جمهوری اسلامی ایران
وزارت آموزش و پرورش
تنظیم و تألیف دفتر

مبانی برق

فنی و حرفه ای (رشته های الکترونیک ـ الکروتکنیک)

بسم الله الرحمن الرحیم

مبانی برق

رشته‌های الکترونیک ـ الکتروتکنیک

زمینه‌ی صنعت

شاخه‌ی آموزش فنی وحرفه‌ای

شماره‌ی درس ۲۰۷۱

۶۲۱/۳۱ م۲۱۴ ۱۳۸۴

مبانی برق/ مؤلفان: فریدون قیطرانی ... [ودیگران]. ـ تهران: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران، ۱۳۸۴.

۲۴۵ص.: مصور. ـ (آموزش فنی و حرفه‌ای؛ شماره‌ی درس ۲۰۷۱)

متون درسی رشته‌های الکترونیک ـ الکترونکنیک، زمینه‌ی صنعت.

برنامه‌ریزی و نظارت، بررسی و تصویب محتوا: کمیسیون برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی رشته‌های الکترونیک ـ الکترونکنیک دفتر برنامه‌ریزی و تألیف آموزش‌های فنی‌وحرفه‌ای‌وکاردانش وزارت آموزش و پرورش.

۱. برق. الف. قیطرانی، فریدون. ب. ایران. وزارت آموزش و پرورش. کمیسیون برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی رشته‌های الکترونیک ـ الکترونکنیک. ج. عنوان. د. فروست.

۱۳۸۴

همکاران محترم و دانش‌آموزان عزیز:

پیشنهادات و نظرات خود را دربارهٔ محتوای این کتاب به نشانی تهران ـ صندوق پستی شمارهٔ ۱۵/۴۸۷۴ دفتر برنامه‌ریزی و تألیف آموزش‌های فنی و حرفه‌ای و کاردانش، ارسال فرمایند.

پست الکترونیکی	info@tvoced.sch.ir
آدرس الکترونیکی	www.tvoced.sch.ir

این کتاب با توجه به برنامهٔ سالی ـ واحدی در آذرماه سال ۱۳۷۹ توسط کمیسیون تخصصی برنامه‌ریزی و تألیف رشته‌های الکترونیک ـ الکروتکنیک بازسازی و تجدید نظر گردید.

یکاهای اندازه‌گیری، علائم اختصاری و نقشه‌های موجود در این کتاب توسط کارشناسان تخصصی مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران بررسی و به تأیید رسیده است.

وزارت آموزش و پرورش
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

برنامه‌ریزی محتوا و نظارت بر تألیف: دفتر برنامه‌ریزی و تألیف آموزش‌های فنی و حرفه‌ای و کاردانش

نام کتاب: مبانی برق ـ ۳۵۸/۱۸

مؤلفان: مهندس فریدون قیطرانی، مهندس عین‌الله احمدی، مهندس حسین مظفری، مهندس محمود همتانی و مهندس مسعود تجلی‌پور

آماده‌سازی و نظارت بر چاپ: اداره‌ی کل چاپ و توزیع کتاب‌های درسی

رسام: سید مصطفی حسینی

صفحه‌آرا: طرفه سهانی

طراح جلد: طاهره حسن‌زاده

ناشر: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران: تهران ـ کیلومتر ۱۷ جادهٔ مخصوص کرج ـ خیابان ۶۱ (دار یخش)

تلفن: ۴ ـ ۶۰۲۶۲۴۱، دورنگار: ۶۰۲۶۲۴۰، صندوق پستی: ۱۳۴۲۵/۶۸۲

چاپخانه: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران

سال انتشار و نوبت چاپ: چاپ پنجم ۱۳۸۴

حق چاپ محفوظ است.

شابک ۲ ـ ۰۹۶ ـ ۰۵ ـ ۹۶۴ ISBN 964-05-0960-4

فهرست

سخنی با هنرآموزان محترم و هنرجویان عزیز

فصل اوّل: الکتریسیته‌ی ساکن ۲

فصل دوم: آشنایی با روش‌های تولید الکتریسیته ۳۴

فصل سوم: الکتریسیته‌ی جاری ۴۳

فصل چهارم: مدار الکتریکی و اجزای آن ۵۲

فصل پنجم: هدایت و مقاومت الکتریکی ۵۸

فصل ششم: قانون اهم ۸۰

فصل هفتم: آثار جریان الکتریکی ۸۷

فصل هشتم: کار و توان الکتریکی ۹۲

فصل نهم: مغناطیس و الکترومغناطیس ۱۰۳

فصل دهم: اتّصال سری مقاومت‌های اهمی ۱۲۵

فصل یازدهم: اتصال مقاومت‌ها به‌طور موازی ۱۴۵

فصل دوازدهم: اتّصال پل‌ها ۱۶۶

فصل سیزدهم: جریان متناوب ۱۷۴

فصل چهاردهم: بوبین (سلف) ۱۹۲

فصل پانزدهم: خازن در جریان مستقیم ۲۱۳

فصل شانزدهم: خازن در جریان متناوب ۲۳۵

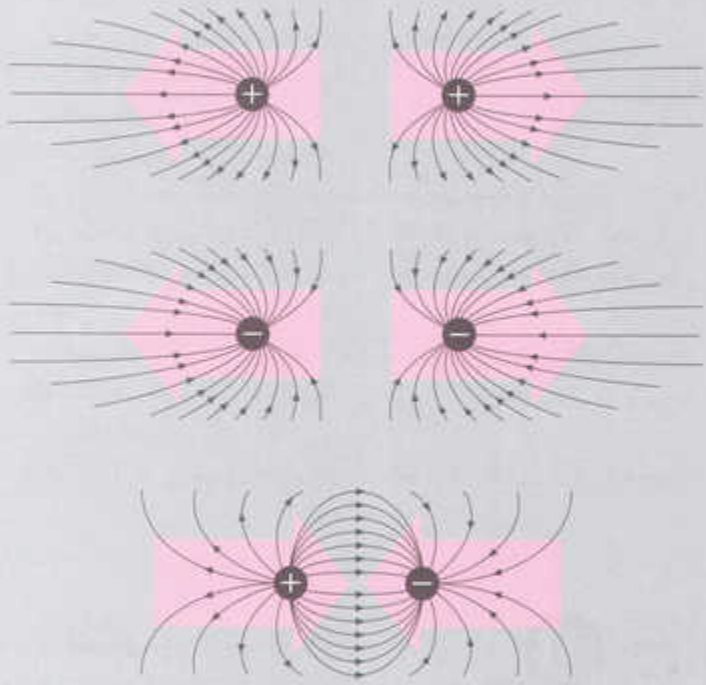
منابع و مآخذ ۲۴۵

سخنی با هنرآموزان محترم و هنرجویان عزیز

یکی از شاخص‌های پیشرفت صنعتی، تربیت نیروی انسانی متخصص در رده‌های مختلف فنی است. هر کشوری که بتواند هم‌زمان با رشد صنعتی و تکنیکی، نیروی فنی مورد نیاز خود را نیز تربیت کند، موفقیت بیش‌تری کسب خواهد کرد. هم‌زمان با اجرای نظام جدید آموزش متوسطه در زمینه‌ی صنعت، تغییرات و تحولات عمده‌ای در برنامه‌های درسی و آموزشی و نیز روش تألیف و تدوین کتاب‌های درسی به‌وجود آمد. در مسیر تحقق بخشیدن به اهداف برنامه‌های نظام جدید به صورت سالی ـ واحدی، طی برنامه‌ریزی انجام شده در کمیسیون‌های تخصصی رشته‌های الکترونیک ـ الکروتکنیک و با استفاده از نظریات نمایندگان گروه‌های آموزشی سراسر کشور در گردهمایی مرداد ماه ۱۳۷۹ در تهران، کتب مبانی برق۱ و۲ مورد تجدیدنظر قرار گرفت و پس از بازسازی با عنوان «مبانی برق» برای تدریس در مراکز آموزشی آماده شد. این کتاب در شانزده فصل تدوین شده است و تدوین‌کنندگان آن کوشیده‌اند تا محتوای کتاب با توانایی و درک هنرجویان کاملاً منطبق باشد. از آن‌جا که با وجود همه‌ی تلاش‌ها هیچ اثری خالی از اشکال نیست، از شما همکاران عزیز تقاضا داریم ما را از پیشنهادهای سازنده خود بهره‌مند سازید.

هدف کلی درس

درک اصول الکتریسیته به‌منظور فراگیری موضوعات علمی و عملی برق.



فصل اوّل

الکتریسیته‌ی ساکن

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل از دانش‌آموز انتظار می‌رود:

۱ــ نظریه‌ی اتمی را در ارتباط با ماهیت الکتریسیته توضیح دهد.

۲ــ ذرات اصلی اتم و ذرات باردار الکتریکی را نام ببرد.

۳ــ قانون کولن را تعریف کند و فرمول آن‌را بنویسد.

۴ــ بار الکتریکی و واحد آن را تعریف کند.

۵ــ روش‌های مختلف باردار کردن و تخلیه‌ی بار الکتریکی اجسام را شرح دهد.

۶ــ خطرهای الکتریسیته‌ی ساکن را شرح دهد و چگونگی رفع هریک را بیان کند.

۷ــ کاربردهای الکتریسیته‌ی ساکن را نام ببرد و ساختمان وسایلی را که با الکتریسیته‌ی ساکن کار می‌کنند، توضیح دهد.

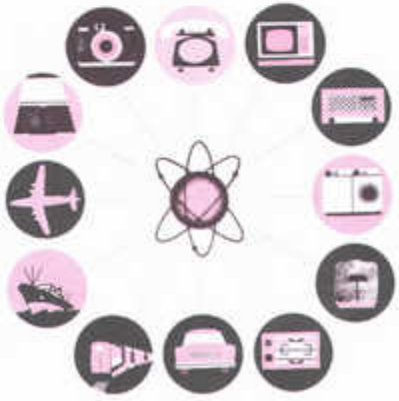
۸ــ اختلاف پتانسیل و میدان الکتریکی را توضیح دهد و مقدار آن‌ها را محاسبه کند.

۹ــ تفاوت هادی‌ها، نیمه‌هادی‌ها و عایق‌ها را از نظر تعداد الکترون‌های آخرین لایه بیان کند و دلایل این تفاوت‌ها را توضیح دهد.

۱۰ــ اختلاف فلزاتی چون نقره، طلا و مس را با توجه به جرم حجمی و هدایت الکتریکی آن‌ها بیان کند.

مقدمه

امروزه انرژی الکتریکی بیش از انواع دیگر انرژی مورداستفاده، قرار می‌گیرد. بدون انرژی الکتریکی کاربرد وسایل روشنایی، تلویزیون، تلفن و اغلب وسایل خانگی غیرممکن است. به‌علاوه، در بیش‌تر وسایل تغلیه انرژی الکتریکی نقش مهمی بازی می‌کند. به‌این‌ترتیب، می‌توان گفت انرژی الکتریکی تقریباً درهمه‌جا به‌کار می‌رود.



شکل ۱ــ۱ــ کاربرد انرژی الکتریکی

اگرچه الکتریسیته در قرون اخیر مورد استفاده قرار گرفته است ولی یونانی‌ها در حدود ۲۰۰۰ سال پیش آن را کشف کردند. آن‌ها پی بردند که وقتی ماده‌ای به نام کهربا را به ماده‌ی دیگری مالش دهند، با نیروی مرموزی باردار می‌شود و می‌تواند اجسامی مانند برگ خشک و پراده‌های چوب را جذب کند. یونانی‌ها این کهربا را **الکترون** نام نهادند که کلمه‌ی الکتریسیته نیز از آن گرفته شده است.

در حدود سال ۱۶۰۰ میلادی اجسامی را که مانند کهربا عمل می‌کردند، **الکتریک** و اجسام دیگر را **غیر الکتریک** می‌نامیدند.

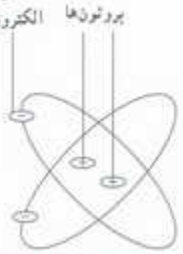
در سال ۱۷۳۳ یک دانشجوی فرانسوی به نام شارل دوفه[1] به این نکته پی برد که یک تکه شیشه‌ی باردار بعضی از اجسام باردار را جذب و اجسام باردار دیگر را دفع می‌کند. بنابراین، او چنین نتیجه گرفت که دو نوع الکتریسیته وجود دارد.

در اواسط دهه‌ی ۱۷۰۰، **بنجامین فرانکلین** این دو نوع را الکتریسیته‌های مثبت و منفی نام نهاد.

در زمان بنجامین فرانکلین دانشمندان معتقد بودند که الکتریسیته، سیالی است که می‌تواند بارهای مثبت و منفی داشته باشد ولی امروزه دانشمندان بر این عقیده‌اند که الکتریسیته از ذرات بسیار ریزی به نام **الکترون** و **پروتون** تولید می‌شود. این ذرات که بسیار ریزند و نمی‌توان آن‌ها را دید، در همه‌ی مواد وجود دارند. برای درک چگونگی وجود آن‌ها در مواد نخست باید ساختمان ماده را بشناسیم.

وقتی موهای خود را شانه می‌کنید، شانه دارای بار الکتریکی می‌شود و مانند میله‌ی کهربا عمل می‌کند و می‌تواند ذرات کاغذ را جذب کند.

شکل ۲ـ۱ـ یکی از روش‌های تولید الکتریسیته



شکل ۳ـ۱ـ ذرات مهم اجسام در تولید الکتریسیته

۱ـ CHARLES DUFAY

۱ــ۱ــ ساختمان ماده

تعریف ماده: هر چیزی را که بتوان دید، احساس کرد یا به‌کار برد، **ماده** گویند. در واقع، ماده هر چیزی است که حجم و فضا را اشغال می‌کند. ماده ممکن است به‌صورت جامد، مایع و گاز (شکل ۴ــ۱) باشد؛ سنگ، چوب و فلز از مواد جامد، آب، الکل و بنزین از مواد مایع و اکسیژن و هیدروژن و اکسیدکربن از مواد گازی هستند.

عناصر: اجزای اصلی تشکیل‌دهنده‌ی ماده‌اند. اکسیژن، هیدروژن، آلومینیم، مس، نقره، طلا و جیوه عنصرند. در واقع، بیش از ۱۰۰ نوع عنصر شناخته شده وجود دارد. ۹۲ نوع از این عناصر به‌طور طبیعی وجود دارند و بقیه، ساخته‌ی دست انسان‌اند. در چند سال اخیر چند نوع عنصر تازه تولید شده است و گمان می‌رود انواع دیگری نیز قابل تولید باشند.

عناصر: همه‌ی چیزهایی که دراطراف ما یافت می‌شوند، از عنصر تشکیل شده‌اند ولی همه‌ی عناصر را نمی‌توان از راه تجزیه‌ی عناصر دیگر یا ترکیب ساده‌ی شیمیایی به‌دست آورد. درجدول عناصر طبیعی (جدول ۱ــ۱) نام عناصر، حروف مشخصه و عدد اتمی آن‌ها را مشاهده می‌کنید.

شکل ۴ــ۱ــ حالت‌های ماده

مطالعه‌ی آزاد

جدول ۱ــ۱ــ جدول عناصر طبیعی و غیر طبیعی

جدول عناصر طبیعی

عدد اتمی	اسم	علامت	عدد اتمی	اسم	علامت	عدد اتمی	اسم	علامت
۱	Hydrogen	H	۳۲	Germanium	Ge	۶۳	Samarium	Sm
۲	Helium	He	۳۳	Arsenic	As	۶۴	Europium	Eu
۳	Lithium	Li	۳۴	Selenium	Se	۶۵	Gadolinium	Gd
۴	Beryllium	Be	۳۵	Bromine	Br	۶۶	Terbium	Tb
۵	Boron	B	۳۶	Krypton	Kr	۶۷	Dysprosium	Dy
۶	Carbon	C	۳۷	Rubidium	Rb	۶۸	Holmium	Ho
۷	Nitrogen	N	۳۸	Strontium	Sr	۶۹	Erbium	Er
۸	Oxygen	O	۳۹	Yttrium	Y	۷۰	Thulium	Tm
۹	Fluorine	F	۴۰	Zirconium	Zr	۷۱	Ytterbium	Yb
۱۰	Neon	Ne	۴۱	Niobium	Nb	۷۲	Lutetium	Lu
۱۱	Sodium	Na		(Columbium)		۷۳	Hafnium	Hf
۱۲	Magnesium	Mg	۴۲	Molybdenum	Mo	۷۴	Tantalum	Ta
۱۳	Aluminum	Al	۴۳	Technetium	Tc	۷۵	Tungsten	W
۱۴	Silicon	Si	۴۴	Ruthenium	Ru	۷۶	Rhenium	Re
۱۵	Phosphorus	P	۴۵	Rhodium	Rh	۷۷	Osmium	Os
۱۶	Sulfur	S	۴۶	Palladium	Pd	۷۸	Iridium	Ir
۱۷	Chlorine	Cl	۴۷	Silver	Ag	۷۹	Platinum	Pt
۱۸	Argon	A	۴۸	Cadmium	Cd	۸۰	Gold	Au
۱۹	Potassium	K	۴۹	Indium	In	۸۱	Mercury	Hg
۲۰	Calcium	Ca	۵۰	Tin	Sn	۸۲	Thallium	Tl
۲۱	Scandium	Sc	۵۱	Antimony	Sb	۸۳	Lead	Pb
۲۲	Titanium	Ti	۵۲	Tellurium	Te	۸۴	Bismuth	Bi
۲۳	Vanadium	V	۵۳	Iodine	I	۸۵	Polonium	Po
۲۴	Chromium	Cr	۵۴	Xenon	Xe	۸۶	Astatine	At
۲۵	Manganese	Mn	۵۵	Cesium	Cs	۸۷	Radon	Rn
۲۶	Iron	Fe	۵۶	Barium	Ba	۸۸	Francium	Fr
۲۷	Cobalt	Co	۵۷	Lanthanum	La	۸۹	Radium	Ra
۲۸	Nickel	Ni	۵۸	Cerium	Ce	۹۰	Actinium	Ac
۲۹	Copper	Cu	۵۹	Praseodymium	Pr	۹۱	Thorium	Th
۳۰	Zinc	Zn	۶۰	Neodymium	Nd	۹۲	Protactinium	Pa
۳۱	Gallium	Ga	۶۱	Promethium	Pm	۹۳	Uranium	U

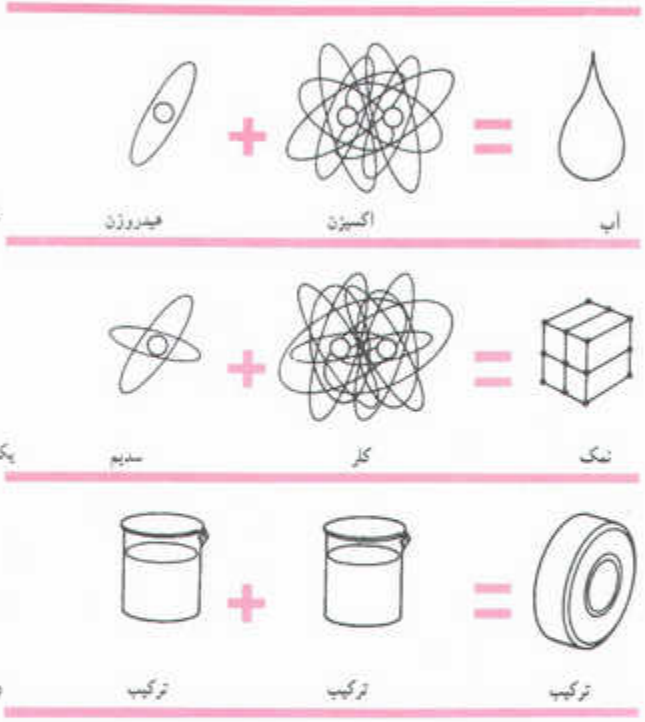
عناصر غیر طبیعی (مصنوعی)

عدد اتمی	اسم	علامت	عدد اتمی	اسم	علامت	عدد اتمی	اسم	علامت
۹۳	Neptunium	Np	۹۷	Berkelium	Bk	۱۰۱	Mendelevium	Md
۹۴	Plutonium	Pu	۹۸	Californium	Cf	۱۰۲	Nobelium	No
۹۵	Americium	Am	۹۹	Einsteinium	E	۱۰۳	Lawrencium	Lw
۹۶	Curium	Cm	۱۰۰	Fermium	Fm			

۱ــ۱ــ۱ــ ترکیب: در واقع تعداد مواد از تعداد عناصر بسیار بیش‌تر است؛ زیرا عناصر یا یک‌دیگر ترکیب می‌شوند و موادی را به‌وجود می‌آورند که از نظر خواص به هیچ‌وجه مشابه عناصر نیستند. برای مثال، آب یک ترکیب است که از دو عنصر اکسیژن و هیدروژن به‌وجود آمده و نمک غذا ترکیبی از عناصر سدیم و کلر است.

توجه داشته باشید که هیدروژن و اکسیژن اگرچه خود گازند ولی در اثر ترکیب، مایع آب (H_2O) را تولید می‌کنند.

در شکل ۵ــ۱ انواع ترکیبات حاصل از حالت‌های مختلف جامد، مایع و گاز را می‌بینید.



شکل ۵ــ۱ــ حالت‌های مختلف ترکیبات (جامد، مایع، گاز)

۲ــ۱ــ۱ــ مولکول: کوچک‌ترین جزء ترکیب است که می‌توان آن را به اجزای کوچک‌تر تقسیم کرد؛ برای مثال، اگر یک قطعه نمک خوراکی را مرتباً نصف کنیم، به‌طوری که تا حد ممکن کوچک شود. ولی هنوز خاصیت نمک را داشته باشد،

شکل ۶ــ۱ــ شکسته‌شدن مولکول نمک

می‌توانیم بگوییم که به یک مولکول نمک رسیده‌ایم. چنان‌چه آن را دوباره دو نیم کنیم، نمک به عناصر تشکیل دهنده‌اش تجزیه می‌شود. این اجزا خواص نمک را نخواهند داشت (شکل ۶ــ۱).

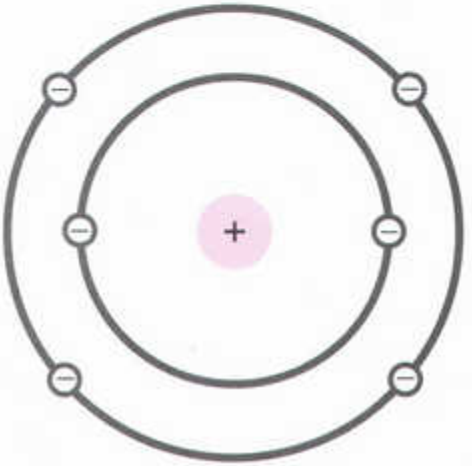
۲ــ۱ــ۱ــ اتم: کوچک‌ترین جزء یک عنصر است که هنوز خواص آن عنصر را دارد. اگر یک قطره آب را به کوچک‌ترین اندازه‌اش خرد کنیم، یک مولکول آب به‌دست می‌آید ولی اگر بخواهیم مولکول آب را بازهم به اجزای کوچک‌تری تقسیم کنیم، اتم‌های هیدروژن و اکسیژن ظاهر می‌شوند.

شکل ۷ــ۱ــ شکستن مولکول آب

۲ــ۱ــ ساختمان اتم

اگر اتم یک عنصر به چند ذره‌ی کوچک‌تر شکسته شود، دیگر خواص آن عنصر در این ذرات وجود ندارد؛ زیرا این ذرات کوچک‌تر در اتم‌های عناصر مختلف وجود دارند. تفاوت اتم‌های عناصر مختلف با هم در این است که تعداد متفاوتی از این ذرات کوچک‌تر از اتم را دارند.

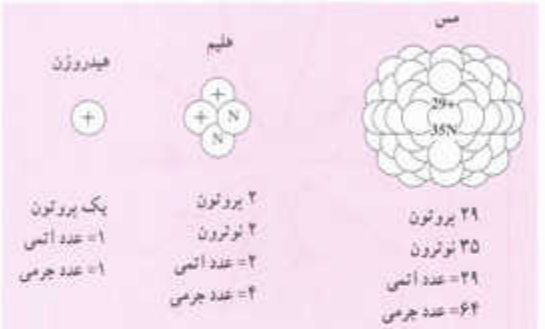
هر اتم از سه نوع ذره تشکیل می‌شود: الکترون، پروتون و نوترون. پروتون‌ها و نوترون‌ها در مرکز یا هسته‌ی اتم قرار گرفته‌اند و الکترون‌ها در اربیتال‌ها یا مدارهایی به دور هسته گردش می‌کنند. شکل ۸ــ۱ ساختمان اتم کربن را نشان می‌دهد. هسته‌ی اتم کربن از شش پروتون یا بار مثبت و شش نوترون (خنثا) تشکیل شده است و شش الکترون با بار منفی به دور هسته می‌چرخند.



شکل ۸ــ۱ــ ساختمان اتم کربن

۱ــ هسته‌ی اتم: قسمت مرکزی اتم، **هسته** نام دارد که پروتون و نوترون در درون آن قرار گرفته‌اند. تعداد پروتون‌های موجود در هسته باعث تفاوت دو عنصر می‌شود؛ برای مثال، هیدروژن۱، اکسیژن ۸، مس ۲۹، نقره ۴۷ و طلا ۷۹ پروتون دارند. عدد اتمی یک عنصر (جدول ۱ــ۱) نشان دهنده‌ی تعداد پروتون‌های آن عنصر است.

اتم‌های هر عنصر تعداد معینی پروتون دارند؛ در صورتی که ممکن است تعداد نوترون‌ها با تعداد پروتون‌ها برابر نباشد. به مجموع تعداد نوترون‌ها و پروتون‌های اتم، **عدد جرمی** می‌گویند. اگر تعداد نوترون‌های اتم عنصری از پروتون‌های آن کم‌تر یا بیش‌تر باشد، به آن **ایزوتوپ عنصر** می‌گویند.



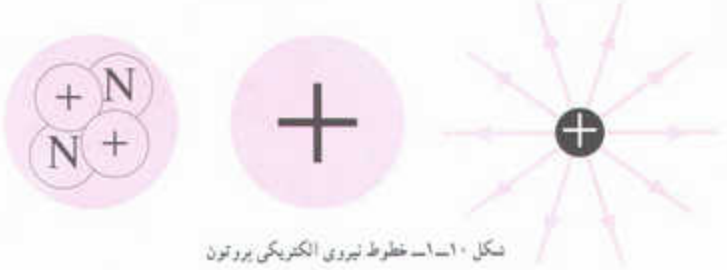
اتم‌های هرعنصر تعداد معینی پروتون دارند. تعداد نوترون‌ها ممکن است با تعداد پروتون‌ها برابر نباشد. هیدروژن تنها عنصری است که معمولاً نوترون ندارد.

شکل ۹ــ۱ــ هسته‌ی چند اتم

۲ــ پروتون: پروتون بسیار کوچک است و قطر آن را $۱/۹\times۱۰^{-۱۳}$ سانتی‌متر تخمین زده‌اند. قطر پروتون $\frac{۱}{۳}$ قطر الکترون است ولی جرم آن به ۱۸۴۰ برابر جرم یک الکترون می‌رسد. می‌توان گفت که یک پروتون ۱۸۴۰برابر سنگین‌تر از الکترون است. جدا کردن پروتون از هسته‌ی اتم کار بسیار مشکلی است. درنتیجه در نظریه‌ی اتمی، پروتون‌ها اجزای دائمی هسته به‌شمار می‌آیند. آن‌ها در عبور یا انتقال انرژی الکتریکی نقش فعالی ندارند. پروتون بار الکتریکی مثبت دارد و بنابر قرارداد، خطوط نیروی این بار به‌صورت شعاعی و به‌طور مستقیم در تمام جهات از پروتون خارج می‌شوند.

در شکل ۱۰ــ۱ هسته‌ی اتم شامل نوترون خنثا و پروتون مثبت است؛ بنابراین، هسته‌ی همه‌ی اتم‌ها همیشه مثبت است. خطوط نیرو به‌صورت شعاعی در تمام جهات از پروتون خارج می‌شوند.

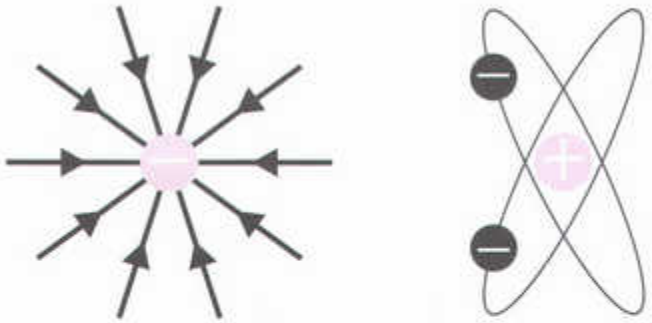
۳ــ نوترون: نوترون ذره‌ای است که اگر تجزیه شود، یک پروتون و یک الکترون حاصل می‌آید. در اتم تعداد بارهای منفی الکترون‌ها مساوی بار مثبت پروتون‌هااست. نوترون ازنظر الکتریکی خنثاست و بنابراین، در ماهیت الکتریکی اتم‌ها چندان مهم تلقی نمی‌شود.



شکل ۱۰ــ۱ــ خطوط نیروی الکتریکی پروتون

۴ــ الکترون: همان‌طور که پیش از این نیز گفتیم، قطر الکترون سه برابر قطر پروتون و حدود $۵/۶\times۱۰^{-۱۳}$ سانتی‌متر است. ولی جرم آن ۱۸۴۰ برابر از پروتون سبک‌تر است. الکترون‌ها را به‌آسانی می‌توان حرکت داد. آن‌ها ذراتی هستند که در انتقال انرژی الکتریکی اثر فعالی دارند.

الکترون‌ها در مدارهایی به دور هسته‌ی اتم حرکت می‌کنند و بارهای الکتریکی منفی دارند. خطوط نیروی وارد شده از هسته به‌صورت شعاعی و در تمام جهات به الکترون وارد می‌شوند. به‌بارهای الکترون و پروتون، **بارهای الکترواستاتیک** نیز می‌گویند.

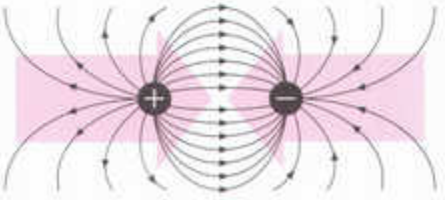


شکل ۱۱ــ۱ــ خطوط نیروی الکترون

۳ــ۱ــ اثر بارهای الکترواستاتیک بر یک‌دیگر

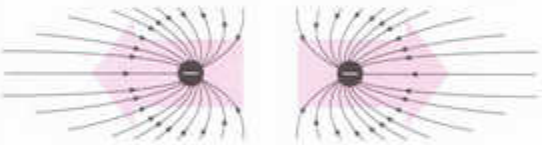
بار منفی الکترون از نظر مقدار، مساوی ولی از نظر جهت خطوط نیرو، مخالف بار مثبت پروتون است. خطوط نیروی هریک از ذرات میدان‌های الکترواستاتیک تولید می‌کنند. به‌علت اثر متقابل این دو میدان، ذرات باردار یک‌دیگر را جذب یا دفع می‌کنند. بر اساس قانون بارهای الکتریکی، ذراتی که بارهای همنام دارند، یک‌دیگر را دفع و ذراتی که بارهای مخالف دارند، هم‌دیگر را جذب می‌کنند.

طبق شکل ۱۲ــ۱ پروتون (+)، الکترون (−) را جذب می‌کند.



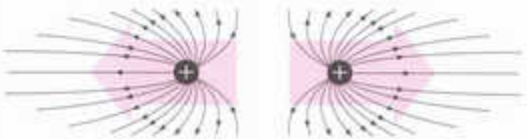
شکل ۱۲ــ۱ــ نیروی جاذبه‌ی بین الکترون و پروتون

طبق شکل ۱۳ــ۱ الکترون (−)، الکترون (−) دیگر را دفع می‌کند.



شکل ۱۳ــ۱ــ نیروی دافعه‌ی بین دو الکترون

طبق شکل ۱۴ــ۱ پروتون (+)، پروتون (+) دیگر را دفع می‌کند.

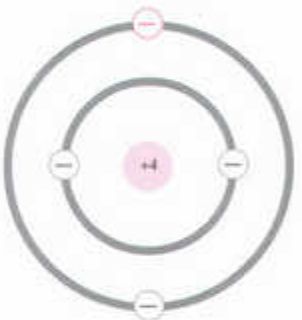


شکل ۱۴ــ۱ــ نیروی دافعه‌ی بین دو پروتون

پروتون‌ها مثبت هستند و باید یک‌دیگر را دفع کنند اما نوعی نیروی جاذبه درون هسته‌ی اتم وجود دارد که آن‌ها را در کنار هم نگه می‌دارد. این نیرو از نیروی دافعه‌ی پروتون‌ها قوی‌تر است و مانع از هم پاشیدن هسته‌ی اتم می‌شود.

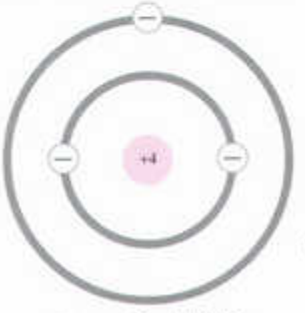
۴ــ۱ــ اتم‌های باردار

طبق شکل ۱۵ــ۱ به‌طور طبیعی در هر اتم تعداد الکترون‌ها و پروتون‌ها مساوی است. بنابراین، بارهای مساوی و مخالف مثبت و منفی یک‌دیگر را خنثا می‌کنند و اتم را ازنظر الکتریکی خنثا نگه می‌دارند. البته همان‌طور که قبلاً نیز گفتیم، تعداد پروتون‌های داخل هسته‌ی یک اتم تغییر نمی‌کند و در واقع، خصوصیات اتم وابسته به تعداد پروتون‌ها است اما تعداد الکترون‌ها ممکن است تغییر کند.



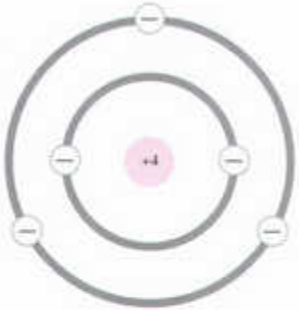
شکل ۱۵ــ۱ــ اتم خنثی

طبق شکل ۱۶ــ۱ اگر در اتمی تعداد الکترون‌ها از پروتون‌ها کم‌تر باشد، اتم بار مثبت دارد و یون مثبت ایجاد می‌کند.



شکل ۱۶ــ۱ــ یک یون مثبت

طبق شکل ۱۷ــ۱ چنان‌چه تعداد الکترون‌های اتمی از پروتون‌های آن بیش‌تر باشد، اتم بار منفی دارد و یون منفی ایجاد می‌کند.



شکل ۱۷ــ۱ــ یک یون منفی

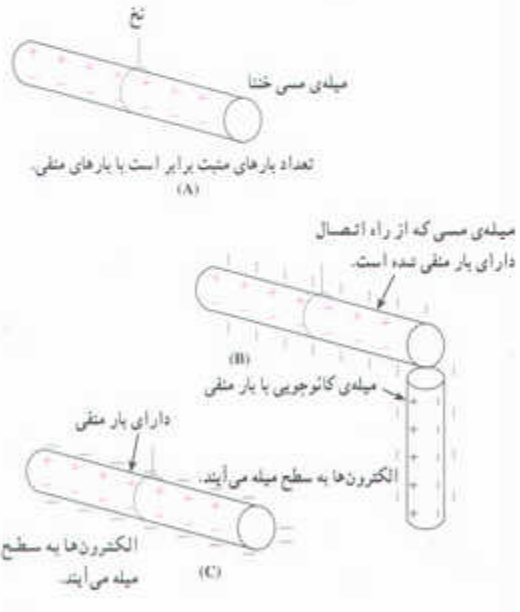
۵ ــ۱ــ باردار شدن اجسام

اگر اتم‌های یک جسم خنثا الکترون‌های خود را ازدست بدهند یا الکترون زیادی بگیرند، آن جسم باردار خواهد شد. باردار شدن اجسام از چند راه امکان‌پذیر است: ۱ــ اصطکاک (مالش)، ۲ــ تماس (هدایت)، ۳ــ القا.

۱ــ باردار شدن اجسام از راه اصطکاک (مالش): طبق شکل ۱۸ــ۱ اگر یک میله‌ی شیشه‌ای را به یک تکه ابریشم مالش دهیم، میله‌ی شیشه‌ای به ابریشم الکترون خواهد داد و در نتیجه، میله به‌طور مثبت و ابریشم به‌طور منفی باردار خواهند شد. اگر یک میله‌ی کائوچویی را به یک تکه پشم مالش دهیم، میله‌ی کائوچویی از پارچه‌ی پشمی الکترون می‌گیرد در نتیجه، کائوچو به‌طورمنفی و پارچه‌ی پشمی به‌طور مثبت باردار می‌شود. به این روش، باردار کردن از طریق اصطکاک (مالش) می‌گویند.

۲ــ باردار کردن اجسام از طریق تماس: با استفاده از یک میله‌ی کائوچویی باردار می‌توان جسم دیگری مانند مس را فقط با تماس دادن این دو با یک‌دیگر باردار کرد. بدین ترتیب که بار منفی میله‌ی کائوچویی سعی دارد که الکترون‌های سطح میله‌ی مسی خنثا را دفع کند. الکترون‌های سطح میله‌ی کائوچویی به سطح میله‌ی مسی وارد می‌شوند و به آن بار منفی می‌دهند.

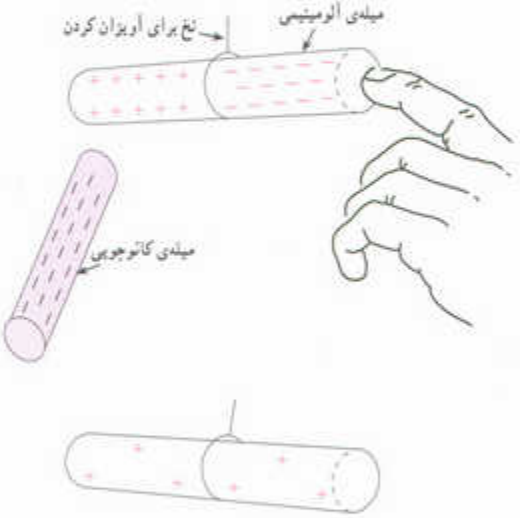
شکل ۱۸ـ۱ـ باردار کردن اجسام به‌روش اصطکاک



شکل ۱۹ـ۱ـ باردار شدن اجسام از طریق تماس

اگر از یک میله‌ی شیشه‌ای با بار مثبت به‌جای میله‌ی کائوچویی که بار منفی دارد، استفاده شود الکترون‌ها از سطح میله‌ی مسی جذب میله‌ی شیشه‌ای می‌شوند و آن را به‌طور مثبت باردار می‌کنند. به این روش، باردار کردن از طریق برخورد یا تماس می‌گویند.

۳ـ باردار کردن از طریق القا: چون الکترون‌ها و پروتون‌ها نیروی جاذبه و دافعه دارند، جسم را بدون تماس دادن با جسم باردار می‌توان باردار کرد. طبق شکل ۲۰ـ۱ اگر یک میله‌ی کائوچویی باردار منفی را به یک میله‌ی آلومینیمی خیلی نزدیک کنیم، نیروی منفی میله‌ی کائوچویی الکترون‌های میله‌ی آلومینیمی را دفع می‌کند و به سر دیگرش می‌راند. درنتیجه، یک سر میله‌ی آلومینیمی منفی و سر دیگر آن مثبت می‌شود. حال اگر میله‌ی کائوچویی را کنار بکشیم، الکترون‌های میله‌ی آلومینیمی دوباره تغییر آرایش می‌دهند تا میله به‌حالت خنثا درآید.

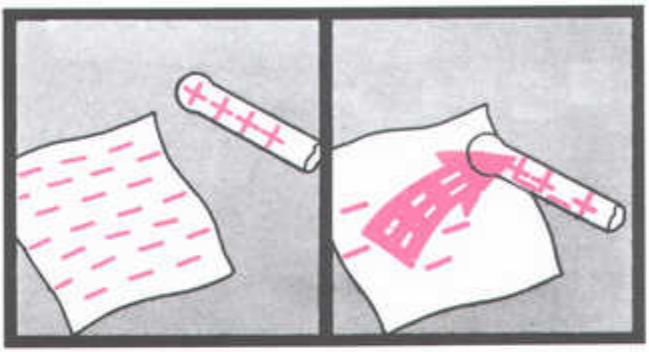


شکل ۲۰ـ۱ـ باردار شدن اجسام از طریق القا

حال اگر بخواهیم میله‌ی آلومینیمی باردار باقی بماند، دوباره میله‌ی کائوچویی را به آن نزدیک کرده و انتهای منفی میله را با انگشت لمس می‌کنیم. الکترون‌ها از طریق بدن، میله‌ی آلومینیمی را ترک می‌کنند. (در این‌جا بارهای خیلی کم مورد نظرند. درنتیجه، عبور آن‌ها از بدن نامحسوس است.) اگر قبل از کنار کشیدن میله‌ی کائوچویی انگشتان را کنار بکشید، میله‌ی آلومینیومی باردار باقی خواهد ماند. به این روش، **باردار کردن از طریق القا** می‌گویند.

۶ــ۱ــ خنثا کردن یک بار

پس از این‌که شیشه و ابریشم را به هم مالش دادید، آن‌ها دارای بار الکتریکی خواهند شد ولی اگر میله‌ی شیشه‌ای و ابریشم را دوباره به هم نزدیک کنید، جاذبه‌ی یون‌های مثبت داخل میله، الکترون‌ها را دوباره از ابریشم بیرون می‌کشند تا هر دو جسم از نظر الکتریکی خنثا شوند. برای تخلیه‌ی اجسام باردار می‌توان آن‌ها را با سیم به‌هم متصل کرد.



شکل ۲۱ــ۱ــ خنثا کردن بار

۷ــ۱ــ خطرات الکتریسیته‌ی ساکن و چگونگی خنثا کردن آن

برقی که بین دو توده ابر باردار (از نوع مخالف) یا یک توده ابر و زمین می‌جهد، در اصطلاح علمی **تخلیه‌ی الکتریکی** نامیده می‌شود. این تخلیه‌ی الکتریکی (صاعقه) ممکن است به‌ساختمان‌های بلند آسیب برساند. در این مورد برای جلوگیری از آسیب، برق‌گیر به‌کار می‌رود. برق‌گیر میله‌ی آهنی نوک‌تیز بلندی است که در بالای ساختمان نصب می‌شود و قسمت انتهایی آن به زمین متصل می‌گردد. هنگامی که یک توده ابر با بار الکتریکی مثلاً منفی از بالای برق‌گیر می‌گذرد، در بالای آن الکتریسیته‌ی مثبت و در پایین آن الکتریسیته‌ی منفی القا می‌شود. الکتریسیته‌ی منفی (یعنی الکترون‌ها) به زمین انتقال می‌یابد و الکتریسیته‌ی مثبت با مقداری از الکتریسیته‌ی منفی ابر خنثا می‌شود. درنتیجه، از شدت تراکم بار الکتریکی در ابر کاسته می‌شود و احتمال تخلیه‌ی الکتریکی به‌صورت صاعقه بین ابر و برق‌گیر کاهش می‌یابد.

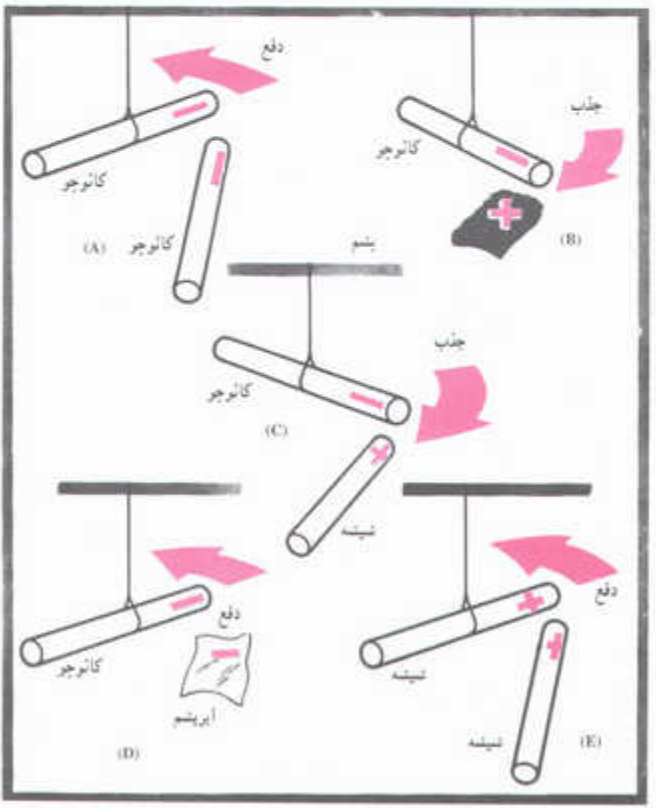
شکل ۲۲ــ۱ــ صاعقه و برق‌گیر

در بیمارستان‌ها برای بیهوش کردن بیماران از ماده‌ای به‌نام اتر استفاده می‌شود. اتر ماده‌ای فرار است و بخارآن در فضای اتاق پخش می‌شود. اگر چرخ‌های تخت حامل بیمار لاستیکی باشد، براثر مالش این چرخ‌ها با پتو یا روکش بیمار ممکن است در آن‌ها الکتریسیته‌ی ساکن تولید شود و جرقه بزند. همین جرقه باعث انفجار خواهد شد. امروزه برای جلوگیری از این خطر احتمالی زنجیر فلزی کوتاهی به بدنه‌ی فلزی تخت حامل بیمار آویزان می‌کنند که با سطح زمین تماس دارد. بارهای الکتریکی تولید شده از راه این زنجیر به‌زمین منتقل می‌گردد و درنتیجه، از تولید جرقه و بروز پیشامد ناگوار جلوگیری می‌شود.

در بعضی از دستگاه‌های صنعتی برای به‌حرکت درآوردن بار (انتقال قدرت) از تسمه‌ی لاستیکی استفاده می‌شود. برای ازبین بردن الکتریسیته‌ی ساکن تولید شده، معمولاً بدنه‌ی دستگاه‌ها را به زمین وصل می‌کنند.

۸ــ۱ــ اثر اجسام باردار بر یک‌دیگر

اگر یک میله‌ی شیشه‌ای را با مالش دادن به ابریشم به‌طور مثبت باردار کنیم و به یک میله‌ی کائوچویی از راه مالش دادن آن به پشم بار منفی دهیم ــ بدون این‌که آن‌ها با هم تماس پیدا کنند ــ خواهیم دید که اجسام با بارهای همنام یک‌دیگر را دفع و با بارهای غیر همنام یک‌دیگر را جذب می‌کنند.



شکل ۲۳ــ۱ــ اثر اجسام باردار بر یک‌دیگر

۹ــ۱ــ اجسام رسانا و نارسانا

در بعضی اجسام، بار الکتریکی به آسانی جابه‌جا می‌شود. این اجسام را **رسانا** یا **هادی** می‌گویند. در بعضی اجسام بارهای الکتریکی نمی‌توانند جابه‌جا شوند یا به سختی جابه‌جا می‌شوند. این‌گونه اجسام را **نارسانا** یا **عایق** می‌نامند. در میان اجسام جامد، همه‌ی فلزات و کربن رساناهای خوبی هستند. به همین جهت، در صنعت از آن‌ها برای انتقال الکتریسیته استفاده می‌شود. بعضی از مایعات نیز رساناهای خوبی هستند ولی همه‌ی گازها از جمله هوا ــ هنگامی که کاملاً خشک باشند ــ نارسانا هستند. کهربا، شیشه، چینی، لاستیک، میکا، ابریشم، ابونیت، چوب‌پنبه، مواد پلاستیکی و گوگرد از نارساناهای خوب به‌شمار می‌روند.

نخستین کسی که الکتریسیته‌ی ساکن را به‌طور علمی مورد مطالعه قرار داد، **ویلیام گیلبرت** بود. او در کتاب خود به‌نام **ماگنت** فهرست مفصلی از اجسام رسانا و نارسانا را آورده است. گیلبرت مواد نارسانا را که در اثر مالش، الکتریسیته‌دار می‌شوند **اجسام الکتریکی** و ماده رسانا را که در اثر مالش در آن‌ها الکتریسیته ظاهر نمی‌شود، **اجسام غیر الکتریکی** نام نهاد.

دویست سال پس از انتشار کتاب گیلبرت، جریان الکتریسیته کشف شد. آن زمان دانشمندان متوجه شدند که الکتریسیته از اجسامی که گیلبرت آن‌ها را اجسام الکتریکی نامیده بود، نمی‌گذرد و برعکس، اجسام غیرالکتریکی الکتریسیته را به‌آسانی از خود عبور می‌دهند.

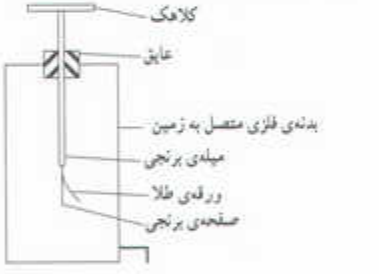
گیلبرت اهمیت خشک بودن اسباب‌ها را در آزمایش‌های الکتریسیته‌ی ساکن یادآورد شده بود: «آب ناخالص ماده‌ای رساناست. لایه‌ی نازکی از رطوبت که در اثر تراکم بخار آب موجود در هوا یا رطوبت دست بر اجسام نارسانا می‌نشیند، الکتریسیته‌ی حاصل را به زمین انتقال می‌دهد. بنابراین، برای موفقیت آزمایش‌های الکتریسیته‌ی ساکن، اسباب‌های آزمایش باید کاملاً خشک باشند».

۱۰ــ۱ــ برق نما یا الکتروسکوپ

برق‌نما یا الکتروسکوپ ابزاری است که برای بی‌بردن به وجود بارهای الکتریکی کم و تعیین نوع بار الکتریکی به‌کار می‌رود.

در شکل ۲۴ــ۱ نوع متداول الکتروسکوپ را می‌بینید. این اسباب شامل یک میله‌ی فلزی (مثلاً برنجی) است که کلاهکی به شکل قرص یا گلوله به انتهای بالایی آن نصب شده است. در انتهای پایینی آن یک صفحه‌ی فلزی مستطیل شکل کوچک یا یک ورقه‌ی بسیار نازک طلا یا آلومینیم وصل شده است (در بعضی از الکتروسکوپ‌ها به‌جای صفحه‌ی مستطیل شکل کوچک فلزی، یک ورقه طلای دیگر نصب شده است).

