استاد ارسلان رحمانی

حفظیات فیزیک پایه‌ی یازدهم

ویژه‌ی رشته‌ی تجربی

فصل اول یازدهم

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

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

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

مثال

مولد وان دوگراف وسیله‌ای است که با استفاده از تسمه‌ای متحرک، بار الکتریکی را بر روی یک کلاهک توخالی فلزی جمع می‌کند. فرض کنید کلاهک این مولد، کره‌ای با شعاع $0/10\,m$ است و باری به بزرگی $1/0\,\mu C$ روی آن جمع می‌شود. با فرض آنکه همهٔ این بار در مرکز کره قرار داشته باشد، بزرگی میدان الکتریکی این بار را در فاصله‌های $1/0\,m$، $2/0\,m$، $3/0\,m$ و $4/0\,m$، از مرکز کره به‌دست آورید و سپس با نقطه‌یابی، نمودار بزرگی میدان الکتریکی را برحسب فاصله از مرکز کره رسم کنید.

پاسخ: با استفاده از رابطهٔ ۱-۴ بزرگی میدان را در نقطه‌های موردنظر به‌دست می‌آوریم:

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

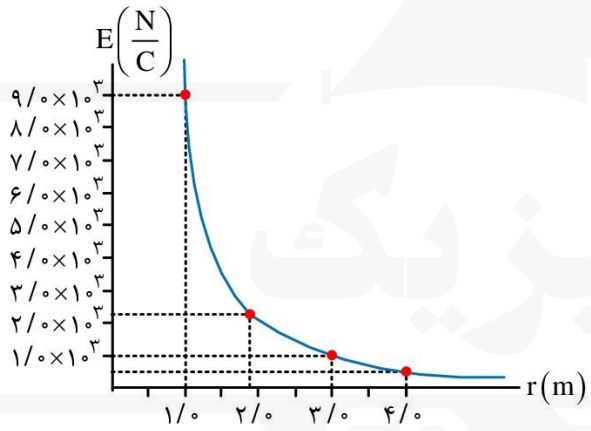
$$E_1 = \left(9/0\times10^9 \frac{N\cdot m^2}{C^2}\right)\frac{\left(1/0\times10^{-6}C\right)}{(1/0m)^2} = 9/0\times10^3 \frac{N}{C}$$

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

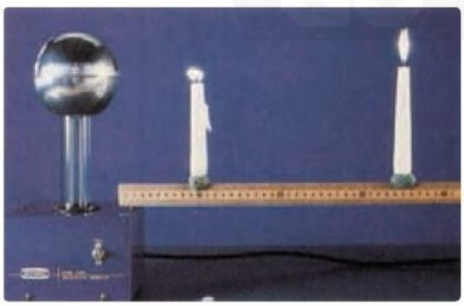
$$E_3 = \left(9/0\times10^9 \frac{N\cdot m^2}{C^2}\right)\frac{\left(1/0\times10^{-6}C\right)}{(3/0m)^2} = 1/0\times10^3 \frac{N}{C}$$

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

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



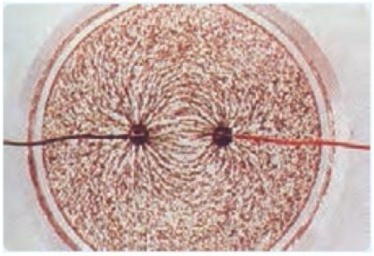
برای مشاهدهٔ تجربی نتایج مثال ۱-۶ می‌توان به آزمایش شکل زیر توجه کرد.

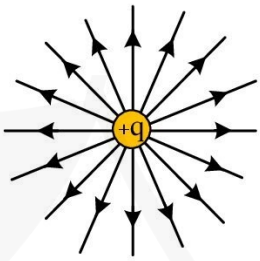


در این شکل، دو شمع یکی در فاصله‌ای نزدیک و دیگری در فاصله‌ای دور از کلاهک یک مولد وان‌دوگراف قرار گرفته‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌کنید شعلهٔ شمع نزدیک‌تر به سمت کلاهک کشیده شده است، در حالی که شعلهٔ شمع دورتر تغییر چندانی نکرده است. دلیل آن است که کلاهک مولد وان‌دوگراف بار منفی بزرگی دارد که یون‌های مثبت شعلهٔ شمع نزدیک‌تر را به سمت خود می‌کشد، در حالی که شمع دیگر در فاصلهٔ دوری از کلاهک قرار گرفته است که تحت تأثیر میدان الکتریکی ضعیف‌تری قرار می‌گیرد.

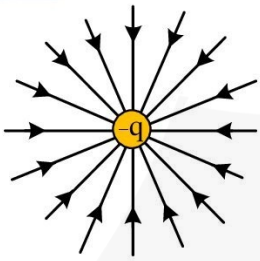
فعالیت

درون یک ظرف شیشه‌ای یا پلاستیکی با عمق کم، مقداری پارافین مایع یا روغن کرچک به عمق حدود $0/5\,cm$ بریزید و داخل آن دو الکترود نقطه‌ای قرار دهید. الکترودها را با سیم به پایانه‌های مثبت و منفی یک مولد ولتاژ بالا، مانند مولد وان دوگراف وصل کنید. روی سطح پارافین، مقدار کمی بذر چمن یا خاکشیر بپاشید. مولد را روشن کنید. اکنون به سمت‌گیری دانه‌ها در فضای بین دو الکترود توجه کنید. شکل سمت‌گیری دانه‌ها در این فضا را رسم کنید.

