فصل اوّل

الکتریسیته ی ساکن

هدف‌های رفتاری

در پایان این فصل، از هنرجو 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.

۴ــ بار الکتریکی و واحد آن را تعریف کند.

۵ ــ روش‌های مختلف باردار کردن اجسام را نام ببرد.

۶ ــ 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.

۸ ــ 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 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 نقلیه انرژی الکتریکی نقش مهمی بازی می‌کند. به‌این‌ترتیب، می‌توان گفت انرژی الکتریکی تقریباً درهمه‌جا به‌کار می‌رود.

شکل ۱ــ۱ــ کاربردهای 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 براده‌های چوب را جذب کند. یونانی‌ها این کهربا را **الکترون** نام نهادند که کلمه‌ی الکتریسیته نیز از آن گرفته شده است.

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.

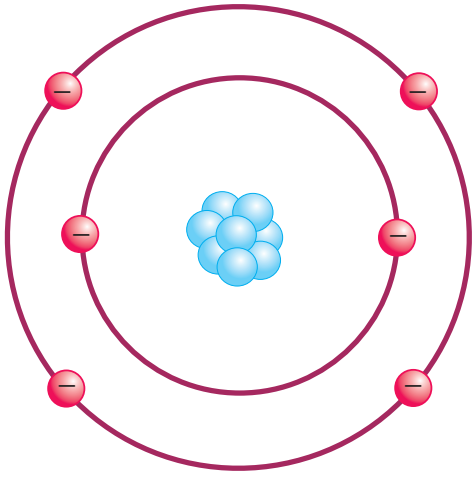
امروزه دانشمندان بر این عقیده‌اند که الکتریسیته از ذرات بسیار ریزی به نام **الکترون** و **پروتون** تولید می‌شود.

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 ۲ــ۱ــ یکی از روش‌های تولید الکتریسیته

۱ــ۱ــ ساختمان اتم

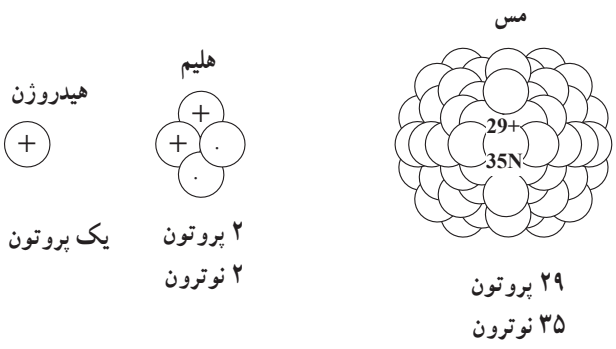
هر اتم از سه نوع ذره تشکیل می‌شود :الکترون، پروتون و نوترون. پروتون‌ها و نوترون‌ها در مرکز یا هسته‌ی اتم قرار گرفته‌اند و الکترون‌ها در مدارهایی به دور هسته گردش می‌کنند. شکل ۳ــ۱ ساختمان اتم کربن را نشان می‌دهد. هسته‌ی اتم کربن از شش پروتون با بار مثبت و شش نوترون (خنثی) تشکیل شده است و شش الکترون با بار منفی به دور هسته می‌چرخند.



شکل ۳ ــ۱ــ 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.

اتم‌های هر عنصر تعداد معینی پروتون دارند ؛ در صورتی که ممکن است تعداد نوترون‌ها با تعداد پروتون‌ها برابر نباشد.

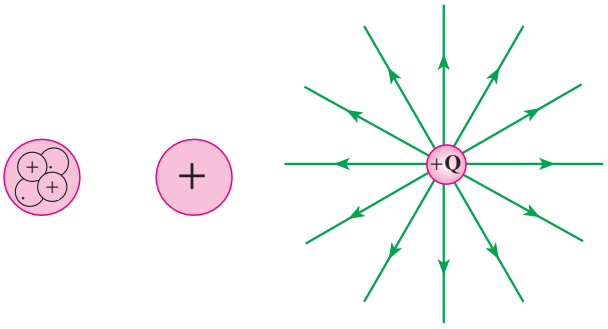


شکل ۴ــ۱ــ هسته‌ی چند اتم

۱ــ CHARLES DUFAY

۲ــ پروتون: پروتون بسیار کوچک است و قطر آن $\frac{۱}{۳}$ قطر الکترون است. پروتون‌ها در عبور یا انتقال انرژی الکتریکی نقش فعالی ندارند آن‌ها بار الکتریکی مثبت دارند و بنابر قرارداد، خطوط نیروی الکتریکی به‌صورت شعاعی و به‌طور مستقیم در تمام جهات از پروتون خارج می‌شوند.

