

## 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 می‌افتد و منشأ آنها الکتریکی است را نام ببرید:

(مرتبط با صفحه ۲ کتاب درسی)

پاسخ ✓

- ۱- آزرش  
۲- درفشش لامپ روشنائی  
۳- پیوند بین اتم‌ها در تشکیل مولکول‌ها  
۴- انتقال پیام‌های عصبی در دستگاه اعصاب  
۵- هسپیدن نوار سلوفاخ بر ظروف پلاستیکی  
۶- بالا رفتن یک مارمولک از دیوار  
۷- وسایل برقی اطراف ما  
۸- کشش و فذب فرده‌های گاه توسط کهوربا

▼ 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 پند قرم روی فرش راه برویم و سپس یک جسم فلزی را لمس کنیم.  
در هر دو تجربه بالا عملاً الکتریسته ساکن حس می‌شود و یا به صورت 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 ۴) 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 ۵) 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)

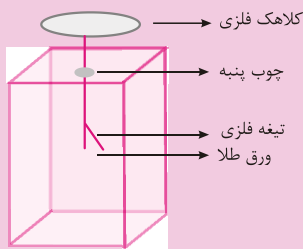
پاسخ ✓

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 می‌شود. در نتیجه وقتی میله پلاستیکی را به میله شیشه‌ای نزدیک می‌کنیم، یک‌دیگر را جذب می‌کنند.

تذکره:

کلاً دو نوع بار الکتریکی وجود دارد که توسط دانشمند آمریکایی «بنیامین فرانکلین» به نام بارهای مثبت و منفی نام‌گذاری شده‌اند. استفاده از علامت‌های پیری 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 پیری بارهای جسم صفر می‌شود که به معنای «فشاری بودن» آن جسم است.

### الکتروسکوپ:



وسيله‌ای 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.

تذکره:

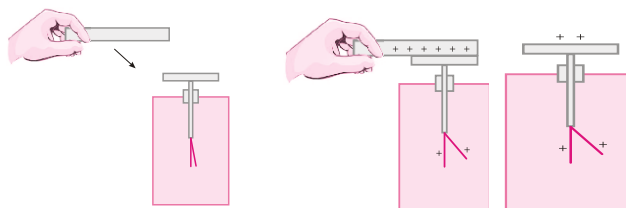
برای تشخیص باردار بودن اجسام، نیازی به باردار بودن الکتروسکوپ نیست.

▼ مثال ۶) هرگاه جسمی دارای بار الکتریکی (مثلاً یک میله شیشه‌ای با بار مثبت) را به کلاهک الکتروسکوپ بدون بار تماس دهیم، با رسم شکل نشان دهید چه اتفاقی خواهد افتاد؟

(صفحه ۳۰ کتاب درسی- مرتبط با تمرین ۱ پایان فصل)

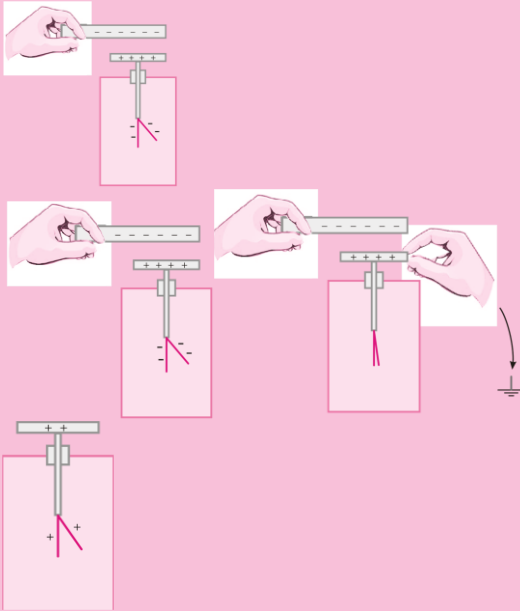
پاسخ ✓

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 دور می‌شوند.





نکته: نحوه بردار 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.

تذکره:

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 بردار و نوع بار آن نیز برای ما معلوم باشد. به همین منظور، جسم بردار 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 بردار باشد ولی نوع بار برای ما مهم نیست. به این منظور هرگاه جسم را به کلاهک الکتروسکوپ بردار 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 بردار را با یک‌دیگر مقایسه کرد؟

(مرتبط با صفحه ۳۰ کتاب درسی- مرتبط با تمرین ۱ پایان فصل)

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 از چه نوع بوده است؟

(مرتبط با صفحه ۳۰ کتاب درسی- سراسری تمرین ۷۷)

۴) خنثی یا منفی

۳) خنثی یا مثبت

۲) منفی

۱) مثبت

پاسخ

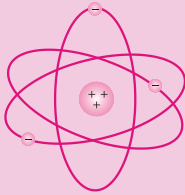
با توجه به این‌که ورقه‌های الکتروسکوپ ابتدا بسته شده‌اند پس قطعاً بار الکتریکی الکتروسکوپ مخالف بار میله بوده است. بنابراین بار الکتریکی قبلی الکتروسکوپ منفی بوده است. گزینه ۲ صحیح است.



## 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  $100,000$  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 به نام 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  $1/6 \times 10^{-19} C$  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:

$$e = 1/60217653 \times 10^{-19} C \approx 1/6 \times 10^{-19} C$$

$$\text{بار الکتریکی الکترون} = -e = -1/6 \times 10^{-19} C$$

$$\text{بار الکتریکی پروتون} = +e = 1/6 \times 10^{-19} C$$

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 به‌طور خلاصه، جرم و بار الکتریکی اجزای اتم را نشان می‌دهد. با توجه به جدول واضح است که:

$$m_n > m_p > m_e$$

↓                      ↓                      ↓  
جرم الکترون > جرم پروتون > جرم نوترون

| نام ذره | بار (C)                | جرم (kg)               |
|---------|------------------------|------------------------|
| الکترون | $-1/6 \times 10^{-19}$ | $9/1 \times 10^{-31}$  |
| پروتون  | $+1/6 \times 10^{-19}$ | $1/27 \times 10^{-27}$ |
| نوترون  | ۰                      | $1/78 \times 10^{-27}$ |

## پایستگی و کوانتیده بودن بار الکتریکی

۲

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. تذکر: هیچ شاهد تجربی در نقض اصل پایستگی بار الکتریکی وجود ندارد، حتی در برهم‌کنش‌هایی که در آنها ذرات باردار خنثی یا نبود می‌شوند نیز بار کل دستگاه منزوی ثابت باقی خواهد ماند.

