

فهرست



۷

فصل اول: الکتروستاتیستیک ساکن

۶۱

پاسخنامه فصل اول

۷۷

فصل دوم: جریان الکتریکی و مدارهای جریان مستقیم

۱۳۰

پاسخنامه فصل دوم



۱۴۸

فصل سوم: مغناطیس

۱۸۴

پاسخنامه فصل سوم

۱۹۳

فصل چهارم: القای الکترومغناطیسی و جریان متناوب

۲۲۲

پاسخنامه فصل چهارم



۲۳۲

امتحان‌های نیم‌سال اول

۲۳۸

پاسخنامه امتحان‌های نیم‌سال اول

۲۴۲

امتحان‌های نیم‌سال دوم

۲۵۳

پاسخنامه امتحان‌های نیم‌سال دوم



مفاهیم اولیه بار الکتریکی

بیاید فصل را با یک خاطره مشترک آغاز کنیم. خیلی از ماها، در دوران بچگی جوراب پایمان می‌کردیم و کف پایمان را روی فرش می‌کشیدیم. بعد از این کار نوک انگشتان را به دستگیره در می‌زدیم و از ایجاد جرقه و صدای آن لذت می‌بردیم. شاید آن موقع نمی‌دانستیم، منشأ این موضوع چیست ولی آن را تجربه کرده بودیم. فیلسوفان یونانیان باستان هم تجربه مشابهی داشتند. آن‌ها هم وقتی خرده‌های کاه را با کهربا مالش می‌دادند و می‌دیدند که کهربا و خرده‌های کاه یکدیگر را جذب می‌کنند، مثل ما علت آن را نمی‌دانستند. البته الان شما می‌دانید، منشأ هر دوی این اتفاقات یک چیز است و آن بار الکتریکی است. درست است که یونانیان باستان به اندازه شما مطلع نبودند اما مشاهدات آن‌ها پایه‌گذار علمی شد که اسم آن از واژه کهربا در یونانی گرفته شده است. کهربا در یونانی می‌شود الکترون!

بار الکتریکی

بار الکتریکی خاصیتی است که برخی از ذرات بنیادی (یعنی ذرات سازنده جهان) دارند. یکی از این ذرات الکترون است که بار منفی دارد. ذرات دیگری هم وجود دارند که بار مثبت دارند. در حالت عادی مقدار بار منفی و مثبت اجسام برابر است و جسم خنثی است. اما وقتی این تعادل به هم بریزد، اجسام باردار می‌شوند. یکی از پدیده‌هایی که در مورد اجسام باردار مشاهده می‌کنیم، این است که آن‌ها به یکدیگر نیرو وارد می‌کنند.

نمونه: به هم پیوستن اتم‌ها به هم و ایجاد مولکول، پیام‌های عصبی در اعصاب، چسبیدن سلوفان به ظرف پلاستیکی، بالارفتن یک مارمولک از دیوار همگی منشأ الکتریکی دارند.

یکای بار الکتریکی

بار الکتریکی که آن را با q یا Q نشان می‌دهیم، مانند بیشتر کمیت‌های فیزیکی دیگر، یکا دارد. این یکا در SI، کولن نامیده می‌شود و آن را با C نمایش می‌دهیم. یکای کولن یکای بسیار بزرگی است. به همین خاطر بیشتر بارهایی که ما با آن‌ها سروکار داریم، در حدود میکروکولن ($10^{-6} C$) و نانوکولن ($10^{-9} C$) است.

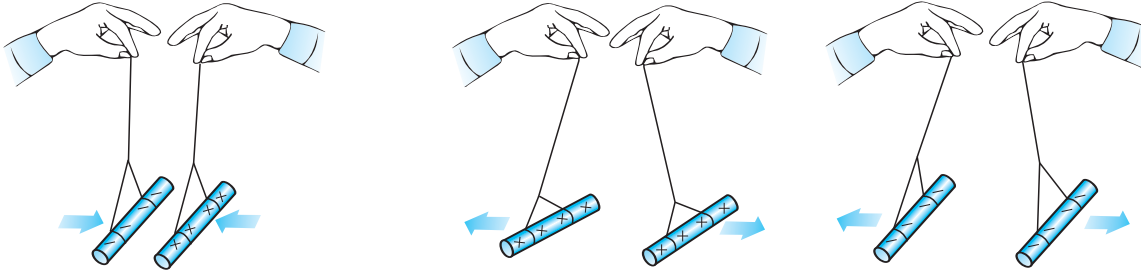


نمونه: آذرخش مثل آذرخشی که در عکس روبه‌رو به آنتن برج میلاد برخورد کرده است، حدود $10^8 C$ بار دارد. این موضوع بیانگر بزرگ بودن یکای کولن است، چون اگر چنین آذرخشی به ما می‌خورد، احتمالاً بخار می‌شدیم!

نمونه: موقع شانه کردن موهایتان با یک شانه پلاستیکی، بارهای منتقل شده از مرتبه نانوکولن ($1nC$) است.

از کجا فهمیدیم دو نوع بار داریم؟ مثبت و منفی از کجا آمد؟

همان طور که در علوم هشتم دیدید، آزمایش‌هایی مانند آزمایش‌های شکل زیر نشان دادند که نیروی الکتریکی بین اجسام باردار به دو صورت جاذبه و دافعه است. این موضوع بیانگر این است که بار اجسام باردار نباید از یک نوع باشد؛ چون، اگر از یک نوع بود، اجسام باردار یا یکدیگر را جذب یا یکدیگر را دفع می‌کردند و هر دو حالت رخ نمی‌داد. به همین خاطر دانشمندان دو نوع بار مثبت و منفی در نظر گرفتند که این موضوع را توجیه کنند. آن‌ها فهمیدند که بارهای هم‌نام یکدیگر را دفع و بارهای ناهم‌نام یکدیگر را جذب می‌کنند.

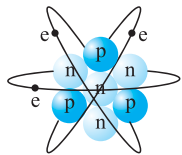


الف) وقتی دو میلهٔ پلاستیکی را با پارچهٔ پشمی مالش می‌دهیم، همدیگر را دفع می‌کنند.
 ب) وقتی دو میلهٔ شیشه‌ای را با پارچهٔ ابریشمی مالش می‌دهیم، همدیگر را دفع می‌کنند.
 پ) وقتی میلهٔ پلاستیکی مالش داده شده با پارچهٔ پشمی را به میلهٔ شیشه‌ای مالش داده شده با پارچهٔ ابریشمی نزدیک کنیم، همدیگر را جذب می‌کنند.

نام‌گذاری به صورت مثبت و منفی، از کارهای بنیامین فرانکلین دانشمند آمریکایی بود. او می‌توانست هر نام دیگری برای این دو نوع بار انتخاب کند ولی این انتخاب او خوبی‌هایی دارد. یکی از آن‌ها این است که وقتی در یک جسم به مقدار مساوی از بارهای مثبت و منفی وجود داشته باشد، جمع جبری بارهای جسم صفر می‌شود و همان طور که گفتیم جسم خنثی می‌باشد.

اجزای اتم و انتقال بار

هر اتم از دو جزء اصلی یعنی هسته که بار آن مثبت است و الکترون که بارش منفی است، تشکیل شده است. همان طور که می‌دانید خود هسته از دو ذره تشکیل شده است:



۱) نوترون‌ها که بدون بار هستند.

۲) پروتون‌ها که بار هسته حاصل از بار مثبت آن‌ها است.

اندازهٔ بار اجزای اتم

اندازهٔ بار یک الکترون و یک پروتون بدون در نظر گرفتن علامت با هم برابر است. مقدار این بار تقریباً برابر $C \approx 1.6 \times 10^{-19}$ است و به آن بار بنیادی گفته می‌شود. بار هر الکترون برابر با $-e$ و بار هر پروتون برابر با $+e$ است.

نکته: در یک جسم یا اتم خنثی، تعداد الکترون‌ها برابر تعداد پروتون‌ها است؛ در نتیجه، همان طور که انتظار داریم، جمع جبری بارها صفر می‌شود.

الکترون عامل انتقال بار

زمانی که یک میلهٔ پلاستیکی را به یک پارچهٔ پشمی مالش می‌دهیم، دو جسم باردار می‌شوند. در موقع انجام این کار، تعدادی الکترون از سطح پارچه کنده و به سطح جسم پلاستیکی منتقل می‌شود؛ اما، هسته‌ها و در نتیجه پروتون‌ها جابه‌جا نمی‌شوند.

به خاطر این موضوع، پارچهٔ پشمی که با از دست دادن الکترون، تعداد پروتون‌هایش بیشتر از تعداد الکترون‌هایش شده، دارای بار خالص مثبت می‌شود. از طرف دیگر بار میلهٔ پلاستیکی با گرفتن الکترون، منفی می‌شود؛ چون، تعداد الکترون‌های آن بیشتر از تعداد پروتون‌هایش شده است.

جمع‌بندی

خنثی بودن جسم \approx مساوی بودن تعداد الکترون‌ها و تعداد پروتون‌ها: $q = 0 \Rightarrow n_e = n_p$

منفی شدن بار جسم \approx بیشتر شدن تعداد الکترون‌ها از تعداد پروتون‌ها \approx گرفتن الکترون: $q < 0 \Rightarrow n_e > n_p$

مثبت شدن بار جسم \approx کم‌تر شدن تعداد الکترون‌ها از تعداد پروتون‌ها \approx از دست دادن الکترون: $q > 0 \Rightarrow n_e < n_p$

یادآوری: به تعداد پروتون‌های یک اتم عدد اتمی می‌گوییم و آن را با (Z) نمایش می‌دهیم.

بار کوانتیده است

اول بگوییم که کوانتیده بودن یعنی گسسته بودن. مثلاً تعداد خودکارهای شما کوانتیده است؛ یعنی، شما می‌توانید آن‌ها را دانه‌دانه بشمارید و مثلاً ۱۲/۳ خودکار نداریم. در واقع کوانتیده بودن در مقابل پیوسته بودن است. مثلاً زمان پیوسته است و شما نمی‌توانید آن را دانه‌دانه بشمارید.

با توجه به مطالب قسمت قبل می‌فهمیم که مقدار بار الکتریکی یک جسم، به تعداد الکترون‌هایی که جسم می‌گیرد یا از دست می‌دهد، وابسته است و داریم:

$$q = \pm ne \begin{cases} +ne \Rightarrow \text{از دست دادن } n \text{ الکترون} \\ -ne \Rightarrow \text{گرفتن } n \text{ الکترون} \end{cases}$$

در رابطه بالا، n باید اعداد حسابی یعنی ۰، ۱، ۲ و ... باشد و نمی‌تواند اعدادی مثل ۵/۲، ۲/۳ و ... باشد؛ چون نصف الکترون نداریم. این موضوع به صورت اصل زیر بیان می‌شود:

اصل کوانتیده بودن بار: همیشه بار الکتریکی مشاهده شده در اجسام، مضرب درستی (صحیحی) از بار بنیادی (e) است.

