

فصل

الکترواستاتیکی ساکن



مقدمه

۱- جاهای خالی را با عبارت یا عدد مناسب کامل کنید.

۱- برای آن که بار جسمی خنثی برابر با $+8 \text{ nC}$ شود باید الکترون

۲- بار الکتریکی یون Li^{++} ($Z=3$)، کولن است.

۲- درستی یا نادرستی جمله‌های زیر را بررسی کنید:

۱- در یک جسم نارسانا، بار الکتریکی در محل داده شده به جسم باقی می ماند.

۲- آزمایش‌های الکترواستاتیکی ساکن در روزهای مرطوب نتیجه‌ی بهتری می دهد.

۳- خرده‌های کاغذ نزدیک به خط کش پلاستیکی باردار، ابتدا جذب خط کش شده و سپس از آن دفع می شوند.

۴- بار الکتریکی همواره مضرر صحیحی از اندازه‌ی بار الکترون است.

۵- اگر میله‌ای پلاستیکی را با پارچه‌ای پشمی مالش دهیم، میله‌ی پلاستیکی دارای بار الکتریکی مثبت می شود.

۶- اگر میله‌ای شیشه‌ای را با پارچه‌ای ابریشمی مالش دهیم، پارچه دارای بار الکتریکی منفی می شود.

۷- بار خالص یک جسم می تواند $23/4 \times 10^{-19}$ کولن باشد. ($e = 1/6 \times 10^{-19} \text{ C}$)

۳- در سؤالات زیر، کلمه یا کلمات مناسب را از داخل پرانتز انتخاب نمایید: (ممکن است بیش از یک کلمه درست باشد).

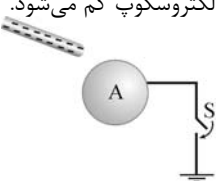
۱- با نزدیک کردن میله‌ای با بار الکتریکی مثبت به کلاهک یک الکتروسکوپ (با بار مثبت، با بار منفی، خنثی)، انحراف ورقه‌های الکتروسکوپ زیاد می شود.

۲- با نزدیک کردن یک میله‌ی فلزی (با بار مثبت، با بار منفی، خنثی) به کلاهک یک الکتروسکوپ با بار منفی، انحراف ورقه‌های الکتروسکوپ کم می شود.

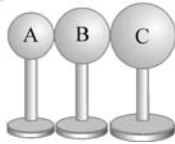
۳- در شکل روبه‌رو، میله‌ای با بار منفی را در مجاورت کره‌ی رسانای خنثی A قرار می دهیم و سپس کلید S را می بندیم

و پس از چند لحظه باز می کنیم. در این حالت بار کره‌ی رسانا (مثبت، منفی، خنثی) می شود.

۴- اگر میله‌ی نارسانایی با بار مثبت را به جسمی (رسانا، نارسانا) که (بار مثبت دارد، بار منفی دارد، خنثی است) نزدیک کنیم، جسم جذب میله‌ی نارسانا می شود.



۴- در شکل روبه‌رو سه کره‌ی فلزی خنثی به یکدیگر متصل هستند. اگر میله‌ای با بار الکتریکی مثبت به کره‌ی A نزدیک شود و سپس سه کره از هم جدا شوند و در نهایت میله دور شود، بار هر یک از کره‌ها را تعیین کنید.

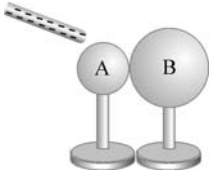


۵- دو جسم A و B یکدیگر را جذب می‌کنند و دو جسم B و C یکدیگر را دفع می‌کنند. در این صورت:

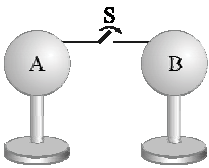
- (۱) الزاماً A و C بارهای همنام دارند.
 (۲) الزاماً A و C بارهای ناهمنام دارند.
 (۳) الزاماً هر سه جسم بارهای همنام دارند.
 (۴) یکی از اجسام می‌تواند خنثی باشد.

۶- در دو مسئله‌ی زیر، جاهای خالی را با عدد یا کلمه‌ی مناسب کامل کنید:

۱- مطابق شکل، دو کره‌ی فلزی خنثی A و B که روی پایه‌های عایق قرار دارند به هم متصل‌اند و $q_B = 2q_A$ است. میله‌ای با بار منفی را به کره‌ی A نزدیک می‌کنیم و در همین حال دو کره را از هم جدا و سپس میله را از مجموعه دور می‌کنیم. در این صورت $\frac{q_B}{q_A}$ برابر است.



۲- در شکل روبه‌رو دو کره‌ی فلزی مشابه روی پایه‌های عایق قرار دارند و $q_A = +6C$ و $q_B = -2C$ است. اگر برای لحظه‌ای کوتاه کلید S واقع بر سیم رسانا بسته شود، باید بار الکتریکی C $q =$ از کره‌ی به کره‌ی منتقل شود.



۷- دو کره‌ی فلزی مشابه دارای بارهای الکتریکی $q_1 = +Q$ و $q_2 = -Q$ می‌باشند. اگر کره‌ی فلزی سوم که بدون بار و مشابه دو کره‌ی دیگر است را ابتدا به کره‌ی اول تماس داده و پس از جداکردن به کره‌ی دوم تماس دهیم و جدا کنیم، بار نهایی هر یک از کره‌ها را به دست آورید.

۸- یک رسانای بدون بار و یک جسم نارسانای باردار

- (۱) یکدیگر را جذب می‌کنند. (۲) یکدیگر را دفع می‌کنند. (۳) به یکدیگر نیروی الکتریکی وارد نمی‌کنند.

امتحان نهایی

۹- جاهای خالی را با عبارت مناسب کامل کنید.

- ۱- بار الکتریکی به وجود نمی‌آید و از بین نیز نمی‌رود، فقط از یک جسم به جسم دیگر منتقل می‌شود. به این بیان گفته می‌شود. (فرداد ۸۶، ریاضی)
 ۲- یک میله‌ی پلاستیکی را با پارچه‌ای پشمی مالش می‌دهیم و در میله ۸- بار الکتریکی ایجاد می‌شود. در این صورت الکترون از منتقل شده است.

۳- وقتی به یک جسم بار الکتریکی داده شود، بار در محل داده‌شده به جسم باقی می‌ماند.

۱۰- مطابق شکل مقابل، گلوله‌ی سبک رسانایی از نخ عایقی آویزان است. ابتدا آن را با دست لمس می‌کنیم بعد کره‌ی رسانای باردار را با پایه‌ی عایق به آن نزدیک می‌کنیم. وضعیت گلوله چه تغییری می‌کند؟ چرا؟ (فرداد ۸۱، تهرپی)



(فرداد ۸۲، ریاضی)

۱۱- چگونگی توزیع بار الکتریکی را در اجسام رسانا و نارسانا توضیح دهید.

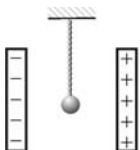
۱۲- در محیط اطراف ما جاذبه‌های الکتریکی بیشتر از دافعه‌های الکتریکی مشاهده می‌شوند. با ذکر یک دلیل علت آن را توضیح دهید.

(شهریور ۸۵، ریاضی)

۱۳- با رسم شکل و توضیح کافی، بنویسید چگونه می‌توان در دو کره‌ی رسانای مشابه بدون بار، بارهای الکتریکی مثبت و منفی ایجاد کرد.

(دی ۸۳، تهرپی)

۱۴- در شکل روبه‌رو گلوله‌ی رسانای سبک و بدون بار توسط نخ عایقی میان دو صفحه‌ی 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 وقت این کار ادامه دارد. (شهریور ۸۳، تهرپی)



قانون کولن

۱۵- یکای $\frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ در قانون کولن در دستگاه اندازه‌گیری SI کدام گزینه است؟

$\frac{C}{N.m}$ (۴) $\frac{N.m}{C}$ (۳) $\frac{N.m^2}{C^2}$ (۲) $\frac{C^2}{N.m^2}$ (۱)

۱۶- عبارت یا عدد مناسب را از داخل پرانتز انتخاب نمایید.

۱- وقتی دو ذره‌ی باردار q_1 و $q_2 = -2q_1$ در فاصله‌ی معینی از هم قرار گیرند، اندازه‌ی نیرویی که q_1 به q_2 وارد می‌کند (برابر، دو برابر، نصف) اندازه‌ی نیرویی است که q_2 به q_1 وارد می‌کند و این نیروها (هم‌جهت، در خلاف جهت) هستند.

۲- دو ذره‌ی باردار $q_1 = 10 \mu C$ و $q_2 = -4 \mu C$ در فاصله‌ی 20 سانتی‌متری هم واقع‌اند. اندازه‌ی نیروی الکتریکی بین دو بار (90°) نیوتون و از نوع (جاذبه، دافعه) است.

۱۷- دو بار مشابه q در فاصله‌ی 3 متری، یکدیگر را با نیروی به بزرگی $1/6$ نیوتون دفع می‌کنند. اندازه‌ی هر بار چند میکروکولن است؟

۱۸- بار $q_1 = 3 \mu C$ در نقطه‌ی $A(-2 \text{ cm}, 1 \text{ cm})$ و بار $q_2 = 5 \mu C$ در نقطه‌ی $B(4 \text{ cm}, 9 \text{ cm})$ قرار دارد. اندازه‌ی نیروی الکتریکی بین دو بار چند نیوتون است؟

۱۹- دو بار الکتریکی نقطه‌ای و مشابه Q در فاصله‌ی r ، یکدیگر را با نیرویی به بزرگی F دفع می‌کنند. جاهای خالی زیر را با عدد مناسب کامل کنید:

۱- اگر فاصله‌ی دو بار دو برابر شود، اندازه‌ی نیروی دافعه‌ی بین دو بار برابر می‌شود.