اگر طبق تعریف اندازه بار الکتریکی هر الکترون را  $e$  در نظر بگیریم؛  $e = 1/6 \times 10^{-19} C$ ، آن‌گاه: زمانی که به یک جسم خنثی  $n$  الکترون داده می‌شود، بار الکتریکی جسم برابر است با:

$$q = -ne \quad (n = 1, 2, \dots)$$

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

$$q = +ne \quad (n = 1, 2, \dots)$$

## اصل کوانتیده بودن بار الکتریکی

با توجه به رابطه  $q = \pm ne$ ، بار الکتریکی هر جسم مضرب صحیحی از یک مقدار پایه 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.

$$q = \pm ne \quad (n = 1, 2, \dots \text{ مضرب صحیح})$$

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  $10^6 C$  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 دوستان، ممکن است با انتقال باری برابر  $nC$  به او شوک خفیفی وارد کنید، در این انتقال بار، چند الکترون بین شما و دوستان منتقل شده است؟ ( $e = 1/6 \times 10^{-19} C$ )

(مشابه مثال ۱- کتاب درسی)

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

پاسخ ✓

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- کتاب درسی- مرتبط با تمرین ۳ پایان فصل)

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

$$Z \times (+e) = 8 \times 1/6 \times 10^{-19} = 12/8 \times 10^{-19} C$$

$$Z \times (-e) = 8 \times (-1/6 \times 10^{-19}) = -12/8 \times 10^{-19} C$$

اتم در حالت عادی فنتی است. ( $0$ ): بار الکتریکی اتم اکسیژن

ب) اتم کربن در حالت عادی فنتی است یعنی بار الکتریکی آن صفر است اما اتم کربن یک بار یونیده ( $C^+$ ) دارای یک بار اضافی مثبت است

بنابراین داریم:

پاسخ ✓



$$C = 1 \times (+e) = +1/6 \times 10^{-19} C$$

▼ مثال ۱۱) چند الکترون بار باید از یک سکه خنثی خارج شود تا بار الکتریکی آن  $1 \mu C$  شود؟ ( $e = 1/6 \times 10^{-19} C$ )

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

(۱)  $1/6 \times 10^6$  (۲)  $1/6 \times 10^{12}$  (۳)  $6/25 \times 10^6$  (۴)  $6/25 \times 10^{12}$

$$q = ne \Rightarrow n = \frac{q}{e} = n = \frac{1 \times 10^{-6}}{1/6 \times 10^{-19}} \Rightarrow n = 6/25 \times 10^{12}$$

پاسخ ✓

گزینه ۴ صحیح است.

### روش‌های باردار کردن اجسام

تعیین نوع بار جسم در اثر مالش

الف) روش مالش: سری الکتروسیته مالشی (تریبو الکتریک) نوع باری که جسم در اثر مالش پیدا می‌کند براساس جدولی موسوم به تریبو الکتریک (سری الکتروسیته 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 | ناپلن | پشم | موی گربه | سرب | آبریشم | آلمینیوم | پوست انسان | کاند | چوب | پارچه کتان | کهربا | برنج، قهوه | پلاستیک، پلی اتیلن | لاستیک | فلون | 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؟

(مرکز با صفحه ۴ کتاب درسی)

پاسخ ✓

در مالش یک میله پلاستیکی برون بار با یک پارچه پشمی برون 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  $14/4 nC$  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. ( $e = 1/6 \times 10^{-19} C$ )

(مشابه تمرین ۱۱ پایان فصل کتاب درسی)

پاسخ ✓

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

$$q = +14/4 nC = \text{پارچه پشمی}$$

ب)

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



▼ 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 برون بار با یک پارچه ابریشمی برون بار، میله شیشه‌ای که در انتهای مثبت سری است، بار مثبت و پارچه ابریشمی که در انتهای منفی سری نزدیک تراست، دارای بار منفی می‌شود.

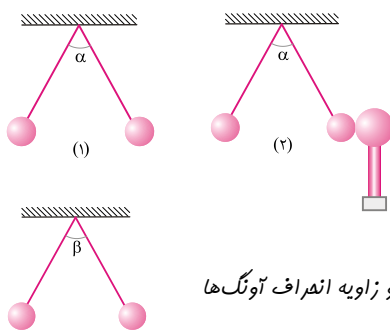
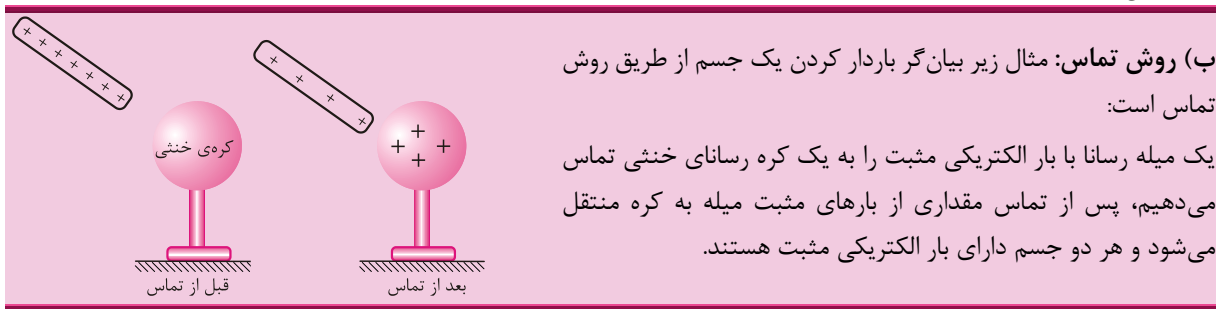
▼ مثال ۱۵) وقتی دو جسم جامد در اثر مالش به یکدیگر دارای بار الکتریکی می‌شوند، در این عمل:

(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.



▼ مثال ۱۶) شکل مقابل دو آونگ الکتریکی کاملاً مشابه با بارهای مثبت و هم‌اندازه را نشان می‌دهد که با یکدیگر زاویه  $\alpha$  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؟

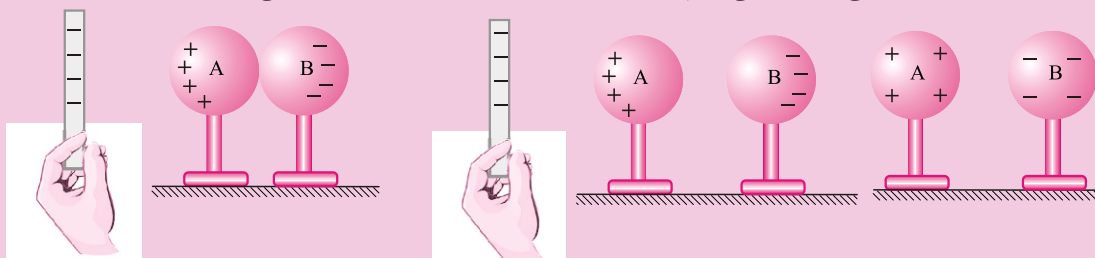
✓ پاسخ

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.