نکته: از مطالب بالا می‌فهمیم که اندازه کوچک‌ترین باری که می‌تواند به طور مستقل وجود داشته باشد، برابر با بار بنیادی یعنی $1e$ است.

مثال و پاسخ

مثال: بار الکتریکی جسمی $-1/6 \mu\text{C}$ است. تعداد پروتون‌های این جسم از تعداد الکترون‌هایش بیشتر است یا کم‌تر؟ چندتا؟
پاسخ: بار منفی است؛ پس، جسم الکترون گرفته و تعداد پروتون‌ها از الکترون‌ها کم‌تر است؛ اما، برای این که بفهمیم جسم چندتا پروتون کم‌تر از الکترون دارد، باید از رابطه $q = -ne$ کمک بگیریم:

$$q = -ne \Rightarrow -1/6 \times 10^{-6} = -n \times 1/6 \times 10^{-19} \Rightarrow n = \frac{10^{-6}}{10^{-19}} = 10^{13}$$

یعنی تعداد پروتون‌های جسم 10^{13} تا کم‌تر از تعداد الکترون‌های آن است.

مثال و پاسخ

مثال: عدد اتمی اکسیژن ۸ است ($Z = 8$).

الف: در حالت خنثی چند پروتون در هسته و چند الکترون در اطراف هسته وجود دارد؟

ب: بار هسته یون O^{2-} را بر حسب نانوکولن به دست آورید.

پ: مجموع بار الکترون‌های یون O^{2-} چند کولن است؟

ت: بار خالص یون O^{2-} بر حسب میکروکولن چه قدر است؟

پاسخ: **الف:** عدد اتمی بیانگر تعداد پروتون‌های داخل هسته است؛ بنابراین، تعداد پروتون‌های اتم اکسیژن ۸ تا است. از طرفی در حالت خنثی تعداد الکترون‌ها با تعداد پروتون‌ها مساوی است؛ پس، تعداد الکترون‌های اتم اکسیژن خنثی همان ۸ تا است.

ب: وقتی یک اتم تبدیل به یون می‌شود، فقط تعداد الکترون‌های آن تغییر می‌کند و تعداد پروتون‌های آن ثابت می‌ماند؛ پس، تعداد پروتون‌های یون O^{2-} همان ۸ تا است. از طرفی می‌دانیم بار پروتون $e = +1/6 \times 10^{-19} \text{ C}$ است؛ پس:

$$q_{\text{هسته}} = +n_p e = 8 \times 1/6 \times 10^{-19} \text{ C} = 12/8 \times 10^{-19} \text{ C} = 1/28 \times 10^{-9} \text{ nC}$$

پ: در یون O^{2-} تعداد الکترون‌ها ۲ تا بیشتر از پروتون‌ها است؛ پس، تعداد الکترون‌های یون O^{2-} برابر با $8 + 2 = 10$ است. بار این

تعداد الکترون برابر است با:

$$q_{\text{الکترون‌ها}} = -n_e e = -10 \times 1/6 \times 10^{-19} \text{ C} = -1/6 \times 10^{-18} \text{ C}$$

ت: بار خالص یون O^{2-} برابر با اختلاف تعداد پروتون و الکترون ضرب در بار پایه است. با توجه به این که یون O^{2-} ، ۲ تا الکترون بیشتر

دارد، داریم:

$$q_{\text{خالص}} = -ne = -2 \times 1/6 \times 10^{-19} \text{ C} = -3/2 \times 10^{-19} \text{ C} = -3/2 \times 10^{-13} \mu\text{C}$$

اصل پایستگی بار

دیدید که در آزمایش مالش پارچه پشمی با میله پلاستیکی، الکترون از پارچه به میله منتقل می‌شود. در این آزمایش شبیه همه آزمایش‌های دیگر، بار فقط منتقل می‌شود و هیچ‌گاه به وجود نمی‌آید و یا از بین نمی‌رود. این موضوع بیانگر اصل پایستگی بار است که به صورت زیر بیان می‌شود: مجموع جبری همه بارهای الکتریکی در یک دستگاه منزوی، ثابت است؛ یعنی، بار می‌تواند از جسمی به جسم دیگر منتقل شود ولی هرگز امکان تولید یا نابودی یک بار خالص وجود ندارد.

سؤال‌های امتحانی

۱- درستی یا نادرستی عبارت‌های زیر را تعیین کنید.

(الف) یک کولن مقدار بار کوچکی است.

(ب) جسمی که تعداد الکترون‌هایش کم‌تر از تعداد پروتون‌های آن می‌شود، بار الکتریکی خالص مثبت پیدا می‌کند.

(پ) نام‌گذاری بار به صورت مثبت و منفی تنها راه برای نام‌گذاری بار بوده است.

(ت) اجسام با بار مثبت یکدیگر را جذب و اجسام با بار منفی یکدیگر را دفع می‌کنند.

(ث) بار الکتریکی در ماده همواره کمیته پیوسته است که نمی‌تواند کم‌تر از بار الکتریکی پایه باشد.

۲- در جمله‌های زیر، جاهای خالی را با کلمه یا عبارت مناسب کامل کنید.

(الف) بار الکتریکی به وجود نمی‌آید و از بین نمی‌رود، به این بیان گفته می‌شود.

(ب) بار الکتریکی از یک بار پایه است که به آن بار بنیادی می‌گوییم.

۳- کلمه مناسب را از داخل پرانتز انتخاب کنید.

(الف) مجموع جبری همه بارهای الکتریکی در یک دستگاه منزوی (ثابت / صفر) است.

(ب) یک کولن مقدار بار (بزرگی / کوچکی) است؛ به طوری که در یک آذرخش باری از مرتبه $(10^9 \text{ TC} / 10^9 \text{ C})$ به زمین منتقل می‌شود.

۴- یک جسم به وسیله مالش دارای بار الکتریکی شده است. کدام گزینه زیر می‌تواند مقدار بار الکتریکی آن برحسب کولن باشد؟ (اندازه بار

الکتریکی هر الکترون $1/6 \times 10^{-19}$ کولن است.)

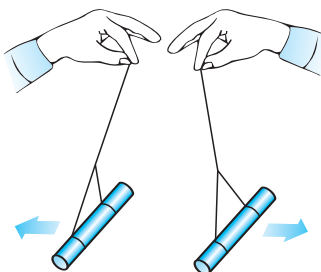
(۱) 4×10^{-19} (۲) 8×10^{-19}

۵- اگر اندازه بار یک الکترون $1/6 \times 10^{-19} \text{ C}$ باشد، برای به دست آوردن 1 C بار الکتریکی، چند الکترون باید منتقل شود؟

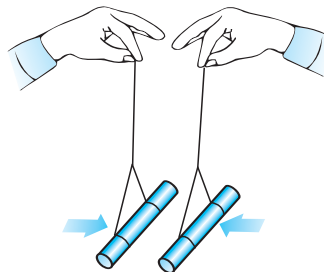
۶- به هر سانتی‌متر از یک میله عایق 8 سانتی‌متری، 10^{10} الکترون می‌دهیم. بار این میله چند کولن می‌شود؟ (بار هر الکترون $1/6 \times 10^{-19} \text{ C}$ است.)

۷- عدد اتمی لیتیم 3 است. بار هسته لیتیم چند کولن است؟

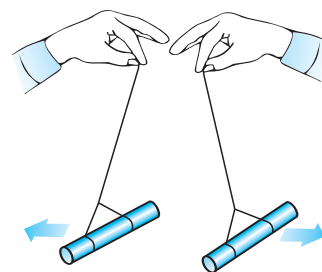
۸- آزمایش مربوط به شکل‌های زیر بیانگر کدام موضوع فیزیکی است؟



(پ) وقتی دو میله شیشه‌ای را با پارچه ابریشمی مالش می‌دهیم، همدیگر را دفع می‌کنند.



(ب) وقتی میله پلاستیکی مالش داده شده با پارچه پشمی را به میله شیشه‌ای مالش داده شده با پارچه ابریشمی نزدیک کنیم، همدیگر را جذب می‌کنند.



(الف) وقتی دو میله پلاستیکی را با پارچه پشمی مالش می‌دهیم، همدیگر را دفع می‌کنند.

روش‌های باردار کردن اجسام



در علوم هشتم با سه روش برای باردار کردن اجسام یعنی مالش، تماس و القا آشنا شدید. در این درس‌نامه می‌خواهیم آن‌ها را برایتان یادآوری کنیم و اگر جایی نیاز به مطالب تکمیلی‌تر بود، آن‌ها را به شما بگوییم. با روش مالش شروع می‌کنیم.

باردار کردن اجسام به روش مالش

ابتدا به نمونه‌های ذکر شده توجه کنید:

نمونه: اگر یک میله شیشه‌ای را با پارچه ابریشمی مالش دهید، الکترون‌هایی از میله شیشه‌ای به پارچه ابریشمی منتقل می‌شوند. این اتفاق باعث ایجاد بار مثبت در میله شیشه‌ای و بار منفی در پارچه ابریشمی می‌شود.

نمونه: اگر یک میله پلاستیکی را با پارچه پشمی مالش دهید، الکترون‌هایی از پارچه پشمی به میله پلاستیکی منتقل می‌شوند. این موضوع، باعث ایجاد بار مثبت در پارچه پشمی و بار منفی در میله پلاستیکی می‌شود.

همان‌طور که در نمونه‌ها دیدید، در اثر مالش دو جسم، الکترون‌هایی از یک جسم کنده و به جسم دیگری منتقل می‌شوند و در نتیجه دو جسم باردار خواهند شد و بار آن‌ها با هم مخالف است. شاید بپرسید که چطوری بفهمیم که کدام جسم الکترون می‌گیرد و کدام جسم الکترون از دست می‌دهد؟ این موضوع با توجه به جدولی که به **سری الکتریسیته مالشی** یا **تریبوالکتریک** معروف است، معلوم می‌شود. همان‌طور که در جدول روبه‌رو می‌بینید، برای مواد دو انتها در نظر گرفته شده است: یکی انتهای مثبت سری و دیگری انتهای منفی سری. هر چه جسم به انتهای مثبت نزدیک باشد، جسم تمایل بیشتری برای از دست دادن الکترون دارد. از طرفی هر چه جسم به سمت انتهای منفی سری نزدیک باشد، جسم تمایل بیشتری به گرفتن الکترون دارد؛ پس، هر چه از انتهای مثبت سری به انتهای منفی سری نزدیک می‌شویم، **الکترون خواهی** مواد زیادتر می‌شود.