۲- اگر فاصله‌ی دو بار نصف شود، اندازه‌ی نیروی دافعه‌ی بین دو بار برابر می‌شود.

۳- اگر هر دو بار نصف شوند و فاصله‌ی آن‌ها $1/4$ برابر شود، اندازه‌ی نیروی بین آن‌ها برابر می‌شود.

۴- برای این‌که اندازه‌ی نیروی دافعه‌ی بین دو بار نصف شود، فاصله‌ی دو بار باید برابر شود.

۵- برای این‌که اندازه‌ی نیروی دافعه‌ی بین دو بار دو برابر شود، فاصله‌ی دو بار باید برابر شود.

۶- اگر یکی از بارها دو برابر و دیگری $1/4$ برابر شود و فاصله‌ی دو بار نیز دو برابر شود، اندازه‌ی نیروی دافعه‌ی بین دو بار برابر می‌شود.

۷- اگر 50 درصد از یکی از بارها برداشته و به بار دیگر اضافه کنیم و فاصله‌ی دو بار را نیز نصف کنیم، نیروی دافعه‌ی دو بار برابر می‌شود.

۲۰- جاهای خالی را با عبارت یا عدد مناسب، کامل کنید.

۱- دو کره‌ی رسانای مشابه دارای بارهای الکتریکی $q_1 = 12 \mu C$ و $q_2 = -8 \mu C$ می‌باشند. اگر دو کره را در یک لحظه به هم تماس دهیم و در همان فاصله‌ی قبلی قرار دهیم، نیروی الکتریکی بین دو کره برابر و از نوع می‌شود.

۲- دو جسم کوچک 100 گرمی به فاصله‌ی 10 سانتی‌متر از هم روی یک سطح افقی بدون اصطکاک ثابت نگه داشته شده‌اند. اگر بار الکتریکی هر یک $10 \mu C$ باشد، پس از رها شدن شتاب اولیه‌ی دو جسم m/s^2 می‌باشد. (از نیروی گرانشی بین دو جسم صرف‌نظر شود.)

۲۱- دو بار الکتریکی نقطه‌ای همانم $q_1 = 8 \mu C$ و q_2 ، در فاصله‌ی r نیروی F بر هم وارد می‌کنند. اگر 25 درصد از بار q_1 را برداشته و به q_2 اضافه کنیم، بدون تغییر در فاصله‌ی بارها نیروی متقابل آن‌ها 50 درصد افزایش می‌یابد. مقدار اولیه‌ی q_2 چند میکروکولن است؟ (سراسری ریاضی ۸۹)

۱ (۱) ۲ (۲) ۳ (۳) ۴ (۴)

۲۲- فرض کنید دو بار مثبت Q که در یک فاصله‌ی معین قرار دارند، نیرویی برابر F به یکدیگر وارد می‌کنند. چند درصد یکی را برداشته و به

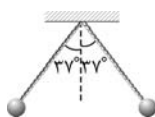
دیگری اضافه کنیم تا در همان فاصله، نیروی بین آن‌ها $\frac{15F}{16}$ گردد؟ (سراسری تجربی ۷۸)

۱۵ (۱) ۱۶ (۲) ۲۰ (۳) ۲۵ (۴)

۲۳- در شکل روبه‌رو، دو آونگ الکتریکی کاملاً مشابه از یک نقطه آویزان شده‌اند و مجموعه در حال تعادل است. اگر

طول هر دو نخ 1 m و جرم هر گلوله 120 گرم باشد، اندازه‌ی بار هر گلوله چند میکروکولن

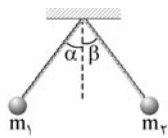
است؟ ($g = 10 \text{ N/kg}$, $\sin 37^\circ = 0.6$)



۲۴- دو بار ذره‌ای ناهمنام یکدیگر را در خلأ با نیرویی به بزرگی F جذب می‌کنند. اگر بدون تغییر در فاصله‌ی آن‌ها، دو بار را وارد آب کنیم، بزرگی نیروی جاذبه‌ی بین دو بار
 (۱) کم می‌شود. (۲) زیاد می‌شود. (۳) تغییر نمی‌کند.

۲۵- دو کره‌ی رسانای مشابه A و B دارای بار یکسانی هستند و در فاصله‌ی r با نیرویی به بزرگی F یکدیگر را دفع می‌کنند. کره‌ی رسانای بدون بار سومی که مشابه دو کره‌ی دیگر است ابتدا به کره‌ی A تماس داده و پس از جداکردن به کره‌ی B تماس می‌دهیم و جدا می‌کنیم. در نهایت نیروی الکتریکی دافعه‌ی بین دو کره‌ی A و B می‌شود.

(۱) $\frac{F}{4}$ (۲) $\frac{F}{2}$ (۳) $\frac{3F}{8}$ (۴) $\frac{F}{16}$



۲۶- در شکل روبه‌رو گلوله‌ها در یک سطح افقی قرار دارند و مجموعه در حال تعادل است. اگر جرم گلوله‌های فلزی m_1 و m_2 و بار آن‌ها q_1 و q_2 باشد، درستی یا نادرستی عبارات‌های زیر را بررسی کنید:

- | نادرست | درست |
|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
- ۱- اگر $m_1 = m_2$ باشد، الزاماً $\alpha = \beta$ است.
 ۲- اگر $q_1 = q_2$ باشد، الزاماً $\alpha = \beta$ است.
 ۳- اگر $m_1 > m_2$ باشد، $\alpha < \beta$ است.
 ۴- اگر دو گلوله را یکسان فرض کرده و آن‌ها را با یک سیم رسانا برای لحظه‌ی کوتاهی به هم وصل کنیم، زاویه‌ی بین دو نخ افزایش می‌یابد. ($q_1 \neq q_2$)

امتحان نهایی

۲۷- جاهای خالی را با عبارت مناسب کامل کنید.

- ۱- اگر بارهای الکتریکی دو جسم باشند، نیروی الکتریکی بین دو جسم رانشی و اگر بارهای الکتریکی دو جسم باشند، نیروی الکتریکی بین دو جسم ربایشی خواهد بود. (فردار ۸۱، تهری)
- ۲- نیرویی که دو جسم باردار بر یکدیگر وارد می‌کنند، نام دارد که این نیرو ممکن است یا باشد. (شهریور ۸۵، تهری)
- ۳- بزرگی نیروی الکتریکی بین دو بار نقطه‌ای با حاصل‌ضرب نسبت دارد. (دی ۸۶، تهری)
- ۴- بزرگی نیروی الکتریکی بین دو ذره‌ی باردار با فاصله‌ی آن‌ها از یکدیگر نسبت دارد. (شهریور ۸۶، تهری)
- ۵- هرگاه فاصله‌ی بین دو بار نقطه‌ای از یکدیگر دو برابر شود، بزرگی نیروی الکتریکی بین آن‌ها، برابر بزرگی نیروی اولیه می‌شود. (دی ۸۵، تهری)
- ۶- اگر بارهای الکتریکی دو جسم نابرابر باشند، بزرگی نیروی الکتریکی واردشده به هر یک از جسم‌ها از طرف جسم دیگر، می‌باشد. (شهریور ۸۳، ریاضی)
- ۷- ϵ_0 یک جهانی است و ضریب الکتریکی خلأ نام دارد.

۸- $\frac{C^2}{N \cdot m^2}$ یکای است. (دی ۸۸، تهری)

۲۸- قانون کولن را تعریف کنید. (دی ۸۵، ریاضی)

۲۹- با طراحی یک آزمایش، بر هم‌کنش بارهای الکتریکی همنام را نشان دهید. (شهریور ۸۵، تهری)

۳۰- دو بار الکتریکی $q_1 = 4 \mu C$ و $q_2 = -16 \mu C$ در فاصله‌ی 10 سانتی‌متری یکدیگر قرار دارند. نوع و اندازه‌ی نیروی الکتریکی‌ای که هر کدام از این بارها بر دیگری وارد می‌کند را مشخص کنید. اگر فاصله‌ی دو بار را نصف کنیم، اندازه‌ی این نیرو چه تغییری می‌کند؟ (شهریور ۸۲، تهری، با اندکی تغییر)



۳۱- مطابق شکل روبه‌رو، دو گلوله با بارهای همنام و مساوی، هر کدام به جرم 10 گرم را در یک لوله‌ی شیشه‌ای قائم با بدنه‌ی نارسانا و بدون اصطکاک رها می‌کنیم. در حالت تعادل، گلوله‌ها در فاصله‌ی 40 سانتی‌متری از هم قرار می‌گیرند. اندازه‌ی بار الکتریکی هر گلوله را محاسبه کنید. ($g = 10 \text{ N/kg}$) (فردار ۸۷، ریاضی)

۳۲- دو کره‌ی کوچک فلزی مشابه، دارای بارهای الکتریکی $q_1 = 12 \mu C$ و $q_2 = -2 \mu C$ در فاصله‌ی 3 متری یکدیگر قرار دارند.

۱- نوع و اندازه‌ی نیروی الکتریکی بین این دو کره را به دست آورید.

۲- اگر این دو کره برای لحظه‌ای به هم تماس داده شوند و سپس در همان فاصله‌ی قبلی قرار گیرند، نوع و اندازه‌ی نیروی الکتریکی بین دو کره چه تغییری می‌کند؟

مقدمه

بار الکتریکی



ما خیلی همذیگر و دوست داریم!