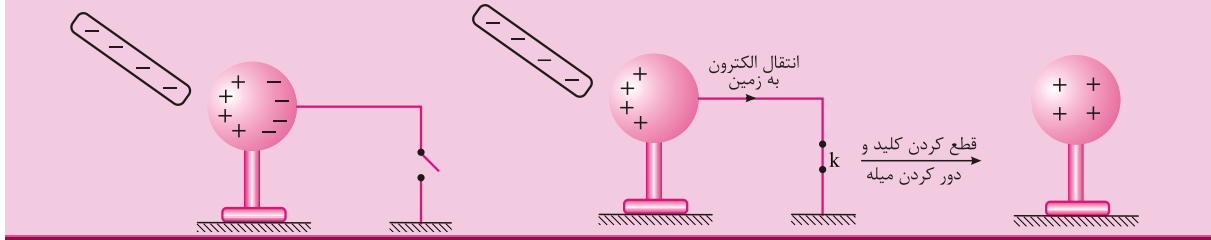
هرگاه یک میله پلاستیکی با بار منفی به کره فلزی  $A$  نزدیک کنیم، بر اساس برهم کنش بین بارهای الکتریکی بدون این‌که تماسی بین میله و کره فلزی  $A$  باشد، بارهای منفی از کره  $A$  به کره  $B$  منتقل می‌شود. در این شرایط هرگاه کره  $B$  را از کره  $A$  جدا و دور کنیم، با دور کردن میله پلاستیکی مشاهده می‌کنیم 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.



تذکره:

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:

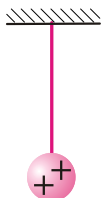
- الف) وقتی دو جسم بدون بار داریم، تنها روش، مالش دو جسم است.
- ب) وقتی یک جسم بدون بار و یک جسم دارای بار داریم:
  - ۱- القا: بار ناهم‌نام با جسم باردار، در جسم بدون بار ایجاد می‌شود.
  - ۲- تماس: بار هم‌نام با جسم باردار، در جسم بدون بار ایجاد می‌شود.

**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 ۲۲ 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 آن را به گلوله نزدیک می‌کنیم و ملاحظه می‌شود که گلوله ..... می‌شود.

(مشابه تمرین ۲۱ پایان فصل - سراسری تمرین 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 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 ۱۱ پایان فصل کتاب درسی - سراسری ترم ۹۰ - فارغ 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 هم‌اندازه داشته باشند.

حالت‌های ممکن به صورت زیر است:

گزینه ۴ صحیح است.

| A        | B | C |
|----------|---|---|
| +        | - | - |
| -        | + | + |
| بدون بار | + | + |
| بدون بار | - | - |

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:

$$q_1' = q_2' = \frac{q_1 + q_2}{2}$$

تذکره:

علامت بارها در محاسبات در نظر گرفته شوند.

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

(تمرین ۴ پایان فصل کتاب درسی)

پاسخ

$$q_1' = q_2' = \frac{q_1 + q_2}{2} = \frac{(-3 \times 10^{-6}) + (-5 \times 10^{-6})}{2} \Rightarrow q_1' = q_2' = -4 \times 10^{-6} \text{ c}$$

ذرات بنیادی

یکی از دسته‌های ذرات بنیادی عالم کوارک‌ها هستند، کوارک‌ها در حقیقت ذرات بنیادی با بارهای کسری هستند، جدول زیر اطلاعات خلاصه شده‌ای را در مورد برخی از کوارک‌ها نشان می‌دهد.

| نوع کوارک | نماد | بار             |
|-----------|------|-----------------|
| بالا      | u    | $+\frac{2}{3}e$ |
| پایین     | d    | $-\frac{1}{3}e$ |

d

تذکره:

الکترون یک ذره بنیادی است و زیرسافتار ندارد یعنی از اجزای دیگری تشکیل نشده است.



نکته: پروتون از دو کوارک بالا و یک کوارک پایین تشکیل شده است. بنابراین بار خالص آن برابر است با:

$$q_p = +e \Rightarrow 2 \times \frac{2}{3}e - \frac{1}{3}e = +e \Rightarrow q_p = +e$$

و همچنین نوترون از یک کوارک بالا و دو کوارک پایین تشکیل شده است. بنابراین بار خالص آن برابر است با:

$$q_n = 0 \Rightarrow \frac{2}{3}e + 2 \times \left(-\frac{1}{3}e\right) = 0 \Rightarrow q_n = 0$$

نکته: با این که کوارک‌ها دارای بارهای کسری  $+\frac{2}{3}e$  یا  $-\frac{1}{3}e$  هستند، یعنی بار آن‌ها مضرب صحیحی از بار پایه  $e$  نیست، این در تناقض با اصل کوانتیده بودن بار نیست زیرا هیچ کوارکی به طور آزاد و مستقل در طبیعت دیده نمی‌شود، یعنی این بارهای کسری نمی‌توانند به طور مستقل دیده شوند.

تذکر:

ترکیب کوارک‌ها در طبیعت به گونه‌ای است که نتیجه بار خالص آن‌ها  $\pm ne$  می‌شود که عدد صحیح است و در توافق کامل با اصل کوانتیده بودن بار الکتریکی است.

مثال ۲۱) ذره  $\Delta^{++}$  (دلتای دوبار مثبت) از دو کوارک بالا و یک کوارک پایین تشکیل شده است. بار الکتریکی این ذره چیست؟

(صفحه ۴ کتاب درسی - مرتبط با موب است بخانید)

$$q_{\Delta^{++}} = 2 \times q_u + 1 \times q_d = 2 \times \frac{2}{3}e + 1 \times \left(-\frac{1}{3}e\right) \Rightarrow q_{\Delta^{++}} = +e$$

پاسخ ✓

### قانون کولن

۳

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

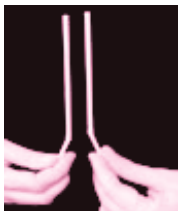
تذکر:

پیش‌تر 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 ۲۲) 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- کتاب درسی)



در اثر مالش نی پلاستیکی با پارچه پشمی، نی پلاستیکی دارای بار منفی می‌شود (مطابق با سری تریبولکتریک)

بنابراین نی‌ها یک‌دیگر را دفع می‌کنند زیرا دارای بارهای هم‌نام هستند.

