بخش اوّل

الکتریسیته و برق

فصل اوّل

اصول الکتریسیته و کمیت‌های الکتریکی

هدف‌های رفتاری: از فراگیر انتظار می‌رود که در پایان این فصل بتواند :

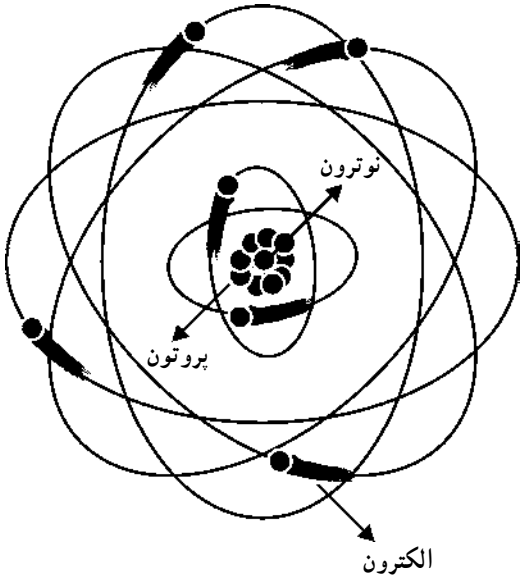
ـ ساختمان ماده را توضیح دهد.
ـ ساختمان اتم را توضیح دهد.
ـ بار الکتریکی را تعریف کند.
ـ نیروی جاذبه و دافعه‌ی بارهای الکتریکی را توضیح دهد.
ـ الکترون آزاد را تعریف کند.
ـ الکتریسیته‌ی ساکن را توضیح دهد.
ـ روش‌های تولید الکتریسیته‌ی ساکن را توضیح دهد.
ـ قانون کولن در جاذبه و دافعه‌ی بارهای الکتریکی را توضیح دهد.
ـ نیروی جاذبه و دافعه بین بارهای الکتریکی را حساب کند.
ـ نیروی محرکه‌ی الکتریکی و واحد آن را توضیح دهد.
ـ جریان الکتریکی و واحد آن را توضیح دهد.
ـ مقاومت الکتریکی و واحد آن را توضیح دهد.
ـ قانون اهم را توضیح دهد.
ـ مولتی‌متر و کار آن را توضیح دهد.
ـ توان الکتریکی را محاسبه کند.
ـ انرژی الکتریکی را محاسبه کند.
ـ جریان مستقیم و متناوب را توضیح دهد.

۱ــ۱ــ ساختمان ماده

هر چیزی که بخشی از فضا را اشغال کند، یعنی دارای حجم و وزن باشد از ماده تشکیل یافته است. ماده به‌صورت جامد، مایع و گاز دیده می‌شود ؛ مانند : آب، سنگ، چوب، هوا، گازهای بی‌رنگ و غیره. پس هر شیء مادی دارای جرم و حجم است.

۱ــ۲ــ ساختمان اتم

مواد پیرامون ما از ذره‌های بسیار ریزی به‌نام مولکول ساخته شده‌اند. مولکول کوچک‌ترین ذره‌ی هر ماده است که ماهیت آن ماده را در خود دارد. مولکول‌ها نیز به ذره‌های ریزتری به‌نام اتم قابل تقسیم هستند. اتم‌ها از دو قسمت تشکیل شده‌اند. قسمتی که در مرکز اتم قرار دارد، هسته نامیده می‌شود. هسته از پروتون و نوترون تشکیل یافته است. به ذره‌های باردار با بار مثبت پروتون می‌گویند. جرم نوترون هم مشابه پروتون است، ولی بار الکتریکی ندارد. همچنین در فضای اطراف هسته ذره‌هایی با بار الکتریکی منفی وجود دارند که الکترون نامیده می‌شوند. الکترون‌ها در مدارهایی به دور هسته درحال گردش هستند. شکل ۱ــ۱ ساختمان یک اتم را نشان می‌دهد.

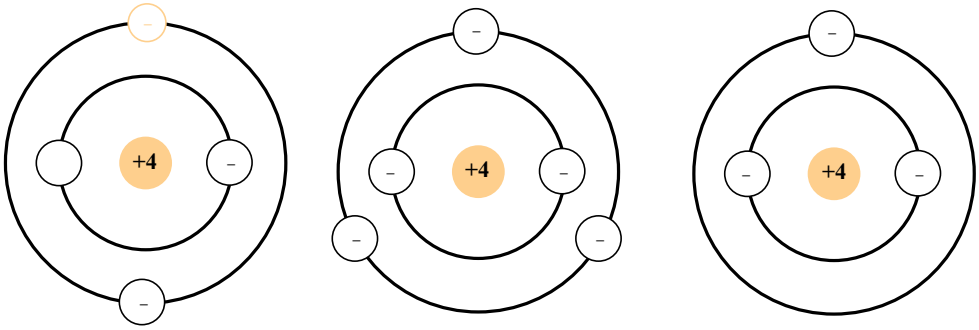


شکل ۱ــ۱

۱ــ۳ــ بار الکتریکی

چون تعداد الکترون‌ها و پروتون‌های هر جسم برابر است، اتم آن جسم از نظر بار الکتریکی

خنثی می‌باشد. اگر تعادل بین الکترون‌ها و پروتون‌های یک جسم به هم بخورد، یعنی تعدادی الکترون به جسم اضافه کرده یا تعدادی الکترون از آن کم کنیم، جسم باردار می‌شود. اگر تعداد الکترون‌های جسم بیش‌تر از تعداد پروتون‌های آن باشد، جسم دارای بار الکتریکی منفی می‌شود و اگر تعداد الکترون‌ها کم‌تر از تعداد پروتون‌ها باشد، جسم دارای بار الکتریکی مثبت می‌شود. شکل ۱ــ۲ یک اتم خنثی، یک اتم دارای بار منفی و یک اتم دارای بار مثبت را نشان می‌دهد.



اتم خنثی　　اتم دارای بار منفی　　اتم دارای بار مثبت

شکل ۱ــ۲

۱ــ۳ــ۱ــ واحد بار الکتریکی: معمولاً واحد بار الکتریکی از روی مقدار بار الکتریکی الکترون‌های جسم تعریف می‌شود. واحد بار الکتریکی به افتخار دانشمند فرانسوی کولن نامیده می‌شود. یک کولن معادل بار الکتریکی $۶/۲۸\times۱۰^{۱۸}$ الکترون است ؛ یعنی اگر $۶/۲۸\times۱۰^{۱۸}$ الکترون به جسمی بدهیم، آن جسم به اندازه‌ی یک کولن بار منفی پیدا می‌کند و چنان‌چه همین تعداد الکترون از جسم بگیریم، آن جسم یک کولن بار مثبت خواهد داشت. بار الکتریکی را با Q یا q و واحد آن را با (C) نشان می‌دهند.

۱ــ۳ــ۲ــ نیروی جاذبه و دافعه‌ی بین بارهای الکتریکی: وقتی دو ذره از نظر بار الکتریکی مشابه باشند ؛ یعنی هر دو دارای بار مثبت یا هر دو دارای بار منفی باشند، یکدیگر را دفع می‌کنند. اما اگر دو ذره بار الکتریکی مشابه نداشته باشند، یعنی یکی دارای بار الکتریکی مثبت و دیگری دارای بار الکتریکی منفی باشد، یکدیگر را جذب می‌کنند. پس بارهای هم‌نام، یکدیگر را دفع و بارهای غیرهم‌نام یکدیگر را جذب می‌کنند.

