



مفاهيم اولية بارالكتريكي

بباید فصل را با یک خاطرهٔ مشترک آغاز کنیم. خیلی از ماها، در دوران بچگی جوراب پامان می‌کردیم و کف پامان 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 تجربهٔ مشابهی داشتند. آن‌ها هم وقتی خرده‌های کاه را با کهریبا مالش می‌دادند و می‌دیدند که کهریبا 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 کهریبا در یونانی گرفته شده است. کهریبا در یونانی می‌شود الکترون!

بہار الکتربیکی

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، بالا رفتن یک مارمولک از دیوار همگی منشأ الکتریکی دارند.

یکای بار الکتریکی

بار الکتریکی که آن را 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.

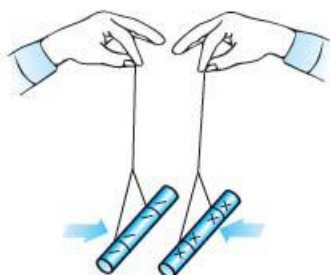


نمونه: آذرخش مثل آذرخشی که در عکس روبه‌رو به آنتن برج میلاد برخورد کرده است، حدود 10°C بار دارد. این موضوع بیانگر بزرگ‌بودن یکای کولن است، چون اگر چنین آذرخشی به ما می‌خورد، احتمالاً بخار می‌شدیم!

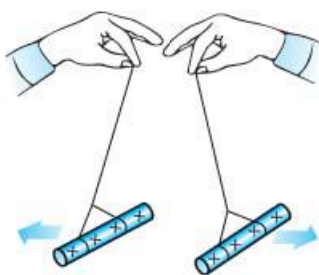
نمونه: موقع شانه کردن موهایتان با یک شانه پلاستیکی، بارهای منتقل شده از مرتبه نانو کولن (nC) است.

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

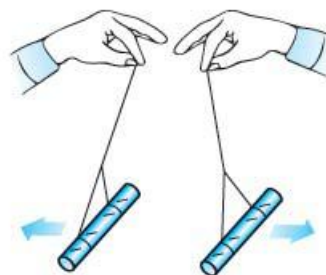
همان طور که در علوم هشتم دیدید، آزمایش‌هایی مانند آزمایش‌های شکل زیر نشان دادند که نیروی الکتریکی بین اجسام باردار به دو صورت جاذبه و دافعه است. این موضوع بیانگر این است که بار اجسام باردار نباید از یک نوع باشد؛ چون، اگر از یک نوع بود، اجسام باردار یا یکدیگر را جذب یا یکدیگر را دفع می‌کردند و هر دو حالت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



پ) 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.



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

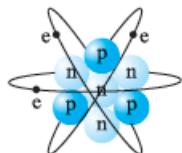


الف) وقتی دو میله پلاستیکی را با پارچه پشمی مالش می‌دهیم، همدیگر را دفع می‌کنند.

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.

اندازه بار اجزای اتم

اندازه 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 میله پلاستیکی را به یک پارچه 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، پارچه پشمی که با از دست دادن الکترون، تعداد پروتون‌هایش بیشتر از تعداد الکترون‌هایش شده، دارای بار خالص مثبت می‌شود. از طرف دیگر بار میله پلاستیکی با گرفتن الکترون، منفی می‌شود؛ چون، تعداد الکترون‌های آن بیشتر از تعداد پروتون‌هایش شده است.

جمع‌بندی

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

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

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

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

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.

(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 $(10^9 \text{ C} / 10^9 \text{ TC})$ 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 1.6×10^{-19} کولن است.)

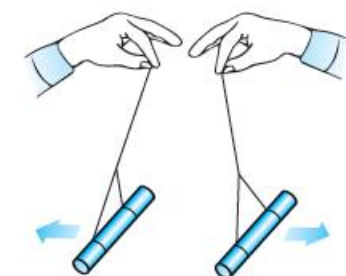
(۱) 4×10^{-19} (۲) 8×10^{-19}

۵- اگر اندازه بار یک الکترون 1.6×10^{-19} باشد، برای به دست آوردن 1 C بار الکتریکی، چند الکترون باید منتقل شود؟

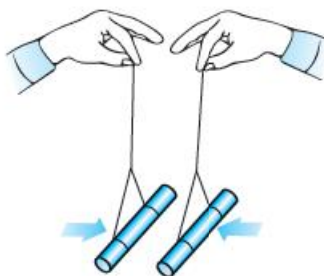
۶- به هر سانتی‌متر از یک میله عایق 8 سانتی‌متری، 10^{10} الکترون می‌دهیم. بار این میله چند کولن می‌شود؟ (بار هر الکترون 1.6×10^{-19} است.)

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

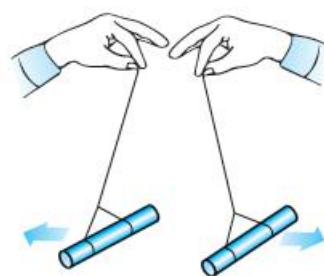
۸- آزمایش مربوط به شکل‌های زیر بیانگر کدام موضوع فیزیکی است؟



(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



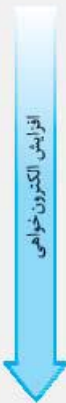
در علوم هشتم با سه روش برای باردار کردن اجسام یعنی مالش، تماس و القا آشنا شدید. در این درس‌نامه می‌خواهیم آن‌ها را برایتان یادآوری کنیم و اگر جایی نیاز به مطالب تکمیلی‌تر بود، آن‌ها را به شما بگوییم. با روش مالش شروع می‌کنیم.