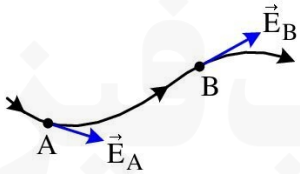




الف) خطوط میدان الکتریکی در جهت دور شدن از ذرهٔ باردار $q+$ است.



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



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

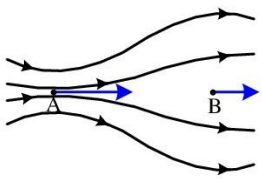
قاعده‌های رسم خطوط میدان الکتریکی عبارت‌اند از:

۱- در هر نقطه، بردار میدان الکتریکی باید مماس بر خط میدان الکتریکی عبوری از آن نقطه و در همان جهت باشد.

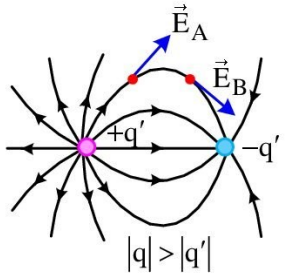
۲- میزان تراکم خطوط میدان در هر ناحیه از فضا نشان دهندهٔ اندازهٔ میدان در آن ناحیه است؛ هرجا خطوط میدان متراکم‌تر باشد، اندازهٔ میدان بیشتر است.

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

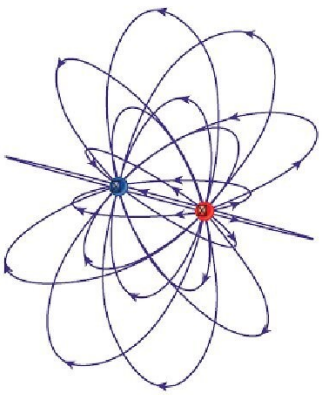
۴- خطوط میدان برایند هرگز یکدیگر را قطع نمی‌کنند یعنی از هر نقطهٔ فضا فقط یک خط میدان الکتریکی می‌گذرد.



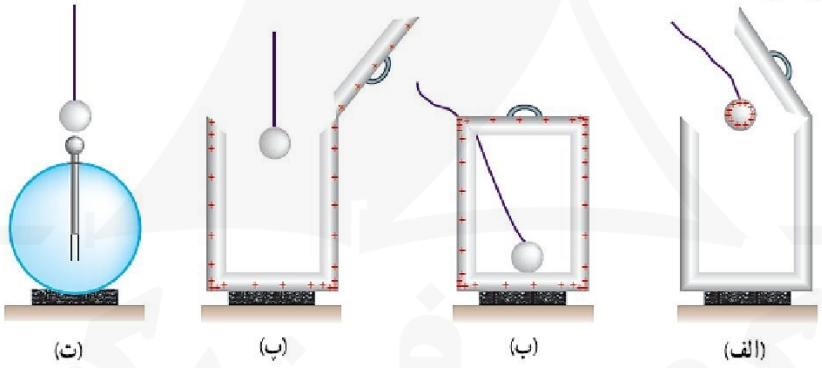
اطراف نقطهٔ A خطوط میدان متراکم‌تر از اطراف نقطهٔ B است. بنابراین، بزرگی میدان در نقطهٔ A بیش‌تر از نقطهٔ B است.



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



نمایش سه‌بعدی خطوط میدان برای یک دو قطبی الکتریکی



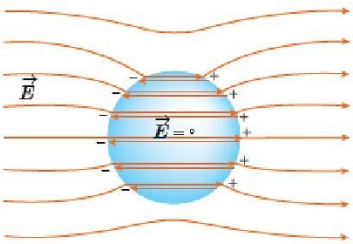
شرحی تصویری از آزمایش فاراده

پس از خارج کردن گوی فلزی از ظرف، آن را به کلاهک الکتروسکوپ نزدیک می‌کنیم. مشاهده می‌شود عقربهٔ الکتروسکوپ تکان نمی‌خورد. همچنین اگر ظرف را به الکتروسکوپ نزدیک کنیم، مشاهده می‌شود که عقربه‌های الکتروسکوپ از هم فاصله می‌گیرد.

از این آزمایش نتیجه می‌گیریم که بار اضافی داده شده به یک رسانا روی سطح خارجی آن توزیع می‌شود.

بررسی‌های دقیق نشان می‌دهند پس از مدت زمان کوتاهی از دادن بار به رسانا (کم‌تر از $10^{-9}\,s$)، بار در سطح خارجی رسانا توزیع می‌شود و نحوهٔ توزیع بار در رسانا به گونه‌ای است که میدان الکتریکی در داخل رسانا صفر شود. به عبارت دیگر در شرایط الکتروستاتیکی، میدان الکتریکی در داخل رسانا نمی‌تواند صفر نباشد؛ زیرا اگر این میدان صفر نباشد، بر الکترون‌های آزاد داخل رسانا نیروی الکتریکی (طبق رابطهٔ $\vec{F} = q\vec{E}$) وارد می‌کند و سبب ایجاد جریان الکتریکی در داخل رسانا می‌شود که این بدین معناست که بارها در تعادل الکتروستاتیکی قرار ندارند.

