص بگذرد، می‌گوییم شدت جریان عبوری ۱ آمپر است. بنابراین تعریف رابطه‌ی شدت جریان را می‌توان به صورت $I=\frac{q}{t}$ نشان داد که در آن q مقدار الکتریسیته بر حسب کولن، t زمان برحسب ثانیه و I شدت جریان برحسب آمپر است. نام این واحد ــ یعنی آمپر ــ از نام یک فیزیک‌دان ایتالیایی قرن هجدهم به نام آندره ماری آمپر گرفته شده است.



$$۱\ \text{آمپر}=\frac{\text{یک کولن}}{\text{یک ثانیه}}=\frac{۶/۲۸\times۱۰^{۱۸}}{۱}=۶/۲۸\times۱۰^{۱۸}\ e$$

شکل ۹ــ۳ــ تعریف آمپر

مثال۱: اگر $۱۲/۵۶\times۱۰^{۱۸}$ الکترون در مدت ۲ ثانیه در جهت مشخص از سیمی بگذرد، شدت جریان عبوری از سیم چه‌قدر است؟

$$q=\frac{۱۲/۵۶\times۱۰^{۱۸}}{۶/۲۸\times۱۰^{۱۸}}=۲\quad \text{کولن}$$

$$I=\frac{q}{t}=\frac{۲}{۲}=۱A$$

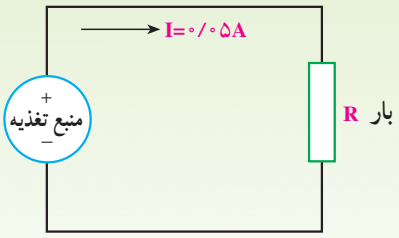
۱۱ــ۳ــ اجزا و اضعاف واحدهای اصلی الکتریکی

در مباحث الکتریکی اغلب ؛ مقدار عددی کمیت‌های مختلف به همراه واحد آن‌ها بیان می‌شود. در برخی موارد ممکن است واحد مربوطه با ضریبی کوچک‌تر (اجزا) و یا بزرگ‌تر (اضعاف) از واحد اصلی بیان شود. برای تبدیل هر کمیت به واحد اصلی لازم است تا از مقادیر عددی نمایش داده شده در جدول ۱ــ۳ استفاده کرد.

جدول ۱ــ۳ ــ اجزا و اضعاف واحدهای اصلی

حرف اختصاری	نام ضریب	شکل‌نمایی ضریب	مقدار ضریب
T	ترا	$۱۰^{۱۲}$	۱۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰
G	گیگا	$۱۰^{۹}$	۱۰۰۰۰۰۰۰۰۰
M	مگا	$۱۰^{۶}$	۱۰۰۰۰۰۰
k	کیلو	$۱۰^{۳}$	۱۰۰۰
h	هکتو	$۱۰^{۲}$	۱۰۰
da	دکا	۱۰	۱۰
	واحد اصلی	$۱۰^{۰}$	۱
d	دسی	$۱۰^{-۱}$	۰/۱
c	سانتی	$۱۰^{-۲}$	۰/۰۱
m	میلی	$۱۰^{-۳}$	۰/۰۰۱
μ	میکرو	$۱۰^{-۶}$	۰/۰۰۰۰۰۱
n	نانو	$۱۰^{-۹}$	۰/۰۰۰۰۰۰۰۰۱
p	پیکو	$۱۰^{-۱۲}$	۰/۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۱

مثال۲: شدت جریان عبوری از مدار شکل (۱۰ــ۳) معادل چند میلی‌آمپر است؟

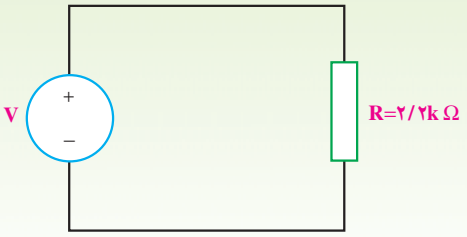


شکل ۱۰ــ۳

$$I = ۰/۰۵ \times ۱۰^{۳} = ۵ \times ۱۰^{-۲} \times ۱۰^{۳}$$

$$I = ۵۰mA$$

مثال۳: مقاومت R در مدار شکل (۱۱ــ۳) معادل چند اهم است؟



شکل ۱۱ــ۳

$$R = ۲/۲ \times ۱۰^{۳} = ۲۲۰۰\Omega$$

مثال۴: ولتاژ نشان داده شده در بین دو سیم شکل(۱۲ــ۳) معادل چند میلی‌ولت است؟

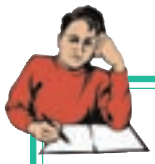
شکل ۱۲ــ۳

$$V = ۲۳۰ \times ۱۰^{۳} = ۲۳۰۰۰۰V$$

$$V = ۲۳۰۰۰۰ \div ۱۰^{-۳} = ۲۳۰۰۰۰ \times ۱۰^{۳}$$

$$= ۲۳ \times ۱۰^{۴} \times ۱۰^{۳} = ۲۳ \times ۱۰^{۷}$$

$$V = ۲۳۰۰۰۰۰۰mV$$



پرسش

۱ــ جریان الکتریکی را تعریف کنید.

۲ــ پیوند فلزی چیست؟

۳ــ آیا مدار الکترون‌های اتم‌های مختلف در یک سیم با یک‌دیگر تداخل می‌کنند؟

۴ــ ضربان الکترون‌ها چیست و چرا با سرعت الکترون تفاوت دارد؟

۵ــ چگونه فیوز از عبور جریان زیاد در مدار جلوگیری می‌کند؟

۶ــ آیا الکترون‌ها تحت تأثیر یک ولتاژ، با سرعت نور از اتمی به اتم دیگر می‌روند؟