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.

سری الکتریسیته مالشی (تربیبوالکتریک)	
انتهای مثبت سری	
 افزایش الکترون‌خواهی	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	

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 **تربیبوالکتریک** 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.

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 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 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 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 این سه تعریف، 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:

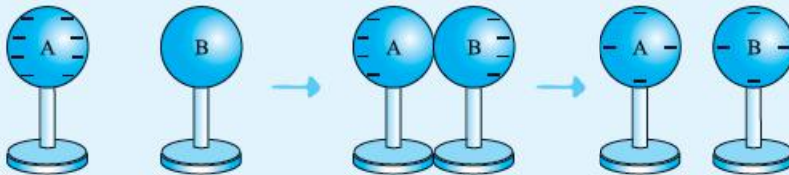
$$q'_1 = q'_2 = \frac{q_1 + q_2}{2}$$

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 چقدر 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:

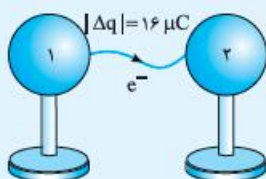
$$q_1 + q_2 = q'_1 + q'_2 \Rightarrow q'_1 = q'_2 = \frac{q_1 + q_2}{2} = \frac{-8 \mu C + 24 \mu C}{2} = 8 \mu C$$

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 الکترون هایی که کره (۲) گرفته است، اصلاً کاری ندارد:

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

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

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

انتقال بار الکتریکی به روش القا

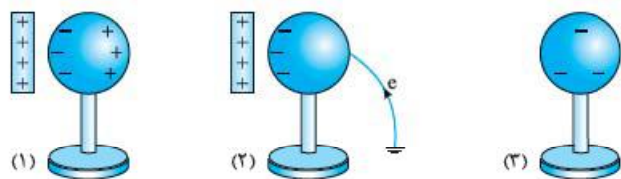
خیلی ها وقتی کلمه القا به گوششان می خورد، یاد جادوگر و دو دستش که از راه دور و بدون تماس می خواهد چیزی را تغییر بدهد، می افتند. (ما این رو تو واحد تأیید فیلی سبز امتحان کردیم!) در الکتریسیته هم به روشی که کره های فلزی بدون تماس با یک جسم باردار، باردار می شوند، روش القای بار الکتریکی می گوئیم. برای این که شما این روش را در حالت های مختلف بهتر یاد بگیرید، آن ها را دسته بندی می کنیم؛ 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 می کند! بنابراین اگر جسم رسانای بارداری را با سیم به زمین وصل کنیم و یا با آن تماس بدهیم، بار آن تخلیه می شود.

ایجاد بار الکتریکی در یک رسانا به روش القا

۱ میل های با بار مثبت به یک کره فلزی خنثی که بر روی پایه عایقی قرار دارد، نزدیک می کنیم. این کار باعث می شود، الکترون های کره که بار منفی دارند، توسط میله جذب شوند. مانند آن چه در قسمت ۱ شکل زیر می بینید، این اتفاق باعث می شود که یک طرف کره بار مثبت و یک طرف آن بار منفی القا شود.

۲ زمان بسیار کوتاهی، کره را به زمین وصل می کنیم (شکل ۲). به خاطر حضور میله با بار مثبت، الکترون ها از زمین جذب رسانا می شوند؛



این موضوع باعث می شود، تعداد الکترون های رسانا از پروتون های آن بیشتر شود و در نتیجه جسم بار منفی پیدا کند.

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

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

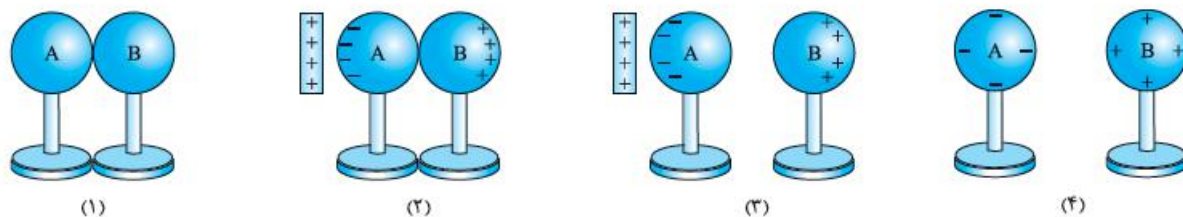
ایجاد بار الکتریکی ناهم نام روی دو رسانا به روش القا

۱ مانند شکل (۱)، دو کره فلزی خنثی را که بر روی پایه عایقی قرار دارند، در تماس با هم قرار می دهیم.

۲ میل های با بار مثبت را به کره A نزدیک می کنیم (شکل ۲). در نتیجه الکترون های آزاد کره ها به طرف میله جذب می شوند؛ بنابراین، تعداد الکترون های آزاد در کره B کم شده و بار خالص آن مثبت می شود و کره A بار خالص منفی پیدا می کند.

۳ مثل آن چه در شکل (۳) می بینید، در حضور میله، کره ها را جدا می کنیم.

۴ حالا اگر مثل شکل (۴) میله را برداریم، بارها روی دو کره پخش می شوند.



