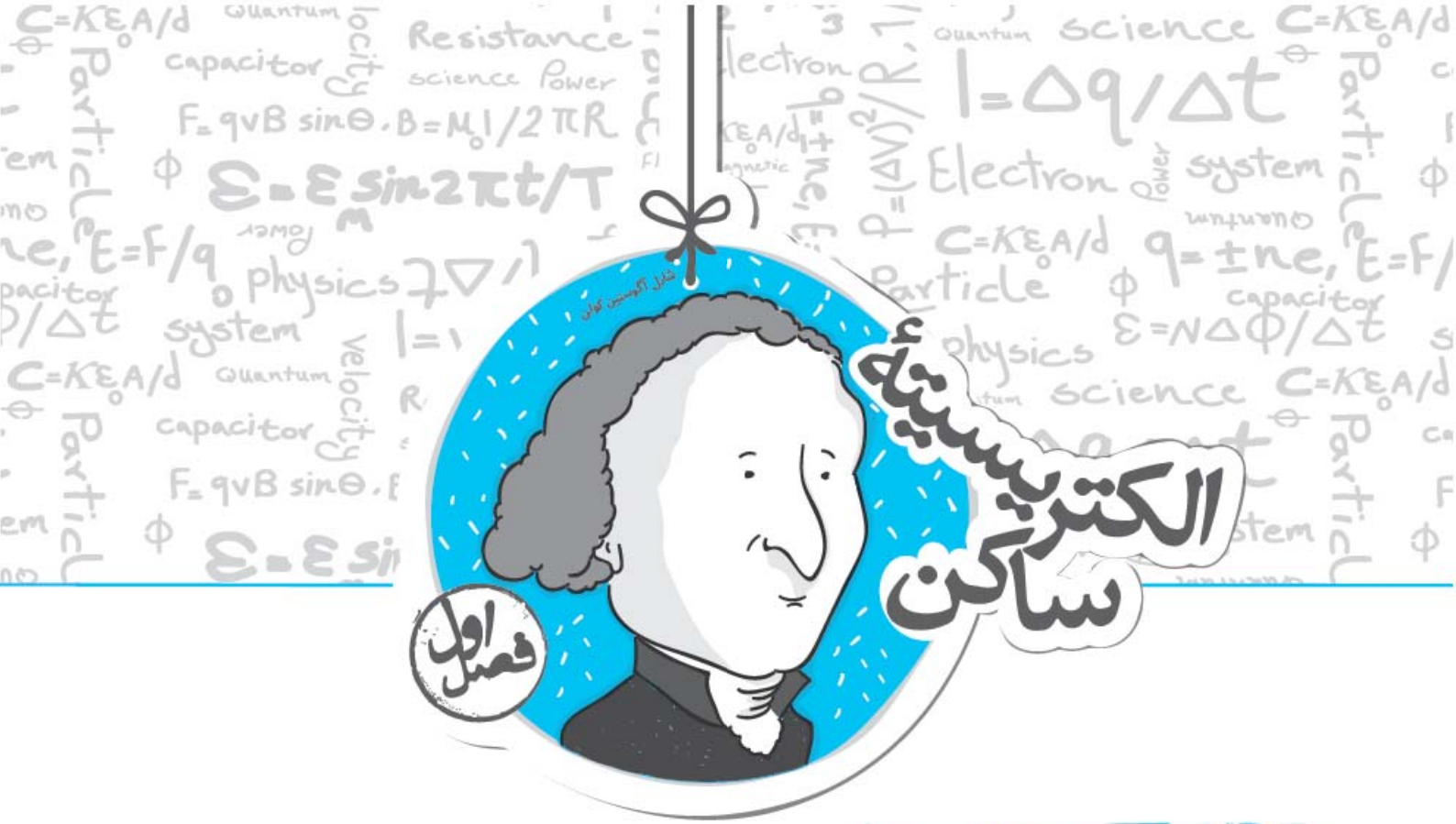


۱ مفاهیم اولیهٔ بارالکتریکی

بیایید فصل را با یک خاطرهٔ مشترک آغاز کنیم. خیلی از ماها، در دوران بچگی جوراب پایمان می‌کردیم و کف پایمان را روی فرش می‌کشیدیم. بعد از این کار نوک انگشتمان را به دستگیرهٔ 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 تجربهٔ 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 اندازهٔ شما مطلع نبودند اما مشاهدات آن‌ها پایه‌گذار علمی شد که اسم آن از واژهٔ کهربا در یونانی گرفته شده است. کهربا در یونانی می‌شود الکترون!

بارالکتریکی

بار الکتریکی خاصیتی است که برخی از ذرات بنیادی (یعنی ذرات سازندهٔ 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 بارالکتریکی

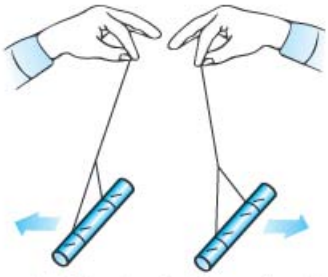
بار الکتریکی که آن را با q یا Q نشان می‌دهیم، مانند بیشتر کمیت‌های فیزیکی دیگر، یکا دارد. این یکا در SI، کولن نامیده می‌شود و آن را با C نمایش می‌دهیم. یکای کولن یکای بسیار بزرگی است. به همین خاطر بیشتر بارهایی که ما با آن‌ها سروکار داریم، در حدود میکروکولن (10^{-6} C) و نانوکولن (10^{-9} C) است.

نمونه آذرخش مثل آذرخشی که در عکس روبه‌رو به آنتن برج میلاد برخورد کرده است، حدود ۱۰ C بار دارد. این موضوع بیانگر بزرگ‌بودن یکای کولن است، چون اگر چنین آذرخشی به ما می‌خورد، احتمالاً بخار می‌شدیم!

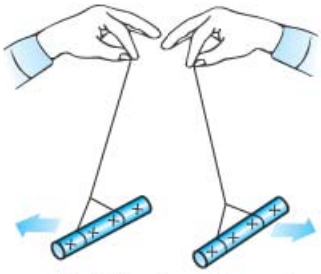
نمونه موقع شانه‌کردن موهایتان با یک شانهٔ پلاستیکی، بارهای منتقل‌شده از مرتبهٔ نانوکولن (۱nC) است.

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

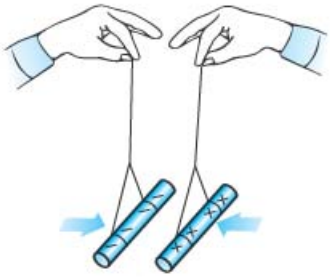
همان‌طور که در علوم هشتم دیدید، آزمایش‌هایی مانند آزمایش‌های شکل زیر نشان دادند که نیروی الکتریکی بین اجسام باردار به دو صورت **جاذبه** و **دافعه** است. این موضوع بیانگر این است که بارِ اجسام باردار نباید از یک نوع باشد؛ چون، اگر از یک نوع بود، اجسام باردار یا یکدیگر را جذب یا یکدیگر را دفع می‌کردند 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.

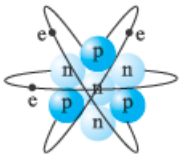


پ) وقتی میلهٔ پلاستیکی مالش داده شده با پارچهٔ پشمی را به میلهٔ شیشه‌ای مالش داده شده با پارچهٔ ابریشمی نزدیک کنیم، همدیگر را جذب می‌کنند.

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 همان‌طور که گفتیم جسم خنثی می‌باشد.

بار 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. همان‌طور که می‌دانید خودِ 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 $e = 1/6 \times 10^{-19}\ C$ 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 پروتون ها است؛ در نتیجه، همان‌طور که انتظار داریم، جمع جبری بارها صفر می‌شود.

الکترون عامل انتقال بار

زمانی‌که 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

خنثی‌بودن جسم $\simeq$ مساوی‌بودن تعداد الکترون‌ها و تعداد پروتون‌ها: $n_e = n_p \Rightarrow q = 0$

منفی‌شدن بار جسم $\simeq$ بیشترشدن تعداد الکترون‌ها از تعداد پروتون‌ها $\simeq$ گرفتن الکترون: $n_e > n_p \Rightarrow q < 0$

مثبت‌شدن بار جسم $\simeq$ کم‌ترشدن تعداد الکترون‌ها از تعداد پروتون‌ها $\simeq$ از دست دادن الکترون: $n_e < n_p \Rightarrow q > 0$

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

بار کوانتیده است

اول بگوییم که کوانتیده‌بودن یعنی گسسته‌بودن. مثلاً تعداد خودکارهای شما کوانتیده است؛ یعنی، شما می‌توانید آن‌ها را دانه‌دانه بشمارید و مثلاً ۱۲/۳ خودکار نداریم. در واقع کوانتیده‌بودن در مقابل پیوسته‌بودن 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 رابطهٔ بالا، n باید اعداد حسابی یعنی ۰، ۱، ۲ و ... باشد و نمی‌تواند اعدادی مثل ۲/۵، $\frac{۲}{۳}$ و ... باشد؛ چون نصف الکترون نداریم. این موضوع به صورت اصل زیر بیان می‌شود:

اصل کوانتیده‌بودن بار: همیشه بار الکتریکی مشاهده‌شده در اجسام، مضرب درستی (صحیحی) از بار بنیادی (e) است.