۱ــ۴ــ الکترون آزاد

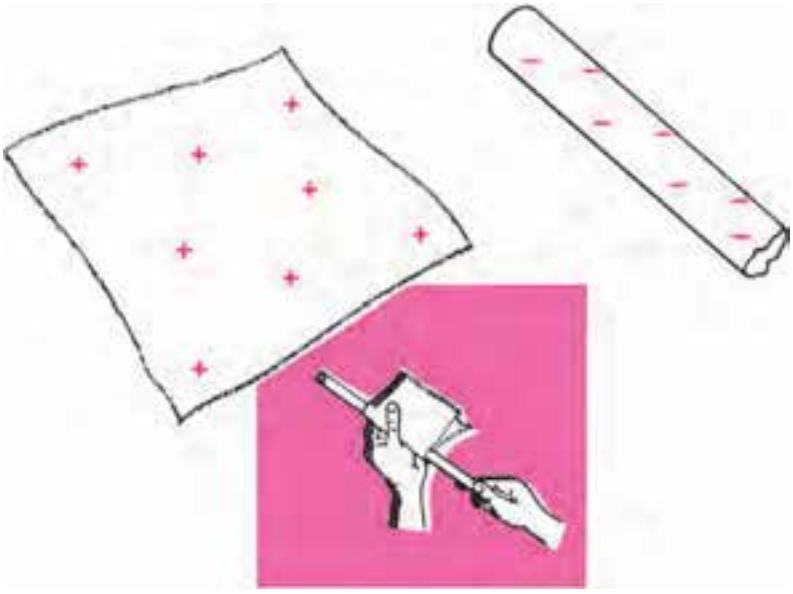
الکترون‌ها دارای بار الکتریکی منفی و پروتون‌ها دارای بار الکتریکی مثبت هستند ؛ بنابراین

پروتون‌ها که در هسته‌ی اتم قرار دارند، بر الکترون‌ها نیرو وارد می‌کنند و الکترون‌ها تحت این نیروی جاذبه به دور هسته‌ی اتم در گردش هستند. اگر در اثر عواملی چون حرارت، انرژی الکترون‌های یک اتم را افزایش دهیم، الکترون‌ها از قید نیروی هسته آزاد می‌شوند و به‌طور آزاد در فضای بین اتم‌ها حرکت می‌کنند. این الکترون‌ها را «الکترون‌های آزاد» گویند.

۱ــ۵ــ الکتریسیته‌ی ساکن و روش‌های تولید آن

با آزاد شدن الکترون، الکتریسیته ایجاد می‌شود. روش‌های مختلفی برای تولید الکتریسیته‌ی ساکن وجود دارد که در زیر به آن‌ها اشاره می‌شود.

۱ــ۵ــ۱ــ تولید الکتریسیته به روش اصطکاک: هرگاه یک میله‌ی شیشه‌ای را به روی پارچه‌ی ابریشمی مالش دهیم، تعدادی از الکترون‌های میله‌ی شیشه‌ای جذب پارچه‌ی ابریشمی می‌شود. در این حالت میله‌ی شیشه‌ای دارای الکتریسیته‌ی مثبت و پارچه‌ی ابریشمی دارای الکتریسیته‌ی منفی می‌شود. اگر به‌جای میله‌ی شیشه‌ای از میله‌ی پلاستیکی استفاده کنیم و آن را به پارچه‌ی پشمی مالش دهیم، میله‌ی پلاستیکی از پارچه‌ی پشمی تعدادی الکترون دریافت می‌کند و دارای بار منفی می‌شود. در این‌صورت در میله‌ی پلاستیکی الکتریسیته‌ی منفی تولید شده است. شکل ۱ــ۳ این حالت را نشان می‌دهد.



شکل ۱ــ۳

۱ــ۵ــ۲ــ تولید الکتریسیته با روش شیمیایی: مواد شیمیایی با فلزات مخصوصی ترکیب شده سبب واکنش‌های شیمیایی و در نتیجه انتقال الکترون و تولید بار الکتریکی می‌شوند. باتری معمولی به این روش الکتریسیته تولید می‌کند.

۱ــ۵ــ۳ــ تولید الکتریسیته با استفاده از حرارت: برخی از فلزات الکترون از دست می‌دهند و برخی دیگر آن را جذب می‌کنند، از این‌رو هنگام انتقال، بین دو جسم غیرمشابه انتقال الکترون صورت می‌گیرد. برای مثال، اگر مس و روی را به هم متصل کنیم، الکترون‌ها از اتم مس خارج و به اتم روی وارد می‌شوند ؛ به این ترتیب مس الکترون خود را از دست می‌دهد و مثبت می‌شود و فلز روی الکترون‌های اضافی کسب می‌کند و به‌طور منفی باردار می‌شود. اگر به محل اتصال دو فلز حرارت دهیم، الکترون‌های بیش‌تری آزاد می‌شوند. به این روش ترموالکتریک و به اتصال دو فلز ترموکوپل گفته می‌شود. شکل ۱ــ۴ این حالت را نشان می‌دهد.

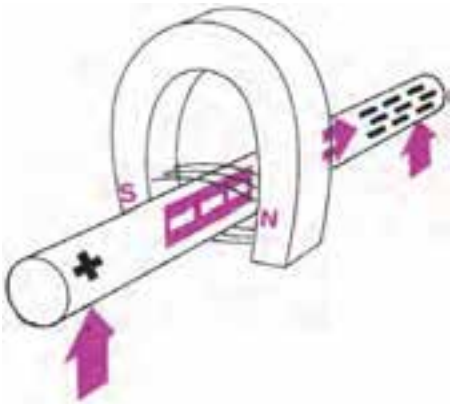
شکل ۱ــ۴ــ تولید الکتریسیته به روش حرارتی

۱ــ۵ــ۴ــ تولید الکتریسیته با استفاده از نور: اگر به بعضی از اجسام مانند سلنیم، پتاسیم و سیلیکون نور بتابانیم، الکترون از دست می‌دهند. این اجسام قادر هستند انرژی نورانی را به‌طور مستقیم به الکتریسیته تبدیل کنند. از این خاصیت در ساختمان پیل نوری استفاده می‌شود.

۱ــ۵ــ۵ــ تولید الکتریسیته با استفاده از خاصیت مغناطیسی: اگر یک هادی خوب مانند مس را درون یک میدان مغناطیسی حرکت دهیم، به‌طوری که خطوط میدان مغناطیسی توسط میله قطع شود، انرژی میدان مغناطیسی باعث آزاد شدن الکترون‌ها از اتم‌های آن هادی می‌شود. در این حالت الکترون‌های آزاد شده به یک سمت حرکت می‌کنند. جهت حرکت الکترون‌ها به جهت

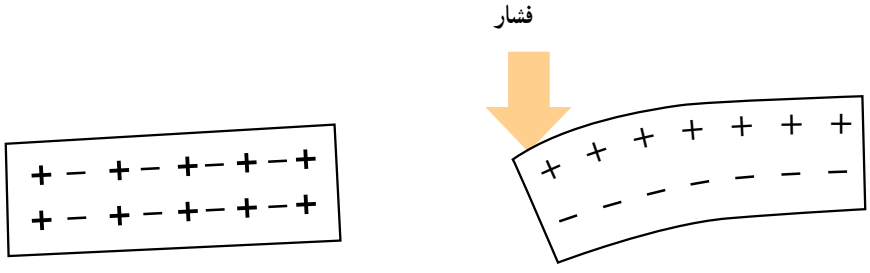
حرکت سیم بستگی دارد.

البته تنها حرکت هادی در داخل میدان باعث تولید الکتریسیته نمی‌شود ؛ بلکه اگر میدان مغناطیسی متغیر باشد نیز الکتریسیته تولید می‌گردد. این روش تولید الکتریسیته اساس کار ژنراتورهای الکتریکی است. شکل ۱ــ۵ این روش تولید الکتریسیته را نشان می‌دهد.



شکل ۱ــ۵ــ الکتریسیته‌ی مغناطیسی

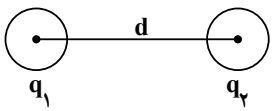
۱ــ۵ــ۶ــ تولید الکتریسیته با استفاده از فشار (پیزوالکتریک): اگر به بعضی اجسام مانند نمک روشل یا تیتانات باریم فشار وارد کنیم، نیروی فشار باعث به حرکت درآمدن الکترون‌ها و رفتن آن‌ها به یک طرف جسم می‌شوند. در این صورت، یک طرف جسم بار الکتریکی منفی و طرف دیگر بار الکتریکی مثبت پیدا می‌کند. اگر نیروی فشار قطع شود الکترون‌ها به مدارهای خود برمی‌گردند. به نیروی فشار برای تولید بارهای الکتریکی اثر پیزوالکتریک گویند. شکل ۱ــ۶ این حالت را نشان می‌دهد.