سری الکتریسیته مالشی (تریبوالکتریک)	
انتهای مثبت سری	
موی انسان	
شیشه	
نایلون	
سلفون	
پشم	
موی گربه	
سُرب	
ابریشم	
آلومینیم	
پوست انسان	
کاغذ	
چوب	
پارچه کتان	
کهربا	
برنج، مس	
پلاستیک، پلی اتیلن	
لاستیک	
تفلون	
انتهای منفی سری	

نتیجه: اگر دو جسم خنثی را با هم مالش بدهیم، دو جسم باردار با بار مخالف خواهیم داشت. در این آزمایش بار جسمی که به انتهای منفی سری نزدیک‌تر است، منفی می‌شود و بار جسمی که به انتهای مثبت سری نزدیک‌تر است، مثبت می‌شود.

مسئله و پاسخ

مثال: در مالش کهربا به پشم، 10^7 الکترون از یک جسم به جسم دیگر منتقل می‌شود.

الف: با توجه به سری الکتریسیته مالشی، بار کدام ماده منفی و بار کدام ماده مثبت می‌شود؟

ب: بار هر کدام چند پیکوکولن می‌شود؟

پ: اگر لاستیک را به سرب مالش دهیم، کهربای آزمایش بالا کدام را جذب و کدام را دفع می‌کند؟

پاسخ: الف) با توجه به سری الکتریسیته مالشی، بار کهربا با گرفتن الکترون منفی می‌شود؛ چون، به انتهای منفی سری نزدیک‌تر است.

بار پشم هم با از دست دادن الکترون مثبت می‌شود.

ب) بار پشم که 10^7 الکترون از دست داده است، به صورت زیر به دست می‌آید:

$$q_{\text{پشم}} = +ne \xrightarrow{e=1/6 \times 10^{-19} \text{ C}} q_{\text{پشم}} = 10^7 \times 1/6 \times 10^{-19} \text{ C} = 1/6 \times 10^{-12} \text{ C} = 1/6 \text{ pC}$$

$$q_{\text{کهربا}} = -q_{\text{پشم}} = -1/6 \text{ pC}$$

با توجه به پایستگی بار، بار کهربا برابر منفی بار پشم است؛ پس:

پ) اگر به سری الکتریسیته مالشی نگاه کنید، می‌فهمید که لاستیک الکترون خواهی بیشتری دارد؛ بنابراین، الکترون جذب می‌کند و بارش منفی

می‌شود. از طرفی با جداسدن الکترون از سرب، بار آن مثبت می‌شود؛ بنابراین، کهربا که بار منفی دارد، سرب را جذب و لاستیک را دفع می‌کند.

انتقال بار الکتریکی به روش تماس

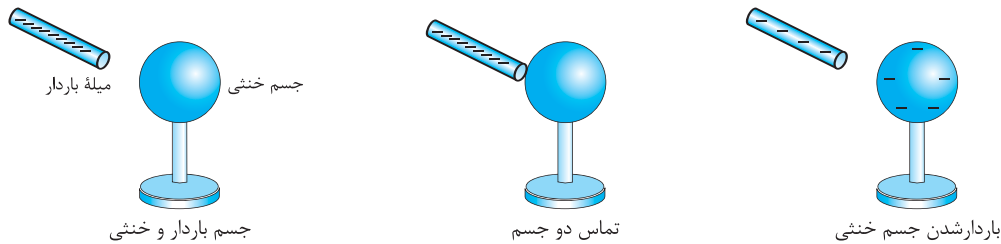
قبل از بررسی این روش، باید سه مفهوم الکترون آزاد، رسانا و نارسانا را برایتان یادآوری کنیم.

الکترون آزاد: به الکترون‌هایی می‌گوییم که وابستگی بسیار کمی به هسته اتم دارند و به راحتی می‌توانند در ماده حرکت کنند. الکترون‌های آزاد عامل انتقال بار الکتریکی هستند.

رسانا: در بعضی از مواد مثل مس، تعداد زیادی الکترون آزاد وجود دارد. به همین خاطر بار الکتریکی به راحتی می تواند در آن ها منتقل شود. این نوع مواد را رسانا می نامیم.

نارسانا: به موادی مثل شیشه، چوب و ... که الکترون های آن ها نمی توانند آزادانه حرکت کنند و در نتیجه نمی توانند بار الکتریکی را از خود عبور دهند، نارسانا می گوئیم.

با یادآوری سه تعریف بالا، به نقطه ای رسیدیم که می توانیم، باردار کردن اجسام به روش تماس را بررسی کنیم. در روش تماس که معمولاً برای رساناها مورد استفاده قرار می گیرد، مانند شکل زیر، با تماس یک جسم باردار به جسم خنثی، جسم خنثی را باردار می کنیم.



نکته: براساس قانون پایستگی بار الکتریکی، مجموع بار دو جسم، قبل و بعد از تماس برابر است؛ یعنی اگر قبل تماس بار جسم (۱)، q_1 و با جسم (۲)، q_2 باشد و پس از تماس، بار جسم (۱)، q'_1 و بار جسم (۲)، q'_2 شود، خواهیم داشت:

$$q_1 + q_2 = q'_1 + q'_2$$

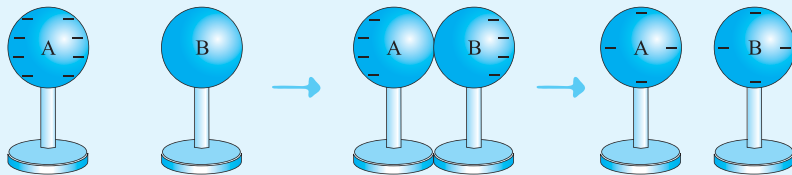
نکته: اگر دو جسمی که به هم تماس داده می شوند مشابه باشند، پس از تماس، مقدار بار هر کدام برابر با میانگین بار اولیه آن ها است:

$$q'_1 = q'_2 = \frac{q_1 + q_2}{2}$$

مثال و پاسخ

مثال: دو کره فلزی مشابه داریم که یکی از آن ها ۸ الکترون بیشتر از پروتون هایش دارد و دیگری خنثی است. با رسم شکل به طور کیفی نشان دهید اگر دو کره را با هم تماس دهیم، چه اتفاقی می افتد.

پاسخ: وقتی جسمی تعداد الکترون هایش از تعداد پروتون هایش بیشتر باشد، بار منفی دارد. هر الکترون را با یک (-) نشان می دهیم. چون دو کره مشابه هستند، پس از تماس، بار بین آن ها به صورت مساوی تقسیم می شود:



مثال و پاسخ

مثال: دو کره رسانای مشابه با بارهای $q_1 = -8 \mu C$ و $q_2 = 24 \mu C$ را با یک سیم رسانا به هم وصل می کنیم و سپس جدا می کنیم.

الف: بار هر یک از کره ها چه قدر می شود؟

ب: کدام کره و به چه تعداد الکترون می گیرد؟

پاسخ: الف) کره ها مشابه اند؛ پس، بار الکتریکی آن ها پس از اتصال، با هم برابر می شود.

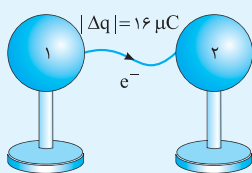
به کمک قانون پایستگی بار داریم:

$$q_1 + q_2 = q'_1 + q'_2 \Rightarrow q'_1 = q'_2 = \frac{q_1 + q_2}{2} = \frac{-8 \mu C + 24 \mu C}{2} = 8 \mu C$$

ب: بار کره (۱) منفی و بار کره (۲) مثبت است؛ بنابراین، با تماس دو کره، الکترون ها از کره (۱) به کره (۲) می روند. از طرفی تعداد الکترون هایی که کره (۲) می گیرد، به مقدار بار جابه جاشده بستگی دارد که برابر با $q'_2 - q_2$ است؛

پس، اول بار جابه جاشده را به دست می آوریم:

$$\Delta q_2 = q'_2 - q_2 = 8 \mu C - (24 \mu C) = -16 \mu C$$



حالا مقدار باری را که به کره (۲) منتقل شده است، داریم. به دست آوردن تعداد الکترون‌هایی که کره (۲) گرفته است، اصلاً کاری ندارد:

$$\Delta q = -ne \Rightarrow -16 \mu\text{C} = -n \times (1/6 \times 10^{-19} \text{ C}) \Rightarrow -16 \times 10^{-6} \text{ C} = -n \times (1/6 \times 10^{-19} \text{ C}) \Rightarrow$$

$$n = \frac{16 \times 10^{-6} \text{ C}}{1/6 \times 10^{-19} \text{ C}} = 10^{14}$$

بنابراین کره (۲)، 10^{14} الکترون از کره (۱) می‌گیرد.

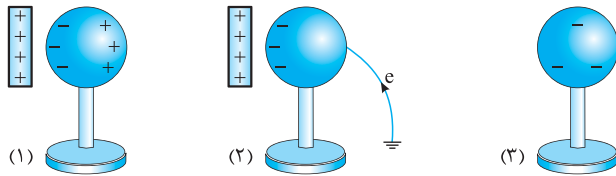
انتقال بار الکتریکی به روش القا

خیلی‌ها وقتی کلمه القا به گوششان می‌خورد، یاد جادوگر و دو دستش که از راه دور و بدون تماس می‌خواهد چیزی را تغییر بدهد، می‌افتند. (ما این رو توואه تألیف فیلی سبز امتحان کردیم!) در الکتریسیته هم به روشی که کره‌های فلزی بدون تماس با یک جسم باردار، باردار می‌شوند، روش القای بار الکتریکی می‌گوییم. برای این که شما این روش را در حالت‌های مختلف بهتر یاد بگیرید، آن‌ها را دسته‌بندی می‌کنیم؛ اما، قبل از بررسی این روش به نکته زیر توجه کنید:

نکته: زمین منبع بار الکتریکی است؛ یعنی، هر چه قدر از آن بار بگیریم و یا به آن بار بدهیم، مشکلی با آن ندارد و قبول می‌کند! بنابراین اگر جسم رسانای بارداری را با سیم به زمین وصل کنیم و یا با آن تماس دهیم، بار آن تخلیه می‌شود.