رسانای خنثی در میدان الکتریکی: در علوم هشتم با پدیدهٔ القا آشنا شدیم. جسم رسانای خنثایی که بر روی آن بار القا می شود در میدان الکتریکی خارجی میله قرار گرفته است. وقتی یک رسانای خنثی را در یک میدان الکتریکی خارجی قرار می‌دهیم، باز هم در مدت زمان کوتاهی (کم‌تر از 10^{-9} s) الکترون‌های آزاد تحت تأثیر میدان الکتریکی خارجی، طوری روی سطح خارجی توزیع می‌شوند (القا می‌شوند) که میدان الکتریکی ناشی از آن‌ها اثر میدان خارجی را درون رسانا خنثی کند و بدین ترتیب میدان الکتریکی خالص درون رسانا صفر شود. شکل مقابل یک گوی رسانا را نشان می‌دهد که در میدان الکتریکی خارجی قرار گرفته است. نحوهٔ توزیع بار روی گوی به‌گونه‌ای است که میدان الکتریکی در داخل رسانا صفر شده است.



یک گوی رسانای خنثی در میدان الکتریکی خارجی. میدان الکتریکی خارجی باعث جدا شدن بارهای مثبت و منفی در دو وجه رسانا شده است. به‌طوری که میدان حاصل از این بارها، میدان خارجی در داخل رسانا را خنثی می‌کند. (توجه کنید که دو خط هر جفت خطوط میدان نشان داده شده در داخل رسانا منطبق بر هم‌اند و برای آن‌که دیده شوند، با فاصلهٔ اندکی از هم رسم شده‌اند.)

چون میدان الکتریکی درون رسانایی که در تعادل الکتروستاتیکی است برابر با صفر است، نیروی الکتریکی وارد بر هر ذرهٔ باردار در داخل رسانا نیز صفر می‌شود. بنابراین، کار نیروی الکتریکی در هر جابه‌جایی دلخواهی در داخل رسانا صفر می‌شود. در نتیجه همهٔ نقاط رسانا پتانسیل یکسانی دارند.

فعالیت

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

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

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

سطح خارجی رسانا توزیع می‌شود .برای اینکه دریابیم بار الکتریکی داده شده به یک رسانا چگونه روی سطح خارجی آن توزیع می‌شود از تعریف چگالی سطحی بار استفاده می‌کنیم. به این منظور آزمایش زیر را در نظر بگیرید که اسباب آن در شکل نشان داده شده است. یک جسم رسانای دوکی شکل را روی پایهٔ عایق قرار دهید و آن را با تماس با کلاهک مولد وان دوگراف باردار کنید. گلوله‌ای فلزی را که به دسته‌ای عایق متصل است با بخش پهن دوک تماس داده و سپس گلوله را به سر الکتروسکوپ تماس دهید. همین آزمایش را پس از خنثی کردن الکتروسکوپ و گوی فلزی با تماس با دستتان، با نوک تیز دوک انجام دهید. خواهید دید، انحراف صفحه‌های الکتروسکوپ با نوک تیز دوک

اسباب آزمایش چگونگی توزیع بار روی

بیشتر از انحراف صفحه‌ها با بخش پهن آن است. آزمایش‌هایی از این دست نشان می‌دهد تراکم بار و چگالی سطحی بار در نقاط تیز سطح جسم رسانای باردار از نقاط دیگر آن بیش‌تر است.

فعالیت

دو قطعه ورقهٔ آلومینیمی نازک به ابعاد $۳\,cm \times ۴\,cm$ را مچاله کنید و به سرهای دو تکه نخ هم‌اندازه به طول $۳۰\,cm$ وصل کنید. پس از آنکه جسم فلزی دوکی شکل را با مولد وان دوگراف باردار کردید، یکی از آونگ‌ها را مقابل نوک تیز و دیگری را مقابل بخش پهن دوک بیاویزید. چه مشاهده می‌کنید؟ مشاهدهٔ خود را توجیه کنید.

وقتی یک دی‌الکتریک غیرقطبی (مانند متان، بنزن و ...) در میدان بین دو صفحهٔ خازن قرار می‌گیرد بر اثر القا قطبیده می‌شود؛ یعنی میدان الکتریکی اعمال شده باعث می‌شود که ابر الکترونی مولکول‌های دی‌الکتریک در خلاف جهت میدان جابه‌جا شود و به این ترتیب، مرکز بارهای مثبت و منفی مولکول‌ها از هم جدا شده و اصطلاحاً مولکول ها قطبیده شوند.