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

مثال و پاسخ

مثال **بار الکتریکی جسمی $-1/6\ \mu C$ 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 این‌که بفهمیم جسم چندتا پروتون کم‌تر از الکترون دارد، باید از رابطهٔ $q=-ne$ کمک بگیریم:

$$q=-ne \Rightarrow -1/6\times10^{-6} = -n\times1/6\times10^{-19} \Rightarrow n=\frac{10^{-6}}{10^{-19}}=10^{13}$$

یعنی تعداد پروتون‌های جسم ۱۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰تا 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 هستهٔ یون O^{2-} را برحسب نانوکولن به دست آورید.**

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

ت **بار خالص یون O^{2-} برحسب میکروکولن چه‌قدر است؟**

پاسخ **الف** عدد اتمی بیانگر تعداد پروتون‌های داخل هسته است؛ بنابراین، تعداد پروتون‌های اتم اکسیژن ۸تا است. از طرفی در حالت خنثی تعداد الکترون‌ها با تعداد پروتون‌ها مساوی است؛ پس، تعداد الکترون‌های اتم اکسیژن خنثی همان ۸تا 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 ۸تا است. از طرفی می‌دانیم بار پروتون $e=+1/6\times10^{-19}\ C$ است؛ پس:

$$q_{\text{هسته}} = +n_p e = 8\times1/6\times10^{-19}\ C = 12/8\times10^{-19}\ C = 1/28\times10^{-9}\ nC$$

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

$$q_{\text{الکترون‌ها}} = -n_e e = -10\times1/6\times10^{-19}\ C = -1/6\times10^{-18}\ C$$

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

$$q_{\text{خالص}} = -ne = -2\times1/6\times10^{-19}\ C = -3/2\times10^{-19}\ C = -3/2\times10^{-13}\ \mu C$$

اصل پایستگی بار

دیدید که در آزمایش مالش پارچهٔ پشمی با میلهٔ پلاستیکی، الکترون از پارچه به میله منتقل می‌شود. در این آزمایش شبیه همهٔ 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 همهٔ بارهای الکتریکی در یک دستگاه منزوی، ثابت است؛ یعنی، بار می‌تواند از جسمی به جسم دیگر منتقل شود ولی هرگز امکان تولید یا نابودی یک بار خالص وجود ندارد.

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 کمیتی 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. (ریاضی شهریور ۸۵)

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

۳- کلمهٔ مناسب را از داخل پرانتز انتخاب کنید.

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

ب) یک کولن مقدار بار (بزرگی / کوچکی) است؛ به طوری‌که در یک آذرخش باری از مرتبهٔ (۱۰ C / ۱۰ TC) به زمین منتقل می‌شود.

۴- یک جسم به وسیلهٔ مالش دارای بار الکتریکی شده است. کدام گزینهٔ زیر می‌تواند مقدار بار الکتریکی آن برحسب کولن باشد؟ (اندازهٔ بار الکتریکی هر الکترون $1/6\times10^{-19}$ کولن است.)

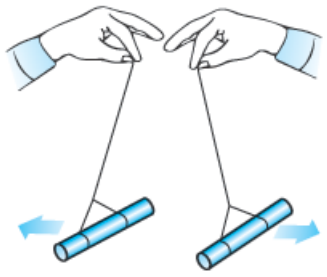
۱) 4×10^{-19} ۲) 8×10^{-19}

۵- اگر اندازهٔ بار یک الکترون $1/6\times10^{-19}C$ باشد، برای به دست آوردن ۱C بار الکتریکی، چند الکترون باید منتقل شود؟

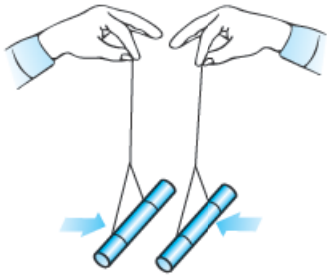
۶- به هر سانتی‌متر از یک میلهٔ عایق ۸ سانتی‌متری، 10^{10} الکترون می‌دهیم. بار این میله چند کولن می‌شود؟ (بار هر الکترون $-1/6\times10^{-19}C$ است.)

۷- عدد اتمی لیتیم ۳ است. بار هستهٔ لیتیم چند کولن است؟

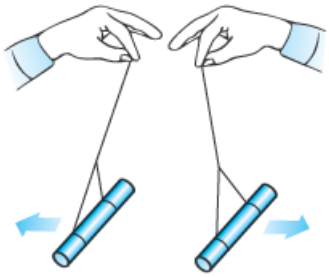
۸- آزمایش مربوط به شکل‌های زیر بیانگر کدام موضوع فیزیکی است؟



الف) وقتی دو میلهٔ پلاستیکی را با پارچهٔ پشمی مالش می‌دهیم، همدیگر را دفع می‌کنند.



ب) 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.



پ) وقتی دو میلهٔ شیشه‌ای را با پارچهٔ ابریشمی مالش می‌دهیم، همدیگر را دفع می‌کنند.

۲ روش‌های باردارکردن اجسام

در علوم هشتم با سه روش برای باردارکردن 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.

باردارکردن اجسام به روش مالش

ابتدا به نمونه‌های ذکرشده توجه کنید:

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

نمونه اگر یک **میلهٔ پلاستیکی** را با **پارچهٔ پشمی** مالش دهید، الکترون‌هایی از پارچهٔ پشمی به میلهٔ پلاستیکی منتقل می‌شوند. این موضوع، باعث ایجاد بار **مثبت** در پارچهٔ پشمی و بار **منفی** در میلهٔ 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 الکتریسیتهٔ 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، **الکترون‌خواهی** مواد زیادتر می‌شود.

سری الکتریسیتهٔ مالشی (تریبوالکتریک)

انتهای مثبت سری

موی انسان
شیشه
نایلون
سلفون
پشم
موی گربه
سُرب
ابریشم
آلومینیم
پوست انسان
کاغذ
چوب
پارچهٔ کتان
کهربا
برنج، مس
پلاستیک، پلی‌اتیلن
لاستیک
تفلون

افزایش الکترون‌خواهی

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.

مثال و پاسخ

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

الف **با توجه به سری الکتریسیتهٔ 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 الکتریسیتهٔ 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:

$$q_{\text{پشم}} = +ne \xrightarrow{e=1/6\times10^{-19}\,C} q_{\text{پشم}} = 10^7 \times 1/6 \times 10^{-19}\,C = 1/6 \times 10^{-12}\,C = 1/6\,pC$$

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

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

پ اگر به سری الکتریسیتهٔ مالشی نگاه کنید، می‌فهمید که لاستیک الکترون‌خواهی بیشتری دارد؛ بنابراین، الکترون جذب می‌کند و بارش منفی می‌شود. از طرفی با جداشدن 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 هستهٔ 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 می‌تواند در آن‌ها منتقل شود. این نوع مواد را رسانا می‌نامیم.

نارسانا: به موادی مثل شیشه، چوب و ... که الکترون‌های آن‌ها نمی‌توانند آزادانه حرکت کنند و در نتیجه نمی‌توانند بار الکتریکی را از خود عبور دهند، نارسانا می‌گوییم.

با یادآوری این سه تعریف، به نقطه‌ای رسیدیم که می‌توانیم، باردارکردن اجسام به روش تماس را بررسی کنیم. در روش تماس که معمولاً برای رساناها مورد استفاده قرار می‌گیرد، مانند شکل زیر، با تماس یک جسم باردار به جسم خنثی، جسم خنثی را باردار می‌کنیم.

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 می‌شوند مشابه باشند، پس از تماس، مقدار بار هر کدام برابر با میانگین بار اولیهٔ آن‌ها است:

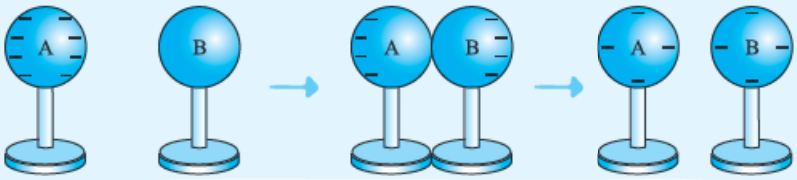
$$q'_1 = q'_2 = \frac{q_1 + q_2}{2}$$

مثال و پاسخ

مثال **دو کرهٔ فلزی مشابه داریم که یکی از آن‌ها ۸ الکترون بیشتر از پروتون‌هایش دارد و دیگری خنثی است. با رسم شکل به طور کیفی نشان دهید اگر دو کره را با هم تماس دهیم، چه اتفاقی می‌افتد.**

پاسخ وقتی جسمی تعداد الکترون‌هایش از تعداد پروتون‌هایش بیشتر باشد، بار منفی دارد. هر الکترون را با یک (−) نشان می‌دهیم.

