فصل اول

۱

الکتریسیته ساکن

۱ بار الکتریکی

الکتریسیته:

واژه **الکتریسیته** از واژه یونانی الکترون (*elektron*) گرفته شده است که به معنی **کهربا** است.

الکتریسیته ساکن:

به مطالعه بارها در **حالت سکون**، **الکتریسیته ساکن** گفته می‌شود.

بار الکتریکی:

وقتی دو جسم به یک‌دیگر مالش داده می‌شوند، معمولاً هر دوی آن‌ها دارای بار الکتریکی می‌شوند و به یک‌دیگر نیرو وارد می‌کنند.

▼ **مثال ۱) چند نمونه از پدیده‌هایی که در اطراف ما اتفاق می‌افتند و منشأ آن‌ها الکتریکی است را نام ببرید:**

(مرتبط با صفحه ۲ کتاب درسی)

پاسخ

۱- آذرخش ۲- درخشش لامپ روشنایی ۳- پیوند بین اتم‌ها در تشکیل مولکول‌ها

۴- انتقال پیام‌های عصبی در دستگاه اعصاب ۵- چسبیدن نوار سلوفان بر ظروف پلاستیکی

۶- بالا رفتن یک مارمولک از دیوار ۷- وسایل برقی اطراف ما

۸- کشش و جذب خرده‌های کاه توسط کهربا

▼ **مثال ۲) نمونه‌هایی از تجربه و حس ما از الکتریسته ساکن را در زندگی روزمره نام ببرید:**

(مرتبط با صفحه ۲ کتاب درسی)

پاسخ

۱- وقتی لباس‌های بافتنی را از تن خارج می‌کنیم و سپس یک دستگیره فلزی را لمس می‌کنیم.

۲- وقتی چند قدم روی فرش راه برویم و سپس یک جسم فلزی را لمس کنیم.

در هر دو تجربه بالا عملاً الکتریسته ساکن حس می‌شود و یا به‌صورت شوک الکتریکی به ما وارد می‌شود.

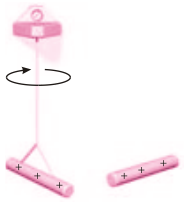
▼ **مثال ۳) وقتی دو میله پلاستیکی را با پارچه پشمی مالش دهیم و آن‌ها را به یک‌دیگر نزدیک می‌کنیم، چه اتفاقی می‌افتد؟ (با رسم شکل توضیح دهید)**

(مطابق با شکل ۱- ۴ کتاب درسی)

پاسخ

مطابق شکل، وقتی دو میله پلاستیکی را با پارچه پشمی مالش می‌دهیم، دو میله دارای بار منفی شده و هم‌دیگر را دفع می‌کنند.

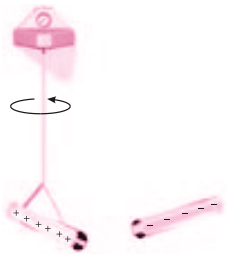
▼ مثال ٤) وقتی دو میله شیشه‌ای را با پارچه ابریشمی مالش دهیم و آن‌ها را به یک‌دیگر نزدیک کنیم چه اتفاقی می‌افتد؟ (با رسم شکل توضیح دهید)



(مطابق با شکل ۱- ۴ کتاب درسی)

پاسخ مطابق شکل، وقتی دو میله شیشه‌ای را با پارچه ابریشمی مالش می‌دهیم، دو میله دارای بار مثبت شده و هم‌دیگر را دفع می‌کنند.

▼ مثال ٥) وقتی میله پلاستیکی مالش داده شده با پارچه پشمی را به میله شیشه‌ای مالش داده شده با پارچه ابریشمی نزدیک کنیم، چه اتفاقی می‌افتد؟



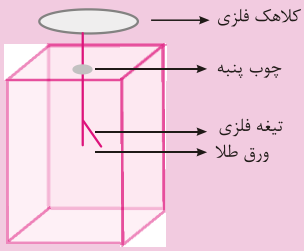
(مطابق با شکل ۱- ۴ کتاب درسی)

پاسخ وقتی میله پلاستیکی با پارچه پشمی مالش داده می‌شود، میله پلاستیکی دارای بار منفی می‌شود و وقتی میله شیشه‌ای با پارچه ابریشمی مالش داده میشود، میله دارای بار مثبت می شود. در نتیجه وقتی میله پلاستیکی را به میله شیشه‌ای نزدیک می‌کنیم، یک‌دیگر را جذب می‌کنند.

تذکر:

کلاً دو نوع بار الکتریکی وجود دارد که توسط دانشمند آمریکایی «بنیامین فرانکلین» به نام بارهای مثبت و منفی نام‌گذاری شده‌اند. استفاده از علامت‌های جبری در نام‌گذاری این دو بار این مزیت را دارد که، وقتی در یک جسم از این دو نوع بار به مقدار مساوی وجود داشته باشد، جمع جبری بارهای جسم صفر می‌شود که به معنای «خنثی بودن» آن جسم است.

الکتروسکوپ:



وسیله‌ای است دارای یک ورقه نازک طلا که روی یک تیغه فلزی قرار دارد و تیغه فلزی به یک کلاهک رسانا متصل است که مجموع کلاهک، تیغه فلزی و ورقه طلا در یک قاب عایق قرار دارد.

از الکتروسکوپ می‌توان در موارد زیر استفاده کرد:

الف) تشخیص باردار بودن اجسام: برای این منظور کافی است، جسم را به کلاهک الکتروسکوپ نزدیک کنیم. اگر ورقه‌ها از هم فاصله بگیرند، نشانه باردار بودن جسم است.

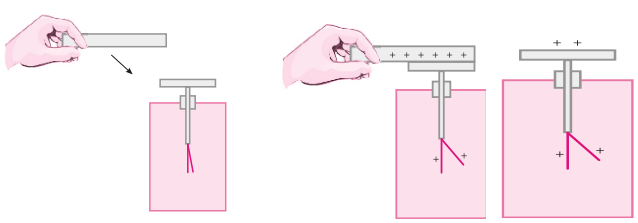
تذکر:

برای تشخیص باردار بودن اجسام، نیازی به باردار بودن الکتروسکوپ نیست.