احتمالاً با توجه به شکل های بالا، خودتان فهمیده اید که بار رسانای نزدیک تر به میله (این جا کره A) مخالف بار میله می شود و بار رسانای دورتر، هم نام بار میله می شود.

آن چه در این آزمایش رخ می دهد، پدیده القای بار الکتریکی است که علت آن را در چند درس نامه جلوتر می خوانید.

نکته همان طور که دیدید، در هر دو مورد فقط از کره های رسانا استفاده شد. در واقع ایجاد بار به روش القا مختص اجسام رسانا است.

الکتروسکوپ یا برق دما



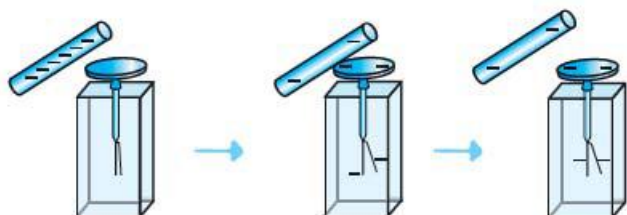
شکل روبه‌رو ساختمان یک الکتروسکوپ را نشان می‌دهد. همان‌طور که می‌بینید، الکتروسکوپ دو تیغه دارد که یکی ثابت و دیگری متحرک است. وقتی الکتروسکوپ بدون بار است، تیغه‌های آن کاملاً به هم نزدیک هستند؛ اما، وقتی که الکتروسکوپ باردار می‌شود، تیغه‌های آن از هم دور می‌شوند.

باردار کردن الکتروسکوپ

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

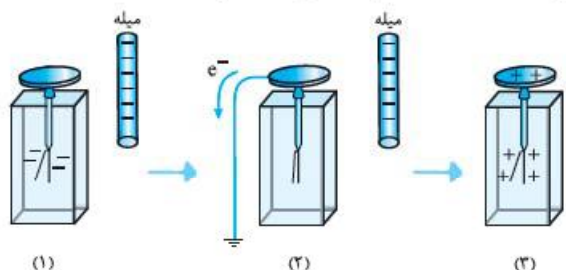
روش تماس

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.

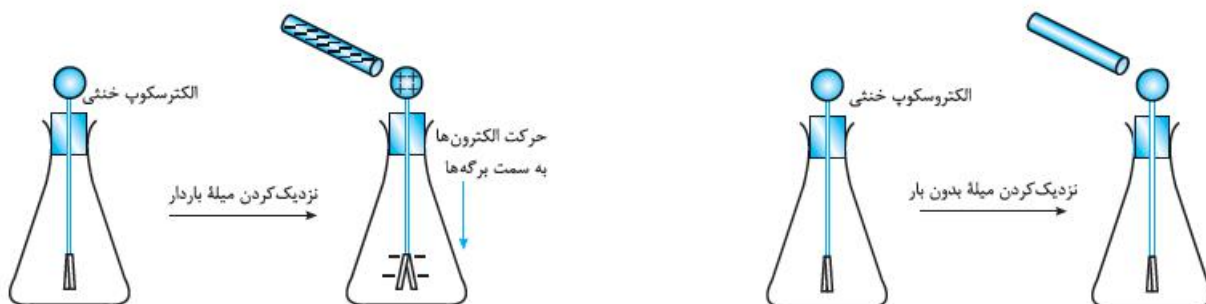
کاربردهای الکتروسکوپ

با الکتروسکوپ می‌توانیم سه مورد زیر را تعیین کنیم:

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

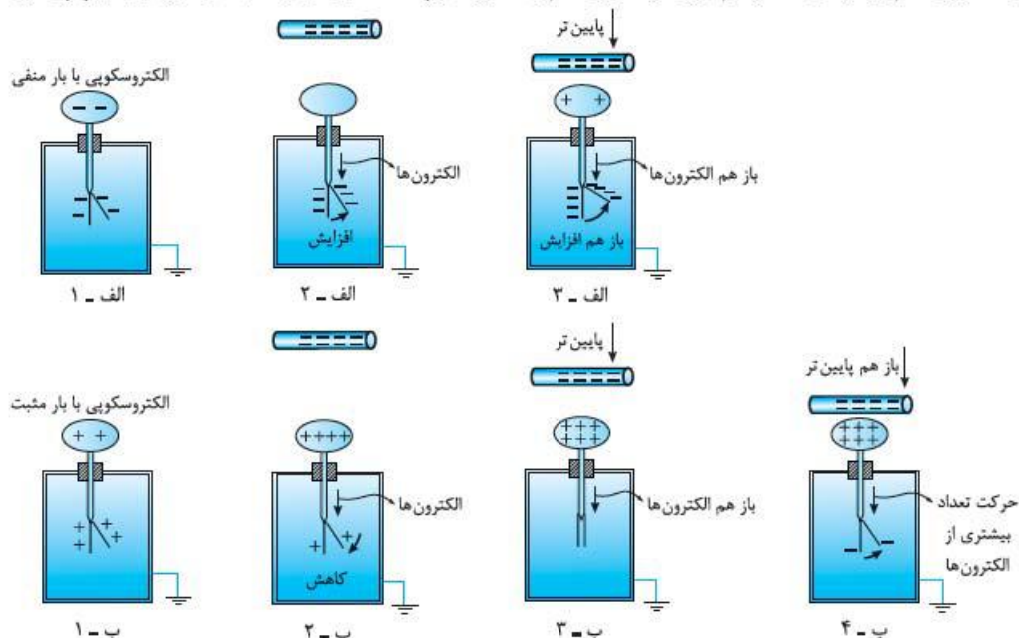
۱- تشخیص وجود بار الکتریکی در یک جسم

برای این کار جسم موردنظر را به کلاهک یک الکتروسکوپ خنثی می‌کنیم؛ اگر مانند شکل زیر، 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 دورتر 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؟