چون دو کره مشابه هستند، پس از تماس، بار بین آن‌ها به صورت مساوی تقسیم می‌شود:



مثال و پاسخ

مثال **دو کرهٔ رسانای مشابه با بارهای $q_1 = -8\ \mu C$ و $q_2 = 24\ \mu C$ را با یک سیم رسانا به هم وصل می‌کنیم و سپس جدا می‌کنیم.**

الف **بار هر یک از کره‌ها چه‌قدر می‌شود؟**

ب **کدام کره و به چه تعداد الکترون می‌گیرد؟**

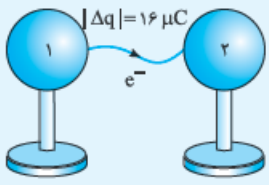
پاسخ **الف** کره‌ها مشابه‌اند؛ پس، بار الکتریکی آن‌ها پس از اتصال، با هم برابر می‌شود.

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 کرهٔ (۱) منفی و بار کرهٔ (۲) مثبت است؛ بنابراین، با تماس دو کره، الکترون‌ها از کرهٔ (۱) به کرهٔ (۲) می‌روند. از طرفی تعداد الکترون‌هایی که کرهٔ (۲) می‌گیرد، به مقدار بار جابه‌جاشده بستگی دارد که برابر با $q'_2 - q_2$ است؛ پس، اول بار جابه‌جاشده را به دست می‌آوریم:

$$\text{مقدار بار جابه‌جاشده} = \Delta q_2 = q'_2 - q_2 = 8\ \mu C - (24\ \mu C) = -16\ \mu C$$



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

$$\Delta q = -ne \Rightarrow -۱۶\,\mu C = -n \times (۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}\ C) \Rightarrow -۱۶ \times ۱۰^{-۶}\ C = -n \times (۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}\ C) \Rightarrow$$

$$n = \frac{۱۶ \times ۱۰^{-۶}\ C}{۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}\ C} = ۱۰^{۱۴}$$

بنابراین کرهٔ (۲)، $۱۰^{۱۴}$ الکترون از کرهٔ (۱) می‌گیرد.

انتقال بار الکتریکی به روش القا

خیلی‌ها وقتی کلمهٔ 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 تو واحد 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 این‌که شما این روش را در حالت‌های مختلف بهتر یاد بگیرید، آن‌ها را دسته‌بندی می‌کنیم؛ اما، قبل از بررسی این روش به نکتهٔ زیر توجه کنید:

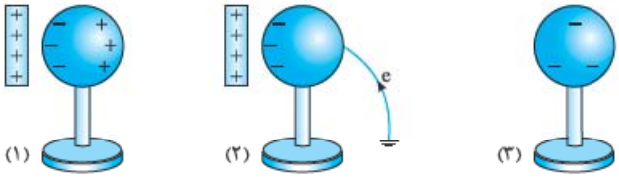
نکته زمین منبع بار الکتریکی است؛ یعنی، هر چه‌قدر از آن بار بگیریم و یا به آن بار بدهیم، مشکلی با آن ندارد و قبول می‌کند! بنابراین اگر جسم رسانای بارداری را با سیم به زمین وصل کنیم و یا با آن تماس دهیم، بار آن تخلیه می‌شود.

ایجاد بار الکتریکی در یک رسانا به روش القا

۱ میله‌ای با بار مثبت به یک کرهٔ فلزی خنثی که بر روی پایهٔ عایقی قرار دارد، نزدیک می‌کنیم. این کار باعث می‌شود، الکترون‌های کره که بار منفی دارند، توسط میله جذب شوند. مانند آن‌چه 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، تعدادِ 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 کرهٔ 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.

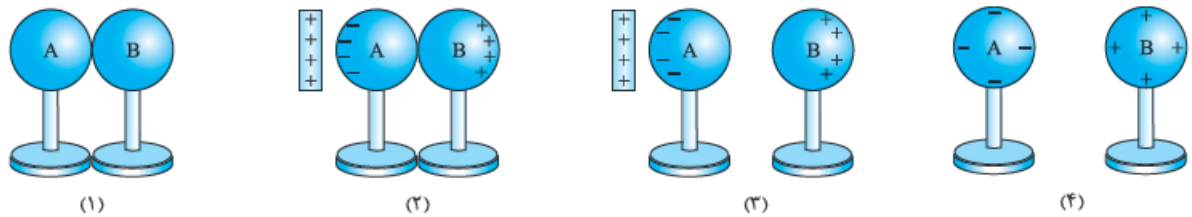
ایجاد بار الکتریکی ناهم‌نام روی دو رسانا به روش القا

۱ مانند شکل (۱)، دو کرهٔ فلزی خنثی را که بر روی پایهٔ عایق قرار دارند، در تماس با هم قرار می‌دهیم.

۲ میله‌ای با بار مثبت را به کرهٔ A نزدیک می‌کنیم (شکل ۲). در نتیجه الکترون‌های آزاد کره‌ها به طرف میله جذب می‌شوند؛ بنابراین، تعداد الکترون‌های آزاد در کرهٔ B کم شده و بار خالص آن مثبت می‌شود و کرهٔ A بار خالص منفی پیدا می‌کند.

۳ مثل آن‌چه 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 (این‌جا کرهٔ A) مخالف بار میله می‌شود و بار رسانای دورتر، هم‌نام بار میله می‌شود.

آن‌چه در این آزمایش رخ می‌دهد، پدیدهٔ 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 برق‌نما

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.

باردارکردن الکتروسکوپ

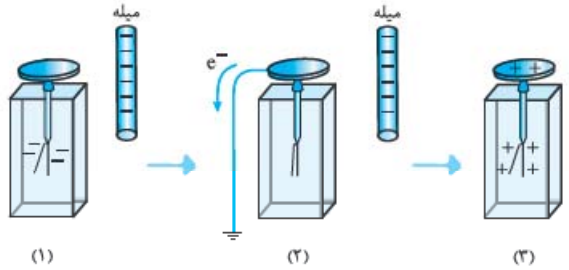
معمولاً به دو روش تماس و القا یک الکتروسکوپ را باردار می‌کنیم.

روش تماس

اگر یک میلهٔ 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 تماسِ میلهٔ منفی با کلاهک الکتروسکوپ، بار الکتروسکوپ منفی می‌شود.

روش القا

مطابق شکل (۱)، میلهٔ 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 خارج‌شدن 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.



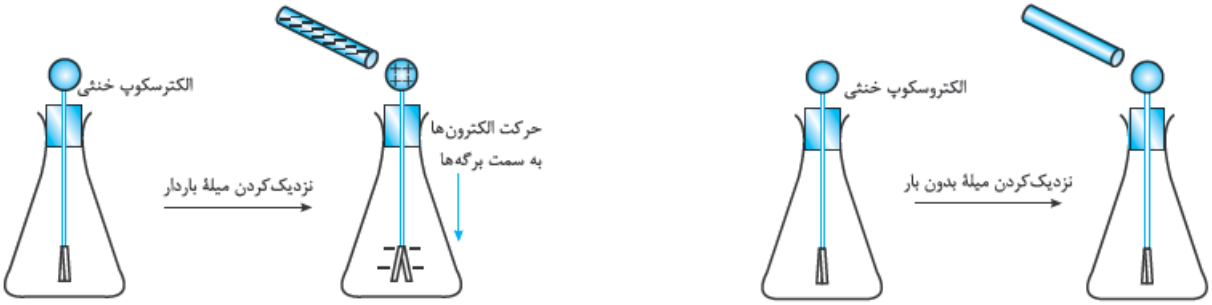
کاربردهای الکتروسکوپ

با الکتروسکوپ می‌توانیم سه مورد زیر را تعیین کنیم:

۱. باردار بودن یا نبودن جسم
۲. نوع بار جسم باردار
۳. رسانا یا نارسانا بودن جسم

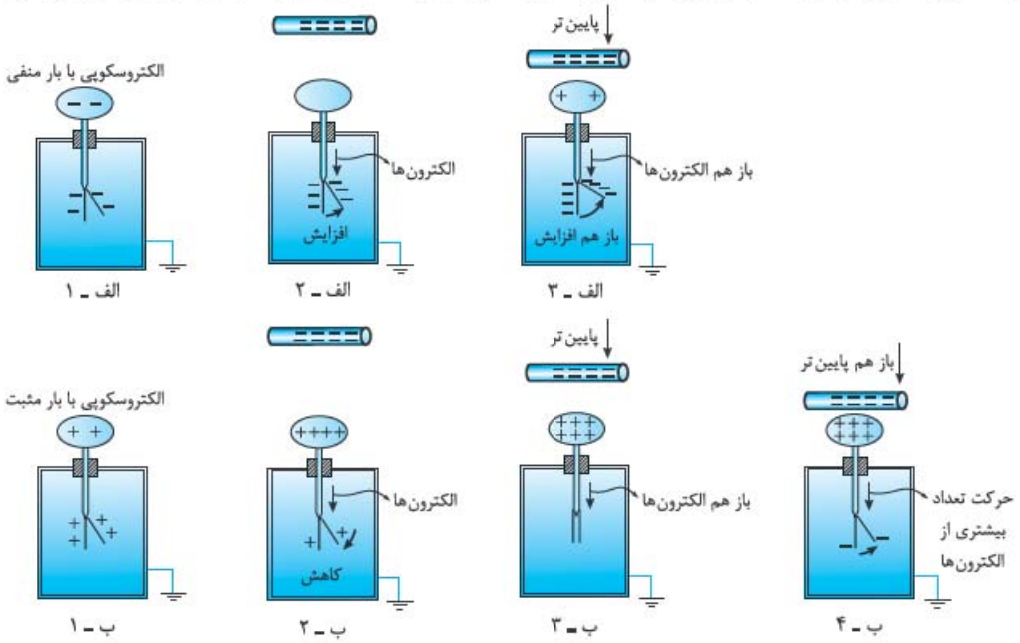
۱- تشخیص وجود بار الکتریکی در یک جسم

برای این کار جسم موردنظر را به کلاهک یک الکتروسکوپ خنثی نزدیک می‌کنیم؛ اگر مانند شکل زیر، با نزدیک‌کردن جسم، تیغهٔ متحرک از تیغهٔ ثابت فاصله گرفت، یعنی جسم باردار است. علت این اتفاق، رفتن بارهای هم‌نام با بار جسم از کلاهک به تیغهٔ ثابت و تیغهٔ متحرک است. از آن‌جایی که بار تیغهٔ ثابت و تیغهٔ 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 فاصلهٔ نسبتاً دور، به آرامی به کلاهک الکتروسکوپ با بار معلوم نزدیک می‌کنیم. اگر از همان ابتدا برگه شروع به دورترشدن 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 نزدیک‌شدن 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 بسته‌شدن ابتدایی برگه‌ها را نبینیم و تنها با مشاهدهٔ بازشدن 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

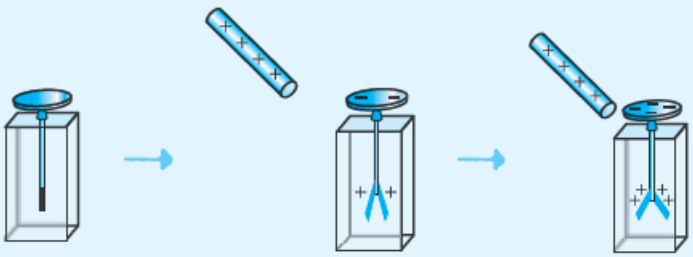
برای تشخیص رسانایی اجسام بدون بار هم می‌توان از الکتروسکوپ باردار استفاده کرد. یک نقطه از جسم بدون باری را که در دست داریم، به کلاهک الکتروسکوپ تماس می‌دهیم. اگر انحراف ورقه‌ها تغییر محسوس نکند، جسم نارسانا است. اگر جسم رسانا باشد، تماس آن به کلاهک باعث تخلیهٔ بار الکتروسکوپ می‌شود و انحراف ورقه‌ها کم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

مثال و پاسخ

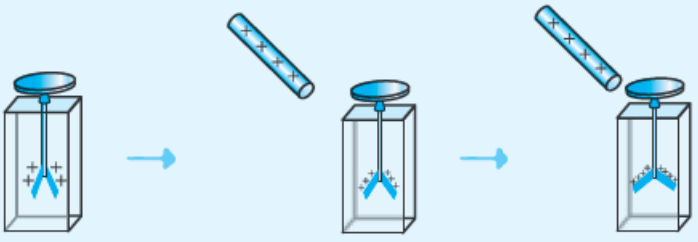
مثال **میله‌ای با بار الکتریکی مثبت را به تدریج به کلاهک یک الکتروسکوپ نزدیک می‌کنیم. ملاحظه می‌شود که ورقه‌ها به تدریج بسته و سپس باز می‌شوند. بار ورقه‌ها قبل از آزمایش چه بوده است؟**

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

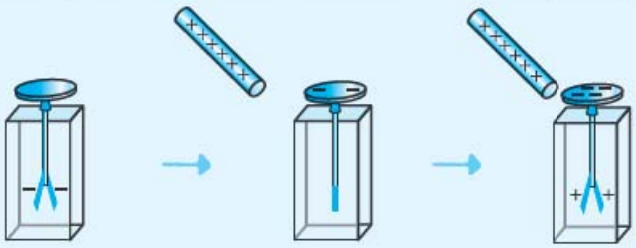
پاسخ وقتی الکتروسکوپ بدون بار باشد، ورقه‌ها از همان اول بسته‌اند. هر چه‌قدر میلهٔ باردار به الکتروسکوپ نزدیک شود، ورقه‌ها از یکدیگر بیشتر فاصله می‌گیرند؛ پس، گزینه‌های «۱» و «۲» حتماً نادرست‌اند. این موضوع را در شکل زیر می‌بینید:



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



حالا به بررسی تنها حالت باقی‌مانده؛ یعنی گزینهٔ (۳) می‌پردازیم. مطابق شکل زیر با نزدیک‌کردن میله با بار مثبت، بار منفیِ تیغه به سمت کلاهک می‌رود و در نتیجه بار آن خنثی و تیغه‌ها بسته می‌شوند. با نزدیک‌ترکردن میله، الکترون بیشتری به کلاهک می‌رود، در نتیجه بار تیغه مثبت می‌شود. با مثبت‌شدن بار تیغه، تیغه‌ها دوباره از هم فاصله می‌گیرند.



سؤال‌های امتحانی

۹- درستی یا نادرستی عبارت‌های زیر را تعیین کنید.

الف) با مالش یک میلهٔ شیشه‌ای به پارچهٔ ابریشمی، الکترون‌ها از میلهٔ شیشه‌ای به پارچهٔ ابریشمی منتقل می‌شوند.

ب) در سری الکتریسیتهٔ مالشی (تریبوالکتریک)، پلاستیک از پشم به انتهای مثبت نزدیک‌تر است.

پ) ایجاد بار به روش القا مختص رساناها است.

ت) بر اثر مالش دو جسم خنثی که به انتهای منفی سری الکتریسیتهٔ مالشی نزدیک هستند، بار دو جسم منفی می‌شود.

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

الف) نوع بار یک جسم باردار را می‌توانیم به کمک ..... تعیین کنیم.

ب) یکای کولن، یکایی ..... است.

پ) بر اثر مالش دو جسم، جسمی که الکترون‌خواهی ..... دارد، الکترون از دست می‌دهد.

ت) یک میلهٔ نارسانا را که بار الکتریکی آن مثبت است، به کلاهک یک الکتروسکوپ خنثی نزدیک می‌کنیم و در این حالت دست دیگر خود را به کلاهک می‌زنیم و جدا می‌کنیم. با دورکردن میلهٔ باردار از کلاهک، کلاهک دارای بار الکتریکی ..... می‌شود و ورقه‌ها با بار ..... از هم دور می‌شوند.

۱۱- با توجه به جدول روبه‌رو به سؤالات زیر پاسخ دهید.

الف) جدول روبه‌رو به چه منظور استفاده می‌شود؟

ب) نایلون نسبت به کاغذ الکترون‌خواهی بیشتری دارد یا کم‌تر؟

پ) اگر یک بادکنک پلاستیکی را به یک کاغذ مالش دهیم، کدام جسم بارش منفی می‌شود؟

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 می‌کشید و آن را در لبه‌های ظرف فشار می‌دهید، روکش در جای خود ثابت می‌ماند؟

ث) یک جسم شیشه‌ای را به یک جسم برنجی مالش می‌دهیم و سپس جسم شیشه‌ای را به کلاهک یک الکتروسکوپ که بار منفی دارد، نزدیک می‌کنیم. صفحات الکتروسکوپ چگونه تغییر می‌کنند؟

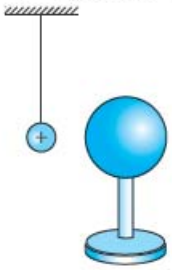
۱۲- با توجه به سری الکتریسیته مالشی (تریبوالکتریک) ، متن زیر را کامل کنید.

با مالش یک گربه به سرتان چون الکترون‌خواهی ..... کم‌تر است، بار گربه ..... می‌شود. از طرفی وقتی پارچهٔ کتان شلوارتان را به چوب مالش می‌دهید چون الکترون‌خواهی چوب از پارچهٔ کتان ..... است، بار چوب ..... می‌شود و در نتیجه گربه را ..... می‌کند.

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

۱۳- گلولهٔ 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 کرهٔ فلزی بدون بار الکتریکی را که روی پایهٔ نارسانایی قرار دارد، به آونگ الکتریکی بارداری نزدیک می‌کنیم. با ذکر دلیل توضیح دهید چه اتفاقی می‌افتد.