فصل ۲ یازدهم

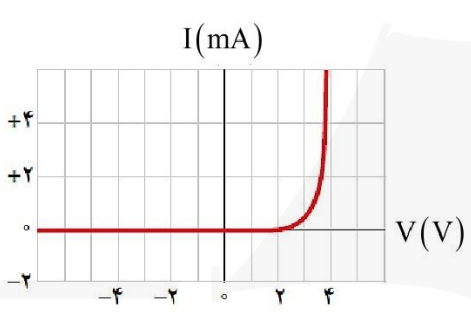
۲-۱ جریان الکتریکی

جریان الکتریکی ناشی از شارش بارهای متحرک است، ولی همهٔ بارهای متحرک، جریان ایجاد نمی‌کنند .برای داشتن جریان الکتریکی باید یک شارش خالص بار از یک سطح مقطع معیّن داشته باشیم .به این منظور سیمی فلزی را در نظر بگیرید. الکترون‌های آزاد در طول این سیم با تندی‌هایی از مرتبهٔ $۱۰^{۶}\,\frac{m}{s}$ در حرکت‌اند، ولی این حرکت به‌طور کاتوره‌ای در همهٔ جهت‌هاست. بنابراین، هیچ شارش خالص باری از مقطعی معیّن نداریم. ولی اگر این سیم را در مداری الکتریکی قرار دهیم، اختلاف پتانسیلی در دو سر سیم و میدانی الکتریکی درون آن ایجاد می‌شود و باعث حرکت الکترون‌های آزاد در سیم و ایجاد جریان می‌شود به‌طوری که می‌تواند لامپ مدار را روشن کند. در واقع وقتی میدان الکتریکی درون فلز ایجاد می‌شود، الکترون‌ها حرکت کاتوره‌ای خود را کمی تغییر می‌دهند و با سرعتی متوسط موسوم به سرعت سوق در خلاف جهت میدان به‌طور بسیار آهسته‌ای سوق پیدا می‌کنند که این موجب برقراری جریان الکتریکی در رسانا می‌شود. اندازهٔ سرعت سوق در یک رسانای فلزی بسیار کم و مثلاً در سیم‌های مسی از مرتبهٔ بزرگی $۱۰^{۵}\,\frac{m}{s}$ یا $۱۰^{۴}\,\frac{m}{s}$ است. توجه کنید که جهت قراردادی جریان الکتریکی I، برخلاف جهت سوق الکترون‌هاست.

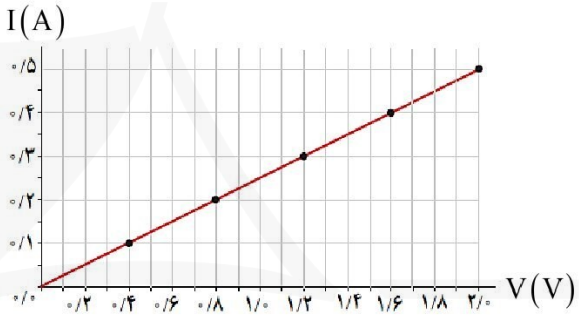
اگر مقاومت الکتریکی در ولتاژهای مختلف (در دمای ثابت)، مقدار ثابتی باشد، اصطلاحاً گفته می‌شود آن وسیله از قانون اهم پیروی می‌کند و آن وسیله را مقاومت یا رسانای اُهمی می‌نامند. به عبارتی جریان عبوری از یک مقاومت اهمی همواره با اختلاف پتانسیل اعمال شده به دو سر آن رابطهٔ مستقیم دارد.

این قانون برای فلزات و بسیاری از رساناهای غیرفلزی در دمای ثابت برقرار است. همان‌طور که نمودار شکل زیر نشان می‌دهد جریان با ولتاژ برای این وسیله به‌طور خطی افزایش می‌یابد.

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



نمودار جریان برحسب اختلاف پتانسیل برای یک دیود نورگسیل



نمودار جریان برحسب اختلاف پتانسیل نشان می‌دهد که برای این رسانای اُهمی، جریان به‌طور مستقیم با ولتاژ افزایش می‌یابد.

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

نیم‌رسانا		
گرافیت	$۳/۵\times۱۰^{-۵}$	-۵×۱۰^{-۴}
ژرمانیُم	۰/۴۶	-۵×۱۰^{-۲}
سیلیسیم خالص	$۲/۵\times۱۰^{۳}$	-۷×۱۰^{-۲}

تغییر مقاومت ویژه با دما: اگر یک رسانای فلزی داشته باشیم، با افزایش دمای آن، تعداد حامل‌های بار (این‌جا الکترون‌های آزاد) تقریباً ثابت می‌ماند، ولی ارتعاشات کاتوره‌ای اتم‌ها و یون‌های آن افزایش می‌یابد. این عامل موجب افزایش برخورد حامل‌های بار با شبکهٔ اتمی رسانای فلزی می‌شود و به این ترتیب، مقاومت رسانا در برابرعبور جریان زیاد می‌شود؛ مثلاً در یک لامپ رشته‌ای حبابی مقاومت آن با افزایش دمای رشته به شدت افزایش می‌یابد. آزمایش نشان می‌دهد که مقاومت ویژهٔ فلزات در یک گسترهٔ دمایی نسبتاً بزرگ با دما تقریباً به‌طور خطی تغییر می‌کند.