ورقه‌ی طلا یا آلومینیم به این جهت به‌کار می‌رود که می‌توان از آن‌ها ورقه‌های بسیار نازک تهیه کرد. ورقه‌ی نازک طلا در یک محفظه‌ی فلزی که پنجره‌ی شیشه‌ای دارد، قرار می‌گیرد تا از جریان هوا و بارهای الکتریکی احتمالی موجود در آن محافظت شود. هنگام کار با الکتروسکوپ بدنه‌ی فلزی محفظه به زمین متصل می‌شود. میله‌ی برنجی را از سوراخ یک قطعه ماده‌ی عایق مانند پلی‌تن ــ که مثل چوب پنبه است ــ می‌گذرانند و آن را مطابق شکل در محفظه نگاه می‌دارند.



شکل ۲۴ــ۱ــ ساختمان برق‌نما

تشخیص وجود بار الکتریکی توسط برق‌نما: برای بی‌بردن به وجود الکتریسیته در جسم، آن را به کلاهک الکتروسکوپ نزدیک می‌کنند یا با آن تماس می‌دهند. الکتریسیته از راه میله‌ی الکتروسکوپ به ورقه‌ی طلا و صفحه‌ی فلزی مقابل آن منتقل می‌شود. چون صفحه و ورقه هر دو یک نوع بار الکتریکی پیدا می‌کنند، ورقه از صفحه دور می‌شود و با آن زاویه‌ای می‌سازد که هرچه اندازه‌ی بارالکتریکی بیش‌تر باشد، این زاویه بزرگ‌تراست.

آیا ممکن است این زاویه معرف مقدار الکتریسیته‌ی داده شده به الکتروسکوپ باشد؟ به‌نظر شما چگونه می‌توان نوع بار را توسط الکتروسکوپ تعیین کرد؟

الکترون‌ها در اجسام نارسانا و رسانا و تشخیص آن‌ها به وسیله‌ی برق‌نما: تفاوت جسم نارسانا و رسانا این است که در جسم نارسانا الکترون‌ها به‌شدت به اتم‌های خود وابسته‌اند و به‌آسانی جابه‌جا نمی‌شوند اما در جسم رسانا، الکترون‌ها می‌توانند به‌راحتی از اتمی به اتم دیگر بروند. وقتی یک میله‌ی کائوچویی را با دست می‌گیریم و آن را با پوست حیوان مالش می دهیم، الکترون‌ها در سطح میله جمع می‌شوند وچون کائوچو نارساناست، این الکترون‌ها نمی‌توانند در میله حرکت کنند و از راه دست به‌زمین منتقل شوند. درنتیجه، بار الکتریکی در روی میله باقی می‌ماند. اگر یک میله‌ی برنجی را با دست بگیریم و آن را با پوست حیوان مالش دهیم، درست مانند میله‌ی کائوچویی با جذب الکترون‌های اضافی، بار الکتریکی منفی پیدا می کند ولی بار الکتریکی در آن آشکار نمی‌شود؛ زیرا الکترون‌های اضافی از راه میله و دست و بدن که رسانا هستند به زمین می‌روند. اگر میله‌ی برنجی را با دستی نارسانایی بگیریم، الکترون‌های اضافی میله نمی‌توانند از این دسته‌ی نارسانا بگذرند و در میله باقی می‌مانند. وجود بار اضافی منفی را در میله‌ی برنجی می‌توان با یک الکتروسکوپ که از پیش با الکتریسیته‌ی منفی باردارشده است، نشان داد. هرگاه میله را به این الکتروسکوپ نزدیک کنیم، انحراف ورقه‌ی طلا بیش‌تر می‌شود.

۱۱ــ۱ــ میدان‌های الکترواستاتیک

نیروهای جاذبه و دافعه‌ی دو جسم باردار ازطریق خطوط نیروی الکترواستاتیکی که در اطراف جسم باردار وجود دارند، اعمال می‌شوند.

در یک جسم باردار منفی، خطوط نیروی الکترون‌های اضافی با یک‌دیگر جمع می‌شوند و میدان الکترواستاتیکی به‌وجود می‌آورند که جهت خطوط نیروی آن در تمام جهات از بیرون به‌طرف درون جسم است.

در جسم باردار مثبت، کمبود الکترون‌ها باعث می‌شود که خطوط نیروی پروتون‌های اضافی با هم جمع شوند و میدان الکترواستاتیکی تولید کنند که در آن خطوط نیرو در تمام جهات از درون جسم به‌طرف بیرون است.

میدان‌های الکترواستاتیک در هنگام جذب به‌طرف یک‌دیگر متمایل می‌شوند و در هنگام دفع با هم مخالفت می‌کنند.

شکل ۲۵ــ۱ــ میدان‌های الکترواستاتیک

نیروی جذب و دفع به دو عامل بستگی دارد: (۱) مقدار باری که در هر جسم وجود دارد و (۲) فاصله‌ی بین دو جسم. هرچه بارهای الکتریکی اجسام بیش‌تر باشند، نیروی الکترواستاتیک بزرگ‌تر خواهد بود و هرچه دو جسم باردار به یک‌دیگر نزدیکتر باشند، نیروی الکترواستاتیک بین آن‌ها بیش‌تر خواهد بود. اگر از بارها کاسته شود یا دو جسم از یک‌دیگر دورشوند، نیروهای جاذبه و دافعه ضعیف‌تر خواهند شد. در قرن هجدهم یک دانشمند فرانسوی به نام **کولن** با بارهای الکترواستاتیک آزمایش‌هایی انجام داد و قانونی درمورد جاذبه و دافعه‌ی الکترواستاتیکی کشف کرد که به آن **قانون کولن** می گویند.

۱۲ــ۱ــ قانون کولن

کولن آزمایش‌های خود را در دو مرحله انجام داد؛ درمرحله‌ی نخست به دو کره‌ی ساکن و متحرک بارهای الکتریکی یکسان (مساوی و هم‌نام) داد و نیروی دافعه‌ی بین آن‌ها را در فاصله‌های مختلف اندازه‌گیری کرد. او نتیجه گرفت که این نیرو با عکس مجذور فاصله‌ی دو بار الکتریکی متناسب است؛ یعنی، وقتی که فاصله‌ی دوبار الکتریکی دوبرابر شود، نیروی بین آن‌ها به $\frac{1}{4}$ مقدار اولیه می‌رسد و هنگامی که فاصله‌ی بین دو بار الکتریکی سه برابر شود، نیروی بین آن‌ها به $\frac{1}{9}$ مقدار نخستین می‌رسد.

در مرحله‌ی بعد، کولن بارهای متفاوتی را به دو کره داد و نیروهای آن‌ها را در فاصله‌ی ثابت اندازه‌گیری کرد. او نتیجه گرفت که نیروی جاذبه یا دافعه‌ای که میان کره‌ها به‌وجود می‌آید، به‌طور مستقیم با مقدار بارالکتریکی روی هریک از کره‌ها متناسب است و در نتیجه، با حاصل ضرب آن‌ها تناسب دارد.

اگر دو بار الکتریکی را با q_1 و q_2 وفاصله‌ی بین آن‌ها را با d و نیرو را با F نمایش دهیم، قانون کولن به‌صورت رابطه‌ی زیر نوشته می‌شود:

$$F = K\frac{q_1 q_2}{d^2}$$

K ضریبی است که به واحدهای انتخاب شده و جنس محیطی بستگی دارد که دو جسم باردار در آن قرار گرفته‌اند. اگر اندازه‌گیری نیرو در خلأ صورت گیرد، در دستگاه بین‌المللی واحدها (SI) که در آن F برحسب نیوتن و q برحسب کولن و d برحسب متر است، K تقریباً برابر است با $K = 9\times10^9 \frac{Nm^2}{c^2}$.

اگر به 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 غیر همنام با علامت منفی درنظر گرفته می‌شود.

رابطه‌ی یاد شده در مواردی به‌کار می‌رود که ابعاد دو جسم باردار خیلی کوچک باشد؛ به‌طوری که بتوان آن‌ها را در حکم یک نقطه‌ی باردار دانست. هم‌چنین این رابطه را می‌توان درمورد دو جسم کره‌ی باردار به‌کار برد که بارالکتریکی به‌طور یک‌نواخت روی آن‌ها توزیع شده باشد. اگر این اجسام بزرگ و به‌هم نزدیک باشند، شکل وابعاد آن‌ها و نیز چگونگی توزیع بارالکتریکی در آن‌ها در مقدار نیرو مؤثر است. علاوه بر این، جنس محیطی که اجسام در آن قرار دارند یا ماده‌ای که بین دوجسم قرار می‌گیرد، در مقدار نیرو نقش مؤثری دارد.

از رابطه‌ی $F = K\frac{q_1 q_2}{d^2}$ فقط اندازه‌ی نیروی کولن به‌دست می‌آید. راستای این نیرو همواره در امتداد خطی است که دو جسم را به هم وصل می‌کند و جهت نیرو به نوع بارهای الکتریکی دو جسم بستگی دارد. چنان که گفتیم، بارهای همنام یک‌دیگر را دفع و بارهای غیر همنام یکدیگر را جذب می‌کنند.

$$F \leftarrow \oplus \qquad \oplus \rightarrow F$$

$$\ominus \rightarrow FF \leftarrow \oplus$$

مثال ۱: نیروی بین دو بار الکتریکی مثبت که مقدار بار هرکدام یک کولن است، وقتی که فاصله‌ی آنها یک کیلومتر باشد چه‌قدر است؟

$$q = q' = 1C$$

$$d = 1000m \qquad F = K\frac{qq'}{d^2} = 9\times10^9 \times \frac{1\times1}{(10^3)^2} = 9000N$$

نیروی ۹۰۰۰ نیوتن نیروی زیادی است. بارهای ساکن معمولاً از یک کولن بسیار کم‌ترند.

۱۳ــ۱ــ شدت میدان الکتریکی

نیرویی که در یک میدان الکتریکی بر واحد بار آزمون (بار مثبت) الکتریکی واقع در هر نقطه از این میدان وارد می‌شود، **شدت میدان الکتریکی** در آن نقطه نام دارد و آن را با E نمایش می‌دهند. بنابراین، اگر بار مثبت q' در نقطه‌ی معینی از میدان الکتریکی واقع شود و بر آن نیروی F اثر کند، شدت میدان الکتریکی در آن نقطه برابر خواهد بود با $E = \frac{F}{q'}$. واحد شدت میدان الکتریکی در SI، نیوتن بر کولن است.

مثال ۲: در نقطه‌ای از یک میدان الکتریکی، بر بار الکتریکی مثبتی معادل 10^{-5} کولن نیرویی برابر با ۰/۲ نیوتن وارد می‌شود. شدت میدان الکتریکی دراین نقطه چه‌قدر است؟

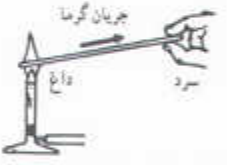
$$E=\frac{F}{q'}=\frac{0/2}{10^{-5}}=2\times10^{4}\frac{N}{C}$$

شدت میدان الکتریکی مانند نیرو، کمیتی برداری است که اندازه و راستا دارد. راستای E و F همواره یکی است ولی نیروی وارد بر بار مثبت، هم‌جهت با میدان و نیروی وارد بر بار منفی، در خلاف جهت میدان است.

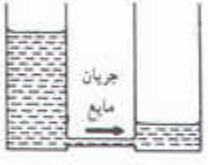
۱۴ــ۱ــ اختلاف پتانسیل الکتریکی

دیدیم که وقتی یک جسم رسانا که بار الکتریکی منفی دارد به زمین متصل می‌شود، الکترون‌ها (یعنی بارهای منفی) از آن جسم به‌زمین می‌روند. هم‌چنین، اگر یک جسم رسانا با بار الکتریکی مثبت با زمین اتصال پیدا کند، تعدادی الکترون از زمین به جسم منتقل می‌شود. حرکت الکترون‌ها ـ و به‌عبارت دیگر انتقال الکتریسیته ـ به این علت صورت می‌گیرد که بین جسم رسانا و زمین اختلاف پتانسیل وجود دارد. بنابراین، می‌توان اختلاف پتانسیل را عامل یا شرط الکتریکی دانست که سبب جاری شدن الکتریسیته از نقطه‌ای به‌نقطه‌ی دیگر می‌شود. با توجه به این واقعیت، می‌توان اختلاف پتانسیل را با اختلاف دما ــ که سبب انتقال گرما در یک جسم می‌شود ــ یا اختلاف فشار مایع بین دو ظرف به‌هم پیوسته ــ که سبب جاری شدن مایع بین دو ظرف می‌گردد ــ مقایسه کرد.

همان‌طور که اختلاف دما جهت انتقال گرما را در جسم مشخص می‌کند یا اختلاف فشار مایع جهت حرکت مایع را نشان می‌دهد، اختلاف پتانسیل الکتریکی هم‌جهت جریان یافتن الکتریسیته را تعیین می‌کند.



اختلاف دما سبب انتقال گرما می‌شود.



اختلاف فشار مایع را جابه‌جا می‌کند.

شکل ۲۶ــ۱ــ مقایسه‌ی اختلاف پتانسیل الکتریکی با اختلاف دما و اختلاف فشار در مایع

زمین و پتانسیل الکتریکی صفر: در اندازه‌گیری‌های پتانسیل الکتریکی لازم است مبدأ مقایسه‌ی مناسبی با پتانسیل الکتریکی صفر انتخاب شود. درست همان‌طور که در اندازه‌گیری دما، نقطه‌ی ذوب یخ به‌عنوان مبدأ مقایسه یا نقطه‌ی صفر قبول شده است، در عمل زمین را نیز به‌عنوان مبدأ مقایسه‌ای که پتانسیل الکتریکی آن صفر است، انتخاب کرده‌اند.

این انتخاب برای آسان شدن کار صورت گرفته است و معنایش این نیست که زمین بار الکتریکی ندارد. همان‌طور که نمی‌توان گفت یخ صفردرجه دارای انرژی داخلی نیست. درحقیقت، زمین بار منفی دارد ولی اندازه‌ی این بار منفی به‌قدری زیاد است که دادن مقداری بار الکتریکی به آن یا گرفتن بار از آن در بار الکتریکی‌اش، تأثیرمحسوسی نخواهد داشت.

شکل ۲۷ــ۱ــ زمین درحکم پتانسیل صفر

تذکر: در اندازه‌گیری دما نقطه‌ای در حکم صفر مطلق درنظر گرفته می‌شود که در آن انرژی داخلی ماده به‌حداقل ممکن می‌رسد. برای پتانسیل الکتریکی هم صفر مطلق پتانسیل منظور می‌شود که آن پتانسیل نقاط واقع در بی‌نهایت است، و عملاً پتانسیل آنها در حداقل ممکن یا به‌طور نظری صفر است.

پتانسیل الکتریکی یک جسم باردار: معمولاً پتانسیل اجسام باردار را نسبت به زمین می‌سنجند. در این سنجش، پتانسیل زمین را بنا به قرارداد، صفر درنظر می‌گیرند. هنگامی که یک جسم باردار به وسیله‌ی یک رشته سیم به‌زمین متصل می‌شود، اگر الکترون‌ها از زمین به‌سوی جسم جریان یابند پتانسیل جسم مثبت است. برعکس، اگر دراین ارتباط الکتریکی، الکترون‌ها از جسم به‌زمین بروند پتانسیل جسم منفی است. بنابراین، پتانسیل اجسام باردار پس از اتصال به‌زمین صفرمی‌شود.

اندازه‌ی پتانسیل الکتریکی: پتانسیل الکتریکی یک جسم باردار که آن را با U نمایش می‌دهیم، بنا به تعریف عبارت است از کاری که باید انجام گیرد تا واحد بارالکتریکی مثبت از زمین به جسم انتقال یابد. واحد پتانسیل الکتریکی ولت است؛ بنابراین، اگر برای انتقال بار مثبت q کار W لازم باشد، پتانسیل جسم براساس رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

$$U = \frac{W}{q} \quad \frac{(\text{ژول})}{(\text{کولن})} \quad (\text{ولت})$$

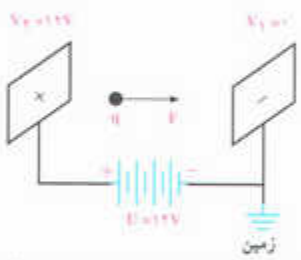
اختلاف پتانسیل بین دوجسم باردار: اختلاف پتانسیل بین دو جسم باردار که پتانسیل آن‌ها V_1 و V_2 است، بنابه تعریف عبارت است از انرژی‌ای که باید مصرف شود تا واحد بار الکتریکی مثبت از یک جسم به جسم دیگر انتقال یابد. اگر این اختلاف پتانسیل را نیز با U نمایش دهیم، بنابه این تعریف خواهیم داشت:

$$U = V_2 - V_1$$

مثلاً وقتی می‌گوییم اختلاف پتانسیل میان دو قطب یک باتری اتومبیل ۱۲ ولت است، یعنی برای انتقال واحد بارالکتریکی (یعنی یک کولن) از یک قطب به قطب دیگر ۱۲ ژول انرژی مصرف یا آزاد می‌شود. اگر قطب منفی این باتری را به زمین وصل کنیم، پتانسیل آن صفر و پتانسیل قطب مثبت ۱۲+ ولت می‌شود. برعکس، اگر قطب مثبت باتری را به زمین متصل کنیم، پتانسیل این قطب صفر و پتانسیل قطب منفی ۱۲− ولت می‌شود. بنابراین، اختلاف میان دو قطب در هر حال ۱۲ ولت و ثابت است.

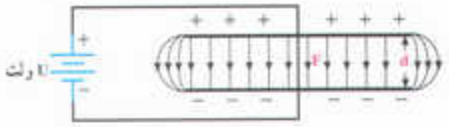
فرض می‌کنیم که دو قطب این باتری ۱۲ولتی را مطابق شکل ۲۸ـ۱ به دو صفحه‌ی فلزی V_1 و V_2 وصل کرده‌ایم. اگر صفحه‌ی V_1 را که دارای پتانسیل منفی است به زمین وصل کنیم، پتانسیل آن صفر می‌شود و پتانسیل صفحه‌ی V_2 همان ۱۲+ ولت باقی می‌ماند. اگر بخواهیم در این حالت بار منفی q− را از V_1 به V_2 انتقال دهیم، باید به اندازه‌ی $W = U.q$ انرژی مصرف کنیم. برعکس، اگر همین بارالکتریکی را از V_2 به V_1 برگردانیم، انرژی به مقدار $W = U.q$ آزاد خواهد شد.

در این مثال، اگر V_1 و V_2 با یک رشته سیم به هم متصل شوند، الکترون‌ها به‌سوی V_2 جریان می‌یابند و انرژی آزاد شده به گرما تبدیل می‌شود.



شکل ۲۸ـ۱ـ وقتی بار الکتریکی q از نقطه‌ای به نقطه‌ی دیگر که بین آن‌ها اختلاف پتانسیل U موجود است انتقال می‌یابد، انرژی U.q آزاد می‌شود.

میدان الکتریکی یک‌نواخت: در بسیاری از آزمایش‌هایی که به‌منظور بررسی ساختمان اتم انجام می‌گیرد، لازم است ذرات باردار را از یک میدان الکتریکی یک‌نواخت عبور دهند و رفتار آن‌ها را دراین میدان مشاهده کنند. میدان یک‌نواخت، میدانی است که شدت و جهت آن در حجم محدودی از فضا ثابت باشد. برای ایجاد چنین میدانی، می‌توانیم دو صفحه‌ی فلزی را که مطابق شکل ۲۹ـ۱ به‌طور موازی در مقابل یک‌دیگر قرار گرفته‌اند، به‌دو قطب یک باتری متصل کنیم. در این صورت، در فضای بین دو صفحه میدان الکتریکی یک‌نواختی ایجاد می‌شود ولی در فضای بیرون دو صفحه و در مجاورت لبه‌ی صفحه‌ها ــ همان‌طور که در شکل دیده می‌شود ــ میدان الکتریکی یک‌نواخت نیست.



شکل ۲۹ـ۱ـ میدان الکتریکی یک‌نواخت

فرض کنید می‌خواهیم بار مثبت q+ را از صفحه‌ی بالایی به صفحه‌ی پایینی منتقل کنیم. انرژی لازم برای انجام این کار، با حاصل‌ضرب نیرو در تغییر مکان برابر است؛ یعنی: $W = Fd$ برای به‌دست آوردن هم‌ارز الکتریکی این معادله، کافی است روابط $W = Uq$ و $F = qE$ را به‌کار ببریم. بنابراین، اگر در رابطه‌ی $W = Fd$ به‌جای W و F معادل آن‌ها را قرار دهیم، خواهیم داشت:

$$Uq = qE.d$$

$$\boxed{E = \frac{U}{d}}$$

در این رابطه، U اختلاف پتانسیل میان دو صفحه برحسب ولت و d فاصله‌ی دو صفحه برحسب متر و E شدت میدان برحسب $\frac{\text{ولت}}{\text{متر}}$ است. با توجه به واحد شدت میدان الکتریکی که قبلاً تعریف شد، خواهیم داشت:

$$۱\frac{\text{نیوتن}}{\text{کولن}} = ۱\frac{\text{ولت}}{\text{متر}}$$

مثال ۳: بین دو صفحه‌ی موازی که به‌فاصله‌ی ۲ سانتی‌متر از یک‌دیگر قرار دارند، اختلاف پتانسیل ۱۰۰۰ ولت برقرار شده است.

الف) شدت میدان الکتریکی بین دو صفحه را حساب کنید.

ب) اگر یک پروتون با بار مثبت $۱/۶۰۲\times۱۰^{-۱۹}\,C$ بین این دو صفحه قرار گیرد، چه نیرویی بر آن وارد می‌شود؟

ـ مقادیر داده شده عبارت‌اند از: $d = ۰/۰۲۰\,m$ و $U = ۱۰۰۰\,V$ و $q = ۱/۶۰۲\times۱۰^{-۱۹}\,C$.

الف)
$$E = \frac{U}{d} = \frac{۱۰۰۰}{۰/۰۲۰} = ۵۰۰۰۰\frac{V}{m} = ۵۰۰۰۰\frac{N}{C}$$

ب)
$$F = Eq = ۵۰۰۰۰\times۱/۶۰۲\times۱۰^{-۱۹} = ۸/۰۱\times۱۰^{-۱۵}\,N$$

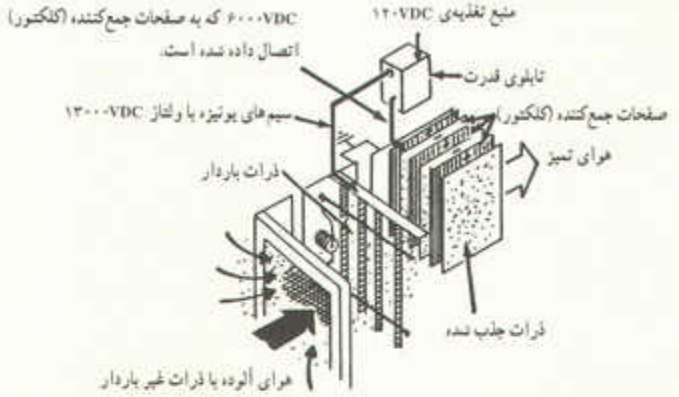
۱۵ـ۱ـ کاربرد الکتریسیته‌ی ساکن

تاکنون تنها درمورد چگونگی خنثا کردن الکتریسیته‌ی ساکن سخن گفته‌ایم. اما الکتریسیته‌ی ساکن کاربردهای فراوانی نیز دارد؛ مثلاً درماشین‌های چاپ الکترواستاتیکی (مثلاً زیراکس) نقش اصلی را بازی می‌کند و سبب می‌شود ذرات پودر مرکب در نقاط معینی به‌کاغذ سفید جذب شوند. یا برای رنگ‌آمیزی یک‌نواخت از دستگاه رنگ‌پاش الکترواستاتیک استفاده می‌شود. از دیگر کاربردهای الکتریسیته‌ی ساکن می‌توان به غبارگیرها و نیز ولت‌مترهای الکترواستاتیکی اشاره کرد.

فعالیت‌های آزاد

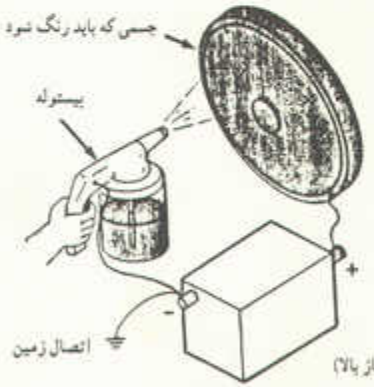
حال به شرح بعضی از دستگاه‌هایی که با الکتریسیته‌ی ساکن کار می‌کنند، می‌پردازیم.

۱ـ دستگاه غبارگیر الکترواستاتیکی: این دستگاه به‌کمک الکتریسیته‌ی ساکن ذرات پراکنده در فضا را جذب می‌کند و بدین‌ترتیب هوا تمیز می‌شود. همان‌طور که در شکل ۳۰ـ۱ مشاهده می‌کنید، در غبارگیرهای الکترواستاتیکی هوای آلوده از میان یک میدان الکتریکی قوی عبور می‌کند و ذرات غبار موجود در آن در اثر برخورد و تماس با صفحات منفی دارای بار منفی می‌شوند. وقتی این ذرات باردار از میدان الکتریکی دیگری عبور داده شوند، ذرات غبار که بار منفی گرفته‌اند جذب صفحه‌ی مثبت می‌شوند و هوای تمیز از دستگاه خارج می‌گردد. این دستگاه برق شهر را به ۱۳۰۰۰ ولت و ۶۰۰۰ ولت جریان مستقیم تبدیل می‌کند. این ولتاژ DC توسط سیم‌های رابط به صفحات دو میدان الکتریکی اعمال می‌شود.



شکل ۳۰ـ۱ـ ساختمان غبارگیر الکترواستاتیک

۲ـ دستگاه رنگ پاش الکترواستاتیکی: رنگ‌آمیزی کاملاً یک‌نواخت سطح بعضی اجسام بسیار مشکل است اما این مشکل با استفاده ازالکتریسیته‌ی ساکن حل می‌شود. جسمی را که قرار است رنگ شود، به پتانسیل قسمت بالایی وصل می‌کنند و ذرات رنگ در دستگاه بار منفی می‌گیرد. سپس این ذرات را با رنگ‌پاش به جسم می‌پاشند و سطح آن را به‌طور کاملاً یک‌نواخت می‌پوشانند. در شکل ۳۱ـ۱ دستگاه رنگ‌پاش الکترواستاتیکی را می‌بینید.



شکل ۳۱ـ۱ـ دستگاه رنگ‌پاش الکترواستاتیکی

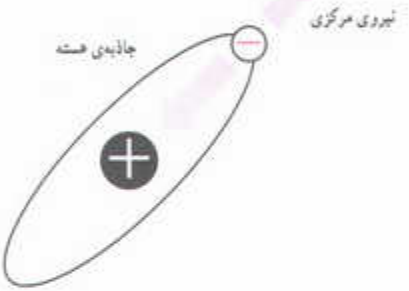
ولت‌متر الکترواستاتیکی وسیله‌ی دیگری برای اندازه‌گیری الکتریسیته‌ی ساکن است. این دستگاه براساس نیروی جاذبه‌ی موجود بین یک صفحه‌ی فلزی متحرک و یک صفحه‌ی ثابت که هردو باردار می‌شوند، طراحی شده است. برای این‌که عقربه‌هایی که به صفحات متصل شده‌اند متحرف باقی بمانند، از مدار جریان عبور نمی‌کند؛ چرا که صفحه‌ی ثابت نسبت به صفحه‌ی متحرک عایق شده است. این ولت‌مترها برای اندازه‌گیری الکتریسیته‌ی ساکن بین ۱۰۰ تا ۵۰۰۰ ولت ساخته شده است.

۱۶ــ۱ــ نظریه‌ی الکترونی

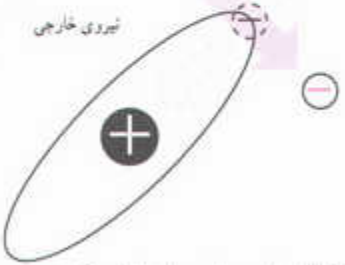
همان‌طور که گفتیم، الکتریسیته هنگامی به‌وجود می‌آید که الکترون‌ها از اتمشان خارج شوند. برای این‌که بدانیم الکترون‌ها چگونه اتم‌هایشان را ترک می‌کنند، لازم است درباره‌ی ماهیت مدارهای الکترونی دورهسته‌ی اتم بیش‌تر بدانیم.

طبق شکل ۳۲ــ۱ الکترون‌ها با سرعت بسیار زیادی درمدارخود به‌دور هسته‌ی اتم گردش می‌کنند. چون سرعت الکترون‌ها زیاد است، نیروی گریز از مرکز زیادشان، آن‌ها را به‌ترک مدارشان وا می‌دارد ولی نیروی جاذبه‌ی مثبت هسته از این عمل جلوگیری می‌کند.

طبق شکل ۳۳ــ۱ اگر یک نیروی خارجی خیلی قوی به‌اتم داده شود تا به این نیروی گریز از مرکز کمک کند، الکترون آزاد می‌شود.



شکل ۳۲ــ۱ــ تعادل الکترون در مدار به‌علت تعادل نیروی جاذبه‌ی هسته و نیروی گریز از مرکز است.



شکل ۳۳ــ۱ــ نیروی خارجی باعث آزادی الکترون می‌شود.

لایه‌ها: الکترون‌های مدار نزدیک به هسته به سختی آزاد می‌شوند؛ زیرا به نیروی مثبت نگاه‌دارنده‌ی خود بسیار نزدیک‌اند. هرچه الکترون‌ها از هسته دورتر باشند، شدت این نیروی مثبت کم‌تر می‌شود. هرچه تعداد الکترون‌های یک اتم بیش‌تر باشد، مدارهای بیش‌تری وجود دارند. مسیر مداری الکترون‌ها را معمولاً لایه (shell) می‌گویند.

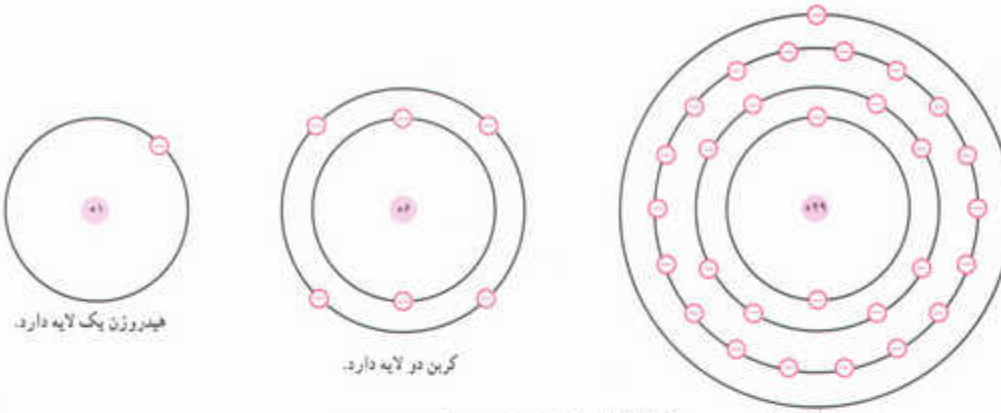
اتم‌های تمام عناصر شناخته شده می‌توانند تاهفت لایه داشته باشند. در شکل ۳۴ـ۱ لایه‌های عناصر مس، کربن و هیدروژن را می‌بینید.

در جدول ۲ـ۱، ۱۰۳ عنصر همراه با تعداد الکترون‌های هر لایه برای هر اتم آمده است.

دانلود کننده ی آزاد

جدول ۲ـ۱ـ عناصر و تعداد الکترون‌های هر لایه

لایه‌های الکترون																			
تعداد الکترون‌ها در هر لایه										تعداد الکترون‌ها در هر لایه									
عدد اتمی	عنصر	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷		عدد اتمی	عنصر	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	
۱	Hydrogen, H	۱								۵۳	Iodine, I	۲	۸	۱۸	۱۸	۷			
۲	Helium, He	۲								۵۴	Xenon, Xe	۲	۸	۱۸	۱۸	۸			
۳	Lithium, Li	۲	۱							۵۵	Cesium, Cs	۲	۸	۱۸	۱۸	۸	۱		
۴	Beryllium, Be	۲	۲							۵۶	Barium, Ba	۲	۸	۱۸	۱۸	۸	۲		
۵	Boron, B	۲	۳							۵۷	Lanthanum, La	۲	۸	۱۸	۱۸	۹	۲		
۶	Carbon, C	۲	۴							۵۸	Cerium, Ce	۲	۸	۱۸	۱۹	۹	۲		
۷	Nitrogen, N	۲	۵							۵۹	Praseodymium, Pr	۲	۸	۱۸	۲۰	۹	۲		
۸	Oxygen, O	۲	۶							۶۰	Neodymium, Nd	۲	۸	۱۸	۲۱	۹	۲		
۹	Fluorine, F	۲	۷							۶۱	Promethium, Pm	۲	۸	۱۸	۲۲	۹	۲		
۱۰	Neon, Ne	۲	۸							۶۲	Samarium, Sm	۲	۸	۱۸	۲۴	۹	۲		
۱۱	Sodium, Na	۲	۸	۱						۶۳	Europium, Eu	۲	۸	۱۸	۲۵	۹	۲		
۱۲	Magnesium, Mg	۲	۸	۲						۶۴	Gadolinium, Gd	۲	۸	۱۸	۲۵	۹	۲		
۱۳	Aluminum, Al	۲	۸	۳						۶۵	Terbium, Tb	۲	۸	۱۸	۲۷	۹	۲		
۱۴	Silicon, Si	۲	۸	۴						۶۶	Dysprosium, Dy	۲	۸	۱۸	۲۸	۹	۲		
۱۵	Phosphorus, P	۲	۸	۵						۶۷	Holmium, Ho	۲	۸	۱۸	۲۹	۹	۲		
۱۶	Sulfur, S	۲	۸	۶						۶۸	Erbium, Er	۲	۸	۱۸	۳۰	۹	۲		
۱۷	Chlorine, Cl	۲	۸	۷						۶۹	Thulium, Tm	۲	۸	۱۸	۳۱	۹	۲		
۱۸	Argon, A	۲	۸	۸						۷۰	Ytterbium, Yb	۲	۸	۱۸	۳۲	۹	۲		
۱۹	Potassium, K	۲	۸	۸	۱					۷۱	Lutetium, Lu	۲	۸	۱۸	۳۲	۹	۲		
۲۰	Calcium, Ca	۲	۸	۸	۲					۷۲	Hafnium, Hf	۲	۸	۱۸	۳۲	۱۰	۲		
۲۱	Scandium, Sc	۲	۸	۹	۲					۷۳	Tantalum, Ta	۲	۸	۱۸	۳۲	۱۱	۲		
۲۲	Titanium, Ti	۲	۸	۱۰	۲					۷۴	Tungsten, W	۲	۸	۱۸	۳۲	۱۲	۲		
۲۳	Vanadium, V	۲	۸	۱۱	۲					۷۵	Rhenium, Re	۲	۸	۱۸	۳۲	۱۳	۲		
۲۴	Chromium, Cr	۲	۸	۱۳	۱					۷۶	Osmium, Os	۲	۸	۱۸	۳۲	۱۴	۲		
۲۵	Manganese, Mn	۲	۸	۱۳	۲					۷۷	Iridium, Ir	۲	۸	۱۸	۳۲	۱۵	۲		
۲۶	Iron, Fe	۲	۸	۱۴	۲					۷۸	Platinum, Pt	۲	۸	۱۸	۳۲	۱۶	۱		
۲۷	Cobalt, Co	۲	۸	۱۵	۲					۷۹	Gold, Au	۲	۸	۱۸	۳۲	۱۸	۱		
۲۸	Nickel, Ni	۲	۸	۱۶	۲					۸۰	Mercury, Hg	۲	۸	۱۸	۳۲	۱۸	۲		
۲۹	Copper, Cu	۲	۸	۱۸	۱					۸۱	Thallium, Tl	۲	۸	۱۸	۳۲	۱۸	۳		
۳۰	Zinc, Zn	۲	۸	۱۸	۲					۸۲	Lead, Pb	۲	۸	۱۸	۳۲	۱۸	۴		
۳۱	Gallium, Ga	۲	۸	۱۸	۳					۸۳	Bismuth, Bi	۲	۸	۱۸	۳۲	۱۸	۵		
۳۲	Germanium, Ge	۲	۸	۱۸	۴					۸۴	Polonium, Po	۲	۸	۱۸	۳۲	۱۸	۶		
۳۳	Arsenic, As	۲	۸	۱۸	۵					۸۵	Astatine, At	۲	۸	۱۸	۳۲	۱۸	۷		
۳۴	Selenium, Se	۲	۸	۱۸	۶					۸۶	Radon, Rn	۲	۸	۱۸	۳۲	۱۸	۸		
۳۵	Bromine, Br	۲	۸	۱۸	۷					۸۷	Francium, Fr	۲	۸	۱۸	۳۲	۱۸	۸	۱	
۳۶	Krypton, Kr	۲	۸	۱۸	۸					۸۸	Radium, Ra	۲	۸	۱۸	۳۲	۱۸	۸	۲	
۳۷	Rubidium, Rb	۲	۸	۱۸	۸	۱				۸۹	Actinium, Ac	۲	۸	۱۸	۳۲	۱۸	۹	۲	
۳۸	Strontium, Sr	۲	۸	۱۸	۸	۲				۹۰	Thorium, Th	۲	۸	۱۸	۳۲	۱۸	۱۰	۲	
۳۹	Yttrium, Y	۲	۸	۱۸	۹	۲				۹۱	Protactinium, Pa	۲	۸	۱۸	۳۲	۲۰	۹	۲	
۴۰	Zirconium, Zr	۲	۸	۱۸	۱۰	۲				۹۲	Uranium, U	۲	۸	۱۸	۳۲	۲۱	۹	۲	
۴۱	Niobium, Nb	۲	۸	۱۸	۱۲	۱				۹۳	Neptunium, Np	۲	۸	۱۸	۳۲	۲۲	۹	۲	
۴۲	Molybdenum, Mo	۲	۸	۱۸	۱۳	۱				۹۴	Plutonium, Pu	۲	۸	۱۸	۳۲	۲۴	۸	۲	
۴۳	Technetium, Tc	۲	۸	۱۸	۱۳	۲				۹۵	Americium, Am	۲	۸	۱۸	۳۲	۲۵	۸	۲	
۴۴	Ruthenium, Ru	۲	۸	۱۸	۱۵	۱				۹۶	Curium, Cm	۲	۸	۱۸	۳۲	۲۵	۹	۲	
۴۵	Rhodium, Rh	۲	۸	۱۸	۱۶	۱				۹۷	Berkelium, Bk	۲	۸	۱۸	۳۲	۲۷	۹	۲	
۴۶	Palladium, Pd	۲	۸	۱۸	۱۸	-				۹۸	Californium, Cf	۲	۸	۱۸	۳۲	۲۸	۹	۲	
۴۷	Silver, Ag	۲	۸	۱۸	۱۸	۱				۹۹	Einsteinium, E	۲	۸	۱۸	۳۲	۲۹	۹	۲	
۴۸	Cadmium, Cd	۲	۸	۱۸	۱۸	۲				۱۰۰	Fermium, Fm	۲	۸	۱۸	۳۲	۳۰	۹	۲	
۴۹	Indium, In	۲	۸	۱۸	۱۸	۳				۱۰۱	Mendelevium, Mv	۲	۸	۱۸	۳۲	۳۱	۹	۲	
۵۰	Tin, Sn	۲	۸	۱۸	۱۸	۴				۱۰۲	Nobelium, No	۲	۸	۱۸	۳۲	۳۲	۹	۲	
۵۱	Antimony, Sb	۲	۸	۱۸	۱۸	۵				۱۰۳	Lawrencium, Lw	۲	۸	۱۸	۳۲	۳۲	۹	۳	
۵۲	Tellurium, Te	۲	۸	۱۸	۱۸	۶													

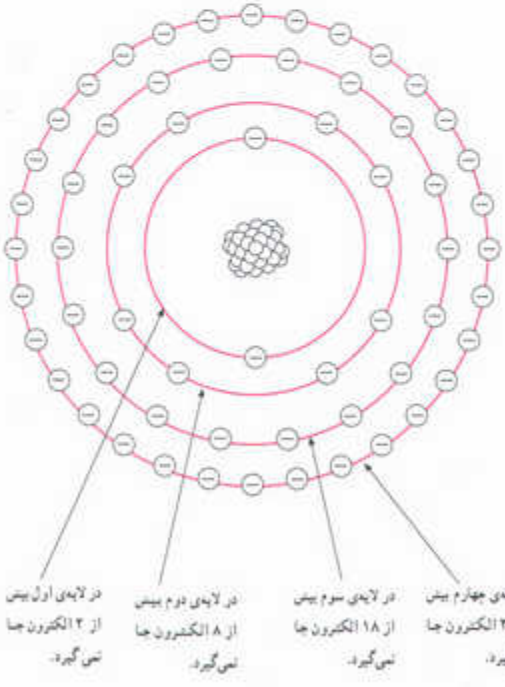


شکل ۳۴ــ۱ــ لایه‌های عناصر مس و کربن و هیدروژن

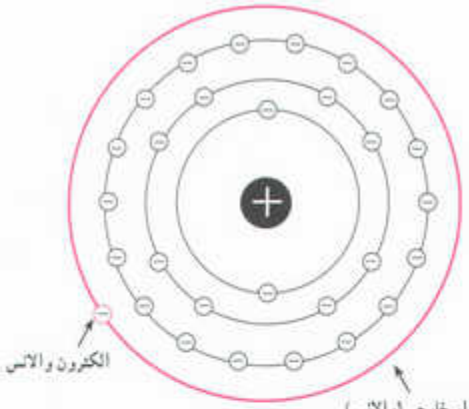
ظرفیت لایه: اگر جدول ۲ــ۱ را مطالعه کنید، خواهید دید که هر لایه می‌تواند تعداد معینی الکترون را درخود جای دهد. نزدیک‌ترین لایه به هسته (لایه‌ی اول) نمی‌تواند بیش از دو الکترون داشته باشد. لایه‌ی دوم نمی‌تواند بیش‌تر از ۸ الکترون و لایه‌ی سوم بیش‌تر از ۱۸ الکترون داشته باشد. لایه‌ی چهارم نیز نمی‌تواند بیش‌تر از ۳۲ الکترون داشته باشد و الی آخر. تعداد الکترون‌های هر لایه را می‌توان از رابطه‌ی $2n^2$ به‌دست آورد که در آن n شماره‌ی لایه است.

حال اگر دوباره به جدول توجه کنید، خواهید دید که تا عدد اتمی ۱۰، لایه‌ی دوم با ۸ الکترون کامل می‌شود. چون این آخرین حد برای لایه‌ی دوم است، باید لایه سوم شروع شود. از عدد اتمی ۱۱ تا ۱۸، لایه‌ی سوم با ۸ الکترون پر می‌شود و پس از آن لایه‌ی چهارم آغاز می‌گردد.

لایه‌ی خارجی (طبقه‌ی والانس): همان‌طور که در جدول ۲ــ۱ مشاهده می‌کنید، اگرچه لایه‌ی سوم می‌تواند تا ۱۸ الکترون داشته باشد ولی قبل از این‌که لایه‌ی چهارم شروع شود، هرگز بیش‌تر از ۸ الکترون قبول نمی‌کند. این مسئله در مورد لایه‌ی چهارم نیز درست است. بدین‌ترتیب که با وجود این‌که می‌تواند تا ۳۲ الکترون داشته باشد، قبل از شروع لایه‌ی پنجم بیش‌تر از ۸ الکترون نمی‌پذیرد. این مسئله یک قانون کلی دیگر را نشان می‌دهد و آن، این است که لایه‌ی خارجی هر اتمی نمی‌تواند بیش‌تر از ۸ الکترون داشته باشد. لایه‌ی خارجی یک اتم **لایه‌ی والانس** و الکترون‌های آن الکترون‌های والانس نام دارند. چنان‌که در آینده خواهید دید، تعداد الکترون‌های لایه‌ی والانس یک اتم در الکتریسیته مهم است.

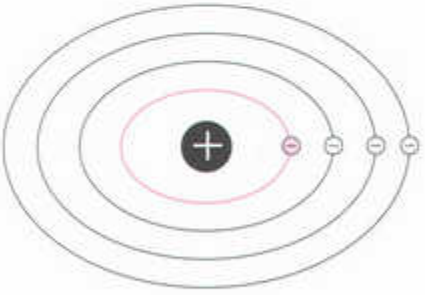


شکل ۳۵ــ۱



شکل ۳۶ـ۱ـ لایه‌ی والانس و الکترون‌های والانس

انرژی الکترون: اگرچه بار منفی همه‌ی الکترون‌ها یکسان است ولی همه‌ی آن‌ها انرژی یکسانی ندارند. الکترون‌هایی که در مدار به هسته نزدیک‌اند، نسبت به الکترون‌های مدارهای دورتر انرژی کم‌تری دارند. هرچه مدار یک الکترون از هسته دورتر باشد، انرژی آن بیش‌تراست.



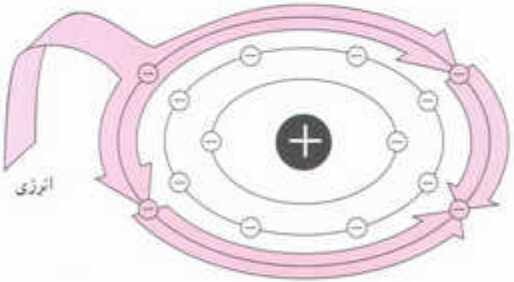
شکل ۳۷ـ۱ـ انرژی الکترون

اگر به یک الکترون انرژی کافی داده شود، می‌تواند از مدار خود خارج گردد و به مدار بالاتری (بعدی) برود. پس اگر به الکترون والانس انرژی کافی داده شود، آن نیز از مدار خود خارج می‌گردد و چون مدار بالاتری وجود ندارد، از اتم جدا می‌شود و به‌صورت الکترون آزاد درمی‌آید.

شکل ۳۸ـ ۱ـ خارج شدن الکترون لایه‌ی والانس بر اثر اعمال انرژی خارجی

۱۷ـ۱ـ تولید الکتریسیته

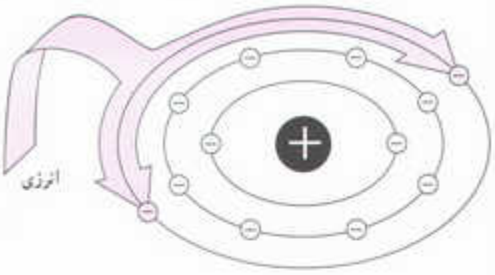
در اثر آزاد شدن الکترون‌ها از اتمشان، الکتریسیته به‌وجود می‌آید. چون الکترون‌های والانس بیش‌از سایر الکترون‌ها از هسته دورند، و هم‌چنین بالاترین سطح انرژی رادارند، به آسانی آزاد می‌شوند. انرژی داده شده به لایه‌ی والانس بین الکترون‌های آن لایه تقسیم می‌شود. درنتیجه، به ازای مقدار معینی انرژی، هرچه الکترون‌های والانس موجود بیش‌تر باشد هر الکترون انرژی



شکل ۳۹ـ۱ـ تقسیم انرژی خارجی به چهار الکترون والانس

کم‌تری دریافت می‌کند.

اگر در اتمی تعداد الکترون‌های والانس کم‌تر باشد، اتم هر الکترون مقدار بیش‌تری انرژی دریافت خواهد کرد و به‌راحتی از مدار خود خارج خواهد شد.



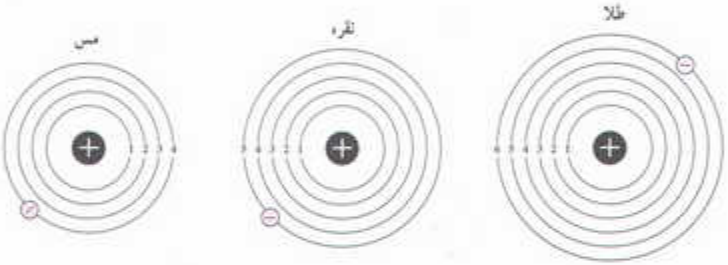
شکل ۴۰ـ۱ـ انرژی وارد شده بین دو الکترون تقسیم می‌شود.

۱۸ـ۱ـ هادی‌ها

لایه‌ی والانس می‌تواند تا ۸ الکترون والانس داشته باشد.

چون انرژی اعمال شده بین الکترون‌های والانس تقسیم می‌شود، اتم‌هایی که الکترون‌های والانس کم‌تری دارند به‌راحتی می‌توانند الکترون‌های خود را آزاد کنند. به این دلیل که هر الکترون انرژی بیش‌تری برای خارج شدن از مدار خود دریافت می‌کند. به‌ماده‌ای که الکترون‌هایش به‌راحتی می‌توانند آزاد شوند، **هادی** می‌گویند. اتم‌های هادی‌های خوب فقط ۱ یا ۲ الکترون والانس دارند. اجسامی که اتم‌هایشان فقط یک الکترون والانس دارند، بهترین هادی‌ها محسوب می‌شوند.

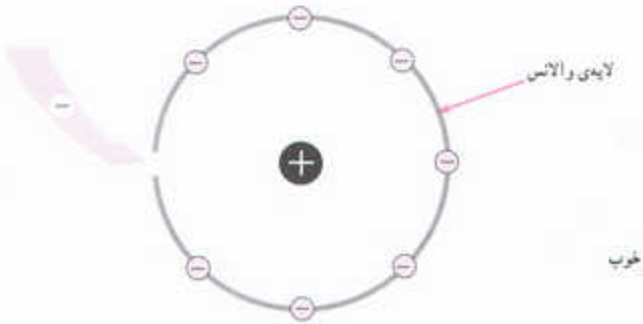
با نگاه کردن به جدول اتمی ۲ـ۱، می‌توانید هادی‌های خوب را تعیین کنید. همه‌ی آن‌ها یک الکترون والانس دارند. فلزاتی که اغلب شما با آن‌ها آشنا هستید، عبارت‌اند از : مس (عدد اتمی ۲۹)، نقره (عدد اتمی ۴۷) و طلا (عدد اتمی ۷۹).



شکل ۴۱ـ۱ـ الکترون‌های والانس هادی‌های خوب

۱۹ـ۱ـ عایق‌ها

عایق‌ها موادی هستند که آزاد کردن الکترون‌های مدار آخر آن‌ها بسیار مشکل است. لایه‌های والانس اتم‌های عایق، معمولاً ۸ الکترون دارند یا با حداقل بیش از ۴ الکترون (که نصف ۸ است) پرشده‌اند. انرژی داده شده به چنین اتمی بین تعداد زیادی از الکترون‌ها تقسیم می‌شود. علاوه‌براین، مانع دیگری برای آزاد شدن این الکترون‌ها وجود دارد و آن **پایداری شیمیایی** است.



شکل ۴۲ـ۱ـ عایق خوب

هر اتمی که آخرین لایه‌ی الکترونی‌اش ۸ الکترون والانس داشته باشد، کاملاً پایدار است. اتم پایدار در حقیقت با هیچ اتم دیگری برای ترکیب شرکت نمی‌کند.

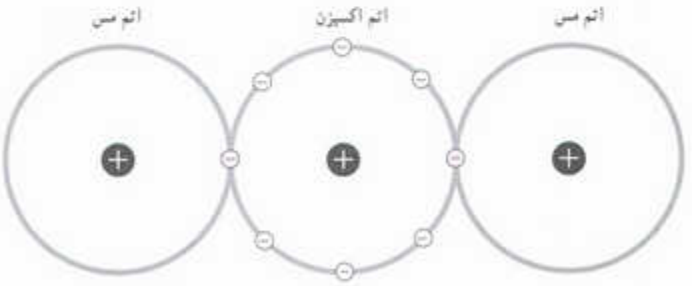
شش عنصر طبیعی پایدار وجود دارد : هلیم، نئون، آرگون، کریپتون، گزنون، رادن که آن‌ها را **گازهای بی‌اثر** می‌نامند.

همه‌ی اتم‌هایی که کم‌تر از ۸ الکترون والانس دارند، سعی می‌کنند که به حالت پایدار برسند. اتم‌هایی که کم‌تراز نیمه پر شده‌اند (هادی‌ها)، سعی در از دست دادن الکترون‌هایشان دارند تا طبقه‌ی ناپایدارشان را تخلیه کنند ولی آن‌هایی که بیش‌تر از نیمه پر شده‌اند (عایق‌ها)، سعی در جمع‌آوری الکترون دارند تا طبقه‌ی والانسشان را پر کنند. در نتیجه، نه تنها آزاد کردن الکترون‌هایشان مشکل است بلکه اتم‌های عایق با تمایل برای گرفتن الکترون‌هایی که آزاد شده‌اند، از تولید الکتریسیته جلوگیری می‌کنند. اتم‌هایی که ۷ الکترون والانس دارند، اغلب فعالانه می‌کوشند که لایه‌ی آخرشان را پر کنند. آن‌ها عایق‌های الکتریکی بسیار خوبی به‌شمار می‌روند.

ترکیبات شیمیایی به‌عنوان عایق: تمایل اتم‌ها به پایدارشدن، عامل اصلی در تعیین چگونگی ترکیب اتم‌های عناصر برای تشکیل مولکول یک ترکیب است. تمایل اتم‌ها برای ترکیب چنان است که مولکولی با ۸ الکترون والانس تشکیل دهند. آب را درنظر بگیرید : فرمول آن H_2O است : یعنی، دو اتم هیدروژن و یک اتم اکسیژن در مولکول آب وجود دارد. اگر به عناصر ۱ و ۸ در جدول ۲ـ۱ توجه کنید، خواهید دید که هریک از دو اتم هیدروژن یک الکترون والانس و اتم اکسیژن ۶ الکترون والانس دارد که بر روی‌هم ۸ الکترون والانس را به‌وجود می‌آورند. هر اتم هیدروژن، الکترون والانس خود را با اتم اکسیژن به اشتراک می‌گذارد. این الکترون‌های مشترک اتم‌ها را به‌یک‌دیگر پیوند می‌دهند تا یک مولکول H_2O به‌وجود آورند. به این نوع پیوند، **پیوند کووالانس** می‌گویند. آب خالص یک عایق خوب است. در دیگر ترکیبات، مانند کلرید سدیم NaCl یک اتم، یک الکترونش را ازدست می‌دهد تا به یک یون مثبت تبدیل شود و دیگری آن الکترون را می‌گیرد تا یک یون منفی شود. این دو یون از راه جذب به یک‌دیگر پیوند می‌یابند. به‌این نوع پیوند، یونی یا پیوندالکتروالانس می‌گویند. کل مولکول ۸ الکترون والانس دارد و درنتیجه پایدار است.

دو اتم در حال ترکیب تمایل زیادی به رسیدن به‌حالت پایدار دارند. به‌همین دلیل، اغلب ترکیبات مانند شیشه، چوب، کائوچو، پلاستیک و میکا عایق‌های بسیار خوبی هستند. به‌خاطر داشته باشید که هیچ جسمی کاملاً عایق نیست و آزاد کردن الکترون از چنین اجسامی بسیار مشکل است.

مس هادی بسیار خوبی است : زیرا یک الکترون والانس دارد ولی هنگامی که دو اتم مس با یک اتم اکسیژن ترکیب می‌شوند، یک مولکول دی‌اکسید مس Cu_2O ایجاد می‌شود. در این‌حالت، ۸ الکترون والانس برای کامل و پایدارکردن مولکول وجود دارد. اکسید مس عایق خوبی است.



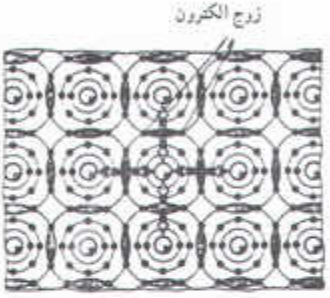
شکل ۲۳ـ۱ـ مولکول اکسید مس

۲۰ــ۱ــ نیمه هادی‌ها

لایه‌های والانس هادی‌ها کم‌تر از نیمه‌پر و لایه‌های والانس عایق‌ها بیشتر از نیمه پر است. به‌عناصری که اتم‌های آن ۴ الکترون والانس دارند، نیمه‌هادی می‌گویند. مهم‌ترین نیمه‌هادی‌ها عبارت‌اند از : ژرمانیم، سیلیکون (سیلیسیم)، سلنیم و اکسید مس یک‌ظرفیتی.

اتم سیلیکون از یک هسته تشکیل شده است که ۱۰ الکترون در لایه‌های داخلی و ۴ الکترون والانس آن را احاطه کرده‌اند. اگر ژرمانیم یا سیلیکون خالص را ذوب و در شرایط مساعدی سرد و منجمد کنیم، کریستالی تشکیل می‌شود که در آن هر اتم به‌وسیله‌ی ۴ الکترون لایه‌ی والانس خود به ۴ اتم دیگر مربوط شده است. در شکل ۴۴ــ۱ ساختمان ساده‌ی کریستالی و اتصال اتم‌ها را به‌وسیله‌ی الکترون‌های والانس به یک‌دیگر می‌بینید.

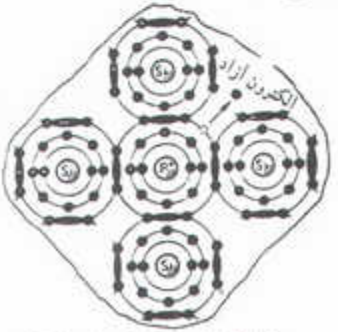
ساختمان کریستالی سیلیکون



زوج الکترون در پیوند کریستال سیلیکون

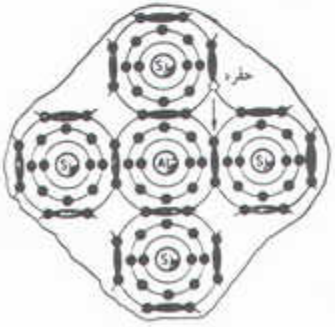
شکل ۴۴ــ۱

اگر مقدار کمی عنصر پنج‌ظرفیتی را که دارای ۵ الکترون والانس است به سیلیکون خالص مذاب اضافه کنیم، پس از سرد شدن کریستالی به‌وجود می‌آید که فقط ۴ الکترون آن در ساختمان کریستال شرکت کرده‌اند. یکی از الکترون‌ها اضافی است و در دمای اتاق می‌تواند در داخل کریستال جابه‌جا شود و کریستال را هادی کند. چنین کریستالی را **نیمه‌هادی نوع N** می‌نامند ؛ زیرا بارهای متحرک در آن (الکترون‌ها) منفی هستند. در شکل ۴۵ــ۱ نیمه‌هادی نوع N را مشاهده می‌کنید.



شکل ۴۵ــ۱ــ ساختمان نیمه‌هادی نوع N

در صورتی که عنصری ۳ ظرفیتی (مانند ایندیم) را به کریستال ۴ ظرفیتی اضافه کنیم، محل خالی این الکترون را **حفره** می‌نامند. در دمای اتاق بعضی از اتم‌ها با آزاد کردن الکترون، حفره‌ی مجاور خود را پر می‌کنند ولی حفره‌ی جدیدی در آن‌ها به‌وجود می‌آید ؛ بنابراین، کریستال هادی می‌شود. چنین کریستالی را **نیمه‌هادی نوع P** می‌نامند. در شکل ۴۶ــ۱ نیمه‌هادی نوع P را می‌بینید.



شکل ۴۶ــ۱ــ ساختمان نیمه‌هادی نوع P

در سال‌های بعد خواهید آموخت که از نیمه‌هادی‌های نوع N و P چگونه در ساخت دیودها و ترانزیستورها استفاده می‌شود.

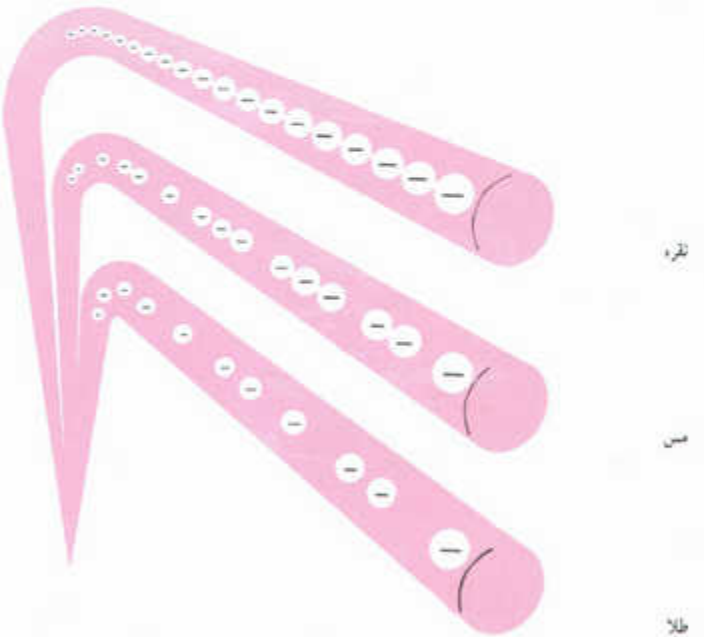
۲۱ــ۱ــ مقایسه‌ی هادی‌ها

قابلیت هدایت بعضی فلزات از سایر فلزات بهتراست. برای مثال، با آن‌که اتم‌های مس و نقره و طلا هریک فقط یک الکترون والانس دارند که به آسانی آزاد می‌شوند اما نقره بهترین هادی است و پس از آن مس و طلا قرار دارند. این بدان علت است که نقره در مقدار معینی ماده، نسبت به فلزات دیگر دارای اتم‌های بیش‌تری است و در نتیجه، قدرت آزادسازی الکترون‌های آزاد بیش‌تری را دارد.

۲۲ــ۱ــ مقایسه‌ی هادی‌ها، عایق‌ها و نیمه‌هادی‌ها

هادی‌ها اجسامی هستند که الکترون‌های لایه‌ی آخرشان به‌راحتی آزاد می‌شوند. بیش‌تر فلزاتی که هادی‌های الکتریکی خوبی هستند، الکترون‌های آزاد بیش‌تری دارند.

عایق‌ها مانند شیشه، کائوچو، پلاستیک، چوب، سرامیک و میکا الکترون‌هایی دارند که آزادسازی آن‌ها بسیارمشکل است. نیمه‌هادی‌ها الکترون‌های آزاد خیلی کمی دارند. نیمه‌هادی‌ها اجسامی هستند که الکترون‌های آزادشان بیش‌تر از عایق‌ها و کم‌تر از هادی‌هاست.



شکل ۴۷ــ۱ــ مقایسه‌ی هادی‌های خوب

شکل ۴۸ـ۱ـ مقایسه‌ی هادی‌ها و عایق‌ها و نیمه‌هادی‌ها

در شکل ۴۹ـ۱ ساختمان یک لامپ رشته‌ای و مواد عایق و هادی به‌کاررفته در آن را می‌بینید.

شکل ۴۹ـ۱ـ ساختمان لامپ

خلاصه‌ی مطالب

• الکترون بسیته از ذرات بسیار ریزی به نام الکترون و پروتون تولید می‌شود. • هر چیزی که وزن دارد و فضا اشغال می‌کند، **ماده** نام دارد. ماده ممکن است به یکی از سه حالت جامد، مایع و گاز باشد. • ۹۲ عنصر طبیعی وجود دارد و بقیه‌ی عناصر ساخته‌ی دست بشرند. از مخلوط کردن و ترکیب عناصر، ترکیبات به‌وجود می‌آیند که از نظر خواص کاملاً با عناصر تشکیل دهنده‌ی خود متفاوت‌اند.

• مولکول کوچک‌ترین ذره‌ی یک ترکیب است که خواص همان ترکیب را دارد. مولکول از دو یا چند اتم مشابه یا متفاوت تشکیل می‌شود.

• اتم کوچک‌ترین ذره‌ی یک عنصر است که خواص آن عنصر را دارد. • اتم یک عنصر با اتم عناصر دیگر متفاوت است. فقط به این علت که تعداد ذرات ریزتر از اتمی که هریک از عناصر دارند، متفاوت است. سه نوع اصلی ذرات اتمی عبارت‌اند از: الکترون، پروتون و نوترون.

به قسمت مرکزی اتم **هسته** گفته می‌شود. تعداد پروتون‌های داخل هسته تفاوت بین عناصر را تعیین می‌کند. عناصر مختلف با عدد اتمی مشخص می‌شوند. به تعداد پروتون‌های داخل هسته **عدد اتمی** می‌گویند. پروتون بار مثبت دارد و ۱۸۴۰ برابر از الکترون سنگین‌تر است و در هسته‌ی اتم قرار دارد. جدا کردن آن از هسته بسیار مشکل است. • الکترون بار الکتریکی منفی دارد و ۱۸۴۰ بار از پروتون سبک‌تر است. در مدارهایی به دور هسته می‌چرخد و حرکت دادن آن بسیار آسان است. • نوترون از نظر الکتریکی خنثاست و در داخل هسته قرار دارد.

بار الکترواستاتیک منفی الکترون مساوی و مخالف بار مثبت پروتون است. • میدان‌های الکترواستاتیک به‌وسیله‌ی خطوط نیروی مربوط به بارها تولید می‌شوند. • بارهای همنام یک‌دیگر را دفع می‌کنند. پروتون (+) ، پروتون (+) دیگر را دفع می‌کند. الکترون (−) ، الکترون (−) دیگر را دفع می‌کند. بارهای غیرهمنام یک‌دیگر را جذب می‌کنند. پروتون (+)، الکترون (−) را جذب می‌کند.

اگر تعداد الکترون‌ها و پروتون‌های یک اتم مساوی باشند، آن اتم خنثاست. • اگر تعداد الکترون‌های یک اتم کم‌تر از پروتون‌هایش باشد، اتم بار مثبت دارد. • اگر تعداد الکترون‌های یک اتم بیش‌تر از پروتون‌هایش باشد، بار منفی دارد. • اتم‌هایی که بار مثبت یا منفی داشته باشند، **یون** نام دارند. اجسام را می‌توان از طریق اصطکاک، تماس یا القا باردار کرد. خنثا کردن جسم باردار از راه تماس دادن آن با جسمی که بار مخالف دارد، صورت می‌گیرد.

• در جسمی که به‌طور منفی باردار شده است ــ بنا به تعریف ــ جهت خطوط نیرو از بیرون به درون جسم است. خطوط نیرو بنا به قرارداد از یک جسم باردار مثبت خارج می‌شوند. • میدان‌های الکترواستاتیکی که به وسیله‌ی خطوط نیرو تولید شده‌اند، با هم جمع می‌شوند یا با یک‌دیگر مخالفت می‌کنند تا سرانجام جذب و دفع کنند. مقدار نیروی جاذبه یا دافعه بین دو بار به مقدار باری که هریک از دو جسم دارند و به فاصله‌ی آن‌ها از یک‌دیگر بستگی دارد. • قانون بارهای الکترواستاتیک (کولن) شدت نیروهای جاذبه و دافعه را بین دو جسم باردار مشخص می‌کند. این نیرو با حاصل‌ضرب دوبار نسبت مستقیم و با مربع فاصله‌ی بین آن دو نسبت معکوس دارد.

• الکترون‌ها با سرعت بسیار زیاد در مدارهایشان به دور هسته‌ی اتم‌ها می‌گردند. این سرعت زیاد، نیروی گریز از مرکز را که سعی در خارج کردن الکترون‌های والانس از مدارهایشان دارد، زیاد می‌کند. نیروی جاذبه‌ی مثبت هسته مانع از این عمل می‌شود. با اعمال نیروی خارجی زیاد می‌توان الکترون‌ها را از اتم آزاد کرد. • نیروی جاذبه‌ی

مثبت هسته بر روی الکترون های مدار نزدیک‌تر به هسته بیش‌تر و در نتیجه، آزادسازی آن‌ها مشکل‌تر است.

• الکترون‌ها در یکی از ۷ لایه (طبقه) گردش می‌کنند. • داخلی‌ترین لایه می‌تواند حداکثر ۲ الکترون داشته باشد. دومین لایه ۸، سومی ۱۸، چهارمی ۳۲ و ... الکترون می‌گیرند. • لایه‌ی خارجی یک اتم، لایه‌ی والانس است. • لایه‌ی والانس هرگز نمی‌تواند بیش‌تر از ۸ الکترون داشته باشد. • اتمی که لایه‌ی والانس آن کاملاً پر باشد، پایدار و از نظر شیمیایی غیر فعال است. • الکترون‌های مدارهای دورتر از هسته، انرژی بیش‌تری دارند. اگر به یک الکترون انرژی کافی داده شود، می‌تواند به مدار بعدی برود. اگر به یک الکترون والانس انرژی کافی داده شود، این الکترون آزاد می‌شود.

• عبور الکترون‌های آزاد شده جریان الکتریکی به‌وجود می‌آورد.

• هادی‌ها اجسامی هستند که یک یا دو الکترون والانس دارند و این الکترون‌ها به آسانی آزاد می‌شوند. • عایق‌ها اجسامی هستند که ۵ یا بیش‌تر الکترون والانس دارند و آزادسازی آن‌ها بسیار مشکل است. • نیمه‌هادی‌ها اجسامی هستند که الکترون‌های آزاد آن‌ها از عایق‌ها بیش‌تر و از هادی‌ها کم‌تر است. وجود ناخالصی در نیمه‌هادی‌ها قابلیت هدایتشان را بهتر می‌کند. • پیوند نیرویی است که اتم عناصر مختلف را کنار هم نگه می‌دارد تا ترکیب تولید کند. الکترون‌ها در ترکیبات شکل‌های هشت‌تایی پایدار به‌وجود می‌آورند.

پرسش

۱ــ چه ذراتی الکتریسیته تولید می‌کنند؟

۲ــ چند عنصر طبیعی وجود دارد؟

۳ــ عدد اتمی یک عنصر را تعریف کنید.

۴ــ پروتون بار ..... و الکترون بار ..... دارد.

۵ــ در هسته‌ی اتم چه ذراتی وجود دارند؟ در مدارها چه طور؟

۶ــ کوچک‌ترین ذره‌ای که خواص یک ترکیب را داراست، چه نام دارد؟ کوچک‌ترین ذره‌ای که خواص یک عنصر را داراست، چه نام دارد؟

۷ــ نمک یک عنصر است یا ترکیب؟ اکسیژن و آب چه‌طور؟

۸ــ پروتون سنگین‌تر است یا الکترون؟ چه مقدار؟

۹ــ کدام یک قطر بزرگ‌تری دارند؟ پروتون یا الکترون؟ چه مقدار؟

۱۰ــ بار الکتریکی نوترون چیست؟

۱۱ــ اگر یک الکترون در نزدیکی یک پروتون باشد، آیا پروتون، الکترون را جذب می‌کند یا دفع؟

۱۲ــ چرا پروتون‌های داخل هسته با نیروی کافی یک‌دیگر را دفع نمی‌کنند تا هسته منهدم شود؟

۱۳ــ آیا پروتون‌های داخل هسته نسبت به یک‌دیگر نیروی دافعه دارند؟

۱۴ــ بار یک جسم که تعداد الکترون‌هایش کم‌تر از پروتون‌هاست، چیست؟

۱۵ــ سه راه برای باردار کردن یک جسم را نام ببرید.

۱۶ــ اگر یک میله‌ی کائوچویی به یک تکه پشم مالش داده شود چه باری می‌گیرد؟ بار پشم چیست؟

۱۷ــ چگونه می‌توان یک جسم باردار را خنثا کرد؟

۱۸ــ آیا خطوط نیرو به یک الکترون وارد می‌شوند یا از آن خارج می‌گردند؟

۱۹ـ آیا نیروی دافعه‌ی بین دو الکترون با فاصله‌ی کم بیش‌تر است یا با فاصله‌ی زیاد؟ اگر فاصله‌ی بین یک پروتون و یک الکترون دو برابرشود، اندازه‌ی نیروی جاذبه در مقایسه با نیروی قبلی چه‌قدر است؟

۲۰ـ قانون کولن را شرح دهید.

۲۱ـ چگونه می‌توان یک میله‌ی فلزی را دراثر مالش باردار کرد؟

۲۲ـ چرا به عقب بدنه‌ی فلزی نفت‌کش‌ها زنجیر کوتاهی که با سطح زمین تماس دارد، آویزان می‌کنند؟

۲۳ـ چه عاملی مانع آزاد شدن الکترون براثر نیروی گریز از مرکز می‌شود؟

۲۴ـ لایه چیست و دور هر اتم چند لایه وجود دارد؟

۲۵ـ الکترون والانس چیست؟

۲۶ـ حداکثر تعداد الکترون‌های والانس در هر اتم چه‌قدراست؟

۲۷ـ الکترون آزاد چیست؟

۲۸ـ چرا ترکیبات عایق‌های خوبی هستند؟ دو نوع عایق خوب را نام ببرید.

۲۹ـ دو نیمه هادی و دو هادی را نام ببرید.

۳۰ـ خصوصیات نیمه‌هادی‌ها را بنویسید.

۳۱ـ چرا به ترکیبات، ناخالصی اضافه می‌کنند؟

۳۲ـ آیا عنصری که شش الکترون والانس دارد، هادی خوبی است؟ دو الکترون والانس چه‌طور؟

۳۳ـ ساختمان کریستالی عناصر نیمه هادی را توضیح دهید.

۳۴ـ ساختمان کریستال نیمه‌هادی نوع N و P را شرح دهید.

۳۵ـ شدت میدان الکتریکی را شرح دهید.

۳۶ـ اختلاف پتانسیل الکتریکی را تعریف کرده و واحد اندازه‌گیری آن‌را بیان کنید.

تمرین

۱ـ دو بار نقطه‌ای مثبت و مساوی، هریک برابر $۱۰^{-۴}$ کولن به فاصله‌ی دو متر از یک دیگر قرار دارند. نیروی بین آن‌ها چند نیوتن است؟

ج) ۲۲/۵N

۲ـ اندازه و نوع نیروی بین یک بار منفی ۵ میکروکولنی و یک بار مثبت ۲ میکروکولنی را که به فاصله‌ی ۹ سانتی‌متراز یک‌دیگر قرار دارند، تعیین کنید.

ج) ۱۱/۱۱N

۳ـ دو بار همنام وقتی به فاصله‌ی d از یک‌دیگر واقع شوند، نیروی معین F را به‌هم وارد می‌کنند.

الف) اگر فاصله‌ی دو بار را نصف، دوبرابر یا سه برابر کنیم، F به چه نسبتی تغییر خواهد کرد؟

ب) اگر در فاصله‌ی ثابت d اندازه‌ی یکی از بارهای الکتریکی را نصف یا دوبرابر یا سه برابر کنیم، F به چه نسبتی تغییر می‌کند؟

۴ـ بارمثبت ۵×۱۰^{-۷} کولنی وقتی در نقطه‌ای از یک میدان الکتریکی قرار گیرد، نیرویی برابر ۰/۰۲N بر آن وارد می‌شود. شدت میدان الکتریکی را در این نقطه حساب کنید.

ج) $E=۸\times۱۰^{۴}\ \frac{N}{C}$

۵ ــ شدت میدان الکتریکی در یک میدان یک‌نواخت (یعنی میدانی که شدت آن ثابت و خطوط نیروی آن موازی و هم‌جهت است) برابر $\frac{N}{C}$ ۱۰۰۰ است. اندازه‌ی نیروی وارد بر یک الکترون را وقتی که دراین میدان قرار می‌گیرد، حساب کنید. بارالکتریکی الکترون را $۱/۶\times۱۰^{-۱۹}$ بگیرید.

ج) $F=۱/۶\times۱۰^{-۱۶}N$

۶ ــ بار مثبتی معادل ۶×۱۰^{-۶} کولن در فاصله‌ی ۳۰ سانتی‌متر از یک بار منفی معادل ۳×۱۰^{-۴} کولن قرار دارد. نیروی بین این دو بار را حساب کنید و نوع آن را مشخص نمایید.

ج) $F=۱۸\times۱۰^{۲}N$ جاذبه

۷ــ اتم هیدروژن از یک پروتون و یک الکترون تشکیل شده، که فاصله‌ی آن‌ها از یک‌دیگر $۵/۳\times۱۰^{-۱۱}$ متر است. اگر بار الکتریکی یک الکترون یا یک پروتون را معادل $۱/۶\times۱۰^{-۱۹}$ بگیریم، جه نیروی الکترون و پروتون را در اتم هیدروژن به‌هم پیوند می‌دهد؟

ج) $F=۸۲\times۱۰^{-۹}N$

۸ ــ بار مثبت ۴ میکروکولنی نیروی دافعه‌ای برابر ۷/۲ نیوتن بر بار دیگری که در فاصله‌ی ۵ سانتی‌متری آن است وارد می‌کند. اندازه و علامت بار دوم را معین کنید.

ج) $q'=۰/۵\times۱۰^{-۶}C$ و مثبت

۹ــ بار الکتریکی q در میدان الکتریکی یک‌نواخت به شدت $۲۰\frac{N}{C}$ قرار گرفته و نیرویی برابر $۳\times۱۰^{-۴}N$ بر آن وارد شده است. مقدار بار q چند کولنی بوده است؟

ج) $q=۱/۵\times۱۰^{-۵}C$

۱۰ــ اگر یک الکترون که بارالکتریکی آن در حدود $e=۱/۶\times۱۰^{-۱۹}$ کولن است، از نقطه‌ی A به نقطه‌ی B که اختلاف پتانسیل میانی آن دو نقطه یک ولت است برود، کار حاصل از انتقال آن چند ژول است؟

ج) $W=۱/۶\times۱۰^{-۱۹}$ ژول

۱۱ــ بار الکتریکی معادل $-۴/۵\times۱۰^{-۷}$ کولن از یک نقطه به سطح یک کره‌ی فلزی کوچک که روی پایه‌ی عایقی قرار دارد، منتقل شده و در این انتقال $۱/۸\times۱۰^{-۳}$ ژول کار انجام گرفته است. پتانسیل سطح کره‌ی فلزی را حساب کنید.

ج) $U=۴۰۰V$

مالش
حرارت
نور
مغناطیس
فشار
مواد شیمیایی
الکتریسیته را به روش‌های مختلف می‌توان به‌دست آورد.
N
S

فصل دوم

آشنایی با روش‌های تولید الکتریسیته

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل، از دانش‌آموز انتظار می‌رود :

۱ــ روش‌های تولید الکتریسیته را نام ببرد.

۲ــ هریک از روش‌های تولید الکتریسیته را شرح دهد.

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

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

شکل ۱ــ۲ــ روش‌های تولید الکتریسیته

۱ـ۲ـ الکتریسیته‌ی حاصل از اصطکاک (مالش)

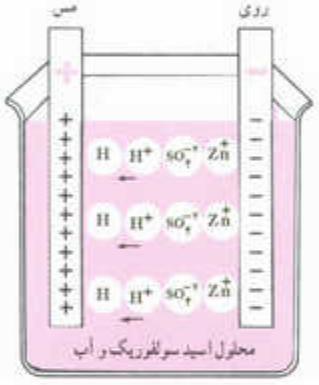
درباره‌ی این روش از فصل اول (الکتریسیته‌ی ساکن) مطالبی آموختید. هنگامی که دو جسم مانند ابریشم و میله‌ی شیشه‌ای یا کائوچویی را به پشم مالش دهیم، بار الکتریکی تولید می‌شود. به این بارها **الکتریسیته‌ی ساکن** می‌گویند. الکتریسیته‌ی ساکن هنگامی به‌وجود می‌آید که جسمی الکترون‌هایش را به جسم دیگر منتقل کند. البته چگونگی این انتقال هنوز به درستی معلوم نشده است ولی یک نظریه در این مورد چنین است که در سطح ماده، اتم‌هایی وجود دارند که برخلاف سایر اتم‌های ماده نمی‌توانند با اتم‌های دیگر درگیر شوند. درنتیجه، آن‌ها در سطح خارجی چند الکترون آزاد دارند و به همین دلیل عایق‌هایی مانند شیشه و کائوچو می‌توانند الکتریسیته‌ی ساکن را تولید کنند. براثر مالش، در اتم‌های سطح خارجی برای آزاد کردن الکترون‌ها انرژی حرارتی به‌وجود می‌آید که به آن **اثر تریبوالکتریک** (TRIBOELECTRIC) نیز می‌گویند.

پس از مالش دادن یک میله‌ی کائوچویی به پشم، آن‌ها دارای بار الکتریکی می‌شوند.

شکل ۲ـ۲ـ الکتریسیته‌ی مالشی (تریبوالکتریک)

۲ـ۲ـ الکتریسیته‌ی حاصل از فعل و انفعالات شیمیایی

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



شکل ۳ـ۲ـ ساختمان یک نوع باتری تر

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

۳ـ۲ـ الکتریسیته‌ی حاصل از فشار مکانیکی

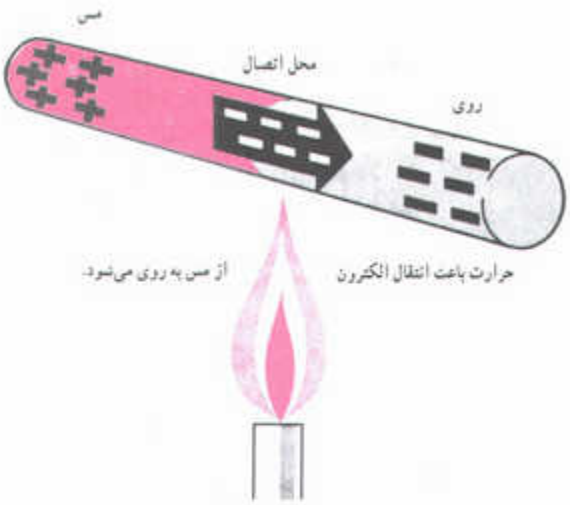
هنگامی که به بعضی اجسام فشار وارد می‌کنیم، الکترون‌های آن‌ها در جهت نیرو از مدار خارج می‌شوند. در نتیجه، الکترون‌ها یک طرف جسم را ترک می‌کنند و در طرف دیگر آن جمع می‌شوند. بنابراین، در دو جهت مخالف جسم بارهای مثبت و منفی به‌وجود می‌آیند. هنگامی که فشار قطع می‌شود، الکترون‌ها به مدارهای خود باز می‌گردند. اجسام را معمولاً به اشکال معینی می‌برند تا سطح باردار را کنترل کنند. بعضی از اجسام در مقابل فشارهای خمشی و بعضی دیگر در مقابل فشارهای چرخشی عکس‌العمل نشان می‌دهند.

به اثر فشار برای تولید بارهای الکتریکی، **اثر پیزوالکتریک** (PIEZOELECTRIC EFFECT) می‌گویند. پیزو یک کلمه‌ی یونانی به معنای فشار است. این اثر بیش‌تر در مورد کریستال‌ها (مانند نمک روچل) و بعضی سرامیک‌های مخصوص (مانند تیتانات باریم) خود را نشان می‌دهد. کریستالهای پیزوالکتریک در بعضی میکروفون‌ها و پیکاپ‌های گرام مورد استفاده قرار می‌گیرند.

شکل ۴ـ۲ـ اثر پیزوالکتریک

۴ـ۲ـ تولید الکتریسیته به‌وسیله‌ی حرارت

همان‌طور که می‌دانید، بعضی از اجسام الکترون از دست می‌دهند و بعضی دیگر الکترون جذب می‌کنند. در نتیجه بین دوجسم غیرمشابه هنگام اتصال، انتقال الکترون صورت می‌گیرد. فلزات فعال در درجه حرارت معمولی اتاق نیز می‌توانند الکترون آزاد کنند. برای مثال، اگر مس و روی را به یک دیگر متصل کنیم، الکترون‌ها از اتم مس خارج و به اتم روی وارد می‌شوند. درنتیجه، فلز روی الکترون‌های اضافی کسب می‌کند و به‌طور منفی باردار می‌شود و مس که الکترون‌های خود را از دست داده است، دارای بار مثبت می‌شود.



شکل ۵ـ۲ـ ترموالکتریک (الکتریسیته‌ی حرارتی)

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

۵ـ۲ـ الکتریسیته‌ی حاصل از نور

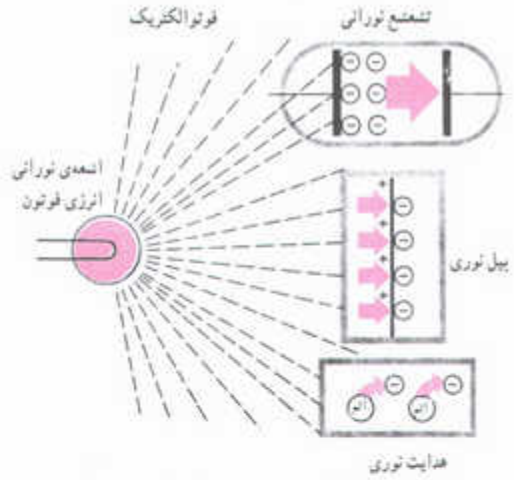
نور نوعی انرژی است که از ذرات حامل انرژی به نام فوتون به‌وجود می‌آید. هنگامی که فوتون‌های یک شعاع نوری با جسمی برخورد می‌کنند، انرژی خود را از دست می‌دهند. در بعضی اجسام، انرژی فوتون‌ها باعث آزادی الکترون‌ها می‌شود. اجسامی مانند پتاسیم، سدیم، سزیم، لیتیم، سلنیم، زرمانیم، کادمیم و سولفات سرب در مقابل نور الکترون از دست می‌دهند. از این اثر فوتوالکتریک به سه روش می‌توان استفاده کرد:

۱ـ تشعشع فوتوالکتریک ناشی از انرژی فوتون‌های یک شعاع نورانی باعث تخلیه‌ی الکترون‌های یک سطح در لامپ خلأ می‌شود. سپس یک صفحه[1] این الکترون‌ها را جمع می‌کند.

۲ـ فوتوولتیک[2]: انرژی نورانی تابیده شده به یکی از دو صفحه‌ی متصل به هم، باعث تخلیه‌ی الکترون از یکی به دیگری می‌شود. در نتیجه، مانند باتری در دو صفحه بارهای مخالف ایجاد می‌شود.

۳ـ هدایت نوری[3]: اگر به بعضی اجسام که هادی‌های خوبی نیستند انرژی نورانی بدهیم، الکترون‌های آزاد در جسم تولید می‌شوند و در نتیجه به هادی‌های بهتری تبدیل می‌گردند.

۱ـ PLATE ۲ـ PHOTO VOLTAIC ۳ـ PHOTO CONDUCTION

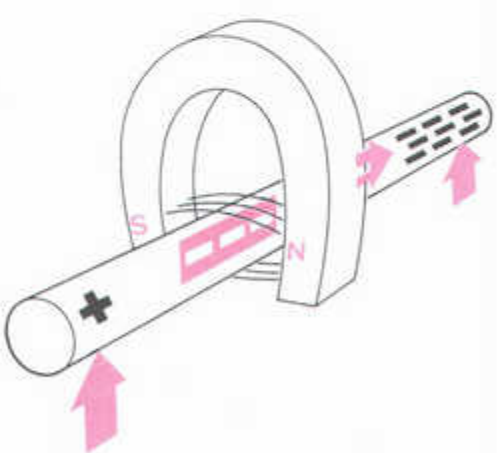


شکل ۶ــ۲ــ اثر فوتوالکتریک

۶ــ۲ــ الکتریسیته‌ی حاصل از مغناطیس

اغلب شما با آهن‌ربا آشنا هستید و حتّی با آن کار کرده‌اید. حتماً دیده‌اید که دو آهن‌ربا در حالتی یک‌دیگر را جذب و در حالتی یک‌دیگر را دفع می‌کنند. علت این امر آن است که میدان‌های حاصل از آهن‌رباها نیرویی دارند که بر یک‌دیگر اثر می‌کند. اگر یک سیم مسی را در میدان مغناطیسی حرکت دهیم، الکترون‌های داخل سیم آزاد می‌شوند و در سیم در یک جهت به‌حرکت درمی‌آیند.

از نیروی میدان مغناطیسی برای حرکت الکترون‌ها نیز می‌توان استفاده کرد. به این اثر، **الکتریسیته‌ی مغناطیسی** گفته می‌شود که اساس تولید الکتریسیته در ژنراتور الکتریکی است. هنگامی که یک هادی خوب ــ مانند مس ــ را از یک میدان مغناطیسی بگذرانیم، میدان مغناطیسی آن‌قدر انرژی دارد که اتم‌های مس، الکترون‌های والانسشان را آزاد کنند. حرکت این الکترون‌ها در جهت معینی خواهد بود و این جهت به چگونگی قطع میدان مغناطیسی به‌وسیله‌ی سیم بستگی دارد. در واقع، تنها حرکت دادن جسم هادی در داخل میدان ضروری نیست بلکه می‌توان با حرکت دادن میدان نیز همین اثر را به‌وجود آورد. تنها عامل لازم وجود حرکت نسبی بین جسم هادی و میدان مغناطیسی است (الکتریسیته‌ی مغناطیسی در فصل‌های بعدی کتاب با تفصیل بیش‌تری توضیح داده می‌شود).



شکل ۷ــ۲ــ الکترومغناطیس

آزمایش ۱ــ تولید الکتریسیته در اثر حرارت (ترموالکتریک)

یکی از روش‌های تولید الکتریسیته استفاده از انرژی گرمایی است. بدین‌منظور از دستگاهی به نام ترموکوپل استفاده می‌شود.

وسایل مورد نیاز: گالوانومتر، سیم از جنس کنستانتان و مس، سیم‌های رابط، شمع یا چراغ الکلی.

اجرای آزمایش: مداری مطابق شکل ۸ــ۲ می‌بندیم. دوسر سیم از جنس کنستانتان را به دو انتهای سیم‌های مسی اتصال می‌دهیم و در انتهای دیگر، سیم مسی را به کمک سیم‌های رابط به گالوانومتر متصل می‌کنیم. در این حالت، عقربه‌ی گالوانومتر عبور جریانی را نشان نمی‌دهد.

شکل ۸ــ۲

اگر یکی از نقاط اتصال را حرارت دهیم، می‌بینیم که عقربه‌ی گالوانومتر منحرف می‌شود. اگر نقطه‌ی اتصال دیگر را حرارت دهیم، عقربه‌ی گالوانومتر در خلاف جهت حالت قبل منحرف خواهد شد. اگر دو نقطه‌ی اتصال را به‌طور هم‌زمان حرارت دهیم، انحراف عقربه چگونه است؟ چرا؟

نتایج

الف) اگر یک نقطه‌ی اتصال در دمایی متفاوت با نقطه‌ی اتصال دیگر باشد، بین این دو نقطه اختلاف پتانسیل ایجاد خواهد شد (ولتاژ ترموالکتریک).

ب) این نوع دستگاه ترموکوپل نامیده می‌شود و برای اندازه‌گیری دما به‌کار می‌رود.

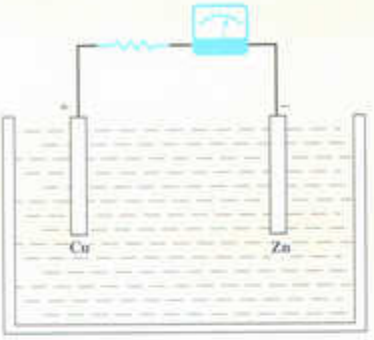
پ) با سیم‌هایی از جنس متفاوت نیز می‌توان به نتایج بالا رسید.

آزمایش ۲ــ تولید الکتریسیته در اثر واکنش‌های شیمیایی

یکی از روش‌های تولید الکتریسیته، واکنش‌های شیمیایی است که به آن روش الکتروشیمی نیز می‌گویند.

وسایل موردنیاز: محلول اسیدسولفوریک و آب (الکترولیت)، تیغه‌هایی از جنس روی و مس، لیوان شیشه‌ای، سیم‌های رابط گالوانومتر، مقاومت یک کیلواهمی.

اجرای آزمایش: مداری مطابق شکل ۹ــ۲ تشکیل می‌دهیم. لیوان شیشه‌ای را از محلول اسیدسولفوریک تقریباً پر می‌کنیم و دو تیغه‌ی مسی و روی را پس از پاک کردن در محلول قرار می‌دهیم. مقاومت یک کیلواهمی را به‌طور سری در مدار می‌بندیم. انحراف عقربه، وجود جریانی را درمدار نشان می‌دهد یا تغییر دادن ترمینال‌های گالوانومتر جهت جریان را می‌توان مشاهده کرد.



شکل ۹ـ۲

نتایج

الف) با قرار دادن دو تیغه از جنس مس و روی درمحلول اسیدسولفوریک و آب می‌توان بین دوسر آن‌ها جریان مستقیم تولید کرد.

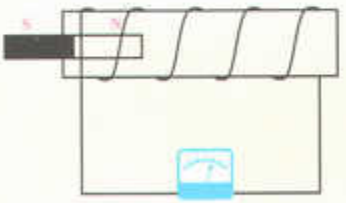
ب) تیغه‌ی مس قطب مثبت و تیغه‌ی روی قطب منفی منبع ولتاژ را تشکیل می‌دهد.

آزمایش ۳ـ تولید الکتریسیته به‌وسیله‌ی مغناطیس

مهم‌ترین و بهترین روش تولید انرژی الکتریکی، استفاده از میدان مغناطیسی است.

وسایل مورد نیاز: گالوانومتر، آهن‌ربای میله‌ای، سیم‌های رابط، بوبین (سیم‌پیچ).

اجرای آزمایش: مداری مطابق شکل ۱۰ـ۲می‌بندیم. آهن‌ربای میله‌ای را از جهت قطب شمال در داخل بوبین حرکت می‌دهیم؛ مشاهده می‌کنیم که عقربه‌ی گالوانومتر منحرف می‌شود. اگر آهن‌ربا را درجهت مخالف حرکت دهیم، انحراف عقربه درجهت مخالف حالت قبل صورت خواهد گرفت. آهن‌ربا را داخل بوبین سریع‌تر حرکت می‌دهیم و می‌بینیم که عقربه نیز سریع‌تر منحرف می‌شود.



شکل ۱۰ـ۲

نتایج

الف) با حرکت یک آهن‌ربای میله‌ای در داخل سیم‌پیچ و تغییر میدان مغناطیسی، نیروی محرکه‌ای در سیم‌پیچ القا می‌شود.

ب) جهت نیروی محرکه‌ی تولید شده به جهت میدان مغناطیسی بستگی دارد.

خلاصه‌ی مطالب

• با وارد کردن نیرو یا دادن انرژی می‌توان الکترون‌ها را از مدارهایشان خارج کرد • روش‌های انجام این کار را به شش دسته تقسیم کرده‌اند که عبارت‌اند از: اثر تریبوالکتریک، الکتروشیمی، پیزوالکتریک، ترموالکتریک، فوتوالکتریک و الکترومغناطیس.

• اثر تریبوالکتریک باعث می‌شود که الکترون‌های سطح یک جسم بر اثر مالش آزاد گردند. آزادسازی الکترون بر اثر اعمال انرژی تولید شده از اصطکاک است. در روش الکتروشیمیایی، ترکیب مواد شیمیایی با بعضی فلزات به واکنش‌هایی می‌انجامد که بر اثر آن الکترون‌ها انتقال می‌یابند و بار الکتریکی تولید می‌شود • پیزوالکتریک اثر فشار برای تولید بارهای الکتریکی است. این اثر خود را بیش‌تر در کریستال‌ها نشان می‌دهد. ترموالکتریک اثر حرارت بر دو فلز نامشابه است که به تولید بارهای مخالف در دو فلز منجر می‌شود. هنگامی که انرژی نورانی به صورت فوتون با بعضی اجسام برخورد می‌کند، این اجسام الکترون آزاد می‌کنند.

• تشعشع نورانی: انرژی فوتون، الکترون‌های یک سطح را در لامپ خلأ تخلیه می‌کند و سطح دیگری در لامپ، این الکترون‌ها را جمع‌آوری می‌کند. فوتوولتاییک: انرژی نورانی بر روی یکی از دو صفحه‌ی متصل شده باعث تخلیه‌ی الکترون به دیگری می‌شود. در نتیجه، دو صفحه مانند یک باتری عمل می‌کنند. هدایت نوری: چنانچه به بعضی اجسام انرژی نورانی بدهیم، به صورت هادی‌های بهتری عمل خواهند کرد. الکترومغناطیس: استفاده از اثر میدان مغناطیسی برای به‌حرکت درآوردن الکترون‌ها است.

پرسش

۱ــ چه عاملی باعث خارج شدن الکترون‌ها از مدارهایشان می‌شود؟

۲ــ اثر وارد شدن فشار به کریستال نمک روچل چیست؟

۳ــ اثر تریبوالکتریک چیست؟

۴ــ در ترموالکتریک، به محل اتصال دو فلز ..... حرارت داده می‌شود.

۵ــ تفاوت بین ترموکوپل و ترموپیل چیست؟

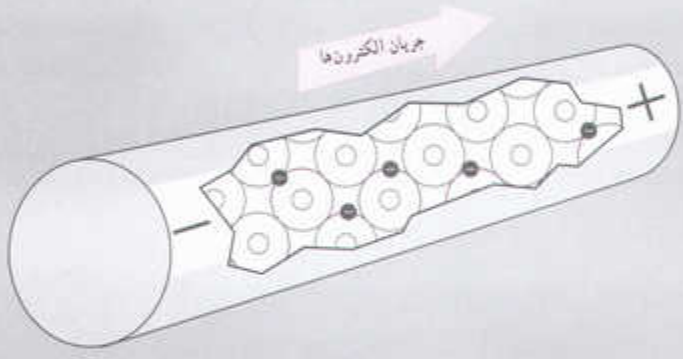
۶ــ فوتون چیست؟

۷ــ سه روش استفاده از فوتوالکتریک را نام ببرید و شرح دهید.

۸ــ آیا برای آزاد شدن الکترون از یک هادی، همیشه لازم است هادی را در داخل میدان مغناطیسی حرکت دهیم؟

۹ــ باتری یا پیل تر را شرح دهید و بگویید براساس کدام قانون کار می‌کند.

۱۰ــ ژنراتور الکتریکی براساس ..... کار می‌کند.


جریان الکترون‌ها
−
+

فصل سوم

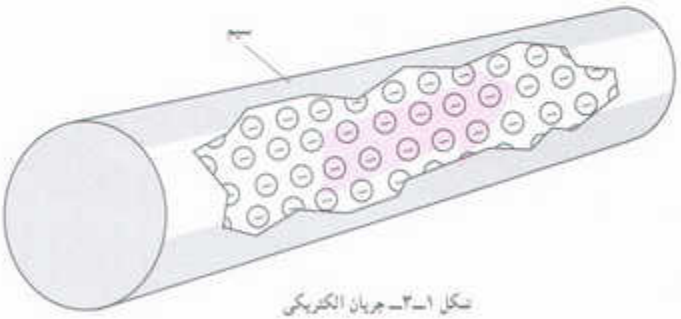
الکتریسیته‌ی جاری

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل، از دانش‌آموز انتظار می‌رود:
۱ــ چگونگی حرکت الکترون‌ها و مفهوم سرعت حرکت الکترون‌ها را بیان کند.
۲ــ مفهوم جریان الکتریکی و تفاوت میان سرعت الکترون‌ها و سرعت انتقال اثر را شرح دهد.
۳ــ مفاهیم ولتاژ جریان را به‌دقّت توضیح دهد و نمادهای قراردادی آن‌ها را مشخص کند.
۴ــ واحد کمیّت‌های جریان و ولتاژ را تعریف کند.

۱ــ۳ــ جریان الکتریکی

در فصل اول در مورد الکتریسیته و چگونگی تولید بارهای الکتریکی توضیح دادیم و گفتیم که الکتریسیته‌ی ساکن در صنعت و زندگی روزمره کاربرد زیادی ندارد و برای این که بتوانیم از انرژی الکتریکی برای انجام کار استفاده کنیم، الکتریسیته باید جاری باشد. این عمل وقتی صورت می‌گیرد که الکترون‌های آزاد درجهت معینی به‌حرکت درآیند.

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



شکل ۱ــ۳ــ جریان الکتریکی

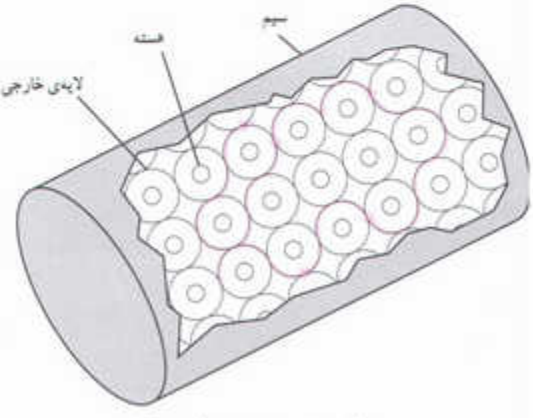
۲ــ۳ــ شدت جریان الکتریکی

الکترون مقدار معینی انرژی دارد و می‌تواند اثرات خاصی را به‌وجود آورد. در حالت عادی، الکترون‌ها در جهات مختلفی حرکت می‌کنند و در نتیجه اثرات یک‌دیگر را خنثا می‌سازند ولی هنگامی که در جهت معینی حرکت کنند، جریان الکتریکی از مدار عبور می‌کند. بنابراین، اثر الکترون‌ها با یک‌دیگر جمع می‌شود و انرژی آزاد شده می‌تواند کار انجام دهد. هرچه تعداد الکترون‌های

آزادی که در یک جهت حرکت می‌کنند بیش‌تر باشد، شدت جریان بیش‌تر است و مقدار انرژی بیش‌تری برای انجام دادن کار خواهیم داشت.

۳ــ۳ــ پیوند (اتصال) فلزی

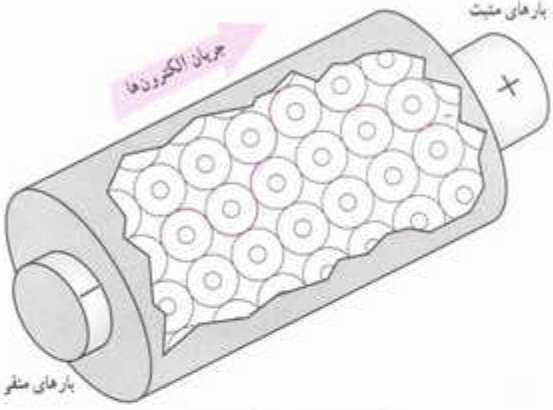
در یک سیم مسی هر یک از اتم‌ها یک الکترون والانس دارند که به طور ناپایدار در مدار نگاه داشته شده‌اند. این اتم‌ها آن‌قدر به هم نزدیک‌اند که حتی مدارهای خارجی آن‌ها با هم تداخل می‌کنند. هنگامی که الکترون‌های والانس حرکت می‌کنند، الکترون یکی از اتم‌ها ممکن است تحت تأثیر اتم دیگر واقع شود و در مداری به دور آن قرار گیرد. در همان زمان، الکترون اتم دوم نیز تغییر مکان می‌دهد و به مدار اولی وارد می‌شود. اغلب الکترون‌های مدارهای خارجی به طور مداوم ولی بدون ترتیب، مدارهایشان را عوض می‌کنند؛ یعنی، هیچ یک از الکترون‌های والانس مختص یک اتم نیستند بلکه همه‌ی اتم‌ها الکترون‌های والانسشان را به اشترک می‌گذارند و بدین ترتیب به یک دیگر متصل می‌شوند. این گونه پیوند، **پیوند فلزی** نام دارد. بنابراین، الکترون‌های آزاد در یک سیم مسی به طور اتفاقی مدارهای خود را تغییر می‌دهند و این عمل مداوم است. بدین ترتیب، هر اتم همیشه یک الکترون دارد. در نتیجه، هیچ بار الکتریکی‌ای حاصل نمی‌شود ولی هادی مقدار زیادی الکترون آزاد دارد.



شکل ۲ــ۳ــ پیوند فلزی و الکترون آزاد

۴ــ۳ــ حرکت الکترون‌های جهت گرفته

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



شکل ۳ــ۳ــ حرکت الکترون‌ها

در شکل ۳ــ۳ الکترون‌های آزاد به وسیله‌ی بارهای منفی دفع و به وسیله بارهای مثبت جذب شده‌اند و در نتیجه، مدارهای آن‌ها عوض شده و به طرف بارهای مثبت جذب شده‌اند. بار الکتریکی الکترون‌ها منفی است؛ پس به وسیله‌ی بارهای منفی اعمالی دفع و به وسیله‌ی بارهای مثبت اعمالی جذب می‌شوند. به‌همین علت نمی‌توانند به مداری تغییر مکان دهند که باعث حرکت آن‌ها در خلاف جهت نیروی بارهای الکتریکی شود. در عوض، مدارهایشان را چنان تغییر می‌دهند که حرکتشان در جهت بار مثبت باشد. بدین لحاظ، جریان الکتریکی در جهت بار منفی به‌طرف بار مثبت برقرار می‌شود.

در شکل ۳ــ۳ غلظت اتم‌ها در سیم مسی طوری است که مدارهای والانس هر اتم با اتم‌های دیگر تلاقی می‌کند و الکترون‌ها به راحتی می‌توانند از یک اتم به اتم دیگر تغییر مکان دهند. مسیری را که یک الکترون طی می‌کند، به جهت مدار الکترونی که الکترون در حرکتش به سوی بار مثبت به آن وارد می‌شود، بستگی دارد.

همان طور که ملاحظه می‌کنید، هر الکترون یک مسیر مستقیم را طی نمی‌کند. هر چه بارهای اعمالی در انتهای سیم بیش‌تر باشند، الکترون‌ها بیش‌تر کنترل می‌شوند و با سرعت زیادی در مسیر مستقیم حرکت می‌کنند.

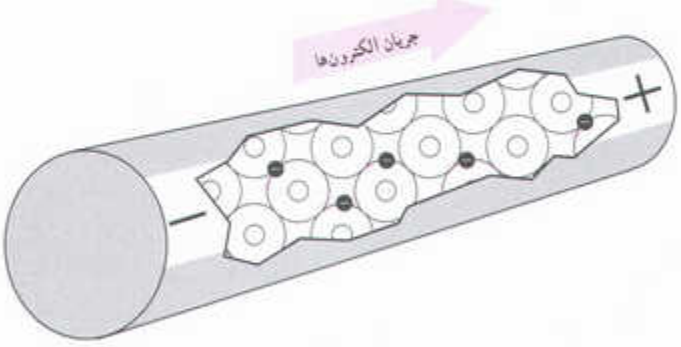
۵ــ۳ــ سرعت الکترون

الکترون آزادی که تحت تأثیر بارهای الکترواستاتیک به‌حرکت درمی‌آید، باید با نیروهای مداری اتمی مخالفت کند. در نتیجه، سرعت آن بسیار کم می‌شود و به حدود چند سانتی‌متر در ثانیه می‌رسد. این سرعت قابل تغییر است و به جنس هادی و تعداد بارهای الکتریکی اعمال شده به دو انتهای سیم بستگی دارد. اگر قرار بود که الکترون‌های آزاد در سیمی به طول ۳۰ کیلومتر حرکت کنند، بیش از ۳۰ روز طول می‌کشید اما می‌دانیم که جریان الکتریکی این مسافت را در کسری از ثانیه طی می‌کند.

۶ــ۳ــ ضربان‌های الکترونی

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

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



شکل ۴ــ۳ــ ضربان‌های الکترونی

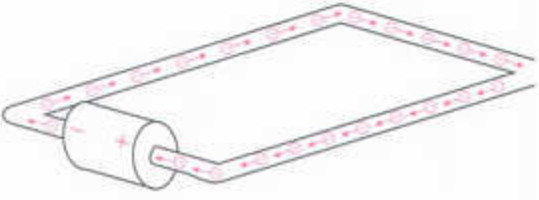
شکل ۵ــ۳ــ انتقال ضربه در گلوله‌های فلزی

۷ـ۳ـ مدار کامل (بسته)

اگر یک بار منفی (طبق شکل ۶ـ۳) در یک انتهای سیمی قرار داده شود، این بار منفی الکترون‌های آزاد سیم را به سر دیگر سیم دفع می‌کند. حرکت الکترون‌های آزاد جهت می‌گیرد و باعث عبور جریان الکتریکی می‌شود. این جریان تا زمانی ادامه خواهد یافت که به اندازه‌ی کافی الکترون در سر دیگر سیم جمع شود و باری برابر بار منفی داده شده در طرف دیگر تشکیل گردد و از آمدن الکترون‌های بیش‌تر جلوگیری کند. این الکتریسیته‌ی ساکن است؛ زیرا پس از مدتی همه چیز به حالت سکون درمی‌آید.

شکل ۶ـ۳

برای این‌که جریان الکتریکی برقرار شود، الکترون‌های آزاد باید به طور مداوم در جریان باشند. بدین لحاظ باید از منابع ولتاژ برای دادن بارهای مخالف به دو سر سیم استفاده شود. در این صورت، الکترون‌ها در قطب منفی سیم دفع شده و در طرف قطب مثبت به داخل منبع جذب می‌شوند. به ازای هر الکترونی که جذب منبع می‌شود، الکترون دیگری توسط طرف منفی منبع به سیم وارد می‌شود. در نتیجه، تا هنگامی که منبع ولتاژ تولید بار می‌کند، عبور جریان در سیم ادامه می‌یابد. چنین فرایندی یک مدار کامل (بسته) را تشکیل می‌دهد. باتری یک نوع معمول منبع ولتاژ است، بنابراین، برای این‌که جریان الکتریکی عبور کند، یک مدار بسته یا کامل لازم است. در شکل ۳ـ۷ برای ایجاد بارهای مختلف در دو سر سیم از یک باتری استفاده شده است.



شکل ۷ـ۳ـ مدار کامل

۸ـ۳ـ قرارداد

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

۹ـ۳ـ مدار باز

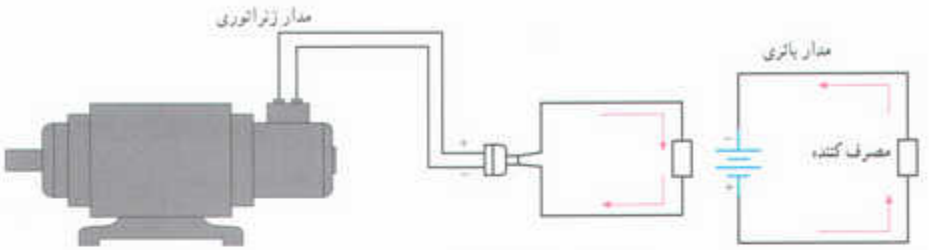
طبق شکل ۸ـ۳ اگر در یک مدار بسته سیم قطع شود، الکترون‌ها در انتهایی از سیم که به قطب منفی باتری متصل است، جمع می‌شوند و الکترون‌های آزاد انتهای دیگر سیم به قطب مثبت جذب می‌گردند؛ بنابراین، بین دو سر قطع شدگی اختلاف بار به‌وجود می‌آید که با اختلاف بار الکتریکی منبع برابر است. در نتیجه، جریانی از مدار عبور نمی‌کند. به چنین مداری، **مدار باز** می‌گویند.

شکل ۸ـ۳ـ مدار باز

۱۰ـ۳ـ منابع ولتاژ

هر پنج نوع منبع ولتاژ که در فصل‌های پیش درباره‌ی آن‌ها سخن گفتیم، می‌توانند جریانی را در یک مدار برقرار کنند. معمول‌ترین و مناسب‌ترین منابع ولتاژ، باتری و ژنراتور هستند.

برقی که در منزل از آن استفاده می‌کنیم، به وسیله‌ی ژنراتوری که در نیروگاه نصب شده است، تولید می‌شود. در شکل ۹ـ۳ مدار باتری و مدار ژنراتور را مشاهده می‌کنید.



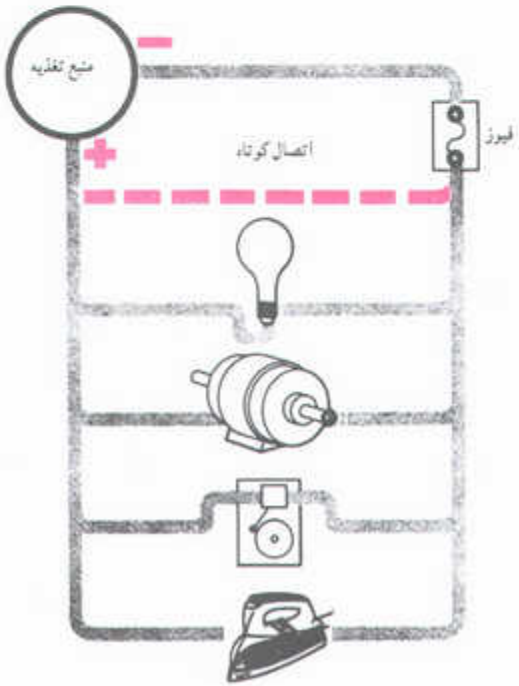
شکل ۹ـ۳ـ مدار الکتریکی (منابع ولتاژ ژنراتور و باتری)

۱۱ـ۳ـ کاربرد الکتریسیته‌ی جاری

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

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

شکل ۱۰ـ۳ کاربردهای مختلف الکتریسیته‌ی جاری را نمایش می‌دهد.



شکل ۱۰ـ۳ـ کاربردهای الکتریسیته‌ی جاری

۱۲ــ۳ــ واحدهای کمیت‌های الکتریکی

برای برقراری جریان الکتریکی در یک مدار دو شرط لازم است :

الف) اختلاف بار الکتریکی منبع برای به حرکت درآوردن الکترون‌های آزاد ؛

ب) وجود یک مدار بسته.

بارالکتریکی‌ای را که جسم دریافت می‌کند، **پتانسیل الکتریکی** می‌نامند ؛ زیرا الکترون‌های جابه‌جا شده مقداری انرژی دارند که برای حرکت دادن الکترون‌های دیگر به کار می‌رود. از آن‌جا که برای ایجاد یک مدار کامل دو بارالکتریکی متفاوت لازم است، این اختلاف پتانسیل بین دو بارالکتریکی است که نیروی الکتریکی تولید می‌کند نه مقدار بارها.

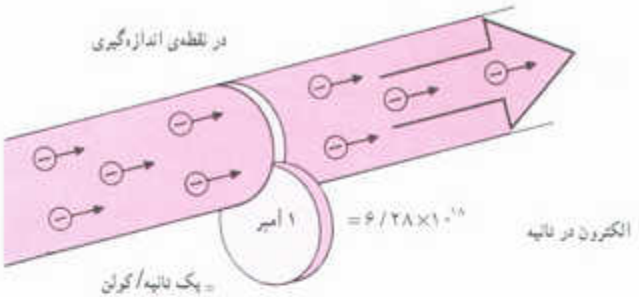
جدول ۱ــ۳

	میکروولت (μV)	میلی‌ولت (mV)	ولت (V)	کیلوولت (kV)	مگاولت (MV)
میکروولت (μV)	ــ	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}
میلی‌ولت (mV)	10^{3}	ــ	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}
ولت (V)	10^{6}	10^{3}	ــ	10^{-3}	10^{-6}
کیلوولت (kV)	10^{9}	10^{6}	10^{3}	ــ	10^{-3}
مگاولت (MV)	10^{12}	10^{9}	10^{6}	10^{3}	ــ

بعضی از ولتاژهایی که معمولاً با آن‌ها سروکار خواهید داشت : ۱/۵ برای یک باتری چراغ قوه، ۱۲ ولت برای باتری اتومبیل‌ها، ۲۲۰ ولت برای وسایل خانگی و ۳۸۰ ولت برای مصارف صنعتی. در واقع، ولتاژها از چند میکروولت (میلیونیم ولت) تا چند مگاولت (میلیون ولت) موجودند. تبدیل اجزا و اضعاف ولت در جدول ۳ــ۱ نمایش داده شده است.

واحد اندازه‌گیری شدت جریان (آمپر): تعداد الکترون‌هایی که از یک نقطه‌ی مدار می‌گذرند، مقدار جریان عبوری از مدار را تعیین می‌کنند. اگر از یک نقطه‌ی سیم در یک ثانیه ۱ کولن الکتریسیته ($۶/۲۸\times۱۰^{۱۸}$ الکترون) در جهت مشخص بگذرد، می‌گوییم شدت جریان عبوری ۱ آمپر است.

بنابراین تعریف، رابطه‌ی شدت جریان را می‌توان به صورت $I=\frac{q}{t}$ نشان داد که در آن q مقدار الکتریسیته بر حسب کولن، t زمان برحسب ثانیه و I شدت جریان برحسب آمپر است. نام این واحد ــ یعنی آمپر ــ از نام یک فیزیک‌دان ایتالیایی قرن هجدهم به نام آندره ماری آمپر گرفته شده است. آمپر نیز دارای اجزا و اضعافی است (مشابه ولت در جدول ۱ــ۳). شکل ۱۱ــ۳ تعریف آمپر را نشان می‌دهد.



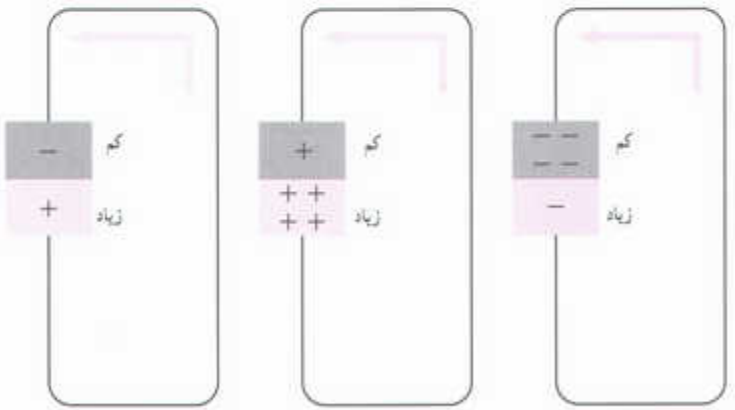
شکل ۱۱ـ۳ـ تعریف آمپر

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

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

$$I=\frac{q}{t}=\frac{۲}{۲}=۱A$$

بار منفی را پتانسیل کم و بار مثبت را پتانسیل زیاد در نظر می‌گیریم. جریان الکتریکی در یک سیم همیشه از طرف پتانسیل زیاد به طرف پتانسیل کم برقرار می‌شود. این بدان معناست که همیشه جریان الکتریکی از یک پتانسیل مثبت بیش‌تر به یک پتانسیل مثبت کم‌تر برقرار می‌شود. همین مطلب در مورد دو پتانسیل منفی نیز صدق می‌کند.



شکل ۱۲ـ۳ـ جهت جریان در یک مدار

خلاصه‌ی مطالب

• پیوندهای فلزی در الکتریسیته اهمیت زیادی دارند. • الکترون‌های لایه‌ی آخر اتم‌های فلز به طور ناپایدار در مدارشان قرار گرفته‌اند و با نیروی کمی می‌توان آن‌ها را از مدار خارج و به مدار اتم دیگری وارد کرد. الکترون‌های والانس آزادند که از یک اتم به اتم دیگر بروند.

• هنگامی که نیرویی موجب حرکت الکترون‌ها در جهت مخصوصی می‌شود، جریان الکتریکی تولید می‌گردد. نیرویی که الکترون‌های آزاد را به حرکت در می‌آورد، **ولتاژ الکتریکی** نام دارد.

سرعت الکترون آزاد در حرکت نامرتب می‌تواند تا چندین صد کیلومتر در ثانیه باشد. تحت تأثیر نیروی محرکه‌ی الکتریکی، این سرعت به مقدار چشم‌گیری کاهش می‌یابد. اگرچه سرعت واقعی الکترون تحت تأثیر نیروی محرکه‌ی الکتریکی کم است اما سرعت ضربه‌ای انرژی که از یک الکترون به الکترون دیگر منتقل می‌شود، در حدود ۲۹۹۳۴۰ کیلومتر در ثانیه است که **سرعت انتقال اثر** نام دارد.

از یک مدار جریانی عبور نمی‌کند؛ مگر این که مسیر کامل یا مدار بسته باشد. در غیر این صورت، مدار باز است. باتری و ژنراتور معمولی‌ترین منابع ولتاژند.

برای محافظت مدار در مقابل عبور جریان زیاد، از فیوز استفاده می‌شود که به هنگام لزوم مدار را قطع می‌کند.

جریان الکتریکی در یک سیم همیشه از پتانسیل زیاد به پتانسیل کم است. واحد ولتاژ ولت است.

مقدار $۶/۲۸\times۱۰^{۱۸}$ الکترون را یک کولن الکتریسیته می‌گویند. واحد شدت جریان الکتریکی آمپر است. اگر در یک ثانیه از یک نقطه‌ی سیم ۱ کولن الکتریسیته در جهت مشخص عبور کند، شدت جریان عبوری ۱ آمپر است.

پرسش

۱ــ جریان الکتریکی را تعریف کنید.

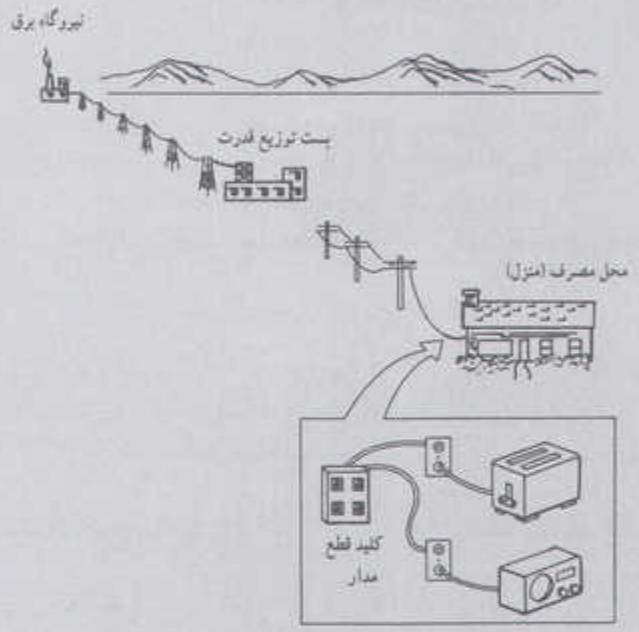
۲ــ پیوند فلزی چیست؟

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

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

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

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


نیروگاه برق
پست توزیع قدرت
محل مصرف (منزل)
کلید قطع
مدار

فصل چهارم

مدار الکتریکی و اجزای آن

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل از دانش‌آموز انتظار می‌رود :

۱ـ یک مدار کامل الکتریکی را رسم کند.

۲ـ اجزای اصلی مدار الکتریکی را نام ببرد و وظیفه‌ی هر یک را توضیح دهد.

۳ـ منابع جریان مستقیم و متناوب را توضیح دهد.

۴ـ عواملی را که باعث معیوب شدن مصرف کننده‌ی الکتریکی می‌شوند، توضیح دهد.

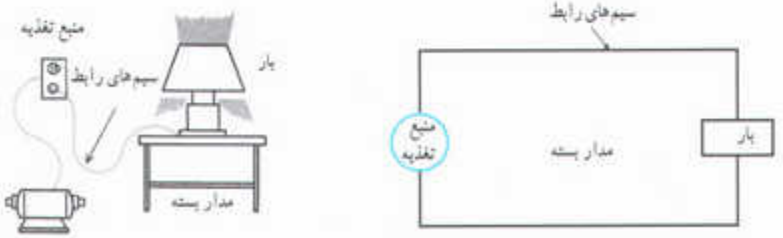
انرژی الکتریکی هنگامی کارآمد است که بتوان آن را عملاً مورد استفاده قرار داد. برای استفاده‌ی عملی از این انرژی، باید آن را مهار کرد یا به انواع دیگر انرژی‌ها تبدیل نمود. وسیله‌ی فیزیکی مناسب و لازم برای تبدیل انرژی الکتریکی و استفاده از آن، **مدار الکتریکی** نام دارد.

۱ـ۴ـ مدار الکتریکی

اجزای هر مدار الکتریکی به‌طور کلی عبارت‌اند از : ۱ـ منبع ولتاژ، ۲ـ سیم‌های رابط، ۳ـ مصرف کننده. به وسیله‌ای که انرژی الکتریکی را به سایر انرژی‌ها تبدیل می‌کند، بار نیز می‌گویند.

برای این‌که جریان الکتریکی در یک مدار برقرار شود، لازم است مدار کاملی برای عبور جریان از قطب مثبت مولد به قطب منفی وجود داشته باشد. تشکیل این مدار با اتصال سیم‌های رابط قطب مثبت به بار الکتریکی موردنظر و از آن‌جا به قطب منفی منبع ولتاژ، عملی می‌شود. شکل ۱ـ۴ یک مدار کامل و بسته را نشان می‌دهد.

در صورتی که مدار در نقطه‌ای قطع شود، جریان الکتریکی



شکل ۱ـ۴ـ مدار بسته

برقرار نمی‌گردد. چنین مداری را در اصطلاح مدار باز می‌گویند.

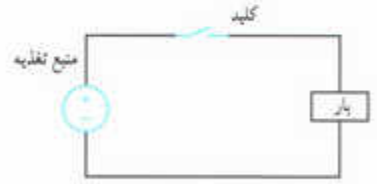
شکل ۲ــ۴ مدار باز را نشان می‌دهد.

شکل ۲ــ۴ــ مدار باز

۲ــ۴ــ کلید

در صورتی که قصد استفاده از یک مصرف‌کننده‌ی الکتریکی را داشته باشیم، لازم است مدار بسته شود. در غیر این صورت، باید مدار را باز نگه داریم تا انرژی اتلاف نشود. قطع و وصل‌شدن مدار الکتریکی معمولاً توسط کلید انجام می‌گیرد. طبق شکل ۳ــ۴ به‌طورکلی کلید قطع و وصل از دو قطعه‌ی فلز هادی تشکیل شده است که در مسیر سیم‌های مدار قرار می‌گیرند. این دو فلز هادی طوری قرار گرفته‌اند که به سادگی به یک‌دیگر وصل یا از هم جدا می‌شوند. زمانی که این دو فلز به هم وصل می‌شوند، راه عبور جریان الکتریکی باز و به عبارت دیگر مدار کامل می‌شود. زمانی که این دو قطعه فلز از یک‌دیگر جدا هستند، راه عبور جریان الکتریکی بسته یا مدار باز می‌شود.

شکل ۴ــ۴ــ انواع کلیدهای قطع و وصل



شکل ۳ــ۴ــ مدار شامل کلید

امروزه انواع زیادی کلید الکتریکی وجود دارد و هر نوع دارای نمای فنی مربوط به خود است. شکل ۴ــ۴ انواع کلیدهای قطع و وصل و نمای فنی آن‌ها را نمایش می‌دهد.

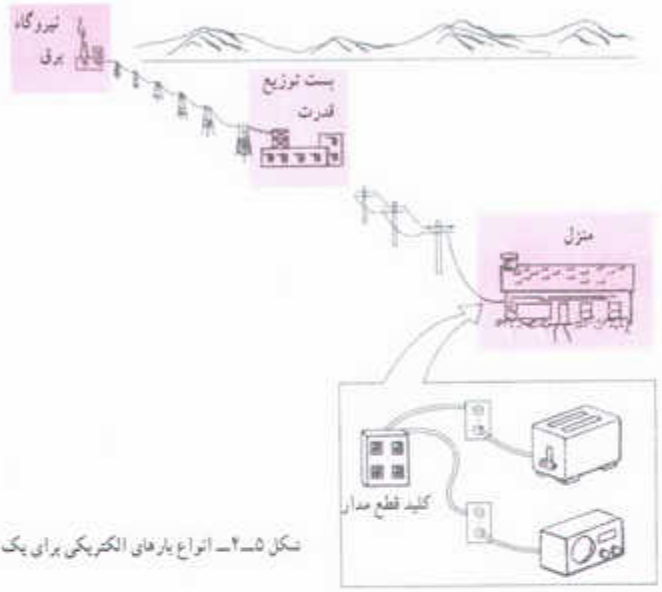
۳ــ۴ــ بار الکتریکی

در یک مدار ساده، بار الکتریکی (مصرف کننده) وسیله‌ای است که انرژی الکتریکی را به انرژی‌های دیگر تبدیل می‌کند. مصرف کننده‌ی (بار) الکتریکی ممکن است انرژی الکتریکی را به انرژی‌های نورانی، گرمایی یا صوتی تبدیل کند یا فقط برای مهار مقدار انرژی حاصل از مولد به کار رود.

لامپ معمولی یک بار الکتریکی است. وسایل دیگر مانند الکتروموتور و بخاری برقی نیز همگی مصرف کننده یا بار الکتریکی‌اند. هرکدام از بارهای الکتریکی که مورد استفاده قرار می‌گیرند، مقدار معین و محدودی از انرژی تولید شده توسط مولد را جذب می‌کنند.

گاهی بار موجود در یک قسمت از مدار، منبع تغذیه‌ای برای قسمت‌های دیگر و در همان زمان باری برای نیروگاه است.

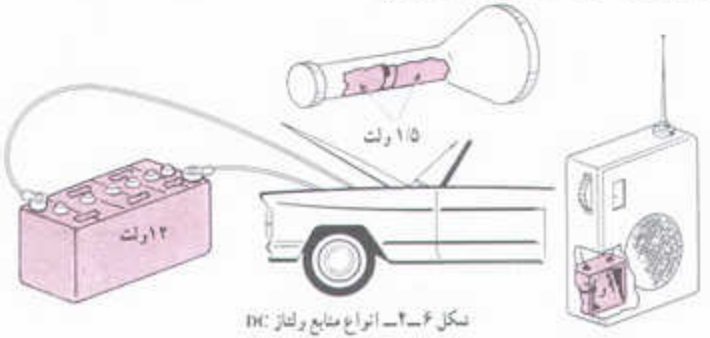
شکل ۵ـ۴ شمای کلی انواع بارهای الکتریکی برای یک خط انتقال انرژی را نمایش می‌دهد.



شکل ۵ـ۴ـ انواع بارهای الکتریکی برای یک خط انتقال انرژی

۴ـ۴ـ مولّد (منبع ولتاژ)

منبع ولتاژ از راه‌های مختلف از جمله واکنش‌های شیمیایی و مغناطیسی انرژی الکتریکی تولید می‌کنند. برای مصرف این انرژی باید بین قطب‌های مولد اختلاف پتانسیل (ولتاژ) به‌وجود آید. ولتاژ را با واحدی به نام ولت اندازه‌گیری می‌کنند. قطب‌های یک منبع ولتاژ جهت جریان الکتریکی را تعیین می‌کنند و مقدار ولتاژ، میزان شدت جریان عبوری از مدار را مشخص می‌کند. علاوه بر میزان ولتاژ منابع DC، مقدار ظرفیت الکتریسیته‌ی (باتری) آن نیز ذکر می‌شود که واحد آن آمپر ساعت است. در باتری‌های مختلف میزان ظرفیت متفاوت است. ولی جریان‌دهی و مدت زمان تخلیه‌ی منبع را از رابطه‌ی $q = I.t$ به آسانی می‌توان محاسبه کرد. در این رابطه، q ظرفیت باتری بر حسب آمپر ساعت، I شدت جریان بر حسب آمپر و t زمان بر حسب ساعت است. در شکل ۶ـ۴ انواع منابع ولتاژ DC را مشاهده می‌کنید.



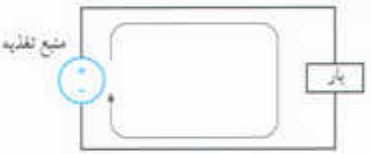
شکل ۶ـ۴ـ انواع منابع ولتاژ DC

۵ـ۴ـ منابع و مدار جریان مستقیم[1] (DC)

به منابع ولتاژی که جهت جریان الکتریکی در مدار خارجی آن‌ها از قطب مثبت به طرف قطب منفی است، منابع ولتاژ مستقیم می‌گویند و مدار آن‌ها را مدار جریان مستقیم می‌نامند. برای سادگی جریان مستقیم را با علامت اختصاری DC نشان می‌دهند.

از این پس از مولدهای DC، جریان DC، ولتاژ DC و مدار DC صحبت خواهیم کرد.

منابع تغذیه که اغلب در مدارهای جریان مستقیم مورد استفاده قرار می‌گیرند، عبارت‌اند از: ژنراتورهای DC، منبع تغذیه‌ی الکترونیکی و باتری. صرف نظر از ساختمان داخلی مولدهای جریان مستقیم، عمل مدارهای جریان مستقیم یکسان است. شکل ۷ـ۴ منبع DC و مدار جریان مستقیم را به همراه بار نمایش می‌دهد.



شکل ۷ـ۴ـ مدار جریان مستقیم

۶ـ۴ـ منابع و مدار جریان متناوب[2] (AC)

هنگامی که جهت (پلاریته‌ی) قطب‌های یک مولد به‌طور متناوب تغییر کند، جهت جریان نیز به‌طور متناوب تغییر خواهد کرد. این نوع جریان را جریان متناوب می‌گویند و به اختصار، به صورت AC نمایش می‌دهند. ولتاژی که در منازل برای تغذیه‌ی وسایل خانگی و روشنایی از آن استفاده می‌شود، ولتاژ متناوب است.

شکل ۸ـ۴ منبع AC و مدار AC را نشان می‌دهد.

شکل ۸ـ۴ـ مدار جریان متناوب

۷ـ۴ـ عواملی که شدت جریان الکتریکی را کنترل می‌کنند

مدارهای الکتریکی برای عبور مقدار معینی شدت جریان طراحی می‌شوند. بدین ترتیب، اگر جریان کمی از مدار عبور کند، مصرف کننده‌ی الکتریکی درست کار نخواهد کرد و اگر جریان زیادی از مدار عبور کند، ممکن است منبع ولتاژ و مصرف‌کننده صدمه ببینند. بنابراین، برای تعیین شدت جریان عبوری در مدار جریان مستقیم سه عامل را در نظر می‌گیرند: ۱ـ ولتاژ منبع، ۲ـ هدایت سیم‌های رابط و ۳ـ بار (مصرف کننده)؛ مثلاً در مورد لامپ روشنایی اگر ولتاژ اعمالی به لامپ از میزان مجاز آن کم‌تر باشد، روشنایی لامپ ضعیف خواهد بود. در صورت زیاد بودن ولتاژ نیز، افزایش جریان عبوری در نهایت موجب سوختن آن می‌شود. این امر در مورد سایر مصرف‌کننده‌های الکتریکی از قبیل بخاری برقی و الکتروموتورها نیز صدق می‌کند. در صورتی که سیم‌های رابط دارای مقاطع استاندارد برای تغذیه‌ی مصرف کننده‌ها نباشند، در مدار اختلالی ایجاد می‌کنند که در فصل پنجم (مقاومت و هدایت سیم‌ها) به طور مشروح درباره‌ی آن سخن خواهیم گفت.

شکل ۹ـ۴ انواع مصرف کننده‌های الکتریکی را در شرایط مختلف نشان می‌دهد.

ولتاژ مدار زیاد است. — ولتاژ مدار کم است.

لامپ عمر کمی خواهد داشت. — نور لامپ کم است.

لامپ روشنایی

المنت‌های گرمایی می‌سوزد. — حرارت (المنت) کم است.

اتوی برقی

دریل می‌سوزد. — سرعت دریل نادرست است.

دریل برقی

شکل ۹ـ۴ـ انواع مصرف کننده‌های الکتریکی با شرایط مختلف

۱ـ DC=Direct Current

۲ـ AC=Alternative Current

خلاصه‌ی مطالب

• مدار الکتریکی وسیله‌ای فیزیکی برای تبدیل انرژی الکتریکی به سایر انرژی‌هاست.

• اجزای مدار الکتریکی عبارت‌اند از: ۱ـ منبع ولتاژ، ۲ـ سیم‌های رابط و ۳ـ مصرف‌کننده‌ی الکتریکی (بار).

• برای عبور جریان الکتریکی لازم است یک مسیر کامل برای عبور جریان از قطب مثبت منبع به طرف بار و سپس به قطب منفی منبع وجود داشته باشد. کلید وسیله‌ای برای قطع و وصل مدار است. کلید بسته یعنی جریان می‌تواند مسیر کلی را طی کند؛ در غیر این صورت، مدار باز است.

• منابع ولتاژ به طرق شیمیایی، مغناطیسی و ... انرژی الکتریکی تولید می‌کنند.

• منابع ولتاژ DC مانند باتری‌ها، منابع تغذیه‌ی الکتریکی یا ژنراتور DC صرف‌نظر از ساختمان داخلی‌شان، در مدارها یکسان عمل می‌کنند. مدارهای DC طوری طراحی می‌شوند که مقدار معینی از شدت جریان را از خود عبور دهند.

سه عامل، مقدار شدت جریان عبوری را در مدار کنترل می‌کند: ۱ـ ولتاژ منبع، ۲ـ جنس سیم‌های رابط و ۳ـ مشخصه‌ی بار الکتریکی.

پرسش

۱ـ سه جزء اصلی یک مدار الکتریکی را نام ببرید.

۲ـ منظور از مدار باز و بسته چیست؟

۳ـ آیا می‌توان باتری را بار الکتریکی دانست؟ توضیح دهید.

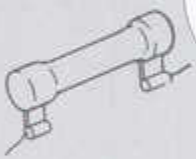
۴ـ بین باتری، ژنراتور جریان مستقیم و یک منبع تغذیه‌ی الکترونیکی چه وجه مشترکی وجود دارد؟

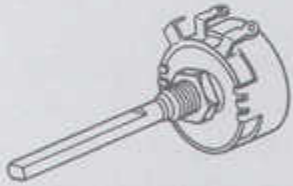
۵ـ عواملی که عبور شدت جریان را در مدار کنترل می‌کنند، کدام‌اند؟ نام ببرید.

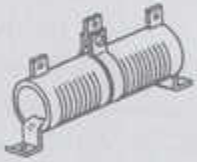
۶ـ در صورت افزایش ولتاژ مصرف‌کننده، برای آن چه مشکلی پیش می‌آید؟

۷ـ منظور از بار الکتریکی چیست؟

مقاومت‌ها اجزائی هستند که مقاومت مدار را زیاد می‌کنند. آن‌ها از موادی با هدایت کم و در اندازه‌ها و شکل‌های متنوع ساخته شده‌اند.







هدایت و مقاومت الکتریکی

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل، از دانش‌آموز انتظار می‌رود :

۱ـ مفهوم مقاومت الکتریکی را با مقاومت ذرات گاز در حین حرکت در لوله مقایسه کند.

۲ـ واحد مقاومت الکتریکی را براساس مشخصات فیزیکی آن تعریف کند.

۳ـ مفهوم مقاومت مخصوص هادی را تعریف کند.

۴ـ رابطه‌ی پیدا کردن مقاومت الکتریکی هادی‌ها را بر حسب مشخصات فیزیکی $R=\rho\frac{l}{A}$ بنویسد.

۵ـ واحدهای مربوط به هر یک از پارامترهای موجود در فرمول $R=\rho\frac{l}{A}$ را بیان کند.

۶ـ با استفاده از فرمول $R=\rho\frac{l}{A}$ مقاومت هادی‌هایی را که مشخصات آن‌ها داده می‌شود، حساب کند.

۷ـ چگونگی تأثیر تغییرات دما بر مقاومت مخصوص و مقاومت چند عنصر رایج، در صنعت برق را توضیح دهد.

۸ـ ضریب حرارتی مخصوص را تعریف کند.

۹ـ رابطه‌ی ساده‌ی مربوط به تأثیر حرارت بر مقاومت الکتریکی $R_t=R_\circ(1+\alpha t)$ را بنویسد.

۱۰ـ با استفاده از فرمول $R_t=R_\circ(1+\alpha t)$ مقاومت چند هادی رایج را برحسب تغییرات دما محاسبه کند.

۱۱ـ انواع مقاومت‌های الکتریکی را از نظر جنس و ساخت نام ببرد و ساختمان هر یک را توضیح دهد.

۱۲ـ طبقه‌بندی مقاومت‌های الکتریکی را از نظر نوع کار بیان کند و کاربرد هر یک را شرح دهد.

۱۳ـ مقدار مقاومت الکتریکی مقاومت‌هایی را که کد رنگی دارند، بخواند.

۱ـ۵ـ هدایت الکتریکی مخصوص

همه‌ی اجسام، جریان الکتریکی را به یک اندازه هدایت نمی‌کنند. همان‌طور که در فصل‌های قبلی نیز خواندید، دو دسته از اجسام در الکتریسیته اهمیت دارند : اجسام هادی و اجسام عایق. هادی‌ها اجسامی هستند که جریان را به راحتی عبور می‌دهند و عایق‌ها برعکس، از عبور جریان جلوگیری می‌کنند. علت این امر آن است که هادی‌ها مقدار زیادی الکترون آزاد دارند. اکثر فلزات هادی‌های خوبی هستند. البته همه‌ی فلزات به یک اندازه الکترون آزاد ندارند ؛ به همین دلیل، عملکرد هادی‌ها نیز در مدارها مختلف است. اگر با یک منبع ولتاژ که ولتاژش ثابت باشد، میزان هدایت الکتریکی فلزات مختلف (همه با طول یک متر و سطح مقطع یک میلی‌متر مربع) را آزمایش کنیم، می‌بینیم فلزی که الکترون‌های آزاد بیش‌تری دارد، شدت جریان بیش‌تری را از خود عبور می‌دهد. نسبت شدت جریان عبوری از یک فلز به ولتاژ منبع را هدایت الکتریکی مخصوص آن فلز می‌گویند. پس،

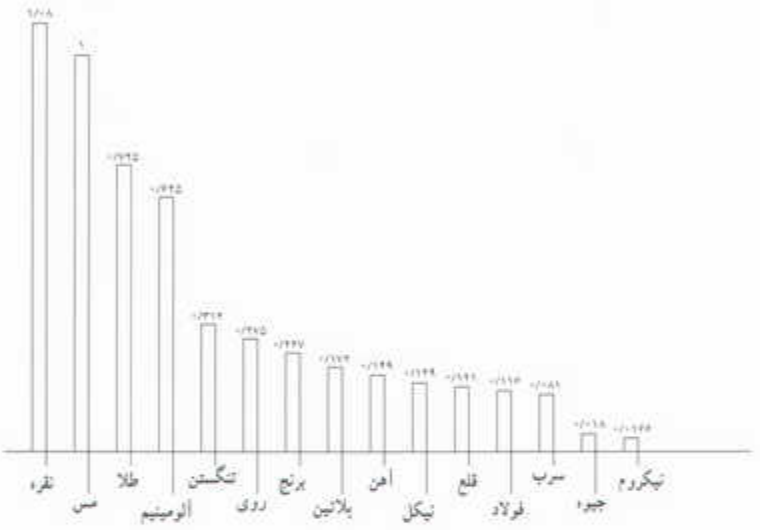
قابلیت هدایت سیمی به طول یک متر و سطح مقطع یک میلی‌مترمربع را **هدایت مخصوص** می‌نامند و آن را با حرف یونانی κ (کاپا) نمایش می‌دهند.

۲ـ۵ـ مقایسه‌ی هدایت مخصوص فلزات

فلز نقره الکترون‌های آزاد زیادی دارد؛ بنابراین، در مقایسه با سایر فلزات از هدایت مخصوص بیش‌تری برخوردار است.

مس بعد از نقره هادی خوبی است، نسبت به آن ارزان‌تر است و کاربرد بیش‌تری دارد. بدین جهت، هدایت مخصوص سایر فلزات را نسبت به فلز مس می‌سنجند. در نمودار ۱ـ۵ هدایت مخصوص نسبی سایر فلزات را در مقایسه با فلز مس مشاهده می‌کنید.

طبق نمودار ۱ـ۵ اگر هدایت مخصوص مس را بدانیم، به آسانی می‌توانیم هدایت مخصوص سایر فلزات را به‌دست آوریم.



نمودار ۱ـ۵ـ مقایسه‌ی هدایت مخصوص فلزات مختلف

تمرین ۱ـ اگر هدایت مخصوص مس ۵۶ باشد، هدایت مخصوص آلومینیم چه‌قدر است؟

$$\frac{\kappa Al}{\kappa Cu} = ۰/۶۲۵ \Rightarrow \frac{\kappa Al}{۵۶} = ۰/۶۲۵$$

$$\Rightarrow \kappa Al = ۵۶ \times ۰/۶۲۵$$

$$\boxed{\kappa Al = ۳۵}$$

۳ـ۵ـ مقاومت الکتریکی مخصوص

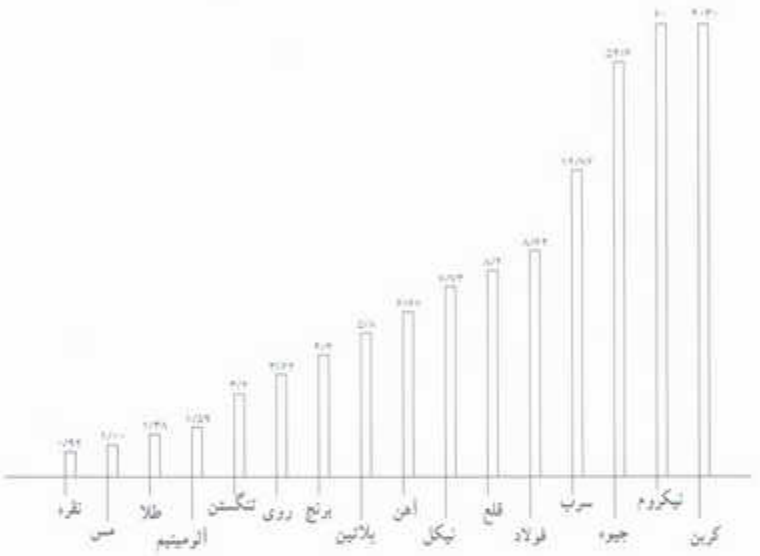
هدایت مخصوص نشانگر سهولت عبور جریان الکتریکی از یک جسم است. هرچه هدایت مخصوص بیش‌تر باشد، جسم جریان الکتریکی بیش‌تری را عبور می‌دهد. با همین استدلال، هدایت مخصوص کوچک‌تر نمایان‌گر آن است که جریان الکتریکی به سختی از جسم عبور می‌کند. به عبارت دیگر، اجسام با هدایت مخصوص کم در مقابل عبور جریان، مقاومت یا مخالفت زیادتری می‌کنند و طبعاً بعضی مواد نسبت به مواد دیگر مقاومت بیش‌تری دارند. در واقع، هدایت مخصوص و مقاومت مخصوص در برابر عبور جریان دو مفهوم مخالف یک‌دیگرند که در مورد یک ماده همیشه وجود دارند. در واقع، آن‌ها دو روی یک سکه‌اند که نمی‌توانند جدا از هم وجود داشته باشند. هر جسمی که هدایت مخصوص آن زیاد باشد، مقاومت مخصوصش کم است و برعکس.

جسمی که مقاومت مخصوصش زیاد باشد، دارای هدایت مخصوص کمی است. مقاومت مخصوص را با ρ (رو) نمایش می‌دهند و رابطه‌ی آن با هدایت مخصوص چنین است: $\rho = \frac{1}{\kappa}$.

بنا به تعریف، مقاومت سیمی به طول یک متر و سطح مقطع یک میلی‌متر مربع را **مقاومت مخصوص** می‌نامند.

۴ــ۵ــ مقایسه‌ی مقاومت مخصوص فلزات

دیدیم که هدایت مخصوص فلزات مختلف طبق نمودار ۱ــ۵ نسبت به مس سنجیده می‌شود. همین کار را در مورد مقاومت مخصوص نیز می‌توان انجام داد. نمودار ۲ــ۵ مقاومت مخصوص نسبی سایر فلزات را نسبت به فلز مس نمایش می‌دهد.

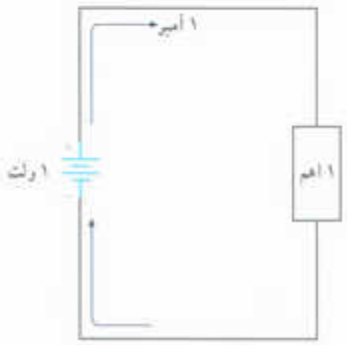


نمودار ۲ــ۵ــ مقاومت مخصوص نسبی سایر فلزات نسبت به مس

۵ــ۵ــ واحد مقاومت

در حدود سال‌های ۱۸۰۰ یک دانشمند آلمانی به نام گئورگ سیمون اُهم آزمایش‌هایی در مورد مدارها و هادی‌ها انجام داد و نکات مهمی را در مورد ماهیت مقاومت الکتریکی کشف کرد. برای قدردانی از این شخص، واحد مقاومت به نام او اُهم نامیده شده است.

یک اُهم مقاومت هادی‌ای است که تحت اختلاف پتانسیل یک ولت، شدت جریانی معادل یک آمپر از آن عبور کند. در صورتی که با ولتاژ ۱ ولت شدت جریان عبوری نیم‌آمپر شود، مقاومت دو برابر حالت قبل ــ یعنی دو اُهم ــ خواهد بود. با استفاده از این نسبت، مقاومت مطلق همه‌ی هادی‌ها ــ در هر اندازه و شکلی که باشند ــ قابل محاسبه است. واحد مقاومت را با علامت (Ω) نمایش می‌دهند.



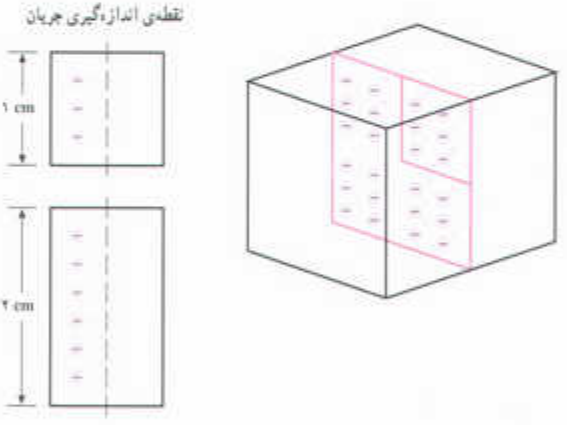
شکل ۱ــ۵ــ تعریف اهم

۶ـ۵ـ مقاومت الکتریکی

عبور جریان الکتریکی از هادی‌ها از بسیاری جهات شبیه عبور گاز از یک لوله است. اگر این لوله پر از پشم فلزی یا ماده‌ی متخلخلی باشد، این شباهت بیش‌تر می‌شود. اتم‌های تشکیل دهنده‌ی سیم هادی از عبور الکترون‌ها جلوگیری می‌کنند؛ همان‌طور که الیاف پشم فلزی مانع عبور مولکول‌های گاز می‌شوند. حال می‌خواهیم ببینیم که مقاومت هادی‌ها به غیر از جنس فلز به چه عوامل دیگری بستگی دارد.

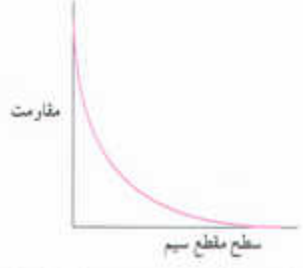
تأثیر سطح مقطع هادی بر مقاومت الکتریکی: مقاومت هر جسمی به تعداد الکترون‌های آزاد آن بستگی دارد. مطالبی را که پیش از این گفته‌ایم، به خاطر بیاورید. واحد شدت جریان الکتریکی آمپر است. یک آمپر یعنی این‌که $۶/۲۸\times۱۰^{۱۸}$ الکترون آزاد در هر ثانیه از هر نقطه‌ی سیم عبور می‌کند. پس یک هادی خوب باید به مقدار کافی الکترون آزاد داشته باشد تا جریان الکتریکی با چندین آمپر بتواند از آن عبور کند. مقدار جریان الکتریکی به تعداد الکترون‌های آزاد موجود در سیم بستگی دارد؛ بنابراین، با ضخیم کردن سیم می‌توانیم تعداد الکترون‌های آزاد را بیش‌تر کنیم تا مقدار بیش‌تری جریان الکتریکی بتواند از آن عبور کند.

یک قطعه مس به ارتفاع ۲ و عرض ۱ سانتی‌متر در محل اندازه‌گیری جریان الکتریکی دو برابر قطعه مسی به ارتفاع ۱ و عرض ۱ سانتی‌متر الکترون آزاد قابل دسترسی دارد. پس مس به ارتفاع دو برابر، دوبار بیش‌تر جریان را هدایت می‌کند. چنان‌چه پهنای قطعه مسی که به کار می‌برید دو برابر باشد، قابلیت هدایت آن دو برابر و مقاومت آن نصف می‌شود.



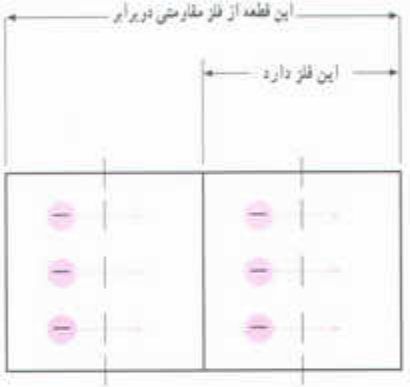
شکل ۲ـ۵ـ تأثیر سطح مقطع در مقاومت

بنابراین، طبق شکل ۲ـ۵ هرگاه پهنای فلز افزایش یابد، در حقیقت سطح مقطع زیادتر و در نتیجه، مقاومت کم‌تر می‌شود. نمودار ۳ـ۵ تغییرات مقاومت نسبت به سطح مقطع هادی را نمایش می‌دهد. طبق این نمودار هرقدر سطح مقطع افزایش پیدا می‌کند، مقاومت الکتریکی کم‌تر می‌شود.



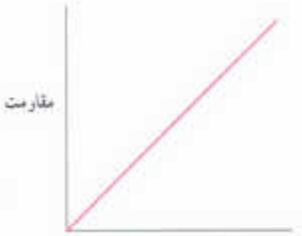
نمودار ۳ـ۵ـ تغییرات مقاومت برحسب سطح مقطع هادی

تأثیر طول هادی بر مقاومت الکتریکی: با افزایش سطح مقطع یک هادی، در واقع مقدار بیش‌تری الکترون آزاد برای عبور جریان الکتریکی ایجاد می‌شود و مقاومت هادی کاهش می‌یابد. شاید تصور کنید که با افزایش طول هادی عبور جریان راحت‌تر می‌شود ولی چنین نیست. اگر چه در یک قطعه مس بلندتر تعداد بیش‌تری الکترون آزاد وجود دارد ولی الکترون‌های آزاد اضافی در طول سیم، در اندازه‌گیری جریان الکتریکی داخل نمی‌شوند. در واقع هر طول معین از هادی، مقدار معینی مقاومت دارد و هرچه سیم طویل‌تر باشد، مقاومت آن نیز بیش‌تر است.



شکل ۳ـ۵ـ تأثیر طول هادی در مقاومت

نمودار ۴ـ۵ تغییرات مقاومت برحسب طول هادی را نشان می‌دهد. طبق این نمودار هر قدر طول هادی زیاد شود، مقاومت افزایش می‌یابد.



نمودار ۴ـ۵ـ تغییرات مقاومت به طول سیم

رابطه‌ی کلی مقاومت الکتریکی هادی: همان‌طور که قبلاً گفتیم، اگر طول یک سیم (l) را زیاد کنیم، مقاومت آن زیاد می‌شود و برعکس، اگر طول سیم را کم کنیم، مقاومت آن کم می‌شود.

طبق شکل ۴ـ۵ اگر طول سیم را مثلاً دو برابر کنیم، مقاومت آن را دوبرابر کرده‌ایم. پس مقاومت یک سیم با طول آن نسبت مستقیم دارد.

شکل ۴ـ۵ـ اثر افزایش طول

هم‌چنین می‌توان با اضافه کردن سطح مقطع (A) مقاومت را کم کرد و با کم‌کردن سطح مقطع بر مقاومت افزود.

طبق شکل ۵ـ۵ اگر سطح مقطع سیم را دوبرابر کنیم، مقاومت آن نصف می‌شود. در نتیجه، می‌گوییم مقاومت با سطح مقطع نسبت عکس دارد.

شکل ۵ـ۵ـ اثر افزایش سطح مقطع

حال اگر طبق شکل ۶ـ۵ طول دوبرابر و سطح مقطع دو برابر شود، مقاومت الکتریکی نسبت به وضعیت قبلی تغییر نخواهد کرد.

شکل ۶ـ۵ـ افزایش طول و سطح مقطع به میزان دو برابر مقاومت را تغییر نمی‌دهد.

پیش از این در تعریف مقاومت مخصوص و هدایت مخصوص گفتیم که این پارامترها به جنس هادی بستگی دارند؛ بنابراین، رابطه‌ی کلی مقاومت با سطح مقطع، طول و جنس سیم را با فرمول‌های زیر نشان می‌دهند.

$$R = \rho\frac{l}{A} \quad و \quad R = \frac{l}{\kappa.A}$$

در این رابطه، R مقاومت سیم بر حسب Ω، l طول سیم برحسب متر، A سطح مقطع سیم بر حسب میلی‌متر مربع و ρ مقاومت مخصوص بر حسب $\frac{\Omega mm^2}{m}$ و κ هدایت مخصوص بر حسب $\frac{m}{\Omega mm^2}$ است.

مثال ۱ــ سیم مسی به طول ۱۱۲ متر به سطح مقطع $4mm^2$ و هدایت مخصوص $\kappa = 56$ مفروض است. مقاومت الکتریکی سیم چند اهم است؟

$$R = \frac{l}{\kappa.A} = \frac{112}{56\times 4} = 0/5\Omega \rightarrow \boxed{R = 0/5\Omega}$$

مثال ۲ــ برای ساختن یک مقاومت الکتریکی ۱۰ اهمی، چند متر سیم آلومینیمی با سطح مقطع $1/5mm^2$ مورد نیاز است، در صورتی که $\kappa_{Al} = 35$ باشد.

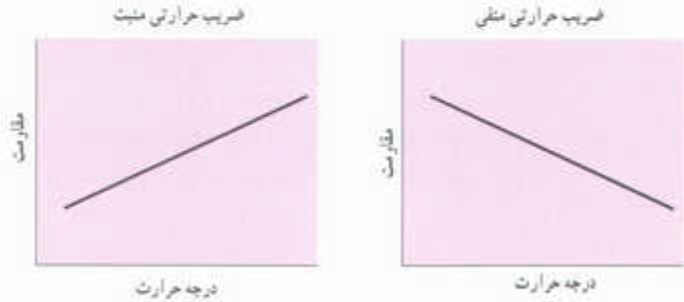
$$R = \frac{l}{\kappa.A} \Rightarrow 10 = \frac{l}{35\times 1/5} \Rightarrow l = 10\times 35\times 1/5$$

$$\boxed{l = 525m}$$

اثر حرارت بر مقاومت الکتریکی: در واقع، آنچه در مورد مقاومت گفته شد، همه در دمای اتاق صادق است. اما در دماهای کم‌تر یا بیش‌تر، مقدار مقاومت کلیه‌ی فلزات تغییر می‌کند. تغییر مقاومت بر اثر حرارت در فلزات مختلف متفاوت است؛ بنابراین، باید برای هر فلز ضریبی را تعریف کرد که آن را **ضریب حرارتی** می‌نامند. تغییرات مقاومت به ازای یک درجه‌ی سانتی‌گراد را، ضریب حرارتی می‌گویند و آن را با (α) نمایش می‌دهند؛ برای مثال اگر $\alpha = 0/004$ باشد، یعنی این‌که مقاومت آن جسم به ازای یک درجه‌ی سانتی‌گراد ۰/۰۰۴ اهم افزایش یا کاهش می‌یابد. اگر مقاومت الکتریکی جسمی براثر حرارت افزایش یابد، ضریب حرارتی (α) مثبت و در صورت کاهش مقاومت، ضریب حرارتی (α) منفی خواهد بود. در مورد اول، فلز را PTC[1] و در مورد دوم NTC[2] می‌نامند.

بنابراین، مقاومت یک جسم در اثر افزایش حرارت چنین خواهد شد:

$$R_t = R_0 + R_0\alpha t$$



نمودار ۵ــ۵ــ اجسام با ضرایب حرارتی مثبت و منفی

که در آن R_0 مقاومت در صفر درجه و $R_0\alpha t$ مقدار تغییر مقاومت است. چون در رابطه‌ی R_0 ، $R_0\alpha t$ بر حسب (Ω) و t افزایش دما بر حسب (°C) است، لزوماً ضریب حرارتی (α) برحسب $\frac{1}{°C}$ خواهد بود. اگر در رابطه‌ی ذکر شده قبل از R_0 فاکتور بگیریم، خواهیم داشت:

$$R_t = R_0(1 + \alpha t)$$

مثال ۳ــ مقاومت الکتریکی سیمی در صفر درجه‌ی سانتی‌گراد ۱۰۰ اهم است. اگر دمای سیم به ۲۵۰ درجه‌ی

۱ــ PTC = Positive Temprature Coefficient
۲ــ NTC = Negative Temprature Coefficient

سانتی‌گراد برسد، مقاومت الکتریکی آن چند اهم می‌شود؟

$$\alpha = ۰/۰۰۴\ \frac{۱}{C}$$

$$R_t = R_۰(۱+\alpha t) = ۱۰۰(۱+۰/۰۰۴\times ۲۵۰)$$

$$\boxed{R_t = ۲۰۰\Omega}$$

در صورتی که دمای مقاومتی در $t_۱$ درجه $R_{t_۱}$ اهم باشد، برای محاسبه‌ی مقاومت آن در $t_۲$ درجه به این ترتیب عمل می‌کنیم:

$$① \quad R_{t_۱} = R_۰(۱+\alpha t_۱)$$

$$② \quad R_{t_۲} = R_۰(۱+\alpha t_۲)$$

اگر دو رابطه‌ی ۱ و ۲ را بر هم تقسیم کنیم، خواهیم داشت:

$$\boxed{\frac{R_{t_۱}}{R_{t_۲}} = \frac{۱+\alpha t_۱}{۱+\alpha t_۲}}$$

مثال ۴ــ مقاومت سیمی در $۲۵^\circ C$، ۱۱۰Ω است. اگر دمای سیم به $۲۵۰^\circ C$ برسد، مقاومت آن چه‌قدر می‌شود؟

$$\frac{R_{t_۱}}{R_{t_۲}} = \frac{۱+\alpha t_۱}{۱+\alpha t_۲} \Rightarrow \frac{۱۱۰}{R_{t_۲}} = \frac{۱+۰/۰۰۴\times ۲۵}{۱+۰/۰۰۴\times ۲۵۰} = \frac{۱/۱}{۲}$$

$$R_{t_۲} = \frac{۲\times ۱۱۰}{۱/۱} \Rightarrow \boxed{R_{t_۲} = ۲۰۰\Omega}$$

۷ــ۵ــ مقاومت‌های الکتریکی یک مدار

فرض کنید که یک بار الکتریکی را به یک منبع ولتاژ وصل کرده‌ایم. گاهی ممکن است جریانی بیش از حد در مدار جاری شود. زمانی این اتفاق می‌افتد که مقاومت بار الکتریکی خیلی کم یا ولتاژ خروجی منبع خیلی زیاد باشد. شدت جریان را با کم کردن ولتاژ منبع می‌توان کم کرد اما معمولاً این کار ممکن نیست. بنابراین تنها راه این است که مقاومتی به مدار اضافه کنیم تا جریان را کم کند.

شکل ۷ــ۵ــ مقاومت‌های مدار

این کار را می‌توان با اضافه کردن مقاومت به بار الکتریکی یا منبع یا سیم‌های رابط انجام داد اما از طرفی، مقاومت‌های بار الکتریکی و منابع ولتاژ برحسب شرایطی تنظیم شده‌اند و نمی‌توان آن‌ها را تغییر داد. پس تنها راه، تغییر مقاومت سیم‌های رابط است ولی مقاومت این سیم‌ها آن‌قدر کم است که شاید حدود چندین کیلومتر سیم لازم باشد تا مقاومت چند صد اهم به مدار اضافه شود. البته می‌توان از سیمهایی با مقاومت زیاد نیز استفاده کرد. در گذشته در بعضی موارد این کار را انجام می‌دادند ولی چون لازمه‌ی آن استفاده از انواع مختلف سیم‌های رابط است، این کار غیر ممکن است.

شکل ۸ــ۵ــ افزایش مقاومت سیم‌های رابط

بنابراین، برای رفع این مشکل باید روشی را به کار بگیریم که به آسانی بتوانیم هر مقدار مقاومت دلخواه را به مدار اضافه کنیم؛ بدون این‌که در اندازه‌های مدارمان تغییرات عمده‌ای بدهیم یا مولدمان را عوض کنیم. مقاومت‌ها، عناصر مداری الکتریکی کوچکی هستند که برای دست‌یابی به این منظور مورد استفاده قرار می‌گیرند.

شکل ۹ــ۵ــ افزودن مقاومت به مدار

۸ــ۵ــ کاربرد مقاومت‌های الکتریکی

مقاومت‌های اهمی برای اضافه کردن مقاومت به مدارهای الکتریکی به‌کار می‌روند. در حقیقت، آن‌ها اجسامی هستند که در مقابل عبور جریان مقاومت زیادی از خود نشان می‌دهند. موادی

که غالباً در مقاومت‌ها به‌کار می‌روند عبارت‌اند از کربن، آلیاژ مخصوص از فلزاتی از قبیل نیکروم، کنستانتان و منگانان. مقاومت اهمی را طوری به مدار می‌بندیم که جریان همان‌طور که از بار الکتریکی و منبع ولتاژ عبور می‌کند، از آن هم بگذرد. در این صورت، مقاومت کل مدار مجموع مقاومت‌های بار الکتریکی، منبع ولتاژ، سیم‌های رابط و مقاومت اهمی است. توجه داشته باشید که فقط با اضافه کردن یک مقاومت اهمی مناسب به مدار می‌توان مقاومت کل مدار را به اندازه‌ی دلخواه تغییر داد.

مقاومت‌ها اجزائی هستند که مقاومت مدار را زیاد می‌کنند. آن‌ها از موادی با هدایت کم و در اندازه‌ها و شکل‌های متنوع ساخته شده‌اند.

شکل ۱۰ـ۵ـ انواع مقاومت‌ها

۹ـ۵ـ مقادیری که روی مقاومت‌ها می‌نویسند

روی مقاومت‌های الکتریکی علاوه بر میزان مقاومت، مقادیر تلرانس و جریان مجاز نیز نوشته می‌شود.

تلرانس (میزان خطای مجاز): مشخصه‌ی اصلی هر مقاومت، مقدار اهم مقاومتی است که دارد و به آن **مقدار مقاومت** می‌گویند. معمولاً این مقدار بر روی مقاومت نوشته شده و مقدار «نامی» آن است. مقدار حقیقی ممکن است کمی بیش‌تر یا کم‌تر از مقدار نامی باشد. علت این امر آن است که مقاومت‌ها را معمولاً در کارخانه‌ها به روش «تولید انبوه» (mass production) می‌سازند و مانند تمام تولیداتی که به این روش ساخته می‌شوند، خطاهایی در آن‌ها روی می‌دهد. برای به حساب آوردن این خطا، تقریب خطا (تلرانس) را نیز در روی مقاومت مشخص می‌کنند.

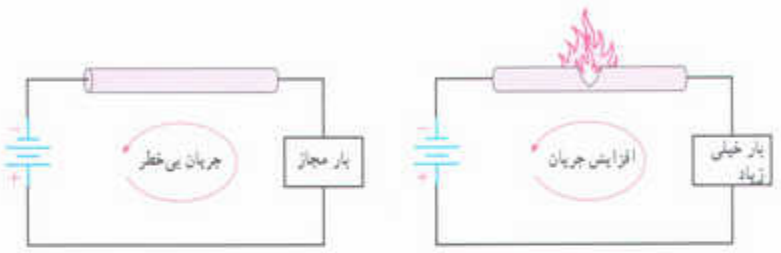
شکل ۱۱ـ۵ـ تلرانس مقاومت‌های مختلف

تلرانس یک مقاومت معمولاً به صورت درصد نوشته می‌شود و نشان می‌دهد که مقدار واقعی مقاومت‌ها تا چه مقدار بیش‌تر یا کم‌تر از مقدار نامی آن‌هاست؛ مثلاً، مقاومتی به مقدار نامی ۱۰۰ اهم و تقریب خطای ۱۰ درصد مقاومتی بین ۹۰ تا ۱۱۰ اهم خواهد داشت. تلرانس اکثر مقاومت‌ها معمولاً ۵، ۱۰ یا ۲۰ درصد است. هر چه تلرانس مقاومت کم‌تر باشد، مقاومت بهتر و قیمت آن بیش‌تر است.

جریان مجاز: وقتی که جریان الکتریکی از سیمی عبور می‌کند، سیم گرم می‌شود. علت این امر مقاومت سیم‌هاست. هرچه این مقاومت بیش‌تر باشد، گرمای بیش‌تری تولید می‌شود. در یک مقاومت، مواد تشکیل دهنده در حجم کوچکی متمرکز شده‌اند؛ بنابراین، حرارت تولید شده توسط جریان الکتریکی نیز در مساحت کوچکی تولید می‌شود، در نتیجه، این مقاومت در اتصال با مدار ممکن است خیلی گرم شود. مقاومت یا باید بتواند گرمای تولید شده را دفع کند، یا آن را به هوای اطراف انتقال

دهد. در غیر این صورت، مقاومت صدمه می‌بیند یا از بین می‌رود. حتی اگر گرما آن‌قدر نباشد که به مقاومت صدمه بزند، در مقاومت آن تأثیر زیادی خواهد داشت؛ زیرا همان‌طور که می‌دانید، مقاومت کلیه‌ی اجسام با تغییر دما، تغییر می‌کند.

هر مقاومتی یک جریان ماکزیمم حد دارد. پس، نباید آن را در مداری که بیش‌تر از مقدار ماکزیمش در آن جریان الکتریکی جاری است، به کار گرفت. در غیر این صورت، ممکن است مقاومت بسوزد. این میزان جریان در هر مقاومت به صورت میزان «واتی» آن داده می‌شود.



شکل ۱۲ـ۵ـ جریان مجاز مقاومت‌ها

۱۰ـ۵ـ انواع مقاومت های الکتریکی

با توجه به مطالبی که تاکنون در مورد مقاومت ها خوانده‌اید، ممکن است فکر کنید که انتخاب یک مقاومت مناسب برای مدارکار آسانی است و تنها با درنظر گرفتن مقدار نامی مقاومت و تقریب خطای آن و مقدار جریان مجاز، می‌توانید آن را انتخاب کنید. اگر چه این مقادیر اهمیت دارند ولی نکات دیگری را نیز باید در نظر گرفت، از قبیل قیمت، استقامت، روش نصب و میزان تأثیر حرارت. بنابراین، با درنظر گرفتن همه‌ی این نکات باید مقاومت مناسب را انتخاب کرد.

مقاومت‌ها از نظر جنس و ساخت به سه دسته‌ی کلی زیر تقسیم می‌شوند:

ـ مقاومت‌های ترکیبی
ـ مقاومت‌های سیم پیچی
ـ مقاومت‌های لایه‌ای

مقاومت‌های ترکیبی: در اغلب مواقع، کیفیت یک مقاومت نسبت به ارزش اقتصادی آن در درجه‌ی دوم اهمیت قرار می‌گیرد. در این گونه موارد از مقاومت‌های ترکیبی استفاده می‌کنند. اکثر مقاومت‌های ترکیبی اساساً شامل المان مقاومتی بودرکربن، بدنه‌ی استوانه‌ای کائوچویی برای پوشاندن و محافظت کردن آن و سیم‌های دو سر مقاومت برای اتصال مقاومت به مدار هستند.

همان‌طور که در نمودار ۲ـ۵ دیدید، مقاومت معادل ۲۰۳۰ برابر مس است. بنابراین، تنها مقدار کمی کربن مقاومت زیادی تولید می‌کند. بودر کربن با جسم عایقی مخلوط می‌شود. در نتیجه، مقدار مقاومت به نسبت کربن و الیاف استفاده شده بستگی دارد.

برای تولید مقاومت‌های کم‌تر از ۱۰ اهم تا بیش‌تر از ۲۰ میلیون اهم (۲۰MΩ) و با تقریب، ۵، ۱۰، ۲۰ درصد آن‌ها نمی‌توانند جریان‌های زیاد را بدون گرم شدن انتقال دهند. بنابراین، ضریب حرارتی بالایی دارند. محاسن این مقاومت‌ها کوچک بودن جثه، زمخت (سخت) بودن و قیمت کم است. عموماً مقاومت‌های ترکیبی در مواردی که با شدت جریان‌های زیاد و تقریب خوب سروکار نداریم، به کار می‌رود.

شکل ۱۳ـ۵ـ مقاومت ترکیبی

مقاومت‌های سیم‌پیچی: مقاومت‌های ترکیبی دو ضعف عمده دارند: ۱ــ آن‌ها را در مدارهایی با جریان زیاد نمی‌توان به کار برد. ۲ــ آن‌ها را به تقریب خطای کم نمی‌توان تهیه کرد. این دو نقص را با بهبود ساختمان این مقاومت‌ها از طریق استفاده از عناصر مقاومتی حاصل از سیم‌های مقاومت‌دار به جای پودر کربن می‌توان برطرف کرد که البته این کار سبب افزایش قیمت مقاومت می‌شود. معمولاً طول زیادی از سیم لازم است تا بتوان مقاومت زیادی را تولید کرد. بدین جهت، سیم‌ها را به دور یک هسته می‌پیچند. به مقاومت‌هایی که به این صورت ساخته می‌شوند، مقاومت‌های **سیم‌پیچی** شده می‌گویند.

شکل ۱۴ــ۵ــ مقاومت سیم‌پیچی

به‌طور کلی، دو نوع مقاومت سیم‌پیچی وجود دارد: ۱ــ قدرتی ۲ــ دقیق. نوع قدرتی در مدارهای با جریان زیاد به‌کار می‌رود و نوع دقیق برای مواقعی که مقاومت‌های با تقریب خطای خیلی کم مورد نیاز است. این دو نوع از طریق پیچیدن سیمی از جنس آلیاژ مخصوص به دور یک هسته‌ی عایق که روی آن با رویوش سرامیکی یا پلاستیکی یا ماده‌ی عایق دیگری پرشده است، به دست می‌آیند. دو انتهای سیم‌هایی را که به دور هسته‌ی عایق می‌پیچند، رویوش‌دار می‌کنند و این سرهای رویوش‌دار را به عنوان دو سر مقاومت برای اتصال به مدار به کار می‌برند. هنگامی که مقاومت‌های قدرتی مورد استفاده قرار می‌گیرند ــ یعنی جریان زیادی از مدار عبور می‌کند ــ حرارت زیادی نیز تولید می‌شود. در نتیجه، لازم است این حرارت به هوای اطراف منتقل شود یا به روش‌های دیگری از بین برود. به همین دلیل، این مقاومت‌ها بزرگ‌تر ساخته می‌شوند؛ چون هر چه مساحت بیش‌تری داشته باشند، حرارت بیش‌تری را منتقل می‌کنند. مقاومت‌های سیم‌پیچی قدرتی معمولاً از چند اهم تا چند کیلو اهم با تقریب ۱۰ یا ۲۰ درصد تولید می‌شوند. مقاومت‌های سیم پیچی دقیق در حدود ۰/۱ اهم ساخت می‌شوند و تقریب خطایشان کم‌تر از ۰/۱٪ است. برای تولید مقاومت نوع دقیق از مواد گران‌قیمت و روش‌های ساخت خاص استفاده می‌شود؛ به همین دلیل، این مقاومت‌ها بسیار گران قیمت‌اند.

شکل ۱۵ــ۵ــ مقاومت لایه‌ای

مقاومت‌های لایه‌ای: مقاومت‌های لایه‌ای ترکیبی از مقاومت‌های ترکیبی و مقاومت‌های سیم‌پیچی هستند. بدین ترتیب که استحکام و دقت مقاومت‌های سیم پیچی را دارند ولی کوچک‌تر و به مراتب زمخت‌تر و ارزان‌ترند.

مقاومت‌های لایه‌ای را معمولاً با رسوب دادن نوار نازکی از ماده‌ی مقاومت بر یک لوله‌ی سرامیکی یا شیشه‌ای درست می‌کنند. دو سیم رابط برای اتصال مقاومت به مدار به پوشش‌های انتهای لوله وصل شده‌اند و برای محافظت مقاومت نیز تمام آن را با ماده‌ی عایقی روکش می‌کنند.

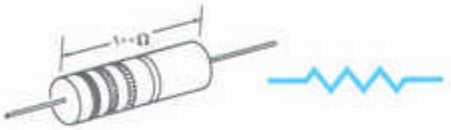
مقاومت لایه‌ای براساس جنس به کار رفته در لایه و ضخامت آن نام‌گذاری می‌شود. به‌طور کلی ضخامت این گونه مقاومت‌ها بین ۰/۰۰۰۰۲ تا ۰/۰۰۰۰۰۰۲ سانتی‌متر است. به همین دلیل، معمولاً به آن‌ها **مقاومت‌های لایه‌ای نازک** می‌گویند.

۱۱ــ۵ــ طبقه‌بندی مقاومت‌ها از نظر نوع کار

تاکنون آموختید که چگونه مقاومت‌ها را بر حسب جنس طبقه‌بندی می‌کنند. ولی راه دیگری هم برای طبقه‌بندی مقاومت‌ها

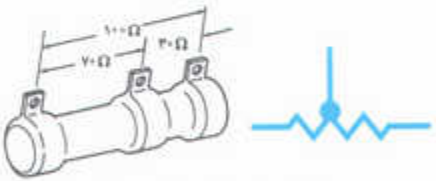
وجود دارد. در این طبقه‌بندی، مقاومت‌ها را از نظر نوع کار به دو دسته تقسیم می‌کنند: مقاومت‌های ثابت، مقاومت‌های متغیر.

۱ــ مقاومت‌های ثابت: مقاومت‌های ثابت دو سیم رابط دارند که به دو انتهای مقاومت متصل است. وقتی این مقاومت‌ها در مدار قرار بگیرند، مقاومت آن‌ها به مدار اضافه می‌شود. اصولاً مقاومت‌های ثابت مقدار مقاومت معینی دارند. ولی بعضی از آن‌ها دارای مقاومت‌های متفاوتی هستند. این مقاومت‌ها به دو دسته‌ی الف ــ مقاومت‌های زبانه‌دار و ب ــ مقاومت‌های قابل تنظیم تقسیم می‌شوند.



شکل ۱۶ــ۵ــ مقاومت ثابت

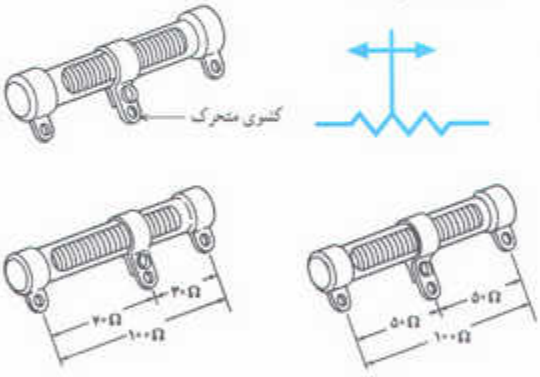
الف ــ مقاومت‌های زبانه‌دار: در این نوع مقاومت‌ها معمولاً علاوه بر دو سیم انتهایی، سر سیم‌های دیگری نیز بین دو سر مقاومت وجود دارد. با اتصال ترمینال‌های مختلف به مدار، مقاومت‌های متفاوتی حاصل می‌شود. هر یک از این مقاومت‌ها خود به تنهایی مقاومت ثابتی هستند. این نوع مقاومت‌ها را **مقاومت‌های زبانه‌دار** نیز می‌نامند.



شکل ۱۷ــ۵ــ مقاومت ثابت زبانه‌دار

ب ــ مقاومت‌های قابل تنظیم: دیدید که مقاومت‌های ثابت به هیچ‌وجه قابلیت انعطاف ندارند؛ زیرا مقاومتشان کاملاً تعیین شده و مقدار آن تغییر ناپذیر است. مقاومت‌های زبانه‌دار تا حدودی قابلیت انعطاف دارند؛ چون بیش از یک مقدار مقاومت می‌توان از آن‌ها به دست آورد. با وجود این، تعداد مقاومت‌هایی را که می‌توان از آن‌ها به دست آورد به ۳ یا ۴ محدود می‌شود.

آن‌چه اغلب مورد نیاز است، مقاومتی است که به وسیله‌ی آن بتوان حدود معینی از مقاومت را از صفر تا یک مقدار حداکثر به‌دست آورد؛ برای مثال، مقاومتی که بتوان آن را برای هر مقدار بین صفر و ۱۰۰ اهم یا صفر و ۲۵ اهم تنظیم کرد. مقاومتی که این انعطاف‌پذیری را دارد، مقاومت قابل تنظیم است. مقاومت قابل تنظیم مشابه مقاومت ثابت زبانه‌دار سیم‌پیچی شده است؛ با این تفاوت که مقداری از سیم‌پیچی یا تمام آن در مسیر جریان قرار گرفته است. یک کشوی متحرک و ترمینالی متصل به آن در تمام طول سیم‌پیچی حرکت می‌کند. مقاومت بین ترمینال متحرک و هریک از ترمینال‌های انتهایی، به وضعیت کشوی متحرک بستگی دارد. این مقاومت‌ها طوری ساخته نشده‌اند که بتوان آن‌ها را پیوسته تغییر داد. در واقع، هنگام نصب این مقاومت‌ها در مدار، آن‌ها را روی مقاومت دلخواه تنظیم کرده و سپس با همان مقاومت در مدار کار می‌کنند.

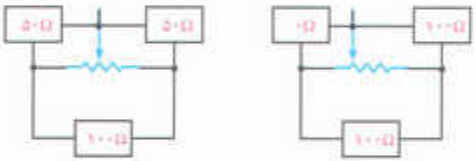


شکل ۱۸ــ۵ــ مقاومت‌های قابل تنظیم

۲ــ مقاومت‌های متغیر: در بسیاری از وسایل الکتریکی، مقدار بعضی از مقاومت‌ها باید پیوسته تغییر کند؛ پیچ ولوم رادیو، کنترل کننده‌ی روشنایی تلویزیون، تنظیم کننده‌ی نور چراغ الکتریکی یا کنترل کننده‌ی سرعت موتور از آن جمله‌اند. بدین ترتیب، در این وسایل نمی‌توان از مقاومت‌های قابل تنظیم استفاده کرد؛ زیرا استفاده از آن‌ها مشکل و وقت‌گیر است. در این موارد مقاومت‌هایی مورد استفاده قرار می‌گیرند که در محدوده‌ی معینی از مقاومت‌ها به طور پیوسته قابل تغییرند و این کار در آن‌ها به‌آسانی

انجام می‌گیرد. مقاومت‌هایی که این کار را انجام می‌دهند، **مقاومت‌های متغیر** نامیده می‌شوند. معمولاً یک مقاومت متغیر از المان مقاومتی دوار که درون محفظه‌ای قرار گرفته، تشکیل شده است. این المان مقاومتی ممکن است به صورت سیم‌پیچی، ترکیبی و لایه‌ای باشد. یک کنتاکت متحرک نیز بر روی این مقاومت حرکت می‌کند و در نتیجه، اتصال الکتریکی با آن برقرار می‌شود.

شکل ۱۹ـ۵ـ مقاومت متغیر

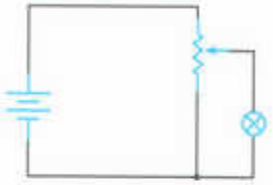


شکل ۲۰ـ۵ـ نمایش مقاومت متغیر

کنتاکت متحرک به وسیله‌ی یک محور گردان بر روی المان مقاومتی می‌لغزد. مقاومت بین کنتاکت متحرک و انتهای المان مقاومت، به وضعیت میله نسبت به محور بستگی دارد. هرگاه یک انتهای المان مقاومتی و کنتاکت متحرک به ترمینال‌های خارجی متصل باشند، این مقاومت متغیر را **رئوستا** می‌نامند. رئوستا برای تغییر جریان به کار می‌رود.

شکل ۲۱ـ۵ـ رئوستا

هنگامی که هر سه ترمینال مقاومت متغیر به مدار متصل‌اند، این مقاومت متغیر **پتانسیومتر** نام دارد. پتانسیومتر برای تغییر ولتاژ مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل ۲۲ـ۵ـ پتانسیومتر

۱۲ـ۵ـ شناسایی مقاومت‌ها از روی نوار رنگی

مقدار مقاومت همه‌ی مقاومت‌ها به نحوی روی آن‌ها نوشته می‌شود. در ساده‌ترین حالت، مقدار مقاومت را بر روی بدنه‌ی مقاومت می‌نویسند؛ برای مثال، ۵۰ اهم یا ۱۰۰۰ اهم. این روش در مورد مقاومت‌های بزرگ قدرت یا مقاومت‌های دقیق و مقاومت‌های متغیر نیز به کار می‌رود ولی در مورد مقاومت‌های نایت کوچک و ترکیبی، غیرعملی است. این نوع مقاومت‌ها اغلب آن‌قدر کوچک‌اند که عدد نویسی بر روی آن‌ها غیر ممکن است. هم‌چنین، آن‌ها معمولاً لوله‌ای شکل‌اند و سیم‌های رابط محوری دارند و به همین دلیل، به هر وضعیتی در مدار قرار می‌گیرند؛

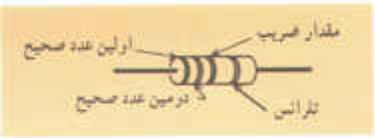
شکل ۲۳ـ۵ـ تعیین مقاومت‌ها با استفاده از کد رنگی

بنابراین، ممکن است قسمت نوشته شده‌ی آن‌ها دور از دید قرار گیرد و غیرقابل خواندن باشد. البته می‌توان اعداد را در تمام نقاط مقاومت نوشت ولی این کار نیز بسیار پرخرج است. این مشکل با استفاده از نوارهای رنگی تقریباً مقدار مقاومت به‌راحتی

حل می‌شود. وضعیت و رنگ نوارها مقدار مقاومت را به‌خوبی نشان می‌دهد.

۱۳ـ۵ـ نحوه‌ی تعیین مقدار مقاومت‌ها از روی کد رنگی

اولین رقم صحیح: رنگ اولین نوار، نشان‌دهنده‌ی اولین رقم صحیح مقدار مقاومت است؛ برای مثال، با استفاده از جدول ۱ـ۵، اگر اولین رنگ زرد باشد، اولین رقم صحیح مقدار مقاومت ۴ است.



شکل ۲۴ـ۵ـ نحوه‌ی تعیین مقاومت از روی نوار رنگی

دومین رقم صحیح: رنگ نوار دوم بیان کننده‌ی رقم دوم مقاومت است؛ برای مثال در جدول رنگ‌ها، رنگ سیاه برای این نوار نشان می‌دهد که عدد دوم صفر است.

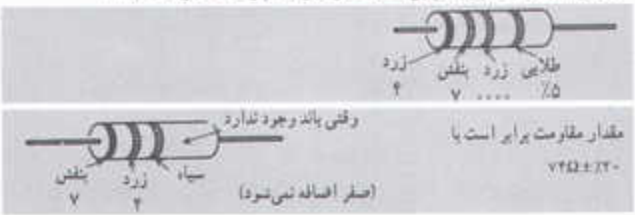
ضریب مقاومت: رنگ نوار سوم تعیین می‌کند که دو رقم اول در کدام مضرب از ده باید ضرب شوند تا مقدار مقاومت به‌دست آید؛ برای مثال، اگر این نوار به رنگ سبز باشد، با استفاده از جدول رنگ‌ها دو رقم اولیه باید در ۱۰۰/۰۰۰ ضرب شوند. به عبارت دیگر، می‌توان چنین گفت که این رنگ تعداد صفرهایی را که باید جلوی دو رقم دیگر گذاشته شود نشان می‌دهد تا مقدار نامی مقاومت به دست آید؛ مثلاً اگر این رنگ نارنجی باشد، باید سه صفر در جلوی دو رقم اضافه شود و اگر سیاه باشد هیچ صفری در جلوی آن قرار نمی‌گیرد.

حدود خطا (تلرانس): رنگ نوار چهارم بیان کننده‌ی حدود خطای مقاومت است؛ برای مثال، اگر این نوار به رنگ طلایی باشد، حدود خطای مقاومت ٪۵ ± است و چنان‌چه هیچ رنگی در نوار چهارم نباشد، حدود خطا ۲۰ درصد خواهد بود.

جدول ۱ـ۵ـ جدول کد رنگی

رنگ	اعداد صحیح	ضریب	تلرانس
سیاه	۰	۱	–
قهوه‌ای	۱	۱۰	–
قرمز	۲	۱۰۰	–
نارنجی	۳	۱۰۰۰	–
زرد	۴	۱۰،۰۰۰	–
سبز	۵	۱۰۰،۰۰۰	–
آبی	۶	۱،۰۰۰،۰۰۰	–
بنفش	۷	۱۰،۰۰۰،۰۰۰	–
خاکستری	۸	۱۰۰،۰۰۰،۰۰۰	–
سفید	۹	۱،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰	–
طلایی	–	۰/۱	٪۵ ±
نقره‌ای	–	۰/۰۱	٪۱۰ ±
بی‌رنگ	–	–	٪۲۰ ±

نحوه‌ی استفاده از جدول بالا چنین است: مقدار مقاومت عبارت است از: ٪۵ ± ۴۷۰K



خلاصه‌ی مطالب

- عناصر متناسب با مقاومت مخصوصی که در مقابل عبور جریان از خود نشان می‌دهند، نسبت به مقاومت مخصوص فلز مس سنجیده می‌شود.
- مقاومت الکتریکی هادی‌های خوب کم و مقاومت عایق‌ها زیاد است.
- مقاومت هر سیم به ابعاد و جنس آن بستگی دارد. هر چه سطح مقطع سیم بیش‌تر باشد، مقاومت الکتریکی کم‌تر و هرچه طول آن زیادتر باشد، مقاومت الکتریکی بیش‌تر است. به عبارت دیگر، مقاومت الکتریکی سیم با سطح مقطع نسبت عکس و با طول و جنس سیم نسبت مستقیم دارد.

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

- ضریب حرارتی یک جسم بیان کننده‌ی تاثیر حرارت بر مقاومت آن جسم است. ضریب حرارتی مثبت بدین معناست که با افزایش دما مقاومت زیاد می‌شود و ضریب حرارتی منفی بدین معناست که با افزایش دما مقاومت کم می‌شود.

$$\frac{R_{t_2}}{R_{t_1}} = \frac{1 + \alpha t_2}{1 + \alpha t_1} \qquad R = R_0(1 \pm \alpha t)$$

برای فلزاتی که ضریب حرارتی مثبت دارند علامت + و برای فلزاتی که ضریب حرارتی منفی دارند علامت − در نظر گرفته می‌شود.

- واحد مقاومت الکتریکی **اهم** است. در صورتی که ولتاژی معادل ۱ ولت به دو سر مقاومتی اعمال می‌شود و جریان ۱ آمپر از آن عبور کند، مقدار مقاومت ۱ اهم است.
- مقاومت کل یک مدار الکتریکی مجموع مقاومت‌های منبع ولتاژ، مصرف کننده و سیم‌های رابط است.
- معمولاً مقاومت مصرف کننده‌ی الکتریکی به‌مراتب از مقاومت سیم‌ها و منبع ولتاژ بیش‌تر است، به‌طوری که می‌توان مقاومت کل را در نظر گرفت.
- مقاومت‌ها را برای کنترل جریان الکتریکی در مدارها قرار می‌دهند.
- از نظر ساختمان سه نوع مقاومت وجود دارد: ترکیبی، سیم‌پیچی و لایه‌ای. امروزه مقاومت لایه‌ای کاربرد زیادی دارد.
- مقاومت‌های ترکیبی معمولاً از یک الماس مقاومتی با پودر کربن ساخته می‌شوند. آن‌ها دارای ضریب حرارتی زیاد، جریان مجاز کم و خطای زیاد هستند. مزایای این مقاومت‌ها، سختی، کوچکی اندازه و ارزان بودنشان است.
- مقاومت‌های سیم پیچی معمولاً از سیم‌های مقاومتی خاصی که به دور یک هسته پیچیده شده‌اند، ساخته می‌شوند. این مقاومت‌ها جریان مجاز زیادی دارند و از نوع مقاومت‌های قدرتی یا دقیق‌اند.
- مقاومت‌های لایه‌ای معمولاً از ماده‌ی مقاومتی ساخته می‌شوند که به صورت لایه‌ای نازک، بر روی لوله‌ی سرامیک یا شیشه لعاب داده می‌شوند.
- مقاومت‌های قابل تنظیم زبانه‌ی متحرکی دارند که در مدار برای مقاومت معینی تنظیم می‌شود. این نوع مقاومت‌ها برای تنظیم پی‌درپی ساخته نشده‌اند.
- مقاومت‌های متغیر مشابه مقاومت‌های قابل تنظیم‌اند؛ با این تفاوت که به‌طور مداوم در محدوده‌ی معینی

متغیرند. اگر هر سه ترمینال یک مقاومت متغیر در مدار متصل باشد، **پتانسیومتر** نام دارد. اگر فقط ترمینال مرکزی و یکی از دو ترمینال دیگر به مدار متصل باشد، **رئوستا** نام دارد.

- مقدار اسمی و تلرانس مقاومت را در مقاومت‌های ثابت ترکیبی و مقاومت‌های با رابط محوری، با علامت‌های رنگی نشان می‌دهند. دو نوار رنگی نخستین ارقام صحیح، نوار سوم ضریب و نوار چهارم تلرانس (خطا) را نمایش می‌دهد.

پرسش

۱ـ فلزی با ضریب هدایت نسبی ۰/۹۹ یک عایق خوب است یا بد؟

۲ـ یک عنصر مشخص ۱۵ اهم مقاومت دارد. اگر سطح مقطع آن را سه برابر کنیم، مقاومت آن چه‌قدر می‌شود؟

۳ـ ضریب حرارتی را تعریف کنید.

۴ـ آیا طول سیم در ضریب حرارتی آن تأثیر دارد؟

۵ـ مقاومت داخلی یک منبع ولتاژ را تعریف کنید.

۶ـ ضریب حرارتی مس مثبت است یا منفی؟

۷ـ برای محاسبه‌ی مقاومت مدار چه پارامترهایی در نظر گرفته می‌شود؟

۸ـ واحد و علامت اختصاری مقاومت چیست؟

۹ـ اگر یک سیم مسی گرم شود، مقاومت آن چه تغییری می‌کند؟

۱۰ـ ساختمان سه نوع مقاومت ثابت را شرح دهید.

۱۱ـ محاسن و معایب مقاومت‌های ترکیبی را شرح دهید.

۱۲ـ محاسن و معایب مقاومت‌های سیم‌پیچی را شرح دهید.

۱۳ـ مقاومت‌های لایه‌ای چه محاسنی دارند؟

۱۴ـ مقدار اسمی مقاومت را شرح دهید.

۱۵ـ تلرانس مقاومت را شرح دهید.

۱۶ـ تفاوت رئوستا و پتانسیومتر چیست؟

۱۷ـ علائم رنگی مقاومت‌ها را شرح دهید.

۱۸ـ منظور از ارقام صحیح در علائم رنگی چیست؟

۱۹ـ طبقه‌بندی مقاومت‌های متغیر و قابل تنظیم چگونه است؟

تمرین

۱ـ اگر $\rho_{Cu} = ۰/۰۱۷۸ \frac{\Omega.mm^۲}{m}$ باشد، مطلوب است محاسبه‌ی κ_{Cu}. ج) $\kappa_{Cu} = ۵۶ \frac{m}{\Omega.mm^۲}$

۲ـ اگر $\kappa_{Al} = ۳۶ \frac{m}{\Omega.mm^۲}$ باشد، مطلوب است محاسبه‌ی ρ_{Al}. ج) $\rho_{Al} = ۰/۰۲۷۷ \frac{\Omega.mm^۲}{m}$

۳ـ یک سیم مسی به طول l را به چهار قسمت مساوی تقسیم می‌کنیم. آن گاه این چهار قسمت را کنار هم

می‌گذاریم و به صورت سیم واحدی (مثل کابل چهارتایی) از آن‌ها استفاده می‌کنیم. آیا مقاومت الکتریکی این سیم نسبت به حالت اولیه کم می‌شود یا زیاد؟ (از کاهش طول به خاطر پیچش صرف‌نظر می‌کنیم.)

۴ـ پیدا کنید مقاومت الکتریکی یک لوله‌ی توخالی از جنس مس را که قطر خارجی آن 5mm و قطر داخلی آن 4mm باشد؛ در صورتی که $l = 31/4m$ و $\kappa_{Cu} = 56 \frac{m}{\Omega.mm^2}$ است.

ج) $0/08\Omega$

۵ـ روی استوانه‌ای به قطر ۵ سانتی‌متر ۱۰۰ دور سیم مسی به سطح مقطع $1/5mm^2$ می‌پیچیم. مقاومت الکتریکی این سیم‌پیچ چه‌قدر است؟

$\kappa_{Cu} = 56 \frac{m}{\Omega.mm^2}$

ج) $0/18\Omega$

۶ـ سیمی به طول 5/6m و سطح مقطع $3mm^2$ را از داخل حدیده می‌گذرانیم؛ به‌طوری که سطح مقطع آن به $\frac{1}{3}$ حالت اول برسد. طول جدید سیم و مقاومت آن قبل و بعد از حدیده کردن چه‌قدر است؟

$\kappa_{Cu} = 56 \frac{m}{\Omega.mm^2}$

ج) $16/8m$ و $0/033\Omega$ و $0/3\Omega$

۷ـ قطر سیمی 2mm و مقاومت آن یک اهم است. اگر قطر سیم را به 1mm برسانیم، مقاومت آن چه‌قدر می‌شود؟ (طول سیم در حالت اول l و در حالت بعد l' به‌طوری که $l > l'$).

ج) 16Ω

۸ـ قطر یک سیم کروم نیکل به طول یک متر، 0/6 میلی‌متر و مقاومت آن ۳ اهم است. مقاومت مخصوص و هدایت مخصوص آن را پیدا کنید.

ج) $\rho = 0/85$ و $\kappa = 1/18$

۹ـ مقاومت سیم پیچی یک ژنراتور در دمای ۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد اندازه‌گیری شده است. پس از این‌که ژنراتور مدتی کار می‌کند، مقاومت سیم‌پیچی آن ۲۰ درصد افزایش می‌یابد. دمای داخلی آن را حساب کنید.

$(\alpha = 0/004 \frac{1}{^\circ C})$

ج) $t = 80^\circ C$

۱۰ـ مقاومت یک هادی از ۲۳ تا ۷۵ درجه ۳۱ درصد افزایش می‌یابد. ضریب حرارتی آن را تعیین کنید.

ج) $\alpha = 0/007 \frac{1}{^\circ C}$

۱۱ـ مقاومت سیم پیچی یک بوبین در دمای ۲۰ درجه ۲۰ اهم بوده است ولی پس از یک ساعت که جریان از آن عبور کرده به ۲۴ اهم رسیده است. علت افزایش مقاومت آن را بیان کرده و دمای سیم‌پیچی را در این موقع تعیین کنید.

$\alpha = 0/004 \frac{1}{^\circ C}$

ج) $t = 75^\circ C$

۱۲ـ مقاومت سیم‌پیچی یک ماشین الکتریکی جریان مستقیم در دمای ۱۰ درجه‌ی سانتی‌گراد 52Ω است. اگر ضمن کار کردن دما به $80^\circ C$ برسد، مقاومت ماشین چه‌قدر می‌شود؟ $\alpha = 0/004 \frac{1}{^\circ C}$

ج) 66Ω

۱۳ـ مقاومت سیم پیچ رله‌ای در ۱۵ درجه‌ی سانتی‌گراد برابر 500Ω است. اگر حداکثر مقاومت در دمای t برابر 600Ω باشد، به‌طوری که رله مدار را قطع کند، t را پیدا کنید. $\alpha = 0/004 \frac{1}{^\circ C}$

ج) $t = 68^\circ C$

۱۴ــ برای این‌که مقاومت سیمی را ۴۰ درصد اضافه کنیم، دما چه‌قدر باید افزایش یابد؟

(دمای اولیه‌ی سیم صفر درجه‌ی سانتی‌گراد.) $\alpha = ۰/۰۰۴ \frac{۱}{^\circ C}$

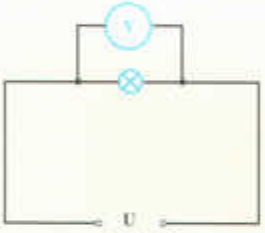
ج) $t = ۱۰۰^\circ C$

۱۵ــ مقاومت یک اتوی برقی در صفر درجه‌ی سانتی‌گراد ۵۰Ω است. اگر درجه حرارت این اتو ضمن کار کردن به ۷۵°C برسد، مقاومت آن چه‌قدر می‌شود؟ $\alpha = ۰/۰۰۰۲ \frac{۱}{^\circ C}$

ج) $R = ۵۰/۷۵\Omega$

مطالعه‌ی آزاد

آزمایش ۴



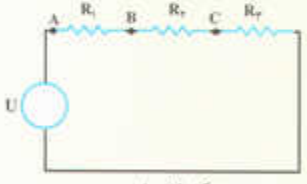
شکل ۲۵ــ۵

الف ــ ولت‌متر و روش استفاده از آن: ولت‌متر دستگاهی است که اختلاف سطح یا افت ولتاژ بین دو سر مصرف کننده یا ولتاژ اعمال شده به یک مصرف کننده را با آن اندازه‌گیری می‌کنند. ولت‌مترها برحسب دقت بر مبنای ولت و میلی ولت درجه‌بندی می‌شوند. ولت‌متر به طور موازی به مصرف کننده وصل می‌شود. طرز اتصال ولت‌متر در شکل ۲۵ــ۵ نشان داده شده است.

منظور از آزمایش: فراگیری طرز صحیح به‌کاربردن ولت‌متر در اندازه‌گیری ولتاژهای DC و AC و روش خواندن ولتاژ در رنج‌های مختلف است.

وسایل موردنیاز: ولت‌متر ۲ عدد، منبع تغذیه (DC و AC) مقاومت در مقادیر مختلف، سیم‌های رابط.

اجرای آزمایش: مداری را مطابق شکل ۲۶ــ۵ تشکیل می‌دهیم و مقاومت‌های آن را متفاوت انتخاب می‌کنیم (مثلاً $R_۱ = ۱۰\Omega$ و $R_۲ = ۲۰\Omega$ و $R_۳ = ۳۰\Omega$). منبع ولتاژ را روی ولتاژ $U = ۶^V$ مستقیم تنظیم می‌کنیم. ولتاژهای دو سر مقاومت‌های $R_۱$ و $R_۲$ و $R_۳$ و هم‌چنین دو سر مدار را اندازه‌گیری و نتایج را یادداشت می‌کنیم. بار دیگر ولتاژ را روی $U = ۶^V$ متناوب تنظیم و آزمایش را تکرار می‌کنیم. آیا در اندازه‌های به دست آمده تغییری مشاهده می‌شود؟



شکل ۲۶ــ۵

ب ــ آمپرمتر و روش استفاده از آن: آمپرمتر دستگاهی است که مقدار شدت جریان عبوری را در یک مدار بسته‌ی الکتریکی با آن اندازه می‌گیرند. دقت آمپرمترها یکسان نیست و این دستگاه شدت جریان را برحسب آمپر، میلی‌آمپر و میکروآمپر می‌سنجد.

آمپرمتر را در مدار به طور سری می‌بندند. این دستگاه هرگز نباید به طور موازی اتصال یابد.

منظور از آزمایش: تشکیل یک مدار ساده و فراگیری چگونگی اندازه‌گیری شدت جریان و بررسی تغییرات آن در اثر تغییر ولتاژ یا تغییر مقاومت است.

وسایل مورد نیاز: آمپرمتر، منبع تغذیه یا باتری، مقاومت‌های معلوم، سیم‌های رابط.

اجرای آزمایش: مداری مطابق شکل ۲۷ـ۵ تشکیل دهید. قبل از شروع اندازه‌گیری به نکات زیر دقت کنید.

شکل ۲۷ـ۵

۱ـ همیشه در شروع اندازه‌گیری کلید سلکتور را در رنج بالاتری قرار دهید. سپس، در صورت امکان وضعیت کلید را تغییر دهید؛ به‌طوری‌که عقربه‌ی دستگاه در حدود اواسط صفحه باشد.

۲ـ هرگز آمپرمتر را به دو سر یک باتری یا منبع تغذیه وصل نکنید. این عمل به دستگاه آسیب می‌رساند.

۳ـ هنگام اتصال آمپرمتر به‌طور سری در مدار توجه کنید که سیم مثبت حتماً به قطب مثبت باتری و سیم منفی به قطب منفی باتری نزدیک باشد.

۴ـ مقادیر مختلف ولتاژ و مقاومت را انتخاب کنید. مقادیر شدت جریان را در مدار برحسب آمپر، میلی‌آمپر و میکروآمپر اندازه‌گیری و در جدول ۲ـ۵ یادداشت کنید.

جدول ۲ـ۵

ولتاژ	مقاومت	شدت جریان		
		A	mA	μA
U	R=			
U	R=			
U	R=			
U	R=			

پ ـ اهم متر و روش استفاده از آن: پارامترهای اصلی در مدارهای الکتریکی عبارت‌اند از: ولتاژ، جریان و مقاومت.

واحد مقاومت اهم است و اهم‌متر یک وسیله‌ی اندازه‌گیری الکتریکی است که برای اندازه‌گیری مقاومت به کار می‌رود. اهم‌متر یک باتری دارد که منبع ولتاژ آن را تشکیل می‌دهد. وقتی سیم‌های اهم‌متر به یک‌دیگر یا به دو سر یک مقاومت وصل شوند، جریان از دستگاه عبور می‌کند و موجب حرکت عقربه‌ی آن می‌شود.

اندازه‌گیری مقاومت

یک مقاومت را انتخاب کنید و کلید سلکتور را روی (R×1) قرار دهید. صفر دستگاه را تنظیم کنید. دو سر سیم‌های اهم‌متر را به دو سر مقاومت وصل کنید و توجه داشته باشید که دست‌هایتان در این حال به دو سر مقاومت متصل نباشد. دستگاه، مقدار مقاومت بدن شما و مقاومت مورد نظر را در مجموع و به طور موازی نشان خواهد داد. عددی را که عقربه نشان می‌دهد، در ۱ ضرب کنید. حاصل، مقدار مقاومت خواهد بود. در صورتی که انحراف عقربه به اندازه‌ی کافی نباشد، کلید سلکتور را روی R×10 قرار دهید تا عقربه مجدداً به وسط صفحه برسد. در این صورت، عدد خوانده شده را در ده ضرب کنید.

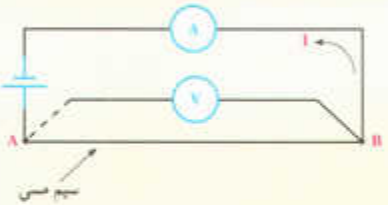
آزمایش ۵

الف ــ منظور از آزمایش: بررسی عوامل مؤثر در مقاومت و تحقیق رابطه‌ی $R=\rho\frac{l}{A}$ است.

ب ــ وسایل مورد نیاز: منبع تغذیه، ولت‌متر، آمپرمتر، پایه‌ی آزمایش، سیم‌های رابط و سیم‌های: مسی، آهنی، آلومینیمی، کنستانتان، کروم نیکل.

ب ــ اجرای آزمایش

آزمایش الف: مطابق شکل، بین دو ترمینال A و B سیم‌هایی با طول و سطح مقطع مساوی ولی از جنس‌های متفاوت را به نوبت متصل کرده و به کمک آمپرمتر و ولت‌متر مقادیر جریان و ولتاژ را اندازه‌گیری می‌کنیم. در این آزمایش، از سیم‌های مسی و آهنی ــ که قطر هر یک ۰/۵ میلی‌متر است ــ استفاده می‌کنیم و مقادیر حاصل از اندازه‌گیری را در جدول ۵ــ۳ می‌نویسیم. طول سیم در تمام حالات ۱ متر انتخاب می‌شود. نتیجه‌ی این آزمایش چیست؟ مقادیر مقاومت با استفاده از قانون اهم محاسبه می‌شود.



شکل ۵ــ۲۸

جدول ۵ــ۳

جنس	$A(mm^2)$	L(m)	I(A)	U(V)	$R(\Omega)$
مس					
آهن					
کنستانتان					
آلومینیم					

آزمایش ب: در این آزمایش، سیم‌هایی با مقطع‌های مساوی ولی طول‌های مختلف از جنس کنستانتان را بین دو ترمینال وصل کرده و مقدار جریان را اندازه‌گیری کنید. نتایج اندازه‌گیری را در جدول ۵ــ۴ بنویسید. از این آزمایش چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

جدول ۵ــ۴

(در این آزمایش ولتاژ ثابت و ۸ ولت است.)

جنس	$A(mm^2)$	L(m)	I(A)	U(V)	$R(\Omega)$
مس					
آهن					
کنستانتان					
آلومینیم					

آزمایش پ: در این آزمایش، فاصله‌ی بین دو ترمینال را یک متر اختیار می‌کنیم و از سیم کنستانتان به توبت یک لا، دولا و سه لا بین دو ترمینال وصل می‌کنیم. (بدین ترتیب، سطح مقطع کلی دو برابر و سه برابر خواهد شد.) ولتاژ را ثابت و برابر ۲ ولت اختیار می‌کنیم. نتایج اندازه‌گیری در جدول ۵ـ۵ نوشته می‌شود. نتیجه‌ی این آزمایش چیست؟

جدول ۵ـ۵

جنس	$A(mm^2)$	L(m)	I(A)	U(V)	$R(\Omega)$
کنستانتان					
کنستانتان					
کنستانتان					

نتیجه‌ی کلی: پس از انجام دادن آزمایش‌های گفته شده در می‌یابیم که مقاومت با طول و مقاومت مخصوص نسبت مستقیم و با سطح مقطع نسبت عکس دارد؛ پس می‌توان نوشت: $R = \rho \frac{l}{A}$.

آزمایش ۶ ــ اثر حرارت بر مقدار مقاومت

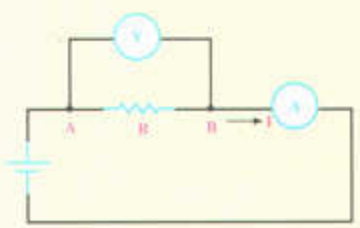
الف ــ منظور از آزمایش: بررسی تغییرات مقدار مقاومت برحسب تغییر دما و جنس مقاومت.

ب ــ وسایل مورد نیاز: منبع تغذیه، آمپرمتر، ولت‌متر، سیم‌های رابط، دو عدد پایه، شمع و مقاومت‌هایی از جنس مس، آهن، کنستانتان، و زغال.

پ ــ اجرای آزمایش: در این آزمایش، مطابق شکل ۲۹ـ۵ بین دو نقطه‌ی A و B سیم نازکی را به صورت مقاومت متصل می‌کنیم. برای مطلوب بودن مقدار مقاومت، سیم را درازتر انتخاب می‌کنیم و سپس به صورت حلقه می‌پیچیم. آن‌گاه، آن را با شعله‌ی چراغ الکلی یا شمع حرارت می‌دهیم. مقاومت سیم پیچ را یک بار قبل از حرارت دادن و بار دیگر بعد از وصل شدن به منبع ولتاژ اندازه‌گیری می‌کنیم. در این آزمایش، مقدار ولتاژ را ثابت (مثلاً ۱ ولت) انتخاب می‌کنیم و شدت جریان را اندازه می‌گیریم. با استفاده از قانون اهم، مقاومت را اندازه‌گیری و سپس نتایج را در جدول ۶ـ۵ یادداشت می‌کنیم.

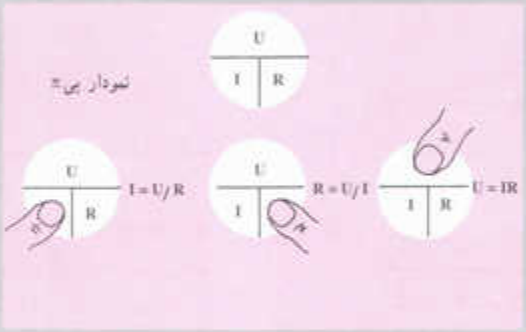
جدول ۶ـ۵

		سرد		گرم	
جنس	α	I_1	R_1	I_2	R_2
مس					
کنستانتان					
آهن					
زغال					



شکل ۲۹ـ۵

نتیجه‌ی کلی: از این آزمایش نتیجه می‌گیریم که مقاومت الکتریکی بیش‌تر فلزات بر اثر حرارت افزایش و جریان عبوری آن‌ها کاهش می‌یابد. به این نوع فلزات PTC می‌گویند. در بعضی مقاومت‌ها، در صورت حرارت دادن به زغال شدت جریان افزایش می‌یابد و بنابراین، مقاومت کم می‌شود. به این نوع مقاومت‌ها NTC می‌نامند.


نمودار پی
U
I R
U
I R
I = U/R
U
I R
R = U/I
U
I R
U = IR

قانون اهم

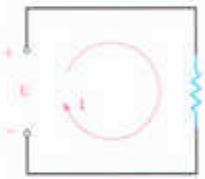
هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل، از دانش‌آموز انتظار می‌رود :

۱ــ شکل‌های مختلف قانون اهم را تعریف کند و فرمول هریک را بنویسد.

۲ــ با حل‌کردن مسائل مختلف، مفهوم هر سه شکل قانون اهم را توجیه کند.

۳ــ هریک از مقادیر شدت جریان، ولتاژ و مقاومت را به شرط معلوم‌بودن دو کمیت دیگر محاسبه کند.

همان‌طورکه در فصل‌های پیش گفتیم، ولتاژ باعث جاری‌شدن جریان الکتریکی در مدار بسته می‌شود و مقاومت، با عبور جریان مخالفت می‌کند. بین ولتاژ، جریان و مقاومت رابطه وجود دارد. این رابطه را نخستین بار **گئورگ سیمون اهم** کشف کرد. به همین دلیل، این رابطه را قانون اهم و واحد مقاومت را نیز اهم نام نهادند. اهم به این نتیجه رسید که اگر مقاومت مداری ثابت نگه داشته شود و مقدار ولتاژ منبع افزایش یابد، شدت جریان زیاد می‌شود. هم‌چنین کاهش ولتاژ، شدت جریان را کم می‌کند. به عبارت دیگر، اهم دریافت که در یک مدار DC، شدت جریان با ولتاژ نسبت مستقیم دارد. کشف دیگر او این بود که اگر ولتاژ منبع ثابت نگاه داشته شود و مقدار مقاومت مدار افزایش یابد، شدت جریان کم می‌شود. به همین ترتیب با کم کردن مقاومت، شدت جریان افزایش می‌یابد. بنابراین، بین سه کمیت ولتاژ، مقاومت و شدت جریان رابطه‌ای وجود دارد که آن را **قانون اهم** می‌نامیم. به‌طور خلاصه، در یک مدار DC، شدت‌جریان با ولتاژ نسبت مستقیم و با مقاومت نسبت معکوس دارد. رابطه‌ی ریاضی قانون اهم به شکل $I = \frac{U}{R}$ است که در آن U (ولتاژ) برحسب ولت و R (مقاومت) برحسب اهم و I (شدت جریان) برحسب آمپر است.



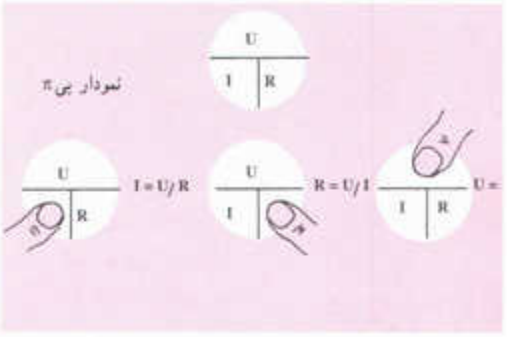
شکل ۱ــ۶ــ مدار الکتریکی

۱ــ۶ــ شکل‌های مختلف قانون اهم

قانون اهم را به دو صورت دیگر نیز می‌توان نوشت :

$R = \frac{U}{I}$ در این رابطه مقاومت مساوی است با U (ولتاژ) تقسیم بر I (جریان) یا $U = I.R$ که U (ولتاژ) مساوی است با I (شدت‌جریان) ضرب در R (مقاومت). بدین ترتیب، هرگاه دو کمیت از سه کمیت جریان، ولتاژ و مقاومت را بدانید می‌توانید کمیت سوم را به‌آسانی به‌دست آورید. لازم است حتماً این سه معادله را به خاطر بسپارید ؛ چون برای حل‌کردن مسائل مربوط به مدارها به آن‌ها نیاز دارید.

شکل ۲ــ۶ برای یادآوری سه شکل قانون اهم قابل استفاده است. در این شکل هرکدام از علامت‌ها را با انگشت بپوشانید، علایم دیگر مقدار قسمت راست معادله را نشان می‌دهد و مقدار مجهول به‌راحتی به‌دست می‌آید.

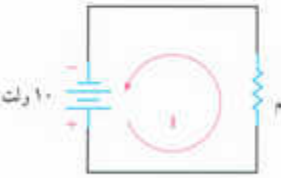


شکل ۲ـ۶ـ سه شکل قانون اهم (نمودار π)

۲ـ۶ـ محاسبه‌ی جریان

در مواردی لازم است مقدار شدت جریانی که از مدار عبور می‌کند، محاسبه شود. با داشتن کمیت‌های ولتاژ و مقاومت و یا استفاده از قانون اهم شدت جریان را به‌راحتی می‌توان محاسبه کرد. روش خوبی که در این مورد می‌توان به‌کار بست، این است که معلوم‌ها و مجهول‌ها را تشخیص دهیم. مجهول کمیتی است که می‌خواهیم آن را پیدا کنیم و معمولاً در طرف چپ معادله قرار می‌گیرد. معلوم‌ها کمیت‌هایی هستند که مقدار آن‌ها را داریم و معمولاً در طرف راست معادله قرار می‌گیرند.

مثال ۱: اگر در مدار شکل ۳ـ۶ ولتاژی برابر با ۱۰ ولت به دو سر مقاومتی برابر ۵ اهم اعمال شود، شدت جریان مدار چه‌قدر است؟



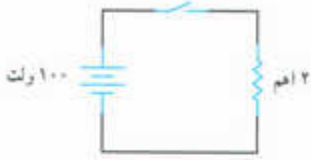
شکل ۳ـ۶

وقتی که شدت جریان (I) مجهول است، می‌توان از معادله‌ی $I = \frac{U}{R}$ استفاده کرد.

$$I = \frac{U}{R} \Rightarrow I = \frac{۱۰}{۵}$$

$$\boxed{I = ۲A}$$

مثال ۲: اگر در مدار شکل ۴ـ۶ جریان مجاز مقاومت ۸ آمپر باشد، آیا در صورت بسته‌شدن کلید، مقاومت خواهد سوخت؟



شکل ۴ـ۶

ابتدا شدت جریان مدار را با استفاده از قانون اهم محاسبه می‌کنیم.

$$I = \frac{U}{R} = \frac{۱۰۰}{۲۰}$$

$$\boxed{I = ۵A}$$

چون شدت جریان مدار ۵ آمپر بوده و از جریان مجاز مقاومت (۸ آمپر) کوچک‌تر است، بنابراین برای مقاومت مشکلی به‌وجود نمی‌آید و مقاومت نمی‌سوزد.

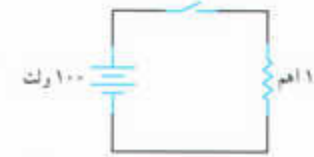
مثال ۳: اگر در مدار شکل ۵ـ۶ جریان مجاز مقاومت ۱۰اهمی ۸ آمپر باشد، آیا در صورت بسته‌شدن کلید، مقاومت خواهد سوخت؟

ابتدا شدت جریان مدار را با استفاده از قانون اهم به‌دست می‌آوریم.

$$I = \frac{U}{R} = \frac{۱۰۰}{۱۰}$$

$$I = ۱۰A$$

چون شدت جریان عبوری از مقاومت ۱۰ آمپر شده و از جریان مجاز آن (۸ آمپر) بیش‌تر است، بنابراین مقاومت خواهد سوخت.



شکل ۵ـ۶

۳ـ۶ـ محاسبه‌ی مقاومت

مقاومت را به‌وسیله‌ی قانون اهم و با استفاده از رابطه‌ی $R = \frac{U}{I}$ می‌توان محاسبه کرد.

برای انتخاب مقاومت مناسب در مدار یا محاسبه‌ی مقاومت بار به‌راحتی می‌توان از قانون اهم استفاده کرد.

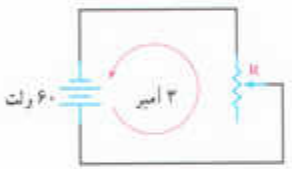
مثال ۴: اگر در مدار شکل ۶ـ۶ رئوستا در وسط محدوده‌ی خود تنظیم شود و شدت جریان ۳ آمپر از آن عبور کند، مقاومت مدار و مقاومت کل رئوستا چه‌قدر است؟

$$R = \frac{U}{I} = \frac{۶۰}{۳}$$

مقاومت مدار $R = ۲۰\Omega$

$$R_t = ۲R = ۲ \times ۲۰$$

مقاومت رئوستا $R_t = ۴۰\Omega$

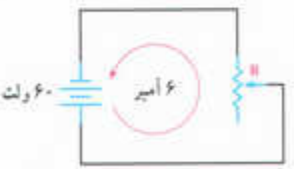


شکل ۶ـ۶

مثال ۵: اگر در مثال ۴ بخواهیم شدت جریان مدار ۶ آمپر شود، لغزنده‌ی رئوستا در چه محدوده‌ای باید قرار گیرد؟ (شکل ۶ـ۷)

$$R = \frac{U}{I} = \frac{۶۰}{۶}$$

$R = ۱۰\Omega$



شکل ۶ـ۷

اگر لغزنده‌ی رئوستا در $\frac{۱}{۴}$ کل مقاومت قرار گیرد، شدت جریان مدار ۶ آمپر می‌شود.

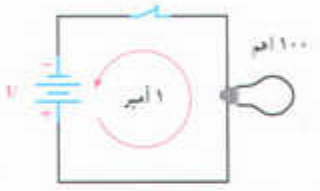
۴ـ۶ـ محاسبه‌ی ولتاژ

ولتاژ را براساس قانون اهم با استفاده از رابطه‌ی $U = I.R$ می‌توان محاسبه کرد.

مثال ۶: اگر از لامپی به مقاومت ۱۰۰ اهم جریانی به‌شدت ۱ آمپر عبور کند، با توجه به شکل ۸ـ۶ ولتاژ منبع چند ولت است؟

$$U = I.R = ۱ \times ۱۰۰$$

$U = ۱۰۰V$



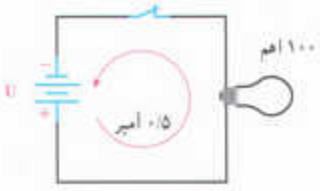
شکل ۸ـ۶

مثال ۷: چنان‌چه باتری مثال ۶ در مدار شکل ۹ـ۶ بر اثر فرسودگی، جریان ۰/۵ آمپر را در مدار جاری کند، ولتاژ منبع به چه میزان کاهش یافته است؟

$$U = I.R = ۰/۵ \times ۱۰۰$$

ولتاژ منبع در حالت فرسودگی $U = ۵۰V$

افت ولتاژ* $۱۰۰ - ۵۰ = ۵۰V$



شکل ۹ـ۶

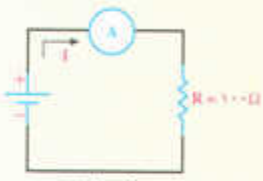
* کاهش ولتاژ منبع به‌علت فرسودگی، بر اثر افزایش مقاومت داخلی باتری است.

آزمایش ۷ــ (قانون اهم)

الف ــ منظور از آزمایش: تحقیق قانون اهم و بررسی رابطه‌ی اختلاف پتانسیل دو سر یک هادی با شدت جریانی که از آن عبور می‌کند.

ب ــ وسایل مورد نیاز: ولت‌متر، آمپرمتر، منبع تغذیه‌ی جریان مستقیم و متناوب، مقاومت متغیر و سیم‌های رابط.

پ ــ اجرای آزمایش: مداری را مطابق شکل ۱۰ــ۶ می‌بندیم و آزمایش‌های زیر را انجام می‌دهیم.



شکل ۱۰ــ۶

۱ــ با مقاومت ثابت ۱۰۰ اهمی مقادیر ولتاژ را تغییر می‌دهیم و به کمک آمپرمتر شدت جریان I و به کمک ولت‌متر ولتاژ دو سر مقاومت R را اندازه می‌گیریم و در جدول ۱ــ۶ یادداشت می‌کنیم.

جدول ۱ــ۶

حالت	U	I	R	نتیجه‌ی آزمایش

۲ــ در این آزمایش، مقاومت R را تغییر می‌دهیم و با ثابت‌نگه‌داشتن ولتاژ، شدت جریان را به کمک آمپرمتر اندازه می‌گیریم و نتایج را در جدول ۲ــ۶ یادداشت می‌کنیم. با مقایسه‌ی مقادیر مقاومت و شدت‌جریان، چه نتیجه‌ای حاصل می‌شود؟

نتیجه‌ی کلی: از آزمایش‌های گفته شده نتیجه می‌گیریم که شدت جریان با ولتاژ نسبت مستقیم و با مقاومت نسبت عکس دارد و می‌توان برای آن ها رابطه‌ی $I = \frac{U}{R}$ را ــ که قانون اهم نامیده می‌شود ــ نوشت.

جدول ۲ــ۶

حالت	U	I	R	نتیجه‌ی آزمایش

خلاصه مطالب

• قانون اهم رابطه‌ی بین ولتاژ، جریان و مقاومت را در یک مدار جریان مستقیم (D-C) بیان می‌کند. این قانون در مدار جریان مستقیم چنین است که جریان با ولتاژ نسبت مستقیم و با مقاومت نسبت عکس دارد.

• قانون اهم را می‌توان به صورت سه تساوی نشان داد: الف) $I = \frac{U}{R}$ این تساوی هنگامی به‌کار می‌رود که جریان I در مدار مجهول باشد؛ ب) $R = \frac{U}{I}$، از این تساوی هنگامی استفاده می‌شود که مقاومت R در مدار مجهول باشد؛ پ) $U = IR$، این تساوی در مواقعی به‌کار می‌رود که ولتاژ U در مدار مجهول باشد. برای به‌خاطر سپردن سه تساوی قانون اهم می‌توان از شکل ۶ـ۲ استفاده کرد. هرگاه یکی از اجزای شکل مجهول باشد، دوجزء دیگر (اجزای معلوم) در طرف راست تساوی (اجزای معلوم) و جزء مجهول در طرف چپ آن قرار می‌گیرد.

پرسش

۱ـ قانون اهم و سه تساوی آن را بیان کنید.

۲ـ مداری رسم کنید که در آن یک باتری ۱۵ ولت و مقاومت بار ۱۵ اهم را تغذیه کند. شدت جریان را در مدار به‌دست آورید.

۳ـ دو صورتی را که در آن‌ها جریان الکتریکی گفته شده در سؤال ۲، دوبرابر می‌شود، بیان کنید.

۴ـ اگر مقاومت مدار ۲ برابر شود، ولتاژ مدار چه‌قدر باید باشد که جریان الکتریکی اصلی از مدار عبور کند؟

۵ـ شدت جریان در مقاومت لایه‌ای با مقاومت ۱۰۰ اهم حداکثر ۲ آمپر است. حداکثر ولتاژ به‌کار رفته در مدار چه‌قدر است؟ ج) $U = ۲۰۰v$

۶ـ در سؤال ۵ ولتاژ ۵۰۰ ولت در مدار چه اثری خواهد داشت؟ ج) $I = ۵A$

۷ـ طریقه‌ی استفاده از شکل ۶ـ۲ را بیان کنید.

۸ـ چنان‌چه ولتاژ ثابت باشد و مقاومت مدار $\frac{۱}{۴}$ شود، جریان چه تغییری خواهد کرد؟

۹ـ اگر مقاومت مدار $\frac{۱}{۴}$ شود، چه تغییری باید در مدار داد تا جریان به‌صورت اول باقی بماند.

۱۰ـ دو برابر کردن مقاومت یک مدار ـ چنان‌چه ولتاژ را ثابت نگه داریم ـ چه اثری در جریان الکتریکی خواهد داشت؟ اگر ولتاژ را نصف کنیم و مقاومت را ثابت نگه‌داریم، چه تغییری در جریان ایجاد خواهد شد؟ حال اگر ولتاژ و مقاومت را دو برابر کنیم، چه تغییری در جریان حاصل خواهد شد؟

تمرین

۱ـ به دو سر یک مقاومت ۶۰ اهمی ولتاژی برابر ۳۶ ولت داده شده است. چه جریانی از این مقاومت عبور می‌کند؟ ج) $i = ۰/۶A$

۲ـ ولتاژ لازم برای عبور جریانی برابر ۱/۲ آمپر از یک مقاومت ۵ اهمی چه‌قدر است؟ ج) $U = ۶V$

۳ـ یک لامپ برابر ۱۵۰ اهم مقاومت دارد و ولتاژی برابر ۱۲۰ ولت به آن داده می‌شود. مقدار جریان عبوری را حساب کنید.

ج) $i = ۰/۸A$

۴ـ از یک لامپ و یک منبع ولتاژ و یک آمپرمتر مداری تشکیل داده‌ایم. اگر منبع ولتاژ را ۲۴ ولت اختیار کنیم، آمپرمتر مقدار ۱/۵ آمپر را نشان خواهد داد. مقدار مقاومت مدار را تعیین کنید. اگر به جای منبع ۲۴ ولتی، منبع ولتاژ ۳۶ ولتی قرار دهیم، آمپرمتر چه مقداری را نشان خواهد داد؟

ج) $R = ۱۶\Omega$ و $i = ۲/۲۵A$

۵ـ چه ولتاژی در مقاومت ۴۰ اهمی، جریانی برابر با ۱۰۰ میلی‌آمپر ایجاد می‌کند؟ ج) $U = ۴V$

۶ـ یک مقاومت ۱۰۰ اهمی از منبع ولتاژی، جریانی برابر با ۱۵۰ میلی‌آمپر می‌کشد.

۱ـ مقدار ولتاژ منبع را تعیین کنید. ۲ـ اگر جریان دریافتی این مقاومت از همان منبع برابر بالارفتن دما به‌اندازه‌ی ۳۰ درجه‌ی سانتی‌گراد ۱۰۰ میلی‌آمپر شود، تغییر مقاومت آن را در این دما تعیین کنید.

ج) $U = ۱۵V$ و $AR = ۵۰\Omega$

۷ـ ماکزیمم ولتاژی که یک مقاومت می‌تواند تحمل کند ۱۲۰ ولت است. اگر جریانی به شدت ۱۰ آمپر از آن بگذرد و مقاومت آن ۲۲/۵ اهم باشد، آیا این مقاومت تحمل این جریان را خواهد داشت؟ چرا؟

واکنش شیمیایی
N
S
میدان مغناطیسی
گرما
نور
فشار
جریان الکتریکی
می‌تواند
تولید کند

فصل هفتم

آثار جریان الکتریکی

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل، از دانش‌آموز انتظار می‌رود:
۱ــ آثار جریان الکتریکی را نام ببرد.
۲ــ هرکدام از این آثار را با ذکر مثال‌هایی توضیح دهد.

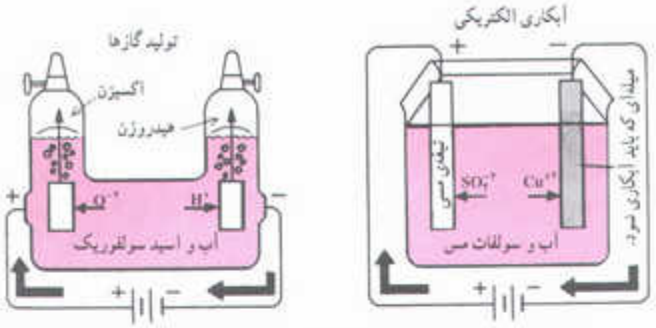
جریان الکتریکی، واکنش‌های شیمیایی، فشار، گرما، نور و مغناطیس تولید می‌کنند. در فصل دوم دیدیم که همین آثار می‌توانند برای تولید انرژی الکتریکی به‌کار روند.

شکل ۱ــ۷ــ آثار الکتریسیته

۱ــ۷ــ تولید واکنش‌های شیمیایی از طریق جریان الکتریکی

بار الکتریکی نیروی اصلی است که باعث پیوند شیمیایی ترکیبات می‌شود؛ به همین دلیل، برای ایجاد اثرات شیمیایی می‌توان از جریان الکتریکی یا اختلاف پتانسیل الکتریکی استفاده کرد.

در الکترولیز می‌گویند؛ برای مثال، اگر جریان الکتریکی از آب (H_2O) حاوی مقدار کمی اسید سولفوریک عبور کند، مولکول‌های آب به اتم‌های اکسیژن و هیدروژن تجزیه می‌شوند. اتم‌های اکسیژن الکترون‌هایی را که اتم‌های هیدروژن با آن‌ها به مشارکت گذاشته بودند، آزاد نمی‌کنند. درنتیجه، اتم‌های هیدروژن، یون مثبت (H^+) و اتم‌های اکسیژن یون منفی (O^{-2}) می‌شوند و این یون‌ها به طرف الکترودهای با بار مخالف جذب می‌گردند. در الکترود منفی، یون‌های مثبت هیدروژن الکترون ها را می‌گیرند و خنثا می‌شوند و از آب به‌صورت گاز خارج می‌گردند. در الکترود مثبت، یون‌های منفی اکسیژن الکترون از دست می‌دهند، به حالت خنثا در می‌آیند و از آب به صورت گاز خارج می‌گردند. این گاز را می‌توان درون شیشه‌ای (مثلاً لوله‌ی آزمایش) جمع کرد. در الکترود منفی الکترونی وارد می‌شود تا جانشین هر الکترونی شود که یون هیدروژن به خود می‌گیرد. در قطب مثبت نیز به ازای هر الکترونی که اتم اکسیژن از دست می‌دهد، الکترونی خارج می‌شود. به همین دلیل، عبور جریان پیوسته ادامه دارد تا این‌که آب به‌طور کامل به گازهای اکسیژن و هیدروژن تبدیل شود.

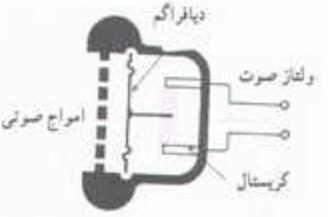


شکل ۲ـ۷ـ اختلاف پتانسیل الکتریکی باعث تجزیه‌ی الکترولیت به یون‌ها می‌شود.

یک نمونه از کاربرد الکترولیز، آبکاری برقی است. اگر آب با سولفات مس SO_4Cu همراه باشد، سولفات مس به یون‌های مثبت مس Cu^{++} و یون‌های منفی سولفات (SO_4^{--}) تجزیه می‌شود. یون‌های مس به سمت الکترود منفی می‌روند و الکترون جذب می‌کنند ولی چون مس فلز است، به الکترود خواهد چسبید. پس از مدتی، الکترود به طور کامل در لایه‌ای از مس پوشیده خواهد شد. از این طریق می‌توان با نقره و طلا نیز آبکاری کرد.

۲ـ۷ـ تولید فشار به‌وسیله‌ی جریان الکتریکی

همان‌طورکه نیرو یا فشار در بعضی از کریستال‌ها خمش یا چرخش ایجاد می‌کند، اختلاف پتانسیل الکتریکی نیز باعث خمش یا چرخش در کریستال می‌شود و نیرو تولید می‌گردد. در شکل ۳ـ۷ـ الف وقتی ولتاژ صوتی به کریستال‌های گوشی داده می‌شود، کریستال‌ها ارتعاش می‌کنند و دیافراگم را می‌لرزانند. درنتیجه‌ی این امر، صدا از طریق گوشی شنیده می‌شود.



شکل ۳ـ۷ـ الف ـ ساختمان گوشی

در شکل ۳ـ۷ـ ب وقتی ولتاژ صوتی به نوک تیز کریستال داده شود، متناسب با شدت صوت ارتعاش می‌کند و شیارهایی متناسب با صدا روی صفحه به وجود می‌آید (اساس کار صفحه‌های گرامافون) و به این ترتیب، صدا روی آن ضبط می‌شود.

شکل ۳ـ۷ـ ب ـ ساختمان گرامافون

۳ـ۷ـ تولید گرما به‌وسیله‌ی جریان الکتریکی

جریان الکتریکی هنگام عبور از سیم، در آن مقداری گرما تولید می‌کند. این بدان علت است که مقداری انرژی مصرف می‌شود تا جریان از سیم عبور کند و این انرژی به صورت گرما ظاهر می‌شود. چون عبور جریان از یک هادی خوب آسان‌تر است، نتیجه می‌گیریم که در آن حرارت کم‌تری تولید می‌شود. یک هادی با قابلیت هدایت کم ـ مانند نیکروم ـ هنگامی که جریانی را از خود عبور می‌دهد، حرارت زیادی تولید می‌کند.

قابلیت هدایت مس ۶۰ برابر نیکروم است. شکل ۴ـ۷ موارد استفاده‌ی اثر حرارتی الکتریسیته را نمایش می‌دهد.

شکل ۴ـ۷ـ موارد استفاده‌ی اثر حرارتی الکتریسیته

۴ـ۷ـ تولید نور به‌وسیله‌ی جریان الکتریکی

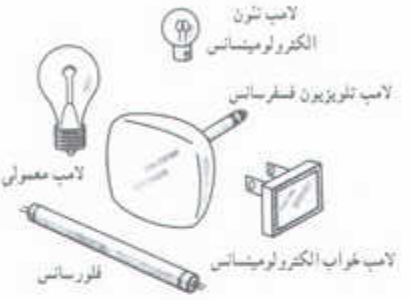
وقتی که از هادی‌های ضعیف جریانی عبور می‌کند، داغ می‌شوند و این گرما را به‌صورت نور قرمز یا سفید ظاهر می‌کنند. درنتیجه، به‌علت گرما و التهاب، درخشش و روشنایی تولید می‌شود که اساس کار لامپ رشته‌ای است.

نور را می‌توان بدون حرارت زیاد نیز توسط جریان الکتریکی تولید کرد. روش‌های متفاوت تولید نور عبارت‌اند از: الکترولومینسانس، فسفرسانس و فلورسانس.

الکترولومینسانس توسط اجسام جامد به‌هنگام عبور جریان از آن‌ها تولید می‌شود. مقدار نوری که از این طریق تولید می‌شود، کم است؛ بنابراین، از آن بیش‌تر در کارهای نمایشی استفاده می‌کنند. بسیاری از گازها به هنگام هدایت جریان برنیزه می‌شوند و تابش‌های نوری تولیدی می‌کنند. نئون، آرگون و بخار جیوه را می‌توان به‌عنوان مثال نام برد. موارد استفاده‌ی آن را نیز در چراغ‌ها و تابلوهای نئون بالای فروشگاه‌ها دیده‌اید.

هنگامی که یک شعاع الکترونی با بعضی از ترکیبات فسفر و مواد مشابه دیگر برخورد می‌کند، فسفرسانس به‌وجود می‌آید. لامپ تصویر تلویزیون بدین گونه عمل می‌کند.

فلورسانس ترکیبی از فسفرسانس و الکترولومینسانس است. گازی مانند بخار جیوه هنگام حمل جریان الکتریکی برنیزه می‌شود و اشعه‌ی ماورای بنفش از خود متصاعد می‌کند. این تشعشعات با لایه‌ی فسفرسانس برخورد می‌کنند و «نور سفید» می‌دهند.

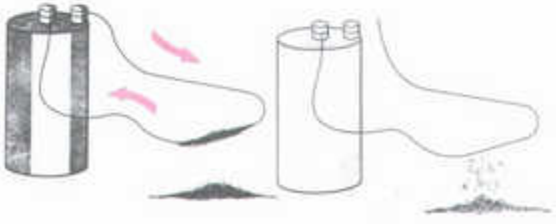


شکل ۵ـ۷ـ تولید نور توسط جریان الکتریکی

۵ـ۷ـ تولید مغناطیس به‌وسیله‌ی جریان الکتریکی

در فصل دوم اشاره کردیم که جریان الکتریکی را می‌توان به‌وسیله‌ی مغناطیس تولید کرد. خاصیت مغناطیسی نیز به‌وسیله‌ی جریان الکتریکی تولید می‌شود. هر هادی که جریان الکتریکی از آن بگذرد، مانند یک مغناطیس عمل می‌کند. به این خاصیت، **خاصیت الکترومغناطیسی** می‌گویند. در فصل نهم درباره‌ی خاصیت الکترومغناطیسی به‌طور مشروح سخن خواهیم گفت.

در شکل ۶ـ۷ هنگامی که جریان الکتریکی از سیم عبور کند، سیم مانند مغناطیس عمل می‌کند و براده‌های آهن را جذب می‌نماید. در صورت قطع‌شدن سیم، خاصیت مغناطیسی سیم از بین می‌رود و براده‌ها می‌افتند.



شکل ۶ـ۷ـ تولید خاصیت مغناطیس توسط جریان الکتریکی

خلاصه‌ی مطالب

• جریان الکتریکی می‌تواند آثار شیمیایی، پیزوالکتریکی، حرارتی، نوری و مغناطیسی تولید کند. • از تجزیه‌ی مواد شیمیایی که در اثر عبور جریان الکتریکی حاصل می‌شود، می‌توان در الکترولیز و آبکاری الکتریکی استفاده کرد. • تجزیه‌ی الکتریکی (الکترولیز) عبارت است از تجزیه‌ی شیمیایی بر اثر عبور جریان از یک محلول. • آبکاری الکتریکی یکی از موارد الکترولیز است.

• اگر به بعضی از کریستال های مخصوص ولتاژ اعمال شود، نیروی پیزوالکتریک (فشار) بر کریستال وارد می‌گردد که باعث تغییر شکل آن می‌شود. • هنگامی که الکتریسیته از یک هادی ضعیف عبور می‌کند، حرارت تولید می‌شود. • از این اثر حرارتی در ترسترها، اتوها، خشک‌کننده های برقی و غیره استفاده می‌کنند. • هم‌چنین به‌وسیله‌ی جریان الکتریکی می‌توان نور تولید کرد. این عمل با استفاده از حرارت زیادی که جریان الکتریکی ایجاد می‌کند، صورت می‌پذیرد. کار لامپ معمولی نیز به همین صورت است. هم‌چنین از طریق تولید حرارت کم، مانند روش به‌کار رفته در الکترولومینسانس، فسفرسانس و فلورسانس می‌توان نور تولید کرد.

• الکترولومینسانس بر اثر عبور جریان الکتریکی از گازها و بعضی اجسام جامد تولید می‌شود. در تابلوهای نئون از گاز به‌عنوان هادی استفاده می‌شود. • فسفرسانس هنگامی صورت می‌گیرد که تشعشع یا شعاع الکترونی با فسفر یا بعضی مواد دیگر برخورد کند. لامپ تصویر تلویزیون بر این اساس کار می‌کند. • فلورسانس ترکیب الکترولومینسانس و فسفرسانس است. بدین ترتیب که گازی یونیزه می‌شود و اشعه‌ی ماورا بنفش از خود می‌تاباند این تشعشع با پوشش فسفرسانس برخورد می‌کند و نور سفید می‌دهد. • عملکرد هر هادی ای که جریان الکتریکی را حمل می‌کند، مانند مغناطیس عمل می‌کند. به اثر حاصل، اثر الکترومغناطیسی می‌گویند.

پرسش

۱ــ پنج اثر جریان الکتریکی را نام ببرید.

۲ــ آبکاری برقی چیست؟ عمل تجزیه‌ی مایع به گازهای متشکله‌اش به‌وسیله‌ی جریان الکتریکی چه نام دارد؟

۳ــ یک هادی خوب حرارت بیش‌تری تولید می‌کند یا یک هادی ضعیف؟ فلزی را نام ببرید که اثر حرارتی زیادی داشته باشد.

۴ــ لامپ معمولی چگونه نور تولید می‌کند؟

۵ــ الکترولومینسانس و فسفرسانس چیست‌اند؟

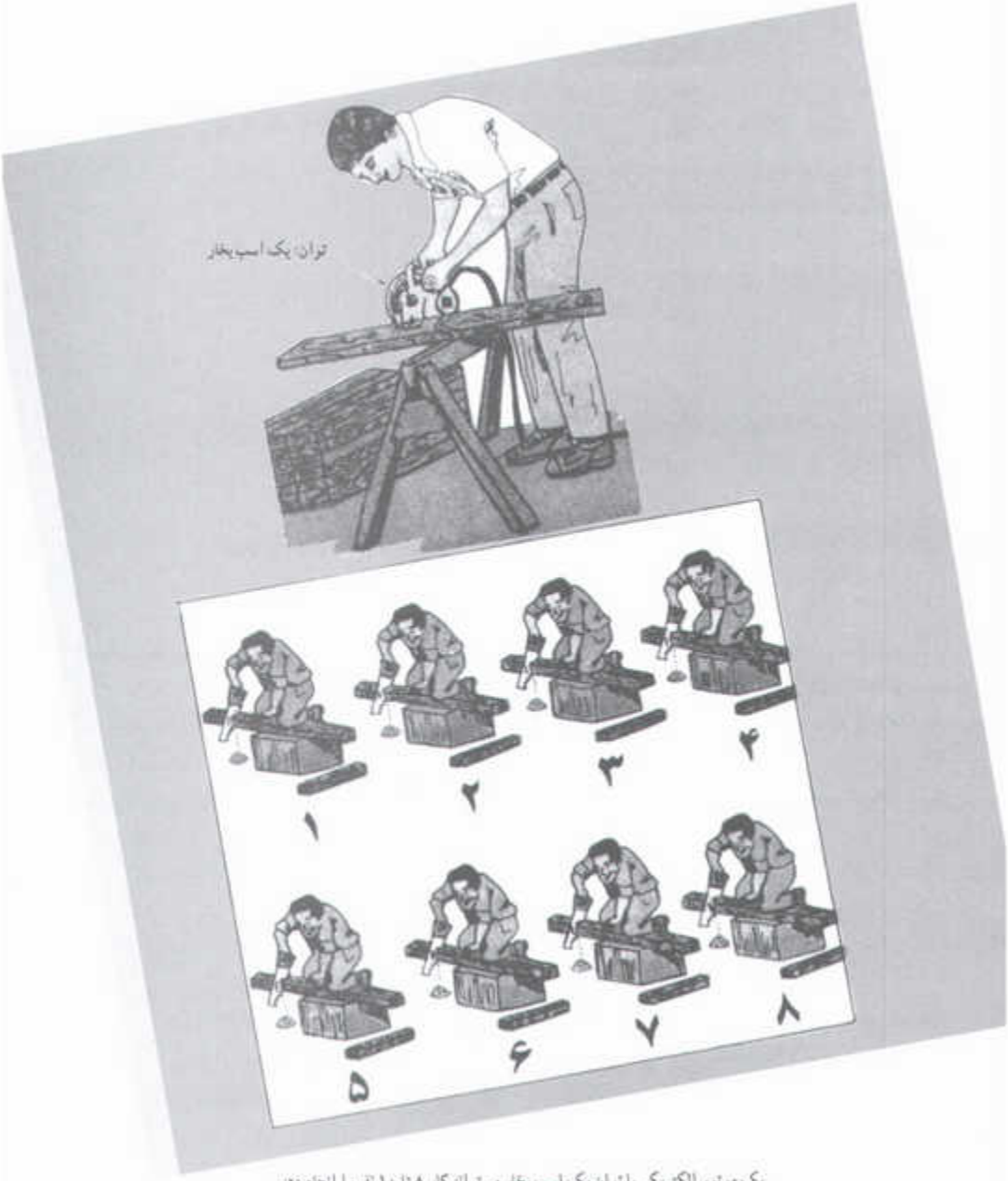
۶ــ از ترکیب الکترولومینسانس و فسفرسانس چه پدیده‌ای ایجاد می‌شود؟

۷ــ در تابلوهای نئون از یک ..... به‌عنوان هادی استفاده شده است.

۸ــ تفاوت لامپ معمولی و دیگر آثار فوتوالکتریک چیست؟

۹ــ گوشی کریستالی براساس چه قانونی کار می‌کند؟ کدام وسایل دیگر نیز بر مبنای این قانون کار می‌کنند؟

۱۰ــ تفاوت بین خاصیت الکترومغناطیسی و الکتریسیته‌ی مغناطیسی چیست؟



یک موتور الکتریکی با توان یک اسب بخار می‌تواند کار ۸ تا ۱۰ نفر را انجام دهد.

کار و توان الکتریکی

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل، از دانش‌آموز انتظار می‌رود:

۱ـ مفهوم کار و توان را توضیح دهد.

۲ـ واحدهای کار و توان الکتریکی را تعریف کند.

۳ـ واحدهای رایج انرژی و توان الکتریکی را نام ببرد.

۴ـ مفهوم تلفات توان را توضیح دهد.

۵ـ راندمان (بازده) را تعریف کند.

۶ـ بهای انرژی مصرفی را محاسبه کند.

۷ـ مقدار حرارت تولید شده در مقاومت‌ها را محاسبه کند.

۸ـ مسائل مربوط به توان و انرژی و حرارت و راندمان را محاسبه کند.

۱ـ۸ـ تعاریف کار و توان

همان‌طورکه در فصل‌های پیش گفته شد، منظور از منبع تغذیه‌ی یک مدار الکتریکی این است که انرژی الکتریکی را برای مصرف کننده تأمین کند. مصرف کننده این انرژی را برای انجام وظایفی به کار می‌برد؛ به‌عبارت دیگر، مصرف‌کننده (بار) از انرژی منبع برای انجام کار استفاده می‌کند. در هنگام انجام کار، مصرف‌کننده انرژی را مصرف می‌کند. به همین علت است که باتری‌ها خالی می‌شوند و به شارژ مجدد نیاز دارند و یا باید آن‌ها را عوض کرد. مقدار کار انجام‌شده به‌وسیله‌ی مصرف کننده به انرژی‌ای که در اختیار دارد و سرعت استفاده از این انرژی بستگی دارد. به‌عبارت دیگر، بارهای مختلف با در اختیارداشتن مقدار معین انرژی برای انجام یک کار مساوی، انرژی را در زمان‌های متفاوتی مصرف می‌کنند؛ بنابراین، بعضی از بارها تندتر از سایرین کار می‌کنند. برای این که بدانیم بار با چه سرعتی کار انجام می‌دهد، باید کمیت توان الکتریکی را تعریف کنیم. توان عبارت است از مقدار کار انجام شده در واحد زمان.

نکته‌ی مهمی که باید همواره در نظر داشت، این است که کار انجام شده در یک مدار ممکن است مفید یا غیرمفید باشند. در هر دو حالت، سرعت انجام کار را بر مبنای توان اندازه می‌گیرند. گردش موتور الکتریکی و همچنین گرمای حاصل از اجاق برقی کار مفید است. از طرف دیگر، گرمای ایجاد شده در سیم‌های رابط و مقاومت‌ها نمونه‌هایی از کار غیرمفیدند؛ زیرا به‌وسیله‌ی این گرما هیچ عمل مفیدی انجام نمی‌شود. هنگامی که توان برای کار غیرمفید مصرف می‌شود، آن را **توان تلف شده** می‌گویند.

شکل ۱ـ۸ نشان می‌دهد که برای چرخاندن موتور یک ساعت الکتریکی، توان بسیار کمی لازم است؛ درصورتی که برای تولید گرما به‌وسیله‌ی اجاق برقی باید توان زیادی مصرف شود.

برای چرخاندن موتور کوچک ساعت الکتریکی، توان الکتریکی بسیار کم لازم است که از یک باتری تأمین می‌شود.

ای گرم‌کردن اجزای گرمازای اجاق، باید
ان الکتریکی زیادی مصرف شود. این توان
شبکه‌ی برق دریافت می‌شود.

شکل ۱ــ۸ــ میزان توان لازم برای ساعت الکتریکی و اجاق برقی

۲ــ۸ــ واحد کار الکتریکی

واحد کار الکتریکی ژول است و آن مقدار کاری است که اختلاف پتانسیل یک ولت برای جابه‌جایی یک کولن الکتریسیته انجام می‌دهد. اگر اختلاف پتانسیل ۱ ولت باعث عبور ۵ کولن الکتریسیته شود، می‌گوییم ۵ ژول کار انجام شده است. این مطالب را می‌توان از طریق رابطه‌ی $W = q.U$ نشان داد. در این رابطه، W انرژی برحسب ژول، q بار عبوری برحسب کولن و U اختلاف‌پتانسیل برحسب ولت است. به‌خاطر دارید که یک آمپر برابر است با عبور یک کولن الکتریسیته از یک نقطه‌ی مدار در یک ثانیه $I = \frac{q}{t}$. پس، از ترکیب دو رابطه‌ی ذکر شده می‌توان نوشت:

$$W = I.t.U$$

۳ــ۸ــ واحد توان الکتریکی

توان الکتریکی را قبلاً تعریف کردیم و آن عبارت بود از میزان کار انجام شده در واحد زمان. پس، با توجه به روابط گفته‌شده خواهیم داشت:

$$P = \frac{W}{t} \Rightarrow P = \frac{I.t.U}{t} \Rightarrow \boxed{P = U.I}$$

بنابراین، واحد توان الکتریکی را بدین صورت نیز می‌توان تعریف کرد: اگر با اختلاف‌پتانسیل ۱ولت، شدت جریانی معادل ۱ آمپر از مداری عبور کند، گوییم توان مصرف‌شده‌ی مدار یک وات است (واحد توان را با W نمایش می‌دهند).

توان مکانیکی معمولاً برحسب اسب بخار hp نیز سنجیده می‌شود. هر اسب بخار معادل ۷۳۶ وات است.

۴ــ۸ــ معادلات توان

رابطه‌ی توان ($P = U.I$) را به شکل‌های دیگر نیز می‌توان نوشت:

$$P = U.I \ , \ U = RI \Rightarrow P = RI.I \Rightarrow \boxed{P = RI^2}$$

$$P = U.\frac{U}{R} \qquad \boxed{P = \frac{U^2}{R}}$$

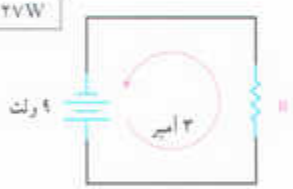
مثال ۱: در مدار شکل ۲ــ۸ مقدار مقاومت الکتریکی و توان مصرفی آن را محاسبه کنید.

$$R = \frac{U}{I} = \frac{۹}{۳}$$

$$\boxed{R = ۳\Omega}$$

$$P = U.I = ۹ \times ۳$$

$$\boxed{P = ۲۷W}$$



شکل ۲ــ۸

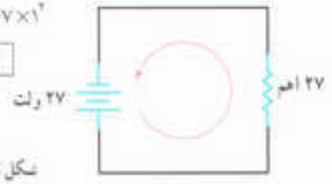
مثال ۲: در مدار شکل ۳ــ۸ مقدار شدت جریان و توان مصرفی مقاومت را محاسبه کنید.

$$I = \frac{U}{R} = \frac{۲۷}{۲۷}$$

$$\boxed{I = ۱A}$$

$$P = RI^2 = ۲۷ \times ۱^2$$

$$\boxed{P = ۲۷W}$$



شکل ۳ــ۸

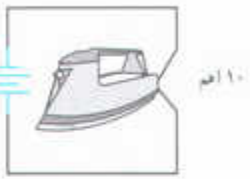
مثال ۳: شدت جریان و توان مصرفی اتوی برقی شکل ۸ــ۴ را محاسبه کنید.

$$I=\frac{U}{R}=\frac{۱۰۰}{۱۰}$$

$$\boxed{I=۱۰A}$$

$$P=RI^۲=۱۰\times۱۰^۲$$

$$\boxed{P=۱۰۰۰W}$$



شکل ۸ــ۴

مثال ۴: ولتاژ منبع و توان مصرفی مقاومت ۲ اهمی مدار شکل ۸ــ۵ را محاسبه کنید.

$$U=R.I=۲\times۸$$

$$U=۱۶V$$

$$P=RI^۲=۲\times۸^۲$$

$$\boxed{P=۱۲۸W}$$

شکل ۸ــ۵

۸ــ۵ــ تلفات توان

توان مصرف‌شده در یک مدار، نشان‌دهنده‌ی کار انجام‌شده در واحد زمان در آن مدار است ولی باید در نظر داشت که همه‌ی توان مصرفی صرف انجام کار مفید نمی‌شود بلکه به‌علت وجود مقاومت الکتریکی در سیم‌های رابط، منبع ولتاژ و بار، توان اتلاف خواهد شد. باید تلاش کرد که در هر مدار الکتریکی مقدار توان تلف‌شده به حداقل برسد.

تلفات توان را می‌توان از رابطه‌ی $\Delta P=RI^۲$ محاسبه کرد. در این رابطه، ΔP تلفات توان برحسب وات و R مقاومت الکتریکی سیم‌های رابط و مقاومت داخلی منابع (و در مورد الکتروموتورها مقاومت سیم‌پیچ‌ها برحسب اُهم) و I شدت جریان عبوری برحسب آمپر است. کاهش توان تلف‌شده از دو طریق امکان‌پذیر است: ۱ــ کم کردن شدت جریان، ۲ــ کاهش مقاومت سیم‌های رابط.

۱ــ۵ــ۸ــ کم‌کردن شدت جریان: چون شدت‌جریان عبوری به توان مصرف‌کننده بستگی دارد، پس با اعمال ولتاژ کم‌تر می‌توان اتلاف توان را کاهش داد ولی مصرف‌کننده دارای توان نامی نیست و کار مورد نظر را انجام نخواهد داد؛ بنابراین، کاهش ولتاژ روش مناسبی نیست.

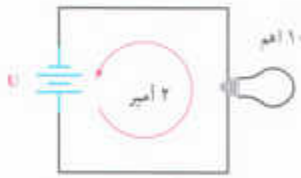
۲ــ۵ــ۸ــ کاهش مقاومت سیم‌های رابط: با انتخاب سطح مقطع و جنس مناسب سیم می‌توان مقاومت الکتریکی سیم‌های رابط را کاهش داد. در این صورت، تلفات توان $I^۲.R$ به کم‌ترین مقدار کاهش می‌یابد. در بعضی از دستگاه‌های الکتریکی مانند اتو و بخاری برقی، گرمای ایجاد شده به‌وسیله‌ی مقاومت توان مفید است و نمی‌توان آن را توان تلف‌شده در نظر گرفت.

مثال ۵: در شکل ۸ــ۶ توان مفید لامپ را محاسبه کنید.

$$P=RI^۲$$

$$P=۱۰\times۲^۲$$

$$\boxed{P=۴۰W}$$



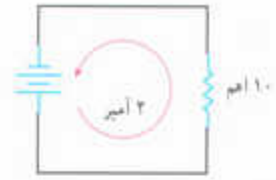
شکل ۸ــ۶

مثال ۶: در شکل ۸ــ۷ تلفات توان در مقاومت ۱۰ اهمی را محاسبه کنید.

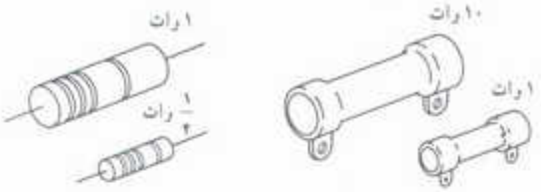
$$\Delta P=RI^۲$$

$$\Delta P=۱۰\times۲^۲$$

$$\boxed{\Delta P=۴۰W}$$



شکل ۷ـ۸



شکل ۸ـ۸ـ چند مقاومت تولیدی کارخانه‌های مختلف

با توجه به تمرین‌های ۵ و ۶ درمی‌یابیم که $I^2.R$ گاهی توان مفید است (در لامپ) و در بیش‌تر مواقع به صورت حرارت و غیرمفید (در سیم‌های رابط) به هدر می‌رود.

۶ـ۸ـ توان مجاز مقاومت‌ها

می‌دانیم که در یک مقاومت اگر شدت جریان از حد معینی بالاتر رود، با خرابی یا از بین‌رفتن مقاومت و به اصطلاح سوختن آن مواجه خواهیم شد. این حرارت را توان $I^2.R$ ایجاد می‌کند که آن را توان تلف‌شده برحسب وات می‌دانیم. بنابراین، هر مقاومت دارای یک حداکثر توان یا توان مجاز است که نمودار حرارت ایجاد شده به‌وسیله‌ی $I^2.R$ قبل از سوختن و از بین‌رفتن است. این به آن معناست که یک مقاومت با توان مجاز برابر ۱ وات اگر در مداری قرار گیرد که توان مصرفی در آن ($I^2.R$) بیش‌تر از ۱ وات باشد، خواهد سوخت. اگر توان مجاز یک مقاومت را بدانیم و بخواهیم ماکزیمم شدت جریانی را که به وسیله‌ی مقاومت قابل تحمل است پیدا کنیم، می‌توانیم از رابطه‌ی زیر استفاده کنیم.

$$P = I^2.R \quad , \quad I^2 = \frac{P}{R} \quad , \quad I = \sqrt{\frac{P}{R}}$$

معمولاً اندازه‌ی قدرت روی مقاومت‌ها نوشته نمی‌شود امّا از روی اندازه‌ی فیزیکی آن‌ها قابل تشخیص است. اندازه‌های فیزیکی استفاده شده برای ۱ وات نه فقط بسته به نوع آن متغیر است بلکه تولیدات کارخانه‌های مختلف نیز فرق می‌کند. پس ممکن است تشخیص آن دشوار باشد؛ بنابراین، باید فهرست مشخصات مقاومت‌های تولیدی کارخانه‌های مختلف را کنترل کرد.

مثال ۷: شدت جریان مجاز (قابل تحمل) برای مقاومت ۱ اهم با توان مجاز ۴ وات چه‌قدر است؟

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{۴}{۱}} = ۲A$$ می‌دهد: $\boxed{I = ۲A}$

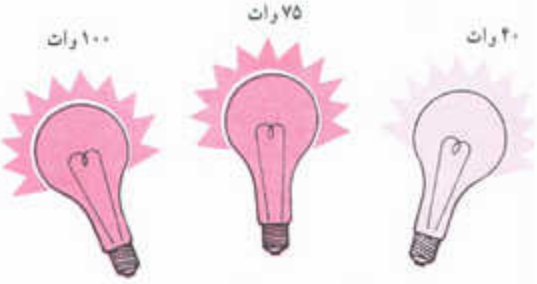
درصورتی که جریان عبوری از مقاومت از ۲ آمپر تجاوز کند، مقاومت صدمه می‌بیند و به اصطلاح می‌سوزد.

۷ـ۸ـ میزان توان لامپ رشته‌ای (معمولی)

لامپ معمولی از یک فیلامان از جنس تنگستن ـ که در حباب شیشه‌ای قرار دارد ـ تشکیل شده است. وقتی به لامپ ولتاژی اعمال شود، جریانی از رشته‌ی داخل عبور می‌کند و سبب مصرف توان $I^2.R$ در آن می‌شود. گرمای حاصل از مصرف این توان به حدّی است که فیلامان لامپ داغ می‌شود، به رنگ سفید درمی‌آید و از خود نور می‌تاباند. هرچه رشته بیش‌تر گرم شود، نوری که از آن می‌تابد بیش‌تر است. به این ترتیب، برای تقسیم‌بندی لامپ‌های الکتریکی از توان مصرفی آن‌ها ـ که باعث گرما و نهایتاً نور می‌شود ـ استفاده می‌کنند. کارخانه‌های تولیدکننده‌ی لامپ نیز مقدار توان گرمایی $I^2.R$ را برحسب وات و ولتاژ نامی روی لامپ ثبت می‌کنند. هرچه میزان توان مصرفی لامپ‌ها بیش‌تر باشد، مقدار نوری که از خود می‌تابانند زیادتر خواهد بود.

در شکل ۹ـ۸ میزان توان مصرفی چند لامپ رشته‌ای را که همگی با ولتاژ ۱۱۰ ولت تغذیه می‌شوند، مشاهده می‌کنید.

مثال ۸: شدت جریان و مقاومت الکتریکی هر یک از لامپ‌های شکل ۹ـ۸ را در صورتی که ولتاژ نامی همه‌ی آن‌ها ۱۱۰ ولت باشد، محاسبه کنید.



شکل ۹ـ۸ـ توان مصرفی چند لامپ

لامپ ۱۰۰W $P = U.I \Rightarrow ۱۰۰ = ۱۱۰ \times I$

$$I = ۰/۹۱A$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{۱۱۰}{۰/۹۱}$$

$$R = ۱۲۱\Omega$$

لامپ ۷۵W $P = U.I \Rightarrow ۷۵ = ۱۱۰ \times I$

$$I = ۰/۶۸A$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{۱۱۰}{۰/۶۸}$$

$$R = ۱۶۱\Omega$$

لامپ ۴۰W $P = U.I \Rightarrow ۴۰ = ۱۱۰ \times I$

$$I = ۰/۳۶A$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{۱۱۰}{۰/۳۶}$$

$$R = ۳۰۵/۵\Omega$$

با توجه به مثال ۸ درمی‌یابیم که با ولتاژ ثابت، لامپی با توان بیش‌تر دارای شدت جریان بیش‌تر و مقاومت کم‌تر است و برعکس. پس در صورت افزایش ولتاژ هر لامپی، شدت جریان آن بیش‌تر می‌شود و لامپ می‌سوزد. هم‌چنین، براثر کاهش ولتاژ، شدت جریان عبوری کم می‌شود و روشنایی آن نیز کاهش می‌یابد. با استفاده از این خاصیت (تنظیم ولتاژ)، می‌توان نور لامپ‌ها را تغییر داد.

مثال ۹: روی لامپی مقادیر ۲۲۰V و ۲۰۰W به چشم می‌خورد. شدت جریان و مقاومت آن را محاسبه کنید.

در صورت کاهش ولتاژ به میزان ۱۸۰ ولت، شدت جریان و توان جذب‌شده توسط لامپ چه‌قدر می‌شود؟

$$P = U.I \Rightarrow ۲۰۰ = ۲۲۰ \times I \rightarrow I = \frac{۲۰۰}{۲۲۰} \Rightarrow I = ۰/۹A$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{۲۲۰}{۰/۹} \Rightarrow R = ۲۴۴\Omega$$

$$I = \frac{U}{R} = \frac{۱۸۰}{۲۴۴} \Rightarrow I = ۰/۷۳A$$

$$P = RI^۲ = ۲۴۴ \times ۰/۷۳^۲$$

$$P = ۱۳۰W$$

پس، در اثر کاهش ولتاژ از ۲۲۰ ولت به ۱۸۰ ولت جریان و توان به ترتیب به میزان ۰/۷۳ آمپر و ۱۳۰ وات تقلیل می‌یابد و روشنایی لامپ از روشنایی عادی کم‌تر می‌شود.

۸ـ۸ـ تقسیم‌بندی وسایل الکتریکی (گرمازا)

دانستیم که میزان توان یک مقاومت یا یک لامپ الکتریکی نشان‌دهنده‌ی گرمای ایجادشده است. اگر چه میزان توان همیشه مقدار گرما را نشان می‌دهد ولی در عمل، معنای آن برای وسایل مختلف متفاوت است.

بیش‌تر وسایل الکتریکی ـ به‌خصوص وسایلی که گرما در به‌کارانداختن آن‌ها مؤثر است ـ از روی میزان توان درجه‌بندی می‌شوند؛ مانند: اتو، تُستر، بخاری‌های برقی، اجاق‌های برقی و غیره. در این‌گونه وسایل، هر چه میزان توان حرارتی بیش‌تر باشد، گرمای به‌وجودآمده بیش‌تر است. این به آن معنا است که مثلاً یک بخاری برقی ۱۵۰۰ واتی بیش‌تر از یک بخاری برقی ۱۰۰۰ واتی گرما تولید می‌کند و مسلماً می‌تواند محیط بزرگ‌تری را گرم کند. البته همیشه وسایلی که بالاترین میزان توان را دارند، بهترین نخواهند بود؛ مثلاً کارخانه‌ها می‌توانند کرسی‌هایی با توان ۱۰۰۰۰ وات بسازند ولی این کرسی‌ها آدم را گرم نخواهند کرد بلکه در یک چشم به‌هم‌زدن او را می‌سوزانند! شکل ۱۰ـ۸ مقادیر توان‌های متداول چند مصرف‌کننده‌ی الکتریکی (گرمازا) را نمایش می‌دهد.

۹ـ۸ـ توان مفید و راندمان (بازده) الکتروموتور

در الکتروموتورها میزان توان مفید ـ که به‌صورت مکانیکی ارائه می‌شود ـ به مقدار توان تلف‌شده در سیم‌پیچ‌ها ($RI^۲$)

شکل ۱۰ـ۸ـ مقادیر توان‌های متداول وسایل الکتریکی (گرمازا)

یستگی دارد (R مقاومت سیم‌پیچ‌ها و I شدت جریان عبوری است). بدین معنا که هر قدر $I^2.R$ پیش‌تر باشد، توان مفید کاهش می‌یابد؛ بنابراین، در الکتروموتورها سعی بر این است که مقدار توان تلف‌شده، کم باشد. البته به غیر از $I^2.R$ تلفات دیگری در الکتروموتورها وجود دارد که آن‌ها را در درس ماشین‌های الکتریکی در سال بعد به‌طور مشروح بیان خواهیم کرد. معمولاً در روی پلاک مشخصات الکتروموتورها، توان مفید برحسب اسب بخار و راندمان به درصد نوشته می‌شود. از این طریق، توان الکتریکی الکتروموتور و تلفات داخلی آن‌را به‌راحتی محاسبه می‌کنند. با ذکر تمرین مطلب روشن‌تر می‌شود (راندمان، نسبت توان مفید (P_2) به توان ورودی الکتروموتور (P_1) است که آن را با حرف یونانی η (اتا) نمایش می‌دهند).

مثال ۱۰: توان مفید الکتروموتوری ۱ اسب بخار و راندمان آن ۸۵ درصد است. توان ورودی و تلفات داخلی آن را محاسبه کنید. درصورتی که ولتاژ این الکتروموتور ۲۲۰ ولت باشد، شدت جریان چه‌قدر است؟

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \Rightarrow P_1 = \frac{P_2}{\eta} = \frac{1 \times 736}{0/85}$$

قدرت ورودی $P_1 = 866W$

$$\Delta P = P_1 - P_2 = 866 - 736$$

تلفات داخلی $\boxed{\Delta P = 130W}$

$$P_1 = U.I \rightarrow I = \frac{P_1}{U} = \frac{866}{220}$$

$\boxed{I = 3/9A}$

۱۰ـ۸ـ اندازه‌گیری انرژی الکتریکی

انرژی الکتریکی مصرفی مورد نیاز یک کشور به‌وسیله‌ی شرکت‌های برق بزرگ تأمین می‌شود. این انرژی از محل تولید از طریق یک سیستم الکتریکی متشکل از سیم‌ها، کابل‌ها و پست‌ها بین مصرف‌کنندگان توزیع می‌گردد. انتهای این سیستم توزیع انرژی کارخانه‌ها و منازل هستند. شرکت‌های برق که انرژی الکتریکی را عرضه می‌کنند، باید از مقدار مصرف مشترکان مطلع باشند. اندازه‌گیری انرژی مصرفی منازل، فروشگاه‌ها و کارخانه‌ها به‌وسیله‌ی دستگاهی به‌نام کنتور برق انجام می‌شود. هر مشترک براساس مقدار کاری که به‌وسیله‌ی انرژی الکتریکی انجام داده است، باید مبلغی پول پرداخت کند. می‌دانیم که سرعت کار انجام

شده را برحسب وات اندازه می‌گیرند. بنابراین، برای محاسبه‌ی کل کار انجام شده، باید زمان مورد مصرف را در توان ضرب کرد؛ مثلاً اگر یک لامپ ۱۰۰ واتی مدت یک ساعت روشن باشد، انرژی مصرفی لامپ ۱۰۰=۱×۱۰۰ وات ـ ساعت می‌شود. وات ـ ساعت واحد کوچکی است؛ به همین دلیل، به جای آن از کیلووات ـ ساعت استفاده می‌کنیم بر این اساس، انرژی مصرفی لامپ مورد مثال، برابر ۰/۱kW×۱=۰/۱kWh است.

۱۱ـ۸ـ محاسبه‌ی قیمت برق مصرفی

برای محاسبه‌ی قیمت انرژی مصرفی کل، کافی است ابتدا مقدار انرژی مصرفی هر وسیله‌ی الکتریکی را محاسبه و سپس با هم جمع کنیم. به این ترتیب، انرژی مصرفی کل به‌دست می‌آید. آن‌گاه انرژی مصرفی کل را در قیمت هر kWh ضرب می‌کنیم تا بهای انرژی مصرفی محاسبه شود.

مثال ۱۱: اگر ۵ لامپ ۱۰۰ واتی روزانه ۵ ساعت، یک اتوی برقی ۱ کیلوواتی روزانه ۱ ساعت و یک دستگاه تلویزیون ۵۰۰ واتی روزانه ۵ ساعت روشن باشند، درصورتی که قیمت هر کیلووات ساعت ۱۰ ریال باشد، هزینه‌ی انرژی مصرف کل مصرف‌کننده‌ها در یک ماه چه‌قدر است؟

$W_1 = P_1 \times t_1 = 5 \times 100 \times 5 = 2500\,wh = 2/5kWh$

$W_2 = P_2 \times t_2 = 1 \times 1 = 1kWh$

$W_3 = 500 \times 5 = 2500\,Wh = 2/5kWh$

$W = W_1 + W_2 + W_3 = 2/5 + 1 + 2/5 = 6kWh$

انرژی مصرفی هر روز

انرژی مصرفی در ماه $W = 6 \times 30 = 180\,kWh$

بهای انرژی مصرفی در ماه به ریال $180 \times 10 = 1800$

۱۲ـ۸ـ محاسبه‌ی انرژی حرارتی

انرژی حرارتی در وسایل گرمازا مانند آب گرم‌کن و کتری برقی را برحسب کالری محاسبه می‌کنند. برای تولید یک کالری گرما ۴/۱۸ ژول انرژی الکتریکی نیاز است. پس برای تولید Q کالری حرارت، Q۴/۱۸ ژول مورد نیاز خواهد بود؛ بنابراین، خواهیم داشت: $W = 4/18Q$. این رابطه را به شکل $Q = 0/24W$ نیز می‌توان نوشت.

$W = P.t = RI^2t$

$\boxed{Q = 0/24RI^2t}$

خلاصه‌ی مطالب

- واحد کار الکتریکی ژول است. یک ژول کار عبارت است از عبور یک کولن الکتریسیته در اختلاف پتانسیل ۱ ولت.
- توان نشان‌دهنده‌ی سرعت انجام کار است و آن مقدار کاری است که در واحد زمان انجام می‌شود و واحد آن وات است. ۱ وات عبارت است از ۱ ژول کار در مدت ۱ ثانیه؛ به بیان دیگر، ۱ وات توان مصرف‌شده است هنگامی که اختلاف پتانسیل ۱ ولت، شدت جریانی به مقدار ۱ آمپر را از مداری عبور دهد.
- واحد توان مکانیکی اسب بخار (hp) است. هر اسب بخار معادل ۷۳۶ وات است.
- توان را می‌توان به‌وسیله‌ی سه معادله‌ی زیر برحسب ولتاژ، شدت جریان و مقاومت محاسبه کرد.

$$P = \frac{U^2}{R} \quad P = I^2.R \quad , \quad P = U.I$$

• از سه معادله‌ی گفته‌شده می‌توان به صورتی دیگر برای به‌دست‌آوردن ولتاژ، شدت جریان یا مقاومت استفاده کرد.

$$U=\frac{P}{I}\ ,\ R=\frac{U^2}{P}\ ,\ R=\frac{P}{I^2}\ ,\ I=\frac{P}{U}\ ,\ I=\sqrt{\frac{P}{R}}\ ,\ U=\sqrt{PR}$$

• کار انجام‌شده در یک مدار الکتریکی ممکن است مفید یا غیرمفید باشد. وقتی توان برای کار غیرمفید به‌کار رود، آن را توان تلف‌شده می‌خوانند.

• توان تلف‌شده غالبا به‌صورت گرماست که آن را توان گرمایی $I^2.R$ می‌نامند.

• میزان توان مجاز مقاومت‌ها غالبا برای ۴۰ درجه سانتی‌گراد و در هوای آزاد داده می‌شود.

• میزان توان لامپ‌های برق متناسب با رشته‌ی مقاومت داخل آن‌ها بیان می‌شود. هرچه میزان این توان بیش‌تر باشد، مقاومت کم‌تر است و برعکس.

• مقدار نور ایجاد شده به‌وسیله‌ی یک لامپ، به میزان توان آن لامپ بستگی دارد. هرچه میزان توان بیش‌تر باشد، نور بیش‌تری تولید می‌شود.

• شرکت‌های تولیدکننده‌ی انرژی الکتریکی برای اندازه‌گیری انرژی الکتریکی و دریافت‌بهای آن از مشتری، مقدار کار الکتریکی را در نظر می‌گیرند. واحد اصلی انرژی الکتریکی وات ـ ساعت است اما از کیلووات ـ ساعت (۱۰۰۰ وات ـ ساعت) بیش‌تر استفاده می‌شود.

• برای تولید یک کالری گرما، ۴٫۱۸ ژول انرژی الکتریکی مورد نیاز است.

پرسش

۱ـ واحدهای زیر را تعریف کنید.

ژول، وات، وات ـ ساعت و کیلووات ـ ساعت.

۲ـ یک کیلووات ـ ساعت چند ژول است؟

۳ـ برای P، U و I یک نمودار «پی» رسم کنید.

۴ـ یک موتور ۱۴۹۲ وات توان مصرف می‌کند. توان آن را بر حسب hp و kW بیان کنید.

ج) ۱/۴۹۲kW و ۲/۰۲hp

۵ـ اگر بخواهیم برای روشن کردن اتاق نور بیش‌تری تولید کنیم، توان لامپ به‌کار رفته باید کم‌تر باشد یا بیش‌تر؟ چرا؟

۶ـ I^2R تلف‌شده چه مفهومی دارد؟

۷ـ معادله‌ی پیدا کردن P، اگر U و I معلوم باشند چیست؟

۸ـ معادله‌ی پیدا کردن U، اگر P و R معلوم باشند چیست؟

۹ـ معادله‌ی پیدا کردن I، اگر R و P معلوم باشند چیست؟

۱۰ـ معادله‌ی پیدا کردن R، اگر P و U معلوم باشند چیست؟

تمرین

۱ــ لامپی با ۲۲۰ ولت کار می‌کند و توان مصرفی آن ۱۵۰ وات است.، مقاومت فیلامان آن را حساب کنید.

ج) ۳۲۲/۶Ω

۲ــ یک لامپ ۴۰ واتی با ۱۲ ولت روشن می‌شود. شدت جریان این لامپ را به‌دست آورید.

ج) ۳/۳۳A

۳ــ ماکزیمم ولتاژی را که می‌توان به دو سر یک مقاومت ۱۰۰۰ اهمی با توان ۱۰ وات وصل کرد، چه‌قدر است؟

ج) ۱۰۰V

۴ــ توان مجاز مقاومت ۱ کیلواهمی ۱۰ وات است. جریان قابل تحمل آن چه‌قدر است؟ ج) ۰/۱A

۵ــ یک لامپ ۱۰۰ واتی و ۲۲۰ ولتی را به ولتاژ ۱۰۰ ولت وصل می‌کنیم. شدت جریان و توان لامپ را در این حالت حساب کنید. ج) ۰/۲A و ۲۰W

۶ــ یک اتوی برقی ۲۲۰ ولتی، ۵۵۰ وات توان مصرف می‌کند. مقاومت سیم‌های داخل آن چند اهم است؟ اگر ولتاژ ۱۵ درصد کاهش یابد، توان و درجه‌ی حرارت اتو چند درصد کاهش می‌یابد؟

ج) ۸۸Ω و ٪۲۷/۸

۷ــ در مداری با یک فیوز ۶ آمپری، چند لامپ ۴۰ واتی، ۲۲۰ ولتی می‌توانند روشن باشند، بدون این‌که جریان برق قطع شود؟ اگر از یک اتوی برقی ۷۵۰ واتی استفاده شود، چند عدد از لامپ‌ها را می‌توان روشن کرد؟

ج) لامپ ۱۴ و لامپ ۳۳

۸ــ یک موتور الکتریکی، در مدت یک دقیقه و ۱۰ ثانیه و ۳۵۰۰۰ ژول انرژی مصرف کرده است. توان دریافتی آن چه‌قدر است؟ درصورتی که راندمان این موتور ٪۸۰ باشد، قدرت مفید آن چند اسب بخار است؟

ج) $P_1 = 500W$ و $P_2 = 0/54hp$

۹ــ اگر موتور مسئله‌ی ۸ با ولتاژ ۲۲۰ ولت کار کند، شدت جریان عبوری آن را حساب کنید.

ج) $I = 2/27A$

۱۰ــ یک جرثقیل الکتریکی در مدت ۳ دقیقه ۱۰ تن بار را جابه‌جا کرده است. اگر توان این جرثقیل ۸۰۰۰ وات باشد، برای جابه‌جایی یک تن بار چه مقدار انرژی الکتریکی را به مصرف می‌رساند؟

ج) ۱۴۴۰۰۰ ژول

۱۱ــ انرژی مصرفی خانواده‌ای در یک سال ۱۲۰۰ کیلووات ساعت بوده است. تعیین کنید این خانواده به‌طور متوسط در هر ماه بابت مصرف انرژی الکتریکی چه مبلغی پرداخت کرده است؟ در صورتی که بهای هر کیلووات ساعت انرژی الکتریکی ۲۰ ریال باشد.

ج) ۲۰۰۰ ریال

۱۲ــ در یک ساختمان چهار طبقه، انرژی الکتریکی مصرفی طبقات در یک ماه به‌ترتیب زیر است. طبقه‌ی اول ۱۴۰ کیلووات ساعت، طبقه‌ی دوم ۷۰ کیلووات ساعت، طبقه‌ی سوم ۴۰ کیلووات ساعت و طبقه‌ی چهارم ۹۵ کیلووات ساعت. اگر قیمت هر کیلووات ساعت ۵ ریال باشد، تعیین کنید هر طبقه چه‌قدر باید بابت انرژی الکتریکی مصرفی بپردازد؟

ج) ۷۰۰ ریال و ۳۵۰ ریال و ۲۰۰ ریال و ۴۷۵ ریال

۱۳ـ راه‌پله‌ی یک ساختمان پنج طبقه با ۱۰ لامپ ۱۰۰ واتی روشن می‌شود. اگر انرژی مصرفی این لامپ‌ها در یک ماه ۳۰ کیلووات ساعت باشد، تعیین کنید هر لامپ به‌طور متوسط، در طول یک روز چه مدت روشن بوده است؟ ثانیاً در صورتی که هر کیلووات ساعت ۵ ریال ارزش داشته باشد ؛ مبلغ پرداختی هر طبقه به‌طور متوسط در یک ماه چه‌قدر است؟

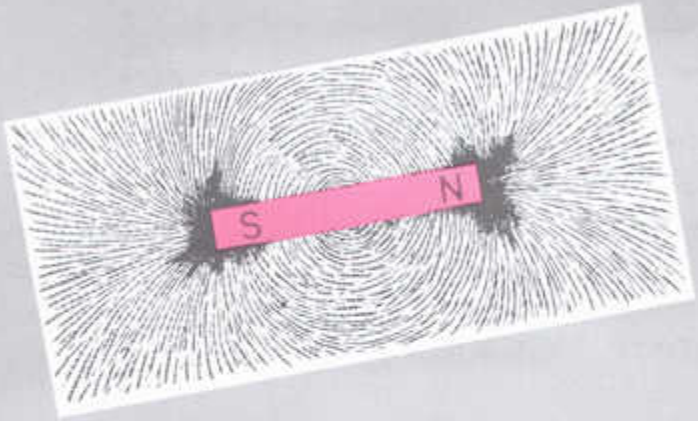
ج) ۳۰ ساعت و یک ریال

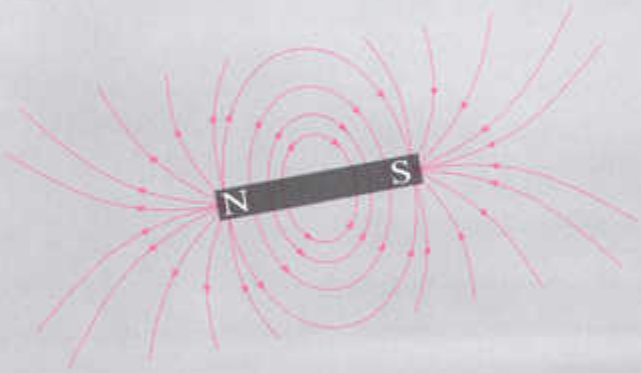
۱۴ـ از یک اتوی برقی به مقاومت ۶۵ اهم، جریانی به شدت ۳ آمپر به مدت ۵ دقیقه عبور می‌کند. مقدار گرمای ایجاد شده در اتو را برحسب کیلوکالری محاسبه کنید.

ج) ۴۲/۱۲kcal

۱۵ـ یک آب‌گرم‌کن الکتریکی در مدت ۲ ساعت ۴۰ لیتر آب ۱۰ درجه را به ۶۰ درجه‌ی سانتی‌گراد می‌رساند. درصورتی که توان این آب‌گرم‌کن ۱۵۰۰ وات باشد برای گرم کردن این مقدار آب، چه مقدار انرژی الکتریکی مصرف کرده است؟ برای گرم‌کردن هر لیتر آب چه مقدار انرژی صرف شده است؟ مقدار انرژی مصرفی هر لیتر آب به‌ازای یک درجه‌ی سانتی‌گراد چه‌قدر بوده است؟

ج) ۳kWh و ۰/۰۷۵kWh و ۰/۰۶kWh


S
N


N
S

فصل نهم

مغناطیس و الکترومغناطیس

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل، از دانش‌آموز انتظار می‌رود:

۱ــ میدان الکتریکی و میدان مغناطیسی بار الکتریکی الکترون را شرح دهد.

۲ــ مولکول مغناطیسی را شرح دهد.

۳ــ اجسام مغناطیسی را نام ببرد.

۴ــ روش‌های ساختن یک مغناطیس و از بین بردن خاصیت مغناطیسی یک آهن‌ربا را شرح دهد.

۵ــ خطوط میدان و میدان مغناطیسی را تعریف کند.

۶ــ پوشش مغناطیسی را شرح دهد.

۷ــ الکترومغناطیس را تعریف کند.

۸ــ اثر الکترومغناطیس را در یک سیم بیان کند.

۹ــ چگونگی تعیین جهت میدان در یک سیم را بیان کند.

۱۰ــ اثر الکترومغناطیس در دو سیم جریان‌دار را شرح دهد.

۱۱ــ اثر الکترومغناطیس را در یک حلقه شرح دهد.

۱۲ــ اثر الکترومغناطیس را در بوبین شرح دهد و دلیل قوی تر شدن میدان مغناطیسی بوبین با هسته‌ی مغناطیسی را توضیح دهد.

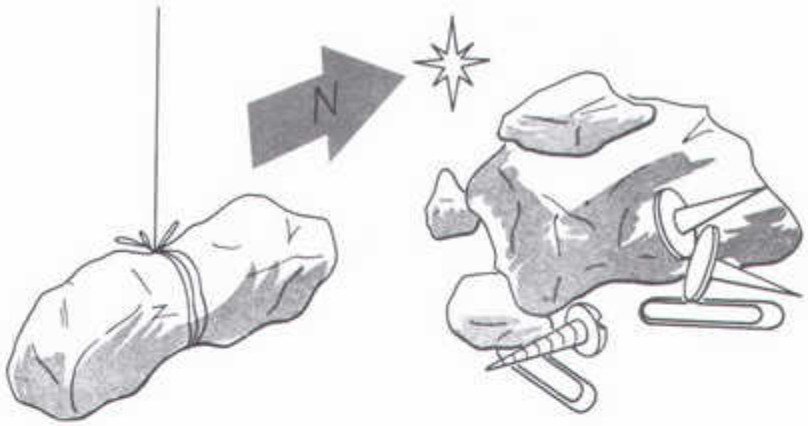
۱۳ــ کاربردهای مغناطیس را نام ببرد و ساختمان ساده‌ی هر یک از وسایلی را که با مغناطیس کار می‌کنند، به‌طور مختصر توضیح دهد.

۱۴ــ تراکم خطوط مغناطیسی را در اطراف یک سیم، مرکز یک حلقه و داخل بوبین محاسبه کند.

۱۵ــ نیروی محرکه‌ی مغناطیسی یک بوبین را حساب کند.

۱ــ۹ــ سنگ آهن مغناطیسی

در حدود دو هزار سال پیش یونانیان قدیم سنگ آهن مغناطیسی را کشف کردند. چون این سنگ‌ها آهن را جذب کردند و در ناحیه‌ی مگنز یا در آسیای صغیر پیدا شده بود، آن‌ها را مغناطیس خواندند. بعدها کشف شد که اگر این سنگ را به‌وسیله‌ی یک نخ آویزان کنند، به خودی خود جنوب و شمال را مشخص می‌کند. به همین دلیل، آن را سنگ راهنما یا آهن‌ربا نامیدند. پس آهن‌ربا در اصل یک مغناطیس طبیعی است که اجسام مغناطیسی را جذب می‌کند. فرمول شیمیایی سنگ‌آهن مغناطیسی Fe_3O_4 است.



شکل ۱ـ۹ـ سنگ آهن مغناطیسی

۲ـ۹ـ میدان الکترومغناطیسی

نیروهای الکتریکی و مغناطیسی به یک‌دیگر مربوط‌اند ولی کاملاً با هم تفاوت دارند. نیروهای مغناطیسی و نیروهای الکترواستاتیک تا هنگامی که حرکتی وجود نداشته باشد، بر یک‌دیگر بی‌اثرند ولی در صورتی که میدان نیروی هر یک از آن‌ها متحرک باشد، اثرات متقابل برهم می‌گذارند. چون الکترون کوچک‌ترین جزء هر اتم است، برای تشریح رابطه‌ی بین الکتریسیته و مغناطیس نظریه‌ای به‌وجود آمده است که به آن نظریه‌ی **الکترومغناطیس** می‌گویند.

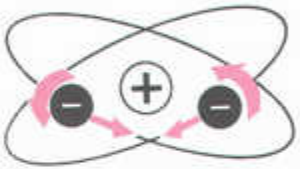
می‌دانیم که الکترون دارای بار منفی است. این بار خطوط نیروی الکتریکی‌ای تولید می‌کند که از تمام جهات به الکترون وارد می‌شوند. بار گردنده نیز به علت حرکت وضعی، دراطراف خود میدان مغناطیسی تولید می‌کند. این میدان به صورت دوایر هم مرکز در دور الکترون نشان داده می‌شود. در هر نقطه، خطوط نیروی الکتریکی و خطوط نیروی مغناطیسی بر یک‌دیگر عمودند. به ترکیب این دو میدان، **میدان الکترومغناطیسی** می‌گویند.

شکل ۲ـ۹ـ میدان الکترومغناطیسی

۳ـ۹ـ مولکول مغناطیسی

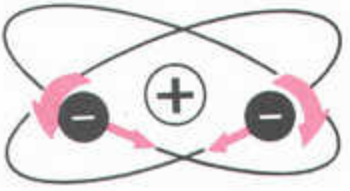
عناصر آهن، نیکل، کبالت، کادمیم و دیسپرسیم تنها انواع فلزات مغناطیسی طبیعی هستند ولی چون همه‌ی عناصر الکترون دارند، این سؤال پیش می‌آید که چرا همه‌ی اجسام خاصیت مغناطیسی (آهن‌ربایی) ندارند. پاسخ این است که هر جفت الکترون درمدارها دارای گردش وضعی مخالف یک‌دیگرند. لذا میدان‌های

مغناطیسی مخالف هم ایجاد می‌کنند که یک‌دیگر را خنثا می‌سازند. ممکن است این فکر پیش آید که فقط اجسامی که تعداد الکترون‌هایشان فرد است، خاصیت مغناطیسی دارند. پاسخ این است که اگر این اتم‌ها می‌توانستند به‌صورت مجزا باشند، این فکر درست بود ولی هنگامی که اتم‌ها با یک‌دیگر ترکیب می‌شوند تا مولکول تشکیل دهند، خود را به صورتی درمی‌آورند که ۸ الکترون والانس داشته باشند و در نتیجه‌ی چرخش‌های وضعی الکترون‌ها در اغلب اجسام، میدان مغناطیسی هم‌دیگر را خنثا می‌کنند. در شکل ۳ــ۹ حرکت وضعی جفت الکترون‌ها اثر مغناطیسی آن‌ها خنثا می‌شود.



شکل ۳ــ۹ــ اتم غیرمغناطیس

بنا به دلایلی، این حالت در فلزات گفته شده در بالا وجود ندارد. هنگامی که اتم‌های این فلزات با یک‌دیگر ترکیب می‌شوند، به صورت یون درمی‌آیند و الکترون‌های والانسشان را طوری به اشتراک می‌گذارند که بسیاری از میدان‌های مغناطیسی حاصل از چرخش‌های وضعی الکترون‌ها یک‌دیگر را خنثا نمی‌کنند، بلکه به هم اضافه می‌شوند. این عمل باعث به‌وجود آمدن ذرات مغناطیسی در فلز می‌شود. به ذرات مغناطیسی، **مولکول‌های مغناطیسی** نیز می‌گویند. مولکول‌های مغناطیسی عیناً مانند مغناطیس‌های کوچک عمل می‌کنند. اگر چه آهن، نیکل و کبالت تنها اجسام مغناطیسی طبیعی هستند ولی با به‌کارگیری روش‌های مخصوص می‌توان ترکیباتی ساخت و به آن‌ها خاصیت آهن‌ربایی داد. در شکل ۴ــ۹ در مولکول‌های مغناطیس حرکت وضعی الکترون‌ها طوری است که میدان‌های مغناطیسی یک‌دیگر را خنثا نمی‌کنند؛ بنابراین، مولکول خاصیت مغناطیسی دارد.



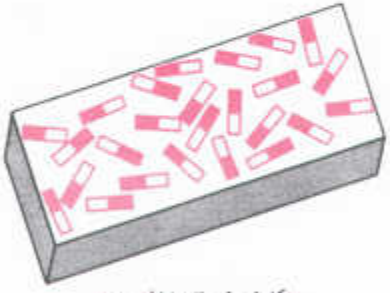
شکل ۴ــ۹ــ اتم مغناطیس

۴ــ۹ــ خواص مغناطیسی اجسام

اجسام در طبیعت از نظر خواص مغناطیسی به دو دسته تقسیم می‌شوند: الف ــ اجسام مغناطیسی، ب ــ اجسام غیرمغناطیسی.

اجسام مغناطیسی: اجسامی که خواص آهن‌ربایی از خود نشان می‌دهند، دارای خاصیت مغناطیسی یا آهن‌ربایی هستند. از جمله‌ی این مواد آهن و آلیاژهای آهن هستند که به آن‌ها **مواد فرّومغناطیسی** می‌گویند. فرّو در یونانی به معنی آهن است.

اجسام مغناطیسی مولکول‌های مغناطیسی دارند. پس ظاهراً باید همیشه مانند مغناطیس عمل کنند ولی چنین نیست. این بدان علت است که در شرایط عادی، مولکول‌های مغناطیسی به‌طور پراکنده و نامرتب در جسم قرار دارند و در نتیجه، میدان‌های مغناطیسی مولکول‌ها یک‌دیگر را خنثا می‌کنند؛ بنابراین، فلز خاصیت مغناطیسی ندارد. در شکل ۵ــ۹ مولکول‌های مغناطیسی یک فلز مغناطیس نشده را مشاهده می‌کنید.



شکل ۵ــ۹ــ فلز مغناطیس نشده

اگر همه‌ی مولکول‌های مغناطیسی به‌طور هم‌جهت قرار بگیرند، میدان‌های مغناطیسی آن‌ها با یک‌دیگر جمع شده و در این صورت فلز مغناطیس می‌شود. اگر فقط بعضی از مولکول‌ها هم جهت باشند، میدان مغناطیسی ضعیفی تولید می‌شود. بنابراین، میزان مغناطیس شدن یک جسم مغناطیسی را می‌توان کم و زیاد کرد.

شکل ۶ــ۹ مولکول‌های مغناطیسی منظم شده در یک فلز مغناطیس را نشان می‌دهد.

اجسام غیرمغناطیسی: برخی از اجسام تقریباً خاصیت مغناطیسی ندارند. این اجسام را **اجسام غیرمغناطیسی** می‌نامند؛

مانند روی و چوب. اجسام غیرمغناطیسی به دو گروه پارامغناطیس و دیامغناطیس تقسیم می‌شوند.

شکل ۶ ـ۹ـ فلز مغناطیس شده

هرگاه چند ماده‌ی غیرمغناطیسی را به یک آهن‌ربای بسیار قوی نزدیک کنیم، برخی از آن‌ها به‌آرامی جذب و برخی دیگر به‌آرامی دفع می‌شوند. البته این جذب و دفع‌ها ممکن است آن‌قدر ضعیف و کند باشند که به چشم دیده نشود. موادی که فقط به مقدار خیلی جزئی جذب آهن‌ربا می‌شوند، به مواد پارامغناطیس موسوم‌اند؛ مانند چوب، اکسیژن، آلومینیم و پلاتین. موادی که فقط به مقدار خیلی جزئی از آهن‌ربا دفع می‌شوند، مواد دیامغناطیس نامیده می‌شوند؛ مانند روی، نمک، طلا، جیوه.

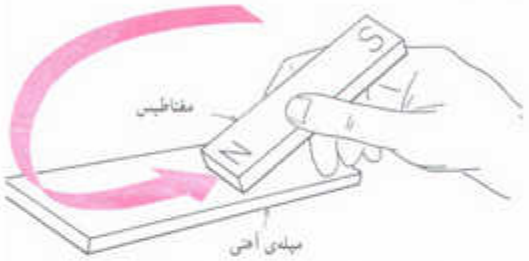
۵ ـ۹ـ آهن‌رباهای مصنوعی

جسم آهنی (فرومغناطیسی) را می‌توان با منظم کردن مولکول‌های مغناطیسی‌اش مغناطیسی کرد. بهترین راه انجام این عمل، وارد کردن نیروی مغناطیسی است. این نیرو بر میدان مغناطیسی هر مولکول اثر کرده و همه‌ی آن‌ها را در یک جهت منظم می‌کند. ساخت آهن‌رباهای مصنوعی به دو روش امکان‌پذیر است: ۱)مالش مغناطیسی، ۲) جریان الکتریکی.

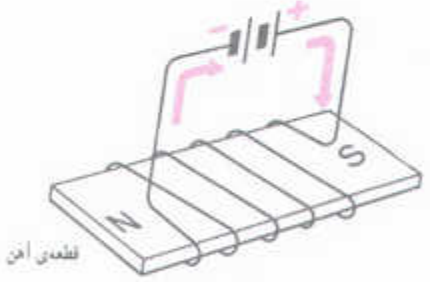
مالش مغناطیسی: هنگامی که مغناطیسی به سطح یک آهن مغناطیس نشده (طبق شکل ۷ـ۹) مالش داده شود، میدان مغناطیسی، مولکول‌های آهن را مرتب می‌کند و آهن مغناطیسی می‌شود.

جریان الکتریکی: اگر سیمی را به دور یک قطعه آهن مغناطیس نشده بپیچیم و دو سر آن را به یک منبع ولتاژ DC وصل کنیم، جریان الکتریکی میدان مغناطیسی تولید می‌کند و باعث منظم شدن مولکول‌های مغناطیسی آهن می‌شود. شکل ۸ـ۹ چگونگی تولید قطعه‌ی مغناطیسی به‌وسیله‌ی جریان الکتریکی DC را نمایش می‌دهد.

اگر یک جسم مغناطیس شده خاصیت مغناطیسی خود را برای مدت طولانی حفظ کند، به آن **مغناطیس دائمی** می‌گویند و اگر خاصیت مغناطیسی خود را به سرعت از دست بدهد، **مغناطیس موقتی** نام دارد. آهن سخت و فولاد مغناطیس‌های دائمی خوبی هستند. آهن نرم برای مغناطیس‌های موقتی به‌کار برده می‌شود.



شکل ۷ـ۹ـ مغناطیس در اثر مالش مغناطیس



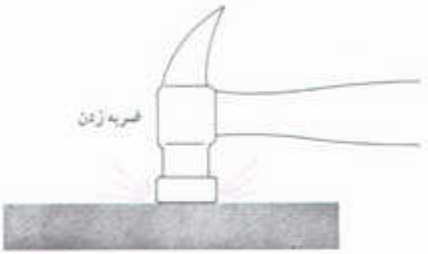
شکل ۸ ـ۹ـ کاربرد جریان DC برای تولید مغناطیس

۶ ـ۹ـ روش‌های از بین بردن خاصیت مغناطیسی آهن‌ربا

برای از بین بردن خاصیت مغناطیسی یک آهن‌ربا باید مولکول‌های مغناطیسی آن را دوباره به صورت نامرتب درآوریم تا میدان‌هایشان در خلاف جهت یکدیگر قرار گیرد. این عمل به

سه روش انجام می‌گیرد: ۱ـ ضربه‌ی سخت، ۲ـ گرما، ۳ـ جریان الکتریکی متناوب.

ضربه‌ی سخت: اگر به یک آهن‌ربا ضربه‌ی سختی وارد کنیم، نیروی وارد شده مولکول‌ها را به شدت تکان می‌دهد و باعث به هم خوردن نظم و ترتیب آن‌ها می‌شود. گاهی اوقات لازم است ضربه را چند بار وارد کنیم.



شکل ۹ـ۹ـ خنثا کردن اثر مغناطیسی آهن‌ربا با زدن ضربه

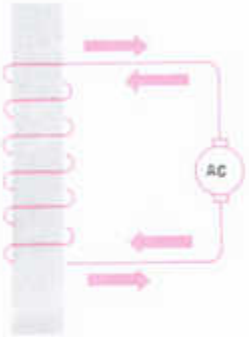
گرما: اگر آهن‌ربا را گرم کنیم، انرژی حرارتی باعث توسان مولکول‌های مغناطیسی می‌شود و ترتیبشان را به هم می‌زند.

شکل ۱۰ـ۹ـ خنثا کردن اثر مغناطیسی یک آهن‌ربا به‌وسیله‌ی گرما

جریان الکتریکی متناوب (AC): اگر مغناطیس را در میدانی مغناطیسی قرار دهیم که جهت آن به سرعت تغییر می‌کند، نظم مولکول‌ها به هم می‌خورد؛ زیرا مولکول‌ها می‌خواهند از میدان بیرون کنند. میدان مغناطیسی متغیر را می‌توان به‌وسیله‌ی یک جریان متناوب تولید کرد. این مطلب را در آینده توضیح خواهیم داد.

۷ـ۹ـ میدان مغناطیسی زمین

زمین جرمی چرخنده است (حرکت وضعی دارد) و در اطراف خود میدان مغناطیسی تولید می‌کند. در واقع، در مرکز آن مغناطیسی قرار گرفته که قطب S آن در نزدیکی قطب شمال جغرافیایی و قطب N آن در نزدیکی قطب جنوب جغرافیایی است.



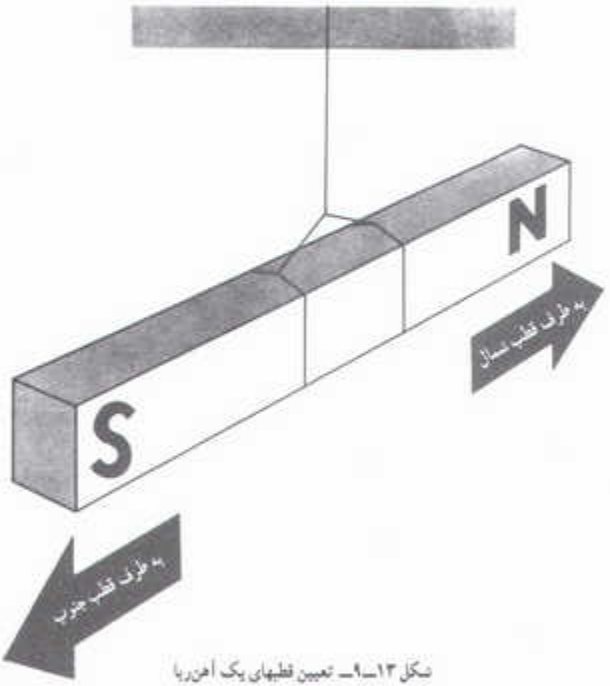
شکل ۱۱ـ۹ـ خنثا کردن اثر مغناطیسی توسط جریان متناوب (AC)

شکل ۱۲ـ۹ـ میدان مغناطیسی زمین

۸ــ۹ــ قطب‌های مغناطیس

خاصیت مغناطیسی آهن‌ربا در همه‌ی نقاط آن یکسان نیست بلکه در دو انتهای آن قوی و در وسط ضعیف است. نواحی‌ای که خاصیت مغناطیسی در آن‌ها زیادتر از قسمت‌های دیگر است، قطب‌های آهن‌ربا (قطب‌های مغناطیسی) نامیده می‌شوند. اگر مقداری براده‌ی آهن را روی یک ورق کاغذ که روی آهن‌ربا قرار گرفته است بریزیم، بیش‌تر براده‌های آهن در دو قطب آهن‌ربا جمع می‌شوند و باقی‌مانده‌ی آن‌ها خطوط مشخص و معینی را بین دو قطب تشکیل می‌دهند. به همین دلیل، آثار متقابل مغناطیس‌ها را قطب‌های آن‌ها تعیین می‌کنند.

برای تعیین قطب‌های یک آهن‌ربا، طبق شکل ۱۳ــ۹ آهن‌ربای میله‌ای را با یک رشته نخ طوری آویزان می‌کنیم که بتواند به‌طور افقی آزادانه حرکت کند. در این حالت، آهن‌ربا مولکول‌هایش را متناسب با میدان مغناطیسی زمین مرتب می‌کند. یک سر مغناطیس که در جهت طرف قطب شمال زمین قرار می‌گیرد، قطب شمال N(North) و انتهای دیگر آن قطب جنوب S(South) نام‌گذاری می‌شود. آهن‌رباها همیشه در چنین جهتی قرار می‌گیرند. دلیل این امر را در آینده توضیح خواهیم داد.

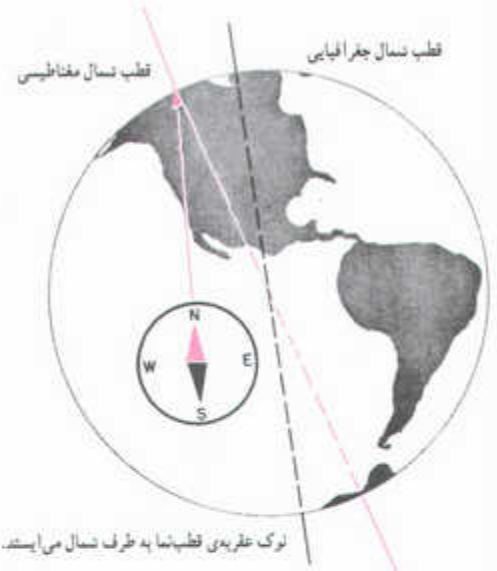


شکل ۱۳ــ۹ــ تعیین قطبهای یک آهن‌ربا

۹ــ۹ــ قطب‌نمای مغناطیسی

آهن‌ربایی که به طور آزاد قرار گرفته است، چنان جهت می‌گیرد که قطب N آن به طرف قطب شمال زمین باشد. از این خاصیت برای تعیین جهات می‌توان استفاده کرد. وسیله‌ای که برای تعیین جهت مورد استفاده قرار می‌گیرد، **قطب‌نما** نام دارد.

قطب‌نما از یک مغناطیس سبک ساخته شده است که می‌تواند آزادانه حرکت کند و یک سر آن همیشه در جهت قطب شمال زمین قرار می‌گیرد. بدون توجه به این که قطب‌نما را چگونه می‌چرخانیم، عقربه‌ی آن همواره قطب شمال زمین را نشان می‌دهد.



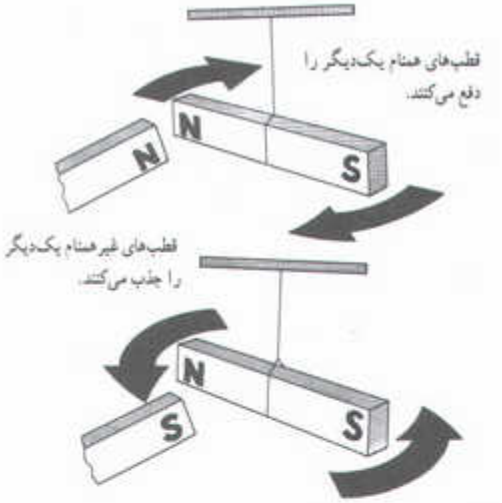
شکل ۱۴ــ۹ــ تعیین دو قطب زمین توسط قطب‌نما

شکل ۱۴ــ۹ چگونگی تعیین قطب‌های زمین توسط قطب‌نما را نشان می‌دهد.

۱۰ــ۹ــ خاصیت جذب و دفع آهن‌رباها

از آن‌جا که مغناطیس همیشه در جهت قطب شمال مغناطیسی زمین قرار می‌گیرد، چنین به نظر می‌رسد که قوانین معینی برای توضیح اثرات مغناطیس وجود دارد. این قوانین، قوانین جذب و دفع نام دارند. قوانین جذب و دفع مغناطیسی نیز مانند بارهای الکتریکی هستند؛ با این تفاوت که از قطب‌های N و S به جای قطب‌های منفی و مثبت استفاده شده است. براساس این قانون قطب‌های همنام یک‌دیگر را دفع و قطب‌های غیرهمنام یک‌دیگر را جذب می‌کنند.

طبق شکل ۱۵ــ۹ قطب N قطب N دیگر را دفع می‌کند.
قطب S قطب S دیگر را دفع می‌کند.
قطب N قطب S دیگر را جذب می‌کند.



شکل ۱۵ــ۹ــ چگونگی جذب و دفع در قطب آهن‌رباها

۱۱ــ۹ــ میدان مغناطیسی

با توجه به جذب و دفع قطب‌های مغناطیسی، می‌توان چنین نتیجه گرفت که نیروهای خارج شده از قطب‌های مغناطیسی باعث این اثر می‌شوند. البته این رویداد فقط در قطب‌ها اتفاق نمی‌افتد، بلکه نیروی مغناطیسی مغناطیس را در یک میدان دربرمی‌گیرند. این پدیده را طبق شکل ۱۶ــ۹ می‌توان هنگام حرکت قطب‌نما در اطراف یک آهن‌ربا مشاهده کرد. در هر موقعیت، در دور آهن‌ربا یک انتهای عقربه‌ی قطب‌نما در جهت قطب مخالف آهن‌ربا قرار می‌گیرد.

شکل ۱۶ــ۹ــ میدان مغناطیسی آهن‌ربا

هم‌چنین، با قرار دادن قطب‌نما در فاصله‌های دورتر از آهن‌ربا می‌توان مشاهده کرد که این میدان مغناطیسی دورتر از آهن‌ربا نیز وجود دارد. چنان‌چه قطب‌نما را به آرامی از آهن‌ربا دور کنیم، به نقطه‌ای خواهیم رسید که عقربه‌ی قطب‌نما دیگر تحت تأثیر میدان مغناطیسی آهن‌ربا نیست و دوباره به طرف قطب شمال زمین جذب می‌شود. فضایی را که در آن آهن‌ربا بر اجسام مغناطیسی دیگر اثر می‌گذارد، **میدان مغناطیسی** می‌گویند.

۱۲ــ۹ــ خطوط نیرو (فلو ــ شار)

میدان مغناطیسی یک آهن‌ربا از خطوط نیرویی تشکیل شده است که بنا به قرارداد، از قطب N بیرون می‌آیند، در فضا امتداد می‌یابند و به قطب S وارد می‌شوند. این خطوط نیرو یک‌دیگر را قطع نمی‌کنند و مرتباً از آهن‌ربا دور می‌شوند. هر چه خطوط نیرو به یک‌دیگر نزدیک‌تر و تعدادشان بیش‌تر باشد، میدان مغناطیسی قوی‌تر است. خطوط نیرو یا فشار مغناطیسی را با Φ (فی) نشان می‌دهند.

شکل ۱۷ــ۹ــ نمودار خطوط نیروی مغناطیسی

وجود خطوط نیرو با پاشیدن براده‌های آهن بر یک سطح صاف و قرار دادن آهن ربایی در زیر آن معلوم می‌شود. براده‌های آهن به طور مرتب در طول خطوط نیرو قرار می‌گیرند و جهت‌گیری میدان را نشان می‌دهند. به این خطوط نیرو **فلو** نیز می‌گویند.

شکل ۱۸ــ۹ــ براده‌های ریز آهن خطوط قوای مغناطیسی را نشان می‌دهند.

۱۳ــ۹ــ اثر متقابل میدان‌های مغناطیسی

هنگامی که دو مغناطیس در مجاورت هم قرار گیرند، میدان‌های مغناطیس آن‌ها بر یک‌دیگر اثر می‌کنند. با توجه به این که خطوط نیروی مغناطیسی هیچ‌گاه یک‌دیگر را قطع نمی‌کنند، چگونگی تأثیر متقابل این دو میدان را می‌توان درک کرد. اگر خطوط نیرو هر دو در یک جهت باشند، یک‌دیگر را جذب می‌کنند و به هم می‌رسند. به همین دلیل است که قطب‌های ناهمنام یک‌دیگر را جذب می‌کنند.

شکل ۱۹ــ۹ــ نیروهای جاذبه بین دو قطب غیرهمنام

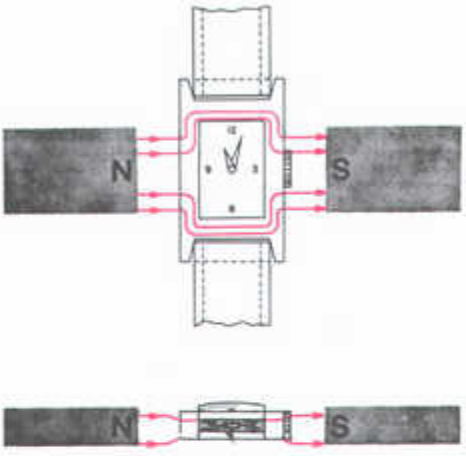
اگر خطوط نیرو را در جهت‌های مخالف باشند، نمی‌توانند با هم ترکیب شوند و چون نمی‌توانند یک‌دیگر را قطع کنند، نیروهای مخالف بر یک‌دیگر وارد می‌کنند. به همین دلیل است که قطب‌های همنام یک‌دیگر را دفع می‌کنند. این اثر متقابل خطوط نیرو را به‌وسیله‌ی براده‌های آهن نیز می‌توان نشان داد.

شکل ۲۰ــ۹ــ نیروهای دافعه بین دو قطب همنام

۱۴ــ۹ــ پوشش مغناطیسی

خطوط نیروی مغناطیسی می‌توانند از اجسام ــ حتی آن‌هایی که خواص مغناطیسی نیز ندارند ــ بگذرند. البته بعضی از اجسام در مقابل عبور خطوط نیرو (فلو) مقاومت می‌کنند. به این خاصیت (مقاومت در برابر عبور خطوط نیرو) **رلوکتانس** می‌گویند. اجسام مغناطیسی در مقابل عبور خطوط نیرو رلوکتانس خیلی کمی دارند.

درنتیجه، خطوط فلو به وسیله‌ی یک جسم مغناطیسی حتی با طی کردن مسیری طولانی جذب می‌شوند. این خاصیت باعث می‌شود که بتوانیم اجسام را به‌وسیله‌ی پوششی از ماده‌ی مغناطیسی در مقابل خطوط فلو محافظت کنیم. از این روش برای ساختن ساعت‌های ضدمغناطیس استفاده می‌کنند.



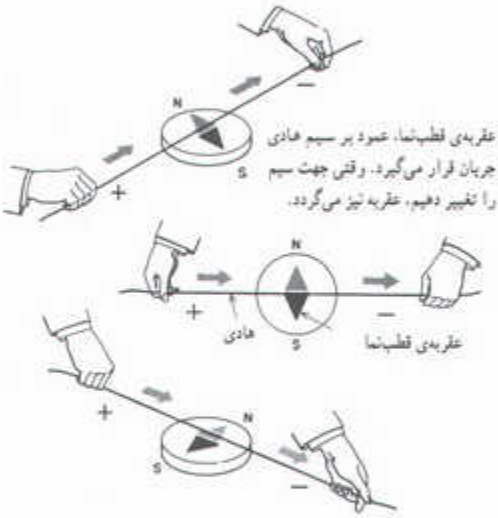
شکل ۲۱ــ۹ــ پوشش مغناطیسی

۱۵ــ۹ــ الکترومغناطیس

چون الکترون‌ها به علت حرکت وضعی در اطراف خود میدان مغناطیسی تولید می‌کنند، چنین به نظر می‌آید که انباشتن الکترون‌های اضافی در جسم می‌تواند میدان مغناطیسی تولید کند ولی الکترون‌ها با چرخش‌های وضعی مخالف هم آثار مغناطیسی یک‌دیگر را خنثا می‌کنند. در نتیجه، الکتریسیته‌ی ساکن دارای میدان مغناطیسی نیست ولی هنگامی که با اعمال ولتاژی به دو سر سیم‌ها جریان الکتریکی در آن برقرار می‌شود، الکترون‌های جهت گرفته نمی‌توانند با چرخش‌های وضعی مخالفت کنند و اثر مغناطیسی یک دیگر را خنثا نمایند. بر عکس، چون همه در یک جهت حرکت می‌کنند، میدان‌های مغناطیسی آن‌ها با هم جمع می‌شوند. در سال ۱۸۱۹، **هانس کریستین اُرستد** کشف کرد که سیم حامل جریان در اطراف خود میدان مغناطیسی تولید می‌کند که این میدان بر عقربه‌ی قطب‌نما اثر می‌گذارد.

چون میدان مغناطیسی به‌دور یک الکترون حلقه‌ای را به‌وجود می‌آورد، میدان‌های مغناطیسی اطراف الکترون‌های جهت گرفته در یک سیم با یک‌دیگر تشکیل حلقه‌هایی به دور سیم می‌دهند. هر یک از این حلقه‌ها را یک خط نیرو یا یک **ماکسول** و 10^8 خط نیرو را یک وبر می نامند.

طبق شکل ۲۲ــ۹ چنان‌چه موقعیت سیم را تغییر دهیم، عقربه‌ی قطب‌نما با جهت خطوط نیرو منطبق می‌شود. عقربه‌ی قطب‌نما همیشه عمود بر سیم حامل جریان قرار می‌گیرد. وقتی جهت جریان را تغییر دهیم، عقربه‌ی قطب‌نما تغییر جهت می‌دهد.



شکل ۲۲ــ۹ــ الکترومغناطیس

اثر الکترومغناطیس بر یک سیم: جهت میدان مغناطیسی همواره به جهت جریانی که از سیم می‌گذرد، بستگی دارد. برای تعیین جهت میدان مغناطیسی، می‌توان از قطب‌نما و قانون دست راست استفاده کرد. طبق شکل ۲۳ــ۹ چنان‌چه قطب‌نما را در اطراف سیم حرکت دهیم، همیشه قطب N عقربه‌ی قطب‌نما جهت میدان مغناطیسی را نشان می‌دهد.

برای تعیین جهت میدان مغناطیسی می‌توان از قانون دست راست نیز استفاده کرد. چنان‌چه طبق شکل ۲۴ــ۹ انگشت‌های دست راست را به دور سیم بپیچیم، به‌طوری که انگشت شست

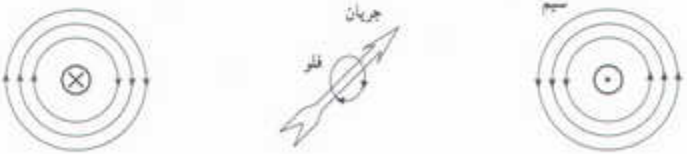
در جهت جریان قرار بگیرد، بسته‌شدن بقیه‌ی انگشتان جهت میدان مغناطیسی را نشان می‌دهد.

شکل ۲۳ـ۹ـ تعیین جهت میدان مغناطیسی اطراف سیم با استفاده از قطب‌نما

طبق شکل ۲۵ـ۹ از این پس برای تعیین جهت میدان مغناطیسی اطراف سیم حامل جریان، مقطع سیم را ـ که دایره است ـ نشان می‌دهیم. در صورتی که جهت جریان در مقطع سیم از طرف ناظر به طرف صفحه‌ی کاغذ باشد، با علامت (×) و اگر از طرف مقطع سیم به طرف ناظر باشد، با علامت (.) نمایش داده می‌شود. طبق قانون دست راست در مورد (×) جهت میدان موافق عقربه‌ی ساعت و در مورد (.) مخالف حرکت عقربه‌ی ساعت خواهد بود.

چگالی (تراکم) خطوط نیرو: هر چه جریانی که از سیم می‌گذرد بیش‌تر شود، میدان مغناطیسی حاصل قوی‌تر خواهد بود. همان طور که در میدان مغناطیسی آهن دیدید، خطوط نیرو در نزدیکی آهن‌ربا به هم نزدیک‌ترند. این خطوط نیرو در نزدیکی سیم نیز به هم نزدیک‌ترند و هر چه بیش‌تر از سیم دور شوند، از یک‌دیگر فاصله می‌گیرند. در نتیجه، میدان در نزدیکی سیم قوی‌تر می‌شود و هر چه از مرکز سیم دورتر می‌شویم، تراکم خطوط ضعیف‌تر می‌شود.

شکل ۲۴ـ۹ـ تعیین جهت میدان مغناطیسی با استفاده از قانون دست راست

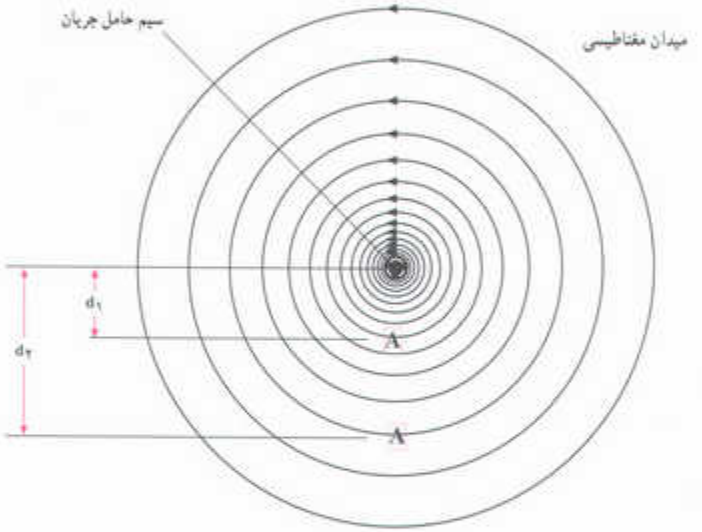


شکل ۲۵ـ۹ـ جهت میدان مغناطیسی

برای مشخص کردن شدت میدان مغناطیسی در هر نقطه از اطراف سیم حامل جریان، چگالی میدان مغناطیسی را تعریف می‌کنند. بنا به تعریف، چگالی میدان عبارت است از تعداد خطوط نیرویی که از واحد سطح عبور می‌کند. طبق شکل ۲۶ـ۹ تعداد خطوط نیرو در واحد سطح یا فاصله‌ی آن تا مرکز سیم، نسبت عکس و یا شدت جریان عبوری، نسبت مستقیم دارد. بنابراین، اگر تعداد خطوط نیرو در واحد سطح را با B، فاصله‌ی نقطه‌ی موردنظر از سیم را با d و شدت جریان سیم را با I نشان دهیم، خواهیم داشت:

$$B = K\frac{I}{d}$$

در رابطه‌ی فوق، K ضریبی است که به واحد I و d و B بستگی دارد. در دستگاه بین‌المللی واحدها (SI) I برحسب آمپر و d برحسب متر و B برحسب تسلا (وبر بر متر مربع) بیان می‌شود. به این ترتیب، $K = 2\times10^{-7}$ خواهد بود.



شکل ۲۶ـ۹ـ تراکم خطوط نیرو اطراف سیم حامل جریان

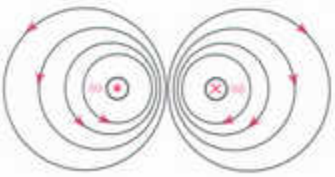
با توجه به رابطه‌ی $B = K\frac{I}{d}$ و شکل ۲۶ـ۹ چنان‌چه فاصله‌ی d_1 دو برابر d_2 شود، B_1 نصف B_2 خواهد بود.

مثال ۱ـ تراکم خطوط نیرو در نقطه‌ای به فاصله‌ی ۰/۵ متر از سیم راستی که جریانی به شدت ۴ آمپر می‌گذرد، چه‌قدر است؟

$$B = K\frac{I}{d}$$

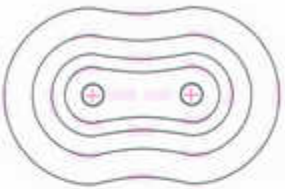
$$B = 2\times10^{-7}\times\frac{4}{0/5} \Rightarrow \boxed{B = 1/6\times10^{-6}\ \frac{wb}{m^2}}$$

اثر متقابل میدان‌های مغناطیسی بر یک‌دیگر: اگر دو سیم را که جریان‌هایی در جهت‌های عکس یک‌دیگر از آن‌ها می‌گذرند به هم نزدیک کنیم، میدان‌های مغناطیسی آن‌ها یک‌دیگر را دفع می‌کنند؛ زیرا جهت خطوط نیرویشان عکس یک‌دیگر است. چون خطوط نیرو نمی‌توانند یک‌دیگر را قطع کنند، میدان‌ها باعث دور شدن سیم‌ها از هم می‌شوند.



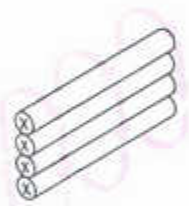
شکل ۲۷ـ۹ـ نیروی دافعه بین دو سیم جریان‌دار غیر هم جهت

هنگامی که دو سیم را که جریان‌های هم‌جهت دارند به یک‌دیگر نزدیک کنیم، میدان‌های مغناطیسی آن‌ها به هم ملحق می‌شوند. در نتیجه، سیم‌ها به یک‌دیگر نزدیک می‌شوند و میدان مغناطیسی قوی‌تری تولید می‌کنند.



شکل ۲۸ــ۹ــ نیروی جاذبه بین دو سیم جریان‌دار هم‌جهت

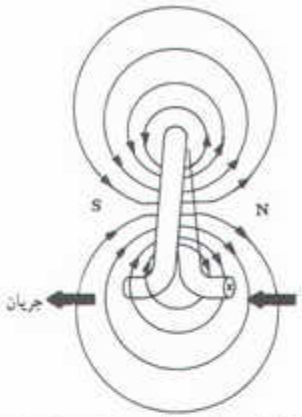
چنان‌چه سه یا چهار سیم را طوری کنار هم قرار دهیم که جهت جریان در همه‌ی آن‌ها یکسان باشد، میدان مغناطیسی قوی‌تر خواهدشد.



شکل ۲۹ــ۹ــ قوی‌تر کردن میدان مغناطیسی از طریق افزایش سیم‌ها

اثر الکترومغناطیسی بر یک حلقه: اگر سیمی را به‌صورت حلقه درآوریم و از آن جریان الکتریکی عبور دهیم، خطوط نیروی مغناطیسی اطراف سیم همه طوری مرتب خواهند شد که از یک طرف به حلقه وارد و از طرف دیگر خارج می‌شوند. در مرکز حلقه، خطوط نیرو متمرکز می‌شوند و یک میدان مغناطیسی به‌وجود می‌آورند.

در نتیجه‌ی این عمل قطب‌های مغناطیسی به‌وجود می‌آیند. به‌طوری‌که قطب شمال در طرفی از حلقه قرار دارد که خطوط نیرو از آن خارج می‌شوند و قطب جنوب در طرفی از حلقه قرار دارد که خطوط نیرو به آن وارد می‌شوند.



شکل ۳۰ــ۹ــ میدان مغناطیسی حاصل در یک حلقه

چگالی میدان مغناطیسی در مرکز حلقه بیش‌تر است. هم‌چنین هر قدر شدت جریان عبوری بیش‌تر باشد، تراکم خطوط نیرو قوی‌تر خواهد بود؛ بنابراین، می‌توان رابطه‌ی $B = K\frac{I}{r}$ را نوشت که در این رابطه I شدت جریان برحسب آمپر، r شعاع حلقه برحسب متر و K ضریب تناسب است که در دستگاه بین‌المللی واحدها (SI) مقدار آن $2\pi \times 10^{-7}$ است.

مثال ۲ــ چگالی خطوط نیرودر مرکز حلقه‌ای به قطر ۱۰سانتی‌متر هنگامی که شدت جریان ۵ آمپر از آن عبور کند، چه‌قدر است؟

$$B = K\frac{I}{r}$$

$$B = 2\pi \times 10^{-7} \times \frac{5}{5 \times 10^{-2}}$$

$$B = 2\pi \times 10^{-5}\ Wb/m^2$$

اثر الکترومغناطیس بر یک بوبین: اگر سیمی در یک جهت به صورت حلقوی پیچیده شود، یک بوبین تشکیل می‌دهد. اگر از این بوبین جریانی عبور کند، میدان‌های مغناطیسی حلقه‌ها به یک‌دیگر اضافه می‌شوند و میدان مغناطیسی بوبین قوی‌تر می‌شود. هر چه تعداد حلقه‌ها بیش‌تر باشد و حلقه‌ها به صورت فشرده کنار هم پیچیده شوند، میدان‌های مغناطیسی بیش‌تری به یک‌دیگر اضافه می‌شوند و در نتیجه، میدان مغناطیسی بوبین قوی‌تر خواهد بود.

برای تعیین قطب‌های یک بوبین از قانون دست راست استفاده می‌شود. طبق شکل ۳۱ـ۹ چنان‌چه انگشت‌هایتان را در جهت حلقه‌های بوبین به دور بوبین حلقه کنید انگشت شست در جهت قطب N قرار می‌گیرد.

شکل ۳۱ـ۹ـ تعیین دو قطب یک بوبین

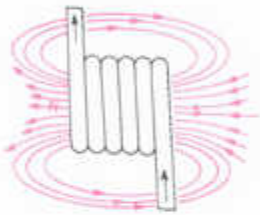
چگالی خطوط نیرو درمرکز بوبین به عوامل زیر بستگی دارد:

۱ـ هر چه تعداد حلقه‌های بوبین بیش‌تر باشد، میدان مغناطیسی حلقه‌ها با هم جمع می‌شوند و میدان مغناطیسی قوی‌تری خواهیم داشت. بنابراین، تراکم خطوط با تعداد حلقه‌های بوبین (N) نسبت مستقیم دارد.

۲ـ هر چه شدت جریان عبوری از بوبین نیز بیش‌تر باشد، میدان مغناطیسی قوی‌تر می‌شود؛ بنابراین، چگالی تراکم خطوط نیرو با شدت جریان (I) نسبت مستقیم دارد.

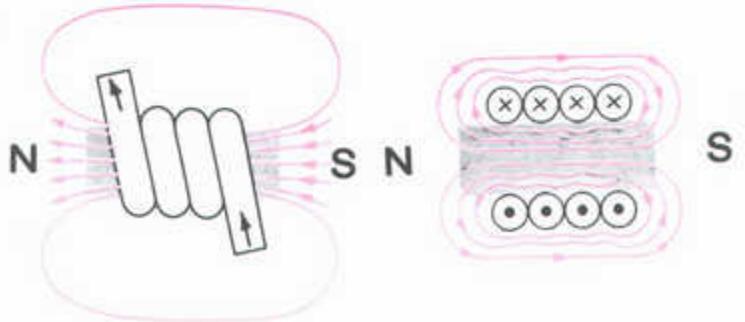
۳ـ اگر حلقه‌های بوبین به صورت خیلی فشرده کنار هم پیچیده شده باشند، میدان‌های بیش‌تری به یک‌دیگر اضافه می‌شوند که این عمل باعث قوی‌تر شدن میدان مغناطیسی می‌شود. به عبارت دیگر، چگالی میدان مغناطیسی با طول بوبین (l) نسبت عکس دارد.

شکل ۳۲ـ۹ـ اثر تعداد حلقه‌ها بر چگالی میدان



شکل ۳۳ـ۹ـ اثر فشردگی سیم‌ها بر چگالی میدان

۴ـ چنان‌چه هسته‌ی آهنی را در داخل بوبین قرار دهیم، میدان مغناطیسی بوبین قوی‌تر می‌شود. آهن نرم جسم مغناطیسی است که رلاکتانس کمی دارد و باعث می‌شود که خطوط نیرو بیش‌تر در مقایسه با هوا در آن متمرکز شود. هر چه خطوط نیرو در هسته بیش‌تر متمرکز شوند، میدان مغناطیسی قوی‌تر است.



شکل ۳۴ـ۹ـ اثر هسته‌ی آهنی بر چگالی میدان

در یک الکترومغناطیس از هسته با آهن نرم استفاده می‌کنند؛ چون در غیر این صورت، آهن سخت به صورت آهن‌ربای دائمی درمی‌آید.

با توجه به عوامل یاد شده چگالی میدان مغناطیسی در هسته‌ی مغناطیسی یک بوبین را می‌توان از رابطه‌ی زیر محاسبه کرد.

$$B = \mu.\mu_r \frac{N.I}{l}$$

در رابطه‌ی فوق μ ضریب نفوذ هوا برابر $4\pi\times10^{-7}$ است. μ_r ضریب نفوذ نسبی هسته است و به جنس هسته بستگی دارد. ضریب نفوذ نسبی یک جسم نشان می‌دهد که قابلیت نفوذ مغناطیسی آن چند برابر هواست. در اجسام مغناطیسی μ_r معمولاً رقم بزرگی است و مقدار آن از جداول مخصوصی به‌دست می‌آید. N تعداد حلقه‌های بوبین، I شدت جریان برحسب آمپر و l طول متوسط* خطوط میدان برحسب متر و B چگالی خطوط نیروست.

مثال ۳ــ یک بوبین با ۵۰ حلقه سیم به طول متوسط خطوط میدان ۱۰ سانتی‌متر با هسته‌ی هوا مفروض است. اگر شدت جریان ۲ آمپر از این بوبین عبور کند، تراکم خطوط نیرو در داخل آن چه‌قدر است؟

$$B = \mu.\frac{NI}{l} = 4\pi\times10^{-7}\times\frac{50\times2}{10\times10^{-2}}$$

$$\Rightarrow \boxed{B = 4\pi\times10^{-4}\ wb/m^2}$$

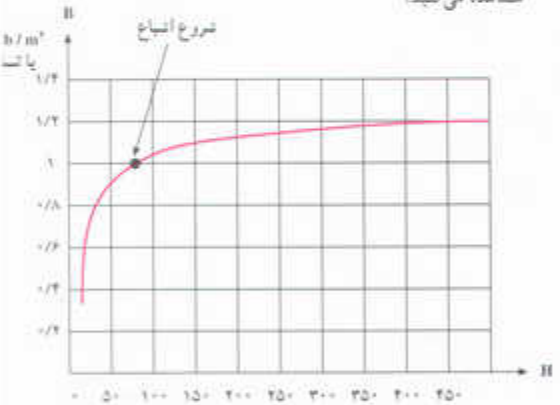
مثال ۴ــ در مثال ۳ اگر یک هسته‌ی آهنی با ضریب نفوذ نسبی $\mu_r = 1000$ داخل بوبین قرار دهیم، تراکم خطوط نیرو چه‌قدر خواهد شد؟

$$B = \mu.\mu_r\frac{NI}{l} = 4\mu\times10^{-7}\times10^{3}\times\frac{50\times2}{10\times10^{-2}}$$

$$\boxed{B = 1/256\ wb/m^2}$$

نیروی محرکه‌ی مغناطیسی: به نیروی مغناطیس کننده‌ای که از عبور شدت جریان در یک بوبین به‌وجود می‌آید، نیروی محرکه‌ی مغناطیسی (mmf)[1] می‌گویند. مقدار این نیرو به شدت جریانی که از بوبین عبور می‌کند و تعداد دورهای بوبین بستگی دارد؛ بنابراین، اگر تعداد حلقه‌های بوبین را با N و شدت جریان را با I نمایش دهیم، نیروی محرکه از رابطه‌ی $F = N.I$ به‌دست می‌آید که در آن F نیروی محرکه‌ی مغناطیسی برحسب آمپر دور (A.T)، I برحسب آمپر و N تعداد حلقه‌های بوبین است.

منحنی مشخصه‌ی مواد فرومغناطیسی: در یک بوبین با هسته‌ی آهنی که طول بوبین ثابت است، افزایش تعداد حلقه‌ها یا شدت جریان (یا هر دو) باعث افزایش نیروی محرکه‌ی مغناطیسی و نهایتاً افزایش تراکم خطوط نیرو خواهد شد. این امر تا جایی ادامه خواهد یافت که همه‌ی مولکول‌های مغناطیسی هسته منظم شوند و پس از آن، هر چه شدت جریان زیاد شود، تراکم خطوط نیرو ثابت خواهد ماند. نقطه‌ی آغاز این حالت را **نقطه‌ی اشباع مغناطیسی** می‌نامند؛ زیرا مولکول مغناطیسی دیگری باقی نمانده است که منظم شود. تغییرات تراکم خطوط نیرو برحسب شدت میدان مغناطیسی، منحنی مشخصه‌ی هسته‌ی بوبین نامیده می‌شود. در شکل ۹ــ۳۵ منحنی مشخصه‌ی یک ماده‌ی فرومغناطیسی را مشاهده می‌کنید.



شدت میدان مغناطیسی (آمپر ــ دور برمتر)

شکل ۳۵ــ۹ــ منحنی مشخصه‌ی یک ماده‌ی فرومغناطیسی

تمرین ۵ ــ از بوبین یک آهن‌ربای الکتریکی که دارای ۸۰ حلقه است، جریانی به شدت ۲/۵ آمپر عبور می‌کند. نیروی محرکه‌ی مغناطیسی بوبین را حساب کنید.

---

* روش محاسبه‌ی طول خطوط میدان در درس ماشین‌های الکتریکی (۱) خواهد آمد.

۱ــ Magnetic Motive Force

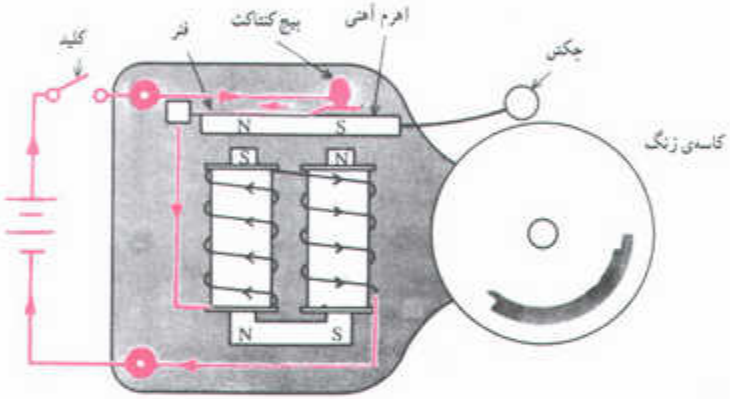
$$F = N.I = ۸۰ \times ۲/۵$$

$$\boxed{F = ۲۰۰ A.T}$$

۱۶ــ۹ــ کاربرد مغناطیس

مصرف‌کننده‌های الکتریکی از قبیل لامپ روشنایی و بخاری برقی توسط عبور جریان الکتریکی فعال می‌شوند و کار مفید انجام می‌دهند اما مصرف‌کننده‌های دیگری وجود دارند که عبور جریان از آن‌ها باعث خاصیت مغناطیسی می‌شود و نیروی حاصل از مغناطیس تولید کار می‌کند. در این‌جا به شرح چند وسیله‌ی الکتریکی که با خاصیت مغناطیسی کار می‌کنند، می‌پردازیم.

۱ــ زنگ الکترو مغناطیسی DC: در زنگ الکترومغناطیسی از عمل میدان مغناطیسی برای به نوسان درآوردن یک اهرم استفاده می‌کنند. این اهرم به چکشی متصل است که بی‌دریی به کاسه‌ی زنگ می‌خورد. هنگامی که کلید بسته می‌شود، باتری جریان الکتریکی را از طریق اتصال پیچی به یک فنر می‌فرستد ولی قبل از این‌که جریان به قطب منفی باتری باز گردد، از میان یک سیم و پوین‌های الکترومغناطیسی می‌گذرد. الکترومغناطیس‌ها پس از دریافت انرژی اهرم را به پایین جذب می‌کنند و باعث برخورد چکش با کاسه‌ی زنگ می‌شوند.



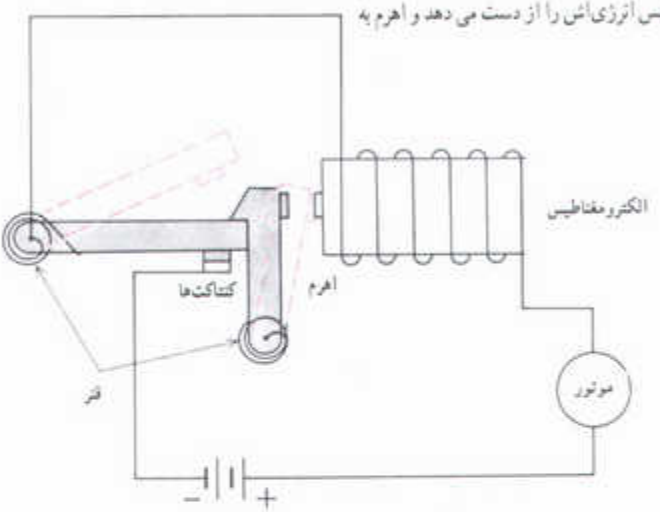
شکل ۳۶ــ۹ــ زنگ الکترومغناطیسی DC

هنگامی که اهرم به طرف پایین نوسان می‌کند، فنر از اتصال پیچی جدا می‌شود. این عمل مدار را باز می‌کند. در نتیجه، جریان از حرکت باز می‌ایستد، الکترومغناطیس‌ها انرژی خود را از دست می‌دهند و دیگر اهرم را جذب نمی‌کنند. فنر اهرم را دوباره به محل قبلی‌اش برمی‌گرداند و به همین دلیل، اتصال فنری و پیچ دوباره باعث بسته شدن مدار می‌شوند. در نتیجه، این عمل تکرار می‌گردد.

الکترومغناطیس‌ها انرژی دریافت می‌کنند و آن را به سرعت از دست می‌دهند و باعث نوسان اهرم به بالا و پایین می‌شوند. چکش نیز نوسان می‌کند و به‌طور مداوم به کاسه‌ی زنگ می‌خورد.

۲ــ کلید مغناطیس قطع مدار: کلید قطع مدار برای این منظور در مدارها به‌کار می‌رود تا مانند فیوز از مدار در مقابل اتصال کوتاه یا اضافه بار محافظت کند. با این تفاوت که فیوز می‌سوزد اما کلید قطع مدار جریان را قطع می‌کند که البته می‌توان آن را دوباره وصل کرد. طبق شکل ۳۷ــ۹ مسیر جریان از باتری شروع می‌شود و از کنتاکت‌هایی که توسط یک اهرم بسته شده‌اند می‌گذرد. پس از آن، جریان از طریق یک الکترومغناطیس به موتور می‌رود و دوباره به باتری باز می‌گردد. تا هنگامی که جریان خیلی زیادی عبور نکند، میدان ایجاد شده توسط الکترومغناطیس آن‌قدر قوی نیست که بتواند اهرم را جذب کند ولی اگر جریان

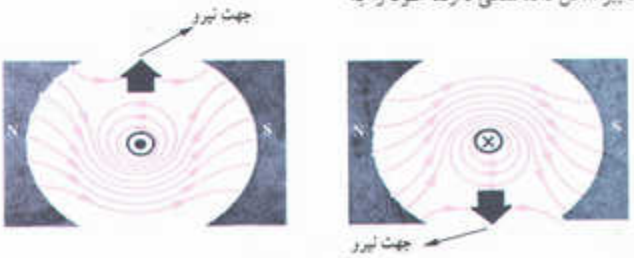
خیلی زیادی عبور کند ــ مثلاً هنگامی که موتور ترمز می‌کند یا اتصال کوتاه می‌شود ــ میدان الکترومغناطیسی خیلی قوی می‌شود و اهرم را به طرف خود می‌کشد. این عمل به فنر امکان می‌دهد که بازوی اتصال را قطع و کنتاکت‌ها را باز کند. درنتیجه، مدار قطع می‌شود، الکترومغناطیس انرژی‌اش را از دست می‌دهد و اهرم به حالت اول برمی‌گردد. در این حالت، بازوی اتصال توسط فنر خارج نگاه‌داشته شده است. هنگامی که مشکل برطرف شود، قطع کننده‌ی مدار را می‌توان به حالت اول درآورد و از آن استفاده کرد.



شکل ۳۷ــ۹ــ کلید مغناطیسی قطع مدار

به الکترومغناطیسی که اهرم را به کار می‌اندازد تا کنتاکت‌ها را قطع و وصل کند، رله می‌گویند.

۳ــ موتور الکتریکی ساده: اگر یک سیم حامل جریان را در داخل یک میدان مغناطیسی قراردهیم، میدان مغناطیسی اثری مخالف بر سیم حامل جریان وارد می‌کند. سیم حامل جریان در اطراف خود میدان مغناطیسی ایجاد می‌کند. این میدان شکل خطوط نیرویی را که بین دو قطب مغناطیسی وجود دارد، تغییر می‌دهد. خطوط نیروی تغییر شکل داده سعی دارند خود را به وضعیت قبل از ورود سیم حامل جریان درآورند. در نتیجه، نیروی دافعه‌ای بر سیم وارد می‌کنند. بدین ترتیب، سیم به محلی رانده می‌شود که خطوط نیرو از بقیه‌ی جاها ضعیف‌ترند. جهت نیروی دافعه به جهت جریان و جهت خطوط نیرو بستگی دارد. در صورتی که هر کدام از کمیت‌ها تغییرجهت پیدا کنند، جهت نیروی دافعه نیز تغییر خواهد کرد امّا اگر جهت هر دو کمیت با هم عوض شود، جهت نیرو تغییر نخواهد کرد.



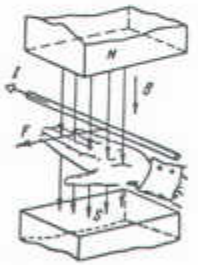
شکل ۳۸ــ۹ــ اثرمیدان مغناطیسی بر سیم حامل جریان

جهت نیروی دافعه را به سهولت می‌توان از قانون دست چپ پیدا کرد.

قانون دست چپ

اگر دست چپ را طوری باز کنیم که خطوط نیرو به کف دست بریزند (B) و جهت جریان در سیم حامل جریان (I) در جهت سایر انگشتان باشد، جهت نیروی وارد شده (F) در جهت انگشت شست خواهد بود.

اگر طبق شکل ۴۰ـ۹ سیم را به صورت کلاف درآوریم و آن را درون میدان مغناطیسی قرار دهیم، وقتی از کلاف جریان عبور کند اثر متقابل میدان های مغناطیسی باعث می‌شود که یک سمت آن به طرف بالا و سمت دیگر به طرف پایین حرکت کند؛ به عبارت دیگر، به کلاف جفت نیرو وارد می‌شود و تولید گشتاور می‌کند. این قرایند، اساس کار موتورهای الکتریکی است که در درس ماشین‌های الکتریکی به‌طور مفصل درباره‌ی آن توضیح خواهیم داد.

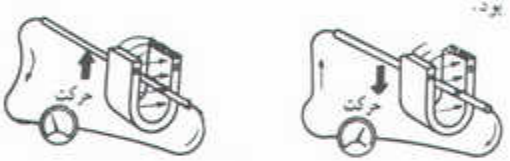


شکل ۳۹ـ۹ـ قانون دست چپ

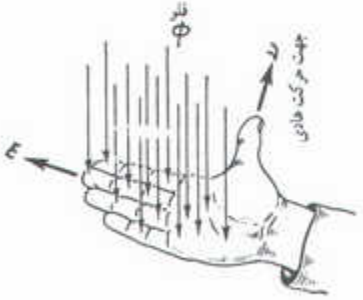
شکل ۴۰ـ۹ـ تولید گشتاور در موتور الکتریکی

۴ـ ژنراتور ساده: طبق شکل ۴۱ـ۹ اگر یک هادی را در داخل میدان مغناطیسی آهن‌ربا حرکت دهیم، انرژی مغناطیسی آهن‌ربا باعث حرکت الکترون‌ها در یک جهت و تجمع آن‌ها در یک طرف هادی می‌شود. این روند را **تولید نیروی محرکه‌ی القایی** می‌گویند. حال اگر به دو سر سیم میلی‌ولت متری را وصل کنیم، مشاهده می‌شود که با حرکت سیم به طرف پایین، عقربه‌ی میلی‌ولت‌متر در یک جهت و با حرکت سیم به طرف بالا عقربه در جهت مخالف حرکت می‌کند. نتیجه می‌گیریم که با تغییر جهت حرکت سیم، جهت نیروی محرکه‌ی القایی تغییر می‌کند. این مطلب در مورد تغییر جهت خطوط نیرو نیز صادق است.

برای به‌دست آوردن جهت نیروی محرکه‌ی القایی از قانون دست راست استفاده می‌شود. طبق شکل ۴۲ـ۹ اگر کف دست راست را طوری باز کنیم که خطوط نیرو به کف دست بریزند، درصورتی‌که جهت حرکت سیم در جهت انگشت شست باشد، جهت نیروی محرکه‌ی القایی در جهت سایر انگشتان خواهد بود.



شکل ۴۱ـ۹ـ اساس کار یک ژنراتور ساده

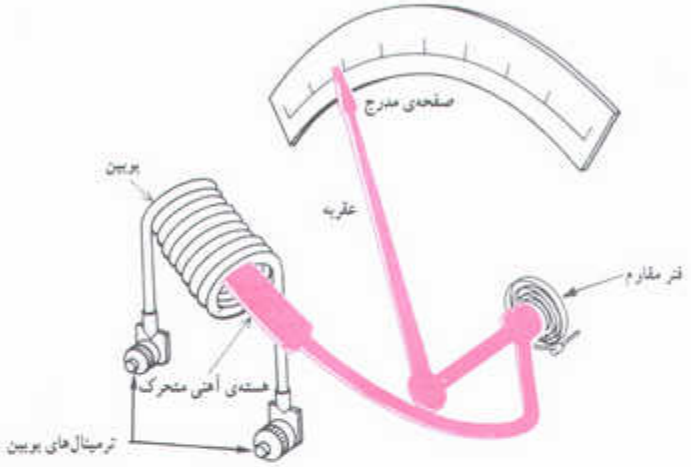


شکل ۴۲ـ۹ـ قانون دست راست

۵ـ دستگاه اندازه‌گیری الکتریکی: در دستگاه‌های اندازه‌گیری بسیار ساده برای اندازه‌گیری جریان عبوری از یک

سیم‌پیچ و یک هسته‌ی متحرک استفاده می‌کنند. هرگاه جریانی از سیم بگذرد، میدان مغناطیسی‌ای ایجاد می‌کند که هسته را به‌طرف خود جذب می‌کند. انتهای دیگر هسته به فنری متصل است که سعی دارد آن را به عقب بکشد. مساقی را که هسته طی می‌کند، به شدت میدان مغناطیسی بستگی دارد.

شدت میدان مغناطیسی به‌وسیله‌ی مقدار جریانی که از پوین می‌گذرد تعیین می‌شود. در نتیجه، هر چه جریان بیش‌تر باشد، هسته بیش‌تر به داخل پوین کشیده می‌شود. در روی محور گردنده یک عقربه سوار شده است که در طول یک صفحه‌ی مدرج برای نشان دادن مقدار جریان اندازه‌گیری شده منحرف می‌شود.



شکل ۴۳ـ۹ـ دستگاه اندازه‌گیری الکتریکی

خلاصه‌ی مطالب

• اثر متقابل الکتریسیته و مغناطیس برای تشکیل میدان الکترومغناطیسی به‌وسیله‌ی نظریه‌ی الکترومغناطیس تعریف می‌شود.

• اتم‌های بعضی از فلزات طوری ترکیب می‌شوند که الکترون‌های والانسشان را به مشارکت می‌گذارند و محدوده‌ی مغناطیسی یا مولکول‌های مغناطیسی تشکیل می‌دهند. • جسمی که مولکول‌ها یا ذرات مغناطیسی آن در یک جهت مرتب شده باشند، **جسم مغناطیس شده** نامیده می‌شود. • یک جسم مغناطیسی را می‌توان با وارد کردن نیروی مغناطیسی از طریق مالش یا جریان الکتریکی مغناطیس کرد. • خاصیت مغناطیسی یک جسم مغناطیس شده را می‌توان از طریق حرارت دادن، ضربه یا قرار دادن در میدان‌های مغناطیسی متغیر از بین برد.

• زمین، میدان مغناطیسی تولید می‌کند. • مغناطیس قطب‌های شمال N و جنوب S است.

• قطب N مغناطیسی که می‌تواند آزادانه حرکت کند، به سوی قطب شمال زمین قرار می‌گیرد. قطب دیگر قطب S است. از قطب‌نما برای تعیین قطبین استفاده می‌کنند. • قوانین جذب و دفع برای مغناطیس‌ها بدین‌گونه است که قطب‌های همنام یک‌دیگر را دفع و قطب‌های غیرهمنام یک‌دیگر را جذب می‌کنند.