پاسخ ✓



## 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.

تذکره:

اگر فاصله یک جسم باردار با جسم باردار دیگر آن قدر زیار باشد که بتوان از ابعاد هر یک از دو جسم در مقایسه با فاصله بین آن‌ها چشم‌پوشی کرد، آن‌گاه می‌توان دو جسم را به صورت 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 بار منفی 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 به دست می‌آید.

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

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

بزرگی بار الکتریکی بر حسب کولن (C)  $q_1, q_2 \rightarrow$   
 فاصله بین دو بار بر حسب متر (m)  $r \rightarrow$   
 ثابت کولن بر حسب  $(\frac{N \cdot m^2}{C^2})$   $k \rightarrow$   
 نیرویی که دو بار بر هم وارد می‌کنند بر حسب نیوتن (N)  $F \rightarrow$

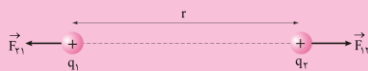
$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2} \approx 9 \times 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$$

تذکره:

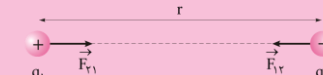
قانون کولن از هر آزمون و تجربه‌ای سر بلند بیرون آمده است و تاکنون هیچ استثنایی برای آن یافت نشده است و همچنین کولن معتقد بود چنین قانونی برای قطب‌های مغناطیسی نیز برقرار است گرچه او هیچ وقت نتوانست به چنین رابطه‌ای برسد.

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 دافعه دو بار الکتریکی هم‌نام



نیروی جاذبه دو بار الکتریکی ناهم‌نام

۱- در رابطه بالا برای محاسبه بزرگی (اندازه)  $F$ ، علامت بارهای  $q_1$  و  $q_2$  را در نظر نمی‌گیریم و فقط اندازه‌های این دو بار  $|q_1||q_2|$  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 به نام ضریب گذردهی الکتریک خلا ( $\epsilon_0$ ) نیز نوشت.

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9 \frac{Nm^2}{C^2}, \quad \epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8.85 \times 10^{-12} \frac{C^2}{Nm^2}$$



تذکره:

واهر یا یکای  $\epsilon_0$  معکوس واهر  $k$  و برابر  $\frac{C^2}{Nm^2}$  است.

مثال ۲۳) دو ذره با بارهای  $q_1 = 2\mu C$ ،  $q_2 = 5\mu C$  در فاصله ۳۰ سانتی‌متری از یکدیگر ثابت شده‌اند. نیروی الکتریکی که دو ذره به یکدیگر وارد می‌کنند، چند نیوتون است؟  $(k = 9 \times 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2})$

(مرتبط با صفحه ۶ کتاب درسی - نهایی تجربی - شهریور ۸۹)

$$F = K \frac{|q_1||q_2|}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{2 \times 10^{-6} \times 5 \times 10^{-6}}{(30 \times 10^{-2})^2} \Rightarrow F = 1N$$

پاسخ ✓

مثال ۲۴) دو بار الکتریکی نقطه‌ای  $q_1$ ،  $q_2 = 5q_1$  در فاصله ۳ متری از یکدیگر قرار دارند و نیروی دافعه  $0.2N$  به یکدیگر وارد می‌کنند.  $q_1$  چند میکروکولن است؟

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

$$F = K \frac{|q_1||q_2|}{r^2} \Rightarrow 2 \times 10^{-2} = 9 \times 10^9 \times \frac{q_1 \times 5q_1}{3^2} \Rightarrow 5q_1^2 = 2 \times 10^{-11} \Rightarrow q_1^2 = 4 \times 10^{-12}$$

$$\Rightarrow q_1 = 2 \times 10^{-6} C \Rightarrow q = 4\mu C$$

پاسخ ✓

گزینه ۳ صحیح است.

نکته: اگر اندازه بارهای  $q_1$  و  $q_2$  یا فاصله بین دوبرار یعنی  $r$  تغییر کند، در مقایسه نیروی کولنی در دو حالت می‌توان نوشت:

$$F = K \frac{q_1 q_2}{r^2} \Rightarrow \frac{F'}{F} = \frac{q'_1 q'_2}{q_1 q_2} \times \left(\frac{r}{r'}\right)^2$$

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 فارغ از کشور ریاضی ۸۷)

$$\frac{F'}{F} = \frac{q'_1 q'_2}{q_1 q_2} \times \left(\frac{r}{r'}\right)^2 = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \left(\frac{r}{\frac{1}{2}r}\right)^2 = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times 4 = 1 \Rightarrow F' = F$$

پاسخ ✓

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 ۲۵ درصد 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)

$$\frac{F'}{F} = \frac{q'_1 q'_2}{q_1 q_2} \times \left(\frac{r}{r'}\right)^2 = \frac{16}{15} \times \left(\frac{r}{r}\right)^2 = \frac{16}{15} \Rightarrow F' = \frac{16}{15} F$$

پاسخ ✓



$$\text{مورد ۳: } F' = k \frac{q_1' q_2'}{r^2} = \frac{k(q - \frac{25}{100}q)(q + \frac{25}{100}q)}{r^2} = k \frac{\frac{3}{4}q \times \frac{5}{4}q}{r^2} = \frac{15}{16} k \frac{q^2}{r^2} \Rightarrow \frac{F'}{F} = \frac{15}{16} \Rightarrow F' = \frac{15}{16} F$$

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  $q_1, q_2$  فقط تحت اثر نیروی کولنی که به یک‌دیگر وارد می‌کنند شتاب بگیرند در مقایسه شتاب آن‌ها می‌توان گفت:



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

مثال ۲۷) دو ذره یکی به جرم  $m$  و بار الکتریکی  $q$  و ذره‌ای دیگر به جرم  $2m$  و بار الکتریکی  $3q$  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؟

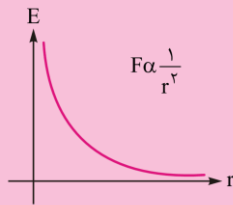
(مکمل صفحه ۶ کتاب درسی - سراسری ترمی ۷۰)

$$\frac{1}{6} \quad (۱) \quad \frac{3}{2} \quad (۲) \quad 2(۳) \quad 6(۴)$$

$$|\vec{F}_{12}| = |\vec{F}_{21}| \Rightarrow m_1 a_1 = m_2 a_2 \Rightarrow \frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2}{m_1} \Rightarrow \frac{a_m}{a_{2m}} = \frac{2m}{m} = 2$$

پاسخ ✓

گزینه ۳ صحیح است.