شکل ۱ــ۶

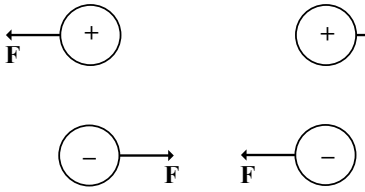
۱ــ۶ــ قانون کولن

در قرن هجدهم یک دانشمند فرانسوی به‌نام کولن روی بارهای الکتریکی آزمایش‌هایی انجام داد و قانونی را در مورد جاذبه و دافعه‌ی بین بارهای الکتریکی کشف کرد که به آن قانون کولن گویند. کولن چنین بیان نمود که هرگاه دو جسم باردار خیلی کوچک را درنظر بگیرید که بتوان آن‌ها را در حکم نقطه‌ی باردار دانست یا هرگاه دو جسم کروی را فرض کنید که بار الکتریکی به‌طور یکنواخت روی آن‌ها توزیع شده باشد، اگر بار این دو جسم را با $q_۱$ و $q_۲$ و فاصله‌ی بین آن‌ها را با d نشان دهیم نیروی جاذبه یا دافعه‌ی بین این بارها متناسب است با مقدار بار الکتریکی هر یک از آن‌ها. به عبارت دیگر، متناسب است با حاصل‌ضرب دو بار الکتریکی. در ضمن این نیرو با عکس مجذور فاصله‌ی دو بار الکتریکی نیز متناسب است ؛ یعنی اگر فاصله‌ی بین دو بار دو برابر شود، نیروی بین آن‌ها به $\frac{۱}{۴}$ مقدار اوّلیه‌اش می‌رسد و اگر فاصله‌ی بین دو بار الکتریکی سه برابر شود، نیرو به $\frac{۱}{۹}$ مقدار اوّلیه می‌رسد. این قانون به‌صورت رابطه‌ی $F = \frac{Kq_۱q_۲}{d^۲}$ بیان می‌شود :



K ضریبی است که بستگی دارد به واحدهای انتخاب شده و جنس محیطی که دو جسم باردار در آن قرار گرفته‌اند. اگر اندازه‌گیری نیرو در خلأ صورت گیرد و در دستگاه بین‌المللی واحدها (SI) که در آن F برحسب نیوتن و q برحسب کولن و d برحسب متر است، K تقریباً برابر با $K = ۹\times۱۰^۹ \frac{Nm^۲}{C^۲}$ می‌شود.

اگر در هنگام محاسبه، بار مثبت را با علامت مثبت و بار منفی را با علامت منفی نشان دهیم، نیروی دافعه‌ی بین دو بار هم‌نام با علامت مثبت و نیروی جاذبه‌ی بین دو بار غیرهم‌نام با علامت منفی درنظر گرفته می‌شود. رابطه‌ی $F = \frac{Kq_۱q_۲}{d^۲}$ فقط اندازه‌ی نیروی کولن را تعیین می‌کند. راستای این نیرو همواره در امتداد خطی است که دو جسم را به یکدیگر وصل می‌نماید. جهت نیرو بستگی به نوع بارهای الکتریکی دو جسم دارد. چنان‌چه گفته شد، بارهای هم‌نام یکدیگر را دفع و بارهای غیرهم‌نام یکدیگر را جذب می‌کنند :



مثال (۱): نیروی بین دو بار الکتریکی مثبت که مقدار بار هر یک از آن‌ها یک کولن است و در فاصله‌ی یک متری از یکدیگر قرار دارند چه‌قدر است؟

حل:

$$q_۱ = q_۲ = ۱C$$

$$d = ۱m$$

$$F = K\frac{q_۱ q_۲}{d^۲} = ۹\times ۱۰^۹ \times \frac{۱\times ۱}{(۱)^۲} = ۹\times ۱۰^۹ \text{ نیوتن}$$

مثال (۲): اگر دو بار منفی به مقدار یک میکروکولن به فاصله‌ی ۱۰ متر از یکدیگر قرار داشته باشند، نیروی دافعه‌ی بین آن‌ها چند نیوتن است؟

حل: $۱۰^{-۶}c$ = کولن $\frac{۱}{۱۰۰۰/۰۰۰} = ۱.c$ = یک میکروکولن

$$q_۱ = q_۲ = ۱۰^{-۶}c \qquad d = ۱۰m$$

$$F = K\frac{q_۱ q_۲}{d^۲} = ۹\times ۱۰^۹ \times \frac{۱۰^{-۶}\times ۱۰^{-۶}}{(۱۰)^۲} = ۹\times ۱۰^{-۵} \text{ نیوتن}$$

۱ــ۷ــ اختلاف سطح یا اختلاف پتانسیل الکتریکی

هرگاه بین دو نقطه از نظر تعداد الکترون تفاوت وجود داشته باشد، بین آن دو نقطه اختلاف سطح الکتریکی دیده می‌شود. اختلاف سطح الکتریکی را اختلاف پتانسیل یا اختلاف فشار الکتریکی هم می‌نامند. اختلاف سطح الکتریکی را با V یا U نشان می‌دهند.

واحد اختلاف سطح الکتریکی ولت است. واحد کوچک‌تر و بزرگ‌تر اختلاف سطح الکتریکی به‌ترتیب میلی‌ولت، میکروولت و کیلوولت است.

$$۱mV = \frac{۱}{۱۰۰۰} \text{ ولت} = ۱۰^{-۳} \text{ ولت} = \text{یک میلی‌ولت}$$

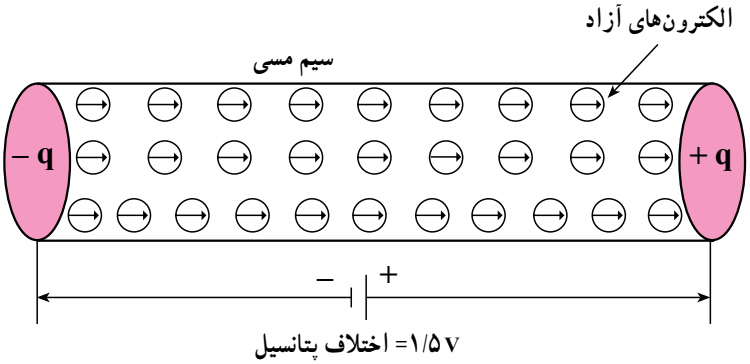
$$۱. V = \frac{۱}{۱۰۰۰/۰۰۰} \text{ ولت} = ۱۰^{-۶} \text{ ولت} = \text{یک میکروولت}$$

$$۱kV = ۱۰۰۰ \text{ ولت} = ۱۰^۳ \text{ ولت} = \text{یک کیلوولت}$$

۱ــ۸ــ جریان الکتریکی

هرگاه دو نقطه‌ی دارای اختلاف سطح الکتریکی (مانند قطب مثبت و منفی یک باتری) را به‌وسیله‌ی یک سیم هادی به هم وصل کنیم، الکترون‌های اضافی موجود در قطب منفی به‌طرف قطب

مثبت حرکت می‌کنند و در طول سیم هادی جابه‌جا می‌شوند. جابه‌جایی الکترون‌ها در طول سیم هادی سبب برقراری جریان الکتریکی می‌شود. شکل ۱ــ۷ حرکت الکترون‌های آزاد درون سیم را نشان می‌دهد.



شکل ۱ــ۷ــ حرکت الکترون‌های آزاد

۱ــ۸ــ۱ــ واحد شدت جریان الکتریکی: واحد شدت جریان الکتریکی آمپر نام دارد. اگر در هر ثانیه از یک نقطه‌ی سیم $۶/۲۸\times۱۰^{۱۸}$ الکترون (۱ کولن الکتریسیته) عبور کند، شدت جریان یک آمپر است. شدت جریان الکتریکی را با I و واحد آن را با A نشان می‌دهند. واحدهای کوچک‌تر آمپر، میلی‌آمپر و میکروآمپر نام دارد.

$$\text{یک میلی‌آمپر} = ۱\text{mA} = \frac{۱}{۱۰۰۰}\text{A} = ۱۰^{-۳}\text{A}$$

$$\text{یک میکروآمپر} = ۱.\ \text{A} = \frac{۱}{۱۰۰۰/۰۰۰}\text{A} = ۱۰^{-۶}\text{A}$$

جهت شدت جریان الکتریکی، طبق قرارداد، از قطب مثبت به طرف قطب منفی (خلاف حرکت الکترون‌ها) درنظر گرفته می‌شود.

۱ــ۹ــ مقاومت الکتریکی

هر عاملی که بتواند جریان الکتریکی را کُند یا متوقف کند، مقاومت الکتریکی نام دارد. هرچه مقدار مقاومت بیش‌تر باشد، شدت جریان الکتریکی کم‌تر است.