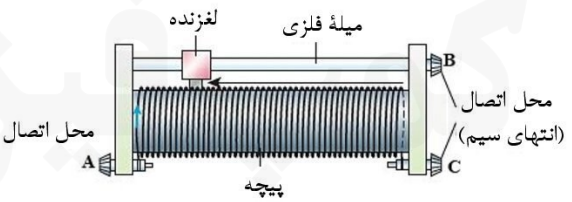
اگر یک نیم‌رسانا داشته باشیم، در دماهای پایین تعداد حامل‌های بار ناچیز است و نیم‌رسانا مانند یک نارسانا رفتار می‌کند. با افزایش دما، نشان داده می‌شود بر تعداد این حامل‌های بار افزوده می‌گردد. گرچه با افزایش دما تعداد برخوردهای کاتوره‌ای حامل‌های بار با شبکهٔ اتمی افزایش می‌یابد، اما تأثیر افزایش تعداد حامل‌های بار بیش‌تر از افزایش این برخوردهای کاتوره‌ای است. به این ترتیب، مقاومت ویژهٔ نیم‌رساناها با افزایش دما کاهش می‌یابد.

انواع اصلی مقاومت‌ها بر دو نوع‌اند

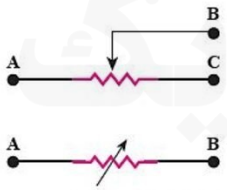
۱- مقاومت‌های پیچه‌ای شامل پیچه‌ای از یک سیم نازک‌اند که معمولاً جنس آن‌ها از آلیاژهایی مانند *نیکرو* یا *منگانین* است.

این مقاومت‌ها برای به دست آوردن مقاومت‌های پایین بسیار دقیق و همچنین توان‌های بالا ساخته می‌شوند. بیشینهٔ توان الکتریکی که این مقاومت‌ها می‌توانند تحمل کنند، بی‌آنکه بسوزند روی آن‌ها نوشته شده است.

یکی از انواع مشهور مقاومت‌های پیچه‌ای، رئوستا نام دارد که یک نوع مقاومت متغیر است. در مدارهای الکترونیکی وسیله‌ای به نام پتانسیومتر به نوعی همان نقش را انجام می‌دهد. این نوع مقاومت‌ها، متغیرند. یک رئوستا از سیمی با مقاومت ویژهٔ نسبتاً زیاد ساخته شده است. در یکی از انواع رئوستا (رئوستای خطی)، این سیم روی استوانه‌ای نارسانا پیچیده شده و با استفاده از دکمه‌ای لغزنده که روی ریلی در بالای استوانه قرار دارد و انتهای آن با سیم در تماس است می‌تواند قسمت دلخواهی از سیم را در مسیر جریان قرار دهد، و بنابراین مقدار مقاومت را تغییر داده و جریان را در مدار کنترل نماید.

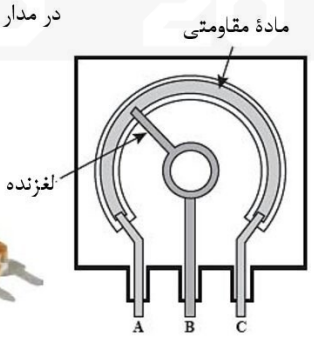


الف) طرحی از ساختار یک رئوستای خطی



ب) نماد یک رئوستا یا پتانسیومتر در مدار الکتریکی

پ) تصویر واقعی یک رئوستای خطی



ت) طرحی از یک پتانسیومتر

ث) تصویری واقعی از یک پتانسیومتر

۲- مقاومت‌های ترکیبی معمولاً از کربن، برخی نیم‌رساناها، و یا لایه‌های نازک فلزی ساخته شده‌اند. مقاومت‌های ترکیبی را در اندازه‌های خاص استانداردی تولید می‌کنند. مقدار این مقاومت‌ها یا روی آن‌ها نوشته می‌شود، یا عمدتاً به‌صورت کدی رنگی نشان داده می‌شود که با ۳ یا ۴ حلقهٔ رنگی روی آن‌ها مشخص شده است.

فصل سوم یازدهم

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

پرسش

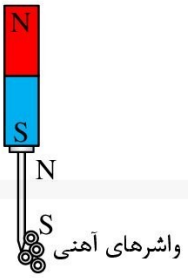
فرض کنید دو میلهٔ کاملاً مشابه، یکی از جنس آهن و دیگری آهنربا در اختیار دارید. با گفت‌وگو در گروه خود، روشی را پیشنهاد کنید که با استفاده از آن و بدون استفاده از هیچ وسیلهٔ دیگر، بتوان میله‌ای را که از جنس آهنرباست مشخص کرد.

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

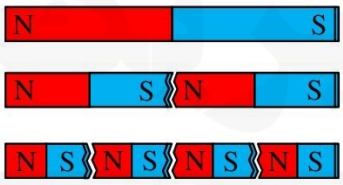
پرسش

۱- دریافت خود را از شکل الف بیان کنید.