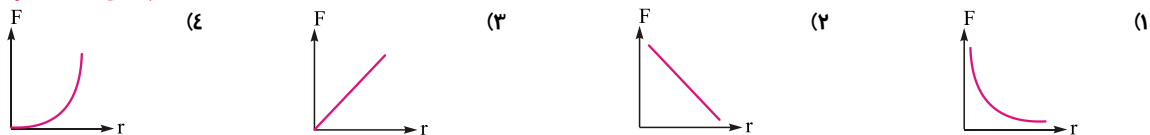


نکته: با توجه به رابطه کولن  $F = K \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$ ، نیروی کولنی ( $F$ ) با  $r^2$  رابطه عکس

دارد و شکل نمودار  $F-r$  به صورت زیر است:با افزایش  $r$  نیروی  $F$  کاهش می‌یابد.

مثال ۲۸) کدام یک از نمونه‌های زیر تغییرات نیروی الکترواستاتیکی کولنی بین دو بار الکتریکی را بر حسب فاصله آن‌ها درست نشان می‌دهد؟

(مکمل صفحه ۶ کتاب درسی)

با افزایش  $r$  نیروی  $F$  کاهش می‌یابد.

پاسخ ✓

گزینه ۱ صحیح است.

نکته: اگر دو کره فلزی کاملاً مشابه با بارهای الکتریکی  $q_1, q_2$  که در فاصله  $r$  به یک‌دیگر نیروی  $F$  وارد می‌کنند را به هم تماس دهیم و از یک‌دیگر جدا کنیم، آن‌گاه بار هر کره  $q_1', q_2'$  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 به دست می‌آید:

$$q_1' = q_2' = q' = \frac{q_1 + q_2}{2}, \quad \frac{F'}{F} = \frac{|q_1'| |q_2'|}{q_1 q_2} \left(\frac{r}{r'}\right)^2$$



▼ مثال ۲۹) دو گوی رسانا، کوچک و یکسان به بارهای  $q_1 = 2\text{nc}$  و  $q_2 = -8\text{nc}$  را با هم تماس می‌دهیم و سپس تا فاصله  $r = 6\text{cm}$  از هم دور می‌کنیم، نیروی برهم کنش الکتریکی بین دو گوی را محاسبه کنید و تعیین کنید این نیرو از نوع رانشی است یا ربایشی؟

(مشابه تمرین ۴ پایان فصل کتاب درسی)

پاسخ ✓

پون دو گوی کاملاً یکسان اند بار هر یک پس از تماس با هم برابر و به صورت زیر است:

$$q'_1 = q'_2 = \frac{q_1 + q_2}{2} = \frac{2 - 8}{2} = -3\text{nc}$$

$$F = k \frac{|q'_1| |q'_2|}{r^2} = 9 \times 10^9 \frac{3 \times 10^{-9} \times 3 \times 10^{-9}}{(6 \times 10^{-2})^2} = \frac{54 \times 10^{-9}}{36 \times 10^{-4}} \Rightarrow F = 1.5 \times 10^{-5} \text{N}$$

پون بار هر دو گوی پس از تماس منفی به دست آمده است پس نیروی کولنی بین آن‌ها پس از تماس از نوع رانشی است.

▼ مثال ۳۰) دو کره فلزی مشابه دارای بارهای الکتریکی  $q_1 = 5\mu\text{C}$ ،  $q_2 = 15\mu\text{C}$  در فاصله  $r$ ، نیروی  $F$  را بر یکدیگر وارد می‌کنند. اگر این دو کره را در یک لحظه با یکدیگر تماس دهیم، به طوری که فقط بین دو کره مبادله بار صورت گیرد و مجدداً به همان فاصله قبلی برگردانیم، نیروی دافعه بین دو کره چگونه تغییر می‌کند؟

(مکمل تمرین ۴ پایان کتاب درسی - سراسری تمرین ۹۱)

۲۵(۱) درصد افزایش می‌یابد.

۲۵(۲) درصد کاهش می‌یابد.

۳) تقریباً ۳۳ درصد کاهش می‌یابد.

۴) تقریباً ۳۳ درصد افزایش می‌یابد.

$$q'_1 = q'_2 = \frac{q_1 + q_2}{2} = \frac{5 + 15}{2} = 10\mu\text{C} \Rightarrow \frac{F'}{F} = \frac{q'_1 q'_2}{q_1 q_2} \times \left(\frac{r}{r'}\right)^2 = \frac{10 \times 10}{5 \times 15} \times 1 = \frac{4}{3} = 1.33 = \frac{133}{100} \Rightarrow F' = \frac{133}{100} F$$

پاسخ ✓

نیروی کولنی تقریباً ۳۳ درصد افزایش می‌یابد.  
گزینه ۴ صحیح است.

### نیروی گرانشی و مقایسه آن با نیروی کولنی:

اجرام به یکدیگر نیروی گرانشی نیز وارد می‌کنند که همواره از نوع جاذبه است. مرتبه بزرگی این نیرو برای الکترون و پروتون در اتم هیدروژن از مرتبه  $10^{-47} \text{N}$  است و بنابراین در حدود  $10^4$  بار کوچک‌تر از نیروی الکتریکی بین این دو ذره است.

تذکره:

کوچک‌تر بودن نسبت نیروی گرانشی به نیروی الکتریکی نشان می‌دهد. نیروی گرانشی به مراتب ضعیف‌تر از نیروی الکتریکی است.



▼ مثال ۳۱) شکل زیر تصویری از مرحله ایجاد یک رونوشت در دستگاه فتوکپی را نشان می‌دهد. در مورد چگونگی کار آن توضیح دهید.

(فعالیت ۱ - کتاب درسی)

پاسخ ✓

ذرات پودر مانند سیاهی به نام تونر بر اثر نیروهای الکتروستاتیکی (کولنی) به گوی‌های حامل ماشین فتوکپی پسیبده‌اند.

این ذرات باردار منفی (تونرها)، سرانجام مژب یک غلنگ پرقان می‌شوند که حاوی تصویر باردار مثبتی از مدارک کپی است می‌شوند پس از آن‌هم یک برگه کاغذ باردار ذرات تونر را از غلنگ به روی فودش انتقال می‌دهد و گرهادهی متعاقب آن پای این ذرات را روی برگه رونوشت تثبیت می‌کند و عملیات کپی کامل می‌شود.

## ۴ برهم نهی نیروهای الکتروستاتیکی

فرض کنید  $n$  ذره باردار داشته باشیم که در نزدیکی بار نقطه‌ای  $q$  قرار دارند، آن‌گاه نیروی برآیند وارد بر بار نقطه‌ای  $q$  با جمع برداری زیر داده می‌شود.