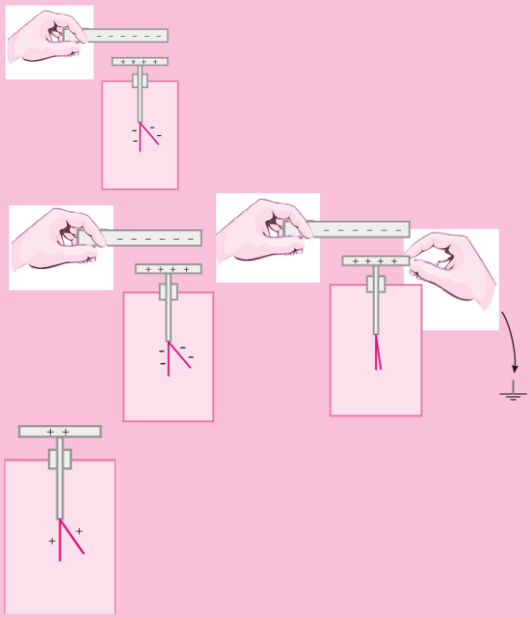
▼ مثال ٦) هرگاه جسمی دارای بارالکتریکی (مثلاً یک میله شیشه‌ای با بار مثبت) را به کلاهک الکتروسکوپ بدون بار تماس دهیم، با رسم شکل نشان دهید چه اتفاقی خواهد افتاد؟

(مرتبط با صفحه ۳ کتاب درسی)

پاسخ مطابق شکل اگر یک میله شیشه‌ای با بار مثبت را به کلاهک یک الکتروسکوپ بدون بار تماس دهیم، قسمتی از بارهای الکتریکی به کلاهک دستگاه منتقل می‌شود و در این صورت، الکتروسکوپ دارای بار الکتریکی می‌گردد و بارهای الکتریکی در آن پخش می‌شود و ورقه‌های طلا دارای بار الکتریکی می‌شوند و یک‌دیگر را دفع می‌کنند و از هم دورمی‌شوند.



نکته: نحوه باردار کردن یک الکتروسکوپ به صورت زیر است:



۱- میله پلاستیکی با بار الکتریکی منفی را به کلاهک الکتروسکوپ نزدیک کنید.

۲- سیم اتصال زمین را برای یک لحظه به کلاهک تماس دهید تا بارهای الکتریکی منفی الکتروسکوپ از طریق زمین تخلیه گردد و تنها بار مثبت در الکتروسکوپ باقی بماند.

۳- میله پلاستیکی را از کلاهک دور کنید، در پایان الکتروسکوپ دارای بار الکتریکی مثبت می‌گردد و دو ورقه نازک طلا از هم دور می‌مانند.

تذکر:

اگر آزمایش بالا را با میله شیشه‌ای با بار مثبت انجام دهیم، در پایان، الکتروسکوپ دارای بار منفی خواهد شد و دو ورقه نازک طلا دوباره از هم دور می‌شوند.

ب) تشخیص نوع بار اجسام:

برای تشخیص نوع بار اجسام، حتماً باید الکتروسکوپ باردار و نوع بار آن نیز برای ما معلوم باشد. به همین منظور، جسم باردار را به آرامی از بالا به کلاهک نزدیک می‌کنیم. اگر انحراف ورقه‌های الکتروسکوپ بیش‌تر شود، نوع بار جسم هم‌نام با بار الکتروسکوپ است و اگر انحراف برای لحظه‌ای کم شود، بار جسم مخالف بار الکتروسکوپ است.

پ) تشخیص رسانا یا نارسانا بودن اجسام:

برای تشخیص رسانایی اجسام باید الکتروسکوپ باردار باشد ولی نوع بار برای ما مهم نیست. به این منظور هرگاه جسم را به کلاهک الکتروسکوپ باردار تماس دهیم، اگر جسم رسانا باشد، قسمتی از بارهای الکتریکی الکتروسکوپ به جسم منتقل شده و فاصله دو ورقه طلا از هم کم می‌شود (و حتی ممکن است از بین برود) و اگر نارسانا باشد، انحراف ورقه‌ها تغییر محسوسی نخواهد کرد.

▼ مثال ۷) آیا با الکتروسکوپ می‌توان مقدار بار دو کره هم‌اندازه، رسانا و باردار را با یک‌دیگر مقایسه کرد؟

(مرتبط با صفحه ۳ کتاب درسی)

پاسخ *بله. زیرا وقتی بار الکتریکی یکی از کره‌ها بیش‌تر از کره دوم باشد، با نزدیک کردن آن‌ها به کلاهک الکتروسکوپ زاویه دو ورقه طلا بیش‌تر تغییر می‌کند، زیرا بار الکتریکی بیش‌تری القا می‌شود. به عبارت دیگر، میزان انحراف ورقه‌ها می‌تواند معیاری برای نشان دادن میزان بار دو جسم باشد.*

▼ مثال ۸) میله‌ای با بار الکتریکی مثبت را به آرامی به کلاهک الکتروسکوپ نزدیک می‌کنیم. ورقه‌های الکتروسکوپ نخست بسته و سپس از هم باز می‌شوند. بار الکتریکی قبلی الکتروسکوپ ازچه نوع بوده است؟

(مرتبط با صفحه ۳ کتاب درسی- سراسری تجربی ۷۷)

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

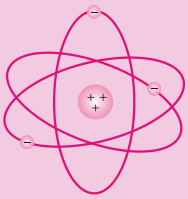
پاسخ *با توجه به این‌که ورقه‌های الکتروسکوپ ابتدا بسته شده‌اند پس قطعاً بار الکتریکی الکتروسکوپ مخالف بار میله بوده است. بنابراین بار الکتریکی قبلی الکتروسکوپ منفی بوده است.*

گزینه ۲ صحیح است.

ساختار اتم، اجسام و بار الکتریکی:

در مطالعه ساختار اتم به نکات زیر توجه کنید:

۱- اتم از دو قسمت هسته و الکترون‌ها تشکیل شده است. (مطابق شکل)



۲- هسته فضای بسیار کوچکی از اتم را اشغال می‌کند و الکترون‌ها در فاصله نسبتاً دوری از هسته به دور آن می‌چرخند.

۳- قطر اتم تقریباً ۱۰۰،۰۰۰ برابر هسته است. (قطر اتم از مرتبه $10^{-10}m$ و قطر هسته اتم از مرتبه $10^{-15}m$ است)

۴- هسته خود از ذره‌های ریزتری به‌نام پروتون(p) و نوترون(n) تشکیل شده است.

۵- به‌طور قراردادی، بار الکتریکی الکترون را منفی و بار الکتریکی پروتون را مثبت انتخاب کرده‌اند اما اندازه یا بزرگی بار الکتریکی آن‌ها برابر است.

۶- نوترون ذره‌ای بدون بار الکتریکی است.

۷- در حالت عادی، تعداد پروتون‌های موجود در هسته هر اتم برابر تعداد الکترون‌های آن اتم است. در نتیجه اتم از نظر الکتریکی بدون بار یا خنثی است.

۸- اندازه بار منفی الکترون دقیقاً برابر با اندازه بار مثبت پروتون است و این مقدار را بار بنیادی (با نماد e) می‌نامند.