ایجاد بار الکتریکی در یک رسانا به روش القا

۱ میله‌ای با بار مثبت به یک کره فلزی خنثی که بر روی پایه عایقی قرار دارد، نزدیک می‌کنیم. این کار باعث می‌شود، الکترون‌های کره که بار منفی دارند، توسط میله جذب شوند. مانند آن چه در قسمت ۱ شکل زیر می‌بینید، این اتفاق باعث می‌شود که یک طرف کره بار مثبت و یک طرف آن بار منفی القا شود. ۲ زمان بسیار کوتاهی، کره را به زمین وصل می‌کنیم (شکل ۲). به خاطر حضور میله با بار مثبت، الکترون‌ها از زمین جذب رسانا می‌شوند؛



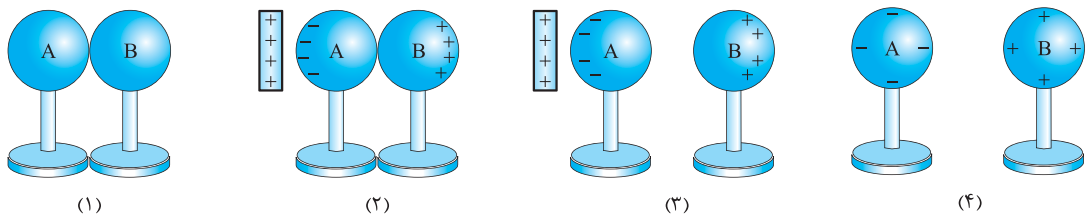
این موضوع باعث می‌شود، تعداد الکترون‌های رسانا از پروتون‌های آن بیشتر شود و در نتیجه جسم بار منفی پیدا کند.

۳ ابتدا اتصال کره با زمین را قطع می‌کنیم و سپس میله را دور می‌کنیم. حالا یک کره رسانای باردار داریم.

نکته: در این روش بار جسم رسانا مخالف بار میله می‌شود؛ یعنی، اگر بار میله مانند شکل بالا مثبت باشد، بار جسم رسانا منفی می‌شود. اگر بار میله منفی باشد، بار جسم رسانا مثبت می‌شود.

ایجاد بار الکتریکی ناهم‌نام روی دو رسانا به روش القا

۱ مانند شکل (۱)، دو کره فلزی خنثی را که بر روی پایه عایقی قرار دارند، در تماس با هم قرار می‌دهیم. ۲ میله‌ای با بار مثبت را به کره A نزدیک می‌کنیم (شکل ۲). در نتیجه الکترون‌های آزاد کره‌ها به طرف میله جذب می‌شوند؛ بنابراین، تعداد الکترون‌های آزاد در کره B کم شده و بار خالص آن مثبت می‌شود و کره A بار خالص منفی پیدا می‌کند. ۳ مثل آن چه در شکل (۳) می‌بینید، در حضور میله، کره‌ها را جدا می‌کنیم. ۴ حالا اگر مثل شکل (۴) میله را برداریم، بارها روی دو کره پخش می‌شوند.

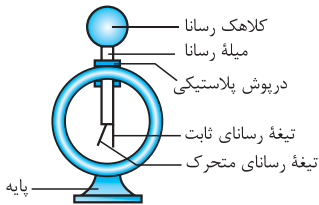


احتمالاً با توجه به شکل‌های بالا، خودتان فهمیده‌اید که بار رسانای نزدیک‌تر به میله (این جا کره A) مخالف بار میله می‌شود و بار رسانای دورتر، هم‌نام بار میله می‌شود.

آن چه در این آزمایش رخ می‌دهد، پدیده القای بار الکتریکی است که علت آن را در چند درس‌نامه جلوتر می‌خوانید.

نکته: همان‌طور که دیدید، در هر دو مورد فقط از کره‌های رسانا استفاده شد. در واقع ایجاد بار به روش القا مختص اجسام رسانا است.

الکتروسکوپ یا برق دما

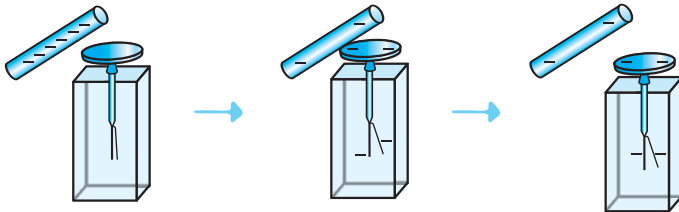


شکل روبه‌رو ساختمان یک الکتروسکوپ را نشان می‌دهد. همان‌طور که می‌بینید، الکتروسکوپ دو تیغه دارد که یکی ثابت و دیگری متحرک است. وقتی الکتروسکوپ بدون بار است، تیغه‌های آن کاملاً به هم نزدیک هستند؛ اما، وقتی که الکتروسکوپ باردار می‌شود، تیغه‌های آن از هم دور می‌شوند.

باردار کردن الکتروسکوپ

معمولاً به دو روش تماس و القا یک الکتروسکوپ را باردار می‌کنیم.

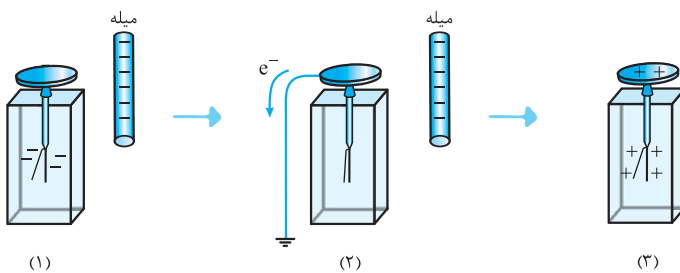
روش تماس



اگر یک میله باردار را به کلاهک یک الکتروسکوپ تماس دهیم، الکتروسکوپ باردار می‌شود. در این شیوه، بار الکتروسکوپ نیز هم‌نام بار میله خواهد بود. در شکل روبه‌رو پس از تماس میله منفی با کلاهک الکتروسکوپ، بار الکتروسکوپ منفی می‌شود.

روش القا

مطابق شکل (۱)، میله بارداری را به کلاهک الکتروسکوپ خنثی نزدیک می‌کنیم اما تماس نمی‌دهیم! با این کار الکترون‌ها می‌خواهند در بیشترین فاصله از میله قرار بگیرند؛ پس، به سمت ورقه‌های الکتروسکوپ حرکت می‌کنند و ورقه‌ها از هم دور می‌شوند. سپس مثل شکل (۲) در حالی که



میله هنوز نزدیک کلاهک است، برای چند لحظه کلاهک را با یک سیم به زمین وصل می‌کنیم. با این کار الکترون‌های آزاد به سمت زمین حرکت می‌کنند. با خارج شدن بارهای منفی از روی ورقه‌ها، ورقه‌ها به هم نزدیک می‌شوند. با این اتفاق، تعداد الکترون‌های روی کلاهک و ورقه‌ها نسبت به تعداد پروتون‌ها کاهش می‌یابد. سپس سیم را قطع می‌کنیم. با این کار الکتروسکوپ باردار شده است و بار آن مخالف بار میله خواهد بود.

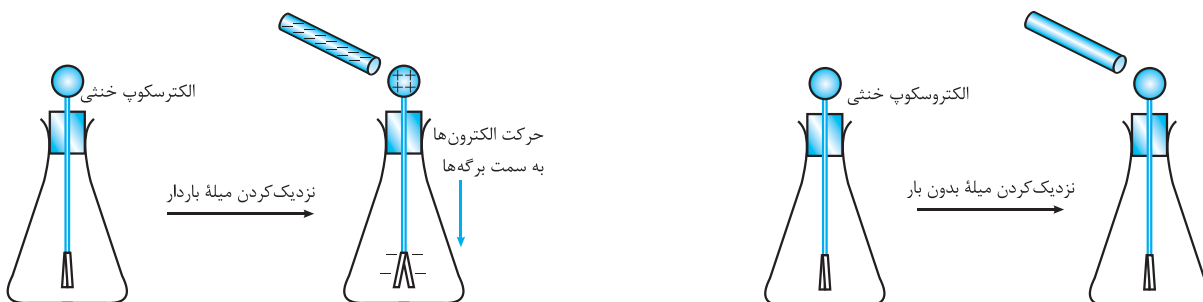
کاربردهای الکتروسکوپ

با الکتروسکوپ می‌توانیم سه مورد زیر را تعیین کنیم:

- 1. باردار بودن یا نبودن جسم
- 2. نوع بار جسم باردار
- 3. رسانا یا نارسانا بودن جسم

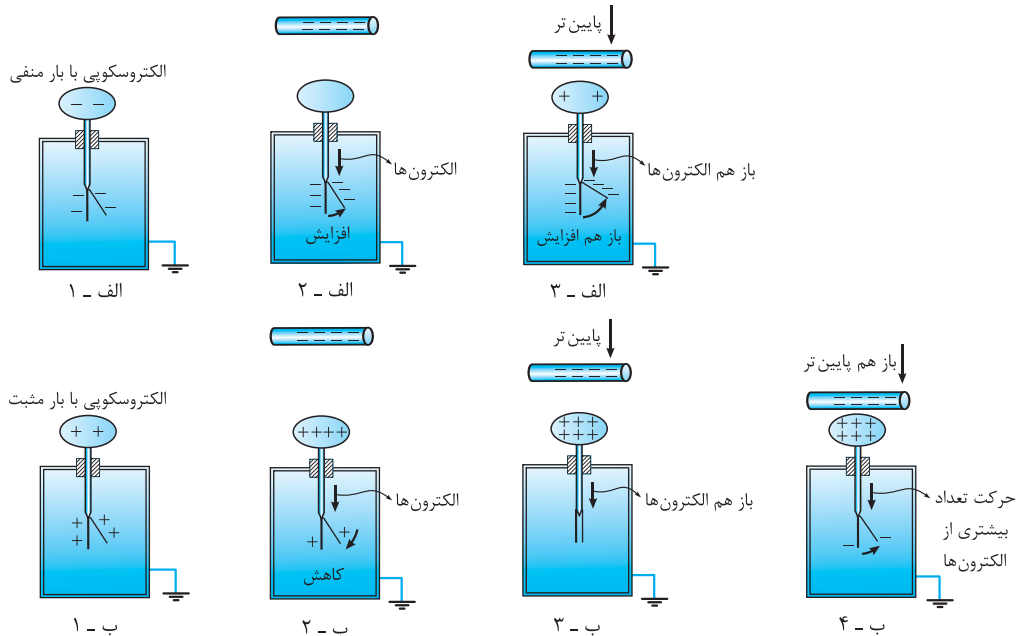
۱- تشخیص وجود بار الکتریکی در یک جسم

برای این کار جسم موردنظر را به کلاهک یک الکتروسکوپ خنثی نزدیک می‌کنیم؛ اگر مانند شکل، با نزدیک کردن جسم، تیغه متحرک از تیغه ثابت فاصله گرفت، یعنی جسم باردار است. علت این اتفاق، رفتن بارهای هم‌نام با بار جسم از کلاهک به تیغه ثابت و تیغه متحرک است. از آنجایی که بار تیغه ثابت و تیغه متحرک هم‌نام می‌شود، این دو یکدیگر را می‌رانند. اما اگر جسم خنثی باشد، اتفاقی رخ نمی‌دهد و ورقه‌ها ثابت می‌مانند.