● بار الکتریکی از خواص فیزیکی یک جسم است و دارای ویژگی‌های زیر است:

- بار الکتریکی دو نوع مثبت و منفی دارد.
- نیروی بین بارهای همنام دافعه و بین بارهای ناهمنام جاذبه است.
- ریشه‌ی بار الکتریکی هر جسم در اجزای تشکیل‌دهنده‌ی اتم‌های آن است. در هر اتم بار الکتریکی الکترون، منفی و بار الکتریکی پروتون، مثبت است. نوترون هم دارای بار الکتریکی نیست. هم‌چنین اندازه‌ی بار الکترون و پروتون یکسان است.
- از آن‌جا که جداکردن پروتون از هسته‌ی اتم کار بسیار دشواری است، جابه‌جایی بار الکتریکی همواره توسط الکترون‌ها (بارهای منفی) صورت می‌گیرد.
- بار الکتریکی کمیتی نرده‌ای است که آن را با نماد q نشان می‌دهیم.
- یکای بار الکتریکی در SI، کولن (C) می‌باشد.

- بار الکتریکی کمیتی کوانتومی یا گسسته است؛ یعنی هر مقدار که دلش خواست، نمی‌تواند باشد، بلکه همواره مضرب صحیحی از اندازه‌ی بار یک الکترون است ($q = \pm ne$)، که در این رابطه n تعداد الکترون‌هایی است که جسم گرفته یا از دست داده است).

● بهتر است اندازه‌ی بار الکترون را به خاطر بسپارید: $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$

● نخستین بار بنجامین فرانکلین فیزیک‌دان آمریکایی به وجود دو نوع بار الکتریکی مثبت و منفی پی‌برد.



▲ بنجامین فرانکلین روی صد دلاری!

بار الکتریکی در اجسام باردار

در شرایط عادی، تعداد پروتون‌های موجود در هسته‌ی هر اتم با تعداد الکترون‌های آن برابر است و اتم از نظر الکتریکی خنثی است. جسمی هم که از اتم‌های خنثی ساخته شده باشد، جسم خنثی نام دارد.

- وقتی جسم خنثی الکترون اضافی بگیرد، تعداد الکترون‌هایش از تعداد پروتون‌هایش بیشتر شده و بار الکتریکی جسم منفی می‌شود.
- وقتی جسم خنثی الکترون از دست بدهد، تعداد الکترون‌هایش کم‌تر از تعداد پروتون‌هایش شده و بار الکتریکی جسم مثبت می‌شود.
- منظور از بار خالص جسم، مجموع بارهای الکتریکی مثبت و منفی جسم است. بنابراین وقتی گفته می‌شود جسم خنثی است، منظور این نیست که جسم بار ندارد، بلکه اندازه‌ی بارهای الکتریکی مثبت آن با اندازه‌ی بارهای الکتریکی منفی آن برابر است و بنابراین بار خالص آن (مجموع بارهای مثبت و منفی) صفر است.

اصل پایستگی بار الکتریکی

بار الکتریکی به وجود نمی‌آید و از بین هم نمی‌رود، فقط از یک جسم به جسم دیگر منتقل می‌شود. برای مثال، اگر یک میله‌ی شیشه‌ای را با پارچه‌ای ابریشمی مالش دهیم، تعدادی از الکترون‌های میله جذب پارچه شده و میله دارای بار الکتریکی مثبت و پارچه به همان اندازه دارای بار منفی می‌شود. دقت کنید هیچ باری تولید نشده و از بین هم نرفته است، فقط الکترون‌ها از میله به پارچه منتقل شده‌اند.

۱- منظور از اندازه یا بزرگی یک کمیت، قدرمطلق آن است؛ یعنی مقدار آن کمیت بدون علامت.

دسته‌بندی مواد از نظر رسانش الکتریکی

- **جسم رسانا:** جسم رسانا دارای تعداد زیادی الکترون آزاد است که به راحتی می‌توانند در جسم جابه‌جا شوند؛ به همین دلیل وقتی به یک جسم رسانا بار الکتریکی داده شود، بار الکتریکی در محل داده‌شده ساکن نمی‌ماند و در جسم رسانا توزیع می‌شود. فلزات مانند طلا، مس، نقره و... رسانا هستند.
- **جسم نارسانا (عایق):** جسم نارسانا الکترون آزاد ندارد، بنابراین برخلاف جسم رسانا، وقتی به آن بار الکتریکی داده شود، بار در محل داده‌شده باقی می‌ماند و در جسم جابه‌جا نمی‌شود. موادی چون پلاستیک، چوب، کاغذ و... نارسانا هستند.

روش‌های باردار کردن اجسام

برای باردار کردن اجسام نارسانا از روش مالش و برای باردار کردن اجسام رسانا از روش تماس یا القا استفاده می‌شود.

روش مالش

- وقتی دو جسم نارسانا را به یکدیگر مالش دهیم، یکی از آن‌ها تعدادی الکترون از دست می‌دهد و دارای بار مثبت می‌شود و دیگری همان تعداد الکترون می‌گیرد و دارای بار منفی می‌شود.



▲ بعد از هدفمند شدن یارانه‌ی برق، می‌توان از این روش برای تولید الکتریسیته استفاده کرد!

- در این روش اندازه‌ی بار الکتریکی ایجادشده در دو جسم یکسان است، ولی بارها از نوع مخالف یکدیگرند. (اصل پایستگی بار الکتریکی)
- اگر میله‌ی شیشه‌ای را با پارچه‌ی ابریشمی مالش دهیم، میله‌ی شیشه‌ای الکترون از دست می‌دهد و دارای بار مثبت می‌شود و پارچه‌ی ابریشمی الکترون می‌گیرد و دارای بار الکتریکی منفی می‌گردد.
- اگر میله‌ی پلاستیکی را با پارچه‌ی پشمی مالش دهیم، میله‌ی پلاستیکی الکترون می‌گیرد و دارای بار منفی می‌شود و پارچه‌ی پشمی الکترون از دست می‌دهد و دارای بار الکتریکی مثبت می‌گردد.

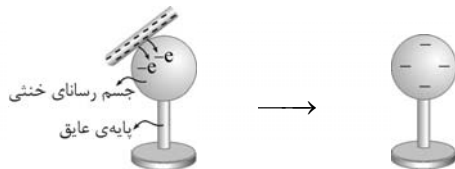
- برای این‌که بدانیم در مالش دو جسم کدامیک الکترون می‌گیرد و کدامیک الکترون می‌دهد، می‌توان از نمودار شکل زیر استفاده نمود. هر چه جسم به سمت چپ نمودار نزدیک‌تر باشد، تمایل بیشتری به گرفتن الکترون دارد و در نتیجه در مالش با اجسام سمت راست، بار آن منفی می‌شود.



- هر چه فاصله‌ی دو جسم در نمودار بالا بیشتر باشد، مقدار بار ایجادشده در اثر مالش آن دو به هم بیشتر است. خُب حالا روشن شد که چرا در کتاب فیزیک (۱) گفته‌شده که برای باردار کردن میله‌ی پلاستیکی آن را با پارچه‌ی پشمی مالش می‌دهیم و نه با پارچه‌ی ابریشمی؟ خوب معلومه برای این‌که بار الکتریکی بیشتری در میله‌ی پلاستیکی به وجود آید.

روش تماس

وقتی یک میله‌ی فلزی باردار را به یک رسانای بدون بار تماس دهیم، جسم رسانا باردار می‌شود و بار آن همانم با بار میله‌ی باردار می‌شود.



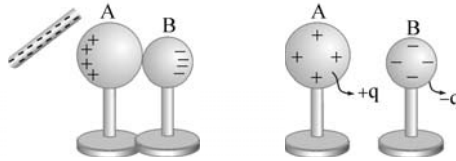
در شکل زیر، یک میله‌ی فلزی با بار منفی را به یک کره‌ی فلزی خنثی تماس می‌دهیم. در این حالت تعدادی از الکترون‌های میله به کره‌ی فلزی منتقل شده و کره دارای بار منفی می‌شود.

روش القا

در این روش هیچ تماسی بین جسم باردار (رسانا یا نارسانا) و جسم رسانای خنثی که قرار است باردار شود به وجود نمی‌آید. باردار کردن به روش القا بر دو نوع است:

۱- روش جدا کردن:

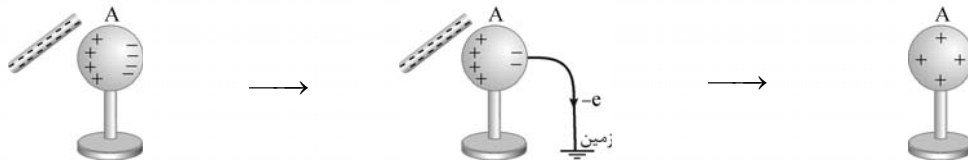
در این روش میله‌ی بارداری (رسانا یا نارسانا) به دو جسم رسانای خنثی که با هم در تماس هستند، نزدیک می‌کنیم و بعد میله را ثابت نگه می‌داریم و دو جسم رسانا را از هم جدا می‌کنیم و سپس میله را دور می‌کنیم. در این صورت بار دو جسم رسانا هم‌اندازه ولی ناهمنام می‌شود.



توجه با وجودی که دو کره‌ی رسانا در شکل فوق مشابه نیستند، ولی اندازه‌ی بار هر دو یکسان است. زیرا کره‌ی A، n الکترون از دست داده و کره‌ی B همان تعداد الکترون گرفته است.

۲- روش اتصال به زمین:

در این روش میله‌ی بارداری (رسانا یا نارسانا) را به جسم رسانای بدون باری نزدیک می‌کنیم. این میله باعث تفکیک بار الکتریکی در جسم می‌شود، سپس میله را ثابت نگه‌داشته و جسم رسانا را به زمین وصل می‌کنیم که در اثر آن الکترون‌ها از جسم رسانا به زمین یا از زمین به جسم رسانا، منتقل می‌شوند. سپس ارتباط با زمین را قطع کرده و میله‌ی بارداری را دور می‌کنیم. در این صورت جسم رسانا باردار می‌شود.



