فیزیک ۱۱: فصل ۱

جدول ۱ـ۱ سری الکتریسیته مالشی (تریبوالکتریک)[۱]

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

در 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 می شود و بار الکتریکی خالص آن مثبت می‌گردد و همچنین، جسمی که الکترون اضافی دریافت می‌کند، الکترون هایش از پروتون های آن فزونی می یابد و بار الکتریکی خالص آن منفی می‌شود.

به دست 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) کرد(جدول) 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.

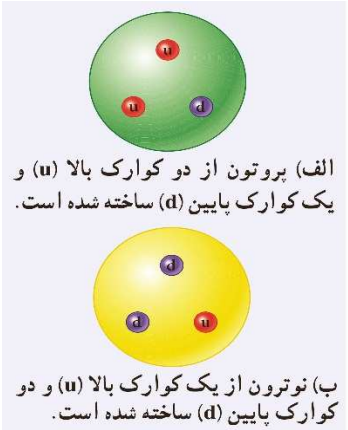
در مورد بارهای الکتریکی دو اصل وجود دارد. نخستین آنها اصل پایستگی بار است که بیان می‌دارد: مجموع جبری همهٔ بارهای الکتریکی در یک دستگاه منزوی ثابت است؛ یعنی بار می‌تواند از جسمی به جسم دیگر منتقل شود، ولی هرگز امکان تولید یا نابودی یک بار خالص وجود ندارد.

تاکنون هیچ آزمایشی این اصل را نقض نکرده است.

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

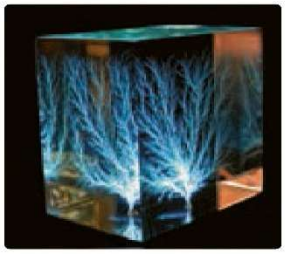
$$q = \pm nc \ , n = ۰,۱,۲,...$$

الکترون یک ذرّهٔ بنیادی است و زیرساختار ندارد؛ یعنی از اجزای دیگری تشکیل نشده است. اما پروتون و نوترون برخلاف الکترون از ذراتی بنیادی به نام کوارک ساخته شده‌اند. کوارک‌ها بار $-\frac{۱}{۳}e$ یا $+\frac{۲}{۳}e$ دارند، ولی این در تناقض با اصل کوانتیده بودن بار نیست؛ زیرا هیچ کوارک مستقلی مشاهده نشده است؛ یعنی این بارهای کسری نمی‌توانند به‌طور مستقل دیده شوند. مثلاً یک پروتون از دو کوارک بالا (**u**) هر یک با بار $+\frac{۲}{۳}e$ و یک کوارک پایین (**d**) با بار $-\frac{۱}{۳}e$ ساخته شده است که بار خالص پروتون را برابر $+e$ به‌دست می‌دهد، یا نوترون از یک کوارک بالا و دو کوارک پایین ساخته شده است که بار خالص صفر را به‌دست می‌دهد.



الف) پروتون از دو کوارک بالا (u) و یک کوارک پایین (d) ساخته شده است.

ب) نوترون از یک کوارک بالا (u) و دو کوارک پایین (d) ساخته شده است.

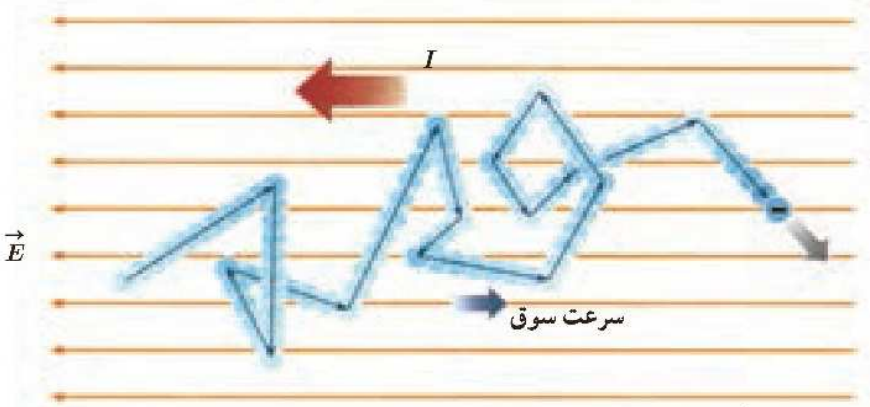


نقش‌های لیچنبرگ. فروریزش الکتریکی باعث تشکیل مسیرهای رسانشی سرخس شکلی در دی الکتریک شده است.

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

فصل۲: جریان الکتریکی و مدارهای جریان مستقیم

در واقع وقتی میدان الکتریکی درون فلز ایجاد می‌شود، الکترون‌ها حکت کاتوره‌ای خود را کمی تغییر می‌دهند و با سرعتی موسوم به سرعت سوق در خلاف جهت میدان به‌طور بسیار آهسته‌ای سوق پیدا می‌کنند که این موجب برقراری جریان الکتریکی در رسانا می‌شود (شکل). اندازهٔ سرعت سوق در یک رسانای فلزی بسیار کم و مثلاً در سیم‌های مسی از مرتبهٔ بزرگی $10^{-5}\,m/s$ یا $10^{-4}\,m/s$است. توجه کنید که جهت قراردادی جریان الکتریکی **I**، برخلاف جهت سوق الکترون‌هاست.

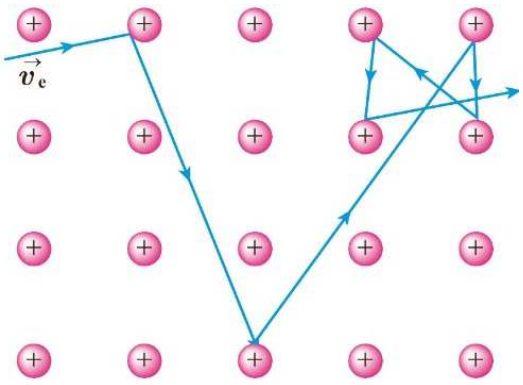


مسیر زیگ‌زاگ یک الکترون آزاد در یک رسانای فلزی. در حضور میدان الکتریکی، این مسیر زیگ‌زاگ در خلاف جهت میدان سوق می‌یابد.