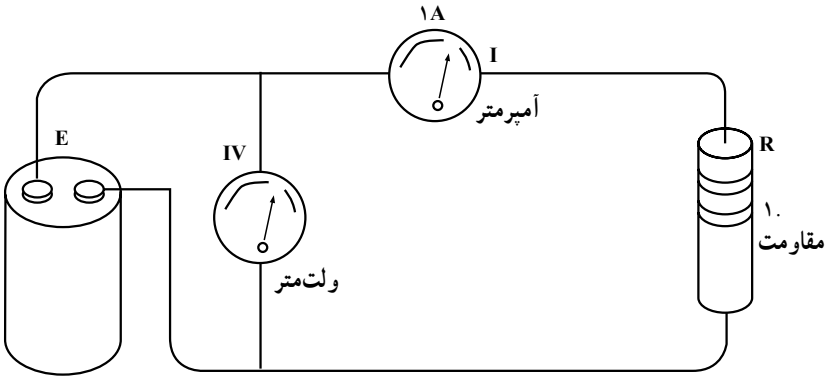
۱ــ۹ــ۱ــ واحد مقاومت الکتریکی: واحد مقاومت الکتریکی اهم نام دارد. یک اهم مقاومت الکتریکی یک سیم هادی است. اگر ولتاژی معادل یک ولت به دو سر آن وصل کنیم، جریانی به شدت یک آمپر از آن عبور می‌کند. اهم را با علامت (.) اُمِگا نشان می‌دهند. واحدهای بزرگ‌تر اهم، کیلواهم (k.) و مگااهم (M.) است.

یک کیلو اهم =۱k=. ۱۰۰۰=. $۱۰^{۳}$.

یک مگا اهم =۱M=. ۱۰۰۰/۰۰۰=. $۱۰^{۶}$.

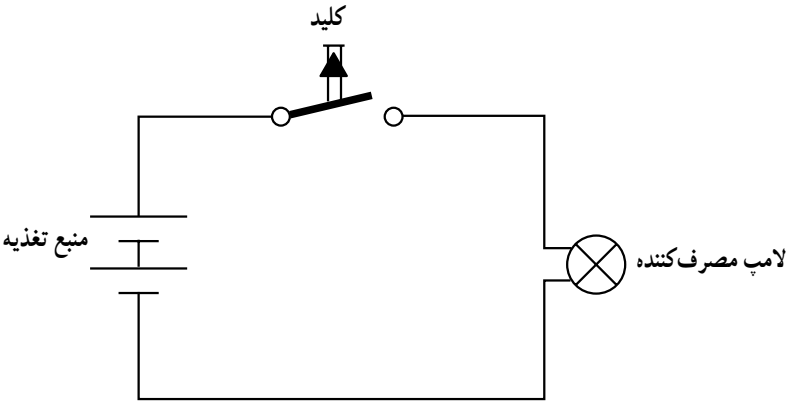
۱ــ۱۰ــ ساده‌ترین مدار الکتریکی

در شکل ۱ــ۸ ساده‌ترین نوع مدار الکتریکی رسم شده است. هر مدار الکتریکی حداقل دارای یک منبع ولتاژ، مصرف‌کننده و کلید قطع و وصل و سیم‌های رابط جهت هدایت جریان الکتریکی می‌باشد.



شکل ۱ــ۸

یکی از مدارهای ساده‌ی الکتریکی، چراغ‌قوه است. در چراغ‌قوه پیل‌ها به منزله‌ی مولد اختلاف پتانسیل، لامپ به منزله‌ی مصرف‌کننده و کلید خاموش و روشن به منزله‌ی کلید قطع و وصل عمل می‌کند. از بدنه‌ی چراغ‌قوه به منزله‌ی سیم رابط استفاده شده است. در شکل ۱ــ۹ مدار ساده الکتریکی یک چراغ‌قوه رسم شده است.



شکل ۱ــ۹

۱ــ۱۱ــ قانون اهم

ژرژ سیمون اهم کشف کرد که در یک مدار الکتریکی بین ولتاژ و جریان و مقاومت رابطه‌ای وجود دارد ؛ به‌طوری که اگر مقاومت مدار ثابت نگاه داشته شود و مقدار ولتاژ منبع افزایش یابد، شدت جریان نیز زیاد می‌شود و اگر ولتاژ کاهش یابد، شدت جریان هم کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر، اهم دریافت که در یک مدار الکتریکی نسبت اختلاف سطح الکتریکی به شدت جریان الکتریکی برابر با مقاومت مدار است.

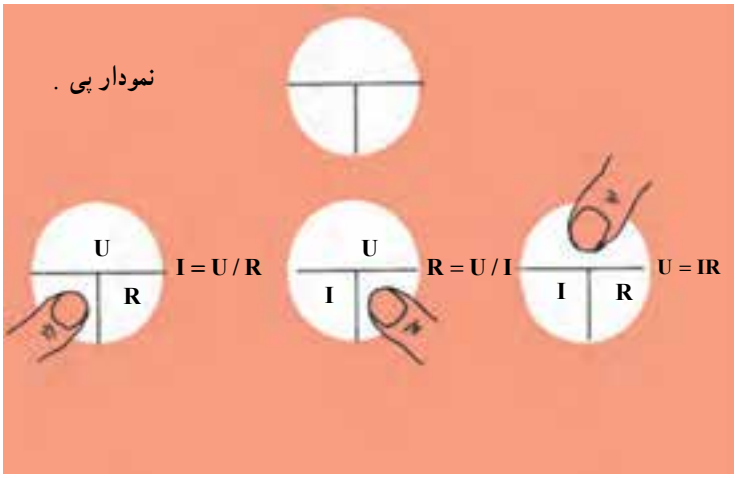
$$\text{مقاومت الکتریکی} = \frac{\text{اختلاف سطح الکتریکی}}{\text{شدت جریان الکتریکی}}$$

$$\text{اهم} = \frac{\text{ولت}}{\text{آمپر}} \qquad R = \frac{U}{I}$$

قانون اهم را می‌توان به شکل‌های مختلف نوشت :

$$R = \frac{U}{I} \text{ یا } U = RI \text{ یا } I = \frac{U}{R}$$

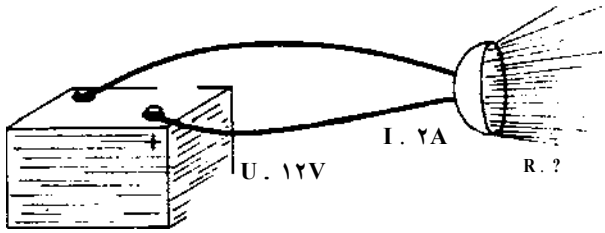
برای به‌دست آوردن هر کمیت مجهول در قانون اهم می‌توان از شکل ۱ــ۱۰ استفاده کرد.

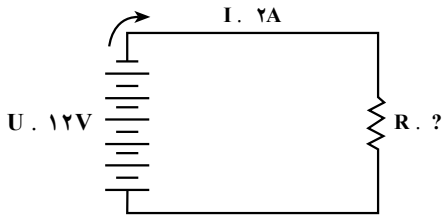


شکل ۱ــ۱۰

مثال ــ تعیین مقاومت: یک باتری ۱۲ ولتی اتومبیل، لامپ چراغ راهنمای اتومبیل را که ۲ آمپر جریان می‌کشد روشن می‌کند. مقاومت لامپ چراغ راهنمای اتومبیل چه‌قدر است؟

حل:



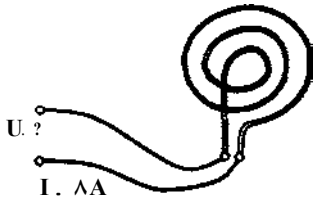


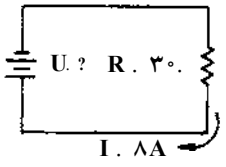
$R . \frac{۱۲}{۲}$

R . ۶ اهم

مثال ــ تعیین ولتاژ: یک اِلمان (رشته‌ی گرم‌شونده) اجاق برقی دارای مقاومت ۳۰ اهم است. اگر جریان مصرفی توسط اجاق برقی ۸ آمپر باشد، چه اختلاف سطحی لازم است تا اجاق را راه‌اندازی کند؟

حل:





U . ۸×۳۰

U . ۲۴۰V

مثال ــ تعیین جریان: یک مجموعه پیل نوری را که ولتاژ خروجی آن ۳ ولت است به یک مقاومت ۱۰۰۰ اهمی اتصال می‌دهیم، جریان مدار را به‌دست آورید.