تذکر: فیزیک‌دان آمریکایی میلیکان، با آزمایش، مقدار بار الکتریکی هر الکترون را اندازه‌گیری و مقدار آن را تقریباً $1/6\times10^{-19}C$ گزارش کرد و به‌خاطر آن جایزه نوبل را در سال ۱۹۲۳ میلادی دریافت کرد. نتیجه اندازه‌گیری بار بنیادی e در سال ۲۰۰۵ برابر است با:

$e=1/602176534\times10^{-19}C\approx1/6\times10^{-19}C$

بار الکتریکی الکترون $=-e=-1/6\times10^{-19}C$

بار الکتریکی پروتون $=+e=1/6\times10^{-19}C$

۹- به تعداد پروتون‌های موجود در هسته یک اتم، **عدد اتمی** آن عنصر گویند و با نماد Z نمایش می‌دهند.

تعداد پروتون‌ها $=Z$ (عدد اتمی)

۱۰- جدول زیر به‌طورخلاصه، جرم و بار الکتریکی اجزای اتم را نشان می‌دهد.

نام ذره	بار (C)	جرم(kg)
الکترون	$-1/6\times10^{-19}$	$9/1\times10^{-31}$
پروتون	$+1/6\times10^{-19}$	$1/27\times10^{-27}$
نوترون	۰	$1/78\times10^{-27}$

با توجه به جدول واضح است که:

$$m_n > m_p > m_e$$

جرم الکترون< جرم پروتون< جرم نوترون

۲ پایستگی و کوانتیده بودن بار الکتریکی

قبل از بررسی دو اصل مهم پایستگی و کوانتیده بودن بار الکتریکی، نکات زیر قابل توجه‌اند:

۱- اجسام در حالت عادی از اتم‌های خنثی درست شده‌اند و بنابراین از نظر الکتریکی خنثی هستند. به‌عبارت دیگر در یک اتم خنثی، تعداد الکترون‌ها برابر با تعداد پروتون‌های هسته است. پس جمع جبری همه بارها (بار خالص) دقیقاً برابر صفر است.

۲- وقتی دو جسم خنثی به یک‌دیگر مالش داده می‌شوند، تعدادی الکترون از یکی از آن‌ها به دیگری منتقل می‌شود. جسمی که الکترون از دست می‌دهد، تعداد الکترون‌هایش کم‌تر از تعداد پروتون‌هایش است و بار الکتریکی آن مثبت می‌شود و برعکس جسمی که الکترون اضافی دریافت می‌کند دارای بار الکتریکی منفی می‌شود.

۳- در یک جسم بدون بار، افزایش تعداد الکترون‌ها، بار جسم را منفی و کاهش تعداد الکترون‌ها بار جسم را مثبت می‌کند.

تذکر: برای باردار کردن جسم، جدا کردن پروتون از اتم یک عنصر، در تجربه‌های معمولی امکان‌پذیر نیست.

اصل پایستگی بار الکتریکی

جمع جبری همه بارهای الکتریکی در یک دستگاه منزوی (دستگاهی که نه از محیط اطراف خود بار می‌گیرد و نه به آن بار می‌دهد) ثابت است، یعنی بار می‌تواند از جسمی به جسم دیگر منتقل شود ولی هرگز امکان تولید یا نابودی یک بار خالص وجود ندارد.

اصل کوانتیده بودن بار الکتریکی

با توجه به رابطه $q=\pm ne$، بار الکتریکی هر جسم مضرب صحیحی از یک مقدارپایه است که آن مقدار پایه بار یک الکترون است. به عبارتی دیگر حاصل $\frac{q}{e}$ برای یک جسم، نمی‌تواند هر مقداری داشته باشد و حاصل آن حتماً باید یک عدد صحیح باشد.

(e: مقدار پایه و n: مضرب صحیح) ..... $n=1,2,$ ، $q=\pm ne$

نکته: اگر طبق تعریف اندازه بار الکتریکی هر الکترون را e در نظر بگیریم؛ $e=1/6\times10^{-19}C$، آن‌گاه:

زمانی که به یک جسم خنثی n الکترون داده می‌شود، بار الکتریکی جسم برابر است با:

$q=-ne(n=1,2,....)$

هم‌چنین اگر n الکترون از جسمی گرفته شود، بار الکتریکی جسم برابر است با:

$q=+ne(n=1,2,....)$

نکته: یکای بار الکتریکی در دستگاه SI، کولن(C) است که یک کولن مقدار بار بزرگی است و مثلاً در یک آذرخش، باری از مرتبه $10C$ به زمین منتقل می‌شود یا در مالش شانه پلاستیکی با موهای سر، بارهای منتقل شده از مرتبه نانوکولن (nC) هستند.

▼ مثال ۹) وقتی روی فرش راه می‌روید و بدنتان بار الکتریکی پیدا می‌کند، هنگام دست دادن با دوستتان، ممکن است با انتقال باری برابر $0/8nc$ به او شوک خفیفی وارد کنید، در این انتقال بار، چند الکترون بین شما و دوستتان منتقل شده است؟ ($e=1/6\times10^{-19}c$)

(مشابه مثال ۱- ۱ کتاب درسی)

پاسخ

$$q=nc\Rightarrow n=\frac{q}{e}=\frac{0/8\times10^{-9}}{1/6\times10^{-19}}=0/5\times10^{10}=5\times10^{9}$$ الکترون

▼ مثال ۱۰) الف) عدد اتمی اکسیژن $Z=8$ است. بار الکتریکی هسته اتم اکسیژن، بار الکتریکی منفی اتم اکسیژن و بار الکتریکی اتم اکسیژن چقدر است؟ (باربنیادی : e)

ب) بار الکتریکی اتم کربن یک‌بار یونیده (C^+) چقدر است؟ (عدد اتمی کربن $Z=6$ است.)

(مشابه تمرین ۱- ۱ کتاب درسی- مرتبط با تمرین ۲ پایان فصل)

پاسخ

الف) هسته از پروتون و نوترون ساخته شده است که نوترون‌ها بدون بارند؛

بار الکتریکی هسته اتم ؛ $Z\times(+e)=8\times1/6\times10^{-19}=12/8\times10^{-19}c$

بار الکتریکی منفی اتم اکسیژن ؛ $Z\times(-e)=8\times(-1/6\times10^{-19})=-12/8\times10^{-19}c$

بار الکتریکی اتم اکسیژن ؛ *اتم در حالت عادی خنثی است.* (۰)

ب) اتم کربن در حالت عادی خنثی است یعنی بار الکتریکی آن صفر است اما اتم کربن یک بار یونیده (C^+) دارای یک بار اضافی مثبت است بنابراین داریم؛

بار الکتریکی اتم کربن یک‌بار یونیده (C^+) $=1\times(+e)=+1/6\times10^{-19}c$

▼ مثال ۱۱) چند الکترون بار باید از یک سکه خنثی خارج شود تا بار الکتریکی آن $+1\mu c$ شود؟ ($e = 1/6\times10^{-19} c$)

(مکمل مثال ۱- ۱ کتاب درسی- سراسری ریاضی ۹۵)

۱) $1/6\times10^{6}$ ۲) $1/6\times10^{12}$ ۳) $6/25\times10^{6}$ ۴) $6/25\times10^{12}$

پاسخ

$$q = ne \Rightarrow n = \frac{q}{e} = n = \frac{1\times10^{-6}}{1/6\times10^{-19}} \Rightarrow n = 6/25\times10^{12}$$

گزینه ۴ صحیح است.