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.

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 (شکل) و به این ترتیب، مقاومت رسانا در برابر عبور جریان زیاد می‌شود.



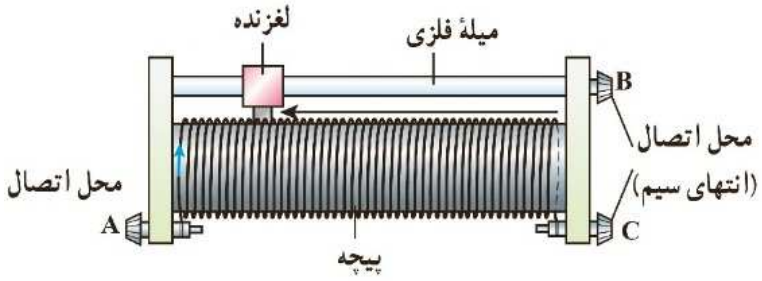
حرکت الکترون در داخل شبکهٔ بلوری فلز. با افزایش دما، ارتعاشات شبکه و درنتیجه برخورد الکترون‌ها با شبکه افزایش می‌یابد.

برای برخی از فلزات در دمای خیلی پایین مشاهده شد و دریافتند با کاهش دما، مقاومت ویژهٔ این فلزات در دمای خاصی موسوم به دمای بحرانی، ناگهان به صفر افت می‌کند و از آن دما پایین‌تر همچنان صفر باقی می‌ماند. به این پدیده ابررسانایی می‌گویند.

انواع مقاومت‌ها و کدگذاری رنگی مقاومت‌های کربنی: در بسیاری از مدارها به خصوص در وسایل الکترونیکی مقاومت‌ها برای کنترل جریان و ولتاژ استفاده می‌شود. انواع اصلی مقاومت‌ها بر دو نوع‌اند:

۱ –مقاومت‌های پیچه‌ای: شامل پیچه‌ای از یک سیم نازک‌اند که معمولاً جنس آنها از آلیاژهایی مانند نیکروم یا منگانین 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 جیان را در مدا کنترل نماید.

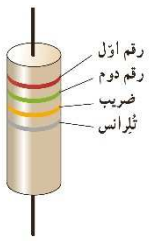


طرحی از ساختار یک رئوستای خطی

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. (شکل). هر رنگ، معرّف عددی است که در جدول داده شده است. دو حلقهٔ اوّل (از آن طرفی که به یک سر مقاومت نزدیک‌تر است) به ترتیب، رقم اوّل و رقم دوم مقاومت را نشان می‌دهند. رقم حلقهٔ سوم ضریبی به صورت 10^n که در ستون سوم جدول مشخص شده است. حلقهٔ چهارم یک حلقهٔ طلایی یا نقره‌ای رنگ است که تُلرانس نامیده می‌شود و مقدار مجاز انحراف از مقدار دقیق مقاومت را برحسب درصد مشخص می‌کند. (شکل) نبود نوار چهارم به معنای آن است که تلرانس ۲۰ درصد است. برای خواندن حلقه‌های رنگی، مقاومت را طوری به‌دست می‌گیریم که حلقهٔ تلرانس در سمت راست قرار گیرد و بقیهٔ حلقه‌ها را از سمت چپ به راست می‌خوانیم.

جدول ۲ــ۳ــ کد رنگی مقاومت‌ها

رنگ	عدد	ضریب	تلرانس
سیاه	۰	۱	
قهوه‌ای	۱	10^1	
قرمز	۲	10^2	
نارنجی	۳	10^3	
زرد	۴	10^4	
سبز	۵	10^5	
آبی	۶	10^6	
بنفش	۷	10^7	
خاکستری	۸	10^8	
سفید	۹	10^9	
طلایی		10^{-1}	٪۵
نقره‌ای		10^{-2}	٪۱۰
بی‌رنگ			٪۲۰



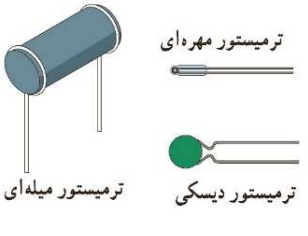
مقدار مقاومت‌های ترکیبی با کدهای رنگی مشخص می‌شود؛ مثلاً مقدار مقاومت شکل ۲۵kΩ با تلرانس ۱۰ درصد است.

توجه کنید جدول رنگ‌ها را سر جلسه کنکور می‌دهند. پاسخ: $ab\times10^n = 47\times10^2$

مقاومت‌های خاص و دیودها:

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

ترمیستورها در ابعاد کوچکی ساخته می‌شوند و شکل‌های متفاوتی دارند که رایج‌ترین آنها دیسکی، مهره‌ای، و میله‌ای است. (شکل)

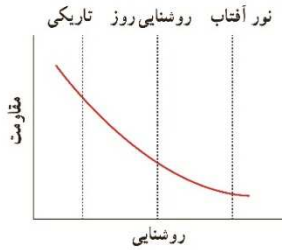


طرحی از چند ترمیستور و نماد آن در مدار الکتریکی

۲– مقاومت‌های نوری (LDR): مقاومت نوری، نوعی مقاومت است که مقاومت الکتریکی آن به نور تابیده شده به آن بستگی دارد، به‌طوری که با افزایش شدت نور، از مقاومت آن کاسته می‌شود. مثلاً یک **LDR** نوعی در تاریکی مقاومت چند مگااُهمی دارد، در حالی‌که در یک نور مناسب، مقاومت آن به چند صد اُهم می‌رسد. نوعی از این مقاومت‌ها از جنس نیم‌رسانای خالص، مانند سیلیسیم هستند که با افزایش شدت نور تابیده شده، بر تعداد حامل‌های بارالکتریکی آنها افزوده شده و در نتیجه از مقاومت آنها کاسته می‌شود. مثلاً شکل مقاومت الکتریکی چنین **LDR** هایی را برحسب روشنایی (که با یکای **LUX** سنجیده می‌شود) نشان می‌دهد. شکل (ب) دو نماد این مقاومت‌ها در مدارهای الکتریکی را نشان می‌دهد.

برای اینکه به درکی از سازوکار این مقاومت‌ها برسید، شکل را در نظر بگیرید که در آن یک **LDR** در مداری ساده به یک لامپ **LED** متصل شده است. تا هنگامی که لامپِ روشناییِ شکل خاموش باشد، **LDR** مقاومت بالایی دارد و مانع از روشن شدن لامپ **LED** می‌شود. با روشن شدن لامپ روشنایی از مقاومت **LDR** کاسته می‌شود و لامپ **LED** روشن می‌گردد. با تنظیم لامپ روشنایی به ترتیبی که **LDR** در معرض نور بیشتری قرار گیرد، شدت نور لامپ **LED** بیشتر می‌شود.

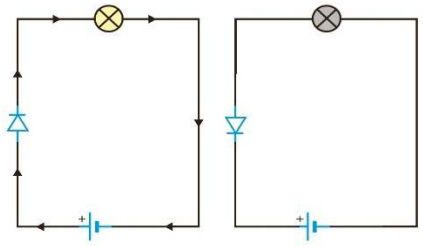
از این ویژگی **LDR** ها در تجهیزات گوناگمونی از جمله چشم‌های الکترونیکی، دزدگیرها، کنترل‌کننده‌های خودکار، و چراغ‌های روشنایی خیابان‌ها استفاده می‌شود.



مقاومت بر حسب روشنایی برای یک LDR نوعی

نماد LDR در دو استاندارد متفاوت

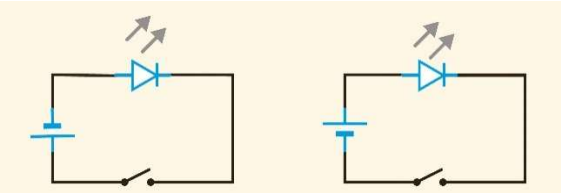
۳– دیودها: دیود قطعه‌ای است که هر گاه در مداری قرار گیرد، جریان را تنها از یک سو عبور می‌دهد و مقاومت آن در برابر عبور جریان در این‌سو ناچیز است. به همین دلیل، دیود را از اغلب به عنوان یک‌سو کنندهٔ جریان در نظر می‌گیرند و آن را با نماد در مدارهای الکتریکی نشان می‌دهند. پیکان در این نماد جهتی را نشان می‌دهد که جریان می‌توان از دیود عبور کند. مثلاً مدارهای سادهٔ شکل نشان می‌دهد که با تعویض جهت دیود، جریان از مدار عبور نمی‌کند و لامپ خاموش می‌شود. همچنین از دیود در مدارهای یک‌سو کننده برای تبدیل جریان‌های متناوب به جریان‌های مستقیم استفاده می‌شود که در فصل ۴ با آن آشنا می‌شوید.



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

دیودها انواع متفاوتی دارند که یکی از معروف‌ترین آنها دیودهای نورگسیل یا **LED**است (شکل). شکل تصویری واضح از یک **LED**و نماد آن در مدارهای الکتریکی را نشان می‌دهد. در این دیودها از نیم‌رساناهایی استفاده می‌شود که با عبور جریان از آنها **LED** از خود نور گسیل می‌کند و بنابراین، مقداری از انرژی الکتریکی به نور تبدیل می‌شود. بسته به نوع نیم‌رسانای به کار رفته، رنگ نورگسیل شده از **LED** می‌تواند از فروسرخ تا فرابنفش باشد. نخستین **LED** های ساخته شده، قرمز و زرد بودند.

فنّاوری **LED**در دهۀ ۹۰ میلادی با تولید **LED**هایی که قابلیت تولید نور آبی و سفید داشتند، دستخوش تحوّل بزرگی شد. **LED**در مقایسه به لامپ‌های روشنایی معمولی، توان الکتریکی کمی مصرف کرده و در عوض، نور قابل ملاحظه‌ای تولید می‌کند. به همین دلیل از آنها در چراغ خودروها، روشنایی منازل، تابلوهای تبلیغاتی، نمایشگرهای **LED**و ... استفاده می‌شود. **LED**ها در مقایسه با لامپ‌های رشته‌ای عمر طولانی‌تری دارند و به دلیل نداشتن رشته به هنگام تولید نور انرژی گرمایی زیادی تولید نمی‌کنند.



پرسش: در کدام شکل با بستن کلید، LED روشن می‌شود؟

پاسخ: ۲

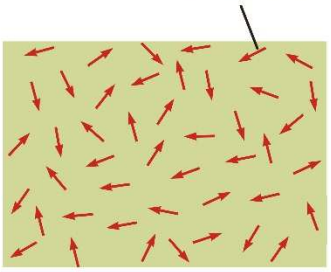
فصل۳: مغناطیس

وقتی یک سوزن مغناطیسی شده یا یک عقربۀ مغناطیسی را از وسط آن آویزان می‌کنیم در بیشتر نقاط زمین، به‌طور افقی قرار نمی‌گیرد و امتداد آن با سطح افقی زمین زاویه می‌سازد. به این زاویه، شیب مغناطیسی گفته می‌شود.

یک کاربرد متداول نیروهای مغناطیسی وارد بر سیم حامل جریان در بلندگوها یافت می‌شود.

اگر قطر حلقه‌های سیملوله در مقایسه با طول آن، بسیار کوچک و حلقه‌های آن، خیلی به هم نزدیک باشند، به این سیملوله، سیملولۀ آرمانی گفته می‌شود.

هر ذرهٔ سازندهٔ مواد پارامغناطیسی یک آهنربای میکروسکوپی است.



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

مواد پارامغناطیسی: اتم های مواد پارامغناطیسی، خاصیت مغناطیسی دارند اما دوقطبی‌های مغناطیسی وابستهٔ به آنها، به طور کاتوره‌ای سمت گیری کرده اند و میدان مغناطیسی خالصی ایجاد نمی‌کنند (شکل) با قرار دادن مواد پارامغناطیسی درون میدان مغناطیسی خارجی قوی (مثلا 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 به طور کاتوره‌ای سمت گیری می‌کنند.

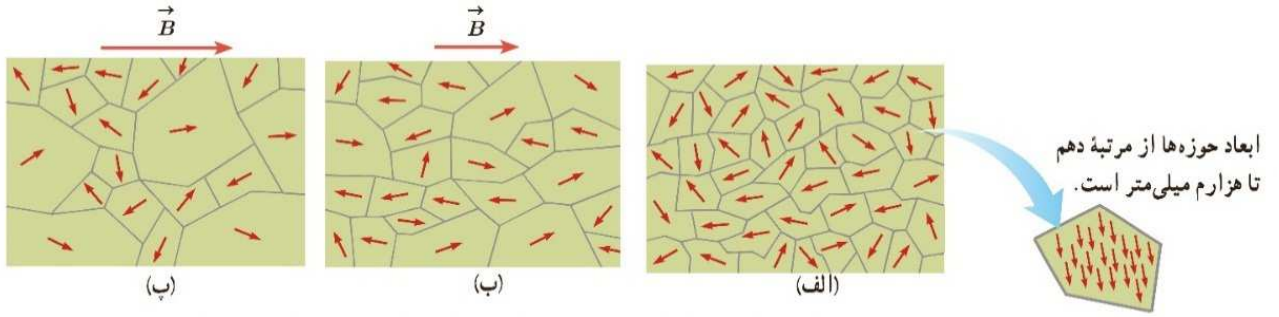
به این ترتیب، می‌توان گفت مواد پارامغناطیسی در حضور میدان‌های مغناطیسی قوی، خاصیت مغناطیسی ضعیف و موقت پیدا می‌کنند. اورانیم، پلاتین، آلومینیم، سدیم، اکسیژن و اکسید نیتروژن از جمله مواد پارامغناطیسی‌اند.

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

مواد فرومغناطیسی: نوع دیگری از مواد به نام مواد فرومغناطیسی وجود دارد که اتم‌های آنها به طور ذاتی دارای دوقطبی مغناطیسی هستند. آهن، نیکل، کبالت و بسیاری از آلیاژهای دارای این عنصرها فرومغناطیسی اند. برهم‌کنش‌های قوی بین دوقطبی‌های مغناطیسی در این مواد موجب می‌شود که این دوقطبی‌ها، حتی در نبود میدان خارجی، در ناحیه‌هایی که حوزه‌های مغناطیسی نامیده می‌شود، همسو شوند. نمونه‌ای از ساختار حوزه‌ها در مواد فرومغناطیسی در شکل (الف) نشان داده شده است. درون هر حوزه تقریباً از مرتبه 10^{19}اتم وجود دارد که دوقطبی های مغناطیسی وابسته به آنها هم جهت‌اند.

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، حوزه هایی 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 جابه جا می‌شود، و ماده خاصیت آهنربایی پیدا می‌کند. شکل (ب)

یک مادهٔ فرومغناطیسی را در یک میدان مغناطیسی خارجی ضعیف و شکل (پ) در یک میدان مغناطیسی خارجی قوی‌تر نشان می‌دهد.



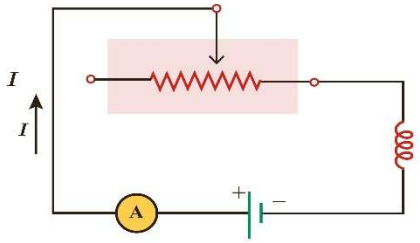
(الف) مادهٔ فرومغناطیسی در نبود میدان مغناطیسی خارجی. (ب) مادهٔ فرومغناطیسی در حضور میدان مغناطیسی خارجی ضعیف. (پ) مادهٔ فرومغناطیس در حضور میدان مغناطیسی خارجی قوی.

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، سمت گیری 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 قابل توجهی حفظ می‌کند. به همین دلیل، این مواد برای ساختن آهنرباهای دائمی مناسب اند. 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؛ به طوری 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.

فصل ۴ ـ القای الکترومغناطیسی و جریان متناوب

قانون لنز: جریان حاصل از نیروی محرکهٔ القایی در یک مدار یا پیچه در جهتی است که آثار مغناطیسی ناشی از آن، با عامل به‌وجودآورندهٔ جریان القایی، یعنی تغییر شار مغناطیسی، مخالفت می‌کند.

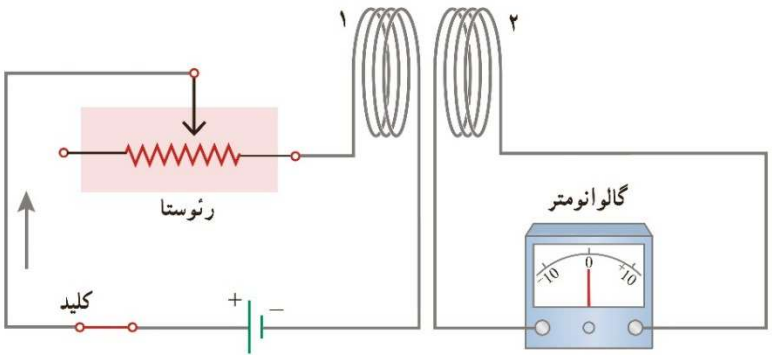
خود القاوری: مداری را مطابق شکل درنظر بگیرید. این مدار شامل منبع نیروی محرکه، رئوستا، آمپرسنج و القاگری است که به طور متوالی به یکدیگر بسته شده‌اند. با تغییر مقاومت رئوستا، جریان در مدار تغییر می‌کند. تغییر جریان در مدار، سبب تغییر میدان مغناطیسی القاگر می‌شود و در نتیجه شار مغناطیسی عبوری از آن نیز تغییر می‌کند. این فرایند سبب القای نیروی محرکه‌ای در القاگر می‌شود که بنابر قانون لنز با تغییر جریان عبوری از آن مخالفت می‌کند. این پدیده که می‌تواند در هر القاگری (از قبیل پیچه یا سیملوله) رخ دهد اثر خود القاوری نامیده می‌شود.



مداری ساده شامل رئوستا، القاگر، باتری و آمپرسنج

القاگرها با تغییرات سریع جریان در مدار مخالفت می‌کنند، به همین دلیل نقش مهمی در لامپ‌های فلوئورسان (مهتابی) دارند. در این لامپ‌ها، جریان الکتریکی از گاز رقیقی که فضای درون لامپ را پر کرده است می‌گذرد و گاز را یونیده و به پلاسما تبدیل می‌کند. پلاسما یک رسانای غیراهمی است و هرچه بیشتر یونیده شود مقاومت آن کمتر می‌شود. اگر ولتاژ به حدّ کافی بالایی به گاز اعمال شود، جریان می‌تواند بسیار زیاد شود و به مدار بیرونی لامپ فلوئورسان آسیب برساند. برای جلوگیری از این مسئله، یک القاگر را به طور متوالی با لامپ فلوئورسان می‌بندند تا مانع افزایش زیاد جریان شود. متعادل کننده همچنین باعث می‌شود تا لامپ فلوئورسان بتواند با ولتاژ متناوب کار کند.

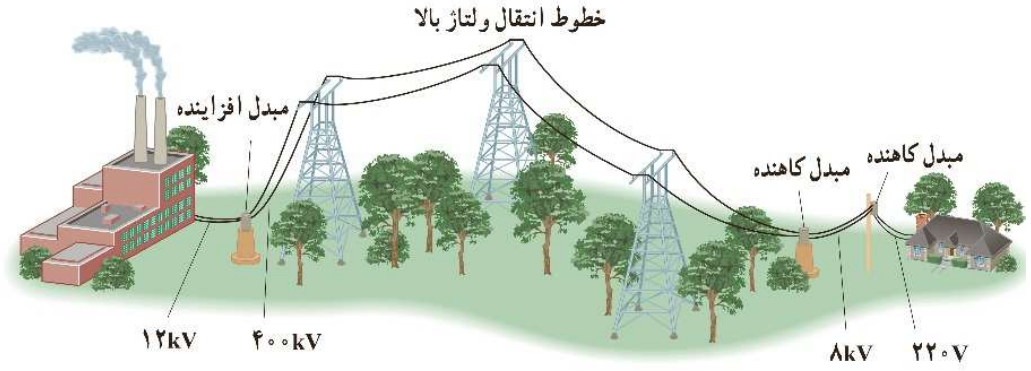
القای متقابل: شکل اسباب آزمایش ساده‌ای را برای بررسی اثر القای متقابل نشان می‌دهد. جریان عبوری از پیچهٔ ۱، میدان مغناطیسی $\vec{B}$ را به وجود می‌آورد. این میدان $\vec{B}$، شار مغناطیسی‌ای را از پیچهٔ ۲ می‌گذراند که در مجاورت آن قرار دارد. با تغییر دادن مقاومت رئوستا و تغییر جریان در پیچهٔ ۱، میدان مغناطیسی پیچهٔ ۱ و در نتیجه شار عبوری از پیچهٔ ۲ نیز تغییر می‌کند؛ بنابر قانون فاراده، این تغییر شار، نیروی محرکه‌ای را در پیچهٔ ۲ القا می‌کند که به ایجاد جریان القایی در این پیچه می‌انجامد. همچنین تغییر جریان در پیچهٔ ۲، سبب ایجاد نیروی محرکهٔ القایی در پیچهٔ ۱ می‌شود. این فرایند القای متقابل نامیده می‌شود و به کمک آن می‌توان انرژی را از یک پیچه، به پیچهٔ دیگر منتقل کرد.



با تغییر مقاومت رئوستا و تغییر جریان عبوری از پیچهٔ ۱ شار عبوری از پیچهٔ ۲ نیز تغییر می‌کند. این تغییر شار، سبب ایجاد نیروی محرکهٔ القایی در پیچهٔ ۲ می‌شود. هم‌زمان تغییر جریان در پیچهٔ ۲، سبب ایجاد نیروی محرکهٔ القایی در پیچهٔ ۱ می‌گردد.

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 جریان 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 ۴۰۰**kV** استفاده می‌کنند (شکل). از طرف دیگر، ملاحظات ایمنی و الزامات عایق‌بندی در ساخت وسایل خانگی و صنعتی، ولتاژهای به نسبت پایین‌تری را در محل مصرف انرژی ضروری می‌کند. ولتاژ استاندارد برای سیم‌کشی خانگی در ایران و بسیاری از کشورهای دیگر ۲۲۰**V** است. تبدیل ولتاژ مورد نیاز با استفاده از مبدل‌ها صورت می‌گیرد.