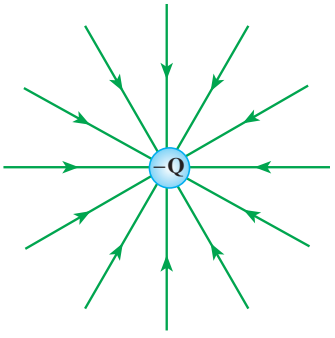
در شکل ۵ــ۱ هسته‌ی اتم شامل نوترون خنثی و پروتون مثبت است ؛ بنابراین، هسته‌ی همه‌ی اتم‌ها همیشه مثبت است. خطوط نیرو به‌صورت شعاعی در تمام جهات از پروتون خارج می‌شوند.



شکل ۵ــ۱ــ خطوط نیروی الکتریکی پروتون

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 پروتون‌ها است. نوترون از نظر الکتریکی خنثی است و بنابراین، در ماهیت الکتریکی اتم‌ها چندان مهم تلقی نمی‌شود.

۴ــ الکترون: الکترون‌ها را به‌آسانی می‌توان حرکت داد. آن‌ها ذراتی هستند که در انتقال انرژی الکتریکی اثر فعالی دارند.



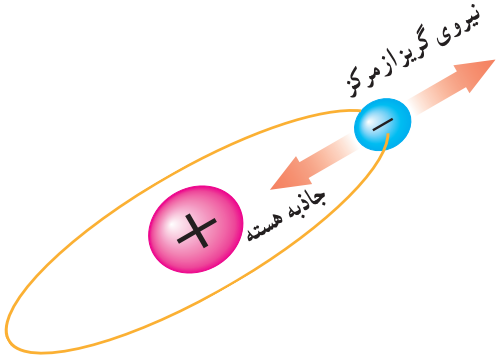
شکل ۶ ــ۱ــ خطوط نیروی الکتریکی ناشی از الکترون

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.

۲ــ۱ــ نظریه‌ی الکترونی

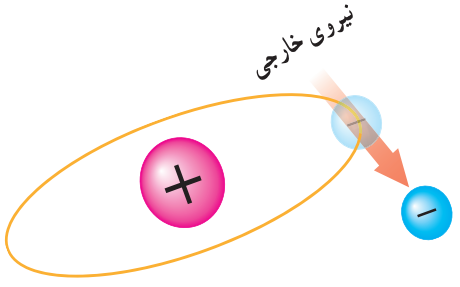
همان‌طور که گفتیم، الکتریسیته هنگامی به‌وجود می‌آید که الکترون‌ها از اتمشان خارج شوند.

طبق شکل ۷ــ۱ الکترون‌ها با سرعت بسیار زیادی در مدار خود به‌دور هسته‌ی اتم گردش می‌کنند. چون سرعت الکترون‌ها زیاد است، نیروی گریز از مرکز زیادشان، آن‌ها را به ترک مدارشان وا می‌دارد ولی نیروی جاذبه‌ی مثبت هسته از این عمل جلوگیری می‌کند.



شکل ۷ــ۱ــ تعادل الکترون در مدار خود

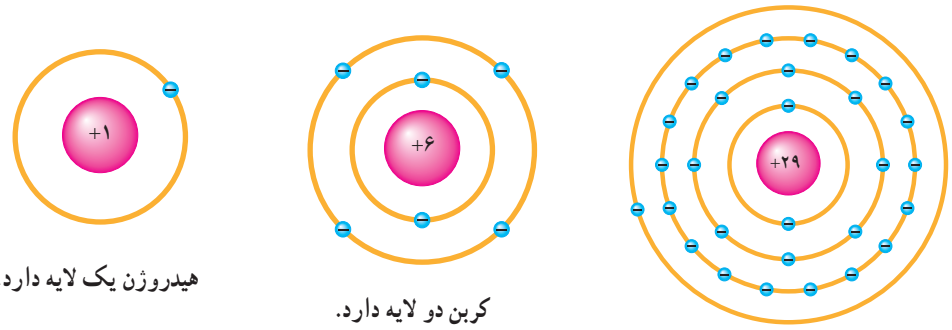
طبق شکل ۸ ــ۱ اگر یک نیروی خارجی خیلی قوی به‌اتم داده شود تا به این نیروی گریز از مرکز کمک کند، الکترون آزاد می‌شود.



شکل ۸ ــ۱ــ نیروی خارجی باعث آزادی الکترون می‌شود.