۲- تشخیص نوع بار جسم

مطابق شکل‌های زیر جسمی با بار نامعلوم را از فاصله نسبتاً دور، به آرامی به کلاهک الکتروسکوپ با بار معلوم نزدیک می‌کنیم. اگر از همان ابتدا برگه شروع به دور تر شدن از تیغه کند؛ یعنی، بار جسم، هم‌نام بار الکتروسکوپ است (شکل‌های الف) از چپ به راست) اما اگر در ابتدا برگه به تیغه نزدیک شود و سپس با خیلی نزدیک شدن جسم باردار، تیغه‌ها از هم دور شوند، بار جسم و الکتروسکوپ مخالف یکدیگرند. (شکل‌های ب) از چپ به راست)



حواستان باشد: در شکل‌های (ب) اگر جسم باردار را با سرعت به کلاهک الکتروسکوپ نزدیک کنیم، ممکن است بسته شدن ابتدایی برگه‌ها را نبینیم و تنها با مشاهده باز شدن نهایی ورقه‌ها، بار جسم را به اشتباه مانند شکل‌های (الف) هم‌نام با بار الکتروسکوپ تشخیص دهیم.

۳- تشخیص رسانا یا نارسانا بودن یک جسم بدون بار

برای تشخیص رسانایی اجسام بدون بار هم می‌توان از الکتروسکوپ باردار استفاده کرد. یک نقطه از جسم بدون باری را که در دست داریم، به کلاهک الکتروسکوپ تماس می‌دهیم. اگر انحراف ورقه‌ها تغییر محسوس نکند، جسم نارسانا است. اگر جسم رسانا باشد، تماس آن به کلاهک باعث تخلیه بار الکتروسکوپ می‌شود و انحراف ورقه‌ها کم می‌شود و یا حتی از بین می‌رود.

مثال و پاسخ

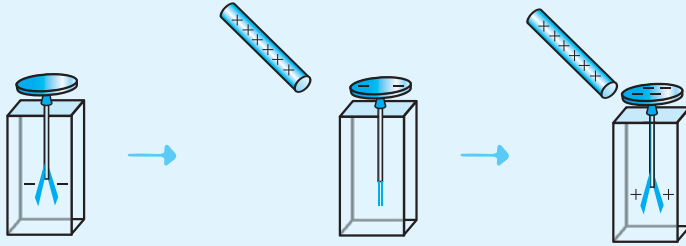
مثال: میله‌ای با بار الکتریکی مثبت را به تدریج به کلاهک یک الکتروسکوپ نزدیک می‌کنیم. ملاحظه می‌شود که ورقه‌ها به تدریج بسته و سپس باز می‌شوند. بار ورقه‌ها قبل از آزمایش چه بوده است؟

(۱) خنثی یا مثبت (۲) خنثی یا منفی (۳) منفی (۴) مثبت

پاسخ: وقتی الکتروسکوپ بدون بار باشد، ورقه‌ها از همان اول بسته‌اند. هر چه قدر میله باردار به الکتروسکوپ نزدیک شود، ورقه‌ها از یکدیگر بیشتر فاصله می‌گیرند؛ پس، گزینه‌های «۱» و «۲» حتماً نادرست‌اند. این موضوع را در شکل زیر می‌بینید:

حالا فرض کنیم بار ورقه‌های الکتروسکوپ مثبت است. در این صورت با نزدیک کردن میله با بار مثبت، مقدار بیشتری بار مثبت روی ورقه‌ها القا می‌شود و در نتیجه فاصله ورقه‌ها بیشتر می‌شود؛ پس، گزینه «۴» هم نادرست است.

حالا به بررسی تنها حالت باقی مانده؛ یعنی گزینۀ (۳) می پردازیم. مطابق شکل زیر با نزدیک کردن میله با بار مثبت، بار منفی تیغه به سمت



کلاهک می رود و در نتیجه بار آن خنثی و تیغه ها بسته می شوند. با نزدیک تر کردن میله، الکترون بیشتری به کلاهک می رود، در نتیجه بار تیغه مثبت می شود. با مثبت شدن بار تیغه، تیغه ها دوباره از هم فاصله می گیرند.

سؤال های امتحانی

۹- درستی یا نادرستی عبارت های زیر را تعیین کنید.

(الف) با مالش یک میله شیشه ای به پارچه ابریشمی، الکترون ها از میله شیشه ای به پارچه ابریشمی منتقل می شوند.

(ب) در سری الکتروسیسته مالشی (تریوالکتریک)، پلاستیک از پشم به انتهای مثبت نزدیک تر است.

(پ) ایجاد بار به روش القا مختص رساناها است.

(ت) بر اثر مالش دو جسم خنثی که به انتهای منفی سری الکتروسیسته مالشی نزدیک هستند، بار دو جسم منفی می شود.

۱۰- در جمله های زیر، جاهای خالی را با کلمه یا عبارت مناسب کامل کنید.

(الف) نوع بار یک جسم باردار را می توانیم به کمک تعیین کنیم.

(ب) یکای کولن، یکایی است.

(پ) بر اثر مالش دو جسم، جسمی که الکترون خواهی دارد، الکترون از دست می دهد.

(ت) یک میله نارسا را که بار الکتریکی آن مثبت است، به کلاهک یک الکتروسکوپ خنثی نزدیک می کنیم و در این حالت دست دیگر خود را به کلاهک می زنیم و جدا می کنیم. با دور کردن میله باردار از کلاهک، کلاهک دارای بار الکتریکی می شود و ورقه ها با بار از هم دور می شوند.

۱۱- با توجه به جدول روبه رو به سؤالات زیر پاسخ دهید.

(الف) جدول روبه رو به چه منظور استفاده می شود؟

(ب) نایلون نسبت به کاغذ الکترون خواهی بیشتری دارد یا کم تر؟

(پ) اگر یک بادکنک پلاستیکی را به یک کاغذ مالش دهیم، کدام جسم بارش منفی می شود؟ اگر با این کار 10^9 الکترون منتقل شود، بار هر جسم را به دست آورید.

(ت) با توجه به جدول توضیح دهید، چرا وقتی روکش سلفونی را روی یک ظرف پلاستیکی می کشید و آن را در لبه های ظرف فشار می دهید، روکش در جای خود ثابت می ماند؟

(ث) یک جسم شیشه ای را به یک جسم برنجی مالش می دهیم و سپس جسم شیشه ای را به کلاهک یک الکتروسکوپ که بار منفی دارد، نزدیک می کنیم. صفحات الکتروسکوپ چگونه تغییر می کنند؟

۱۲- با توجه به سری الکتروسیسته مالشی (تریوالکتریک)، متن زیر را کامل کنید.

با مالش یک گربه به سرتان چون الکترون خواهی کم تر است، بار گربه می شود. از طرفی وقتی پارچه کتان شلوارتان را به چوب مالش می دهید چون الکترون خواهی چوب از پارچه کتان است، بار چوب می شود و در نتیجه گربه را می کند.

سری الکتروسیسته مالشی (تریوالکتریک)

انتهای مثبت سری

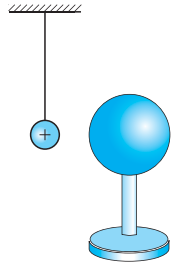
- موی انسان
- شیشه
- نایلون
- سلفون
- پشم
- موی گربه
- سُرب
- ابریشم
- آلومینیم
- پوست انسان
- کاغذ
- چوب
- پارچه کتان
- کهربا
- برنج، مس
- پلاستیک، پلی اتیلن
- لاستیک
- تفلون

انتهای منفی سری

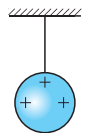


۱۳- گلوله سبک و رسانایی از نخ عایقی آویزان است. ابتدا آن را با دست لمس می‌کنیم، بعد میله‌ای با بار منفی را به آن نزدیک می‌کنیم، چه اتفاقی روی می‌دهد؟ توضیح دهید. (تجربی دی ۸۴)

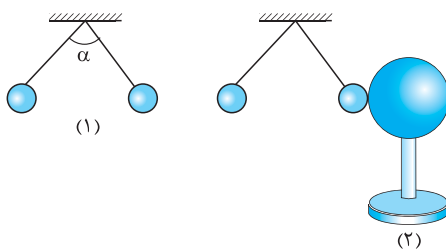
۱۴- یک کره فلزی بدون بار الکتریکی را که روی پایه نارسنایی قرار دارد، به آونگ الکتریکی بارداری نزدیک می‌کنیم. با ذکر دلیل توضیح دهید چه اتفاقی می‌افتد.



۱۵- در شکل زیر گلوله فلزی بارداری از نخ آویزان است. کره فلزی خنثی را که دارای دسته نارسنا است، به گلوله نزدیک می‌کنیم. مشاهده می‌شود که گلوله می‌شود. وقتی تماس حاصل شد، کره را جدا کرده و دوباره به آرامی آن را به گلوله نزدیک می‌کنیم. مشاهده می‌شود گلوله می‌شود. (برگرفته از کنکور سراسری تجربی ۸۶)

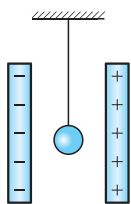


۱۶- شکل (۱) دو آونگ الکتریکی کاملاً مشابه با بارهای مثبت و هم‌اندازه را نشان می‌دهد که با یکدیگر زاویه α ساخته‌اند. یک کره رسانای بدون بار را با پایه عایق مطابق شکل (۲) به گلوله یکی از آونگ‌ها تماس داده و سپس دور می‌کنیم.



الف) با رسم شکل ساده، پیش‌بینی کنید چه اتفاقی می‌افتد؟
ب) از انجام این آزمایش چه نتیجه‌ای می‌گیریم؟

۱۷- در شکل زیر، گلوله رسانای سبک و بدون بار توسط نخ عایقی میان دو صفحه باردار آویزان است. اگر آن را یک بار به یکی از صفحه‌ها تماس داده و رها کنیم، دائماً بین دو صفحه نوسان می‌کند (به صفحه‌های چپ و راست برخورد می‌کند). علت را توضیح دهید و بنویسید تا چه زمانی این کار ادامه دارد. (تجربی شهریور ۸۴)



۱۸- سه جسم A، B و C را دوبه‌دو به یکدیگر نزدیک می‌کنیم. وقتی A و B به یکدیگر نزدیک شوند، همدیگر را با نیروی الکتریکی جذب می‌کنند و اگر B و C را به یکدیگر نزدیک کنیم، یکدیگر را با نیروی الکتریکی دفع می‌کنند. کدام یک از گزینه‌های زیر می‌تواند درست باشد؟

- (۱) A و C بار هم‌نام و هم‌اندازه دارند.
(۲) B و C بار غیرهم‌نام دارند.
(۳) B بدون بار و C باردار است.
(۴) A بدون بار و B باردار است.

۱۹- در محیط اطراف ما جاذبه‌های الکتریکی بیشتر از دافعه‌های الکتریکی مشاهده می‌شوند. با ذکر دلیل، علت آن را توضیح دهید.

(ریاضی شهریور ۸۵)

۲۰- با ذکر دلیل بگویید، اگر یک میله فلزی خنثی را به آرامی به کلاهک الکتروسکوپ بارداری نزدیک کنیم، برای ورقه‌های الکتروسکوپ چه اتفاقی رخ می‌دهد؟

۵ میدان الکتریکی

میدان الکتریکی چیست؟

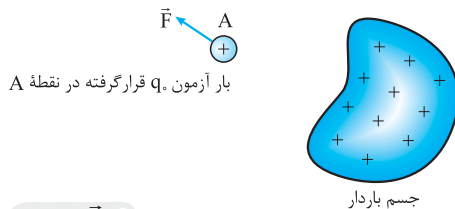
یک بار الکتریکی در فضای اطراف خود خاصیتی را ایجاد می‌کند که به آن **میدان الکتریکی** می‌گوییم. هر باری مانند q_1 در شکل زیر به واسطه میدانش به بارهای اطراف نیرو وارد می‌کند. به همین خاطر است که وقتی مانند شکل زیر، بار q_2 را بدون این‌که در تماس با q_1 باشد، در کنار q_1 قرار می‌دهیم، به آن نیرو وارد می‌شود:



در واقع وقتی q_2 را در مکانی اطراف q_1 می‌گذاریم، تحت تأثیر میدان الکتریکی‌ای قرار می‌گیرد که q_1 قبلاً در آن مکان ایجاد کرده است و در نتیجه به آن نیرو وارد می‌شود. میدان الکتریکی را که کمیتی برداری است با \vec{E} نشان می‌دهیم.

تعریف کمی میدان الکتریکی

فرض کنید یک جسم باردار به شکل زیر داریم. یک بار بسیار کوچک و مثبت q_0 را که به آن **بار آزمون** می‌گوییم، در نقطه‌ای مانند A اطراف این جسم باردار قرار می‌دهیم. همان‌طور که انتظار دارید، به بار q_0 مانند شکل زیر نیروی الکتریکی \vec{F} وارد می‌شود.



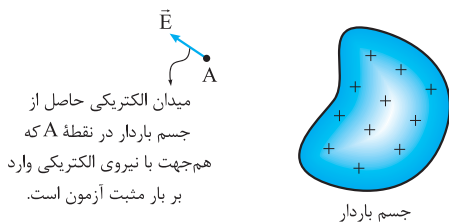
بار آزمون q_0 قرار گرفته در نقطه A

جسم باردار

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

با داشتن \vec{F} ، میدان الکتریکی \vec{E} در نقطه A ، حاصل از جسم باردار به صورت روبه‌رو تعریف می‌شود:

همان‌طور که می‌بینید، میدان الکتریکی کمیتی برداری است که بزرگی آن از رابطه $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$ به دست می‌آید. جهت میدان هم مطابق شکل زیر همان جهت نیروی وارد بر بار مثبت آزمون است.



میدان الکتریکی حاصل از جسم باردار در نقطه A که هم‌جهت با نیروی الکتریکی وارد بر بار مثبت آزمون است.

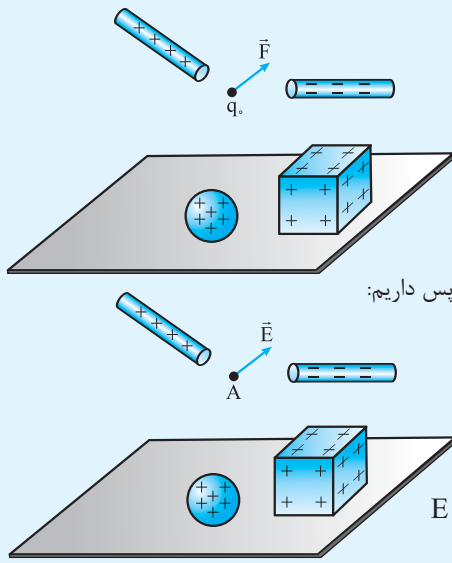
جسم باردار

احتمالاً یکای میدان الکتریکی را با توجه به رابطه $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$ به راحتی حدس زده‌اید. چون نیرو بر حسب نیوتون (N) و بار بر حسب کولن (C) است، یکای میدان الکتریکی در SI نیوتون (N) بر کولن (C) است که آن را به صورت N/C نمایش می‌دهیم.

نمونه: میدان الکتریکی حاصل از سیم‌کشی داخل منزل، حدوداً $10^{-2} N/C$ و میدان الکتریکی در سطح هسته اورانیم $2 \times 10^{21} N/C$ است.

نکته: همان‌طور که در شکل بالا می‌بینید، ایجاد میدان الکتریکی توسط جسم باردار ربطی به حضور بار دوم (در این‌جا q_0) ندارد و خاصیت حاصل از جسم باردار اول است.

مثال و پاسخ



مثال: اندازه نیروی الکتریکی وارد بر بار آزمون $q_0 = 1/6 \text{ nC}$ واقع در نقطه A، در اطراف چهار جسم باردار نشان داده شده برابر $4/8 \times 10^{-6} \text{ N}$ است. اگر جهت نیروی وارد بر بار آزمون به شکل روبه‌رو باشد، جهت و اندازه میدان الکتریکی در نقطه A را مشخص کنید.

پاسخ: جهت میدان الکتریکی، همان جهت نیروی وارد بر بار مثبت آزمون است، پس داریم:

اندازه میدان را هم به شکل زیر محاسبه می‌کنیم:

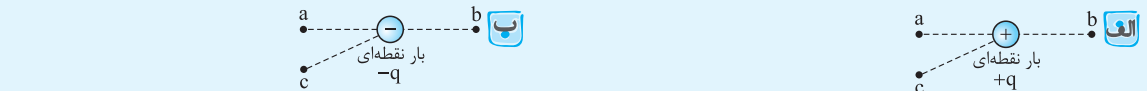
$$E = \frac{F}{q_0} = \frac{4/8 \times 10^{-6} \text{ N}}{1/6 \text{ nC}} = \frac{4/8 \times 10^{-6} \text{ N}}{1/6 \times 10^{-9} \text{ C}} = 3 \times 10^{+3} \text{ N/C}$$

میدان الکتریکی حاصل از یک بار نقطه‌ای

در این قسمت می‌خواهیم جهت و اندازه میدان حاصل از یک بار نقطه‌ای را مشخص کنیم. برای تعیین جهت میدان اطراف یک بار نقطه‌ای، اول از شما می‌خواهیم، مثال زیر را خودتان حل کنید.

مثال و پاسخ

مثال: با قراردادن بار مثبت آزمون در نقطه‌های a، b و c در شکل‌های (الف) و (ب) جهت میدان را مشخص کنید.



پاسخ: الف) بار مثبت آزمون را در نقطه a قرار می‌دهیم، چون بار مثبت است، بار مثبت q_0 را دفع می‌کند؛ پس، جهت نیروی وارد بر بار مثبت آزمون و در نتیجه میدان الکتریکی به صورت روبه‌رو می‌شود: حالا بار مثبت آزمون را در نقطه b قرار می‌دهیم و می‌بینیم باز هم بار مثبت q_0 دفع می‌شود؛ پس، جهت نیرو و میدان در نقطه b مطابق شکل روبه‌رو از بار q دور می‌شود:

و اگر بار مثبت آزمون را در نقطه c هم قرار دهیم، باز هم بار مثبت q_0 توسط بار مثبت q دفع می‌شود و برای جهت نیروی وارد بر بار مثبت آزمون و در نتیجه میدان الکتریکی در نقطه c داریم:

همان‌طور که می‌بینید، میدان برای بار مثبت در هر سه نقطه در جهت دور شدن از بار است.

ب) بار مثبت آزمون را در نقطه a قرار می‌دهیم، چون بار منفی است، بار مثبت q_0 را جذب می‌کند. در نتیجه مطابق شکل، نیرو وارد بر بار آزمون و در نتیجه میدان الکتریکی به سمت بار $-q$ است: اگر بار مثبت آزمون را در نقطه b بگذاریم، خواهیم دید که باز هم بار مثبت q_0 جذب بار $-q$ می‌شود و نیرو و میدان به سمت بار $-q$ خواهند بود:

به همین صورت با قراردادن بار مثبت آزمون در نقطه c، نیروی وارد بر این بار و در نتیجه جهت میدان الکتریکی حاصل از $-q$ در نقطه c به سمت بار $-q$ است:

می‌بینید که میدان برای بار منفی در هر سه نقطه در جهت نزدیک شدن به بار است.

نتیجه: در مثال بالا این نتیجه را می‌گیریم که بردار میدان الکتریکی در اطراف بار نقطه‌ای مثبت، در راستای شعاعی به سمت خارج بار و در اطراف بار نقطه‌ای منفی، در راستای شعاعی به سمت بار است (کمی جلوتر با رسم خطوط میدان الکتریکی این موضوع را بهتر خواهید دید).

اندازه میدان الکتریکی اطراف یک بار نقطه‌ای

در مورد جهت میدان در اطراف بار نقطه‌ای صحبت کردیم، حالا می‌خواهیم مقدار میدان الکتریکی در اطراف یک بار نقطه‌ای را به دست آوریم.

$$F = k \frac{|q||q_0|}{r^2}$$

نیروی الکتریکی وارد بر بار q_0 از طرف بار q به صورت روبه‌رو به دست می‌آید:

چون q_0 مثبت است، می‌توانیم قدرمطلق آن را نگذاریم.