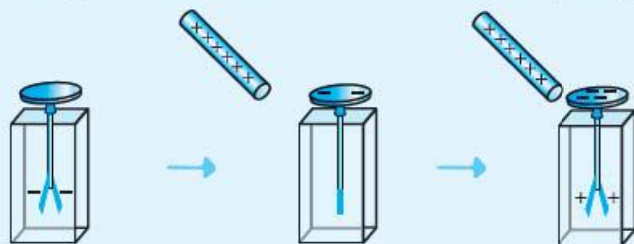
(۱) خنثی یا مثبت

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:

(۲) خنثی یا منفی

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 گزینه (۳) می پردازیم. مطابق شکل زیر با نزدیک کردن میله با بار مثبت، بار منفی تیغه به سمت



کلاhek می رود و در نتیجه بار آن خنثی و تیغه ها بسته می شوند. با نزدیک تر کردن میله، الکترون بیشتری به کلاhek 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 عبارتهای 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 الکتریسیته مالشی (تربیوالکتریک)، 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 الکتریسیته 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 کلاhek یک الکتروسکوپ خنثی نزدیک می کنیم و در این حالت دست دیگر خود را به کلاhek می زنیم و جدا می کنیم. با دور کردن میله باردار از کلاhek، کلاhek 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 کلاhek یک الکتروسکوپ که بار منفی دارد، نزدیک می کنیم. صفحات الکتروسکوپ چگونه تغییر می کنند؟

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

با مالش یک گریه به سرتان چون الکترون خواهی کم تر است، بار گریه 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 گریه را می کند.

سری الکتریسیته مالشی (تربیوالکتریک)

انتهای مثبت سری

موی انسان

شیشه

نایلون

سلفون

پشم

موی گریه

سُرب

ابریشم

آلومینیم

پوست انسان

کاغذ

چوب

پارچه کتان

کهریا

برنج، مس

پلاستیک، پلی اتیلن

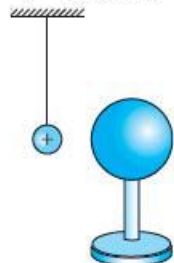
لاستیک

تفلون

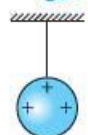
انتهای منفی سری

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)

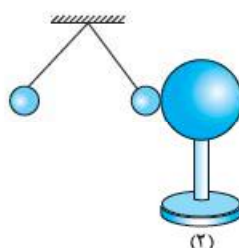
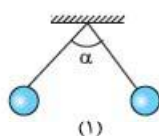
۱۴- یک کره فلزی بدون بار الکتریکی را که روی پایه نارسنایی قرار دارد، به آونگ الکتریکی بارداری نزدیک می‌کنیم. با ذکر دلیل توضیح دهید چه اتفاقی می‌افتد.



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)



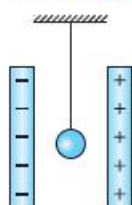
۱۶- شکل (۱) دو آونگ الکتریکی کاملاً مشابه با بارهای مثبت و هم‌اندازه را نشان می‌دهد که با یکدیگر زاویه α ساخته‌اند. یک کره رسانای بدون بار را با پایه عایق مطابق شکل (۲) به گلوله یکی از آونگ‌ها تماس داده و سپس دور می‌کنیم.
(ریاضی فردار ۹۳)



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؟
(کنکور سراسری تجربی خارج از کشور ۹۰)

(۱) A و C بار هم‌نام و هم‌اندازه دارند.

(۲) B و C بار غیرهم‌نام دارند.

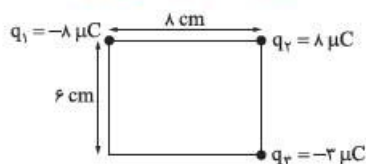
(۳) B بدون بار و C باردار است.

(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 میله 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 قاجار 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 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 بار q_1 باشد، در کنار q_1 قرار می‌دهیم، به آن نیرو وارد می‌شود:



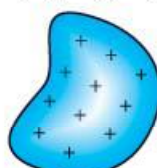
در واقع وقتی q_2 را در مکانی اطراف q_1 می‌گذاریم، تحت تأثیر میدان الکتریکی‌ای قرار می‌گیرد که q_1 قبلاً در آن مکان ایجاد کرده است و در نتیجه به آن نیرو وارد می‌شود. میدان الکتریکی را که کمیتی برداری است با $\vec{E}$ نشان می‌دهیم.

تعریف کمی میدان الکتریکی

فرض کنید یک جسم باردار به شکل زیر داریم. یک 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

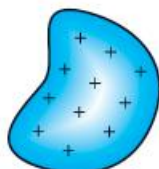


جسم باردار

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

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.



جسم باردار

احتمالاً یکای میدان الکتریکی را با توجه به رابطه $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$ 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 هسته اورانیم $2 \times 10^{21} \text{ N/C}$ است.