قبل از انتقال توان الکتریکی از نیروگاه‌ها، مبدل‌های افزاینده، ولتاژ را تا حدود ۴۰۰ kV افزایش می‌دهند. در انتهای مسیر، مبدل‌های کاهنده، ولتاژ را کاهش می‌دهند تا توان الکتریکی با امنیت بیشتر به محل مصرف برسد.

در واقع واژهٔ الکتریسیته از واژهٔ یونانی الکترون گرفته شده است که به معنای کهرباست.

در این فصل، به مطالعه بارهای ساکن می‌پردازیم که به آن الکتریسیتهٔ ساکن (الکتروستاتیک) می‌گویند.

قانون کولن بیان می‌دارد:

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

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

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

$$e = 1/602176530 \times 10^{-19} C \approx 1/60 \times 10^{-19} C$$

یکای بارالکتریکی در SI، کولُن (C) است.

نیروی الکتریکی وارد بر هر ذرّه، برایند نیروهایی است که هر یک از ذرّه‌های دیگر در غیاب سایر ذرّه‌ها، بر آن ذرّه وارد می‌کند. این موضوع که از آزمایش نتیجه شده است را اصل برهم نهی نیروهای الکتروستاتیکی می‌گویند.

میدان الکتریکی در هر نقطه از فضای اطراف یک جسم باردار الکتریکی به صورت زیر تعیین می‌شود:

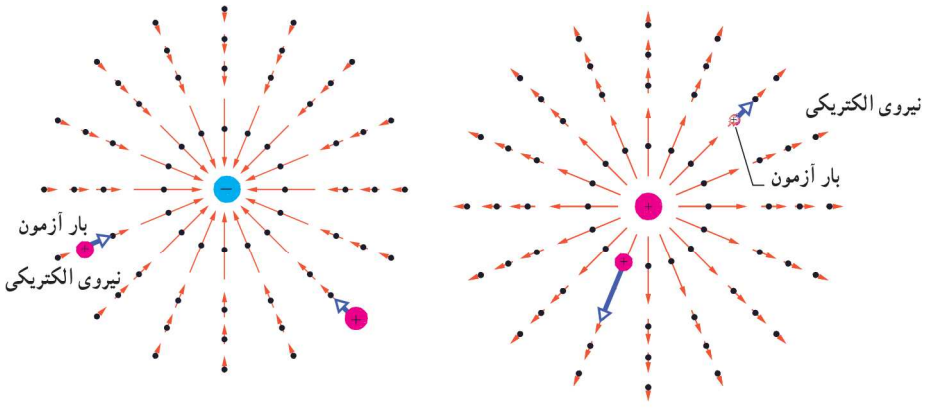
نخست بار کوچک و مثبت q_0 موسوم به بار آزمون را در آن نقطه قرار می‌دهیم و سپس نیروی الکتریکی $\vec{F}$ وارد بر آن را اندازه می‌گیریم. آن‌گاه میدان الکتریکی $\vec{E}$ ناشی از جسم باردار در آن نقطه به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$$

مولّد وان دوگراف وسیله‌ای است که با استفاده از تسمه‌ای متحرک، بار الکتریکی را بر روی یک کلاهک توخالی فلزی جمع می‌کند.

اصل برهم نِهیِ میدان‌های الکتریکی است، نشان می‌دهد که میدان الکتریکی ناشی از چند بار الکتریکی در نقطه‌ای از فضا، برابر مجموع میدان‌هایی است که هر بار در نبودِ سایر بارها در آن نقطه از فضا ایجاد می‌کند.

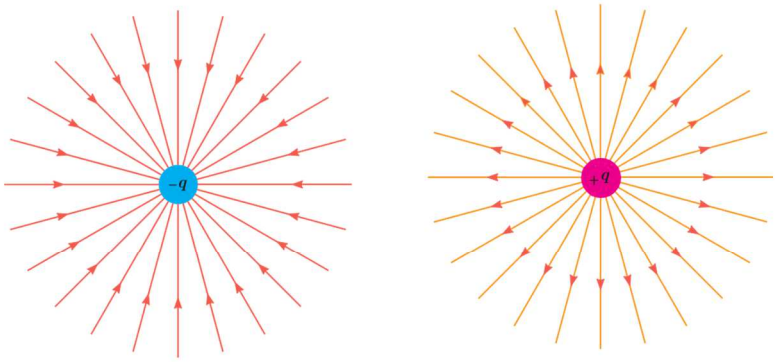
اگر یک بار آزمون را در نزدیکی یک ذرّهٔ باردار مثبت یا منفی قرار دهیم، بسته به نوع بار، نیروی الکتریکی وارد به بار آزمون در جهت دور شدن از ذرّه (شکل ۱-۱۳ ـ الف) و یا در جهت نزدیک شدن به آن (شکل ۱- ۱۳- ب) خواهد بود.



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

شکل ۱ـ ۱۳

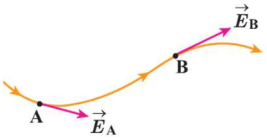
خط‌های میدان در هر نقطه، هم‌جهت با بردار میدان الکتریکی در آن نقطه است (شکل ۱ــ۱۴).



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

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

شکل ۱ــ۱۴



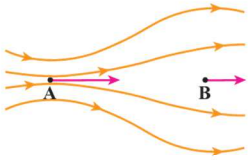
شکل ۱ــ۱۵ میدان الکتریکی در هر نقطه برداری است مماس بر خط میدانی که از آن نقطه می‌گذرد و با آن خط میدان هم‌جهت است.

بنابراین، طرحی که از سمت‌گیری دانه‌ها در فعالیت ۱ــ۳ دیدید، در واقع طرحی از خطوط میدان الکتریکی در فضای بین دو الکترود بوده است.

قاعده‌های رسم خطوط میدان الکتریکی عبارت‌اند از :

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

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

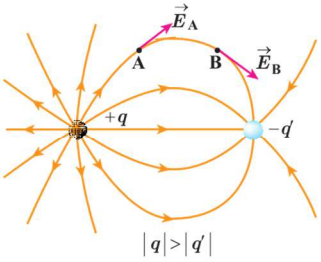


شکل ۱ــ۱۶ اطراف نقطهٔ A خطوط میدان متراکم‌تر از اطراف نقطهٔ B است. بنابراین، بزرگی میدان در نقطهٔ A بیشتر از نقطهٔ B است.

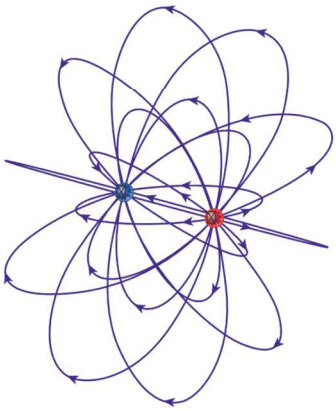
۳ــ در آرایشی از بارها خطوط میدان الکتریکی از بارهای مثبت شروع و به بارهای منفی ختم می‌شوند.

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

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

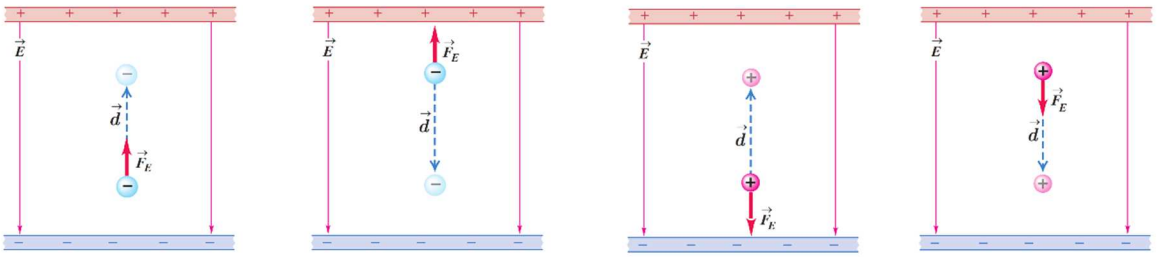


شکل ۱ــ۱۷ خطوط میدان از بارهای مثبت شروع و به بارهای منفی ختم می‌شوند و هرگز یکدیگر را قطع نمی‌کنند.



شکل ۱ــ۱۸ نمایش سه‌بعدی خطوط میدان برای یک دوقطبی الکتریکی

انرژی پتانسیلی است که به نیروی الکتریکی بین دو ذرهٔ که به آن انرژی پتانسیل الکتریکی می‌گوییم.



الف) بار مثبت را در جهت میدان الکتریکی $\vec{E}$ جابه‌جا می‌کنیم: میدان الکتریکی *کار مثبت* W_E را روی بار انجام می‌دهد. انرژی پتانسیل الکتریکی U_E *کاهش می‌یابد*.

ب) بار مثبت را در خلاف جهت میدان الکتریکی $\vec{E}$ جابه‌جا می‌کنیم: میدان الکتریکی *کار منفی* W_E را روی بار انجام می‌دهد. انرژی پتانسیل الکتریکی U_E *افزایش می‌یابد*.

پ) بار منفی را در جهت میدان الکتریکی $\vec{E}$ جابه‌جا می‌کنیم: میدان الکتریکی کار منفی W_E را روی بار انجام می‌دهد. انرژی پتانسیل الکتریکی U_E افزایش می‌یابد.

ت) بار منفی را در خلاف جهت میدان الکتریکی $\vec{E}$ جابه‌جا می‌کنیم: میدان الکتریکی *کار مثبت* W_E را روی بار انجام می‌دهد. انرژی پتانسیل الکتریکی U_E *کاهش می‌یابد*.

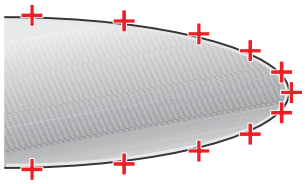
شکل ۱ـ۳۴

نسبت تغییر انرژی پتانسیل به بار ذرّه، مستقل از نوع و اندازهٔ بارالکتریکی است. به این نسبت، اختلاف پتانسیل الکتریکی دونقطه‌ای می‌گوییم که ذرّه میان آنها جابه‌جا شده است.

$$\Delta V = V_2 - V_1 = \frac{\Delta U_E}{q}$$

چگالی سطحی بارالکتریکی رسانا: برای اینکه بتوانیم تراکم بارالکتریکی در بخش‌های مختلف سطح یک جسم را با هم مقایسه کنیم کمیتی به نام چگالی سطحی بار را تعریف می‌کنیم. اگر مساحت سطحی که بار روی آن توزیع شده است برابر A و بارالکتریکی موجود در آن سطح برابر Q باشد چگالی سطحی بار که با نماد σ نشان داده می‌شود از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

$$\sigma = \frac{Q}{A}$$



شکل ۱ـ۳۴ چگالی بار در نقاط تیزتر سطح یک جسم رسانای باردار بیشتر است.

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

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

در واقع الکترون‌های آزاد هنگام حرکت در رسانا همیشه با نوعی مقاومت روبه‌رو هستند. اصطلاحاً می‌گوییم رسانا دارای مقاومت الکتریکی است. از اینجا می‌توان پیش‌بینی کرد که مقاومت الکتریکی به ابعاد هندسی رسانا، یعنی طول و سطح مقطع رسانا بستگی دارد. همچنین جنس مادهٔ رسانا و دمای آن بر مقاومت الکتریکی اثر می‌گذارد.

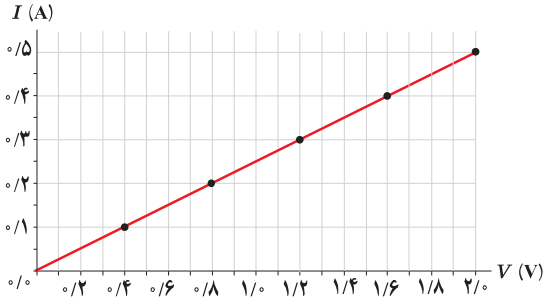
$$R = \frac{V}{I}$$

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

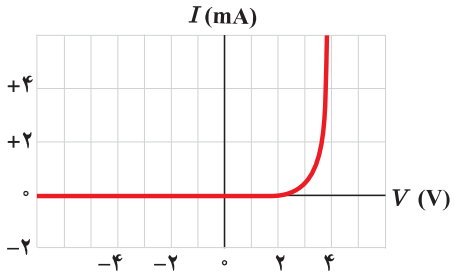
اگر مقاومت الکتریکی در ولتاژهای مختلف (در دمای ثابت)، مقدار ثابتی باشد، اصطلاحاً گفته می‌شود آن وسیله از قانون اهم پیروی می‌کند و آن وسیله را مقاومت یا رسانای اُهمی می‌نامند. به عبارتی جریان عبوری از یک مقاومت اهمی همواره با اختلاف پتانسیل اعمال شده به دو سر آن رابطهٔ مستقیم دارد.

این قانون برای فلزات و بسیاری از رساناهای غیرفلزی در دمای ثابت برقرار است.

با این حال وسیله‌های زیادی نیز یافت می‌شود که از این قانون پیروی نمی‌کنند. یکی از این وسیله‌های غیراهمی، دیود نورگسیل (LED) است.



شکل ۲ــ ۹ نمودار جریان برحسب اختلاف پتانسیل نشان می‌دهد که برای این رسانای اُهمی، جریان به‌طور مستقیم با ولتاژ افزایش می‌یابد.

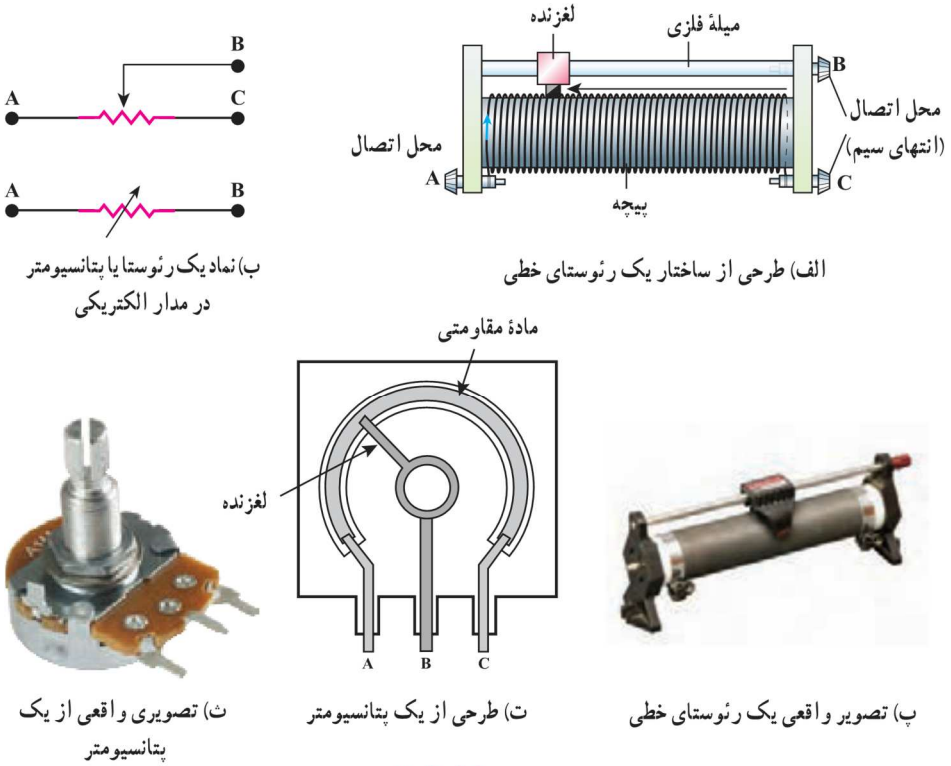


شکل ۲ــ ۱۰ نمودار جریان برحسب اختلاف پتانسیل برای یک دیود نورگسیل

مقاومت جسم در دمای ثابت به طول، مساحت مقطع، و جنس آن بستگی دارد.

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

در برخی مواد، مانند جیوه و قلع با کاهش دما، مقاومت ویژه در دمای خاصی به صورت ناگهانی به صفر افت می‌کند و در دماهای پایین‌تر، همچنان صفر می‌ماند. این پدیده را ابر رسانایی می‌گویند.



شکل ۲ـ۱۶

در هر نقطهٔ انشعاب از مدار قاعده‌ای برای جریان‌ها برقرار است که به صورت زیر بیان شده است و به آن قاعدهٔ انشعاب گفته می‌شود:

مجموع جریان‌هایی که به هر نقطهٔ انشعاب وارد می‌شود برابر با مجموع جریان‌هایی است که از آن نقطهٔ انشعاب خارج می‌شود.

قاعدهٔ انشعاب در واقع مبتنی بر پایستگی بار الکتریکی است.

در حالت کلی جمع جبری اختلاف پتانسیل‌ها در هر حلقه صفر است. به این قاعده، قاعدهٔ حلقه می‌گویند. قاعدهٔ حلقه یا قانون ولتاژها بیان می‌دارد: در هر دور زدن کامل حلقه‌ای از مدار، جمع جبری اختلاف پتانسیل‌های اجزای مدار صفر است.