روش‌های باردار کردن اجسام

تعیین نوع بار جسم در اثر مالش

الف) روش مالش: سری الکتریسیته مالشی (تریبو الکتریک) نوع باری که جسم در اثر مالش پیدا می‌کند براساس جدولی موسوم به تریبوالکتریک (سری الکتریسیته مالشی) معلوم می‌شود. در حقیقت وقتی دو جسم به یکدیگر مالش داده می‌شوند برای تعیین این که کدام جسم الکترون می‌گیرد و کدام جسم الکترون از دست می‌دهد، از این جدول استفاده می‌شود.

انتهای مثبت سری
موی انسان
شیشه
نایلون
پشم
موی گربه
سرب
ابریشم
آلومینیوم
پوست انسان
کاغذ
چوب
پارچه کتان
کهربا
برنج، نقره
پلاستیک، پلی اتیلن
لاستیک
تفلون
انتهای منفی سری

نکته: در این جدول مواد پایین‌تر، الکترون‌خواهی بیش‌تری دارند و با به عبارتی دیگر در مالش دو جسم با یکدیگر، الکترون‌ها از ماده بالاتر جدول به ماده‌ای که پایین‌تر قرار دارد، منتقل می‌شود.

▼ مثال ۱۲) با استفاده از سری تریبو الکتریک تعیین کنید در مالش یک میله پلاستیکی با پارچه پشمی، نوع بار میله و پارچه از نظر مثبت یا منفی بودن چیست؟

(مرتبط با صفحه ۴ کتاب درسی)

پاسخ در مالش یک میله پلاستیکی بدون بار با یک پارچه پشمی بدون بار، میله پلاستیکی که در انتهای منفی سری است، بار منفی و پارچه پشمی که در انتهای مثبت سری است بار مثبت پیدا می‌کند.

▼ مثال ۱۳) یک میله پلاستیکی را با پارچه پشمی مالش می‌دهیم پس از مالش، بار الکتریکی میله پلاستیکی $-14/4nc$ می‌شود.

الف) بار الکتریکی ایجاد شده در پارچه پشمی چقدر است؟

ب) تعداد الکترون‌های منتقل شده از پارچه پشمی به میله پلاستیکی را تعیین کنید. ($e = 1/6\times10^{-19} c$)

(مشابه تمرین ۱ پایان فصل کتاب درسی)

پاسخ الف) در مالش بین میله پلاستیکی با پارچه پشمی طبق سری تریبوالکتریک میله پلاستیکی دارای بار الکتریکی منفی و پارچه پشمی دارای بار الکتریکی مثبت می‌شود.

$q_{\text{پارچه پشمی}} = +14/4nc$

ب)

$$q = ne \Rightarrow n = \frac{q}{e} = \frac{14/4\times10^{-9}}{1/6\times10^{-19}} \Rightarrow n = 9\times10^{10} \text{ الکترون}$$

▼ مثال ۱۴) با استفاده از سری تریبو الکتریک تعیین کنید، در مالش یک میله شیشه‌ای با پارچه ابریشمی، نوع بار میله و پارچه از نظر مثبت یا منفی بودن چیست؟

(مرتبط با صفحه ۴ کتاب درسی)

پاسخ *در مالش یک میله شیشه‌ای بدون بار با یک پارچه ابریشمی بدون بار، میله شیشه‌ای که در انتهای مثبت سری است، بار مثبت و پارچه ابریشمی که در انتهای منفی سری نزدیک‌تراست، دارای بار منفی می‌شود.*

▼ مثال ۱۵) وقتی دو جسم جامد در اثر مالش به یک‌دیگر دارای بار الکتریکی می‌شوند، در این عمل:

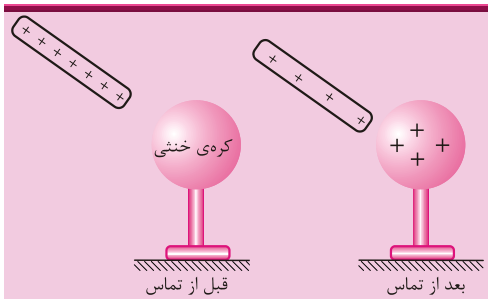
(مرتبط با صفحه ۳ کتاب درسی– سراسری سال‌های دور)

۱)پروتون‌ها و الکترون‌ها در دو جسم باهم مبادله می‌شوند.
۲)پروتون‌های یک جسم به جسم دیگر منتقل می‌شود.
۳)الکترون‌های یک جسم به جسم دیگر منتقل می‌شوند.
۴)یون‌های مثبت و منفی در دو جسم با هم مبادله می‌شوند.

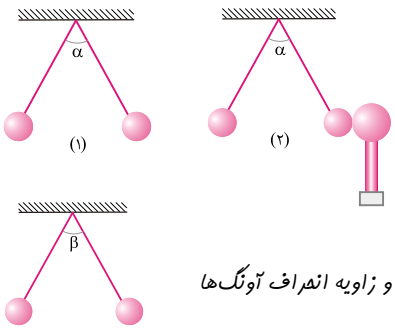
پاسخ *عمل انتقال بار توسط الکترون‌ها صورت می‌گیرد.*
گزینه ۳ صحیح است.

ب) روش تماس: مثال زیر بیان‌گر باردار کردن یک جسم از طریق روش تماس است:

یک میله رسانا با بار الکتریکی مثبت را به یک کره رسانای خنثی تماس می‌دهیم، پس از تماس مقداری از بارهای مثبت میله به کره منتقل می‌شود و هر دو جسم دارای بار الکتریکی مثبت هستند.



▼ مثال ۱۶) شکل مقابل 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.



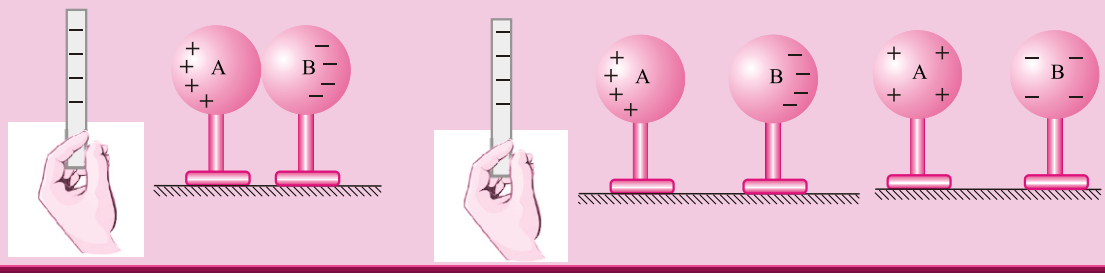
(مکمل صفحه ۴ کتاب درسی)

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

پاسخ *در اثر تماس کره رسانای بدون بار الکتریکی با یکی از گلوله‌های آونگ، مقداری از بار گلوله آونگ به کره بدون بار منتقل می‌شود. در نتیجه اثر دافعه گلوله‌های آونگ در این حالت کم‌تر می‌شود و زاویه انحراف آونگ‌ها نسبت به هم در این حالت کم‌تر است.* $(\beta < \alpha)$

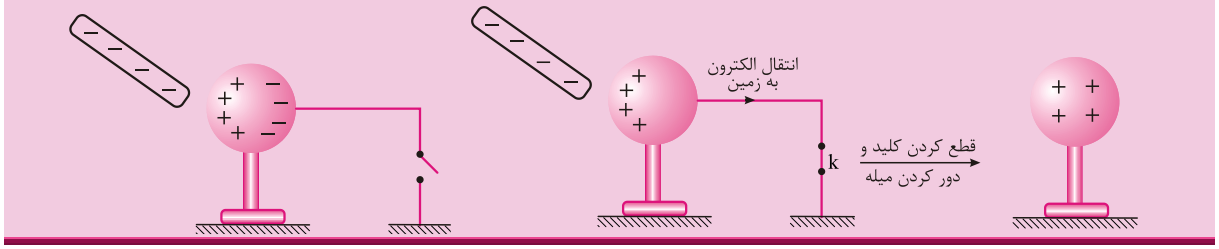
ج) روش القا: ایجاد بار در رساناها بدون تماس آن‌ها با یک‌دیگر را القای بار الکتریکی و بارهای ایجاد شده را بار القایی گویند. القای بار الکتریکی به روش‌های مختلف صورت می‌گیرد:

روش اول: مطابق شکل، دو کره فلزی A و B که بر روی پایه‌های عایق قرار دارند، در تماس با یک‌دیگر می‌باشند.
هرگاه یک میله پلاستیکی با بار منفی به کره فلزی A نزدیک کنیم، بر اساس برهم کنش بین بارهای الکتریکی بدون این‌که تماسی بین میله و کره فلزی A باشد، بارهای منفی از کره A به کره B منتقل می‌شود. در این شرایط هرگاه کره B را از کره A جدا و دور کنیم، با دور کردن میله پلاستیکی مشاهده می‌کنیم کره A دارای بار مثبت و کره B دارای بار منفی شده است.



نکته: در این آزمایش اگر به جای میله پلاستیکی از میله شیشه‌ای با بار الکتریکی مثبت استفاده شود، کره A دارای بار منفی و کره B دارای بار مثبت خواهد شد.

روش دوم: در شکل زیر یک میله باردار را به یک کره رسانا با پایه‌های عایق نزدیک می‌کنیم تا تفکیک بار انجام شود. سپس با وصل کردن کلید k، کره رسانا را به زمین وصل می‌کنیم تا بارهای هم‌نام با میله باردار از کره رسانا خارج شود. در نهایت کلید k را قطع و میله باردار را دور می‌کنیم. کره رسانا دارای باری غیرهم‌نام با میله باردار اولیه شده است.



تذکر:

در روش القای بار الکتریکی، ایجاد بار الکتریکی بدون تماس است و چون میله باردار با کره رسانا تماسی ندارد، میزان بار الکتریکی آن تغییری نمی‌کند.

نکته: به‌طور خلاصه می‌توان باردار کردن اجسام را به صورت زیر خلاصه کرد:

الف) وقتی دو جسم بدون بار داریم، تنها روش، مالش دو جسم است.

ب) وقتی یک جسم بدون بار و یک جسم دارای بار داریم:

۱- القا: بار ناهم‌نام با جسم باردار، در جسم بدون بار ایجاد می‌شود.

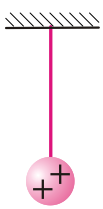
۲- تماس: بار هم‌نام با جسم باردار، در جسم بدون بار ایجاد می‌شود.

▼مثال ۱۷) یک میله باردار منفی را به براده‌های ریز آلومینیومی که بدون بار هستند نزدیک می‌کنیم، مشاهده می‌شود که براده‌ها به طرف میله باردار منفی جذب می‌شوند، علت این امر را توضیح دهید.

(مشابه تمرین ۲۰ پایان فصل کتاب درسی)

پاسخ

با نزدیک کردن میله با بار منفی به براده‌های آلومینیومی، بارهای مثبت روی سطح براده‌ها در فاصله نزدیک‌تری از میله نسبت به بارهای منفی روی سطح آن قرار می‌گیرند، بنابراین نیروی جاذبه بین بار منفی میله و بارهای مثبت روی سطح براده‌های آلومینیومی قوی‌تر از نیروی دافعه بین بار منفی میله و بار منفی روی سطح براده‌ها است بنابراین براده‌های آلومینیومی جذب میله باردار منفی خواهند شد.



▼مثال ۱۸) در شکل مقابل گلوله فلزی بارداری از نخ آویزان است. کره فلزی خنثی را که دارای دسته نارسانا است به گلوله نزدیک می‌کنیم. مشاهده می‌شود که گلوله ..... می‌شود.وقتی تماس حاصل شد، کره را جدا می‌کنیم و دوباره به آرامی آن‌را به گلوله نزدیک می‌کنیم و ملاحظه می‌شود که گلوله ..... می‌شود.

(مشابه تمرین ۲۰ پایان فصل- سراسری تجربی ۸۶)

۱)جذب - دفع **۲)دفع - جذب**

۳) دفع - دفع **۴) جذب - جذب**

پاسخ

با نزدیک کردن کره فلزی به گلوله باردار، به دلیل القای الکتریکی، گلوله در ابتدا به سمت کره جذب می‌شود و بارهای کره از یک‌دیگر تفکیک می‌شوند. بعد از تماس گلوله و کره دارای بار الکتریکی هم‌نام می‌شوند و در نتیجه یک‌دیگر را دفع می‌کنند.

گزینه ۱ صحیح است.

▼ مثال ۱۹) سه جسم A و B و C را دوبه‌دو به یک‌دیگر نزدیک می‌کنیم. وقتی A و B به یک‌دیگر نزدیک می‌شوند هم‌دیگر را با نیروی الکتریکی جذب می‌کنند و اگر C و B را به یک‌دیگر نزدیک کنیم، یک‌دیگر را با نیروی الکتریکی دفع می‌کنند. کدام یک از گزینه‌های زیر می‌تواند صحیح باشد؟

(مکمل تمرین ۲۱ پایان فصل کتاب درسی- سراسری تجربی ۹۰- خارج از کشور)

۱) A و C بار هم‌نام و هم‌اندازه دارند.
۲) A، B و C بار غیر هم‌نام دارند.
۳) B بدون بار و C باردار است.
۴) A بدون بار و B باردار است.

پاسخ

چون A و B یک‌دیگر را جذب می‌کنند، یا A و B دارای بار ناهم‌نام هستند و یا یکی از آن‌ها بدون بار است که در اثر القاء بار دیگری را جذب کرده است. از طرفی چون B و C یک‌دیگر را دفع می‌کنند پس قطعاً هر دو دارای بار الکتریکی و هم‌نام هستند. بنابراین A و C نمی‌توانند بار هم‌نام و هم اندازه داشته باشند.

حالت‌های ممکن به صورت زیر است؛

A	B	C
+	−	−
−	+	+
بدون بار	+	+
بدون بار	−	−

گزینه ۴ صحیح است.

نکته: اگر دو کره فلزی کاملاً مشابه به بارهای q_1, q_2 را که روی پایه‌های عایق قرار دارند به هم تماس دهیم، بار الکتریکی آن‌ها پس از تماس با یک‌دیگر برابر شده و مقدار آن برابر است با :

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

تذکر:

علامت بارها در محاسبات در نظر گرفته شوند.

▼ مثال ۲۰) دو کره فلزی مشابه A و B به ترتیب با بارهای الکتریکی -3×10^{-6} کولن و -5×10^{-6} کولن روی پایه‌های عایقی قرار دارند. اگر این دوکره را با سیمی رسانا به هم متصل کنیم، بارنهایی دو کره پس از اتصال چند کولن است؟

(مشابه تمرین ۴ پایان فصل کتاب درسی)

پاسخ

$$q'_1 = q'_2 = \frac{q_1 + q_2}{2} = \frac{(-3\times10^{-6}) + (-5\times10^{-6})}{2} \Rightarrow q'_1 = q'_2 = -4\times10^{-6}\ c$$

۳ قانون کولن

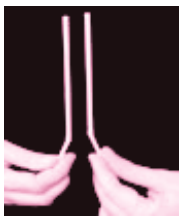
نیروی الکتریکی: نیرویی که دو جسم باردار به یک‌دیگر وارد می‌کنند؛ **نیروی الکتریکی** نام دارد.

تذکر:

بیش‌تر نیروهایی که با آن‌ها آشنا هستیم، منشأ الکتریکی دارند و به کمک این نیروها می‌توانیم پدیده‌هایی بسیاری که در طبیعت رخ می‌دهند را توصیف کنیم.

نکته: اگر بارهای الکتریکی دو جسم هم‌نام باشند، یعنی هر دو مثبت یا هر دو منفی باشند، نیروی الکتریکی از نوع رانشی (دافعه) و اگر بارهای الکتریکی آن‌ها از نوع ناهم‌نام باشند، یعنی یکی مثبت و دیگری منفی باشد، نیروی الکتریکی از نوع ربایشی (جاذبه) است.

▼مثال ۲۱) **مطابق شکل، دو نی پلاستیکی را از نزدیکی یک انتهای آن‌ها خم کنید و پس از مالش دادن با پارچه‌ای پشمی نزدیک یک‌دیگر قرار دهید. مشاهده خود را گزارش کنید:**



(مرتبط با فعالیت ۱– ۱ کتاب درسی)

پاسخ *در اثر مالش نی پلاستیکی با پارچه پشمی، نی پلاستیکی دارای بار منفی می‌شود (مطابق با سری تریبوالکتریک) بنابراین نی‌ها یک‌دیگر را دفع می‌کنند زیرا دارای بارهای هم‌نام هستند.*

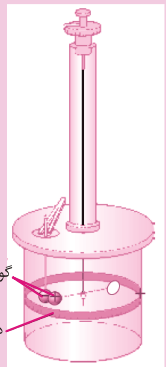
قانون کولن:

شارل کولن، دانشمند فرانسوی، با انجام دادن آزمایش‌های ساده و هوشمندانه توانست برای نخستین بار عامل‌های مؤثر بر نیروی الکتریکی بین دو ذره باردار را که اصطلاحاً بار نقطه‌ای خوانده می‌شود تعیین کند و نتیجه آزمایش‌های او اکنون قانون کولن نامیده می‌شود.

تذکر:

اگر فاصله یک جسم باردار با جسم باردار دیگر آن‌قدر زیاد باشد که بتوان از ابعاد هر یک از دو جسم در مقایسه با فاصله بین آن‌ها چشم‌پوشی کرد، آن‌گاه می‌توان دو جسم را به‌صورت ذره‌های باردار یا همان بارهای الکتریکی نقطه‌ای تصور کرد.

آزمایش کولن:



شکل مقابل، ترازوی پیچشی کولن را نشان می‌دهد که توسط این ترازو شارل آگوستین کولن عامل‌های مؤثر بر نیروی الکتریکی بین دو ذره باردار را تعیین کرد. مطابق شکل در یک سر یک میله نارسانای سبک افقی یک گوی باردار مثبت کوچک و در سر دیگر آن، یک قرص قرار دارد و میله از وسط توسط یک رشته سیم کشسان و نازک آویخته شده است. یک گوی با بارمنفی از حفره‌ای به داخل استوانه شیشه‌ای برده می‌شود. درجه‌هایی بر سطح استوانه حک شده است که زاویه چرخش میله را نشان می‌دهد. نیروی مؤثر بین این بارها از اندازه‌گیری زاویه چرخش تا رسیدن به حالت تعادل به‌دست می‌آید.

قانون کولن بیان می‌کند که اندازه نیروی الکتریکی (الکترواستاتیکی) بین دو بار نقطه‌ای که در راستای خط واصل آن‌ها اثر می‌کند با حاصل‌ضرب بزرگی آن‌ها متناسب است و با مربع فاصله بین آن‌ها نسبت وارون دارد بنابراین اندازه این نیرو برابر است با:

$$F = K\frac{|q_1||q_2|}{r^2}\begin{cases} F \propto \frac{1}{r^2} \\ F \propto |q_1||q_2| \end{cases}$$

$$\begin{cases} q_1, q_2 \rightarrow & \text{بزرگی بار الکتریکی بر حسب کولن (C)} \\ r \rightarrow & \text{فاصله بین دوبار بر حسب متر(m)} \\ k \rightarrow & \text{ثابت کولن بر حسب}\left(\frac{N.m^2}{C^2}\right) \\ F \rightarrow & \text{نیرویی که دوبار بر هم وارد می‌کنند بر حسب نیوتن (N)} \end{cases}$$

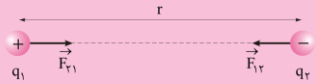
$$k = 8/98755179\times10^9 \frac{N\cdot m^2}{C^2} \approx 9\times10^9 \frac{N\cdot m^2}{C^2}$$

تذکر:

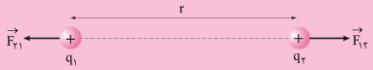
قانون کولن از هر آزمون و تجربه‌ای سربلند بیرون آمده است و تاکنون هیچ استثنایی برای آن یافت نشده است و همچنین کولن معتقد بود چنین قانونی برای قطب‌های مغناطیسی نیز برقرار است گرچه او هیچ وقت نتوانست به چنین رابطه‌ای برسد.