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



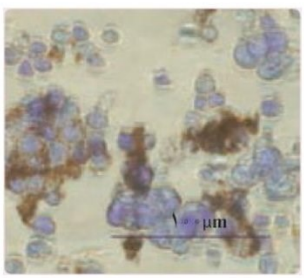
شکل (ب)

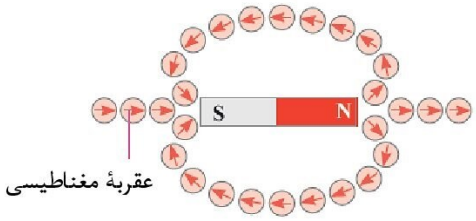


شکل (الف)

فناوری و کاربرد: نانو ذرّه‌های مغناطیسی برای درمان

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

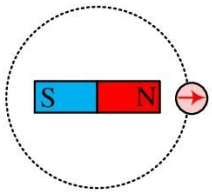




تعیین جهت میدان مغناطیسی به کمک عقربهٔ مغناطیسی

فعالیت

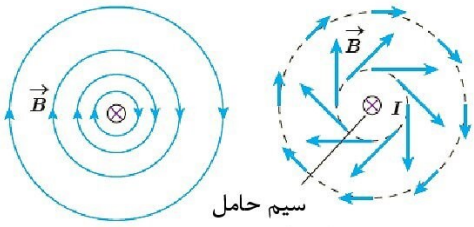
یک آهنربای میله‌ای را روی سطح افقی میزی قرار دهید. یک قطب‌نما یا عقربهٔ مغناطیسی را مقابل یکی از قطب های آهنربا قرار دهید. روی مسیری دایره‌ای شکل دور آهنربا، عقربه را به آرامی حرکت دهید (شکل روبه‌رو). بررسی کنید پس از یک دور حرکت، عقربه چند درجه می‌چرخد.



میدان مغناطیسی زمین: زمین مانند یک آهنربای بسیار بزرگ رفتار می‌کند و طرح خطهای میدان مغناطیسی آن مانند طرح خطهای آهنربای میله‌ای بزرگی است که در نزدیکی مرکز زمین قرار دارد و قطب شمال آن در نزدیکی قطب جنوب جغرافیایی زمین است.نشان دادن خطهای میدان مغناطیسی زمین به‌صورت خطهای میدان یک آهنربای میله‌ای، تنها یک مدل ساده از ساختار پیچیده و ناشناختهٔ عوامل ایجاد میدان مغناطیسی زمین است. شواهد زمین شناختی نشان می‌دهند که جهت این میدان در بازه‌های زمانی نامنظم از ده هزار تا یک میلیون سال به‌طور کامل وارون می‌شود. قطب‌های مغناطیسی زمین بر قطب‌های جغرافیایی آن منطبق نیستند. در واقع، قطب‌های مغناطیسی و جغرافیایی زمین فاصلهٔ نسبتاً زیادی از یکدیگر دارند؛ مثلاً قطب جنوب مغناطیسی تقریباً در فاصلهٔ ۱۸۰۰ کیلومتری قطب شمال جغرافیایی قرار دارد. این بدان معناست که عقربهٔ مغناطیسی قطب‌نما درجهت شمال واقعی جغرافیایی قرار نمی‌گیرد و تا حدودی از شمال جغرافیایی انحراف دارد.

پرسش

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



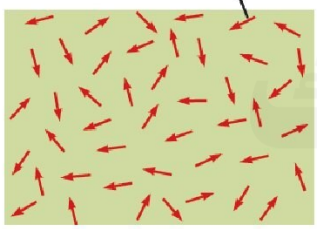
فناوری و کاربرد: میدان‌های مغناطیسی بدن

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

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

مواد پارامغناطیسی: اتم‌های مواد پارامغناطیسی، خاصیت مغناطیسی دارند اما دوقطبی‌های مغناطیسی وابستهٔ به آن‌ها، به‌طور کاتوره‌ای سمت‌گیری کرده‌اند و میدان مغناطیسی خالصی ایجاد نمی‌کنند (شکل مقابل). با قرار دادن مواد پارامغناطیسی درون میدان مغناطیسی خارجی قوی (مثلاً نزدیک یک آهنربای قوی)، دو قطبی‌های مغناطیسی آن‌ها، مانند عقربهٔ قطب‌نما در نزدیکی آهنربا رفتار می‌کنند و به مقدار مختصری در راستای خط‌های میدان مغناطیسی منظم می‌شوند .با دور کردن آهنربا از این مواد، دوقطبی‌های مغناطیسی آن‌ها، دوباره به‌طور کاتوره‌ای سمت‌گیری می‌کنند.

هر ذرّهٔ سازندهٔ مواد پارامغناطیسی یک آهنربای میکروسکوپی است.



سمت‌گیری کاتوره‌ای دوقطبی‌های مغناطیسی در یک مادهٔ پارامغناطیسی در نبود میدان مغناطیسی