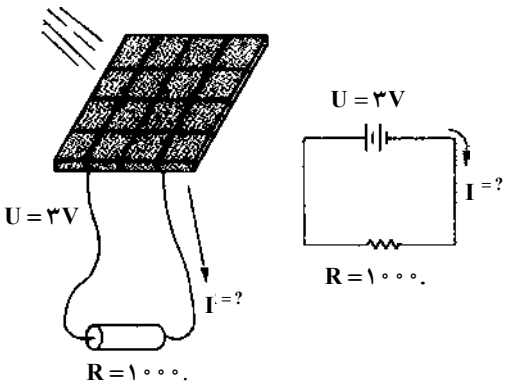
حل:

$$I = \frac{U}{R}$$

$$I = \frac{۳}{۱۰۰۰}$$

$$I = ۰/۰۰۳A$$

$$I = ۳mA$$



۱ــ۱۲ــ مولتی‌متر

مولتی‌متر دستگاهی است که به‌وسیله‌ی آن می‌توان چند کمیت الکتریکی را اندازه‌گیری نمود. معمولاً اغلب مولتی‌مترها قادر به اندازه‌گیری ولتاژ، جریان و مقاومت الکتریکی هستند. مولتی‌متر را آوومتر (AVO meter) نیز می‌نامند. A مخفف آمپر، V به معنی ولت و O به منزله‌ی اهم است. در شکل ۱ــ۱۱ شمای ظاهری یک مولتی‌متر عقربه‌ای و دیجیتالی نشان داده شده است.

شکل ۱ــ۱۱

۱ــ۱۳ــ قدرت الکتریکی

حاصل‌ضرب ولتاژ در شدت جریان الکتریکی را قدرت یا توان الکتریکی گویند ($P = UI$).
توان الکتریکی عبارت است از انرژی مصرف شده در واحد زمان. قدرت الکتریکی را با P نمایش می‌دهند. واحد قدرت الکتریکی وات (Watt) است. واحدهای کوچک‌تر توان الکتریکی میلی‌وات و میکروووات و واحدهای بزرگ‌تر آن کیلووات و مگاوات است.

یک میلی‌وات $= ۱mW = ۱۰^{-۳}W$

یک میکروووات $= ۱.\ W = ۱۰^{-۶}W$

یک کیلووات $= ۱kW = ۱۰^{+۳}W$

یک مگاوات $= ۱MW = ۱۰^{+۶}W$

واحد دیگر توان، اسب بخار است. یک اسب بخار برابر ۷۳۶ وات می‌باشد. توان را می‌توان از رابطه‌های $P = \frac{U^۲}{R}$ یا $P = RI^۲$ هم به‌دست آورد.

مثال: شدت جریان عبوری از یک لامپ ۱۰۰ وات با ولتاژ کار ۲۲۰ ولت چه‌قدر است؟

حل:

$P = ۱۰۰W$ $\qquad$ $U = ۲۲۰V$

$P = UI$ $\qquad$ $\Rightarrow I = \frac{P}{U} = \frac{۱۰۰}{۲۲۰} = ۰/۴۵A$

۱ــ۱۴ــ انرژی الکتریکی

حاصل‌ضرب توان الکتریکی در مدت زمان را انرژی الکتریکی می‌نامند. واحد تجاری انرژی الکتریکی کیلووات ساعت است. انرژی الکتریکی را با W نشان می‌دهند :

$W = P \times t$

کیلووات ساعت = کیلووات × ساعت $= kWh$

برای اندازه‌گیری انرژی الکتریکی از کنتور استفاده می‌کنند.

مثال: توان مصرفی یک آپارتمان ۱۰۰۰ وات است ؛ انرژی مصرف شده در مدت ۳۰ روز را حساب کنید.

حل:

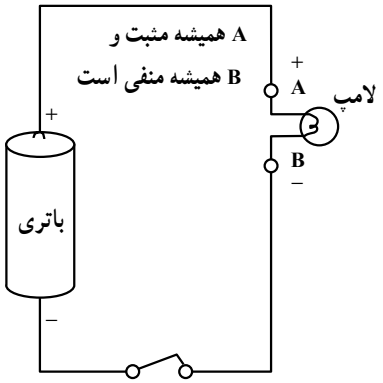
$P = ۱۰۰۰W = ۱kW$

$W = P \times t$ $\qquad$ $t = ۳۰ \times ۲۴ = ۷۲۰$

$W = ۱ \times ۷۲۰ = ۷۲۰kWh$

۱ــ۱۵ــ جریان مستقیم یا DC[1]

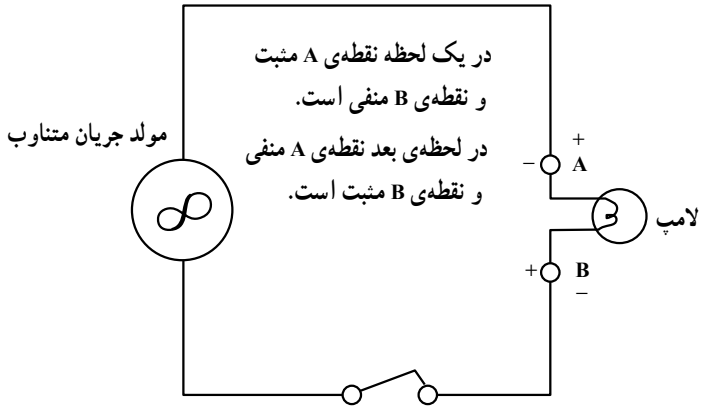
هرگاه دو قطب ولتاژ نسبت به زمان ثابت بماند، جریان فقط در یک جهت جاری می‌شود و مقدار و جهت آن در طول زمان تغییر نمی‌کند. به این جریان، جریان DC یا مستقیم گویند. باتری‌ها مولد جریان DC هستند. شکل ۱ــ۱۲ مدار یک جریان مستقیم را نشان می‌دهد.



شکل ۱ــ۱۲

۱ــ۱۶ــ جریان متناوب یا AC[2]

هرگاه جهت قطب‌های یک مولد به‌طور متناوب تغییر کند، جهت جریان نیز به‌طور متناوب تغییر می‌کند. این نوع جریان را جریان متناوب گویند و آن را به‌صورت AC نشان می‌دهند. از انواع جریان AC می‌توان برق شهر و مولدهای کوچک برق اضطراری را نام برد. شکل ۱ــ۱۳ مدار یک جریان AC را نشان می‌دهد.



شکل ۱ــ۱۳

۱ــ DC = Direct Current ۲ــ AC = Alternating Current

پرسش

۱ــ ماده و اتم را تعریف کنید.

۲ــ روش‌های مختلف تولید الکتریسیته را نام ببرید.

۳ــ کمیت‌های ولتاژ، جریان و مقاومت را شرح دهید و واحد آن‌ها را بیان کنید.

۴ــ قانون اهم را شرح دهید و حالت‌های آن را به‌صورت فرمول بنویسید.

۵ــ مولتی‌متر چه کمیت‌هایی را می‌تواند اندازه بگیرد؟

۶ــ جریان مستقیم و متناوب را شرح دهید.

۷ــ هرگاه دو بار نقطه‌ای $q_1 = +10^{-6}\ c$ و $q_2 = -5^{-6}\ c$ در فاصله‌ی دو متری از یکدیگر قرار گرفته باشند، الف) نیروی جاذبه بین دو بار چه‌قدر است؟ ب) جهت نیرو را مشخص کنید.

۸ــ ۱۰۰ میکروولت چند میلی‌ولت و چند ولت است؟

۹ــ جریان‌های زیر را به‌ترتیب از چپ به راست و از کم‌ترین مقدار به بیش‌ترین مقدار مرتّب کنید.

$$۲۰۰\text{mA} - ۱۰۰^{-6}\ \text{A} \quad \text{و} \quad ۰/۰۵\text{A} - ۰/۳\text{mA} - ۴۵۰^{-6}\ \text{A}$$

۱۰ــ به دو سر یک مقاومت ۶۰ اهمی ولتاژی برابر ۳۰ ولت وصل شده است. جریان عبوری از مقاومت چه‌قدر است؟

۱۱ــ یک لامپ دارای مقاومت ۱۵۰ اهم است. اگر از این لامپ جریان ۰/۵ آمپر عبور کند، افت ولتاژ دو سر لامپ چه‌قدر است؟

۱۲ــ اگر ولتاژ ۱۰۰ ولت را به دو سر یک مقاومت وصل کنیم و از مقاومت ۲A جریان بگذرد، مقدار مقاومت چه‌قدر است؟

فصل دوم

حفاظت و ایمنی در صنعت برق

هدف‌های رفتاری: از فراگیر انتظار می‌رود که در پایان این فصل بتواند :
ـ اثرات فیزیولوژیک برق بر بدن را شرح دهد.
ـ حدود ولتاژ برق خطرناک را بیان کند.
ـ عوارض برق‌گرفتگی را شرح دهد.
ـ کمک‌های اوّلیه در برق‌گرفتگی را توضیح دهد.
ـ اصول کار فیوز را توضیح دهد.
ـ اتصال زمین دستگاه‌های الکتریکی را شرح دهد.