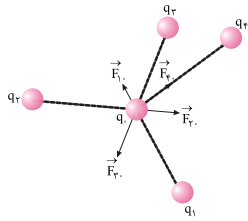
$$\vec{F}_T = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n$$

روش تعیین نیروی خالص (برآیند) وارد بر یک ذره باردار احاطه شده توسط چند ذره باردار دیگر:

گام اول: ذره مورد نظر خود را مشخص کنید.

گام دوم: نیروی ناشی از ذرات دیگر بر این ذره را به دست آورید.

گام سوم: بردارهای نیرو را طوری رسم کنید که ابتدای هر کدام از نیروها روی ذره مورد نظر باشد، نتیجه بردار نیروی خالص (برآیند) وارد بر آن ذره است.



مثال ۳۲) در شکل زیر نیروی وارد بر بار  $q_0$  از سوی چهار بار دیگر نشان داده شده است. نیروی خالص (برآیند) وارد بر بار  $q_0$  از جمع برداری نیروهایی که چهار بار دیگر در غیاب بقیه بارها به این ذره وارد می‌کنند، به دست می‌آید.

(مرتبط با صفحه ۸ کتاب درسی)

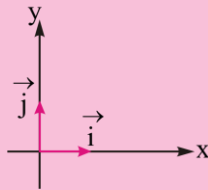
$$\vec{F}_T = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{F}_4$$

پاسخ ✓

تذکر:

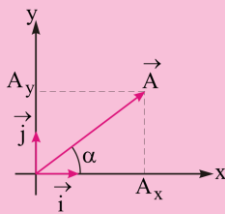
در این کتاب به بررسی مثال‌هایی می‌پردازیم که در آنها نیروهای الکتریکی وارد بر یک ذره باردار در یک راستا قرار دارند یا عمود بر یکدیگرند.

نکته: نمایش یک بردار بر حسب بردارهای یکه محورهای مختصات



با انتخاب بردارهای یکه  $\vec{i}, \vec{j}$  به ترتیب روی محور  $x$  و  $y$  می‌توان یک بردار را بر حسب بردارهای یکه نمایش داد. همان طور که می‌دانیم بردار یکه در راستای هر محور، برداری است به طول واحد و در جهت همان محور.

اگر اندازه مولفه بردار  $\vec{A}$  را روی محور  $x$  و  $y$  به ترتیب برابر  $A_x, A_y$  باشد، این بردار به صورت زیر نشان داده می‌شود:



$$\vec{A} = A_x \vec{i} + A_y \vec{j}$$

$$\cos \alpha = \frac{A_x}{A} \Rightarrow A_x = A \cos \alpha$$

$$\sin \alpha = \frac{A_y}{A} \Rightarrow A_y = A \sin \alpha$$

$$A^2 = A_x^2 + A_y^2 \Rightarrow A = \sqrt{A_x^2 + A_y^2}$$

تذکر:

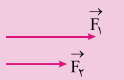
$$\tan \alpha = \frac{A_y}{A_x}$$

جهت بردار  $\vec{A}$  را با تعیین زاویه این بردار با سوی مثبت محور  $x$  به دست می‌آوریم:

این رابطه دو پاسخ برای  $\alpha$  به دست می‌دهد، پاسخ درست را باید با توجه به علامت اندازه مولفه  $\vec{A}$  یعنی  $A_x, A_y$ ، در راستای دو محور تعیین کرد.

برآیند نیروها در حالت‌های خاص:

دو نیروی  $\vec{F}_1$  و  $\vec{F}_2$  را در نظر بگیرید، برآیند آن‌ها  $\vec{F}_T$  در کلی‌ترین حالت برابر است با:  $\vec{F}_T = \vec{F}_2 + \vec{F}_1$   
حالت‌های خاص:



$$\vec{F}_T = F_1 + F_2$$

۱- دو نیرو هم‌راستا و هم‌جهت باشند:



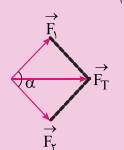
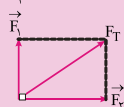
$$\vec{F}_T = F_1 - F_2$$

۲- دو نیرو هم‌راستا ولی در جهت مخالف باشند:



$$\vec{F}_T = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$$

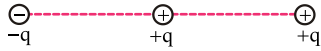
۳- دو نیرو عمود بر هم باشند:



$$\vec{F}_T = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos \alpha}$$

۴- دو نیرو با هم زاویه  $\alpha$  بسازند.

مثال ۳۳) سه ذره باردار مانند شکل روبه‌رو، روی یک خط راست قرار دارند و فاصله بارهای سمت راست و چپ از بار میانی برابر است:

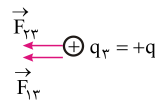
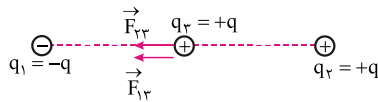


(مطابق پرسش ۱-۲ کتاب درسی)

الف) جهت نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار الکتریکی میانی را تعیین کنید.

ب) اگر ذره سمت راست به جای  $q$ ، بار  $-q$  داشته باشد جهت نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار میانی چگونه خواهد بود؟

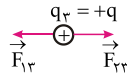
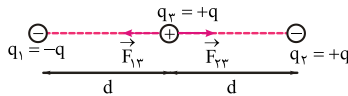
پاسخ



$$\Rightarrow F_{T3} = F_{23} + F_{12}$$

نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار  $q_3$  به طرف چپ است.

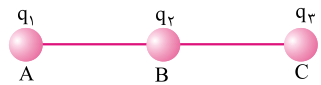
ب)



$$\begin{cases} F_{T3} = F_{23} - F_{12} \\ F_{23} = F_{12} = k \frac{qq}{d^2} \end{cases} \Rightarrow F_{T3} = 0$$

نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار  $q_3$  صفر است.