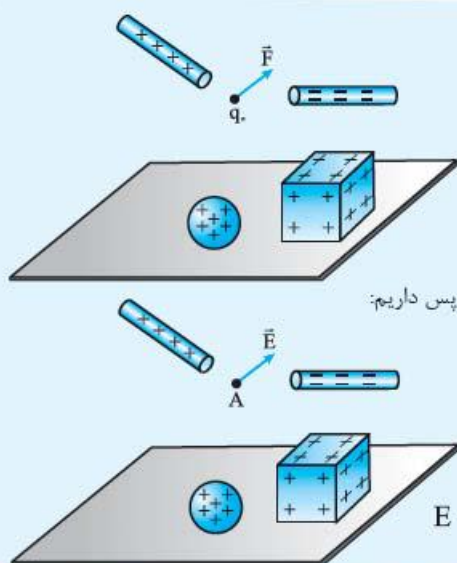
نکته همان‌طور که در شکل بالا می‌بینید، ایجاد میدان الکتریکی توسط جسم باردار ربطی به حضور بار دوم (در این‌جا q_0) ندارد و خاصیت حاصل از جسم باردار اول است.



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

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

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:

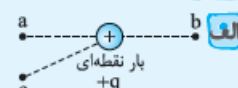
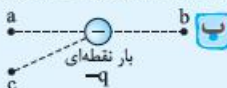
$$E = \frac{F}{q_0} = \frac{4/8 \times 10^{-6} \text{ N}}{1/6 \text{ nC}} = \frac{4/8 \times 10^{-6} \text{ N}}{1/6 \times 10^{-9} \text{ C}} = 3 \times 10^3 \text{ N/C}$$

میدان الکتریکی حاصل از یک بار نقطه‌ای

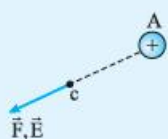
در این قسمت می‌خواهیم جهت و اندازه میدان حاصل از یک بار نقطه‌ای را مشخص کنیم. برای تعیین جهت میدان اطراف یک بار نقطه‌ای، اول از شما می‌خواهیم، مثال زیر را خودتان حل کنید.

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 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 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 $4 \mu C$ در نقطه A ، به فاصله 20 سانتی‌متری از این بار، چند N/C است؟

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

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

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

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 $q = -1 \mu C$ در نقطه A ، $2 \times 10^5 N/C$ است. (ریاضی شوریور ۹۰)

$$q \ominus \cdots \cdots \cdots A$$

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

$$q \ominus \cdots \cdots \cdots \vec{E} \cdots \cdots A$$

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

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: $E_r = \frac{E_1}{2} \Rightarrow E_r = \frac{2 \times 10^5 N/C}{2} = 10^5 N/C$

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

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:

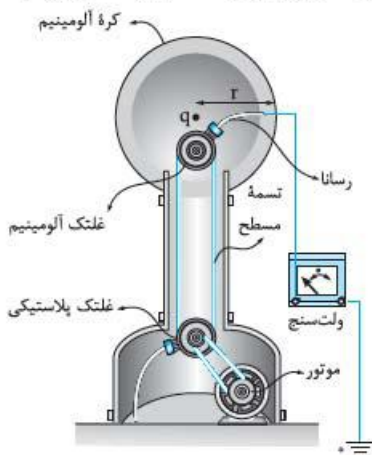
$$\frac{E_1}{E_r} = \frac{q_1}{q_r} \times \left(\frac{r_r}{r_1}\right)^2 \xrightarrow{q_1=q_r} \frac{2 \times 10^5 N/C}{10^5 N/C} = 1 \times \left(\frac{3 \times 10^{-1} m}{r_1}\right)^2$$

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

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

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، می‌وان 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.

(تجربی شهریور ۹۳)

(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 SI کولن بر متر مربع است.

(تجربی فروردین ۹۶)

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

(تجربی شهریور ۹۳)

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

(ریاضی فروردین ۹۳)

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

(تجربی دی ۸۸)

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

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

۴۲- برای تعیین میدان الکتریکی در نقطه‌ای از فضا، بار آزمون $+2.0 \text{ nC}$ را در آن نقطه قرار می‌دهیم. نیروی الکتریکی $5 \times 10^{-3} \text{ N}$ در راستای جنوب - 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 $-2 \mu\text{C}$ را در نقطه M به فاصله:

(الف) 2 m (ب) 20 m

از این بار الکتریکی محاسبه کنید.

۴۴- هسته آهن، شعاعی در حدود $4 \times 10^{-15} \text{ m}$ دارد و شامل ۲۶ پروتون است.

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

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

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

برایند میدان‌های الکتریکی



برای به دست آوردن میدان الکتریکی خالص (برایند) حاصل از چند ذره باردار در نقطه‌ای از فضا، ابتدا میدان الکتریکی ناشی از هر ذره را در آن

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

نقطه تعیین می‌کنیم و بعد این میدان‌ها را به صورت برداری با هم جمع می‌کنیم:

پاسخ سؤال‌های امتحانی

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 باردار شده، 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 این‌که وقتی دو جسم را به هم مالش می‌دهیم، کدام جسم الکترون می‌گیرد و کدام یک الکترون از دست می‌دهد.

پ) 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 الکتریسته مالشی (تریبول‌الکتریک)، 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 می‌ربایند 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، الکترون‌خواهی 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.