۲ـ۱ـ اثرات فیزیولوژیکی برق در بدن انسان

مقدار جریانی که ممکن است بدون هیچ‌گونه خطری از بدن انسان عبور کند، به ویژگی‌های جسمی شخص، دامنه‌ی جریان، نوع جریان، مسیر و طول مدت عبور جریان بستگی دارد. مقاومت الکتریکی بدن در صورتی که پوست سالم و خشک باشد، حدود ۱۳۰۰ تا ۳۰۰۰ اهم است. مقاومت بدن در اثر رطوبت نیز کاهش می‌یابد. همچنین خراش، زخم و سوختگی می‌تواند باعث پایین آمدن مقاومت بدن شود.

جریان کم، حدود یک یا دو میلی‌آمپر، بی‌خطر است و امکان دارد تنها به‌صورت یک لرزش خفیف در بدن ظاهر شود. در جریان‌های بیش‌تر از ۱۰ تا ۱۵ میلی‌آمپر ممکن است شوک به‌صورت گذرا از سطح بدن عبور کند ؛ اما در جریان‌های بالاتر این اثر به‌صورت گرفتگی ماهیچه نمایان می‌شود. جریان‌های بالاتر ایجاد درد شدید می‌کند ؛ به‌طوری که در جریان حدود ۳۰ تا ۵۰ میلی‌آمپر درد غیرقابل تحمل است. البته حدود ۵۰ میلی‌آمپر به بالا کشنده است. در جدول ۲ـ۱ اثر جریان برق روی انسان در فرکانس ۵۰ هرتز نشان داده شده است.

جدول ۲ــ۱ــ تأثیر جریان بر بدن انسان

جریان دائم (مستقیم)	جریان متناوب ۵۰ تا ۶۰ هرتز	شدت جریان به میلی‌آمپر
۱ــ در این محدوده جریانی احساس عارض نمی‌شود.	احساس عبور جریان لرزش کم انگشتان دست	۰/۶ تا ۱/۵
۲ــ در این محدوده جریانی احساس عارض نمی‌شود.	لرزش شدید انگشتان دست	۲ تا ۳
۳ــ درد با خارش، احساس گرما	تشنج دست‌ها	۵ تا ۷
۴ــ احساس شدید گرما	دست‌ها به سختی تکان می‌خورد، ولی می‌توان آن‌ها را از الکترودها جدا نمود ــ درد شدید در انگشتان و مفاصل دست‌ها ــ بی‌حسی دست‌ها	۸ تا ۱۰
۵ــ احساس شدید گرما	تشنج عضلات تا شانه‌ها ادامه یافته، درد شدیدی احساس می‌شود. تماس با الکترودها را تا ۳۵ ثانیه می‌توان تحمل کرد.	۱۱ تا ۱۲
۶ــ احساس شدید گرما	رها کردن الکترودها با اشکال امکان دارد و تماس با الکترودها را تا ۱۵ ثانیه می‌توان تحمل کرد.	۱۳ تا ۱۴
۷ــ احساس شدید گرما	رها کردن الکترودها غیرممکن بوده و تعرق دست‌ها به‌وجود می‌آید.	۱۵
۸ــ احساس شدید گرما، انقباض کم عضلات، دست	دست‌ها ناگهان فلج می‌شود. الکترودها را می‌توان رها کرد، درد شدید عارض می‌شود و تنگی نفس به‌وجود می‌آید.	۲۰ تا ۲۵
۹ــ احساس ازدیاد شدت گرما، انقباض عضلات، تشنج و سختی تنفس	بند آمدن نفس ــ لرزش در بطن‌های قلب	۵۰ تا ۸۰
۱۰ــ بند آمدن نفس	قطع تنفس که اگر بیش از سه ثانیه طول بکشد، قلب فلج شده حرکات بطن‌های قلب قطع می‌شود.	۹۰ تا ۱۰۰

۲ــ۲ــ ولتاژ تماس خطرناک

در فرکانس ۵۰ تا ۶۰ هرتز جریانی که وارد بدن می‌شود تقریباً به‌طور یکسان در بدن تقسیم می‌گردد. حد ولتاژ خطرناک برای این‌که جریان از ۵۰ میلی‌آمپر بیش‌تر باشد ۶۵ ولت است. این ولتاژ برای حداقل مقاومت بدن (۱۳۰۰.) محاسبه شده است :

$$U = RI = (۱۳۰۰.)(۰/۰۵A) = ۶۵V$$

از نظر نوع جریان، جریان متناوب به‌ویژه فرکانس ۵۰ هرتز از جریان مستقیم خطرناک‌تر است : در فرکانس‌های خیلی زیاد (از ۱۰kHz بیش‌تر) جریان ورودی به بدن به سطوح خارجی محدود می‌شود و از قسمت‌های حساس داخل بدن عبور نمی‌کند.

۲ــ۳ــ عوارض ناشی از برق‌گرفتگی

برق‌گرفتگی ممکن است به یکی از صورت‌های زیر اتفاق بیفتد.

۲ــ۳ــ۱ــ شوک الکتریکی سطحی: در این حالت بدن شخص در مقابل جریان الکتریکی واکنش نشان می‌دهد و به‌طور تصادفی از نقطه‌ی اتصال رها شده به سمت دیگر پرتاب می‌شود. احتمال مرگ در این حالت نسبتاً کم است ؛ اما احتمال خطراتی نظیر شکستگی استخوان، زخمی شدن و سوختگی پوستی وجود دارد.

۲ــ۳ــ۲ــ شوک الکتریکی عمیق: در این حالت شخص به محل اتصال چسبیده قادر به رها کردن آن نیست. اگر زمان عبور جریان از بدن طولانی شود، حتماً منجر به مرگ خواهد شد. با توجه به محل اتصال ممکن است جریان از مغز عبور کرده سلسله اعصاب را فلج کند یا از قلب بگذرد و آن را از حرکت بازدارد.

۲ــ۳ــ۳ــ مسیر عبور جریان الکتریکی از بدن: مسیر عبور جریان از بدن، یکی از نکات مهم در برق‌گرفتگی است ؛ زیرا ممکن است این مسیر از قلب و سیستم تنفسی یا از مغز بگذرد. علاوه بر مسیر، مقدار عبور جریان از قلب یا سیستم تنفسی و شدت برق‌گرفتگی به محل اتصال بستگی دارد. در جدول ۲ــ۲ مسیر عبور جریان الکتریکی و درصد جریانی که از قلب می‌گذرد نشان داده شده است.

جدول ۲ــ۲

مسیر عبور جریان الکتریکی	درصد کل جریانی که از قلب می‌گذرد
دست به دست	٪۳/۳
دست چپ به پاها	٪۳/۷
دست راست به پاها	٪۶/۷
پا به پا	٪۰/۴

۲ــ۴ــ کمک‌های اولیه به افراد برق گرفته

اگرچه صدمات خارجی برق‌زدگی (سوختگی) مهم است، ولی انسان از این اثرات کم‌تر دچار مرگ می‌شود. خطرات اساسی که مرگ را به‌دنبال دارد، در اثر تأثیرات داخلی و نفوذی الکتریسیته در بدن است. به همین دلیل باید نکاتی که در این قسمت اشاره می‌شود، مورد توجه و دقت زیادی قرار گیرد. به‌خصوص افرادی که با جریان‌های برق سر و کار دارند ملزم به دانستن طرز جلوگیری از خطرات و روش‌های احیاء و تنفس مصنوعی مصدوم هستند.

برای کمک به شخص برق گرفته ابتدا در کمال خونسردی فوراً کلید اصلی برق را قطع کنید و اگر کلید برق در دسترس نبود به‌وسیله‌ی یک شیء عایق مانند چوب خشک، عامل برق‌دار را از بدن مصدوم جدا کنید. البته در این حالت ممکن است فرد مصدوم در حالت اغما باشد. اگر قلب و اعضای تنفسی شخص آسیبی ندیده باشد کافی است پنجره‌های محل را گشوده دگمه‌های لباس را برای تنفس راحت‌تر باز کنید ؛ سپس کمی آمونیاک یا سرکه زیر بینی مصدوم بگیرید. اگر تنفس وی منقطع و ضربان قلب قطع شد، نشانه‌ی شوک الکتریکی است که فلج تنفسی یا فلج قلبی را به‌وجود آورده است. در این حالت یک مرگ لحظه‌ای اتفاق می‌افتد، ولی به احتمال زیاد می‌توان زندگی را دوباره به مصدوم بازگرداند. آمار نشان می‌دهد اگر در دقیقه‌ی اوّل به مصدوم کمک شود ۹۰٪ احتمال نجات او وجود دارد ؛ اما پس از ۶ دقیقه ۱۰٪، پس از ۱۲ دقیقه احتمال بسیار کمی برای نجات مصدوم و ادامه‌ی زندگی او وجود خواهد داشت. پس از جداسازی مصدوم از عامل برق‌دار فوراً باید تنفس مصنوعی را آغاز کرد. البته قبل از آغاز تنفس مصنوعی باید به نکات زیر توجه شود :

ــ تمام البسه‌ی مصدوم را که موجب تنگی‌نفس می‌شود، باز یا پاره کرده یا از تن او بیرون آورید.

ــ دهان مصدوم را با وسیله‌ای مانند مداد یا قاشق به آهستگی باز کنید و این وسیله را بین دندان‌های شخص در کنج دهان قرار دهید.

ــ دهان مصدوم را از اشیای خارجی (دندان مصنوعی یا خوراکی) تمیز کنید و زبان را به سمت جلو بکشید ؛ زیرا در موقع برق‌گرفتگی زبان به‌صورت یک گلوله در ته گلو جمع می‌شود و جلوی مجرای تنفسی را مسدود می‌کند. تنفس مصنوعی بستگی به تعداد کمک‌دهندگان دارد و عملیات آن به روش‌های زیر انجام می‌گیرد.

۲ــ۴ــ۱ــ روش‌های مختلف تنفس مصنوعی

الف) روش شیفر (کمک یا نفری): در این حالت مصدوم را روی شکم بخوابانید و طوری روی زانوی او بنشینید که بتوانید دست‌های خود را به‌راحتی زیر ستون فقرات در کنار بدن مصدوم

قرار دهید. سپس به‌طور متوالی (نسبت به تنفس خود) به دیافراگم قلب فشار آورید و رها کنید تا بدین‌وسیله قلب تحریک شود و شروع به حرکت کند. این عمل باعث تجدید تنفس می‌شود.

ب) روش سیلوستر (کمک دو نفره): اگر تعداد کمک‌دهندگان بیش از یک نفر باشد، در این روش مصدوم را به پشت بخوابانید و زیر شانه‌ی او لباس یا پتو قرار دهید، به‌طوری که سر به سمت پشت بیفتد و سینه رو به بالا قرار گیرد. سپس دست‌های مصدوم را بگیرید و تا آرنج در کنار بدن وی ببندید و به آن فشار آورید. فرد کمکی باید زبان مصدوم را بگیرد و به آهستگی به طرف چانه بکشد. برای جلوگیری از ورود کف و احتمالاً استفراغ به مجاری تنفسی باید سر مصدوم به یک طرف چرخانده شده باشد. در هر دو حالت تعداد حرکات عیناً مثل تنفس انسان (۱۵ تا ۳۰ مرتبه در دقیقه) است. عمل تنفس مصنوعی ممکن است چند ساعت طول بکشد.

در موقع تنفس مصنوعی باید مواظب باشید که به قفسه‌ی سینه مصدوم بیش از حد فشار وارد نشود ؛ زیرا در اثر فشار زیاد ممکن است استخوان‌های قفسه‌ی سینه صدمه ببیند. در روش اوّل سعی شود که به معده‌ی مصدوم فشار زیاد وارد نشود ؛ زیرا ممکن است درون معده را بالا آورده و جلوی ورود هوا به ریه را مسدود کند. همچنین در روش دوم ممکن است حرکات تند دست‌های مصدوم باعث شکستگی یا دررفتگی استخوان شود.

در هنگام تنفس مصنوعی باید سعی کرد که بدن مصدوم حرارت خود را حفظ کند. برای این کار باید او را با وسیله‌ای گرم پوشاند و روی پاها و بدن شخص کیسه‌ی آب گرم قرار داد. این عمل باید همراه با تنفس مصنوعی و بدون قطع آن انجام شود. شکل ۲ــ۱ روش سیلوستر در تنفس مصنوعی را نشان می‌دهد.

شکل ۲ــ۱

پ) روش دهان به دهان: این روش که از اهمیت بیش‌تری برخوردار است، به این ترتیب اجرا می‌شود که : ابتدا مصدوم را به پشت خوابانده دگمه‌های لباس و یقه‌ی او را باز کنید ؛ سپس بینی مصدوم را با یک دست بگیرید و با دست دیگر چانه‌ی او را طوری نگاه دارید که سر به سمت عقب زاویه پیدا کند. در این حالت به‌عنوان عمل‌کننده، دهان خود را به دهان مصدوم بگذارید و ریه‌ی او را از هوا پر کنید. هنگام دمیدن هوا بینی شخص را محکم به حالت بسته نگاه دارید و در موقع بازدم برای این‌که هوای وارد شده از ریه‌ی مصدوم خارج شود، بینی را رها کنید و به آرامی به قفسه‌ی سینه‌اش فشار آورید. این عمل آن‌قدر تکرار می‌شود تا مصدوم بتواند تنفس کند. تناوب دم و بازدم باید با تنفس شخص کمک‌دهنده هم‌زمان باشد.

یکی دیگر از نکات مؤثر در این نوع تنفس مصنوعی ماساژ دادن قلب شخص در لحظه‌ای است که هوای داخل ریه خارج می‌شود. معمولاً پس از هر چهار تا پنج دقیقه تنفس مصنوعی، اگر حرکتی مشاهده شد مبنی بر این‌که مصدوم می‌تواند تنفس کند برای ۱۵ تا ۲۰ ثانیه تنفس مصنوعی را قطع کنید. درصورتی که مصدوم بتواند تنفس کند، ولی تعداد تنفس‌های او کم‌تر از حد طبیعی باشد باید به‌کار خود ادامه دهید. باید توجه داشت که مصدوم را چه قبل از تنفس مصنوعی و چه بعد از آن تا رسیدن پزشک جابه‌جا نکنید و او را گرم نگه‌دارید. در صورت موجود بودن کپسول اکسیژن و نیاز به آن تنها هنگام حضور پزشک آن را مورد استفاده قرار دهید. شکل ۲ــ۲ روش دهان به دهان را نشان می‌دهد.

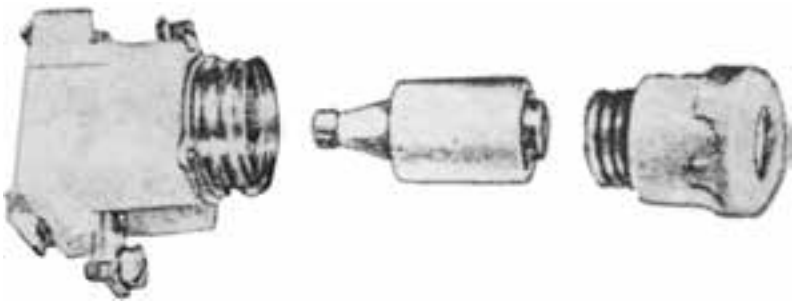
شکل ۲ــ۲ــ روش دهان به دهان

۲ــ۵ــ ساختمان و اصول کار فیوزها

فیوزها وسایل حفاظتی هستند که در مدار الکتریکی به‌طور سری قرار می‌گیرند و مصرف‌کننده را در مقابل عبور جریان اضافی حفاظت می‌کنند. اگر جریان بیش از جریان مجاز فیوز باشد، سیم

داخل فیوز ذوب و فیوز قطع می‌شود. فیوزها انواع مختلفی دارند که در زیر، درباره‌ی هر یک توضیح داده می‌شود.

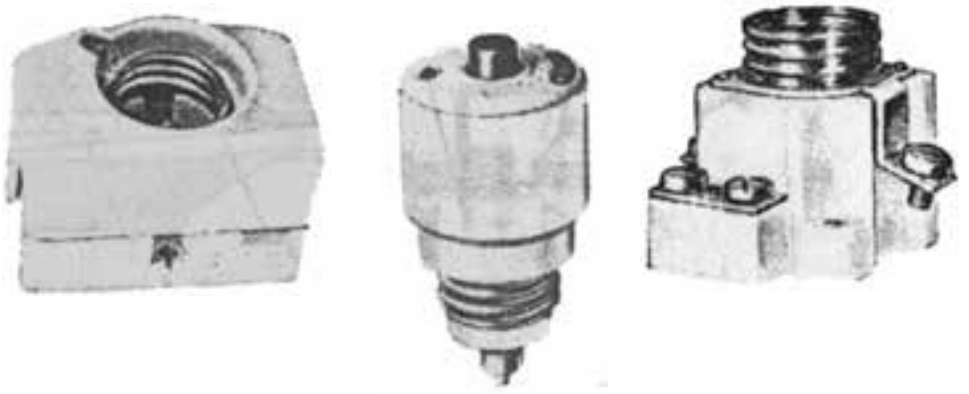
۲ــ۵ــ۱ــ فیوز ذوب‌شونده: فیوز ذوب‌شونده یا فشنگی از سه قسمت اصلی کلاهک، فشنگ و پایه تشکیل می‌شود. شکل ۲ــ۳ این سه قسمت را نشان می‌دهد.



کلاهک　　فشنگ　　پایه

شکل ۲ــ۳

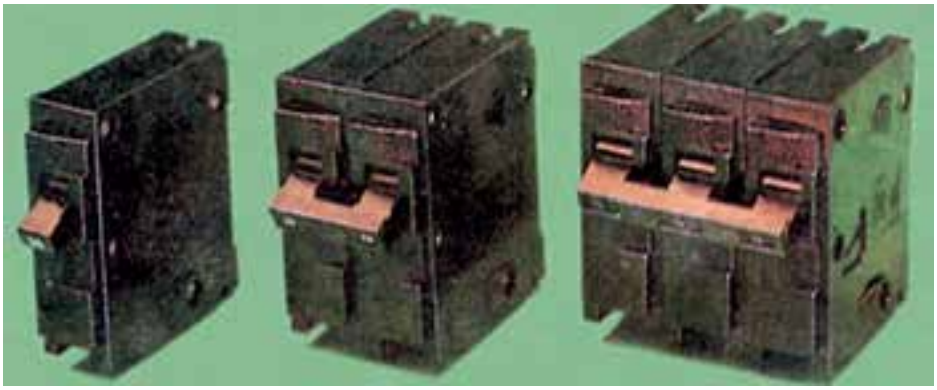
۲ــ۵ــ۲ــ فیوز اتوماتیک: این نوع فیوز از دو عنصر حرارتی و مغناطیسی تشکیل شده است. اگر از مدار جریان زیادی بگذرد، دگمه‌ی فشاری بالای فیوز به سمت بیرون می‌پرد و مدار قطع می‌شود. برای اتصال مجدد کافی است که پس از چند لحظه با فشاری دگمه فیوز به داخل رانده شود. شکل ۲ــ۴ این فیوز را نشان می‌دهد.



پایه‌ی فیوز بدون درپوش　　فیوز آلفا (اتوماتیک)　　پایه‌ی کامل فیوز

شکل ۲ــ۴

۲ــ۵ــ۳ــ کلید فیوز مینیاتوری: ساختمان و کاربرد این نوع فیوزها شبیه فیوز اتوماتیک است. شکل ۲ــ۵ این نوع فیوز را نشان می‌دهد.



شکل ۲ــ۵

۲ــ۶ــ اتصال زمین (سیم ارت)

یکی از موارد بسیار مهمی که در تأمین سیستم‌های حفاظتی اشخاص و دستگاه‌های الکتریکی به‌کار می‌رود، استفاده از اتصال زمین است.

اتصال زمین باعث جلوگیری از خطرات برق‌گرفتگی کارگران در کارخانه‌ها و کارگاه‌ها و همچنین ساکنان منازل می‌شود. یک سیستم حفاظت در مقابل صاعقه در شبکه‌ها و تأسیسات الکتریکی، دکل‌ها، برج‌های فلزی، آنتن‌ها و حتی ساختمان‌های مسکونی بزرگ نیز می‌تواند توسط اتصال زمین ایجاد شود. به‌طورکلی اتصال زمین حفاظتی عبارت است از اتصال دادن قسمت‌های فلزی دستگاه‌های الکتریکی به زمین که در کار اصلی دستگاه‌ها دخالت ندارند و از ولتاژ ۱۱۰ ولت به بالا استفاده از آن جزء موارد اجباری نیز محسوب می‌شود. به همین جهت سیم‌کشی وسایل یک فاز سه سیمه و انشعاب‌های سه‌فاز چهارسیمه هستند. باید توجه داشت که سیم صفر یا نول در دستگاه‌های سه‌فازه غیر از سیم اتصال زمین است.

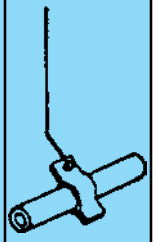
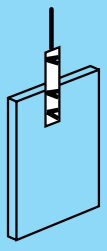
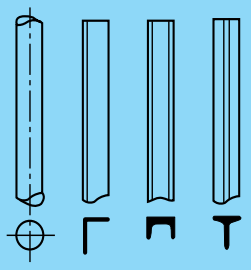
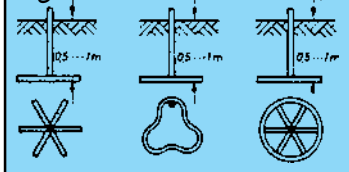
۲ــ۶ــ۱ــ روش‌های ایجاد یک سیستم اتصال زمین

الف) استفاده از صفحات فلزی قلع‌اندود در عمق زمین : کاربرد صفحات فلزی به‌دلیل مقاومت بیش‌تر نسبت به دو حالت بعدی (نوار فلزی و روکش شده) کم‌تر است.

ب) استفاده از نوارهای تابیده شده‌ی مسی در مکان‌هایی که دست‌یابی به عمق زمین به علت سختی آن غیرممکن یا سخت است.

پ) قرار دادن میله‌ها یا لوله‌های مسی یا فولادی قلع‌اندود شده به شکل‌های شبکه‌ای، حلقه‌ای یا شعاعی (شکل ۲ــ۶).

۲ــ۶ــ۲ــ مقاومت اتصال زمین: پس از احداث چاه اتصال زمین لازم است ابتدا مقاومت زمین اندازه‌گیری شود. مقدار این مقاومت معمولاً نباید از ۴ اهم بیش‌تر باشد. به جهت اطمینان خاطر هر چند ماه یک‌بار باید مقاومت زمین اندازه‌گیری شود. معمولاً برای کاهش مقاومت زمین، در چاه اتصال زمین همراه خاک درصدی براده‌ی مس، زغال و نمک اضافه می‌کنند. سیم خارج شده از چاه یا عامل اتصال زمین باید وارد تابلوی اصلی مصرف شود و از آن‌جا به‌وسیله‌ی سیم اتصال بدنه به کلیه‌ی مصرف‌کننده‌ها متصل گردد. شکل ۲ــ۶ انواع این عوامل اتصال زمین را نشان می‌دهد.

شبکه‌ی لوله‌کشی آب	عامل زمین صفحه‌ای	عامل زمین لوله‌ای	عامل زمین نواری
 در مورد جریان مستقیم مجاز نیست اجرای اتصال بر طبق VDEO190	 ورق فولاد به ضخامت ۳ ورق مسی به ضخامت ۲		عامل زمین شبکه‌ای عامل زمین حلقه‌ای عامل زمین شعاعی  نوار تسمه‌ی فولادی با مقطع ۱۰۰ میلی‌مترمربع و ۳ میلی‌متر ضخامت. سیم تابیده‌ی اتصال به زمین (که از رشته‌های خیلی نازک نیست) ۹۵ میلی‌متر مربع، از فولاد و قشر مس ۵۰ میلی‌مترمربع. درصورتی که نوار مسی به‌کار رود مقطع آن ۵۰ میلی‌مترمربع و ضخامت ۲ میلی‌متر و سیم اتصال به زمین از مس ۳۵ میلی‌مترمربع (که رشته‌های آن خیلی نازک می‌باشد).

شکل ۲ــ۶ــ انواع عوامل اتصال زمین

پرسش

۱ــ جریان و ولتاژ مجاز در مقابل خطر برق‌گرفتگی چه‌قدر است؟

۲ــ حدود مقاومت بدن انسان چه‌قدر است؟

۳ــ خطرناک‌ترین مسیر عبور جریان برق از بدن کدام مسیر است؟

۴ــ روش‌های مختلف تنفس مصنوعی برای یک شخص برق گرفته را شرح دهید.

۵ــ فیوزها در مدارهای الکتریکی چه نقشی دارند؟

۶ــ اتصال زمین چه نقشی در سیستم حفاظتی دستگاه‌های الکتریکی دارد؟

۷ــ سیستم اتصال زمین را شرح دهید.

۸ــ حداکثر مقاومت اتصال زمین چند اهم است؟