۱- نزدیک کردن میله با بار منفی به جسم رسانا باعث تفکیک بار در جسم رسانا می‌شود.

۲- با اتصال کره‌ی رسانا به زمین، الکترون‌های اضافی آن به زمین منتقل می‌شود.

۳- بار کره‌ی رسانا مثبت می‌شود، زیرا الکترون از دست داده است.

● در این روش بار الکتریکی ایجادشده در جسم رسانا از نوع مخالف بار میله‌ی باردار است.

● محل اتصال جسم رسانا به زمین اهمیتی ندارد؛ مثلاً در شکل فوق سیم به هر کجای کره‌ی فلزی (حتی سمت چپ آن) وصل شود، الکترون‌ها از جسم به زمین منتقل می‌شوند. ضمناً اگر سیم گیرتان نیامد با انگشت نیز کارتان راه می‌افتد، زیرا بدن ما رساناست و مانند سیم عمل می‌کند.

● زمین مانند یک مخزن بزرگ الکترون است که می‌تواند بدون هیچ منتهی به جسم الکترون بدهد و یا الکترون‌های اضافی جسم را بگیرد.

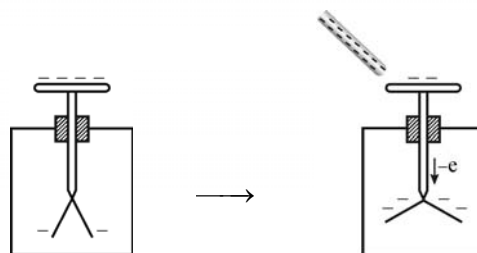
● در مسائل الکتریسیته علامت زمین به صورت، \perp است.

الکتروسکوپ


الکتروسکوپ از یک کلاهک و میله‌ی فلزی و هم‌چنین دو ورقه‌ی نازک فلزی که درون محفظه‌ای شیشه‌ای قرار گرفته‌اند ساخته می‌شود. وقتی الکتروسکوپ باردار شود، ورقه‌های نازک الکتروسکوپ دارای بار همنام می‌شوند و یکدیگر را دفع می‌کنند و از هم دور می‌شوند.

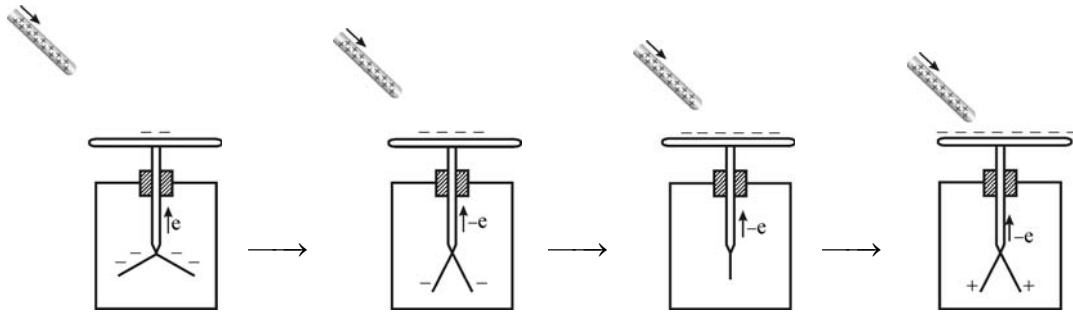
● برای باردار کردن الکتروسکوپ (که جسمی رساناست) از یکی از دو روش القا یا تماس استفاده می‌شود.

● اگر میله‌ای که بار آن با بار الکتروسکوپ همنام است، به کلاهک آن نزدیک شود، انحراف ورقه‌های الکتروسکوپ بیشتر می‌شود.



با نزدیک کردن میله‌ای با بار منفی به الکتروسکوپ که دارای بار منفی است، تعدادی از الکترون‌های کلاهک به طرف ورقه‌های آن رانده شده و انحراف ورقه‌ها بیشتر می‌شود.

● با نزدیک کردن میله‌ای که بار آن با بار الکتروسکوپ ناهمنام است، انحراف ورقه‌های الکتروسکوپ کم می‌شود. البته اگر بار میله نسبت به الکتروسکوپ زیاد باشد ممکن است انحراف ورقه‌ها تا حدی کم شود که انحراف به صفر رسیده و در ادامه با نزدیک کردن بیشتر میله به الکتروسکوپ، مجدداً ورقه‌های الکتروسکوپ از یکدیگر فاصله بگیرند.



با نزدیک کردن میله‌ای با بار مثبت به الکتروسکوپی که دارای بار منفی است انحراف ورقه‌ها کم می‌شود. با نزدیک‌تر کردن میله، انحراف ورقه‌ها به صفر می‌رسد. اگر باز هم نزدیک‌تر کنیم، ورقه‌ها مجدداً از هم باز می‌شوند. دقت کنید در تمام شکل‌های بالا، مقدار بار منفی الکتروسکوپ یکسان است و فقط توزیع بار الکتریکی در الکتروسکوپ تغییر می‌کند.



$$q = ne \Rightarrow n = \frac{q}{e} = \frac{8 \times 10^{-9}}{1.6 \times 10^{-19}} = 5 \times 10^{10} \text{ الکترون}$$

۱- از رابطه‌ی $q = \pm ne$ استفاده می‌کنیم:

برای آن که بار جسمی خنثی برابر با $+8 \text{ nC}$ شود، باید 5×10^{10} الکترون از آن گرفته شود.

$$q = +2e = 2 \times 1.6 \times 10^{-19} = 3.2 \times 10^{-19} \text{ C}$$

۲- یون Li^{++} ، دو الکترون از دست داده و بار الکتریکی آن $q = +2e$ می‌باشد.

دقت کنید اتم Li خنثی است؛ زیرا تعداد الکترون‌ها و پروتوهایش برابر است ولی در سؤال یون Li^{++} پرسیده شده است.

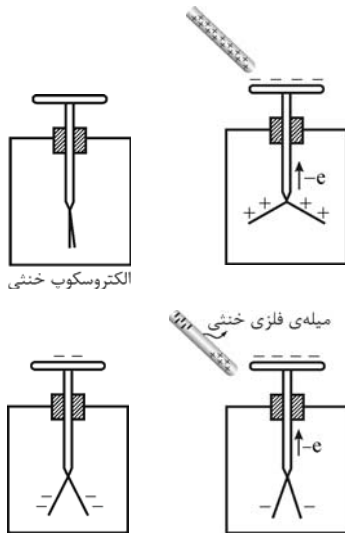
۲- ۱- نادرست / ۲- نادرست؛ مولکول‌های آب، قطبی (دارای سر مثبت و منفی) هستند، به همین دلیل وقتی در مجاورت جسم باردار قرار می‌گیرند بار اضافی جسم را به سادگی از خود عبور می‌دهند و باعث خنثی شدن جسم می‌شوند. به همین دلیل آزمایش‌های الکتروسیستهی ساکن در روزهای سرد و خشک نتیجه‌ی بهتری می‌دهد.

۳- درست؛ در مجاورت خط‌کش باردار، مولکول‌های کاغذ قطبیده می‌شوند، یعنی مراکز بارهای مثبت و منفی آن‌ها از هم جدا می‌شوند، بنابراین نوعی تفکیک بار الکتریکی در کاغذ رخ می‌دهد و به علت غلبه‌ی نیروی جاذبه بین بارهای ناهمنام بر نیروی دافعه‌ی بین بارهای همنام، ذرات کاغذ جذب خط‌کش می‌شوند. اما پس از تماس با خط‌کش، بار الکتریکی خرده‌های کاغذ با بار خط‌کش یکی شده و توسط خط‌کش دفع می‌شوند.

۴- درست / ۵- نادرست؛ در این حالت میله‌ی پلاستیکی دارای بار الکتریکی منفی و پارچه‌ی پشمی دارای بار الکتریکی مثبت خواهد شد. ۶- درست

$$n = \frac{q}{e} = \frac{23/4 \times 10^{-19}}{1.6 \times 10^{-19}} \approx 14/6$$

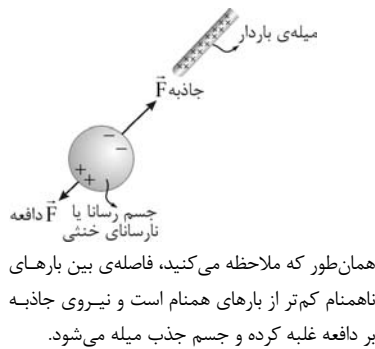
۷- نادرست؛ بار الکتریکی همواره باید مضرب صحیحی از بار الکترون باشد.



۳- ۱- مثبت، خنثی؛ اگر یک میله‌ی باردار، به کلاهک یک الکتروسکوپ باردار با بار همنام و یا یک الکتروسکوپ خنثی نزدیک شود، انحراف ورقه‌های آن زیاد می‌شود. در مورد الکتروسکوپ خنثی، با نزدیک کردن یک میله‌ی باردار، به علت پدیده‌ی القا، تفکیک بار الکتریکی در الکتروسکوپ (مطابق شکل) رخ می‌دهد و ورقه‌های آن از یکدیگر باز می‌شوند.

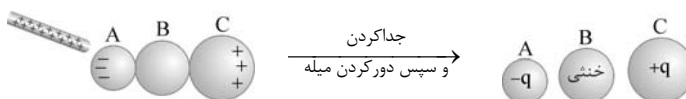
۲- مثبت، خنثی؛ اگر یک میله با بار الکتریکی مثبت به کلاهک الکتروسکوپی که دارای بار منفی است نزدیک شود، انحراف ورقه‌ها کم می‌شود. این که تابلو بودا اما نکته‌ی سؤال در مورد میله‌ی فلزی خنثی است. با نزدیک کردن میله‌ی فلزی خنثی به کلاهک یک الکتروسکوپ با بار منفی (مطابق شکل)، در بخشی از میله که نزدیک کلاهک است، بار مثبت و در انتهای دیگر آن بار منفی القا می‌شود. بار مثبت القاشده در سر میله، تعدادی از الکترون‌های ورقه‌های الکتروسکوپ را به طرف کلاهک می‌کشاند و در نتیجه انحراف ورقه‌ها کم می‌شود.