مثال ۳۴) مطابق شکل زیر، سه ذره با بارهای الکتریکی  $q_1 = +4\mu C$ ،  $q_2 = -9\mu C$ ،  $q_3 = +1\mu C$  در نقطه‌های A و B و C ثابت شده‌اند. نیروی



الکتریکی وارد بر بار  $q_3$  را محاسبه کنید. ( $k = 9 \times 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$ ،  $AB = BC = 3cm$ )

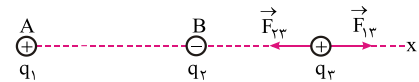
(مکمل مثال ۱-۳ کتاب درسی - نهایی تجربی - شهریور ۹۳)

پاسخ

$$F_{13} = k \frac{|q_1||q_3|}{r_{13}^2} = 9 \times 10^9 \frac{4 \times 10^{-6} \times 1 \times 10^{-6}}{(6 \times 10^{-2})^2} = 10N \Rightarrow \vec{F}_{13} = 10\vec{i}$$

$$F_{23} = k \frac{|q_2||q_3|}{r_{23}^2} = 9 \times 10^9 \frac{9 \times 10^{-6} \times 1 \times 10^{-6}}{(3 \times 10^{-2})^2} = 90N \Rightarrow \vec{F}_{23} = -90\vec{i}$$

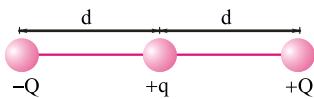
$$\vec{F}_{T3} = \vec{F}_{13} + \vec{F}_{23} \Rightarrow \vec{F}_{T3} = 10\vec{i} - 90\vec{i} \Rightarrow \vec{F}_{T3} = -80\vec{i} \Rightarrow F_{T3} = 80N$$



مثال ۳۵) اندازه نیروی کولنی بین دو بار Q و q در فاصله d برابر F است. در شکل زیر اندازه برآیند نیروهای وارد از طرف دو بار +Q و -Q بر بار q برابر است با:

برابر است با:

(مکمل مثال ۱-۳ کتاب درسی - سراسری سال‌های دور)



$$\frac{F}{2} \quad (2)$$

(۱) صفر

$$2F \quad (4)$$

(۳) F

پاسخ

$$F = k \frac{Qq}{d^2} \quad \text{طبق صورت تست}$$

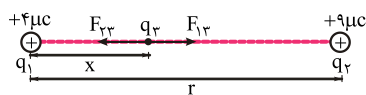
$$F_{12} = k \frac{|q_1||q_2|}{r_{12}^2} = k \frac{Qq}{d^2} = F, \quad F_{23} = k \frac{|q_3||q_2|}{r_{23}^2} = k \frac{Qq}{d^2} = F,$$

$$\vec{F}_{T2} = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{23} \Rightarrow F_{T2} = F + F = 2F$$





نکته: اگر دو بار نقطه‌ای  $q_1, q_2$  در فاصله  $d$  از یک‌دیگر قرار گیرند و بخواهیم ذره  $Q$  توسط این دو بار به تعادل برسد، اگر دو بار نقطه‌ای هم‌نام باشند، این ذره باید در فاصله بین دو بار الکتریکی قرار گیرد و اگر نام‌نام باشند، باید در خارج از فاصله دو بار الکتریکی قرار گیرد و این نقطه همواره نزدیک به بار کوچک‌تر است.



مثال ۳۶) مطابق شکل زیر، دو بار الکتریکی مثبت  $q_1, q_2$  در فاصله ۶۰ سانتی‌متر از هم قرار دارند. با محاسبه و رسم شکل نشان دهید بار الکتریکی  $q_3$  را در چه فاصله‌ای از بار الکتریکی  $q_1$  قرار دهیم تا در حالت تعادل قرار گیرد؟

(مکمل مثال ۱ - ۳ کتاب درسی - نهایی ریاضی - شهریور ۸۴)

پاسخ

چون دو بار هم‌نام اند،  $q_3$  باید بین دو بار و نزدیک به بار کوچک‌تر یعنی  $q_1$  قرار گیرد.

$$\vec{F}_{T3} = 0 \Rightarrow \vec{F}_{13} + \vec{F}_{23} = 0 \Rightarrow \vec{F}_{13} = -\vec{F}_{23} \Rightarrow |\vec{F}_{13}| = |\vec{F}_{23}| \Rightarrow k \frac{q_1 q_3}{x^2} = k \frac{q_2 q_3}{(r-x)^2} \Rightarrow \frac{4}{x^2} = \frac{9}{(60-x)^2}$$

$$\Rightarrow \frac{2}{x} = \frac{3}{60-x} \Rightarrow 120 - 2x = 3x \Rightarrow 5x = 120 \Rightarrow x = 24 \text{ cm}$$

بار  $q_3$  باید در فاصله ۲۴ cm از بار  $q_1$  قرار گیرد تا به حالت تعادل باشد.

مثال ۳۷) دو بار الکتریکی  $Q = +4q, -q$  در دو نقطه A و B به فاصله  $AB = 30 \text{ cm}$  از هم قرار دارند. بار  $q'$  را در چه فاصله‌ای بر حسب سانتی‌متر از بار Q قرار دهیم تا به حالت تعادل قرار گیرد؟

(مکمل مثال ۱ - ۳ کتاب درسی - سراسری ترم ۷۴)

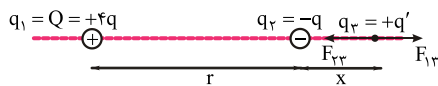
۶۰(۴)

۴۵(۳)

۳۰(۲)

۱۵(۱)

پاسخ



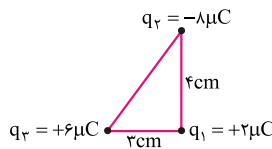
چون دو بار نام‌نامند، بار  $q'$  باید در خارج از فاصله بین دو بار و نزدیک به بار کوچک‌تر یعنی  $q'$  باشد تا در حالت تعادل قرار گیرد.

$$\vec{F}_{T3} = 0 \Rightarrow \vec{F}_{13} + \vec{F}_{23} = 0 \Rightarrow \vec{F}_{13} = -\vec{F}_{23} \Rightarrow |\vec{F}_{13}| = |\vec{F}_{23}|$$

$$\Rightarrow k \frac{q_1 q_3}{x^2} = k \frac{q_2 q_3}{(r+x)^2} \Rightarrow \frac{4q}{x^2} = \frac{q}{(30+x)^2} \Rightarrow \frac{2}{x} = \frac{1}{30+x} \Rightarrow 2x = x + 30 \Rightarrow x = 30 \text{ cm}$$

$Q$  از فاصله  $30 + 30 = 60 \text{ cm}$

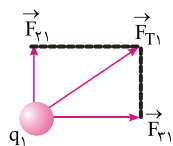
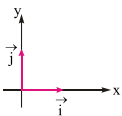
گزینه ۴ صحیح است.



مثال ۳۸) مطابق شکل، سه ذره باردار در سه راس مثلث قائم‌الزاویه‌ای ثابت شده‌اند. برآیند نیروهای الکتریکی وارد بر  $q_1$  را بر حسب بردارهای یک‌محاسبه کنید و سپس بزرگی این نیرو را به دست آورید.