گفتیم که میدان الکتریکی برابر با $E = \frac{F}{q_0}$ است؛ بنابراین داریم:

$$E = \frac{F}{q_0} = \frac{(k \frac{|q||q_0|}{r^2})}{q_0} = k \frac{|q|}{r^2} \Rightarrow E = k \frac{|q|}{r^2}$$

مثال و پاسخ

مثال: اندازه میدان الکتریکی ذره‌ای با بار $4 \mu\text{C}$ در نقطه A ، به فاصله 20 سانتی‌متری از این بار، چند N/C است؟

$$(k = 9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2})$$

پاسخ: خیلی راحت با جای‌گذاری مقادیر در رابطه بالا، اندازه میدان به دست می‌آید:

$$E = k \frac{|q|}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{4 \times 10^{-6}}{(0.2)^2} = \frac{9 \times 10^9 \times 4 \times 10^{-6}}{4 \times 10^{-2}} = 9 \times 10^5 \text{ N/C}$$

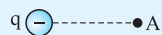
نکته: با توجه به رابطه $E = k \frac{|q|}{r^2}$ برای مقایسه اندازه میدان الکتریکی حاصل از دو بار نقطه‌ای q و q' به ترتیب در فاصله‌های r و r' از آن‌ها خواهیم داشت:

$$\frac{E'}{E} = \frac{k \frac{|q'|}{r'^2}}{k \frac{|q|}{r^2}} = \frac{|q'|}{|q|} \times \frac{r^2}{r'^2} = \frac{|q'|}{|q|} \times \left(\frac{r}{r'}\right)^2 \Rightarrow \frac{E'}{E} = \frac{|q'|}{|q|} \times \left(\frac{r}{r'}\right)^2$$

پس میدان حاصل از یک بار نقطه‌ای با اندازه بار نسبت مستقیم و با مجذور فاصله آن بار نسبت وارون دارد.

مثال و پاسخ

مثال: در شکل زیر بزرگی میدان الکتریکی ناشی از ذره باردار $q = -1 \mu\text{C}$ در نقطه A ، $2 \times 10^5 \text{ N/C}$ است. (ریاضی شهربور ۹۰)



الف: بردار میدان الکتریکی را در نقطه A رسم کنید.



$$(k = 9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2})$$

ب: در چه فاصله‌ای از بار q میدان الکتریکی نصف می‌شود؟

پاسخ: الف) بار منفی است؛ پس میدان مانند شکل روبه‌رو است:

ب: باید فاصله‌ای را به دست آوریم که $E_r = \frac{E_1}{2}$ شود: $E_r = \frac{E_1}{2} = \frac{2 \times 10^5 \text{ N/C}}{2} = 10^5 \text{ N/C}$

$$E = k \frac{|q|}{r^2} \Rightarrow 10^5 \text{ N/C} = 9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2} \times \frac{1 \times 10^{-6} \text{ C}}{r^2} \Rightarrow r^2 = 9 \times 10^{-2} \text{ m}^2 \Rightarrow r = 3 \times 10^{-1} \text{ m}$$

مثال: در مثال بالا، فاصله بار تا نقطه A چه قدر است؟

پاسخ: از رابطه‌ای که برای نسبت دو میدان به دست آوردیم، استفاده می‌کنیم:

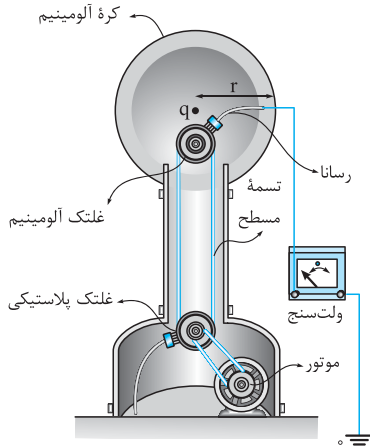
$$\frac{E_1}{E_r} = \frac{q_1}{q_r} \times \left(\frac{r_r}{r_1}\right)^2 \quad q_1 = q_r \rightarrow \frac{2 \times 10^5 \text{ N/C}}{10^5 \text{ N/C}} = 1 \times \left(\frac{3 \times 10^{-1} \text{ m}}{r_1}\right)^2$$

$$\Rightarrow \sqrt{2} = \frac{3 \times 10^{-1} \text{ m}}{r_1} \Rightarrow r_1 = \frac{3\sqrt{2}}{2} \times 10^{-1} \text{ m}$$

$$\frac{E_r}{E_1} = \left(\frac{r_1}{r_r}\right)^2$$

نتیجه: از مثال قبل نتیجه می‌گیریم که برای مقایسه میدان الکتریکی یک بار در دو فاصله متفاوت داریم:

مولد وان دوگراف: وسیله‌ای برای ایجاد بار الکتریکی است که نخستین بار توسط فیزیک‌دان آمریکایی، رابرت، می وان دوگراف اختراع شد. این وسیله که تصویر آن را در شکل مقابل می‌بینید، با استفاده از تسمه متحرکی، بار الکتریکی را بر روی یک کلاهک توخالی فلزی جمع می‌کند. این مولد زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که ولتاژ بالایی بخواهیم. میدان در نزدیکی سطح این مولد حدود $2 \times 10^6 \text{ N/C}$ است.



سؤال‌های امتحانی

۳۹- درستی یا نادرستی عبارتهای زیر را تعیین کنید.

(تهرپی شهریور ۹۴)

(الف) بزرگی میدان الکتریکی حاصل از یک ذره باردار در هر نقطه، با اندازه بار ذره نسبت مستقیم دارد.

(ب) بزرگی میدان الکتریکی حاصل از یک ذره باردار با فاصله از آن رابطه عکس دارد.

(پ) بردار میدان الکتریکی حاصل از یک ذره باردار همواره در جهت نزدیک شدن به آن است.

(ت) یکای میدان الکتریکی در کولن بر متر مربع است.

(تهرپی فرورد ۹۶)

۴۰- در جمله‌های زیر، جاهای خالی را با کلمه یا عبارت مناسب کامل کنید.

(تهرپی شهریور ۹۳)

(الف) یک بار الکتریکی در هر نقطه از فضای اطراف خود، خاصیتی ایجاد می‌کند که به آن می‌گویند.

(ریاضی فرورد ۹۳)

(ب) نیروی وارد بر بار الکتریکی مثبت آزمون واقع در میدان الکتریکی، با آن میدان است.

(تهرپی دی ۸۸)

(پ) میدان الکتریکی کمیتی است که یکای آن در است.

۴۱- برای تعیین میدان الکتریکی در نقطه‌ای از فضا، بار آزمون $+20 \text{ nC}$ را در آن نقطه قرار می‌دهیم. نیروی الکتریکی

جنوب - شمال و به طرف شمال بر این بار وارد می‌شود. بزرگی و جهت میدان الکتریکی در این نقطه را مشخص کنید.

۴۲- بزرگی میدان الکتریکی ذره‌ای با بار $-2 \mu\text{C}$ را در نقطه به فاصله:

(ب) ۲۰

(الف) ۲

از این بار الکتریکی محاسبه کنید.

۴۳- هسته آهن، شعاعی در حدود 4×10^{-15} دارد و شامل ۲۶ پروتون است.

(الف) بزرگی نیروی دافعه بین دو پروتون که به فاصله 4×10^{-15} از هم قرار دارند، چه قدر است؟

(ب) میدان الکتریکی در فاصله 4 nm از مرکز هسته چه قدر است؟

۴۴- با ۲ شمع، مولد وان دوگراف و یک خط‌کش، یک آزمایش طراحی کنید که نشان دهد با افزایش فاصله، میدان الکتریکی کاهش می‌یابد.

پاسخ سؤال‌های امتحانی

۱- الف) نادرست؛ یک کولن مقدار بار الکتریکی بسیار زیادی است، به طوری که بار الکتریکی‌ای که توسط آذرخش تخلیه می‌شود، در حدود 10^6 C است.
ب) درست

پ) نادرست؛ مثبت و منفی بودن فقط یک نام‌گذاری است و می‌تواند هر اسم دیگری داشته باشد ولی مزیت نام‌گذاری به صورت مثبت و منفی این است که یک جسم که به مقدار مساوی از بار مثبت و منفی داشته باشد، بار خالص صفر می‌شود.

ت) نادرست؛ اجسام با بار هم‌نام، یکدیگر را دفع می‌کنند و اجسام با بار ناهم‌نام، یکدیگر را جذب می‌کنند.

ث) نادرست؛ بار الکتریکی یک کمیت کوانتیده است و همیشه مضرب صحیحی از بار پایه است.

۲- الف) پایستگی بار

ب) مضرب صحیحی

۳- الف) ثابت

ب) بزرگی - 10^6 C

۴- بار الکتریکی باید مضرب صحیحی از $1/6 \times 10^{-19}$ C باشد. باید بررسی کنیم کدام گزینه مضرب صحیحی از بار پایه می‌شود. برای این کار، بار هر گزینه را تقسیم بر $1/6 \times 10^{-19}$ C می‌کنیم.

$$n = \frac{4 \times 10^{-19} \text{ C}}{1/6 \times 10^{-19} \text{ C}} = \frac{4}{1/6} = 2/5$$

گزینه «۱»:

۲/۵ مضرب صحیح نیست.

$$n = \frac{8 \times 10^{-19}}{1/6 \times 10^{-19}} = 5$$

گزینه «۲»:

که این مقدار مضرب صحیح است.

۵- برای به دست آوردن تعداد الکترون‌های منتقل‌شده، باید 1 C را تقسیم بر $1/6 \times 10^{-19}$ C کنیم:

$$n = \frac{1 \text{ C}}{1/6 \times 10^{-19} \text{ C}} = 6 \times 10^{18}$$

۶- **گام اول:** ابتدا تعداد الکترون‌های کل میله را به دست می‌آوریم:

$$n = 8 \times 10^{18}$$

$$q = -ne = -8 \times 10^{18} \times (1/6 \times 10^{-19}) = 1/28 \times 10^{-8} \text{ C}$$

گام دوم: حالا مقدار بار را به دست می‌آوریم:

۷- تعداد پروتون‌های هر هسته برابر عدد اتمی است؛ پس، $n = Z = 3$ است و داریم:

$$q = ne = 3 \times 1/6 \times 10^{-19} \text{ C} = 4/8 \times 10^{-19} \text{ C}$$

۸- بیانگر این موضوع است که دو نوع بار الکتریکی داریم.

۹- الف) درست

ب) نادرست؛ وقتی میله پلاستیکی را به پارچه پشمی مالش می‌دهیم، میله پلاستیکی بارش منفی می‌شود؛ پس، باید به انتهای منفی سری نزدیک‌تر باشد.
پ) درست

ت) نادرست؛ گفتیم در اثر مالش دو جسم خنثی با هم، حتماً دو جسم بار مخالف با هم پیدا می‌کنند و فرقی ندارد کجای سری قرار دارند.