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

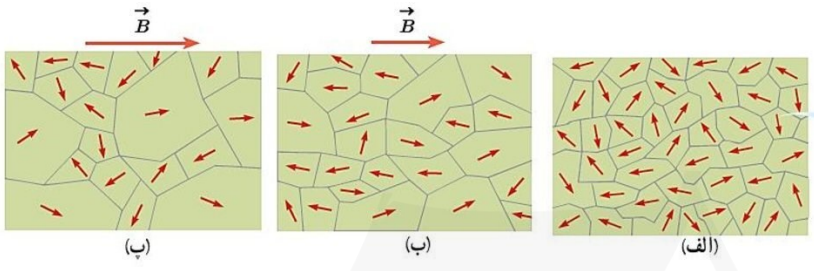
فعالیت

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

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

مواد فرومغناطیسی

مواد فرومغناطیسی را می‌توان با قرار دادن در یک میدان مغناطیسی، آهنربا کرد. اثر میدان مغناطیسی خارجی بر حوزه‌های مغناطیسی باعث می‌شود که دوقطبی‌های مغناطیسی هر حوزه تحت تأثیر میدان مغناطیسی قرار گیرند و جهت آن‌ها به جهت میدان خارجی متمایل شود. به این ترتیب، حوزه‌هایی که نسبت به میدان همسو هستند، رشد می‌کنند و حجمشان زیاد می‌شود. از سوی دیگر حجم حوزه‌هایی که سمت‌گیری آن‌ها در راستای میدان نیست، کم می‌شود. در این فرایند، مرز بین بیش‌تر حوزه‌ها جابه‌جا می‌شود، و ماده خاصیت آهنربایی پیدا می‌کند. شکل ب زیر یک مادهٔ فرومغناطیسی را در یک میدان مغناطیسی خارجی ضعیف و شکل پ در یک میدان مغناطیسی خارجی قوی‌تر نشان می‌دهد.



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

حوزه‌های مغناطیسیِ برخی از مواد فرومغناطیسی، در حضور میدان مغناطیسی خارجی به سهولت تغییر می‌کند و ماده به سادگی آهنربا می‌شود و با حذف میدان خارجی نیز، خاصیت آهنربایی خود را به آسانی از دست می‌دهد. این مواد را مواد فرومغناطیسی نرم می‌نامند. از این مواد در ساخت هستهٔ پیچه‌ها و سیملوله‌ها استفاده می‌شود. مواد فرومغناطیسی نرم برای ساختن آهنرباهای الکتریکی (آهنرباهای غیردائم) نیز مناسب‌اند (چرا؟). برخی مواد دیگر مانند فولاد (آهن به اضافهٔ ۲ درصد کربن)، آلیاژهای آهن، کبالت و نیکل به سختی آهنربا می‌شوند؛ یعنی در حضور میدان مغناطیسی خارجی، حجم حوزه‌ها در آن‌ها به سختی تغییر می‌کند. این مواد را مواد فرومغناطیسی سخت می‌نامند. در این مواد، سمت‌گیری دوقطبی‌های مغناطیسی حوزه‌ها پس از حذف میدان خارجی، تا مدت زمان زیادی، تقریبا بدون تغییر باقی می‌ماند. به عبارت دیگر، پس از حذف میدان خارجی، ماده فرومغناطیسی سخت، خاصیت آهنربایی خود را تا اندازه قابل‌توجهی حفظ می‌کند. به همین دلیل، این مواد برای ساختن آهنرباهای دائمی مناسب‌اند.

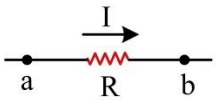
برای خاصیت آهنربایی هر مادهٔ فرومغناطیسی، مقدار اشباع یا بیشینه‌ای وجود دارد. این وضعیت هنگامی به وجود می‌آید که ماده فرومغناطیسی در یک میدان مغناطیسی بسیار قوی قرار گیرد؛ به‌طوری که درصد بالایی از دوقطبی‌های مغناطیسی حوزه‌ها به موازات یکدیگر هم خط شوند. به عبارت دیگر، حجم حوزه‌هایی که با میدان مغناطیسی خارجی همسو هستند، به بیش‌ترین مقدار خود برسد.

می‌توان از القاگر (سیم‌پیچ) برای تولید میدان مغناطیسی دلخواه و همچنین ذخیرهٔ انرژی در این میدان استفاده کرد.

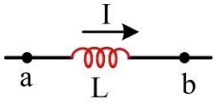
با تغییر دادن مقاومت رئوستا و تغییر جریان در پیچهٔ ۱، میدان مغناطیسی پیچهٔ ۱ و در نتیجه شار عبوری از پیچهٔ ۲ نیز تغییر می‌کند؛

لازم است رفتار مقاومت و القاگر را به لحاظ انرژی اشتباه نگیرید. هنگام عبور جریان ازمقاومت، انرژی وارد آن می‌شود، جریان چه پایا باشد و چه تغییر کند، این انرژی در مقاومت به انرژی گرمایی تبدیل می‌شود؛ در حالی که در یک القاگر آرمانی (با مقاومت صفر) تنها وقتی انرژی وارد القاگر می‌شود که جریان در آن افزایش یابد. این انرژی تلف نمی‌شود؛ بلکه در میدان مغناطیسی القاگر ذخیره شده و هنگام کاهش جریان، آزاد می‌شود. هنگام عبور جریان پایا از یک القاگر آرمانی (سیم‌پیچ بدون مقاومت)، انرژی به آن وارد یا از آن خارج نمی‌شود.

مقاومت با جریان I: انرژی تلف شده است.