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

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

$$n = \frac{1 \text{ C}}{1/6 \times 10^{-19} \text{ C}} = 625 \times 10^{16}$$

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

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

۷- **گام دوم:** حالا مقدار بار را به دست می‌آوریم:

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

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

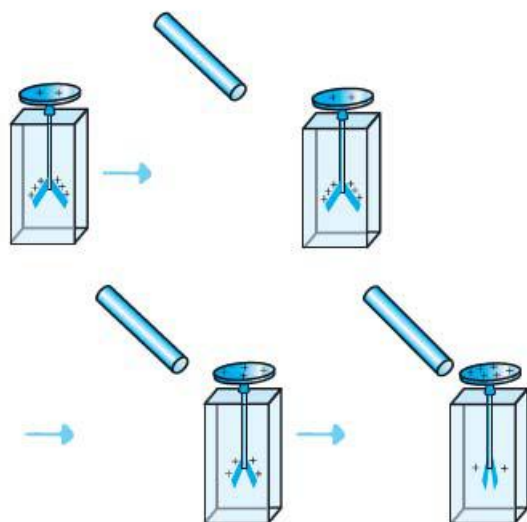
$$q = ne = 3 \times 1/6 \times 10^{-19} \text{ C} = 4/8 \times 10^{-19} \text{ C}$$

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.

۲۰- چون الکتروسکوپ باردار است، وقتی یک میلهٔ 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.



۲۱- الف) نیروی کولنی - نیروی الکتریکی - نیروی الکترواستاتیکی (هر کدام رو بنویسین درست).

ب) هم‌راستا

۲۲- الف) چهار برابر

ب) یکای ضریب گذردهی الکتریکی ϵ_0

پ) خلاف جهت یکدیگر - این موضوع به این خاطر است که نیرویی که دو جسم باردار به هم وارد می‌کنند، عمل و عکس‌العمل هم هستند.

ت) دو برابر (ث) وارون

۲۳- نیروی الکتریکی (الکترواستاتیکی) بین دو بار نقطه‌ای که در راستای خط مستقیم بین آن‌ها اثر می‌کند، با حاصل ضرب بزرگی آن‌ها نسبت مستقیم است و با مجذور فاصلهٔ بین آن‌ها نسبت عکس دارد.

۲۴- الف) نیروی الکتریکی که کرهٔ (۱) به کرهٔ (۲) وارد می‌کند، عکس‌العمل نیروی الکتریکی‌ای است که کرهٔ (۲) به کرهٔ (۱) وارد می‌کند؛ پس، اندازهٔ این دو نیرو با هم برابر است و فرقی نمی‌کند جرم و بار هر کدام چه قدر است.

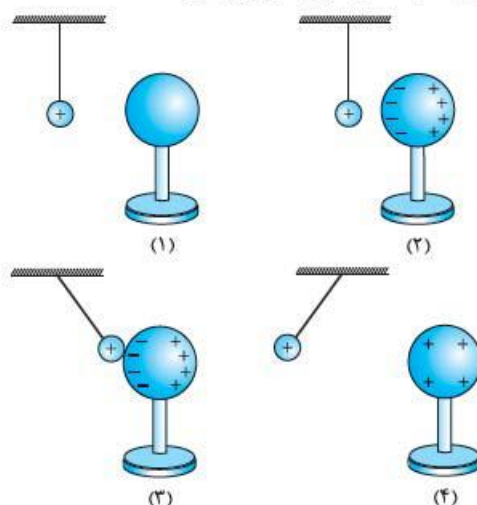
ب) چون اندازهٔ نیروها باهم برابر است، طبق قانون دوم نیوتون داریم:

$$F_1 = F_2 \Rightarrow m_1 a_1 = m_2 a_2 \Rightarrow \frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2}{m_1} \Rightarrow \frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2}{\frac{1}{2} m_2} = 2$$

۲۵- دو بار ناهم‌نام هستند؛ پس، نیروی بین آن‌ها راپیشی است. بزرگی نیرو هم برابر است با:

$$F = k \frac{|q_1| |q_2|}{r^2} = 9 \times 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2} \times \frac{(2 \mu C) \times (\Delta \mu C)}{(3 m)^2} = 9 \times 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2} \times \frac{(2 \times 10^{-6} C) \times (\Delta \times 10^{-6} C)}{9 m^2} = 10^{-2} N$$

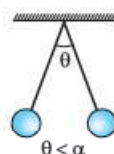
۱۴- اتفاقی مشابه اتفاق سؤال قبلی رخ می‌دهد:



۱۵- جذب - دفع

۱۶- الف) بعد از تماس، گلولهٔ آونگ مقداری از بارش را به کره می‌دهد و نیروی بین دو گلولهٔ آونگ به علت کم‌شدن بار الکتریکی، کاهش می‌یابد و زاویهٔ 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 صفحهٔ 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 صفحهٔ 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، گزینهٔ «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.