لایه‌ها: الکترون‌های مدارِ 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 ۹ــ۱ لایه‌های عناصر مس، کربن و هیدروژن را می‌بینید.



هیدروژن یک لایه دارد.

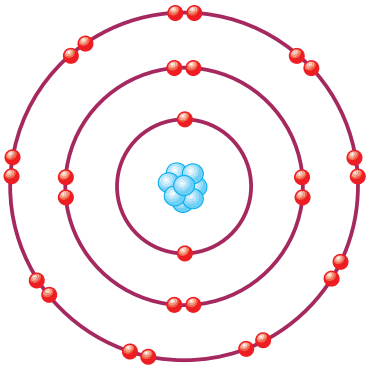
کربن دو لایه دارد.

مس چهار لایه دارد.

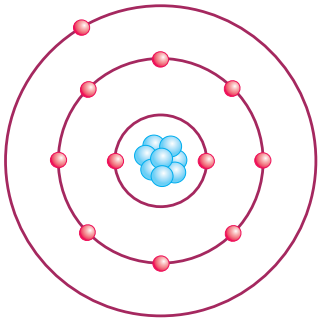
شکل ۹ــ۱ــ لایه‌های عناصر مس ، کربن و هیدروژن

ظرفیت لایه: 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 (شکل ۱۰ــ۱).

لایه‌ی خارجی (طبقه‌ی والانس): لایه‌ی خارجی هر اتمی نمی‌تواند بیش‌تر از ۸ الکترون داشته باشد. لایه‌ی خارجی یک اتم **لایه‌ی والانس** و الکترون‌های آن الکترون‌های والانس نام دارند (شکل ۱۱ــ۱).



شکل ۱۰ــ۱ــ حداکثر تعداد الکترون‌های لایه‌های ۱ تا ۳

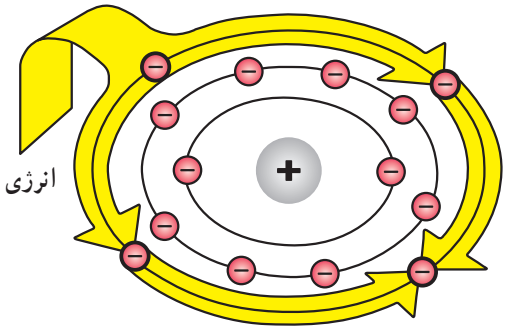


شکل ۱۱ــ۱ــ لایه‌ی والانس و الکترون والانس

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 بیش‌تر است.

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.

در اثر آزاد شدن الکترون‌ها از اتمشان، الکتریسیته به‌وجود می‌آید. چون الکترون‌های والانس بیش‌از سایر الکترون‌ها از هسته دورند، و هم‌چنین بالاترین سطح انرژی را دارند، 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 کم‌تری دریافت می‌کند.



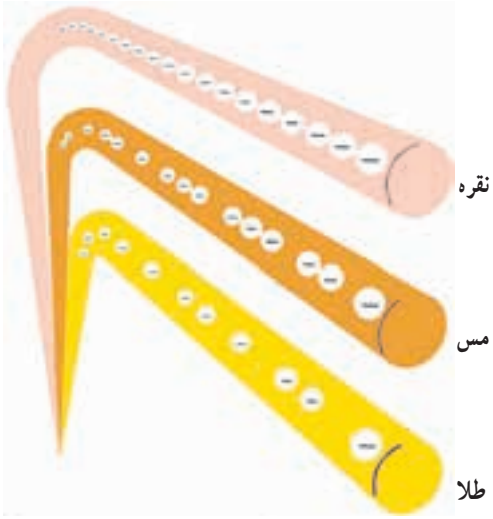
شکل ۱۲ــ۱ــ تقسیم انرژی خارجی به چهار الکترون والانس

۳ــ۱ــ 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.

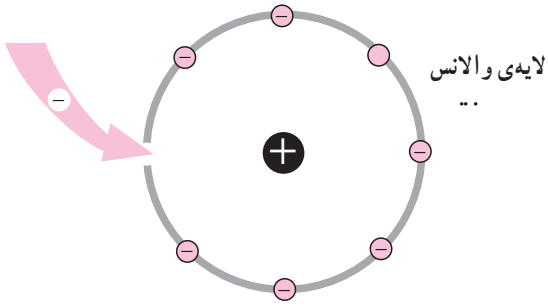
قابلیت هدایت بعضی فلزات از سایر فلزات بهتر است. برای مثال، با آن‌که اتم‌های مس و نقره و طلا هر یک فقط یک الکترون والانس دارند که به آسانی آزاد می‌شوند اما نقره بهترین هادی است و پس از آن مس و طلا قرار دارند. این بدان علت است که نقره در مقدار معینی ماده، نسبت به فلزات دیگر دارای اتم‌های بیش‌تری است و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