نکته: مطابق شکل زیر، F_{12} به معنای نیرویی است که، ذره اول به ذره دوم وارد می‌کند و F_{21} نیرویی است که، ذره دوم به ذره اول وارد می‌کند، این نیروها هم‌اندازه، در یک راستا و در جهت‌های مخالف یک‌دیگرند (قانون سوم نیوتن). بنابراین داریم:

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} \Rightarrow F_{12} = F_{21}$$



نیروی جاذبه دو بار الکتریکی ناهم‌نام



نیروی دافعه دو بار الکتریکی هم‌نام

۱- در رابطه بالا برای محاسبه بزرگی (اندازه) F، علامت بارهای q_1 و q_2 را در نظر نمی‌گیریم و فقط اندازه‌های این دوبار $|q_1|, |q_2|$ در رابطه وارد می‌شوند.

۲- اگر بارهای الکتریکی دو جسم هم‌نام باشد این نیرو دافعه و اگر ناهم‌نام باشند جاذبه است.

۳- ثابت کولن (k) را می‌توان بر حسب یک ضریب ثابت دیگر به‌نام ضریب گذردهی الکتریک خلا (ε_0) نیز نوشت.

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9\times10^9 \frac{Nm^2}{C^2}, \qquad \varepsilon_0 = 8/85\times10^{-12} \frac{C^2}{Nm^2}$$

تذکر:

واحد یا یکای ε_0 معکوس واحد k و برابر $\frac{C^2}{Nm^2}$ است.

مثال ۲۲) دو ذره با بارهای $q_1 = 2\mu C, q_2 = 5\mu C$ در فاصله ۳۰ سانتی‌متری از یک‌دیگرثابت شده‌اند. نیرویی الکتریکی که دو ذره به یک‌دیگر وارد می‌کنند، چند نیوتون است؟ ($k = 9\times10^9 \frac{N\cdot m^2}{C^2}$)

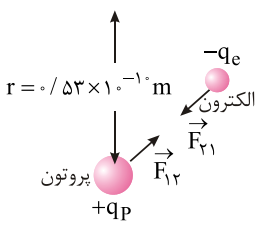
(مرتبط با صفحه ۶ کتاب درسی- نهایی تجربی - شهریور۸۹)

پاسخ

$$F = K\frac{|q_1||q_2|}{r^2} = 9\times10^9 \times \frac{2\times10^{-6}\times5\times10^{-6}}{(30\times10^{-2})^2} \Rightarrow F = 1N$$

مثال ۲۳) الف) در مدل بور برای اتم هیدروژن، فاصله الکترون از پروتون هسته در حالت پایه $5/3\times10^{-11} m$ است (شکل را ببینید). اندازه نیروی الکتریکی که پروتون به الکترون وارد می‌کند را محاسبه کنید.

ب) در هسته اتم هلیم دو پروتون به فاصله تقریبی $r = 2/4\times10^{-15} m$ از هم قرار دارند. اندازه نیرویی که پرتون‌ها به هم وارد می‌کنند را محاسبه کنید.



(مشابه مثال ۱- ۲ کتاب درسی)

پاسخ

الف) طبق قانون کولن داریم:

$$F = K\frac{|q_1||q_2|}{r^2} = K\frac{|q_e||q_P|}{r^2} = (9/0\times10^9 N.m^2/C^2)\times\frac{(1/60\times10^{-19}C^2)}{(5/3\times10^{-11})^2} = 8/2\times10^{-8}N$$

ب) با استفاده از قانون کولن داریم:

$$F = K\frac{|q_e||q_P|}{r^2} = (9/0\times10^9 N.m^2/C^2)\times\frac{(1/60\times10^{-19}C^2)}{(2/4\times10^{-15})^2} = 40N$$

که این به مراتب بزرگ‌تر از نیروی محاسبه شده در قسمت الف است. این نیروی بزرگ، از جنس دافعه است. بنابراین، هسته اتم باید فرو بپاشد. از اینجا نتیجه می‌گیریم که باید نیروی دیگری وجود داشته باشد که مانع فروپاشی هسته شود. به این نیرو، نیروی هسته‌ای گفته می‌شود.

مثال ۲۴) دو بار الکتریکی نقطه‌ای q_1 , $q_2 = 5q_1$ در فاصله ۳ متری از یک‌دیگر قرار دارند و نیروی دافعه ۰/۰۲N به یک‌دیگر وارد می‌کنند. q_1 چند میکروکولن است؟

(مرتبط با صفحه ۶ کتاب درسی- سراسری تجربی ۹۱- خارج از کشور)

۱) ۱۰ ۲) ۵ ۳) ۴ ۴) ۲

پاسخ

$$F = K\frac{|q_1||q_2|}{r^2} \Rightarrow 2\times10^{-2} = 9\times10^9 \times \frac{q_1\times 5q_1}{3^2} \Rightarrow 5q_1^2 = 2\times10^{-11} \Rightarrow q_1^2 = 4\times10^{-12}$$

$$\Rightarrow q_1 = 2\times10^{-6}c \Rightarrow q = 4\mu c$$

گزینه ۳ صحیح است.

نکته: اگر اندازه بارهای q_1 و q_2 و یا فاصله بین دوبار یعنی r تغییر کند، در مقایسه نیروی کولنی در دوحالت می‌توان نوشت:

$$F = K\frac{q_1q_2}{r^2} \Rightarrow \frac{F'}{F} = \frac{q_1'q_2'}{q_1q_2}\times\left(\frac{r}{r'}\right)^2$$

مثال ۲۵) نیروی بین دو بار الکتریکی q_1 , q_2 که به فاصله r از یک‌دیگر قرار دارند، F است. اگر اندازه یکی از بارها و هم‌چنین فاصله بین دو بار نیز نصف شود، نیروی بین آن‌ها چند برابر می‌شود؟

(مکمل صفحه ۶ کتاب درسی- سراسری خارج از کشور ریاضی ۸۷)

۱) ۱ ۲) ۲ ۳) $\frac{1}{2}$ ۴) $\frac{3}{2}$

پاسخ

$$\frac{F'}{F} = \frac{q_1'q_2'}{q_1q_2}\times\left(\frac{r}{r'}\right)^2 = \frac{\frac{q_1}{2}\times q_2}{q_1q_2}\times\left(\frac{r}{\frac{1}{2}r}\right)^2 = \frac{1}{2}\times 4 = 2 \Rightarrow F' = 2F$$

گزینه ۲ صحیح است.