۱۰- الف) الکتروسکوپ

ب) فرعی

پ) کم‌تری

ت) منفی - منفی؛ در واقع داریم الکتروسکوپ را به روش القا باردار می‌کنیم. در درس‌نامه باردار کردن به روش القا، خواندید که در این روش جسم باردارشده، بارش مخالف میله است؛ پس، بار الکتروسکوپ منفی می‌شود. بار دور کردن میله باردار، این بار روی کلاهک و ورقه‌ها پخش می‌شود.

۱۱- الف) برای مشخص کردن این که وقتی دو جسم را به هم مالش می‌دهیم، کدام جسم الکترون می‌گیرد و کدام یک الکترون از دست می‌دهد.

ب) کم‌تر - چون به انتهای مثبت سری نزدیک است.

پ) پلاستیک - با این کار پلاستیک 10^9 الکترون دریافت می‌کند و کاغذ 10^9 الکترون از دست می‌دهد؛ پس:

$$q = -ne = -10^9 \times 1/6 \times 10^{-19} = -1/6 \times 10^{-10} \text{ C}$$

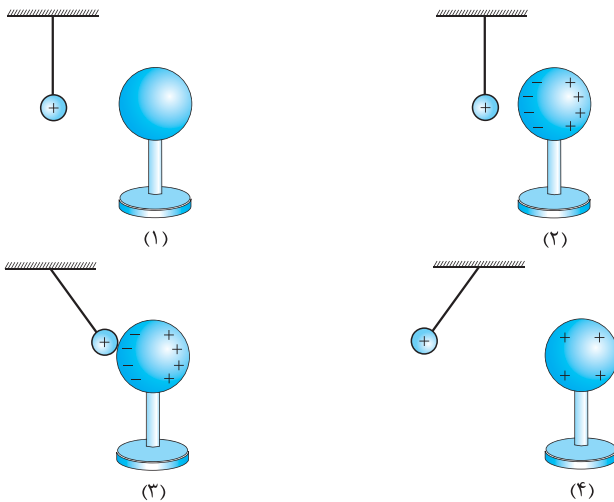
$$q = +ne = 10^9 \times 1/6 \times 10^{-19} = 1/6 \times 10^{-10} \text{ C}$$

ت) با توجه به سری الکتروسیته مالشی (تریوالکتریک)، روکش سلفونی با برخورد به لبه‌های ظرف پلاستیکی الکترون از دست می‌دهد و بار مثبت پیدا می‌کند. پلاستیک هم الکترون می‌گیرد و بار منفی پیدا می‌کند. با توجه به مثبت و منفی بودن بار دو جسم، آن‌ها یکدیگر را می‌ربانند و سلفون به ظرف می‌چسبد. ث) وقتی یک جسم شیشه‌ای را به یک جسم برنجی مالش می‌دهیم، بار شیشه مثبت و بار برنج منفی می‌شود؛ چون، الکترون خواهی برنج بیشتر است. همان‌طور که در درس‌نامه گفتیم، اگر یک جسم باردار را به الکتروسکوپ با بار مخالف نزدیک کنیم، صفحات الکتروسکوپ به تدریج بسته می‌شود.

۱۲- موی انسان - منفی - کم‌تر - مثبت - جذب

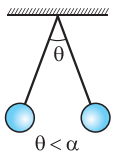
۱۳- وقتی به گلوله دست می‌زنیم، گلوله بدون بار می‌شود. زمانی که میله را به گلوله نزدیک می‌کنیم، الکترون‌های آزاد از طرفی که میله به آن نزدیک شده است، دور می‌شوند؛ بنابراین، در آن قسمت گلوله بار مثبت القا می‌شود و جذب میله می‌شود. اگر گلوله با میله برخورد کند، چون بار خالص منفی می‌گیرد، پس از تماس دفع می‌شود.

۱۴- اتفاقی مشابه اتفاق سؤال قبلی رخ می‌دهد:



۱۵- جذب - دفع

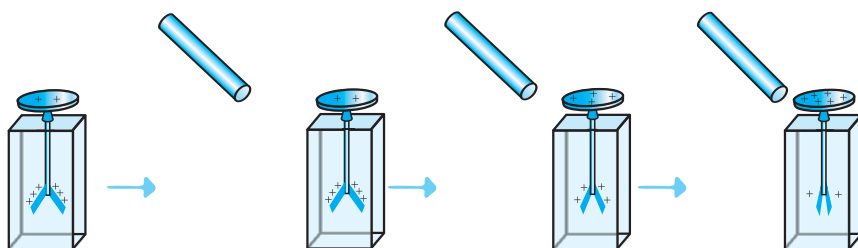
۱۶- الف) بعد از تماس، گلوله آونگ مقداری از بارش را به کره می‌دهد و نیروی بین دو گلوله آونگ به علت کم‌شدن بار الکتریکی، کاهش می‌یابد و زاویه انحراف بین دو آونگ کم می‌شود. ب) نیروی الکتریکی با بار گلوله‌ها نسبت مستقیم دارد.



۱۷- با تماس دادن گلوله به یکی از صفحه‌ها، بار هم‌نام آن صفحه را گرفته و از آن دفع شده و به طرف صفحه مقابل با بار مخالف می‌رود و با آن برخورد می‌کند. بعد از تماس به علت هم‌نام‌شدن بار گلوله با آن صفحه، دوباره به طرف مقابل می‌رود و به صفحه مقابل برخورد می‌کند. این عمل تا زمانی که بار روی صفحه‌ها خنثی شود، ادامه دارد.

۱۸- در سؤال‌های قبل دیدیم که اگر یک جسم باردار را به یک جسم بدون بار نزدیک کنیم، به خاطر القای بار در جسم بدون بار، دو جسم یکدیگر را جذب می‌کنند. بنابراین دو جسم رسانا اگر یکدیگر را دفع کنند، حتماً باید باردار باشند و بار هم‌نام داشته باشند. اما اگر دو جسم همدیگر را جذب کنند، یا می‌توانند دو جسم با بارهای ناهم‌نام باشند و یا یکی از آن‌ها باردار و دیگری بدون بار باشد؛ پس، جسم **B** و **C** باید بار هم‌نام داشته باشند ولی دلیلی وجود ندارد که بار این دو جسم هم‌اندازه باشد. از طرفی با توجه به توضیحات بالا جسم **A** می‌تواند بدون بار باشد؛ بنابراین، گزینه «۴» پاسخ این سؤال است. ۱۹- دلیل اول: معمولاً اطراف ما، اجسام بدون بار (خنثی) هستند و می‌دانیم اجسام باردار با نزدیک‌شدن به اجسام بدون بار، در آن‌ها بار مخالف القا می‌کنند و در نتیجه بر آن‌ها نیروی جاذبه وارد می‌کنند.

دلیل دوم: بارهای الکتریکی محیط اطراف ما، اکثراً به روش‌های مالش ایجاد می‌شوند، یعنی بارها ناهم‌نام هستند و یکدیگر را جذب می‌کنند.



۲۰- چون الکتروسکوپ باردار است، وقتی یک میله خنثی را به آرامی به کلاهک نزدیک می‌کنیم، در میله بار مخالف القا می‌شود؛ از این رو بارهای الکتروسکوپ توسط میله جذب می‌شود. با جذب بار توسط میله، بارهای روی ورقه‌ها به روی کلاهک می‌آیند و ورقه‌ها به تدریج بسته می‌شوند.



۳۹- الف) درست

پ) نادرست؛ برای بار مثبت در جهت دور شدن از آن است.

۴۰- الف) میدان الکتریکی (ب) هم‌جهت

۴۱- با توجه به تعریف میدان الکتریکی داریم:

جهت میدان الکتریکی نیز به سمت شمال است!

$$E = \frac{F}{q} \Rightarrow E = \frac{5 \times 10^{-3}}{20 \times 10^{-9}} = 2.5 \times 10^5 \text{ N/C}$$

$$E_1 = \frac{k|q|}{r^2} \Rightarrow E_1 = \frac{9 \times 10^9 \times 2 \times 10^{-6}}{4} = 4.5 \times 10^3 \text{ N/C}$$

$$E_2 = \frac{9 \times 10^9 \times 2 \times 10^{-6}}{400} = 4.5 \times 10 \text{ N/C}$$

(ب) به همین ترتیب می‌توانیم E_2 را به دست آوریم:

$$\frac{E_2}{E_1} = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 \text{ می‌توانیم از رابطه } \frac{E_2}{E_1} \text{ استفاده کنیم:}$$

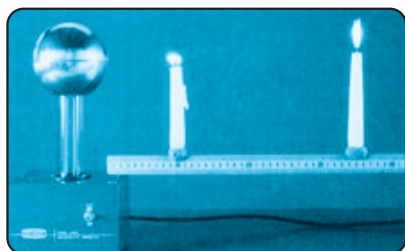
$$\frac{E_2}{E_1} = \left(\frac{2}{10}\right)^2 = \left(\frac{1}{5}\right)^2 = \frac{1}{25} \Rightarrow E_2 = \frac{4.5 \times 10^3}{25} = 4.5 \times 10 \text{ N/C}$$

۴۲- الف) با استفاده از قانون کولن، نیروی بین دو پروتون را به دست می‌آوریم:

$$F = \frac{kq^2}{r^2} = \frac{9 \times 10^9 \times (1.6 \times 10^{-19})^2}{(4 \times 10^{-15})^2} = 1.44 \times 10 \text{ N}$$

(ب) چون $4 \text{ nm} = 4 \times 10^{-9} \text{ m}$ ، برابر $4 \times 10^{-15} \text{ m}$ است، همه پروتون‌ها را یک نقطه فرض می‌کنیم و میدان را به دست می‌آوریم:

$$E = \frac{kq}{r^2} = \frac{9 \times 10^9 \times (26 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ C})}{(4 \times 10^{-10} \text{ m})^2} = 23 \times 10^{-10} \text{ N/C}$$



۴۴- شکل روبه‌رو یک سازوکار آزمایشگاهی برای مشاهده این نتیجه را نشان می‌دهد. دو شمع، یکی در فاصله‌ای نزدیک و دیگری در فاصله‌ای دور از کلاهک یک مولد وان‌دوگراف قرار گرفته‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌کنید، شعله شمع نزدیک‌تر، به سمت کلاهک کشیده شده است، در حالی که شعله شمع دورتر تغییر چندانی نکرده است. دلیل آن است که کلاهک مولد وان‌دوگراف بار منفی بزرگی دارد که یون‌های مثبت درون شعله شمع نزدیک‌تر را به سمت خود می‌کشد، در حالی که شمع دیگر در فاصله دوری از کلاهک قرار گرفته است که تحت تأثیر میدان الکتریکی ضعیفی قرار می‌گیرد.