۳- مثبت؛ با نزدیک کردن میله با بار منفی به کره‌ی رسانای خنثی A، در سمتی از کره که به میله نزدیک‌تر است (سمت چپ) بار الکتریکی مثبت و در سمت دیگر آن بار الکتریکی منفی القا می‌شود. با بستن کلید S، الکترون‌های القایی در سمت راست کره‌ی رسانا برای خلاصی از نیروی دافعه‌ی میله‌ی باردار بر آن‌ها، فرار را بر قرار ترجیح می‌دهند. در نتیجه کره‌ی رسانای A تعدادی الکترون از دست می‌دهد و دارای بار مثبت می‌شود. در روش القا (اتصال به زمین) بار القایی جسم رسانا از نوع مخالف بار میله‌ی باردار می‌شود. در این سؤال بار میله‌ی باردار منفی است، پس بار کره‌ی رسانا مثبت می‌شود.



۴- رسانا، نارسانا - بار منفی دارد، خنثی است. وقتی میله‌ای با بار مثبت (رسانا یا نارسانا بودن میله مهم نیست) به جسمی رسانا یا نارسانا که دارای بار منفی است، نزدیک شود، میله جسم را جذب می‌کند. هم‌چنین اگر میله‌ی با بار مثبت را به جسم رسانا یا نارسانای خنثی نزدیک کنیم، باز هم میله جسم را جذب می‌کند؛ زیرا میله‌ی با بار مثبت، باعث تفکیک بار الکتریکی در جسم رسانا یا نارسانای خنثی می‌شود و به دلیل غلبه‌ی نیروی جاذبه بر دافعه، جسم جذب میله می‌شود. البته اگر جسم رسانا باشد، تفکیک بار الکتریکی بهتر صورت گرفته و نیروی جاذبه بزرگ‌تر خواهد بود.

۴- کره‌ی A دارای بار منفی، کره‌ی B خنثی و کره‌ی C دارای بار مثبت می‌شود.



مطابق شکل، با نزدیک کردن میله با بار مثبت به کره‌ی A، در این کره بار منفی و در کره‌ی C بار مثبت القا می‌شود؛ زیرا بارهای همنام با بار میله تمایل دارند در دورترین فاصله از میله‌ی باردار و بارهای ناهمنام تمایل دارند در نزدیک‌ترین فاصله از میله‌ی باردار قرار گیرند. بنابراین پس از جدا کردن کره‌ها و سپس دور کردن میله، کره‌ی A دارای بار منفی و کره‌ی C دارای همان اندازه بار مثبت می‌شود، ولی کره‌ی وسطی (B) بی‌نصیب از بار، خنثی می‌ماند.

توجه! اگر به جای کره‌ی B، صدا کره‌ی رسانای دیگر هم قرار بدهید، فقط کره‌های اول و آخر باردار می‌شوند و بار الکتریکی آن دو نیز هم‌اندازه و ناهمنام خواهد شد.

۵- گزینه‌ی «۴» صحیح است. وقتی دو جسم یکدیگر را جذب کنند، ممکن است یکی از آن‌ها خنثی و دیگری باردار باشد، ولی وقتی دو جسم یکدیگر را دفع کنند، الزاماً دو جسم دارای بار همنام‌اند. پس اجسام B و C الزاماً باردارند و بارشان نیز همنام است ولی جسم A می‌تواند خنثی باشد.

۶- ۱- در روش القا به طریقه‌ی جدا کردن، در دو جسم رسانا بار الکتریکی هم‌اندازه و ناهمنام به وجود می‌آید. در این سؤال با نزدیک کردن میله‌ی باردار منفی به کره‌ی A، تعدادی از الکترون‌های کره‌ی A به کره‌ی B منتقل می‌شود و $q_A = +ne$ و $q_B = -ne$ می‌شود؛

بنابراین $\frac{q_B}{q_A} = -1$ است.

۲- دو کره‌ی فلزی مشابه هستند، بنابراین پس از تماس با یکدیگر، بار الکتریکی آن‌ها یکسان می‌شود. بنابراین طبق اصل پایستگی بار الکتریکی، مجموع جبری بار الکتریکی آن‌ها قبل از تماس برابر با مجموع جبری بار الکتریکی آن‌ها پس از تماس است و می‌توان نوشت:

$$q_A + q_B = q'_A + q'_B \xrightarrow{q'_A = q'_B} q'_A = q'_B = \frac{q_A + q_B}{2} \Rightarrow q'_A = q'_B = \frac{6 + (-2)}{2} = 2 \text{ C}$$

برای این که بار الکتریکی هر دو کره $+2 \text{ C}$ شود، باید کره‌ی A، -4 C بار الکتریکی دریافت کند یا به عبارت دیگر بار الکتریکی -4 C از کره‌ی B به A منتقل شود.

احتیاط! بچه‌ها دقت کنید بار الکتریکی مثبت هیچ‌گاه جابه‌جا نمی‌شود؛ چون داخل هسته، گرفتار است.

نکته! هرگاه دو کره‌ی رسانای مشابه که بار الکتریکی آن‌ها به ترتیب q_1 و q_2 است، به یکدیگر تماس یابند، پس از جدا کردن دو کره بار هر یک $\frac{q_1 + q_2}{2}$ می‌شود. دقت کنید در این رابطه، علامت اولیه‌ی هر یک از بارها را حتماً بیاورید. راستی تماس دو کره به یکدیگر می‌تواند به وسیله‌ی

سیم رسانا و یا با اتصال مستقیم دو کره به هم صورت پذیرد.

۷ با تماس کره‌ی فلزی خنثی سوم به کره‌ی اول، بار هر یک $\frac{Q}{2}$ می‌شود، زیرا:

$$q'_1 = q'_2 = \frac{q_1 + q_2}{2} = \frac{+Q + 0}{2} = \frac{Q}{2}$$

اکنون با تماس کره‌ی فلزی سوم به کره‌ی دوم بار هر یک $-\frac{Q}{4}$ می‌شود، زیرا:

$$q'_2 = q'_3 = \frac{q_2 + q'_2}{2} = \frac{-Q + \frac{Q}{2}}{2} = -\frac{Q}{4}$$

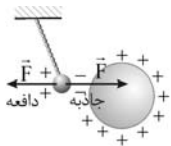
بنابراین بار کره‌ی (۱)، $\frac{Q}{4}$ و بار کره‌های (۲) و (۳) هر یک $-\frac{Q}{4}$ می‌شود.

۸ گزینه‌ی «۱» صحیح است. همواره دو جسم (رسانا یا نارسانا) که یکی از آن‌ها باردار و دیگری بدون بار باشد، وقتی در مجاورت هم قرار گیرند، یکدیگر را جذب می‌کنند. علت آن را قبلاً توضیح داده‌ام زیرا جسم باردار باعث تفکیک بار الکتریکی در جسم خنثی می‌شود و نیروهای جاذبه و دافعه به وجود می‌آید که نیروی جاذبه بر دافعه غلبه کرده و جسم خنثی جذب جسم باردار می‌شود. البته اگر جسم بدون بار رسانا باشد، بزرگی نیروی جاذبه قابل توجه است.

۹- اصل پایستگی بار الکتریکی $2 - 5 \times 10^{19}$ (الکترون) $5 \times 10^{19} = \frac{q}{e} = \frac{\lambda}{1/6 \times 10^{-19}} = 5 \times 10^{19}$ $(q = -ne \Rightarrow n = \frac{q}{e})$ - پارچه - میله - ۳- نارسانا (عایق)

۱۰ **گام اول:** چون گلوله آویزان را ابتدا با دست لمس می‌کنیم، پس روی آن بار خالصی وجود ندارد.

گام دوم: با نزدیک کردن کره‌ی رسانای باردار، روی گلوله‌ی آویزان القای بار صورت می‌گیرد. (بارهای الکتریکی از هم جدا می‌شوند.)



گام سوم: فاصله‌ی بین بارهای ناهمنام کم‌تر از فاصله‌ی بین بارهای همنام است، بنابراین نیروی جاذبه بر دافعه غلبه کرده و گلوله‌ی آویزان جذب کره‌ی باردار می‌شود.

یادآوری! اشاره به سه مورد فوق در پاسخ سؤال کافی است. اما لازم است بدانیم که اگر گلوله‌ی آویزان پس از جذب شدن توسط کره‌ی رسانا، با آن تماس پیدا کند، پس از تماس، گلوله دارای بار مثبت می‌شود (باردار کردن به روش تماس) و چون بار کره و گلوله همنام شده، مطابق شکل مقابل، گلوله از کره دفع می‌شود.

۱۱ **جسم نارسانا:** وقتی به یک جسم نارسانا بار الکتریکی داده شود، بار در محل داده شده به جسم باقی می‌ماند و در جسم جابه‌جا نمی‌شود.

جسم رسانا: وقتی به یک جسم رسانا بار الکتریکی داده شود، بارها ساکن نمی‌مانند و آن قدر جابه‌جا می‌شوند تا به علت دافعه‌ی الکتریکی در بیشترین فاصله از یکدیگر قرار گیرند. در این حالت در الکتریسیته‌ی ساکن، بار در سطح خارجی جسم رسانا توزیع می‌شود.

۱۲ چون شما بچه‌های خوبی هستید به جای یک دلیل دو دلیل می‌آوریم!

دلیل اول: معمولاً اطراف ما اجسام بدون بار (خنثی) هستند و بنابراین اجسام باردار اجسام بدون بار را جذب می‌کنند.