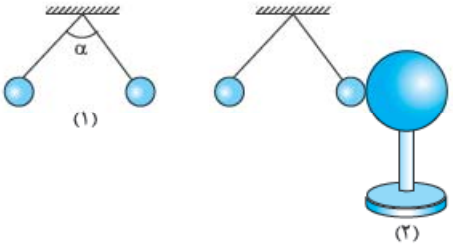


۱۵- در شکل زیر گلولهٔ فلزی بارداری از نخ آویزان است. کرهٔ فلزی خنثی را که دارای دستهٔ نارسانا است، به گلوله نزدیک می‌کنیم. مشاهده می‌شود که گلوله ..... می‌شود. وقتی تماس حاصل شد، کره را جدا کرده و دوباره به آرامی آن را به گلوله نزدیک می‌کنیم. مشاهده می‌شود گلوله ..... می‌شود. *(برگرفته از کنکور سراسری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

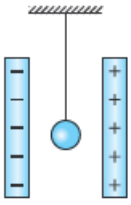
۱۶- شکل (۱) دو آونگ الکتریکی کاملاً مشابه با بارهای مثبت و هم‌اندازه را نشان می‌دهد که با یکدیگر زاویهٔ α ساخته‌اند. یک کرهٔ رسانای بدون بار را با پایهٔ عایق مطابق شکل (۲) به گلولهٔ یکی از آونگ‌ها تماس داده و سپس دور می‌کنیم. *(ریاضی خرداد ۹۳)*

الف) با رسم شکل ساده، پیش‌بینی کنید چه اتفاقی می‌افتد؟

ب) از انجام این آزمایش چه نتیجه‌ای می‌گیریم؟



۱۷- در شکل زیر، گلولهٔ رسانای سبک و بدون بار توسط نخ عایقی میان دو صفحهٔ 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)*



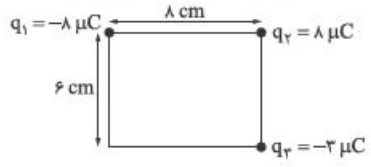
۱۸- سه جسم A، B و C را دوبه‌دو به یکدیگر نزدیک می‌کنیم. وقتی A و B به یکدیگر نزدیک شوند، همدیگر را با نیروی الکتریکی جذب می‌کنند و اگر B و C را به یکدیگر نزدیک کنیم، یکدیگر را با نیروی الکتریکی دفع می‌کنند. کدام‌یک از گزینه‌های زیر می‌تواند درست باشد؟ *(کنکور سراسری تجربی خارج از کشور ۹۰)*

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 میلهٔ فلزی خنثی را به آرامی به کلاهک الکتروسکوپ بارداری نزدیک کنیم، برای ورقه‌های الکتروسکوپ چه اتفاقی رخ می‌دهد؟

۳۸- سه بار الکتریکی در رأس‌های مستطیلی مطابق شکل زیر قرار دارند. نیروی وارد بر بار q_2 چند نیوتون است؟ *(برگرفته از سراسری ریاضی خارج از کشور ۹۰)*



۵ میدان الکتریکی

میدان الکتریکی چیست؟

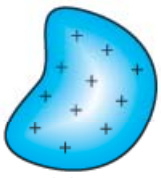
یک بار الکتریکی در فضای اطراف خود خاصیتی را ایجاد می‌کند که به آن **میدان الکتریکی** می‌گوییم. هر باری مانند q_1 در شکل زیر **به واسطهٔ میدانش به بارهای اطراف نیرو وارد می‌کند.** به همین خاطر است که وقتی مانند شکل زیر، بار q_2 را بدون این‌که در تماس با بار q_1 باشد، در کنار q_1 قرار می‌دهیم، به آن نیرو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

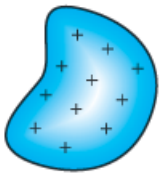

جسم باردار

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

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

همان‌طور که می‌بینید، میدان الکتریکی کمیتی برداری است که بزرگی آن از رابطهٔ $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$ 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 نقطهٔ A که هم‌جهت با نیروی الکتریکی وارد بر بار مثبت آزمون است.


جسم باردار

احتمالاً یکای میدان الکتریکی را با توجه به رابطهٔ $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$ به راحتی حدس زده‌اید. چون نیرو برحسب نیوتون (N) و بار برحسب 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 هستهٔ اورانیم $2\times10^{21}\ N/C$ است.

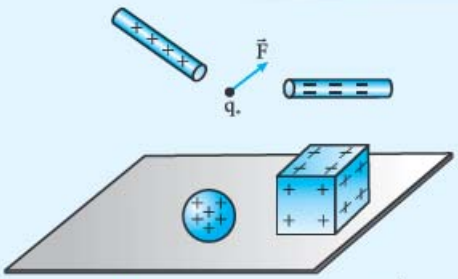
نکته همان‌طور که در شکل بالا می‌بینید، ایجاد میدان الکتریکی توسط جسم باردار ربطی به حضور بار دوم (در این‌جا q_0) ندارد و خاصیت حاصل از جسم باردار اول است.

نکته میدان الکتریکی حاصل از یک جسم باردار می‌تواند باعث جذب یک جسم خنثی شود.

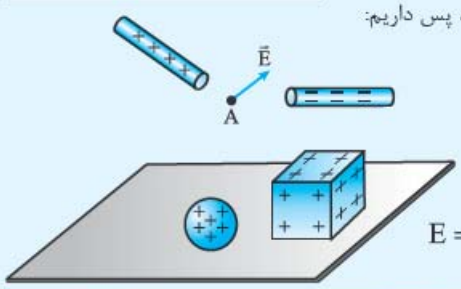
نمونه اگر یک میلهٔ باردار را به خرده‌های یک کاغذ نزدیک کنیم، مولکول‌های کاغذ مطابق شکل روبه‌رو بر اثر میدان الکتریکی میله قطبیده می‌شوند و توسط میلهٔ باردار جذب می‌شوند.

مثال و پاسخ

مثال اندازهٔ نیروی الکتریکی وارد بر بار آزمون $q_0 = 1/6\ nC$ واقع در نقطهٔ A، در اطراف چهار جسم باردار نشان داده شده برابر $4/8\times10^{-6}\ N$ است. اگر جهت نیروی وارد بر بار آزمون به شکل روبه‌رو باشد، جهت و اندازهٔ میدان الکتریکی در نقطهٔ A را مشخص کنید.



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



اندازهٔ میدان را هم به شکل زیر محاسبه می‌کنیم:

$$E=\frac{F}{q_0}=\frac{4/8\times10^{-6}\ N}{1/6\ nC}=\frac{4/8\times10^{-6}\ N}{1/6\times10^{-9}\ C}=3\times10^{+3}\ N/C$$

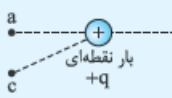
میدان الکتریکی حاصل از یک بار نقطه‌ای

در این قسمت می‌خواهیم جهت و اندازهٔ 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.

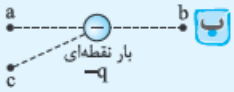
مثال و پاسخ

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

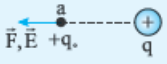
الف



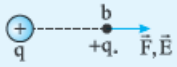
ب



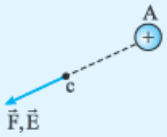
پاسخ الف بار مثبت آزمون را در نقطهٔ a قرار می‌دهیم، چون بار q مثبت است، بار مثبت q_0 را دفع می‌کند؛ پس، جهت نیروی وارد بر بار مثبت آزمون و در نتیجه میدان الکتریکی به صورت روبه‌رو می‌شود:



حالا بار مثبت آزمون را در نقطهٔ b قرار می‌دهیم و می‌بینیم باز هم بار مثبت q_0 دفع می‌شود؛ پس، جهت نیرو و میدان در نقطهٔ b مطابق شکل روبه‌رو از بار q دور می‌شود:

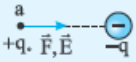


و اگر بار مثبت آزمون را در نقطهٔ c هم قرار دهیم، باز هم بار مثبت q_0 توسط بار مثبت q دفع می‌شود و برای جهت نیروی وارد بر بار مثبت آزمون و در نتیجه میدان الکتریکی در نقطهٔ c داریم:



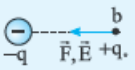
همان‌طور که می‌بینید، میدان برای بار مثبت در هر سه نقطه در جهت دورشدن از بار است.

ب بار مثبت آزمون را در نقطهٔ a قرار می‌دهیم، چون بار منفی است، بار مثبت q_0 را جذب می‌کند.

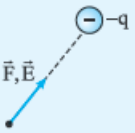


در نتیجه مطابق شکل، نیرو وارد بر بار آزمون و در نتیجه میدان الکتریکی به سمت بار $-q$ است:

اگر بار مثبت آزمون را در نقطهٔ 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 نقطهٔ c، نیروی وارد بر این بار و در نتیجه جهت میدان الکتریکی حاصل از $-q$ در نقطهٔ c به سمت بار $-q$ است:



می‌بینید که میدان برای بار منفی در هر سه نقطه در جهت نزدیک‌شدن 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).

اندازهٔ 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.

نیروی الکتریکی وارد بر بار q_0 از طرف بار q به صورت روبه‌رو به دست می‌آید: $F = k\frac{|q||q_0|}{r^2}$

چون q_0 مثبت است، می‌توانیم قدرمطلق آن را نگذاریم.