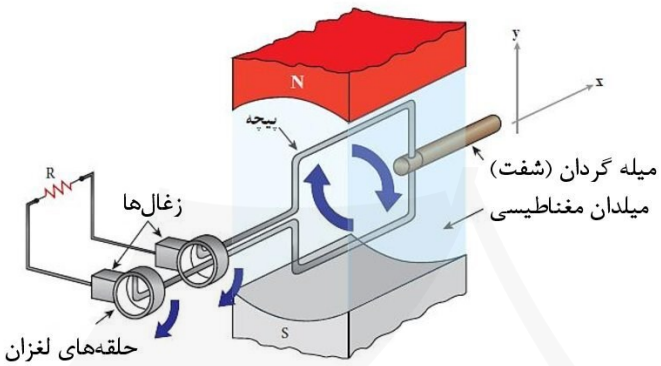
القا با جریان I: انرژی ذخیره شده است.



مقاومت قطعه‌ای است که در آن انرژی به‌طور غیرقابل برگشت تلف می‌شود. برخلاف آن، انرژی ذخیره شده در القاگر حامل جریان را

شکل ۴-۱۲ دو مدار سادهٔ جریان مستقیم و جریان متناوب را نشان می‌دهد. همان‌طور که می‌بینید جهت جریان در مدار جریان مستقیم معیّن است، درحالی که در مدار جریان متناوب، به دلیل تغییر جهت جریان با گذشت زمان، نمی‌توان جهت معینی را برای جریان در نظر گرفت. تمامی نیروگاه‌های تولید برق در دنیا و از جمله ایران، جریان متناوب تولید می‌کنند که تابعی سینوسی از زمان است و به همین دلیل، جریان متناوب سینوسی نامیده می‌شود.

رایج‌ترین روش برای تغییر شار و در نتیجه تولید جریان القایی، تغییر زاویهٔ θ است. شکل زیر پیچه‌ای را نشان می‌دهد که می‌تواند در میدان مغناطیسی یکنواخت دور محور x بچرخد.

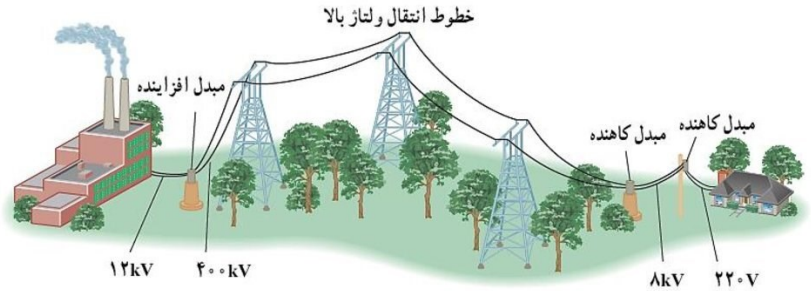


اجزای یک مولد (ژنراتور) جریان متناوب. حرکت مکانیکی از طریق میله گردان، سبب چرخیدن پیچه در میدان مغناطیسی می‌شود و جریان متناوبی را در مدار به‌وجود می‌آورد.

در نیروگاه‌های تولید برق، برای تولید جریان متناوب از مولدهای خاصی استفاده می‌شود که به آن‌ها مولدهای صنعتی جریان متناوب می‌گویند. در مولدهای صنعتی پیچه‌ها ساکن‌اند و آهنربای الکتریکی در آن‌ها می‌چرخد. در نیروگاه‌های تولید برق در ایران، آهنربای الکتریکی در هر ثانیه، ۵۰ دور درون پیچه می‌چرخد. این کمیت را بسامد برق تولید شده می‌نامند و به‌صورت $50\,Hz$ بیان می‌کنند. یکای SI بسامد s^{-1} یا Hz (هرتز) است.

مبدل‌ها: یکی از مزیت‌های مهم توزیع توان الکتریکی ac بر dc آن است که افزایش و کاهش ولتاژ ac، بسیار آسان‌تر از dc است. برای انتقال توان الکتریکی در فاصله‌های دور، تا جایی که امکان دارد باید از ولتاژهای بالا و جریان‌های کم استفاده کنیم. این کار اتلاف توان را در خط‌های انتقال کاهش می‌دهد. همچنین با توجه به کاهش جریان می‌توان از سیم‌های نازک‌تری استفاده و در مصرف مواد اولیهٔ ساخت سیم صرفه‌جویی کرد.

خط‌های انتقال توان الکتریکی به‌طور معمول از ولتاژهایی در حدود $400\,kV$ استفاده می‌کنند. از طرف دیگر، ملاحظات ایمنی و الزامات عایق‌بندی در ساخت وسایل خانگی و صنعتی، ولتاژهای به نسبت پایین‌تری را در محل مصرف انرژی ضروری می‌کند. ولتاژ استاندارد برای سیم‌کشی خانگی در ایران و بسیاری از کشورهای دیگر $220\,V$ است. تبدیل ولتاژ موردنیاز با استفاده از مبدل‌ها صورت می‌گیرد.



قبل از انتقال توان الکتریکی از نیروگاه‌ها، مبدل‌های افزاینده، ولتاژ را تا حدود $400\,kV$ افزایش می‌دهند. در انتهای مسیر، مبدل‌های کاهنده، ولتاژ را کاهش می‌دهند تا توان الکتریکی با امنیت بیش‌تر به محل مصرف برسد.