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

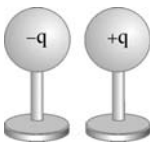


۱۳ از روش القا به طریقه‌ی جدا کردن استفاده می‌کنیم. مطابق شکل ابتدا دو کره‌ی رسانا را به هم

تماس می‌دهیم، بعد یک میله‌ی باردار به یکی از آن‌ها نزدیک می‌کنیم تا تفکیک بار الکتریکی در دو

کره صورت بگیرد. سپس میله را در جای خود ثابت نگه می‌داریم و دو کره را از هم جدا می‌کنیم. حالا

می‌توانیم میله را دور کنیم.



توجه در این روش حتی اگر کره‌ها مشابه نیز نباشند، اندازه‌ی بار الکتریکی القاشده روی هر دو کره یکسان می‌شود.

۱۴ با تماس دادن گلوله با یکی از صفحه‌ها، بار همنام آن صفحه را گرفته و از آن دفع شده و به طرف صفحه‌ی مقابل که بار مخالف دارد می‌رود. بعد از تماس به علت همنام شدن بار گلوله با آن صفحه، دوباره به طرف مقابل می‌رود. این عمل ادامه دارد تا بار روی صفحه‌ها خنثی شوند.

۱۵ اول درس‌نامه‌ی قانون کولن!

قانون کولن

نیروی الکتریکی بین دو بار



نیرویی که دو جسم باردار به یکدیگر وارد می‌کنند، نیروی الکتریکی نام دارد که دارای ویژگی‌های زیر است:

- برای بارهای الکتریکی همنام به صورت رانشی (دافعه) و برای بارهای الکتریکی ناهمنام به صورت ربایشی (جاذبه) است.
- بسیاری از نیروهایی که روزانه با آن‌ها سروکار داریم، مانند نیروی اصطکاک، نیروی کشش نخ یا فنر، نیروی کشش سطحی، نیروی مقاومت هوا، نیروی عمودی سطح و ... ماهیت الکتریکی دارند.
- نیروی الکتریکی همانند سایر نیروها کمیتی برداری است که آن را با \vec{F} نشان می‌دهند اما اگر بخواهیم فقط اندازه یا بزرگی آن را نشان دهیم آن را به صورت F نشان می‌دهیم. (کلاهدرداری از یک بردار برای نشان دادن اندازه‌ی آن است!)

▲ افراد باردار هم مثل اجسام باردار به همدیگر نیرو وارد می‌کنند.

رابطه‌ی اندازه‌ی نیروی الکتریکی بین دو بار (رابطه‌ی کولن)

اندازه‌ی نیروی الکتریکی بین دو بار ذره‌ای یا نقطه‌ای، با حاصل ضرب اندازه‌ی دو بار رابطه‌ی مستقیم و با مجذور فاصله‌ی بین دو بار رابطه‌ی وارون دارد. قانون کولن به صورت مقابل نوشته می‌شود:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

● در این رابطه q_1 و q_2 اندازه‌ی بار دو ذره برحسب کولن (C)، r فاصله‌ی بین دو بار برحسب متر (m) و F اندازه‌ی نیروی الکتریکی بین دو بار، برحسب نیوتون (N) است.

● در رابطه‌ی قانون کولن، ϵ_0 یک ثابت جهانی است که ضریب گذردهی الکتریکی خلأ^۱ و $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ ثابت قانون کولن نام دارد.

$$\epsilon_0 \approx 8.85 \times 10^{-12} \frac{C^2}{N \cdot m^2} \quad \text{و} \quad k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \approx 9 \times 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$$

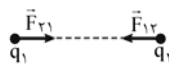
توجه احتیاط واجب آن است که مقدار k را به خاطر مبارک بسپارید!

● در رابطه‌ی کولن، علامت بارهای q_1 و q_2 وارد نمی‌شود و تشخیص دافعه یا جاذبه بودن نیروی بین بارها با توجه به همنام یا ناهمنام بودن بارها است.

● نیروی الکتریکی که بار q_1 به q_2 وارد می‌کند با \vec{F}_{12} و نیروی الکتریکی که بار q_2 به q_1 وارد می‌کند با \vec{F}_{21} نشان می‌دهند که طبق قانون سوم نیوتون، این دو نیرو هم‌اندازه ولی در خلاف جهت یکدیگرند، مساوی بودن F_{21} و F_{12} ربطی به اندازه‌ی بارهای q_1 و q_2 ندارد.

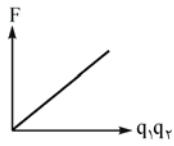


نیروی الکتریکی بین دو بار همنام

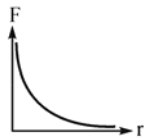


نیروی الکتریکی بین دو بار ناهمنام

۱- ضریب گذردهی الکتریکی یک محیط، معیاری از توانایی آن محیط در ذخیره‌ی انرژی الکتریکی است.



● با فرض ثابت بودن فاصله‌ی بین دو بار، نمودار اندازه‌ی نیروی الکتریکی (F) برحسب حاصل ضرب دو بار (q_1q_2) به صورت خطی است.

$$\text{شیب خط} = \frac{k}{r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$


● با فرض ثابت بودن بارهای q_1 و q_2 ، نمودار اندازه‌ی نیروی الکتریکی (F) برحسب فاصله‌ی بین دو بار (r) به شکل روبه‌رو است:

● قانون کولن را علاوه بر بارهای نقطه‌ای می‌توان برای اجسام باردار نیز به کار برد، به شرطی که فاصله‌ی دو جسم نسبت به ابعاد آن‌ها خیلی بزرگ باشد، در این صورت (r) در قانون کولن فاصله‌ی مراکز دو جسم است.

● طبق قانون کولن ($F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1q_2}{r^2}$) بیشترین اندازه‌ی نیروی الکتریکی بین دو بار در خلأ است، زیرا قابلیت گذردهی الکتریکی محیط‌های دیگر از خلأ بزرگ‌تر است ($\epsilon > \epsilon_0$)، بنابراین در این حالت اندازه‌ی نیروی الکتریکی کم‌تر است.

$$F_{\text{خلأ}} < F_{\text{محیط}} \Rightarrow \frac{1}{4\pi\epsilon_0} < \frac{1}{4\pi\epsilon} \Rightarrow \epsilon > \epsilon_0 \Rightarrow \text{قابلیت گذردهی الکتریکی محیط‌های غیر از خلأ}$$

گزینه‌ی «۲» صحیح است.

۱۶-۱- برابر، در خلاف جهت ($\vec{F}_2 = -\vec{F}_1$) / ۲-۹، جاذبه؛ از رابطه‌ی قانون کولن استفاده می‌کنیم: $F = \frac{kq_1q_2}{r^2} = \frac{(9 \times 10^9)(10 \times 10^{-6})(4 \times 10^{-6})}{(0.2)^2} = 9 \text{ N}$

احتیاط در عددگذاری در رابطه‌ی قانون کولن، q باید برحسب متر باشد تا نیرو برحسب نیوتون به دست آید.

پیشوندهای کوچک‌تر از واحد

پیشوندهای کوچک‌تر از واحد کاربردی به شرح زیر است:

۱- دسی	۲- سانتی	۳- میلی	۴- میکرو	۵- نانو	۶- پیکو	۷- فمتو
$10^{-1} = d$	$10^{-2} = c$	$10^{-3} = m$	$10^{-6} = \mu$	$10^{-9} = n$	$10^{-12} = p$	$10^{-15} = f$

توجه میکرون (μ°) همان میکرومتر (واحد طول) است ($\mu^\circ = \mu\text{m}$) و هر میکرون معادل 10^{-6} متر است ($1\mu^\circ = 10^{-6} \text{ m}$).
 آنگستروم (Å) نیز واحد طول است و هر آنگستروم معادل 10^{-10} متر است ($1\text{Å} = 10^{-10} \text{ m}$).
 سانتی فقط با متر یا اقوام متر، مثل مترمربع و مترمکعب استفاده می‌شود.

۱۷ طبق قانون کولن، اندازه‌ی نیروی الکتریکی بین دو بار ذره‌ای از رابطه‌ی $F = \frac{kq_1q_2}{r^2}$ به دست می‌آید.

$$1/6 = \frac{(9 \times 10^9)(q^2)}{r^2} \Rightarrow q^2 = \frac{r^2 \times 1/6}{9 \times 10^9} = \frac{16}{10^{10}} \Rightarrow q = \frac{4}{10^5} = 40 \times 10^{-6} \text{ C} = 40 \mu\text{C}$$

۱۸ ابتدا فاصله‌ی دو نقطه را از رابطه‌ی $r = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$ به دست می‌آوریم و سپس در رابطه‌ی قانون کولن عددگذاری می‌کنیم:

$$r = \sqrt{(4 - (-2))^2 + (9 - 1)^2} = 10 \text{ cm} = 0.1 \text{ m}$$

$$F = \frac{kq_1q_2}{r^2} = \frac{(9 \times 10^9)(3 \times 10^{-6})(5 \times 10^{-6})}{(0.1)^2} = 13.5 \text{ N}$$

۱۹-۱- $\frac{1}{4}$ راه اول: طبق رابطه‌ی قانون کولن $F = \frac{kQ^2}{r^2}$ ، اگر r دو برابر شود، مخرج ۴ برابر شده و F، $\frac{1}{4}$ برابر می‌شود.