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

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

مثال و پاسخ

مثال **اندازهٔ میدان الکتریکی ذره‌ای با بار $4\,\mu C$ در نقطهٔ A، به فاصلهٔ ۲۰ سانتی‌متری از این بار، چند N/C است؟**

$$(k = 9\times10^9\ \frac{N.m^2}{C^2})$$

پاسخ خیلی راحت با جای‌گذاری مقدارها در رابطهٔ بالا، اندازهٔ میدان به دست می‌آید:

$$E = k\frac{|q|}{r^2} = 9\times10^9\times\frac{4\times10^{-6}}{(0/2)^2} = \frac{9\times10^9\times4\times10^{-6}}{4\times10^{-2}} = 9\times10^5\ N/C$$

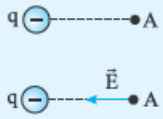
نکته با توجه به رابطهٔ $E = k\frac{|q|}{r^2}$ برای مقایسهٔ اندازهٔ میدان الکتریکی حاصل از دو بار نقطه‌ای q و q' به ترتیب در فاصله‌های r و r' از آن‌ها خواهیم داشت:

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

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

مثال و پاسخ

مثال **در شکل زیر بزرگی میدان الکتریکی ناشی از ذرهٔ باردار $q = -1\,\mu C$ در نقطهٔ A، $2\times10^5\ N/C$ است.** *(ریاضی شهریور ۹۰)*



الف **بردار میدان الکتریکی را در نقطهٔ A رسم کنید.**

ب **در چه فاصله‌ای از بار q میدان الکتریکی نصف می‌شود؟** $(k = 9\times10^9\ \frac{N.m^2}{C^2})$

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

ب باید فاصله‌ای را به دست آوریم که $E_2 = \frac{E_1}{2}$ شود: $E_1 = 2\times10^{+5}\ N/C \Rightarrow E_2 = \frac{E_1}{2} = \frac{2\times10^{+5}\ N/C}{2} = 10^5\ N/C$

$$E = k\frac{|q|}{r_2^2} \Rightarrow 10^5\ N/C = 9\times10^9\ \frac{N.m^2}{C^2}\times\frac{1\times10^{-6}\ C}{r_2^2} \Rightarrow r_2^2 = 9\times10^{-2}\ m^2 \Rightarrow r_2 = 3\times10^{-1}\ m$$

مثال **در مثال بالا، فاصلهٔ بار تا نقطهٔ A چه‌قدر است؟**

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

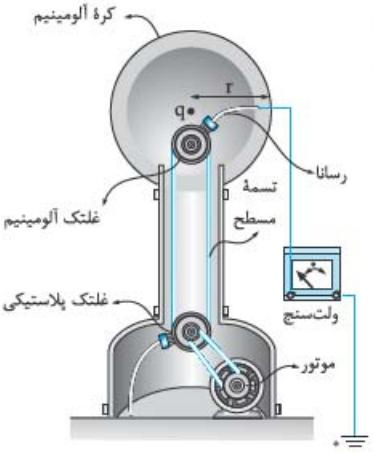
$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{q_1}{q_2}\times(\frac{r_2}{r_1})^2 \xrightarrow{q_1=q_2} \frac{2\times10^5\ N/C}{10^5\ N/C} = 1\times(\frac{3\times10^{-1}\ m}{r_1})^2$$

$$\Rightarrow \sqrt{2} = \frac{3\times10^{-1}\ m}{r_1} \Rightarrow r_1 = \frac{3\sqrt{2}}{2}\times10^{-1}\ m$$

نتیجه از مثال قبل نتیجه می‌گیریم که برای مقایسهٔ میدان الکتریکی **یک بار** در دو فاصلهٔ متفاوت داریم:

$$\frac{E_2}{E_1}=\left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2$$

مولد وان‌دوگراف: وسیله‌ای برای ایجاد بار الکتریکی است که نخستین بار توسط فیزیک‌دان آمریکایی، رابرت، می وان‌دوگراف اختراع شد. این وسیله که تصویر آن را در شکل مقابل می‌بینید، با استفاده از تسمهٔ 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 $2\times10^6\ N/C$ است.



سؤال‌های امتحانی

۳۹- درستی یا نادرستی عبارت‌های زیر را تعیین کنید.

الف) بزرگی میدان الکتریکی حاصل از یک ذرهٔ باردار در هر نقطه، با اندازهٔ بار ذره نسبت مستقیم دارد. *(تجربی شهریور ۹۳)*

ب) بزرگی میدان الکتریکی حاصل از یک ذرهٔ باردار با فاصله از آن رابطهٔ عکس دارد.

پ) بردار میدان الکتریکی حاصل از یک ذرهٔ باردار همواره در جهت نزدیک‌شدن به آن است.

ت) یکای میدان الکتریکی در SI کولن بر متر مربع است. *(تجربی خرداد ۹۶)*

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

الف) یک بار الکتریکی در هر نقطه از فضای اطراف خود، خاصیتی ایجاد می‌کند که به آن ..... می‌گویند. *(تجربی شهریور ۹۲)*

ب) نیروی وارد بر بار الکتریکی مثبت آزمون واقع در میدان الکتریکی، با آن میدان ..... است. *(ریاضی خرداد ۹۲)*

پ) میدان الکتریکی کمیتی ..... است که یکای آن در SI، ..... است. *(تجربی دی ۸۸)*

۴۱- بادکنک بارداری را به آبِ در حال خروج از شیر آب نزدیک می‌کنیم. توضیح دهید، چرا آب به هنگام فروریختن، خمیده می‌شود؟

۴۲- برای تعیین میدان الکتریکی در نقطه‌ای از فضا، بار آزمون $+20\ nC$ را در آن نقطه قرار می‌دهیم. نیروی الکتریکی $5\times10^{-3}\ N$ در راستای جنوب ـ شمال و به طرف شمال بر این بار وارد می‌شود. بزرگی و جهت میدان الکتریکی در این نقطه را مشخص کنید.

۴۳- بزرگی میدان الکتریکی ذره‌ای با بار $-2\ \mu C$ را در نقطهٔ M به فاصلهٔ:

الف) $2\ m$ **ب) $20\ m$**

از این بار الکتریکی محاسبه کنید.

۴۴- هستهٔ آهن، شعاعی در حدود $4\times10^{-15}\ m$ دارد و شامل ۲۶ پروتون است.

الف) بزرگی نیروی دافعهٔ بین دو پروتون که به فاصلهٔ $4\times10^{-15}\ m$ از هم قرار دارند، چه‌قدر است؟

ب) میدان الکتریکی در فاصلهٔ $0/4\ nm$ از مرکز هسته چه‌قدر است؟

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

۶ برایند میدان‌های الکتریکی

برای به دست آوردن میدان الکتریکی خالص (برایند) حاصل از چند ذرهٔ باردار در نقطه‌ای از فضا، ابتدا میدان الکتریکی ناشی از هر ذره را در آن نقطه تعیین می‌کنیم و بعد این میدان‌ها را به صورت برداری با هم جمع می‌کنیم:

$$\vec{E}_T=\vec{E}_1+\vec{E}_2+\cdots$$

پاسخ سؤال‌های امتحانی

۱- الف) ندارد ب) القای

پ) عقربهٔ مغناطیسی

۲- الف) قطب شمال ب) هم‌نام

۳- الف) درست ب) نادرست

پ) نادرست؛ هرکدام از قطب‌های آهن‌ربا سوزن را جذب می‌کند.

۴- الف) به اتم‌ها یا مولکول‌هایی که خاصیت مغناطیسی دارند و خودشان یک آهن‌ربای بسیار کوچک هستند، دوقطبی مغناطیسی گفته می‌شود.

ب) با قرارگرفتن یک قطعه آهن در نزدیکی آهن‌ربا، قطعهٔ آهنی به گونه‌ای دارای خاصیت مغناطیسی می‌شود که جذب آهن‌ربا شود. به این پدیده، القای خاصیت مغناطیسی می‌گویند.

۵- **روش اول** برای تعیین نوع یک قطب نامشخص کافی است آن را به یک قطب معلوم از یک آهن‌ربای دیگر نزدیک کنیم. اگر نیروی بین آن‌ها جاذبه بود، نوعشان متفاوت و اگر نیروی بین آن‌ها دافعه بود، هم‌نوع یکدیگر هستند.

روش دوم با یک نخ، آهن‌ربا را از مرکزش آویزان می‌کنیم به طوری که بتواند به راحتی بچرخد. قطبی که در نهایت به سمت شمال قرار می‌گیرد، قطب N و قطب دیگر S است.

۶- این شکل نشان می‌دهد که با شکستن آهن‌ربا به اجزای کوچک‌تر، هر قطعه خودش آهن‌ربا است و دو قطب N و S دارد. نتیجه این‌که تک‌قطبی مغناطیسی وجود ندارد.

۷- بله، خاصیت مغناطیسی آهن‌ربا از صفحهٔ آلومینیمی عبور کرده و بر اثر القای مغناطیسی، براده‌های آهن جذب صفحهٔ آلومینیمی می‌شوند.

۸- الف) القای مغناطیسی ب) Y : قطب S

X : قطب N

۹- یک آهن‌ربا را به تعدادی گیرهٔ فلزی نزدیک می‌کنیم. بر اثر پدیدهٔ القای خاصیت مغناطیسی، گیره‌ها خاصیت آهن‌ربایی پیدا کرده و جذب آهن‌ربا می‌شوند. هم‌چنین گیره‌ها می‌توانند گیره‌های بعدی را نیز به صورت زنجیره‌ای به خود جذب کنند.

۱۰- الف) جنوب ب) مقداری برادهٔ آهن

پ) N ت) کمینه

۱۱- N , N

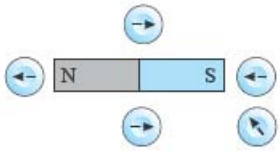
۱۲- الف) خط‌های ب) مماس

پ) هم‌سو ت) بزرگی

۱۳- یکنواخت

۱۴- القای مغناطیسی باعث می‌شود تا براده‌های آهن، خاصیت مغناطیسی پیدا کرده و مانند عقربه‌های مغناطیسی کوچک، در راستای خطوط میدان قرار گیرند.

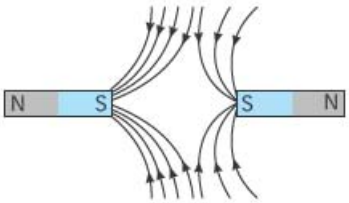
۱۵- الف و ب)



۱۶- الف) با یک نخ، آهن‌ربا را از مرکز آن آویزان می‌کنیم. آهن‌ربا پس از مقداری چرخیدن، در راستای شمال ـ جنوب قرار می‌گیرد. قطب N آهن‌ربا سمت شمال و قطب S آن سمت جنوب را نشان می‌دهد.

ب) (۱): قطب N (۲): قطب S

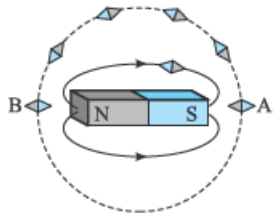
۱۷- الف)



ب) آهن‌ربای ۲؛ چون خطوط میدان در نزدیکی آن فشرده‌تر است.

پ) c

۱۸- برای حل این سؤال، حالت قرارگیری عقربهٔ مغناطیسی را در حرکتش روی مسیر دایره‌ای می‌کشیم. می‌دانیم که قطب N عقربه، جهت خط میدان در هر نقطه را نشان می‌دهد و هم‌چنین می‌دانیم که جهت خطوط میدان مغناطیسی در خارج از آهن‌ربا از قطب N به S است. حالا از نقطهٔ A به سمت نقطهٔ B حرکت می‌کنیم. جهت عقربه در نقطهٔ B دقیقاً مانند نقطهٔ A است؛ پس عقربه ۳۶۰ درجه چرخیده است. اگر همین کار را از نقطهٔ B به نقطهٔ A انجام دهیم، باز هم عقربه ۳۶۰ درجه می‌چرخد؛ پس در کل مسیر، عقربه ۷۲۰ = ۳۶۰ + ۳۶۰ درجه دوران می‌کند.



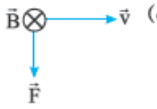
۱۹- الف) صفر ب) نوترون

۲۰- قدرمطلق بار الکتریکی ذره، تندی حرکت ذرهٔ باردار، بزرگی میدان مغناطیسی

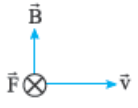
۲۱- الف) ذرهٔ (۲) ب) ذرهٔ (۳)

پ) ذرهٔ (۱)

۲۲- الف)

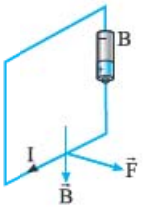


ب)



۲۳- خیر. نیروی مغناطیسی همواره بر جهت حرکت بار الکتریکی عمود است. از فصل کار و انرژی فیزیک دهم، می‌دانیم که کار نیروی عمودی صفر است. بنابر قضیهٔ کار ـ انرژی جنبشی، $(W_t = K_2 - K_1)$ وقتی کار صفر باشد، انرژی جنبشی هم تغییر نمی‌کند. نیروی مغناطیسی فقط می‌تواند جهت حرکت بار متحرک را تغییر دهد.

۳۴- الف) باتری B. جهت میدان مغناطیسی (از N به S) و جهت نیروی F مشخص است. بنابر قاعدهٔ دست راست، جهت جریان باید به شکل نشان داده شده در تصویر مقابل باشد. این جریان را باتری B تولید می‌کند.



ب) نیروی وارد بر میلهٔ حامل جریان از رابطهٔ $F = BI\ell\sin\theta$ به دست می‌آید. بیشترین مقدار این نیرو هنگامی است که $\theta = 90^\circ$ و در نتیجه $\sin\theta = 1$ باشد. این حالت وقتی اتفاق می‌افتد که میله بر خطوط میدان مغناطیسی آهن‌ربا عمود باشد.

۳۵- فقط کافی است اطلاعات داده‌شده را در فرمول جای‌گذاری کرده و طول سیم (ℓ) را به دست آوریم:

$$F = BI\ell\sin\theta \xrightarrow{\sin 30^\circ = \frac{1}{2}} (0/02\,N) = (4\times10^{-2}\,T)\times(2A)\times\ell\times\frac{1}{2}$$

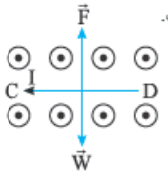
$$\Rightarrow \ell = \frac{0/02}{4\times10^{-2}\times2\times\frac{1}{2}} = 0/5\,m$$

۳۶- الف) با توجه به جهت نیرو (رو به بالا) و جهت میدان مغناطیسی (درون‌سو) و با بهره‌گیری از قاعدهٔ دست راست، جریان در سیم از C به D به دست می‌آید.

ب) $F = BI\ell\sin\theta \xrightarrow{\sin 90^\circ = 1} (2\,N) = (0/25\,T)\times(4\,A)\times\ell\times1 \Rightarrow \ell = \frac{2}{0/25\times4\times1} = 2\,m$

۳۷- **گام اول** تعیین جهت جریان: نیروی الکترومغناطیسی وارد بر سیم در جهتی است که نیروی وزن را خنثی کند. از قاعدهٔ دست راست استفاده کرده و جهت جریان داخل سیم را به دست می‌آوریم:

مطابق شکل مقابل، جهت جریان از D به C است.



گام دوم نیروی وزن سیم را حساب می‌کنیم:

$$m = 20\,g = 20\times10^{-3}\,kg$$

$$W = mg = (20\times10^{-3}\,kg)\times(10\,N/kg) = 0/2\,N$$

گام سوم نیروی F برابر با نیروی وزن است. اندازهٔ جریان عبوری را با توجه به آن به دست می‌آوریم:

$$F = BI\ell\sin\theta \xrightarrow[\ell=20\,cm=0/2\,m]{\sin90^\circ=1} 0/2\,N = (0/5\,N)\times I\times(0/2\,m)\times1 \Rightarrow I = \frac{\cancel{0/2}^{\,1}}{0/5\times\cancel{0/2}\times1} = 2\,A$$

۳۸- الف) میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی

ب) کاهش

پ) شدت جریان

ت) مغز انسان

۳۹- الف) همان‌طور که در مثال صفحهٔ ۱۳۵ دیدیم، با قاعدهٔ دست راست معلوم می‌شود که جهت جریان از پایین به بالا است. چهار انگشت دست راست را در جهت میدان خم می‌کنیم. در این حالت، انگشت شست جهت جریان را نشان می‌دهد. برای ایجاد جریان رو به بالا در این مدار، باید از باتری B استفاده شود.

ب) افزایش. هر چه به سیم حامل جریان نزدیک‌تر شویم، میدان مغناطیسی قوی‌تر شده و در نتیجه تراکم خط‌های میدان هم بیشتر می‌شود.

۴۰- الف) در این آزمایش به بررسی آثار مغناطیسی جریان الکتریکی می‌پردازیم. این آزمایش نشان می‌دهد که عبور جریان الکتریکی از سیم باعث ایجاد میدان مغناطیسی در اطراف سیم می‌شود.

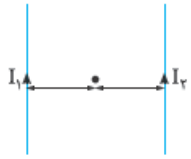
ب) با بستن کلید، در اطراف سیم حامل جریان، میدان مغناطیسی ایجاد می‌شود. میدان مغناطیسی باعث می‌شود که عقربه‌های مغناطیسی مماس بر خطوط میدان قرار بگیرند. چون خطوط میدان در اطراف سیم حامل جریان، دایره‌های هم‌مرکز هستند، سمت‌گیری عقربه‌ها در نقاط A و B یکسان است.

پ) با کاهش مقاومت رئوستا، جریان بیشتری از سیم مسی عبور می‌کند و در نتیجه میدان مغناطیسی قوی‌تر اطراف خود ایجاد کرده که باعث می‌شود عقربه‌های مغناطیسی با سرعت بیشتر با خطوط میدان هم‌جهت شوند.