(مشابه مثال ۱ - ۴ کتاب درسی - نهایی ریاضی - دی ۹۳)

$$k = 9 \times 10^9 \frac{Nm^2}{C^2}$$



$$F_{12} = K \frac{|q_2||q_1|}{r_{12}^2} = 9 \times 10^9 \frac{8 \times 10^{-6} \times 2 \times 10^{-6}}{(4 \times 10^{-2})^2} = 90 \text{ N} \Rightarrow \vec{F}_{12} = +90 \vec{j}$$

پاسخ

$$F_{13} = K \frac{|q_3||q_1|}{r_{13}^2} = 9 \times 10^9 \frac{6 \times 10^{-6} \times 2 \times 10^{-6}}{(3 \times 10^{-2})^2} = 120 \text{ N} \Rightarrow \vec{F}_{13} = +120 \vec{i}$$

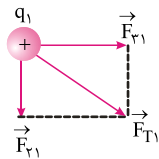
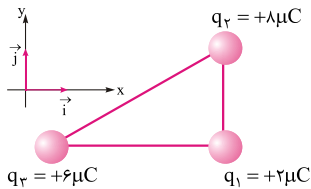
$$\vec{F}_{T1} = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{13} = +90 \vec{j} + 120 \vec{i} = 120 \vec{i} + 90 \vec{j}$$

$$F_{T1} = \sqrt{F_{12}^2 + F_{13}^2} = \sqrt{(120)^2 + (90)^2} \Rightarrow F_{T1} = 150 \text{ N}$$



مثال ۳۹ الف) در مثال ۳۸ اگر علامت بار  $q_2$  تغییر کند، جهت نیروی برآیند وارد بر بار  $q_1$  چگونه خواهد شد؟  
 ب) اگر علامت بار  $q_2$  تغییر کند، جهت نیروی برآیند وارد بر بار  $q_1$  چگونه خواهد شد؟  
 پ) اندازه نیروی برآیند وارد بر بار  $q_1$  را در دو حالت الف و ب با مقدار به دست آمده در مثال قبل مقایسه کنید.

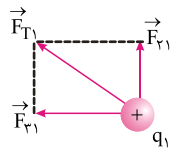
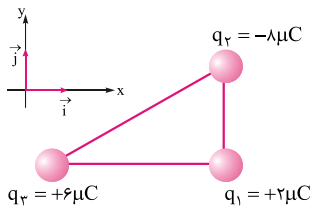
(مشابه تمرین ۱-۳ کتاب درسی)



$$\vec{F}_{T1} = \vec{F}_{21} + \vec{F}_{31} \Rightarrow \vec{F}_{T1} = 12\vec{i} - 9\vec{j}$$

$$\Rightarrow \vec{F}_{T1} = \sqrt{12^2 + (-9)^2} = 15\text{N}$$

پاسخ الف)



$$\vec{F}_{T1} = \vec{F}_{21} + \vec{F}_{31} \Rightarrow \vec{F}_{T1} = -12\vec{i} + 9\vec{j}$$

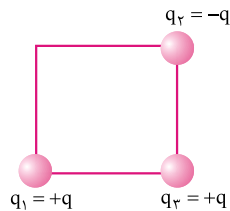
$$\Rightarrow \vec{F}_{T1} = \sqrt{(-12)^2 + 9^2} = 15\text{N}$$

ب)

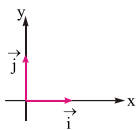
در هر دو حالت الف و ب اندازه نیروی برآیند با مثال ۳۸ یکسان است. فقط جهت بردار برآیند وارد بر بار  $q_1$  تغییر کرده است.

مثال ۴۰ در سه راس مربعی به ضلع  $10\text{cm}$  سه بار الکتریکی به اندازه  $q = 2\text{ microC}$  قرار داده ایم. جهت و بزرگی برآیند نیروهای الکتریکی وارد بر بار  $q_3$  را محاسبه کنید.

(مشابه پرسش ۱-۳ کتاب درسی و تمرین ۵ پایان فصل کتاب درسی)



$$(\sqrt{2} \approx 1/4 \quad k = 9 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2})$$



$$F_{13} = K \frac{|q_1||q_3|}{r_{13}^2} = 9 \times 10^9 \frac{20 \times 10^{-6} \times 20 \times 10^{-6}}{(10 \times 10^{-2})^2} = 36\text{N} \Rightarrow \vec{F}_{13} = 36\vec{i}$$

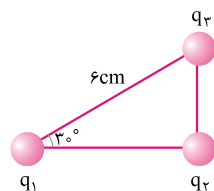
$$F_{23} = K \frac{|q_2||q_3|}{r_{23}^2} = 9 \times 10^9 \frac{20 \times 10^{-6} \times 20 \times 10^{-6}}{(10 \times 10^{-2})^2} = 36\text{N} \Rightarrow \vec{F}_{23} = 36\vec{j}$$

$$\vec{F}_{T3} = \vec{F}_{13} + \vec{F}_{23} = 36\vec{i} + 36\vec{j}$$

$$F_{T3} = \sqrt{F_{13}^2 + F_{23}^2} = \sqrt{36^2 + 36^2} = 36\sqrt{2} = 36 \times 1/4 \Rightarrow F_{T3} = 50.4\text{N}$$

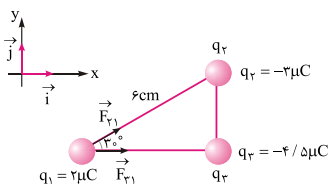
پاسخ

مثال ۴۱ در شکل مقابل، سه بار الکتریکی  $q_1 = 2\text{ microC}$ ،  $q_2 = -3\text{ microC}$ ،  $q_3 = -4/5\text{ microC}$  در سه راس مثلث قائم الزاویه قرار گرفته‌اند. برآیند نیروهای وارد بر  $q_1$  را حساب کنید. ( $k = 9 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}$ )



(مکمل مثال ۱-۴ کتاب درسی)

پاسخ روش اول:



$$F_{21} = K \frac{|q_2||q_1|}{r_{21}^2} = 9 \times 10^9 \frac{3 \times 10^{-6} \times 2 \times 10^{-6}}{(6 \times 10^{-2})^2} \Rightarrow F_{21} = 1/5 \times 10^+ \Rightarrow F_{21} = 15\text{N}$$

$$F_{31} = K \frac{|q_3||q_1|}{r_{31}^2} = 9 \times 10^9 \frac{4/5 \times 10^{-6} \times 2 \times 10^{-6}}{(3\sqrt{3} \times 10^{-2})^2} = 30\text{N}$$

$$\cos 30^\circ = \frac{r_{13}}{6} \Rightarrow \frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{r_{13}}{6} \Rightarrow r_{13} = 3\sqrt{3}\text{cm}$$