راه دوم: از نسبت $\frac{F'}{F}$ استفاده می‌کنیم:

$$\frac{F'}{F} = \frac{kq_1'q_2'}{(r')^2} = \frac{q_1'q_2'}{q_1q_2} \times \left(\frac{r}{r'}\right)^2 \Rightarrow \frac{F'}{F} = \left(\frac{r}{r'}\right)^2 = \frac{1}{4}$$

$$\frac{F'}{F} = \frac{q_1'q_2'}{q_1q_2} \times \left(\frac{r}{r'}\right)^2 = \frac{Q \times Q}{Q \times Q} \times \left(\frac{r}{r'}\right)^2 = \frac{1}{4} \times 16 = 4; 4-3 \Rightarrow \frac{F'}{F} = \left(\frac{r}{r'}\right)^2 = \left(\frac{r}{r'}\right)^2 = 4; 4-2$$

$$\frac{F'}{F} = \left(\frac{r}{r'}\right)^2 = 2 \Rightarrow \frac{r}{r'} = \sqrt{2} \Rightarrow r' = \frac{r}{\sqrt{2}} = \frac{r\sqrt{2}}{2}; \sqrt{2}-5 \Rightarrow \frac{F'}{F} = \left(\frac{r}{r'}\right)^2 = \frac{1}{2} \Rightarrow \frac{r}{r'} = \frac{1}{\sqrt{2}} \Rightarrow r' = r\sqrt{2}; \sqrt{2}-4$$

۶- $\frac{1}{8} - \frac{1}{8} = \frac{1}{4}$ ؛ $\frac{1}{4} = \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \left(\frac{r}{R}\right)^2 \times \frac{(2Q) \times \left(\frac{Q}{4}\right)}{Q \times Q} = \frac{Q_1' Q_2'}{q_1 q_2} \times \left(\frac{r}{R}\right)^2 = \frac{F'}{F} = \frac{3-7}{3}$ ؛ وقتی ۵۰ درصد از یکی از بارها برداشته شود، آن بار نصف می‌شود. $\left(Q - \frac{Q}{4} = \frac{3Q}{4}\right)$ وقتی آن ۵۰ درصد به بار دیگر اضافه شود، آن بار $\frac{3}{4}$ برابر می‌شود. $\left(Q + \frac{Q}{4} = \frac{5Q}{4}\right)$

$$\frac{F'}{F} = \frac{q_1' q_2'}{q_1 q_2} \times \left(\frac{r}{R}\right)^2 = \frac{\frac{3}{4} Q \times \frac{5}{4} Q}{Q \times Q} \times \left(\frac{r}{R}\right)^2 = \frac{3}{4} \times \frac{5}{4} = \frac{15}{16}$$

یا روش سریع‌تر: طبق رابطه $F = \frac{k q_1 q_2}{r^2}$ ، اگر q_1 برابر $\frac{1}{4}$ و q_2 برابر $\frac{3}{4}$ و r نیز $\frac{1}{4}$ برابر شود، $F' = \frac{k q_1 q_2}{\left(\frac{r}{4}\right)^2} = 16 \times \frac{3}{4} = 12$ برابر می‌شود.

درصدها - فوضول توریاضی!

طراحان سؤالات فیزیک آزمون سراسری، علاقه‌ی خاصی به استفاده از درصدها در نشان دادن تغییرات یک کمیت دارند.

وقتی گفته شود کمیتی X درصد افزایش یافته، یعنی $\left(1 + \frac{X}{100}\right)$ برابر می‌شود و یا بر عکس.

وقتی گفته شود کمیتی X درصد کاهش یافته، یعنی $\left(1 - \frac{X}{100}\right)$ برابر می‌شود و یا بر عکس.

برای مثال اگر کمیتی ۱۰ درصد افزایش یابد، $1/11$ برابر و اگر ۱۰ درصد کاهش یابد، $9/10$ برابر می‌شود.

اگر کمیتی ۵۰ درصد افزایش یابد، $1/2$ برابر و اگر ۵۰ درصد کاهش یابد، $1/2$ برابر می‌شود.

یک روز در یکی از کلاس‌هایم پیامکی به شرح زیر از یکی از بچه‌ها به من رسید که باحال بود:

ده درصد دلم تنگته، بیست درصد یادتم، سی درصد می‌خوامت، چهل درصد بی‌قرارتم، پنجاه درصد دل‌نگرانتم، شصت درصد حواسم بهته، هفتاد درصد دیوونتم، هشتاد درصد نوکرتم، نود درصد دوست دارم و صد درصد سر کاری!

۲۰ - دافعه؛ پس از تماس دو کره‌ی رسانای مشابه، بار هر یک $q_1' = q_2' = \frac{q_1 + q_2}{2} = \frac{12 + (-8)}{2} = 2 \mu\text{C}$

$$\frac{F'}{F} = \frac{q_1' q_2'}{q_1 q_2} \times \left(\frac{r}{R}\right)^2 = \frac{2 \times 2}{12 \times 8} \times 1 = \frac{1}{24}$$

می‌شود:

۹۰۰-۲؛ پس از محاسبه‌ی بزرگی نیروی الکتریکی بین دو جسم، شتاب اولیه‌ی هر یک از رابطه‌ی $a = \frac{F}{m}$ به دست می‌آید:

$$F = \frac{k q^2}{r^2} = \frac{(9 \times 10^9)(10 \times 10^{-6})^2}{(0.1)^2} = 90 \text{ N}, \quad a = \frac{F}{m} = \frac{90}{0.1} = 900 \text{ m/s}^2$$

دقت کنید حرکت این دو جسم، حرکت شتاب‌دار با شتاب متغیر است زیرا با دور شدن آن‌ها از یکدیگر اندازه‌ی نیروی الکتریکی بین آن‌ها و در نتیجه شتاب دو جسم کاهش می‌یابد.

۲۱ گزینه‌ی «۲» صحیح است. چون بار $q_1 = 8 \mu\text{C}$ است، ۲۵ درصد آن $2 \mu\text{C}$ می‌شود. پس وقتی ۲۵ درصد از بار q_1 را برمی‌داریم،

یعنی $q_1' = 6 \mu\text{C}$ می‌شود و اگر این مقدار را به بار q_2 اضافه می‌کنیم $q_2' = q_2 + 2 \mu\text{C}$ می‌شود. وقتی گفته می‌شود بزرگی نیروی بین دو بار ۵۰ درصد افزایش می‌یابد؛ یعنی $1/5$ برابر می‌شود. $\left(F + \frac{F}{5} = \frac{6}{5}F\right)$

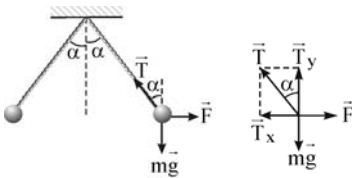
$$\frac{F'}{F} = \frac{q_1' q_2'}{q_1 q_2} \times \left(\frac{r}{R}\right)^2 \Rightarrow \frac{\frac{6}{5}F}{F} = \frac{(q_2 + 2)(6)}{(q_2)(8)} \times 1 \Rightarrow \frac{6}{5} = \frac{6(q_2 + 2)}{8(q_2)} \Rightarrow 12(q_2 + 2) = 24q_2 \Rightarrow q_2 + 2 = 2q_2 \Rightarrow q_2 = 2 \mu\text{C}$$

۲۲ گزینه‌ی «۴» صحیح است. فرض کنید بار q را از بار Q برداشته $(Q - q)$ و به بار دیگر اضافه کنیم $(Q + q)$ با استفاده از رابطه‌ی قانون کولن، داریم:

$$\frac{F'}{F} = \frac{q_1' q_2'}{q_1 q_2} \times \left(\frac{r}{R}\right)^2 \Rightarrow \frac{15F}{F} = \frac{(Q - q)(Q + q)}{Q \cdot Q} \times 1 \Rightarrow \frac{15}{16} = \frac{Q^2 - q^2}{Q^2}$$

$$\Rightarrow \frac{15}{16} = 1 - \left(\frac{q}{Q}\right)^2 \Rightarrow \left(\frac{q}{Q}\right)^2 = 1 - \frac{15}{16} = \frac{1}{16} \Rightarrow \frac{q}{Q} = \frac{1}{4} = 0.25 \Rightarrow q = \frac{25}{100} Q$$

یعنی باید ۲۵ درصد از یکی از بارها برداریم و به دیگری اضافه کنیم.



۲۳ به هر گلوله‌ی آونگ سه نیروی \vec{T} ، \vec{mg} و \vec{F} (نیروی الکتریکی) وارد می‌شود که چون گلوله‌ها در حال تعادل اند طبق قانون اول نیوتون باید برآیند این سه نیرو صفر باشد، کافی است نیروی \vec{T} را تجزیه کنیم و یک بار رابطه‌ی تعادل را در راستای x ($\sum F_x = 0$) و بار دیگر در راستای y ($\sum F_y = 0$) بنویسیم:

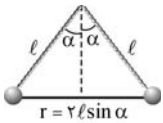
رابطه‌ی (۱) $\sum F_x = 0 \Rightarrow T_x = F \Rightarrow T \sin \alpha = F$

رابطه‌ی (۲) $\sum F_y = 0 \Rightarrow T_y = mg \Rightarrow T \cos \alpha = mg$

حال دو رابطه را بر هم تقسیم می‌کنیم، تا از شر T خلاص شویم:

$$\frac{\text{رابطه‌ی (۱)}}{\text{رابطه‌ی (۲)}} \Rightarrow \frac{T \sin \alpha}{T \cos \alpha} = \frac{F}{mg} \Rightarrow \tan \alpha = \frac{F}{mg} \Rightarrow \tan \alpha = \frac{kq^2}{r^2} = \frac{kq^2}{r^2 mg}$$

مطابق شکل زیر، فاصله‌ی دو گلوله از رابطه‌ی $r = 2\ell \sin 37^\circ$ به دست می‌آید؛ زیرا:



$$\sin \alpha = \frac{\text{مقابل}}{\text{وتر}} = \frac{r}{2\ell} \Rightarrow r = 2\ell \sin 37^\circ = 2 \times 10 \times 0.6 = 12 \text{ m}$$

$$\tan 37^\circ = \frac{9 \times 10^{-9} \times q^2}{(1/2)^2 \times 0.12 \times 10} = \frac{3}{4} \Rightarrow q^2 = 1/44 \times 10^{-10} \Rightarrow |q| = 1/2 \times 10^{-5} \text{ C} = 12 \mu\text{C}$$

بچه‌ها لطفاً فقط حل مسئله را نگاه نکنید، خودتان باید حل کنید و به جواب برسید تا یاد بگیرید!