۴۱- برای این‌که میدان در A برون‌سو شود، جریان الکتریکی سیم باید از بالا به پایین باشد. سیم را به طور فرضی در دست راست خود بگیرید، به طوری که چهار انگشت شما در نقطهٔ A به سمت بیرون صفحه باشد. در این حالت انگشت شست که نشان‌دهندهٔ جهت جریان است، رو به پایین قرار می‌گیرد.

۴۲- بنابر قاعدهٔ دست راست، میدان حاصل از I_1 در نقطهٔ M برون‌سو و میدان حاصل از I_2 درون‌سو است. با توجه به فاصلهٔ یکسان M از هر دو سیم و از آن‌جایی که $I_2 < I_1$، میدان حاصل از I_1 بزرگ‌تر از میدان حاصل از I_2 است. میدان‌ها در خلاف جهت هم هستند و جهت برایند را میدان بزرگ‌تر تعیین می‌کند؛ بنابراین، میدان برایند در نقطهٔ M برون‌سو است.

۴۳- بنابر قاعدهٔ دست راست، میدان مغناطیسی حاصل از جریان I_1 در نقطهٔ وسط، درون‌سو و میدان حاصل از جریان I_2 برون‌سو است. فاصلهٔ نقطهٔ موردنظر از دو سیم یکسان و جریان I_2 بزرگ‌تر از جریان I_1 است؛ بنابراین، میدان مغناطیسی حاصل از I_2 بزرگ‌تر از میدان مغناطیسی حاصل از I_1 است. میدان‌ها در خلاف جهت هم هستند و جهت میدان مغناطیسی برایند را میدان بزرگ‌تر تعیین می‌کند. در نتیجه میدان در وسط دو سیم، برون‌سو است.

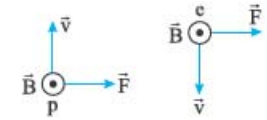


۴۴- بنابر قاعده دست راست، هر دو میدان $\vec{B}_1$ و $\vec{B}_2$ در نقطهٔ M درون‌سو هستند؛ بنابراین، برایند آن‌ها هم درون‌سو است و اندازه‌اش از جمع اندازه‌های $\vec{B}_1$ و $\vec{B}_2$ به دست می‌آید:

$$B_M = B_1 + B_2 = (4\times10^{-5}\,T) + (2\times10^{-5}\,T) = 6\times10^{-5}\,T$$

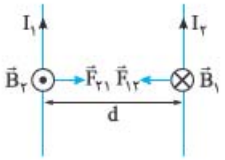
۴۵- الف) فاصلهٔ الکترون از سیم حامل جریان، بیشتر از فاصلهٔ پروتون از سیم است؛ بنابراین، میدان حاصل از سیم در محل الکترون ضعیف‌تر از میدان مغناطیسی در مکان پروتون است. بار الکتریکی پروتون و الکترون، برابر و تندی آن‌ها نیز یکسان است. در نتیجه، بنابر رابطهٔ $F = qvB\sin\theta$، چون میدان B در مکان الکترون ضعیف‌تر است، نیروی وارد بر آن هم ضعیف‌تر است: $F_e < F_p$.

ب) بنابر قاعدهٔ دست راست، میدان مغناطیسی سیم حامل جریان در مکان پروتون و الکترون، برون‌سو است؛ بنابراین، نیروی وارد بر هر کدام از آن‌ها به صورت روبه‌رو رسم می‌شود.



در نتیجه، مسیر تقریبی حرکت آن‌ها چنین است:

۴۶- می‌رایند



۴۷- الف) نیروی مغناطیسی بین سیم‌های موازی حامل جریان الکتریکی

ب) با وصل کلید، جریان‌های الکتریکی غیرهم‌سو در دو سیم برقرار شده و بر اثر آن نیروی دافعهٔ مغناطیسی بین آن‌ها ایجاد می‌شود.

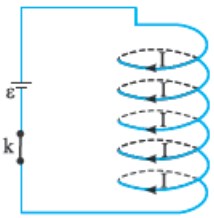
پ) با جابه‌جاکردن سیم دو سر باتری، جریان الکتریکی در هر دو سیم برعکس می‌شود اما چون باز هم جریان‌ها غیرهم‌سو هستند، نیروی بین آن‌ها دافعه بوده و تغییری رخ نمی‌دهد.

۴۸- الف) هدف از این آزمایش، مشاهده و بررسی نیروی مغناطیسی بین دو سیم موازی حامل جریان است.

ب) پس از وصل کلید، در سیم‌های موازی، جریان الکتریکی هم‌جهت برقرار می‌شود. در چنین حالتی نیروی مغناطیسی بین سیم‌ها جاذبه است.

پ) با جابه‌جاکردن سیم دو سر باتری، جریان الکتریکی در هر دو سیم برعکس می‌شود؛ اما، چون باز هم جریان‌ها هم‌جهت هستند، نیروی بین آن‌ها جاذبه بوده و تغییری رخ نمی‌دهد.

۴۹- فنر فشرده‌شده و طول آن کاهش می‌یابد. با وصل کلید و برقراری جریان الکتریکی در فنر، مطابق شکل روبه‌رو جریانی که از حلقه‌های فنر می‌گذرد، هم‌جهت هستند.



عبور جریان‌های هم‌جهت در سیم‌های موازی باعث ایجاد نیروی جاذبه بین آن‌ها می‌شود. حلقه‌ها یکدیگر را جذب می‌کنند و طول فنر کاهش می‌یابد.

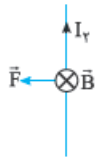
۵۰- الف) چهار انگشت دست راست را روی خطوط میدان و هم‌جهت با آن خم می‌کنیم؛ انگشت شست جهت جریان را نشان می‌دهد؛ بنابراین، جریان I_1 از پایین به بالا است.

ب) سیم (۲) در میدان مغناطیسی سیم (۱) قرار دارد؛ بنابراین، نیروی زیر به آن وارد می‌شود:

$$F_{12} = B_1 I_2 \ell \sin\theta \xrightarrow{\theta=90^\circ \Rightarrow \sin 90^\circ = 1}$$

$$F_{12} = (4\times10^{-7}\ \mathrm{T})\times(2\ \mathrm{A})\times(1\ \mathrm{m})\times1 = 8\times10^{-7}\ \mathrm{N}$$

پ)

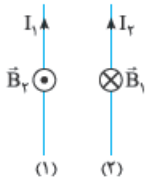


۵۱- الف) سیم شمارهٔ (۲) داخل میدان مغناطیسی سیم شمارهٔ (۱) قرار دارد و داریم:

$$F_{12} = B_1 I_2 \ell \sin\theta \xrightarrow{\theta=90^\circ \Rightarrow \sin 90^\circ = 1}$$

$$F_{12} = (4\times10^{-7}\ \mathrm{T})\times(4\ \mathrm{A})\times(1\ \mathrm{m})\times1 = 1/6\times10^{-6}\ \mathrm{N}$$

ب) بنابر قاعدهٔ دست راست، جهت میدان مغناطیسی هر سیم روی سیم دیگر مطابق شکل روبه‌رو است:



۵۲- الف) نیروی وارد بر سیم (۲) به دلیل وجود سیم (۱) ایجاد می‌شود. رابطهٔ نیرو را نوشته و B_1 را تعیین می‌کنیم:

$$F_{12} = B_1 I_2 \ell \sin\theta \xrightarrow{\theta=90^\circ \Rightarrow \sin 90^\circ = 1}$$

$$10^{-5}\ \mathrm{N} = B_1\times(5\mathrm{A})\times(0/5\ \mathrm{m})\times1$$

$$\Rightarrow B_1 = \frac{(10^{-5}\ \mathrm{N})}{(5\ \mathrm{A})\times(0/5\ \mathrm{m})} = 4\times10^{-6}\ \mathrm{T}$$

ب) نیروی F_{12} واردشده بر سیم (۲) دافعه است. عکس‌العمل این نیرو بر سیم (۱) وارد می‌شود. چون نیروها دافعه هستند؛ پس، جریان در سیم‌ها ناهم‌سو است؛ بنابراین، جریان I_1 باید رو به پایین باشد.

۵۳- الف) صفر ب) درون‌سو

۵۴- درست

۵۵- **گام اول** جهت میدان مغناطیسی حاصل از جریان I_1 را در نقطهٔ O به دست می‌آوریم. انگشت شست در جهت جریان و جهت خم‌شدن چهار انگشت، جهت میدان را نشان می‌دهد؛ بنابراین، میدان I_1 در محل O درون‌سو است.

گام دوم برای صفرشدن میدان در نقطهٔ O، باید میدان حاصل از I_2 برون‌سو باشد تا میدان درون‌سوی حاصل از I_1 را خنثی کند. اگر چهار انگشت دست راست را در جهت برون‌سو قرار دهیم، انگشت شست نشان‌دهندهٔ جهت جریان I_2 در جهت پادساعتگرد است.