مثال ۲۶) دو بار الکتریکی نقطه‌ای برابر، در فاصله ثابتی از هم قرار دارند و به یک‌دیگر نیروی F را وارد می‌کنند. اگر ۲۵درصد از بار الکتریکی یکی را کم کرده و همان مقدار به بار دیگری اضافه کنیم، نیرویی که به هم وارد می‌کنند، چند F است؟

(مکمل صفحه ۶ کتاب درسی- سراسری تجربی ۸۸)

۱) ۱ ۲) ۴ ۳) $\frac{15}{16}$ ۴) $\frac{16}{15}$

پاسخ

حالت اول: $F = k\frac{q_1q_2}{r^2} \xrightarrow[q_1=q_2=q]{\text{بارهای مشابه}} F = k\frac{q^2}{r^2}$

حالت دوم: $F' = k\frac{q_1'q_2'}{r^2} = \frac{k(q-\frac{25}{100}q)(q+\frac{25}{100}q)}{r^2} = k\frac{\frac{3}{4}q\times\frac{5}{4}q}{r^2} = \frac{15}{16}k\frac{q^2}{r^2} \Rightarrow \frac{F'}{F} = \frac{15}{16} \Rightarrow F' = \frac{15}{16}$

گزینه ۳ صحیح است.

نکته: مطابق با قانون سوم نیوتن، هر عملی را عکس‌العملی است، مساوی و در خلاف جهت آن. بنابراین مطابق شکل، اگر دو گلوله باردار به بارهای q_2, q_1 فقط تحت اثر نیروی کولنی که به یک‌دیگر وارد می‌کنند شتاب بگیرند در مقایسه شتاب آن‌ها می‌توان گفت :

$$F_{12} = F_{21} \Rightarrow m_1a_1 = m_2a_2 \Rightarrow \frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2}{m_1}$$

▼ مثال ۲۷) دو ذره یکی به جرم m و بار الکتریکی q و ذره‌ای دیگر به جرم ۲m و بار الکتریکی ۳q مجاور هم قرار دارند. اگر این دو ذره فقط تحت اثر نیروی الکتریکی که به هم وارد می‌کنند شتاب بگیرند، شتاب وارد بر ذره به جرم m چند برابر شتاب وارد بر ذره دوم است؟

(متکمل صفحه ۶ کتاب درسی- سراسری تجربی ۷۰)

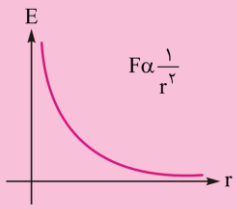
۱) $\frac{۱}{۶}$ ۲) $\frac{۳}{۲}$ ۳) ۲ ۴) ۶

پاسخ

$$|\vec{F}_{۱۲}| = |\vec{F}_{۲۱}| \Rightarrow m_۱a_۱ = m_۲a_۲ \Rightarrow \frac{a_۱}{a_۲} = \frac{m_۲}{m_۱} \Rightarrow \frac{a_m}{a_{۲m}} = \frac{۲m}{m} = ۲$$

گزینه ۳ صحیح است.

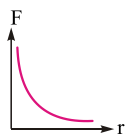
نکته: با توجه به رابطه کولن $F = K\frac{|q_۱||q_۲|}{r^۲}$، نیروی کولنی ($F$) با $r^۲$ رابطه عکس دارد و شکل نمودار F-r به صورت زیر است:

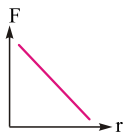


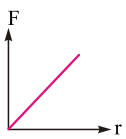
با افزایش r نیروی F کاهش می ابد.

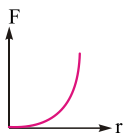
▼ مثال ۲۸) کدام یک از نمونه‌های زیر تغییرات نیروی الکتروستاتیکی کولنی بین دوبار الکتریکی را بر حسب فاصله آن‌ها درست نشان می‌دهد؟

(متکمل صفحه ۶ کتاب درسی)

۱) 

۲) 

۳) 

۴) 

پاسخ

با افزایش r نیروی F کاهش می‌یابد.

گزینه ۱ صحیح است.

نکته: اگر دو کره فلزی کاملاً مشابه با بارهای الکتریکی $q_۲, q_۱$ که در فاصله r به یک‌دیگر نیروی F وارد می‌کنند را به هم تماس دهیم و از یک‌دیگر جدا کنیم، آن‌گاه بار هر کره $q'_۲, q'_۱$ می‌شود و در فاصله r' به یک‌دیگر نیروی F' را وارد می‌کند، لازم به یادآوری است که پس از تماس دو کره فلزی مشابه بار الکتریکی آن‌ها هم‌اندازه و هم‌نوع می‌شود که از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$q'_۱ = q'_۲ = q' = \frac{q_۱ + q_۲}{۲}, \qquad \frac{F'}{F} = \frac{|q'_۱||q'_۲|}{q_۱q_۲}(\frac{r}{r'})^۲$$

▼ مثال ۲۹) دو گوی رسانا، کوچک و یکسان به بارهای $q_۱ = ۲nc$ و $q_۲ = -۸nc$ را با هم تماس می‌دهیم و سپس تا فاصله $r = ۶cm$ از هم دور می‌کنیم، نیروی بر هم کنش الکتریکی بین دو گوی را محاسبه کنید و تعیین کنید این نیرو از نوع رانشی است یا ربایشی؟

(مشابه تمرین ۳ پایان فصل کتاب درسی)

پاسخ

چون دو گوی کاملاً یکسان‌اند بار هر یک پس از تماس با هم برابر و به‌صورت زیر است:

بارهای دو گوی پس از تماس: $q'_۱ = q'_۲ = \frac{q_۱ + q_۲}{۲} = \frac{۲ - ۸}{۲} = -۳nc$

$$F = k\frac{|q'_۱||q'_۲|}{r^۲} = ۹\times۱۰^۹ \frac{۳\times۱۰^{-۹}\times۳\times۱۰^{-۹}}{(۶\times۱۰^{-۲})^۲} = \frac{۵۴\times۱۰^{-۹}}{۳۶\times۱۰^{-۴}} \Rightarrow F = ۱/۵\times۱۰^{-۵}N$$

چون بار هر دو گوی پس از تماس منفی به‌دست آمده است پس نیروی کولنی بین آن‌ها پس از تماس از نوع رانشی است.