فوضولیتو مثلثات!

بچه‌ها دو زاویه‌ی 37° و 53° در فیزیک خیلی مهم هستند. بالا بری، پایین بیایی چپ و راست تو سوالات فیزیک این دو زاویه را میدان! جدول زیر را حفظ کن و خودتو خلاص کن. برای حفظ کردن این جدول می‌توان از سهراب سپهری کمک گرفت:

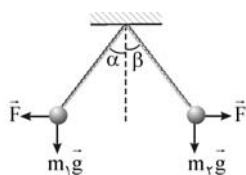
θ	$\sin \theta$	$\cos \theta$	$\tan \theta$
37°	0.6	0.8	$\frac{3}{4}$
53°	0.8	0.6	$\frac{4}{3}$

سهراب سپهری شاعر است.
سینوس سی و هفت شش‌دهم است.

۲۴ گزینه‌ی «۱» صحیح است. نیروی الکتریکی بین دو بار در خلأ از رابطه‌ی $F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{q_1 q_2}{r^2}$ به دست می‌آید. در محیط‌های دیگر باید به جای ϵ_0 از ϵ که $\epsilon > \epsilon_0$ است استفاده شود، به عبارت دیگر، قابلیت‌گذردهی در سایر محیط‌ها از خلأ بزرگ‌تر است، بنابراین بزرگی نیروی الکتریکی بین دو بار در سایر محیط‌ها از خلأ کوچک‌تر است.

۲۵ گزینه‌ی «۳» صحیح است. وقتی کره‌ی C به کره‌ی A تماس می‌یابد، بار هر دوی آن‌ها $q'_A = q'_C = \frac{0+Q}{2} = \frac{Q}{2}$ می‌شود. حال وقتی کره‌ی C به کره‌ی B تماس می‌یابد، بار هر دوی آن‌ها $q'_B = q'_C = \frac{\frac{Q}{2} + Q}{2} = \frac{3}{4}Q$ می‌شود.

حالا بزرگی نیروی الکتریکی بین دو بار را با بزرگی نیروی اولیه‌ی بین آن‌ها مقایسه می‌کنیم: $\frac{F'}{F} = \frac{q'_A q'_B}{q_A q_B} \times \left(\frac{r}{r'}\right)^2 = \frac{\frac{Q}{2} \times \frac{3}{4}Q}{Q \times Q} \times 1 = \frac{3}{8} \Rightarrow F' = \frac{3}{8}F$



۲۶ همان‌طور که در حل سؤال ۲۳ اثبات شد $\tan \alpha = \frac{F}{m_1 g}$ و به‌طور مشابه $\tan \beta = \frac{F}{m_2 g}$ است. طبق قانون سوم نیوتون نیروی الکتریکی که گلوله‌ی (۱) به (۲) وارد می‌کند با نیروی الکتریکی که گلوله‌ی (۲) به (۱) وارد می‌کند هم‌اندازه است و این موضوع ربطی به اندازه‌ی بار دو گلوله ندارد. پس در این سؤال فقط باید به جرم گلوله‌ها توجه کنیم.

۱- درست؛ $\alpha = \beta \Rightarrow \tan \alpha = \tan \beta \Rightarrow \frac{\tan \alpha}{\tan \beta} = \frac{m_2}{m_1} = 1$ / ۲- نادرست؛ شرط برابری زاویه‌ها فقط برای جرم گلوله‌ها است.

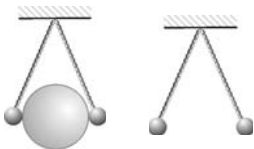
۳- درست؛ $\alpha < \beta \Rightarrow \tan \alpha < \tan \beta \Rightarrow m_1 > m_2$ / ۴- درست؛ وقتی دو گلوله‌ی مشابه رسانا که دارای بار همنام و غیر هم‌اندازه‌اند برای لحظه‌ای به هم تماس داده شوند، نیروی الکتریکی بین آن‌ها افزایش می‌یابد (چرا؟). با افزایش نیروی دافعه‌ی بین دو گلوله، زاویه‌ی بین دو نخ نیز زیاد می‌شود.

۲۷) ۱- همنام - ناهمنام / ۲- نیروی الکتریکی - ریاضی - رانشی / ۳- اندازه‌ی دو بار - مستقیم / ۴- مجذور - وارون (عکس)

۵- $\frac{1}{4}$ ؛ زیرا: $\frac{F'}{F} = \left(\frac{r}{r'}\right)^2 = \left(\frac{r}{2r}\right)^2 = \frac{1}{4}$ / ۶- هم‌اندازه / ۷- ثابت - گذردهی / ۸- ضریب گذردهی الکتریکی خلأ

۲۸) اندازه‌ی نیروی الکتریکی ریاضی یا رانشی بین دو ذره‌ی باردار q_1 و q_2 که در فاصله‌ی r از یکدیگر قرار دارند، با حاصل ضرب اندازه‌ی بار دو ذره نسبت مستقیم و با مجذور فاصله‌ی دو ذره نسبت وارون دارد.

$$F \propto \frac{q_1 q_2}{r^2} \Rightarrow F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{q_1 q_2}{r^2}$$



۲۹) مراحل آزمایش به شرح زیر است:

۱- دو آونگ الکتریکی مشابه می‌سازیم.

۲- یک کره‌ی رسانا را باردار می‌کنیم و آن را هم‌زمان به دو آونگ تماس می‌دهیم و سپس آن را از آونگ‌ها دور می‌کنیم.

۳- گلوله‌ها باری هم‌اندازه و همنام پیدا می‌کنند و به علت دافعه‌ی الکتریکی، یکدیگر را می‌رانند و به همین دلیل دو نخ با هم زاویه می‌سازند.

۳۰) از قانون کولن $F = \frac{kq_1 q_2}{r^2}$ ، استفاده می‌کنیم:

$$F = \frac{(9 \times 10^9) \times (4 \times 10^{-6}) \times (16 \times 10^{-6})}{(0.1)^2} = 57.6 \text{ N}$$

چون بارها ناهمنام هستند، نیرو از نوع ریاضی (جاذبه) است.

$$\frac{F'}{F} = \left(\frac{r}{r'}\right)^2 = \left(\frac{r}{\frac{r}{2}}\right)^2 = 2^2 = 4$$

اگر فاصله‌ی دو بار نصف شود، بزرگی نیروی الکتریکی بین دو بار چهار برابر می‌شود؛ زیرا:

$$F' = 4F = 4 \times 57.6 = 230.4 \text{ N}$$



۳۱) برای این که گلوله‌ی بالایی در حال تعادل باشد، باید برابری نیروهای وارد بر آن صفر باشد. به عبارت دیگر

دو نیروی وزن و الکتریکی باید هم‌اندازه و در خلاف جهت یکدیگر باشند.

$$F = mg \Rightarrow \frac{kqq}{r^2} = mg \Rightarrow \frac{9 \times 10^9 \times q^2}{(0.4)^2} = 0.01 \times 10 \Rightarrow q^2 = \frac{(0.4)^2 \times 0.1}{9 \times 10^9} = \frac{(0.4)^2}{9 \times 10^{10}} \Rightarrow q = \frac{0.4}{3 \times 10^5} = \frac{4}{3} \times 10^{-6} \text{ C} = \frac{4}{3} \mu\text{C}$$



۳۲) لطفاً در عددگذاری فرمول‌ها خصوصاً در امتحان نهایی، فقط از واحدهای SI استفاده کنید؛ یعنی

واحد بار، کولن، واحد طول، متر، واحد جرم، کیلوگرم و ... باید استفاده شود. عواقب استفاده از هر واحد دیگری متوجه خودتان است.

۱- از قانون کولن $F = \frac{kq_1 q_2}{r^2}$ استفاده می‌کنیم؛ چون بارها ناهمنام‌اند، نیروی الکتریکی از نوع جاذبه است.

$$F = \frac{(9 \times 10^9)(12 \times 10^{-6})(2 \times 10^{-6})}{(3)^2} = 24 \times 10^{-3} \text{ N} = 0.24 \text{ N}$$

۲- چون دو کره مشابه هستند، بار بعد از تماس آن‌ها باید یکی باشد ($q'_1 = q'_2$). مطابق با اصل پایستگی بار الکتریکی می‌توان نوشت:

$$q_1 + q_2 = q'_1 + q'_2 \Rightarrow 12 + (-2) = 2q'_1 = 2q'_2 \Rightarrow q'_1 = q'_2 = \frac{12 + (-2)}{2} = 5 \mu\text{C}$$

اکنون بزرگی نیروی الکتریکی جدید بین دو کره را به دست می‌آوریم؛ دقت کنید چون بار گلوله‌ها همنام شده، نیرو از نوع دافعه می‌شود.

$$F = \frac{(9 \times 10^9)(5 \times 10^{-6})(5 \times 10^{-6})}{(3)^2} = 25 \times 10^{-3} \text{ N} = 0.25 \text{ N}$$

به عبارت دیگر بزرگی نیروی بین دو بار 0.01 N افزایش می‌یابد، ضمن این که از حالت جاذبه به دافعه تبدیل می‌شود.

توجه) شاید نیاز به یادآوری نباشد، ولی فراموش نکنید در فرمول قانون کولن نیازی به وارد کردن علامت بارها نیست.