شکل ۱۳ــ۱ــ مقایسه‌ی هادی‌های خوب

۴ــ۱ــ عایق‌ها

عایق‌ها موادی هستند که آزاد کردن الکترون‌های مدار آخر آن‌ها بسیار مشکل است. لایه‌ی والانس اتم‌های عایق، معمولاً ۸ الکترون دارند یا دارای ۴ الکترون یا بیش‌تر هستند. انرژی داده شده به چنین اتمی بین تعداد زیادی از الکترون‌ها تقسیم می‌شود. اتم‌هایی که ۷ الکترون والانس دارند، اغلب فعالانه می‌کوشند که لایه‌ی آخرشان را پر کنند. آن‌ها عایق‌های الکتریکی بسیار خوبی به‌شمار می‌روند.



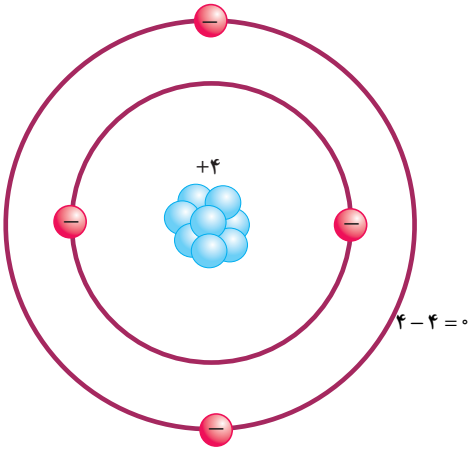
شکل ۱۴ــ۱ــ عایق خوب

۵ ــ۱ــ نیمه هادی‌ها

لایه‌ی والانس هادی‌ها کم‌تر از ۴ الکترون و لایه‌ی والانس عایق‌ها بیشتر از ۴ الکترون دارند. به‌عناصری که اتم‌های آن ۴ الکترون والانس دارند، نیمه‌هادی می‌گویند. مهم‌ترین نیمه‌هادی‌ها عبارت‌اند از : ژرمانیم، سیلیکون (سیلیسیم)، کربن.

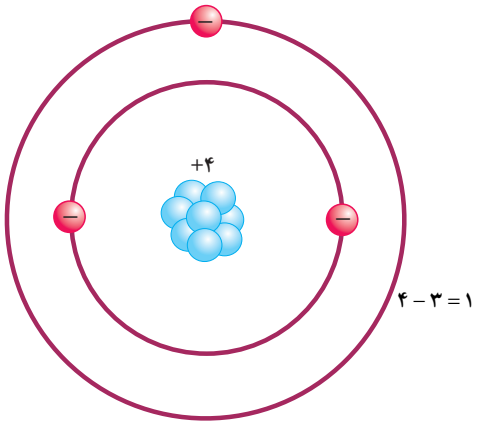
۶ ــ۱ــ اتم‌های باردار

طبق شکل ۱۵ــ۱ به‌طور طبیعی در هر اتم تعداد الکترون‌ها و پروتون‌ها مساوی است. بنابراین، بارهای مساوی و مخالف مثبت و منفی یک‌دیگر را خنثی می‌کنند و اتم را ازنظر الکتریکی خنثی نگه می‌دارند.



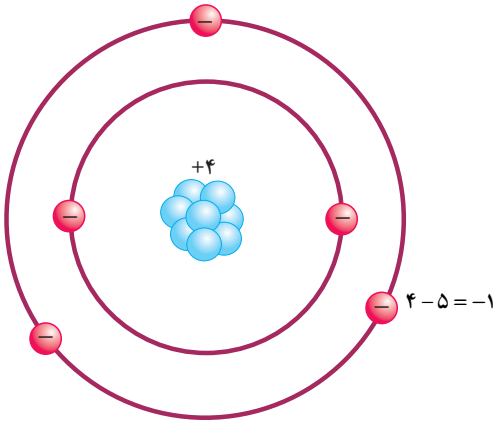
شکل ۱۵ــ۱ــ اتم خنثی

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

۷ــ۱ــ باردار شدن اجسام

اگر اتم‌های یک جسم خنثی الکترون‌های خود را از دست بدهند یا الکترون زیادی بگیرند، آن جسم باردار خواهد شد.

باردار شدن اجسام از چند راه امکان‌پذیر است :

۱ــ باردار شدن اجسام از راه اصطکاک (مالش)

۲ــ باردار کردن اجسام از طریق تماس

۳ــ باردار کردن اجسام از طریق القا

فکر کنید

هواپیماها هنگام حرکت دارای بار الکتریکی می‌شوند، برای تخلیه این بارها چه تدبیری به‌کار می‌توان برد؟

فکر کنید

نحوه کار دستگاه فتوکپی چگونه است؟

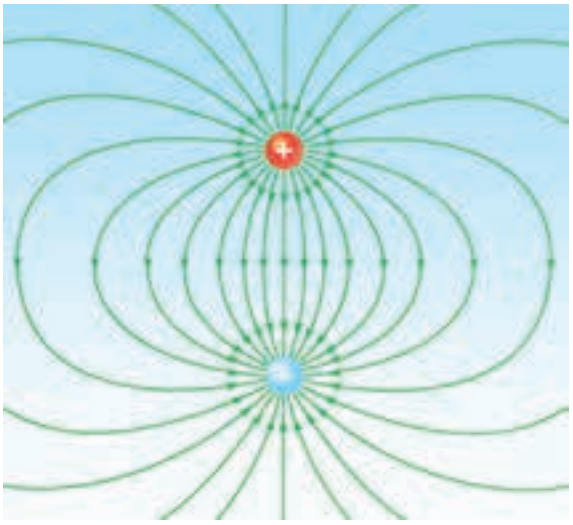
شکل ۱۸ــ۱ــ نمایی از یک دستگاه فتوکپی

۸ــ۱ــ قانون بارهای الکتریکی

بار منفی الکترون از نظر مقدار، مساوی ولی از نظر جهت خطوط نیرو، مخالف بار مثبت پروتون است. به‌بارهای الکترون و پروتون، **بارهای الکترواستاتیک** نیز می‌گویند.

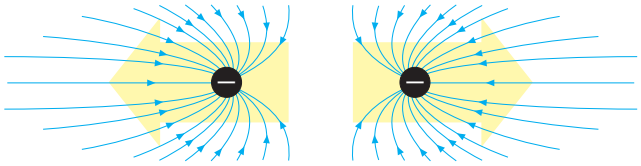
خطوط نیروی هریک از این بارها میدان‌های الکترواستاتیک تولید می‌کنند. به‌علت اثر متقابل این دو میدان، ذرات باردار یک‌دیگر را جذب یا دفع می‌کنند. بر اساس قانون بارهای الکتریکی، ذراتی که بارهای همنام دارند، یک‌دیگر را دفع و ذراتی که بارهای مخالف دارند، هم‌دیگر را جذب می‌کنند.

طبق شکل ۱۹ــ۱ پروتون(+)، الکترون (−) را جذب می‌کند.



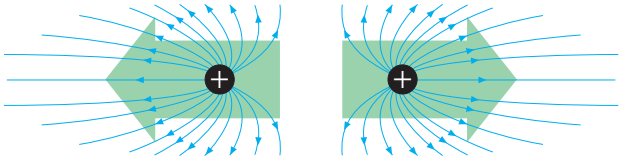
شکل ۱۹ــ۱ــ نیروی جاذبه‌ی بین الکترون و پروتون

طبق شکل ۲۰ــ۱ الکترون (−)، الکترون (−) دیگر را دفع می‌کند.



شکل ۲۰ــ۱ــ نیروی دافعه‌ی بین دو الکترون

طبق شکل ۲۱ــ۱ پروتون (+)، پروتون (+) را دفع می‌کند.



شکل ۲۱ــ۱ــ 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.

تحقیق کنید

هنگامی که هسته‌ی یک اتم می‌شکند یا متلاشی می‌شود انرژی بسیار زیادی آزاد می‌شود. به این انرژی آزاد شده انرژی هسته‌ای می‌گویند که پایه و اساس کار نیروگاه‌های برق هسته‌ای است. در یک فعالیت گروهی در مورد تولید انرژی الکتریکی با این انرژی تحقیق کرده و به کلاس گزارش دهید.

۹ــ۱ــ 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.

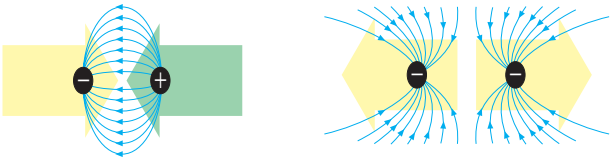
در جسم باردار مثبت، کمبود الکترون‌ها باعث می‌شود که خطوط نیروی پروتون‌های اضافی با هم جمع شوند و میدان الکترواستاتیکی تولید کنند که در آن خطوط نیرو در تمام جهات از درون جسم به‌طرف بیرون است.

تحقیق کنید

با ساختمان و اصول کار الکتروسکوپ (برق‌نما) در درس فیزیک ۱ آشنا شدید، با دوستان خود تشکیل یک گروه داده و یک الکتروسکوپ بسازید.

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

نیروی جذب و دفع به سه عامل بستگی دارد : (۱) مقدار باری که در هر جسم وجود دارد، (۲) فاصله‌ی بین دو جسم و(۳) جنس محیط بین دو جسم. هرچه بارهای الکتریکی اجسام بیش‌تر باشد، 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** می‌گویند.



شکل ۲۲ــ۱ــ میدان‌های الکترواستاتیک

۱۰ــ۱ــ 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 $\frac{۱}{۴}$ مقدار اولیه می‌رسد و هنگامی که فاصله‌ی بین دو بار الکتریکی سه برابر شود، نیروی بین آن‌ها به $\frac{۱}{۹}$ 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 بار الکتریکی روی هریک از کره‌ها متناسب است و در نتیجه، با حاصل ضرب آن‌ها تناسب دارد.

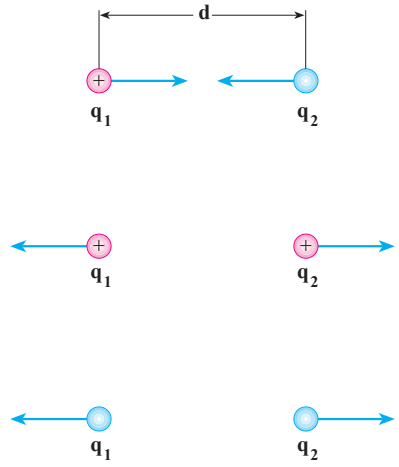
اگر دو بار الکتریکی را با $q_۱$ و $q_۲$ و فاصله‌ی بین آن‌ها را با d و نیرو را با F نمایش دهیم، قانون کولن به‌صورت رابطه‌ی زیر نوشته می‌شود :

$$F = K\frac{q_۱q_۲}{d^۲}$$

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 $K = ۹ \cdot ۱۰^۹ \frac{N.m^۲}{c^۲}$

اگر به هنگام محاسبه نیروی بین دو بار، بار مثبت را با علامت مثبت و بار منفی را با علامت منفی نشان دهیم، نیروی دافعه‌ی بین دو بار همنام با علامت مثبت و نیروی جاذبه‌ی بین دو بار غیرهمنام با علامت منفی به‌دست می‌آید.

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.



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

$$q_1 = q_2 = 1C$$

$$d = 1000m \quad F = K\frac{q_1 \cdot q_2}{d^2} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{1 \cdot 1}{(10^3)^2} = 9000N$$

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

۱۱ــ۱ــ 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_0 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 :

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

در این رابطه F برحسب نیوتن (N) ؛ q_0 برحسب کولن (C) و E برحسب نیوتن برکولن $(\frac{N}{C})$ 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 در این نقطه چه‌قدر است؟

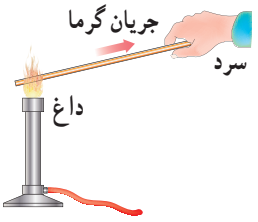
$$E = \frac{F}{q_0} = \frac{0/2}{10^{-5}} = 2 \cdot 10^4 \frac{N}{C}$$

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.

۱۲ــ۱ــ اختلاف پتانسیل الکتریکی

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 و به‌عبارت دیگر انتقال الکتریسیته به این علت صورت می‌گیرد که بین جسم رسانا و زمین اختلاف پتانسیل وجود دارد. بنابراین، می‌توان اختلاف پتانسیل را عامل یا شرطی 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.



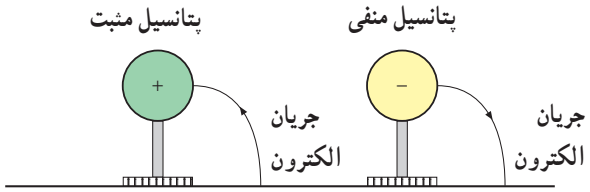
اختلاف دما سبب انتقال گرما می‌شود.

اختلاف فشار مایع را جابه‌جا می‌کند.

شکل ۲۳ــ۱ــ 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 ۲۴ــ۱ــ زمین درحکم پتانسیل صفر

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 در این ارتباط الکتریکی، الکترون‌ها از جسم به‌زمین بروند پتانسیل جسم منفی است. بنابراین، پتانسیل اجسام باردار رسانا پس از اتصال به‌زمین صفر می‌شود.

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.

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

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:

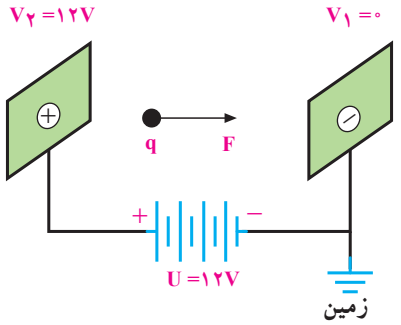
$$U = V_2 - V_1$$

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 ۲۵ــ۱ 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

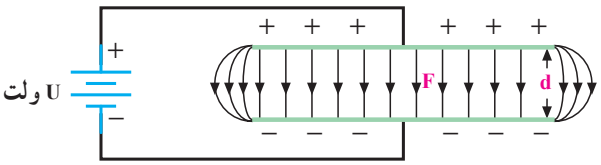
$-q$ را از V_2 به V_1 انتقال دهیم، باید به اندازه‌ی $W = U.q$ انرژی مصرف کنیم. برعکس، اگر همین بارالکتریکی را از V_1 به V_2 برگردانیم، انرژی به مقدار $W = U.q$ آزاد خواهد شد.

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 ۲۵ــ۱ــ 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: 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 ۲۶ــ۱ 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 بیرونِ دو صفحه و در مجاورت لبه‌ی صفحه‌ها ــ همان‌طور که در شکل دیده می‌شود ــ میدان الکتریکی یک‌نواخت نیست.



شکل ۲۶ــ۱ــ 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 :

$$Uq = qE.d$$

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

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 :

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

مثال۳: بین دو صفحه‌ی موازی که به‌فاصله‌ی ۲ سانتی‌متر از یک‌دیگر قرار دارند، اختلاف پتانسیل ۱۰۰۰ولت برقرار شده است.

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

ب) اگر یک پروتون با بار مثبت : $۱/۶۰۲ . ۱۰^{-۱۹}\,C$ بین این دو صفحه قرار گیرد، چه نیرویی بر آن وارد می‌شود؟

ــ مقادیر داده شده عبارت‌اند از : $d = ۰/۰۲۰m$ و $U = ۱۰۰۰V$ و $q = ۱/۶۰۲ . ۱۰^{-۱۹}\,C$.

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

ب)

$$F = Eq = ۵۰۰۰۰ . ۱/۶۰۲ . ۱۰^{-۱۹} = ۸/۰۱ . ۱۰^{-۱۵}\,N$$

۱۳ــ۱ــ خطرات الکتریسیته‌ی ساکن و چگونگی خنثی 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 به ساختمان‌های بلند آسیب برساند.

شکل ۲۷ــ۱ــ صاعقه

تحقیق کنید

در مورد نحوه عملکرد برق‌گیر در ساختمان‌ها به‌صورت گروهی تحقیق کرده و نتیجه را به کلاس گزارش دهید.

در بیمارستان‌ها برای بیهوش کردن بیماران از ماده‌ای به‌نام اتر استفاده می‌شود. اتر ماده‌ای فرّار است و بخار آن در فضای اتاق پخش می‌شود. اگر چرخ‌های تختِ 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 پیش‌آمد ناگوار جلوگیری می‌شود.

فکر کنید

در بعضی از دستگاه‌های صنعتی برای به‌حرکت درآوردن بار (انتقال قدرت) از تسمه لاستیکی استفاده می‌شود. برای از بین بردن الکتریسیته ساکن تولید شده چه می‌کنند؟

۱۴ــ۱ــ کاربرد الکتریسیته‌ی ساکن

تاکنون تنها درمورد چگونگی خنثی کردن الکتریسیته‌ی ساکن سخن گفته‌ایم. اما الکتریسیته‌ی ساکن کاربردهای فراوانی نیز دارد.

الف ــ دستگاه غبارگیر الکترواستاتیکی: در این دستگاه هوای آلوده به ذرات معلق از میان یک میدان الکترواستاتیکی قوی عبور می‌کند و ذرات آن دارای بار منفی می‌شوند.

این ذرات باردار از میدان الکترواستاتیکی دیگری عبور داده می‌شوند، ذرات غبار که بار منفی گرفته‌اند جذب بارهای مثبت می‌شود و هوا از ذرات معلق تمیز می‌شود.

ب ــ دستگاه رنگ‌پاش: در این دستگاه جسمی که قرار است رنگ شود را مثبت باردار می‌کنند و رنگ را در رنگ پاش منفی باردار می‌کنند. رنگ باردار را با رنگ‌پاش به جسم می‌پاشند ذرات باردار رنگ جذب جسم می‌شوند و سطح آن به طور کاملاً یکنواخت با رنگ پوشیده می‌شود.

الف) دستگاه رنگ‌پاش الکترواستاتیکی

ب) دستگاه غبارگیر الکترواستاتیکی

شکل ۲۸ــ۱ــ کاربردهایی از الکتریسیته‌ی ساکن

تحقیق کنید

در مورد نحوه رنگ‌کردن بدنه خودروها به شیوه الکترواستاتیکی تحقیق و نتیجه‌ی آن را به کلاس گزارش کنید.

پرسش

۱ــ چه ذراتی الکتریسیته تولید می‌کنند؟

۲ــ پروتون بار ..... و الکترون بار ..... دارد.

۳ــ اگر یک الکترون در نزدیکی یک پروتون باشد، آیا پروتون، الکترون را جذب می‌کند یا دفع؟

۴ــ چرا پروتون‌های داخل هسته با نیروی کافی یک‌دیگر را دفع نمی‌کنند تا هسته منهدم شود؟

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

۶ــ آیا نیروی دافعه‌ی بین دو الکترون با فاصله‌ی کم بیش‌تر است یا با فاصله‌ی زیاد؟ اگر فاصله‌ی بین یک پروتون و یک الکترون دو برابر شود، اندازه‌ی نیروی جاذبه در مقایسه با نیروی قبلی چه‌قدر است؟

۷ــ قانون کولن را شرح دهید.

۸ ــ چرا به عقب بدنه‌ی فلزی تانکرهای حمل سوخت زنجیر کوتاهی که با سطح زمین تماس دارد، آویزان می‌کنند؟

۹ــ لایه چیست و دور هر اتم چند لایه وجود دارد؟

۱۰ــ الکترون آزاد یا والانس چیست؟

۱۱ــ آیا عنصری که شش الکترون والانس دارد، هادی خوبی است؟ دو الکترون والانس چه‌طور؟

۱۲ــ شدت میدان الکتریکی را شرح دهید.

۱۳ــ اختلاف پتانسیل الکتریکی را تعریف کرده و واحد اندازه‌گیری آن‌را بیان کنید.

۱۴ــ چرا هنگام تمیز کردن صفحه‌ی تلویزیون با پارچه‌ی خشک، پُرزهای پارچه به صفحه‌ی تلویزیون می‌چسبند؟

۱۵ــ چرا هنگام بیرون آوردن لباس از بدن، جرقه‌هایی در لباس زده می‌شود؟

۱۶ــ شیر آب سرد را کمی باز کنید تا باریکه‌ای از آب تشکیل شود. با یک شانه پلاستیکی چند بار سر خود را شانه بزنید شانه را به باریکه آب نزدیک کنید چه اتفاقی می‌افتد؟ چرا؟

تمرین

۱ــ 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

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

ج) ۱۱/۱۱N

۳ــ 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؟

۴ــ بارمثبت $۵ . ۱۰^{-۷}$ کولنی وقتی در نقطه‌ای از یک میدان الکتریکی قرار گیرد، نیرویی برابر ۰/۰۴N بر آن وارد می‌شود. شدت میدان الکتریکی را در این نقطه حساب کنید.

ج) $E = ۸ . ۱۰^{۴} \frac{N}{C}$

۵ــ شدت میدان الکتریکی در یک میدان یک‌نواخت (یعنی میدانی که شدت آن ثابت و خطوط نیروی آن موازی و هم‌جهت است) برابر $۱۰۰۰ \frac{N}{C}$ است. اندازه‌ی نیروی وارد بر یک الکترون را وقتی که در این میدان قرار می‌گیرد، حساب کنید. بارالکتریکی الکترون را $۱/۶ . ۱۰^{-۱۹}$ بگیرید.

ج) $F = ۱/۶ . ۱۰^{-۱۶} N$

۶ــ بار الکتریکی q در میدان الکتریکی یک‌نواخت به شدت $۲۰ \frac{N}{C}$ قرار گرفته و نیرویی برابر $۳ . ۱۰^{-۴} N$ بر آن وارد شده است. مقدار بار q چند کولنی بوده است؟

ج) $q = ۱/۵ . ۱۰^{-۵} C$

۷ــ اگر یک الکترون که بارالکتریکی آن در حدود $e \simeq ۱/۶ . ۱۰^{-۱۹}$ 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) $W = ۱/۶ . ۱۰^{-۱۹}$ ژول