گام دوم: q_2 را در نظر نمی‌گیریم و نیروی وارد بر q_1 از طرف q_2 را به دست می‌آوریم. همان‌طور که در شکل بالا می‌بینید، این نیرو خلاف

جهت $\vec{i}$ است:

$$\vec{F}_{12} = k \frac{|q_1||q_2|}{r_{12}^2}$$

$$= (9 \times 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}) \frac{(\lambda \times 10^{-6} C)(\lambda \times 10^{-6} C)}{(\lambda \times 10^{-2} m)^2} = 90 \text{ N}$$

$$\Rightarrow \vec{F}_{12} = (-90 \text{ N})\vec{i}$$

گام سوم: این دفعه q_1 را کنار می‌گذاریم و $\vec{F}_{22}$ را تعیین می‌کنیم. چون این نیرو در خلاف جهت $\vec{j}$ است، داریم:

$$\vec{F}_{22} = k \frac{|q_2||q_2|}{r_{22}^2}$$

$$= (9 \times 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}) \frac{(3 \times 10^{-6} C)(\lambda \times 10^{-6} C)}{(6 \times 10^{-2} m)^2} = 60 \text{ N}$$

$$\Rightarrow \vec{F}_{22} = (-60 \text{ N})\vec{j}$$

گام چهارم: با توجه به گام دوم و سوم، نیروی برآیند برابر است با:

$$\vec{F}_T = (-90 \text{ N})\vec{i} + (-60 \text{ N})\vec{j}$$

اندازه F_T هم از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$F_T = \sqrt{90^2 + 60^2} = \sqrt{11700} \text{ N}$$

۳۹- الف) درست

ب) نادرست؛ با مجذور فاصله از بار رابطه عکس دارد.

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

ت) نادرست؛ یکای میدان الکتریکی در SI نیوتون بر کولن است.

۴۰- الف) میدان الکتریکی

ب) هم‌جهت

پ) برداری - N/C

۴۱- مانند آن‌چه که در شیمی دهم خواندید، میدان الکتریکی حاصل

از بادکنک، جهت‌گیری مولکول‌های قطبی آب را تغییر می‌دهد. به

این ترتیب، مولکول‌های آب طوری قرار می‌گیرند که جذب بادکنک

شوند. اگر بار بادکنک مثبت باشد، سر منفی مولکول‌ها نزدیک بادکنک قرار

می‌گیرد و اگر بار بادکنک منفی باشد، سر مثبت مولکول‌ها نزدیک بادکنک

قرار می‌گیرد و به این ترتیب آب به هنگام فرو ریختن خمیده می‌شود.

۴۲- با توجه به تعریف میدان الکتریکی داریم:

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

جهت میدان الکتریکی نیز به سمت شمال است!

۴۳- روش اول: الف) با استفاده از رابطه $\frac{kq}{r^2}$ بزرگی میدان را به دست می‌آوریم:

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

حالا نوبت به $\vec{F}_{21}$ می‌رسد. این دفعه باید q_2 را نادیده بگیریم:

$$\vec{F}_{21} = k \frac{|q_2||q_1|}{r_{21}^2}$$

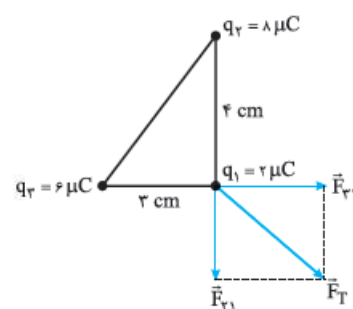
$$= (9 \times 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}) \frac{(3 \times 10^{-6} C)(4 \times 10^{-6} C)}{(2 \times 10^{-2} m)^2}$$

$$\Rightarrow F_{21} = 270 \text{ N} \Rightarrow \vec{F}_{21} = -270 \text{ N}\vec{j}$$

بنابراین داریم:

$$\vec{F}_T = \vec{F}_{21} + \vec{F}_{11} = (-120 \text{ N})\vec{i} + (-270 \text{ N})\vec{j}$$

۳۷- ابتدا جهت نیروهای وارد بر q_1 را مشخص می‌کنیم. با توجه به این که بارها مثبت هستند، دو نیرو به صورت دافعه است.



مثل همیشه عمل می‌کنیم. ابتدا q_2 را در نظر نمی‌گیریم و F_{31} را به

$$\vec{F}_{31} = k \frac{|q_3||q_1|}{r_{31}^2}$$

دست می‌آوریم:

$$= (9 \times 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}) \frac{(6 \times 10^{-6} C)(2 \times 10^{-6} C)}{(3 \times 10^{-2} m)^2}$$

$$= 120 \text{ N} \Rightarrow \vec{F}_{31} = (120 \text{ N})\vec{i}$$

حالا q_2 را در نظر نمی‌گیریم و $\vec{F}_{21}$ را به دست می‌آوریم:

$$\vec{F}_{21} = k \frac{|q_2||q_1|}{r_{21}^2}$$

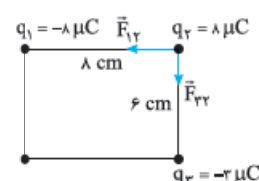
$$= (9 \times 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}) \frac{(\lambda \times 10^{-6} C)(2 \times 10^{-6} C)}{(4 \times 10^{-2} m)^2} = 90 \text{ N}$$

$$\Rightarrow \vec{F}_{21} = (-90 \text{ N})\vec{j}$$

در نتیجه برآیند نیروهای الکتریکی وارد بر بار q_1 برابر است با:

$$\vec{F}_T = \vec{F}_{31} + \vec{F}_{21} = (120 \text{ N})\vec{i} + (-90 \text{ N})\vec{j}$$

۳۸- گام اول: جهت نیروهای وارد بر q_2 را مشخص می‌کنیم:



گام دوم: اندازه میدان حاصل از هر کدام از بارها در نقطه مورد نظر را به دست می آوریم:

$$E_1 = k \frac{q_1}{r_1^2} = (9 \times 10^9 \frac{N.m^2}{C^2}) \frac{(4 \times 10^{-6} C)}{(3 \times 10^{-2} m)^2}$$

$$= 4 \times 10^9 N/C$$

$$E_2 = k \frac{q_2}{r_2^2} = (9 \times 10^9 \frac{N.m^2}{C^2}) \frac{(6 \times 10^{-6} C)}{(3 \times 10^{-2} m)^2}$$

$$= 6 \times 10^9 N/C$$

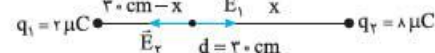
گام سوم: حالا براساس اصل برهم نهی میدان های الکتریکی داریم:

$$E = E_1 + E_2 \Rightarrow E = 4 \times 10^9 N/C + 6 \times 10^9 N/C$$

$$= 10 \times 10^9 N/C = 10^9 N/C$$

۴۷- چون بارها هم علامت هستند، این نقطه مطابق شکل زیر، بین دو

بار قرار دارد:



با مساوی صفر قراردادن جمع بردار میدان ها داریم:

$$\vec{E}_1 + \vec{E}_2 = 0 \Rightarrow \vec{E}_1 = -\vec{E}_2 \Rightarrow |E_1| = |E_2|$$

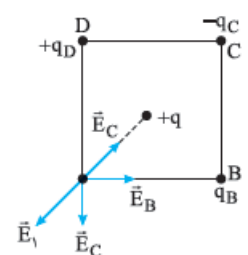
$$\Rightarrow \frac{kq_1}{(0.3 m - x)^2} = \frac{kq_2}{x^2} \Rightarrow \frac{q_2}{q_1} = \frac{x^2}{(0.3 m - x)^2}$$

$$\Rightarrow \left(\frac{x}{0.3 m - x}\right)^2 = 4$$

$$\Rightarrow \frac{x}{0.3 m - x} = 2 \Rightarrow x = 2 \times (0.3 m - x)$$

$$= 0.6 m - 2x \Rightarrow 3x = 0.6 m \Rightarrow x = 0.2 m$$

۴۸- این سؤال یکی از سؤال های بسیار خوب چند سال اخیر در امتحان نهایی بوده است. برای این که میدان در نقطه A صفر شود، باید بار در نقطه ای قرار گیرد که روی خط وصل $q_1 = +q$ و نقطه A باشد. این



موضوع به این خاطر است که اگر بار دوم روی این خط نباشد، نمی تواند یک میدان در راستای میدان q_1 در نقطه A و در خلاف جهت آن ایجاد کند. برای نمونه به شکل روبه رو نگاه کنید:

همان طور که در شکل بالا می بینید، میدان های حاصل از دو بار $-q_B$ و $+q_C$ در راستای میدان $\vec{E}$ حاصل از بار $+q$ نیست و نمی تواند آن را خنثی کند. پس با توجه به شکل، فقط بار واقع در نقطه C می تواند میدانی هم راستا با E ایجاد کند. از طرفی چون E_C باید در خلاف جهت E باشد، نوع بار واقع در C باید منفی باشد.

(ب) به همین ترتیب می توانیم E_2 را به دست آوریم:

$$E_2 = \frac{9 \times 10^9 \times 2 \times 10^{-6}}{400} = 4.5 \times 10^4 N/C$$

روش دوم: برای به دست آوردن E_2 می توانیم از رابطه $E_2 = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 E_1$ استفاده کنیم:

$$\frac{E_2}{E_1} = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 = \left(\frac{1}{2}\right)^2 = \frac{1}{4}$$

$$\Rightarrow E_2 = \frac{4.5 \times 10^4}{4} = 1.125 \times 10^4 N/C$$

۴۴- الف) با استفاده از قانون کولن، نیروی بین دو پروتون را به دست می آوریم:

$$F = \frac{ke^2}{r^2} = \frac{9 \times 10^9 \times (1.6 \times 10^{-19})^2}{(4 \times 10^{-15})^2} = 1/44 \times 10^9 N$$

(ب) چون $4 nm / 4 = 1000000$ ، برابر $4 \times 10^{-15} m$ است، همه پروتون ها را یک نقطه فرض می کنیم و میدان را به دست می آوریم:

$$E = \frac{kq}{r^2} = \frac{9 \times 10^9 \times (26 \times 10^6 \times 1.6 \times 10^{-19} C)}{(4 \times 10^{-10} m)^2}$$

$$= 23/4 \times 10^{-10} N/C$$

۴۵- شکل زیر یک سازوکار آزمایشگاهی برای مشاهده این نتیجه را نشان می دهد. دو شمع، یکی در فاصله ای نزدیک و دیگری در فاصله ای دور از کلاهک یک مولد وان دوگراف قرار گرفته اند. همان طور که مشاهده می کنید، شعله شمع نزدیک تر، به سمت کلاهک کشیده شده است، در حالی که شعله شمع دورتر تغییر چندانی نکرده است. دلیل آن است که کلاهک مولد وان دوگراف بار منفی بزرگی دارد که یون های مثبت درون شعله شمع نزدیک تر را به سمت خود می کشد، در حالی که شمع دیگر در فاصله دوری از کلاهک قرار گرفته است که تحت تأثیر میدان الکتریکی ضعیفی قرار می گیرد.



۴۶- گام اول: با توجه به مثبت بودن q_1 و منفی بودن q_2 جهت میدان حاصل از هر کدام را مطابق شکل زیر مشخص می کنیم:

