

آسان

-۴

آ) الکتروسکوپ برای این منظور باید خنثی باشد (ورقه‌ها روی یکدیگر). اگر با نزدیک کردن جسم به کلاهک الکتروسکوپ ورقه‌ها از هم دور شدند، جسم دارای بار الکتریکی است و در غیر این صورت جسم خنثی است.

ب) جسم را در دست گرفته و به کلاهک الکتروسکوپ باردار تماس می‌دهیم. اگر ورقه‌ها روی هم افتادند، جسم رسانا است و اگر ورقه‌ها تغییری نکردند و یا بسیار کم به هم نزدیک شدند، جسم نارسنا است.

پ) الکتروسکوپ برای این منظور باید دارای بار الکتریکی با نوع مشخص باشد. هرگاه جسم دارای بار الکتریکی را به آرامی به کلاهک الکتروسکوپ نزدیک کنیم (بدون تماس)، دو حالت داریم:

۱- بار جسم با بار الکتروسکوپ هم نوع است. در این صورت ورقه‌های الکتروسکوپ از هم دورتر می‌شوند.

۲- بار جسم با بار الکتروسکوپ مخالف هم هستند. در این صورت، ورقه‌ها ابتدا به هم نزدیک و سپس از هم دور می‌شوند. توجه کنید که در این حالت نزدیک شدن ورقه‌ها در ابتدا حتماً اتفاق می‌افتد ولی بسته شدن و دوباره از هم دور شدن ورقه‌ها بستگی به مقدار بار جسم باردار و فاصله آن تا کلاهک الکتروسکوپ دارد.

آسان

-۷

جدولی است که به کمک آن می‌توان به دست آوردن یا از دست دادن الکترون اجسام هنگام مالش با هم را معلوم کرد. در این جدول مواد نزدیک به انتهای منفی سری، الکترون‌خواهی بیشتری دارند. یعنی اگر دو ماده در این جدول به هم مالش داده شوند، الکترون‌ها از ماده نزدیک به انتهای مثبت سری به ماده نزدیک به انتهای منفی سری منتقل می‌شود.

آسان

-۸

چون جسم باردار A؛ جسم B را می‌راند. جسم B حتماً دارای بار الکتریکی است که هم نام با بار جسم A است. یعنی بار جسم B منفی است.

جسم A، جسم C را می‌ریابد. جسم C دو حالت دارد:

۱- جسم C دارای بار ناهم نام با جسم A است یعنی جسم C دارای بار مثبت است.

۲- جسم C می‌تواند خنثی باشد. و در اثر القا جذب جسم باردار A شود.



آسان

-۱

آ) به علم مطالعه بارهای ساکن، الکتروسیته ساکن یا الکتروستاتیک می‌گویند. ب) مجموع جبری همه بارهای الکتریکی در یک دستگاه منزوی ثابت است. یعنی بار می‌تواند از جسمی به جسم دیگر منتقل شود، ولی هرگز امکان تولید یا نابودی یک بار خالص وجود ندارد.

پ) بار الکتریکی اجسام همواره مضرب درستی از بار بنیادی e است.

آسان

-۲

روش‌های باردار کردن اجسام عبارتند از: ۱- مالش ۲- تماس ۳- القا. روش مالش بیشتر برای اجسام نارسنا کاربرد دارد. روش تماس بیشتر برای اجسام رسانا کاربرد دارد. روش القا فقط برای اجسام رسانا کاربرد دارد.

آسان

-۳

آ) نادرست (ب) درست
پ) درست (ت) نادرست

آسان

-۴

آ) پایستگی بار (ب) با روش تماس یا القا
پ) هم نام (ت) ناهم نام
ث) مالش (ج) القا و تماس
ج) هم نام (ح) بیشتر

آسان

-۵

بر اثر مالش، روکش پلاستیکی و لبه‌های ظرف، دارای بارهای ناهم نام شده و یکدیگر را جذب می‌کنند.

متوسط

-۱۶

آ) وقتی دو کره رسانای هم اندازه را با هم تماس می‌دهیم، مجموع بار دو کره به صورت مساوی بین آن‌ها تقسیم می‌شود.

$$q'_1 = q'_2 = \frac{q_1 + q_2}{2} \rightarrow q'_1 = q'_2 = \frac{12 + (-4)}{2} = 4 \mu C$$

ب) ابتدا باید تغییر بار الکتریکی یکی از کره‌ها را حساب کنیم. (فرقی ندارد کدام یک را بررسی کنیم).

$$\Delta q_1 = 4 - 12 = -8 \mu C$$

یا

$$\Delta q_2 = 4 - (-4) = 8 \mu C$$

محاسبات بالا نشان می‌دهد که اندازه تغییر بار هر کدام از کره‌ها $8 \mu C$ است:

پس:

$$8 \times 10^{-6} = 1/6 \times 10^{-19} n \Rightarrow n = \frac{8 \times 10^{-6}}{1/6 \times 10^{-19}} = 5 \times 10^{13}$$

توجه: تغییر بار کره (۱) منفی و تغییر بار کره (۲) مثبت است. به این معنی که الکترون‌ها از کره (۲) به کره (۱) رفته‌اند.

متوسط

-۱۷

بار خالص دستگاه (کل q) برابر جمع جبری بار هر سه جسم است.

$$q_{\text{کل}} = q_A + q_B + q_C = (-24) + (+10) + (+8) = -6 \mu C$$

اگر بخواهیم، بار هر سه جسم با هم برابر باشد، باید:

$$q'_A = q'_B = q'_C = \frac{-6}{3} = -2 \mu C$$

اکنون تغییر بار هر یک از اجسام را محاسبه می‌کنیم:

$$\Delta q_A = q'_A - q_A = -2 - (-24) = 22 \mu C$$

$$\Delta q_B = q'_B - q_B = -2 - (+10) = -12 \mu C$$

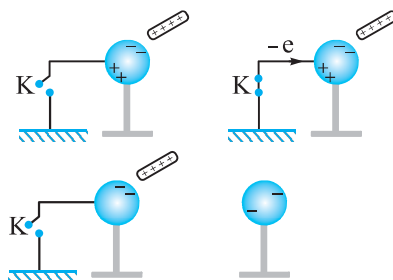
$$\Delta q_C = q'_C - q_C = -2 - (+8) = -10 \mu C$$

توجه کنید که مجموع تغییر بار اجسام صفر است.

آسان

-۹

مطابق شکل‌های زیر با بسته شدن کلید، الکترون‌ها از زمین به کره منتقل شده و در نهایت کره دارای بار منفی می‌شود.



آسان

-۱۰

$$q = ne \Rightarrow 1 \times 10^{-9} = n \times 1/6 \times 10^{-19} \Rightarrow n = 6/25 \times 10^9$$

آسان

-۱۱

$$q_{\text{هسته}} = +ne = 92 \times 1/6 \times 10^{-19} = 1/472 \times 10^{-17} C$$

$$q_{\text{الکترون‌ها}} = -ne = -92 \times 1/6 \times 10^{-19} = -1/472 \times 10^{-17} C$$

$$q_{\text{اتم خنثی}} = 0$$

آسان

-۱۲

$$\bar{I} + 12/8 n C$$

$$\text{ب) } q = ne \Rightarrow 12/8 \times 10^{-9} = n \times 1/6 \times 10^{-19} \Rightarrow n = 8 \times 10^{10}$$

آسان

-۱۳

$$\bar{I} q_{\text{هسته}} = +ne \xrightarrow{n=6} q_{\text{هسته}} = 6 \times 1/6 \times 10^{-19} = 9/6 \times 10^{-19} C$$

$$0 = \text{بار الکتریکی اتم کربن}$$

$$\text{ب) } q = +ne \xrightarrow{n=1} q = 1/6 \times 10^{-19} C$$

متوسط

-۱۴

$$\Delta q = -22 \times 10^{-6} - 2 \times 10^{-6} = -24 \times 10^{-6} C$$

$$\Delta q = -ne \Rightarrow -24 \times 10^{-6} = -n \times 1/6 \times 10^{-19} \Rightarrow n = 1/5 \times 10^{14}$$

دشواری

-۱۵

وقتی از جسمی n الکترون گرفته شود، تغییر بار الکتریکی آن (Δq) ، $+ne$ است.

$$\Delta q = +ne \rightarrow \Delta q = 10^{13} \times 1/6 \times 10^{-19} = 1/6 \times 10^{-6} C = 1/6 \mu C$$

چون بار اولیه جسم مثبت بوده و از آن الکترون گرفته‌ایم، نوع بار جسم عوض نمی‌شود. بنابراین:

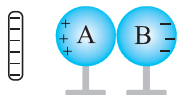
$$q_2 = +3 q_1$$

$$\Delta q = q_2 - q_1 \Rightarrow 1/6 = 3q_1 - q_1 \Rightarrow 2q_1 = 1/6 \Rightarrow q_1 = 0/8 \mu C$$

متوسط

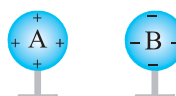
۵- گزینه «۴»

تیغه پلاستیکی در اثر مالش با پارچه پشمی دارای بار منفی می‌شود (جدول تریوالکتریک). با نزدیک شدن تیغه به کره A، تعدادی الکترون از آن به کره B می‌رود. (مطابق شکل ۱)



(شکل ۱)

حال اگر در حضور تیغه پلاستیکی، دو کره از هم جدا شوند و سپس تیغه پلاستیکی را دور کنیم، مطابق شکل (۲) کره A دارای بار مثبت و کره B دارای بار منفی می‌شود.



(شکل ۲)

متوسط

۶- گزینه «۲»

اگر میله باردار را به کلاهک الکتروسکوپ که دارای بار الکتریکی است نزدیک کنیم، اگر ورقه‌های الکتروسکوپ فقط از هم دور شوند در این صورت بار میله و بار الکتروسکوپ همنام‌اند. اگر ورقه‌ها به هم نزدیک شوند و یا مثل این سوال پس از نزدیک شدن از هم دور شوند، در این حالت بار میله و الکتروسکوپ ناهمنام‌اند.

متوسط

۷- گزینه «۳»

اگر میله پلاستیکی با پارچه پشمی مالش داده شود، تعدادی الکترون از پارچه به میله منتقل می‌گردد و میله پس از مالش، دارای بار منفی می‌شود. حال اگر این میله را به الکتروسکوبی بی‌بار تماس دهیم، بار منفی به کلاهک الکتروسکوپ و از آنجا به ورقه‌ها منتقل شده و هم کلاهک و هم ورقه‌ها دارای بار منفی می‌شوند.

متوسط

۸- گزینه «۴»

سه حالت برای بار جسم رسانا وجود دارد:

- ۱- اگر بار جسم و الکتروسکوپ ناهمنام باشند، با نزدیک شدن به کلاهک، بار الکتروسکوپ از ورقه‌ها به سمت کلاهک جابه‌جا شده و ورقه‌ها به هم نزدیک می‌شوند.
- ۲- اگر بار جسم و الکتروسکوپ همنام باشند، با نزدیک کردن جسم به کلاهک، بار الکتروسکوپ به سمت ورقه‌ها رانده شده و ورقه‌ها از هم دور می‌شوند.
- ۳- اگر جسم رسانا بدون بار باشد، به دلیل خاصیت القای الکتریکی، با نزدیک کردن جسم به کلاهک، بار از ورقه‌ها به سمت کلاهک جذب شده و ورقه‌ها به هم نزدیک می‌شوند.



آسان

۱- گزینه «۴»

گزینه‌های ۱، ۲ و ۳ طبق متن کتاب درسی درست هستند. با توجه به بیان اصل پایستگی بار و اصل کوانتیده بودن بار که در زیر آورده می‌شود، گزینه ۴ نادرست است.

۱- اصل پایستگی بار: مجموع جبری همه بارهای الکتریکی در یک دستگاه منزوی ثابت است. یعنی بار می‌تواند از جسمی به جسم دیگر منتقل شود، ولی هرگز امکان تولید یا نابودی یک بار خالص وجود ندارد.

۲- اصل کوانتیده بودن بار: بار الکتریکی اجسام همواره مضرب درستی از بار بنیادی e است.

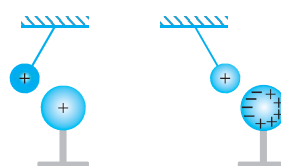
آسان

۲- گزینه «۳»

با توجه به سری الکتریسیته مالشی، میله شیشه‌ای دارای بار مثبت و پارچه ابریشمی دارای بار منفی می‌شود. همچنین میله پلاستیکی دارای بار منفی و پارچه پشمی دارای بار مثبت می‌شود. بنابراین گزینه ۳ درست است.

آسان

۳- گزینه «۱»



(شکل ۲)

(شکل ۱)

مطابق شکل (۱) بر اثر القا، سمتی از کره که به گلوله نزدیک‌تر است دارای بار منفی و سمت مقابل دارای بار مثبت می‌شود. چون نیروی جاذبه بین بار منفی کره با بار مثبت گلوله بیشتر از نیروی دافعه بین بار مثبت کره و بار مثبت گلوله است، گلوله به طرف کره جذب می‌شود.

در هنگام تماس، چون کره در ابتدا خنثی بوده، هنگام تماس با گلوله دارای بار مثبت، بارش مثبت خواهد شد و از کره دفع می‌شود.

متوسط

۴- گزینه «۴»

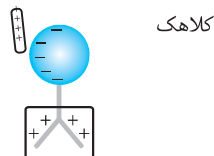
اجسام باردار می‌توانند اجسام با بار مخالف و اجسام بدون بار (خنثی) را برابند، در صورتی که اجسام با بار همنام تنها یکدیگر را می‌رانند، بنابراین B و C حتماً باردار بوده و بار همنام دارند، ولی A ممکن است بی‌بار باشد.



۹- گزینه «۴»

آسان

وقتی میله‌ای با بار مثبت را به کلاهک الکتروسکوپ بدون بار نزدیک می‌کنیم، بارهای منفی از ورقه‌ها به سمت کلاهک می‌روند (در اثر القای الکتریکی)، بنابراین بار کلاهک منفی می‌شود و بار ورقه‌ها مثبت.



اگر در این حالت کلاهک الکتروسکوپ را لمس کنیم، الکترون‌ها از دست ما به سمت ورقه‌ها حرکت می‌کنند و بار الکتریکی ورقه‌ها خنثی می‌گردد (میله بارهای منفی کلاهک را در نزدیکی خود نگه می‌دارد).

۱۰- گزینه «۲»

آسان

درون هسته پروتون و نوترون داریم. نوترون بار الکتریکی ندارد. بار الکتریکی هر پروتون هم $+e$ است پس تعداد پروتون‌های هسته این اتم، $n = \frac{Q}{e}$ است. در اتم خنثی تعداد الکترون‌هایی که دور هسته قرار دارند با تعداد پروتون‌ها برابر است پس تعداد الکترون‌های این اتم نیز $n = \frac{Q}{e}$ است.

۱۱- گزینه «۳»

آسان

بار هر جسم باید مضرب درستی (صحیحی) از بار پایه (e) باشد که فقط گزینه ۳ این ویژگی را دارد.

$$n = \frac{|q|}{e} = \frac{8 \times 10^{-19}}{1/6 \times 10^{-19}} = 5$$

$$\text{رد گزینه ۱: } \frac{2 \times 10^{-19}}{1/6 \times 10^{-19}} = 1/3$$

$$\text{رد گزینه ۲: } \frac{4 \times 10^{-19}}{1/6 \times 10^{-19}} = 2/3$$

۱۲- گزینه «۴»

آسان

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

۱۳- گزینه «۱»

دشواری

هسته اتم ${}_{8}^{18}\text{X}$ ، ۸ پروتون در هسته دارد و بار الکتریکی آن $+8e$ است. اتم یک بار یونیده ${}_{6}^{12}\text{C}^{+}$ ، یک الکترون نسبت به اتم خنثی کم‌تر دارد و چون در حالت خنثی ۶ الکترون دارد، بنابراین این یون ۵ الکترون دارد که اندازه بار الکتریکی الکترون‌هایش $5e$ است. پس:

$$\frac{{}_{8}^{18}\text{X} \text{ بار هسته } 8e}{\text{اندازه بار الکترون های } {}_{6}^{12}\text{C}^{+} 5e} = \frac{8e}{5e} = \frac{8}{5}$$

۱۴- گزینه «۲»

دشواری

یون ${}_{17}^{35}\text{Cl}^{-}$ ، یک الکترون اضافی دارد و بار الکتریکی آن $-e$ است. چون عدد اتمی آن ۱۷ است پس تعداد ۱۷ پروتون در هسته دارد و بار الکتریکی هسته آن $+17e$ است.

$$\frac{\text{بار یون}}{\text{بار هسته}} = \frac{-e}{+17e} = -\frac{1}{17}$$

۱۵- گزینه «۲»

متوسط

$$\text{طول میله} = L = 5 \text{ cm} = 50 \text{ mm}$$

$$n = 50 \times 10^{10} = 5 \times 10^{11}$$

$$q = -ne \Rightarrow q = -5 \times 10^{11} \times 1/6 \times 10^{-19}$$

$$= -8 \times 10^{-8} \text{ C} = -80 \times 10^{-9} \text{ C} = -80 \text{ nC}$$

۱۶- گزینه «۳»

دشواری

مرحله اول، بار الکتریکی هر یک از کره‌ها را پس از بستن کلید مورد محاسبه قرار می‌دهیم، چون کره‌ها مشابه بوده‌اند:

$$q'_A = q'_B = \frac{q_A + q_B}{2} = \frac{20 + 12}{2} = 16 \mu\text{C}$$

حال مقدار بار شارش یافته بین دو کره را محاسبه می‌کنیم و سپس تعداد الکترون‌ها را به دست می‌آوریم.

$$\Delta q' = q'_B - q_B = 16 - 12 = 4 \mu\text{C}$$

$$n = \frac{q}{e} = \frac{4 \times 10^{-6}}{1/6 \times 10^{-19}} = 2/5 \times 10^{13}$$

کره B از $12 \mu\text{C}$ به $16 \mu\text{C}$ رسیده است، بنابراین بار آن $4 \mu\text{C}$ افزایش پیدا کرده است؛ یعنی $4 \mu\text{C}$ بار منفی از آن کم شده است، پس الکترون‌ها از کره B به کره A رفته‌اند.

۱۷- گزینه «۲»

آسان

جسم خنثی دارای تعداد الکترون (بار منفی) و تعداد پروتون (بار مثبت) هم‌اندازه است و آن باری که بین دو جسم مبادله می‌شود الکترون است. به بیانی اگر جسم خنثی الکترون دریافت کند، بارش منفی و اگر الکترون از دست بدهد، بارش مثبت خواهد بود.

$$n = \frac{|q|}{e} = \frac{4/8 \times 10^{-6}}{1/6 \times 10^{-19}} = 3 \times 10^{13}$$

۱۸- گزینه «۱»

متوسط

اگر به جسمی n الکترون داده شود، تغییر بار آن (Δq) ، $-ne$ خواهد بود.

$$\Delta q = -ne \Rightarrow q_2 - q_1 = -5 \times 10^{13} \times 1/6 \times 10^{-19}$$

$$\Rightarrow q_2 - q_1 = -8 \times 10^{-6} \text{ C} \Rightarrow q_2 - q_1 = -8 \mu\text{C}$$

$$q_2 - (+12) = -8 \Rightarrow q_2 = -8 + 12 \Rightarrow q_2 = 4 \mu\text{C}$$

آسان

-۳

- (آ) نادرست (ب) درست
(پ) نادرست (ت) نادرست

آسان

-۴

- (آ) هم اندازه با (ب) بیشتری
(پ) خلاف جهت

آسان

-۵

$$F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2} \Rightarrow 18 = \frac{9 \times 10^9 \times 4 \times 10^{-6} \times 5 \times 10^{-6}}{r^2}$$

$$\Rightarrow r^2 = 10^{-2} \Rightarrow r = 0.1 \text{ m} = 10 \text{ cm}$$

توجه: در رابطه زیر، اگر اندازه بارهای الکتریکی برحسب میکروکولن و فاصله دو بار برحسب سانتی‌متر وارد شود، بزرگی نیروی بین دو بار برحسب نیوتون محاسبه می‌شود:

$$F = 9 \times 10^9 \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$$

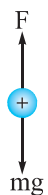
حل سوال با این رابطه:

$$18 = \frac{9 \times 10^9 \times 4 \times 5}{r^2} \Rightarrow r^2 = 100 \Rightarrow r = 10 \text{ cm}$$

متوسط

-۶

چون گوی بالای معلق مانده است. نیروی خالص وارد بر آن صفر است.



$$F = mg \Rightarrow \frac{k|q_1||q_2|}{r^2} = mg$$

$$\frac{9 \times 10^9 \times q^2}{(0.01)^2} = 2/5 \times 10^{-3} \times 10 \Rightarrow q^2 = \frac{25 \times 10^{-7}}{9 \times 10^9} \Rightarrow q = \frac{5}{3} \times 10^{-8} \text{ C}$$

متوسط

-۷

بار کره‌ها پس از تماس با هم q'_1 و q'_2 است.

$$q'_1 = q'_2 = \frac{4 + (-6)}{2} = -1 \text{ nC}$$

چون بار کره‌ها همنام است، این نیرو، رانشی است.

$$F = k \frac{|q'_1||q'_2|}{r^2} \Rightarrow F = \frac{9 \times 10^9 \times 10^{-9} \times 10^{-9}}{(0.3)^2} \Rightarrow F = 10^{-7} \text{ N}$$

دشواری

۱۹-۵۰ گزیده «۳»

با گرفتن الکترون، به اندازه Δq به بار مثبت جسم افزوده می‌گردد، بنابراین:

$$q_2 = 6 q_1$$

$$\Delta q = ne \Rightarrow q_2 - q_1 = ne \Rightarrow 6 q_1 - q_1 = ne \Rightarrow 5 q_1 = ne$$

$$\Rightarrow 5 q_1 = 6 \times 10^{12} \times 1.6 \times 10^{-19} \Rightarrow q_1 = 1.92 \times 10^{-7}$$

$$\Rightarrow q_1 = 0.192 \mu\text{C}$$

دشواری

۲۰-۵۰ گزیده «۱»

اگر به جسمی با بار مثبت، الکترون بدهیم، اندازه بار آن کم می‌شود. اگر الکترون دادن به جسم ادامه پیدا کند می‌تواند جسم را خنثی و سپس دارای بار منفی کند که در این حالت می‌تواند اندازه بار منفی آن بیشتر از اندازه بار مثبت اولیه نیز باشد. در این سوال هم چون به جسم با بار مثبت الکترون داده شده و اندازه بار آن بیشتر از اندازه بار اولیه است حتماً نوع بار جسم عوض شده پس $q_2 = -2 q_1$ است. اگر به جسمی n الکترون داده شود، تغییر بار آن (Δq) ، برابر $-ne$ است. پس: $\Delta q = -ne$ است.

$$\Delta q = -ne \Rightarrow q_2 - q_1 = -3 \times 10^{13} \times 1.6 \times 10^{-19}$$

$$\Rightarrow q_2 - q_1 = -4.8 \times 10^{-6} \text{ C}$$

$$\Rightarrow q_2 - q_1 = -4.8 \mu\text{C} \xrightarrow{q_2 = -2q_1} -2q_1 - q_1 = -4.8$$

$$\Rightarrow -3q_1 = -4.8 \Rightarrow q_1 = 1.6 \mu\text{C}$$



آسان

-۱

قانون کولن بیان می‌دارد:

اندازه نیروی الکتریکی (الکتروستاتیکی) 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:

$$F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$$

آسان

-۲

(آ) دافعه - جاذبه (ب) وارون - مستقیم

$$\text{پ) } \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2} - \frac{\text{C}^2}{\text{N} \cdot \text{m}^2}$$

دشوار

-۱۱

$$360 = 9 \times 10^9 \times \frac{q_1 \times q_2}{10^{-4}} \Rightarrow q_1 q_2 = 4 \times 10^{-12}$$

$$q'_1 = \frac{1}{3} q_1, q'_2 = q_2 + \frac{1}{3} q_1$$

$$F' = \frac{1}{5} F = \frac{3}{5} \times 360 = 540 \text{ N}$$

$$540 = \frac{9 \times 10^9 \times \frac{1}{3} q_1 \times (q_2 + \frac{1}{3} q_1)}{10^{-4}}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{3} q_1 (q_2 + \frac{1}{3} q_1) = 6 \times 10^{-12}$$

$$\Rightarrow q_1 q_2 + \frac{1}{3} q_1^2 = 12 \times 10^{-12}$$

$$\xrightarrow{q_1 q_2 = 4 \times 10^{-12}} 4 \times 10^{-12} + \frac{1}{3} q_1^2 = 12 \times 10^{-12} \Rightarrow q_1 = 4 \times 10^{-6} \text{ C}$$

$$\xrightarrow{q_1 q_2 = 4 \times 10^{-12}} q_2 = \frac{4 \times 10^{-12}}{4 \times 10^{-6}} = 1 \times 10^{-6} \text{ C}$$

$$\Rightarrow q_1 = 4 \mu\text{C}, q_2 = 1 \mu\text{C}$$

آسان

-۱۲

توجه: اگر دو بار الکتریکی q_1, q_2 که به فاصله r از یکدیگر قرار دارند بر هم نیروی F وارد کنند، و دو بار q'_1, q'_2 که به فاصله r' از یکدیگر قرار دارند بر هم نیروی F' وارد کنند، خواهیم داشت:

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

$$q'_1 = q'_2 = \frac{15+5}{2} = 10 \mu\text{C}, r' = r$$

$$\frac{F'}{F} = \left| \frac{10}{5} \right| \times \left| \frac{10}{5} \right| \times \left(\frac{r}{r} \right)^2 \Rightarrow \frac{F'}{F} = 2 \times 2 \Rightarrow \frac{F'}{F} = 4$$

متوسط

-۱۳

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

$$\Rightarrow \frac{r}{r'} = \sqrt{2} \Rightarrow r' = \frac{\sqrt{2}}{2} r$$

آسان

-۱۴

اگر تعدادی بار نقطه‌ای داشته باشیم، نیروی الکتریکی وارد بر هر ذره، برآیند نیروهایی است که هر یک از ذره‌های دیگر در غیاب سایر ذره‌ها، بر آن ذره وارد می‌کند.

آسان

-۸

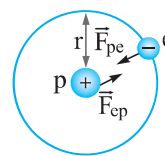
مطابق شکل، دو نی پلاستیکی را از نزدیکی یک انتهای آن‌ها خم کنید و پس از مالش دادن با پارچه‌ای پشمی نزدیک یکدیگر قرار دهید. اگر نی‌ها به خوبی باردار شده باشند، نیروی دافعه آن‌ها را می‌توانید به وضوح بر روی انگشتان خود حس کنید.



متوسط

-۹

(آ)



$$F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2} = k \frac{|q_p||q_e|}{r^2}$$

$$= 9 \times 10^9 \times \frac{(1/6 \times 10^{-19})^2}{(5 \times 10^{-11})^2} \approx 9/2 \times 10^{-8} \text{ N}$$

(ب)

$$F = k \frac{|q_p||q_p|}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{(1/6 \times 10^{-19})^2}{(2 \times 10^{-15})^2} = 57/6 \text{ N}$$

(پ) بزرگی نیروی محاسبه شده در قسمت «ب» که دافعه است به مراتب بیشتر از بزرگی نیروی محاسبه شده در قسمت «آ» است. بنابراین، هسته اتم باید فرو باشد. از اینجا نتیجه می‌گیریم که باید نیروی دیگری وجود داشته باشد که مانع فروپاشی هسته شود. به این نیرو، نیروی هسته‌ای گفته می‌شود.

متوسط

-۱۰

چون قبل و بعد از تماس، فاصله کره‌ها یکسان است، بزرگی نیرو فقط متناسب با ضرب اندازه بار کره‌ها است، نیروی بین کره‌ها قبل از تماس را با F و بعد از تماس را با F' نمایش می‌دهیم.

شکل ۱:

$$F \propto |2| \times |8| \Rightarrow F \propto 16$$

$$q'_1 = q'_2 = \frac{A+2}{2} = 5 \mu\text{C} \Rightarrow F' \propto 5 \times 5 \Rightarrow F' = 25 \Rightarrow F' > F$$

شکل ۲:

$$F \propto |-2| \times |8| \Rightarrow F \propto 16$$

$$q'_1 = q'_2 = \frac{A+(-2)}{2} = 2 \mu\text{C} \Rightarrow F' \propto 2 \times 2 \Rightarrow F' \propto 4 \Rightarrow F' < F$$

۱- توجه: زمانی که در این سوال بار کره‌ها ناهمنام و غیر هم اندازه باشد، ممکن است $F' > F$ هم بشود. مثلاً اگر

$$q_1 = -1 \mu\text{C}, q_2 = 11 \mu\text{C} \Rightarrow F \propto |-1| \times |11| \Rightarrow F \propto 11$$

$$q_1 = q'_2 = \frac{-1+11}{2} = 5 \mu\text{C} \Rightarrow F' \propto 5 \times 5 \Rightarrow F' \propto 25 \Rightarrow F' > F$$

-۱۵

آسان

توجه: چون اندازه بارها با هم برابر و فاصله دو بار دیگر از بار میانی برابر است. اندازه نیرویی که هر یک از بارهای سمت راست و سمت چپ به بار میانی وارد می‌کنند با هم برابر است.

(آ) با توجه به شکل، نیروی خالص وارد بر بار میانی به سمت چپ است.

$$\begin{array}{ccc} (۱) & F_{۲۲} & (۲) \\ 0 & \leftarrow \bullet \rightarrow & (۳) \\ -q & F_{۱۲} + q & 0 \\ & & +q \end{array}$$

(ب) چون $F_{۱۲} = F_{۲۲}$ است، مطابق شکل، نیروی خالص وارد بر بار میانی صفر است.

$$\begin{array}{ccc} (۱) & F_{۱۲} & (۲) & F_{۲۲} & (۳) \\ 0 & \leftarrow \bullet \rightarrow & & & 0 \\ -q & & +q & & -q \end{array}$$

(آ)

-۱۶

متوسط

$$\vec{F}_{۲۳} \leftarrow \bullet \rightarrow \vec{F}_{۱۳}$$

$$F_{۱۳} = \frac{9 \times 10^9 \times 2/5 \times 10^{-6} \times 4 \times 10^{-6}}{6^2} = 2/5 \times 10^{-3} \text{ N}$$

$$\Rightarrow \vec{F}_{۱۳} = 2/5 \times 10^{-3} \vec{i}$$

$$F_{۲۳} = \frac{9 \times 10^9 \times 1 \times 10^{-6} \times 4 \times 10^{-6}}{3^2} = 4 \times 10^{-3} \text{ N}$$

$$\Rightarrow \vec{F}_{۲۳} = -4 \times 10^{-3} \vec{i}$$

$$\vec{F}_T = (2/5 \times 10^{-3} - 4 \times 10^{-3}) \vec{i} = -6/5 \times 10^{-3} \vec{i}$$

$$\Rightarrow F_T = 6/5 \times 10^{-3} \text{ N}$$

(ب)

$$\vec{F}_{۱۲} \leftarrow \bullet \rightarrow \vec{F}_{۲۲}$$

$$F_{۱۲} = \frac{9 \times 10^9 \times 2/5 \times 10^{-6} \times 1 \times 10^{-6}}{4^2} = \frac{45}{32} \times 10^{-3} \text{ N}$$

$$\Rightarrow \vec{F}_{۱۲} = -\frac{45}{32} \times 10^{-3} \vec{i}$$

$$F_{۲۲} = \frac{9 \times 10^9 \times 4 \times 10^{-6} \times 1 \times 10^{-6}}{2^2} = 9 \times 10^{-3} \text{ N}$$

$$\Rightarrow \vec{F}_{۲۲} = 9 \times 10^{-3} \vec{i}$$

$$\vec{F}_T = (9 \times 10^{-3} - \frac{45}{32} \times 10^{-3}) \vec{i} = \frac{243}{32} \times 10^{-3} \vec{i} \approx 7/6 \times 10^{-3} \vec{i}$$

$$\Rightarrow F_T = 7/6 \times 10^{-3} \text{ N}$$

-۱۷

متوسط

چون $q_1 = q_3$ است و فاصله آن‌ها از بار q_2 با هم برابر است، بنابراین $F_{۱۲} = F_{۳۲}$ با توجه به جهت نیروهای وارد بر بار q_2 ، نیروی خالص وارد بر آن صفر است.

$$\vec{F}_{۱۲} \leftarrow \bullet \rightarrow \vec{F}_{۳۲}$$

در شکل زیر نیروهای وارد بر بار q_3 را نمایش داده‌ایم.

$$\vec{F}_{۱۳} \leftarrow \bullet \rightarrow \vec{F}_{۲۳}$$

$$F_{۱۳} = \frac{9 \times 10^9 \times 4 \times 10^{-9} \times 4 \times 10^{-9}}{(0/16)^2} = \frac{9}{16} \times 10^{-5} \text{ N}$$

$$\Rightarrow \vec{F}_{۱۳} = \frac{9}{16} \times 10^{-5} \vec{i}$$

$$F_{۲۳} = \frac{9 \times 10^9 \times 5 \times 10^{-9} \times 4 \times 10^{-9}}{(0/08)^2} = \frac{45}{16} \times 10^{-5} \text{ N}$$

$$\Rightarrow \vec{F}_{۲۳} = -\frac{45}{16} \times 10^{-5} \vec{i}$$

$$\vec{F}_T = (\frac{9}{16} \times 10^{-5} - \frac{45}{16} \times 10^{-5}) \vec{i} \Rightarrow \vec{F}_T = -2/25 \times 10^{-5} \vec{i}$$

$$\Rightarrow F_T = 2/25 \times 10^{-5} \text{ N}$$

-۱۸

متوسط

توجه: برای دو بار نقطه‌ای همنام که در فاصله r از هم قرار دارند، نقطه‌ای روی خط واصل دو بار، بین دو بار و نزدیک بار کوچک‌تر وجود دارد که برابری نیروی الکتریکی وارد بر هر باری که در آن نقطه قرار بگیرد، صفر است.

$$\begin{array}{ccc} & x & 60-x \\ \bullet & \leftarrow & \bullet \\ q_2 = 32 \mu\text{C} & & q_1 = 2 \mu\text{C} \end{array}$$

$$F_{۱۳} = F_{۲۳} \Rightarrow \frac{k |q_2| |q_3|}{x^2} = \frac{k |q_1| |q_3|}{(60-x)^2}$$

$$\Rightarrow \frac{32}{x^2} = \frac{2}{(60-x)^2} \Rightarrow \frac{16}{x^2} = \frac{1}{(60-x)^2} \Rightarrow \frac{\sqrt{16}}{x} = \frac{1}{60-x}$$

$$4(60-x) = x \Rightarrow 240 - 4x = x \Rightarrow 5x = 240 \Rightarrow x = 48 \text{ cm}$$

-۱۹

متوسط

توجه: برای دو بار نقطه‌ای ناهمنام با اندازه نامساوی که در فاصله r از هم قرار دارند، نقطه‌ای روی امتداد خط واصل دو بار، خارج دو بار، نزدیک بار کوچک‌تر وجود دارد که برابری نیروی الکتریکی وارد بر هر باری که در آن نقطه قرار بگیرد، صفر است.

$$\begin{array}{ccc} & x & \\ \bullet & \leftarrow & \bullet \\ q_2 & & q_1 \end{array}$$

$$F_{۱۳} = F_{۲۳} \Rightarrow \frac{k |q_1| |q_3|}{(x-30)^2} = \frac{k |q_2| |q_3|}{x^2}$$

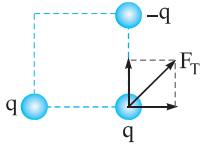
$$\Rightarrow \frac{1}{(x-30)^2} = \frac{4}{x^2} \Rightarrow \frac{\sqrt{1}}{x-30} = \frac{2}{x} \Rightarrow 2(x-30) = x$$

$$\Rightarrow 2x - 60 = x \Rightarrow x = 60 \text{ cm}$$

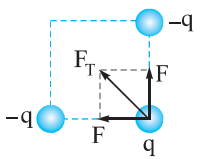
آسان

-۲۲

(آ) با توجه به اندازه بارهای الکتریکی و فاصله بارهای دیگر تا بار سمت راست پایینی، بزرگی نیروی وارد بر این بار از طرف دو بار دیگر یکسان و برابر F است بنابراین F_T دقیقاً روی نیمساز زاویه بین این دو نیرو می‌افتد.



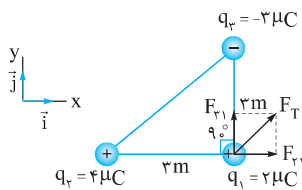
(ب) با توجه به اندازه بارهای الکتریکی و فاصله بارهای دیگر تا بار سمت راست پایینی، بزرگی نیروی وارد بر این بار از طرف دو بار دیگر یکسان و برابر F است. بنابراین F_T دقیقاً روی نیمساز زاویه بین این دو نیرو می‌افتد.



متوسط

-۲۳

(آ)



$$F_{r1} = \frac{9 \times 10^9 \times 4 \times 10^{-6} \times 2 \times 10^{-6}}{3^2} = 8 \times 10^{-3} \text{ N}$$

$$\Rightarrow \vec{F}_{r1} = 8 \times 10^{-3} \vec{i}$$

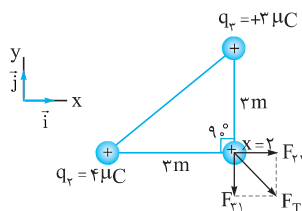
$$F_{r2} = \frac{9 \times 10^9 \times 2 \times 10^{-6} \times 2 \times 10^{-6}}{3^2} = 6 \times 10^{-3} \text{ N}$$

$$\Rightarrow \vec{F}_{r2} = 6 \times 10^{-3} \vec{j}$$

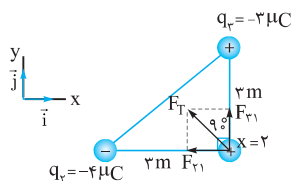
$$\vec{F}_T = 8 \times 10^{-3} \vec{i} + 6 \times 10^{-3} \vec{j}$$

$$\Rightarrow F_T = \sqrt{(8 \times 10^{-3})^2 + (6 \times 10^{-3})^2} = 10^{-2} \text{ N}$$

(ب)



(پ)



(ت) خیر

دشواری

-۲۰

بارهای q_1 و q_2 همنام هستند و بار q_3 برای این که در حالت تعادل باشد، باید بین این دو بار و نزدیک بار کوچک‌تر q_2 باشد. اکنون x را محاسبه می‌کنیم:

$$F_{13} = F_{23} \Rightarrow \frac{1}{(30-x)^2} = \frac{1}{x^2}$$

$$\sqrt{\quad} \rightarrow \frac{3}{30-x} = \frac{1}{x} \Rightarrow 3x = 30 - x$$

$$\Rightarrow 4x = 30 \Rightarrow x = 7.5 \text{ cm}$$

اگر نوع و اندازه بار q_3 به گونه‌ای باشد که یکی از بارهای q_1 یا q_2 در تعادل باشند، آنگاه هر سه بار در حال تعادل هستند. به این منظور شرط تعادل بار q_1 را بررسی می‌کنیم. چون بار q_1 خارج فاصله بین q_2 و q_3 است، باید بار q_3 و q_2 ناهمنام باشند. چون مثبت است پس بار q_3 باید منفی باشد.

$$F_{12} = F_{23} \Rightarrow \frac{18}{30^2} = \frac{|q_3|}{x^2} \xrightarrow{x=7.5 \text{ cm}}$$

$$|q_3| = \frac{18 \times \frac{1}{4} \times \frac{1}{4}}{\frac{1}{4} \times \frac{1}{4}} = \frac{18}{16}$$

$$\Rightarrow |q_3| = \frac{9}{8} \mu\text{C} \xrightarrow{q_3 < 0} q_3 = -\frac{9}{8} \mu\text{C}$$

دشواری

-۲۱

اگر نیروی وارد بر بار q از طرف بار q_1 را $\vec{F}_1$ و از طرف بار q_2 را $\vec{F}_2$ نشان دهیم:

$$\left. \begin{aligned} \vec{F}_1 + \vec{F}_2 &= \vec{F} \\ \vec{F}_1 + \vec{F}_2 &= -\vec{F}_1 \Rightarrow \vec{F}_2 = -2\vec{F}_1 \end{aligned} \right\} \text{حالت اول}$$

$$\left. \begin{aligned} \vec{F}_1 &= -\vec{F} \Rightarrow \vec{F} = -\vec{F}_1 \end{aligned} \right\} \text{حالت دوم}$$

رابطه فوق نشان می‌دهد $\vec{F}_1$ و $\vec{F}_2$ خلاف جهت هم هستند، چون q بین دو بار q_1 و q_2 قرار دارد، بنابراین q_1 و q_2 باید همنام باشند.

اگر اندازه بردارهای $\vec{F}_1$ و $\vec{F}_2$ را به ترتیب با F_1 و F_2 نشان دهیم:

$$\vec{F}_2 = -2\vec{F}_1 \Rightarrow F_2 = 2F_1 \Rightarrow \frac{k|q_2||q|}{r^2} = 2 \frac{k|q_1||q|}{r^2}$$

$$\Rightarrow \frac{|q_2|}{9} = 2|q_1| \Rightarrow \frac{|q_2|}{|q_1|} = 18 \xrightarrow{q_2, q_1 \text{ همنام}} \frac{q_2}{q_1} = 18$$

۳- گزینه «۳»

متوسط

شرط آن که گلوله B در حالت تعادل باشد، صفر بودن برایندهای نیروهای وارد بر آن است. به گلوله B یک نیروی دافعه از طرف گلوله A وارد می‌شود و یک نیروی جاذبه گرانشی زمین رو به پایین وارد می‌گردد که اندازه این دو نیرو باید با هم مساوی باشد تا یکدیگر را خنثی کنند:

وزن $F = W_{\text{زن}}$ نیروی کولنی

$$\frac{k |q_A| |q_B|}{r^2} = mg \Rightarrow \frac{9 \times 10^9 \times 0.1 \times 10^{-6} \times 0.1 \times 10^{-6}}{r^2} = 0.1 \times 10^{-6}$$

فاصله بین گلوله A, B

$$= 3/6 \times 10^{-3} \times 10 \Rightarrow r^2 = 25 \times 10^{-4} \Rightarrow r = 5 \times 10^{-2} = 5 \text{ cm}$$

۴- گزینه «۲»

متوسط

توجه: اگر دو بار الکتریکی q_1 و q_2 که به فاصله r از یکدیگر قرار دارند بر هم نیروی F وارد کنند و دو بار q'_1 , q'_2 که به فاصله r' از یکدیگر قرار دارند بر هم نیروی F' وارد کنند، خواهیم داشت:

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

$$\frac{F'}{F} = \left(\frac{r}{r'} \right)^2 \Rightarrow \frac{F'}{F} = \left(\frac{15}{10} \right)^2 \Rightarrow \frac{F'}{F} = \left(\frac{3}{2} \right)^2 \Rightarrow F' = 2.25 F$$

۵- گزینه «۳»

متوسط

$$\frac{25}{100} q_1 = \frac{1}{4} \times 80 = 20 \mu\text{C} \quad , \quad q'_1 = 80 - 20 = 60 \mu\text{C}$$

$$q'_2 = -50 + 20 = -30 \mu\text{C} \quad , \quad r' = r$$

$$\frac{F'}{F} = \left| \frac{q'_1}{q_1} \right| \times \left| \frac{q'_2}{q_2} \right| \times \left(\frac{r}{r'} \right)^2 \Rightarrow \frac{F'}{F} = \frac{30}{80} \times \frac{60}{100} \Rightarrow F' = \frac{9}{20} F$$

$$\frac{F' - F}{F} \times 100 = -55\%$$

۶- گزینه «۲»

متوسط

هنگامی که مقداری از یک بار به بار دیگر منتقل می‌شود. طبق قانون پایستگی بار، جمع بارها مقدار ثابتی است و طبق قانون کولن، بزرگی نیروی بین دو بار با ضرب اندازه آن‌ها متناسب است. در چنین شرایطی اگر بخواهیم بزرگی نیروی الکتریکی بیشینه شود باید دو بار، هم اندازه باشند. یعنی بار ثانویه بارهای الکتریکی باید میانگین بارهای اولیه باشد:

$$q'_1 = q'_2 = \frac{q_1 + q_2}{2} = \frac{q_1 + 2q_1}{2} = \frac{3}{2} q_1$$

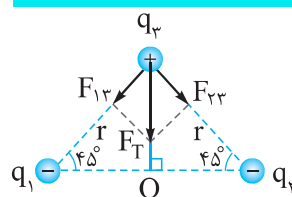
حال درصد تغییر بار q_2 را محاسبه می‌کنیم:

$$\frac{q'_2 - q_2}{q_2} \times 100 = \frac{\frac{3}{2} q_1 - 2 q_1}{2 q_1} \times 100 = -25\%$$

پس باید ۲۵ درصد از بار q_2 را به بار q_1 منتقل کنیم.

۱۴-۲

متوسط



$$r = \sqrt{3^2 + 3^2} = 3\sqrt{2} \text{ cm}$$

$$F_{13} = F_{23} = \frac{9 \times 10^9 \times 4 \times 10^{-6} \times 4 \times 10^{-6}}{(3\sqrt{2} \times 10^{-2})^2} = \frac{9 \times 16 \times 10^{-3}}{9 \times 2 \times 10^{-4}} = 80 \text{ N}$$

چون F_{13} و F_{23} برهم عمود هستند.

$$F_T = \sqrt{80^2 + 80^2} = 80\sqrt{2} \text{ N}$$

توجه: برایندهای دو بردار هم اندازه، در راستای نیمساز زاویه بین دو بردار است.



۱- گزینه «۱»

آسان

$$F = \frac{k |q_1| |q_2|}{r^2} \Rightarrow F \cdot r^2 = k |q_1| |q_2| \Rightarrow k = \frac{F \cdot r^2}{|q_1| |q_2|}$$

$$K_{\text{یکای}} = \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$$

تذکر: وارون یکای k یکای ϵ_0 در SI است، یعنی:

$$\epsilon_0 \text{ یکای} = \frac{\text{C}^2}{\text{N} \cdot \text{m}^2}$$

۲- گزینه «۴»

آسان

توجه: در رابطه زیر، اگر اندازه بارهای الکتریکی برحسب میکروکولن و فاصله دو بار بر حسب سانتی‌متر وارد شود، بزرگی نیروی بین دو بار بر حسب نیوتون محاسبه می‌شود:

$$F = 9.0 \cdot \frac{|q_1| |q_2|}{r^2}$$

نیروی الکتریکی بین دو بار ناهمنام جاذبه است.

$$F = 9.0 \cdot \frac{|q_1| |q_2|}{r^2} \Rightarrow F = \frac{9.0 \times 4 \times 2}{36} = 2.0 \text{ N}$$

دشوار

۱۱- گزینه «ب»

چون نیرو جاذبه بوده پس بارها ناهمنام هستند. فرض کنیم $q_1 > 0$, $q_2 < 0$

است و $|q_2| > q_1$

$$F = 90 \times \frac{|q_1||q_2|}{r^2} \Rightarrow 4 = \frac{90 \times q_1 \times |q_2|}{30^2} \Rightarrow q_1 \times |q_2| = 40$$

توجه کنید تنها گزینه‌ای که ضرب بارها برحسب میکروکولن ۴۰ می‌شود گزینه ۲ است. پس پاسخ گزینه ۲ است.

اما ادامه حل برای به دست آوردن q_1 , q_2 چون کره‌های رسانا هم اندازه هستند پس:

$$\frac{q_1 - |q_2|}{2} = 3 \Rightarrow q_1 - |q_2| = 6$$

حال با توجه به دو معادله‌ای که به دست آوردیم داریم:

$$q_1 |q_2| = 40 \Rightarrow |q_2| = \frac{40}{q_1} \xrightarrow{q_1 - |q_2| = 6} q_1 - 6 = \frac{40}{q_1} \Rightarrow q_1 - \frac{40}{q_1} = 6$$

$$\Rightarrow q_1^2 - 6q_1 - 40 = 0$$

$$(q_1 - 10)(q_1 + 4) = 0 \Rightarrow q_1 = 10 \mu C \text{ یا } q_1 = -4 \mu C$$

چون فرض کردیم $q_1 > 0$ است با $q_1 = 10 \mu C$ و رابطه $|q_2| = \frac{40}{q_1}$ داریم:

$$10 \times |q_2| = 40 \Rightarrow |q_2| = 4 \xrightarrow{q_2 < 0} q_2 = -4 \mu C$$

پس اندازه یکی از بارها $10 \mu C$ و دیگری $4 \mu C$ است. یکی منفی و دیگری مثبت.

دشوار

۱۲- گزینه «ب»

$$F = 90 \times \frac{q_1 \times |q_2|}{r^2} \Rightarrow 9 = 90 \times \frac{q_1 \times |q_2|}{60^2} \Rightarrow q_1 \times |q_2| = 36$$

چون q_2 منفی است و $|q_2| > q_1$ است پس از تماس داریم:

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

$$F' = 90 \times \frac{|q'_1||q'_2|}{r^2} \Rightarrow 1/6 = 90 \times \frac{(\frac{|q_2| - q_1}{2})^2}{60^2}$$

$$\Rightarrow (|q_2| - q_1)^2 = 16 \times 16$$

$$\Rightarrow |q_2| - q_1 = 16 \xrightarrow{q_1 \times |q_2| = 36} |q_2| = \frac{36}{q_1}$$

$$\frac{36}{q_1} - q_1 = 16 \Rightarrow q_1^2 + 16q_1 - 36 = 0$$

$$(q_1 + 18)(q_1 - 2) = 0 \Rightarrow q_1 = -18 \mu C \text{ یا } q_1 = 2 \mu C$$

متوسط

۷- گزینه «ب»

نیروی که دو بار بر یکدیگر وارد می‌کنند براساس قانون سوم نیوتون با یکدیگر

هم‌اندازه‌اند. $|F_1| = |F_2|$

$$m_1 a_1 = m_2 a_2 \Rightarrow \frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2}{m_1} = \frac{2m}{m} = 2$$

دشوار

۸- گزینه «ب»

$$q_1 = q, q'_1 = q - x, q_2 = q, q'_2 = q + x,$$

$$r' = r + 0.25r = 1.25r = \frac{5}{4}r, F' = 0.48F$$

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

$$\Rightarrow \frac{48}{100} = \frac{(q+x)}{q} \times \frac{(q-x)}{q} \times \left(\frac{r}{\frac{5}{4}r} \right)^2$$

$$\frac{48}{100} = \frac{q^2 - x^2}{q^2} \times \frac{16}{25} \Rightarrow \frac{3}{4} = \frac{q^2 - x^2}{q^2}$$

$$\Rightarrow 3q^2 = 4q^2 - 4x^2 \Rightarrow 4x^2 = q^2 \Rightarrow x = \frac{q}{2}$$

چون $x = \frac{q}{2}$ شده است باید ۵۰ درصد از بار یکی از کره‌ها را به دیگری منتقل کرد.

متوسط

۹- گزینه «ب»

اندازه بارها تغییر نکرده است.

$$r' = r + 0.2r \Rightarrow r' = 1.2r = \frac{6}{5}r$$

$$\frac{F'}{F} = \left(\frac{r}{r'} \right)^2 \Rightarrow \frac{F'}{F} = \left(\frac{r}{\frac{6}{5}r} \right)^2 \Rightarrow F' = \frac{25}{36}F$$

$$\frac{F' - F}{F} \times 100 = \frac{-11}{36} \times 100 \approx -30\%$$

متوسط

۱۰- گزینه «ب»

اگر بار الکتریکی الکترون‌های منتقل شده از A به B را با Q نمایش دهیم:

$$q'_B = q - Q \xrightarrow{q'_B = -2q} -2q = q - Q \Rightarrow Q = 3q$$

$$q'_A = q + Q \xrightarrow{Q = 3q} q'_A = q + 3q = 4q$$

$$\frac{F'}{F} = \left| \frac{q'_A}{q_A} \right| \times \left| \frac{q'_B}{q_B} \right| \times \left(\frac{r}{r'} \right)^2 \Rightarrow \frac{F'}{F} = \frac{4q}{q} \times \frac{2q}{q} = 8$$

دشوار

۱۷- گزینه «۴»

ابتدا شرط تعادل بار q_2 را می‌نویسیم:

$$F_{22} = F_{12} \Rightarrow \frac{|q_2|}{r_{22}^2} = \frac{|q_1|}{r_{12}^2} \Rightarrow \frac{1}{r_{22}^2} = \frac{1}{r_{12}^2}$$

$$\xrightarrow{\text{جنر}} \frac{2}{r_{22}} = \frac{1}{r_{12}} \Rightarrow r_{22} = 2 r_{12}$$

با توجه به شکل:

$$r_{12} + r_{22} = 3.0 \text{ cm} \xrightarrow{r_{22} = 2 r_{12}} r_{12} = 1.0 \text{ cm}, r_{22} = 2.0 \text{ cm}$$

بار q_3 خارج فاصله بارهای q_1 و q_2 است، بنابراین q_1 و q_2 ناهمنام هستند.

چون $q_1 > 0$ است پس $q_2 < 0$ است. حال با نوشتن شرط تعادل برای

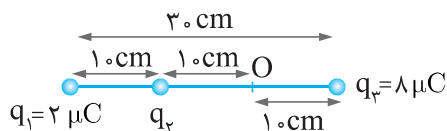
بار q_3 ، q_2 را محاسبه می‌کنیم:

$$F_{13} = F_{23} \Rightarrow \frac{2}{r_{13}^2} = \frac{|q_2|}{r_{23}^2}$$

$$\xrightarrow{r_{13} = 3.0 \text{ cm}, r_{23} = r_{22} = 2.0 \text{ cm}} \frac{2}{3.0^2} = \frac{|q_2|}{2.0^2}$$

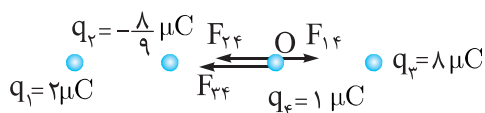
$$\Rightarrow |q_2| = \frac{8}{9} \mu\text{C} \xrightarrow{q_2 < 0} q_2 = -\frac{8}{9} \mu\text{C}$$

وضعیت و فاصله بارها از هم، مطابق شکل زیر خواهد بود



$$q_2 = -\frac{8}{9} \mu\text{C}, q_3 = 1 \mu\text{C}$$

نیروهای وارد بر q_4 مطابق شکل زیر است:



$$F_{14} = \frac{9 \times 2 \times 1}{2.0^2} = \frac{9}{2.0} \text{ N} = 0.45 \text{ N}$$

$$F_{24} = \frac{9 \times \frac{8}{9} \times 1}{1.0^2} = 0.8 \text{ N}$$

$$F_{34} = \frac{9 \times 8 \times 1}{1.0^2} = 7.2 \text{ N}$$

$$F_T = 7.2 + 0.8 - 0.45 = 7.55 \text{ N}$$

آسان

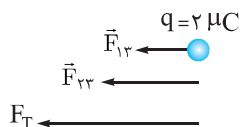
۱۳- گزینه «۳»

$$F = \frac{9 \times |q_1| |q_2|}{r^2} \text{ (cm برحسب } \mu\text{C و } r \text{ برحسب cm)}$$

$$F_{13} = \frac{9 \times 4 \times 2}{36} = 2.0 \text{ N}$$

$$F_T = F_{13} + F_{23} = 2.0 + 8.0 = 10.0 \text{ N}$$

$$F_{23} = \frac{9 \times 4 \times 2}{9} = 8.0 \text{ N}$$



آسان

۱۴- گزینه «۲»

چون برابری نیروهای وارد شده بر بار q_3 صفر است و بار q_3 در خارج از

دوبار q_1 و q_2 و نزدیک بار q_2 قرار گرفته است باید $|q_1| > |q_2|$ و

q_2 ناهمنام باشند.

آسان

۱۵- گزینه «۲»

اگر دو بار ناهمنام با اندازه‌های نامساوی باشند، نقطه‌ای در امتداد خط واصل دو

بار و خارج از فاصله دو بار و نزدیک به بار کوچک‌تر می‌توان یافت که هر بار

سومی با هر علامت و اندازه در آن نقطه قرار گیرد، به حال تعادل باشد. براین

اساس علامت بار q_C مهم نیست، بارهای q_A و q_B ناهمنامند و اندازه

بار q_B از بار q_A کوچک‌تر است.

دشوار

۱۶- گزینه «۴»

چون درباره نسبت‌های q_1 و q_2 اطلاع داریم، شرط تعادل را برای q_3

می‌نویسیم:

$$F_{23} = F_{13} \Rightarrow \frac{|q_2|}{x^2} = \frac{|q_1|}{(x+r)^2} \Rightarrow \frac{9}{x^2} = \frac{4}{(x+r)^2}$$

$$\xrightarrow{\text{جنر}} \frac{3}{x} = x + r \Rightarrow \frac{x}{r} = 2$$

حذف گزینه‌های (۱) و (۲)

توجه: بار q_1 هم در تعادل است و خارج فاصله q_2 و q_3 است پس باید

q_3 و q_2 ناهمنام باشند و $\frac{q_3}{q_2} < 0$ است یعنی گزینه ۴ درست است.

اگر بخواهیم نسبت $\frac{q_2}{q_3}$ را محاسبه کنیم با توجه به نکته قبل که q_2 و q_3 باید

ناهمنام باشند؛ شرط تعادل را برای q_1 می‌نویسیم.

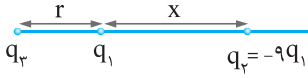
$$F_{31} = F_{21} \Rightarrow \frac{|q_3|}{(x+r)^2} = \frac{|q_2|}{r^2} \xrightarrow{x=2r} \frac{|q_3|}{(3r)^2} = \frac{|q_2|}{r^2}$$

$$\Rightarrow \frac{|q_3|}{|q_2|} = 9 \xrightarrow{q_2, q_3 \text{ ناهمنام}} \frac{q_3}{q_2} = -9$$

۱۱- گزینه «۴»

دشوار

چون بارهای q_1 و q_2 ناهمنام هستند، برای این که بار q_3 در تعادل باشد (نیروی الکتریکی خالص وارد بر آن صفر شود) باید خارج فاصله بارهای q_1 و q_2 و نزدیک بار کوچک‌تر q_1 باشد (مطابق شکل).



شرط تعادل برای q_3 را می‌نویسیم:

$$F_{13} = F_{23} \Rightarrow \frac{|q_1|}{r^2} = \frac{|q_2|}{(r+x)^2} \Rightarrow \frac{9}{r^2} = \frac{1}{(r+x)^2}$$

$$\xrightarrow{\text{جذر}} \frac{1}{r} = \frac{1}{r+x} \Rightarrow r = r+x \Rightarrow r = \frac{x}{2}$$

حذف گزینه‌های ۱ و ۳

اگر بخواهیم بار q_1 هم در تعادل باشد، چون بار q_1 بین بارهای q_2 و q_3 است باید q_2 و q_3 همنام باشند یعنی $q_3 < 0$. q_3 نابراین گزینه ۴ درست است.

اگر بخواهیم q_3 را محاسبه کنیم، شرط تعادل q_1 را می‌نویسیم:

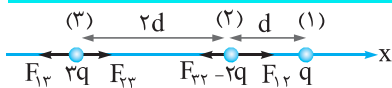
$$F_{31} = F_{21} \Rightarrow \frac{|q_3|}{r^2} = \frac{|q_2|}{x^2} \Rightarrow \frac{|q_3|}{\frac{9}{4}} = \frac{1}{x^2} = \frac{9}{x^2}$$

$$\Rightarrow |q_3| = \frac{9}{4} q_1 \xrightarrow{q_3 < 0} q_3 = -\frac{9}{4} q_1$$

توجه: اگر شرط تعادل را برای q_2 نیز می‌نوشتیم، به همین نتیجه می‌رسیدیم. فقط چون q_2 خارج فاصله q_1 و q_3 است، باید q_1 و q_3 ناهمنام باشند که چون $q_1 > 0$ است باز هم $q_3 < 0$ می‌شد.

۱۲- گزینه «۳»

دشوار



$$F_{12} = \frac{kq \times 3q}{9d^2} = \frac{1}{3} \frac{kq^2}{d^2}, F_{23} = \frac{k \times 3q \times 2q}{4d^2} = \frac{3}{2} \frac{kq^2}{d^2}$$

$$\Rightarrow F = \frac{3}{2} \frac{kq^2}{d^2} - \frac{1}{3} \frac{kq^2}{d^2} = \frac{7}{6} \frac{kq^2}{d^2}$$

چون $F_{23} > F_{12}$ است، برابند نیروهای وارد بر بار ۳ به سمت راست است.

$$F_{12} = \frac{k \times q \times 2q}{d^2} = 2 \frac{kq^2}{d^2}, F_{23} = F_{32} = \frac{3}{2} \frac{kq^2}{d^2}$$

$$\Rightarrow F' = 2 \frac{kq^2}{d^2} - \frac{3}{2} \frac{kq^2}{d^2} = \frac{1}{2} \frac{kq^2}{d^2}$$

چون $F_{12} > F_{23}$ است، برابند نیروهای وارد بر بار ۲ به سمت راست است.

$$\frac{F'}{F} = \frac{\frac{1}{2} \frac{kq^2}{d^2}}{\frac{7}{6} \frac{kq^2}{d^2}} = \frac{3}{7} \xrightarrow{\text{هم جهت } F, F'} \vec{F}' = \frac{3}{7} \vec{F}$$

۱۸-5- گزینه «۲»

متوسط

بار q_3 باید خارج فاصله دو بار و نزدیک بار کوچک‌تر باشد. (مطابق شکل)

شرط برقراری تعادل بار q_3 را می‌نویسیم.

$$F_{13} = F_{23} \Rightarrow \frac{|q_1|}{(30+x)^2} = \frac{|q_2|}{x^2} \Rightarrow \frac{4}{(30+x)^2} = \frac{1}{x^2}$$

$$\xrightarrow{\text{جذر}} \frac{2}{30+x} = \frac{1}{x} \Rightarrow 2x = 30+x \Rightarrow x = 30 \text{ cm}$$

اکنون نیروی خالص وارد بر بار q_2 را محاسبه می‌کنیم:

$$F_{12} = \frac{4 \times 20 \times 5}{30^2} = 10 \text{ N}, F_{23} = \frac{4 \times 15 \times 5}{30^2} = 7.5 \text{ N}$$

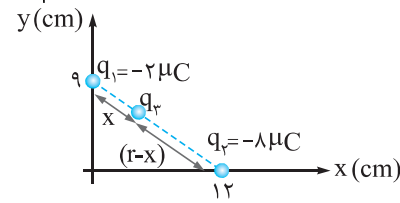
با توجه به جهت F_{23} و F_{12} داریم:

$$F_T = 10 - 7.5 = 2.5 \text{ N}$$

۱۹-5- گزینه «۳»

متوسط

بار الکتریکی q_3 باید روی خط واصل دو بار، بین دو بار و نزدیک بار کوچک‌تر قرار گیرد (مطابق شکل). فاصله بین بارهای q_1 و q_2 را با r نمایش می‌دهیم:



$$r = \sqrt{9^2 + 12^2} = 15 \text{ cm}$$

شرط تعادل بار q_3 را می‌نویسیم:

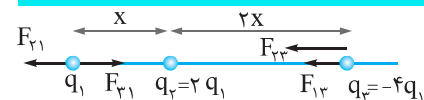
$$F_{13} = F_{23} \Rightarrow \frac{|q_1|}{x^2} = \frac{|q_2|}{(r-x)^2} \Rightarrow \frac{4}{x^2} = \frac{1}{(15-x)^2}$$

$$\xrightarrow{\text{جذر}} \frac{1}{x} = \frac{1}{15-x} \Rightarrow 2x = 15-x \Rightarrow x = 5 \text{ cm}$$

توجه: نیروی بین بارهای الکتریکی در راستای خط واصل آن‌ها است.

۲۰-5- گزینه «۳»

دشوار



$$F_{21} = \frac{kq_1 \times 2q_1}{x^2} = \frac{2kq_1^2}{x^2}, F_{31} = \frac{kq_1 \times 4q_1}{(3x)^2} = \frac{4}{9} \frac{kq_1^2}{x^2}$$

$$\Rightarrow F_T = \frac{2kq_1^2}{x^2} - \frac{4}{9} \frac{kq_1^2}{x^2} = \frac{14}{9} \frac{kq_1^2}{x^2}$$

$$F_{12} = F_{21} = \frac{4}{9} \frac{kq_1^2}{x^2}, F_{23} = \frac{k \times 2q_1 \times 4q_1}{(2x)^2} = \frac{2kq_1^2}{x^2}$$

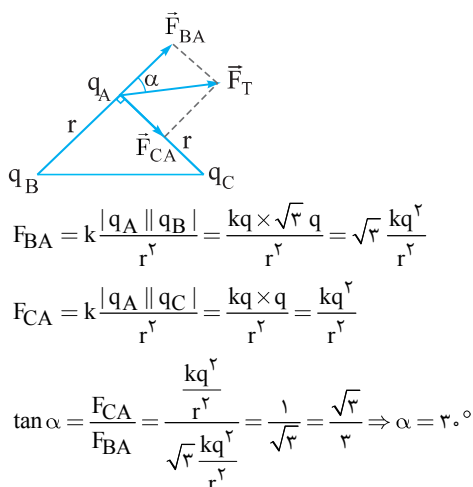
$$\Rightarrow F'_T = \frac{4}{9} \frac{kq_1^2}{x^2} + \frac{2kq_1^2}{x^2} = \frac{22}{9} \frac{kq_1^2}{x^2}$$

$$\frac{F_T}{F'_T} = \frac{\frac{14}{9} \frac{kq_1^2}{x^2}}{\frac{22}{9} \frac{kq_1^2}{x^2}} = \frac{7}{11}$$

دشوار

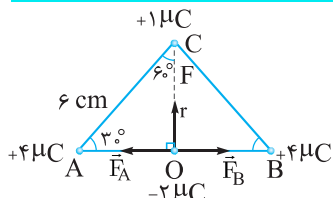
۲۶- گزینه ۱»

نیروهای وارد بر بار q_A از طرف q_B و q_C و برآیند آن‌ها مطابق شکل است.



متوسط

۲۷- گزینه ۳»



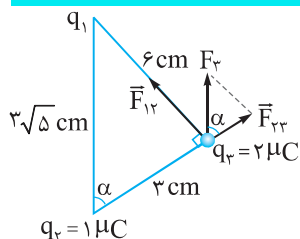
دو بردار F_B و F_A هم اندازه در یک راستا و مخالف جهت یکدیگرند. بنابراین یکدیگر را خنثی می‌کنند. بنابراین نیروی وارد بر بار $-2 \mu C$ تنها، نیروی وارد از طرف بار $+1 \mu C$ است که آن را با F نمایش می‌دهیم ($F_T = F$). از طرفی ضلع روبه‌روی زاویه 30° در یک مثلث قائم‌الزاویه برابر نصف وتر است؛ یعنی $CO = 3 \text{ cm}$.

$$\Delta AOC \text{ در مثلث قائم‌الزاویه } \sin 30^\circ = \frac{r}{r} \Rightarrow \frac{1}{2} = \frac{r}{6} \Rightarrow r = 3 \text{ cm}$$

$$F = \frac{90 |q||q'|}{r^2} = \frac{90 \times 1 \times 2}{3^2} = 20 \text{ N}$$

دشوار

۲۸- گزینه ۴»

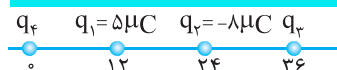


$$F_{23} = k \frac{|q_2||q_3|}{r_{23}^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{2 \times 10^{-6} \times 1 \times 10^{-6}}{3^2 \times 10^{-4}} \Rightarrow F_{23} = 20 \text{ N}$$

$$\left. \begin{aligned} \cos \alpha &= \frac{F_{23}}{F_T} \\ \cos \alpha &= \frac{3}{3\sqrt{5}} = \frac{1}{\sqrt{5}} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{1}{\sqrt{5}} = \frac{20}{F_T} \Rightarrow F_T = 20\sqrt{5} \text{ N}$$

متوسط

۲۳- گزینه ۲»



فرض کنیم $q_4 > 0$ است، نیروهای وارد بر آن از طرف بارهای q_1 و q_2 مطابق شکل است.

$$\vec{F}_{14} \leftarrow \quad \rightarrow \quad \vec{F}_{24}$$

$$F_{14} = \frac{k \times 5 \times q_4}{(12)^2} = \frac{5}{144} kq_4, F_{24} = \frac{k \times 8 \times q_4}{(24)^2} = \frac{1}{72} kq_4$$

با توجه به جهت و اندازه نیروهای F_{14} و F_{24} ، برآیند آن‌ها به سمت چپ و اندازه برآیند آن‌ها (F) برابر است با:

$$F = F_{14} - F_{24} \Rightarrow F = \frac{5}{144} kq_4 - \frac{1}{72} kq_4 \Rightarrow F = \frac{3}{144} kq_4$$

اگر نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار q_4 بخواهد صفر باشد، باید بار q_3 منفی باشد تا نیروی F_{34} به سمت راست باشد، همچنین باید $F_{34} = F$:

$$F_{34} = F \Rightarrow \frac{k|q_3||q_4|}{36^2} = \frac{3}{144} kq_4 \Rightarrow \frac{|q_3|}{36 \times 36} = \frac{3}{144 \times 2}$$

$$|q_3| = 27 \mu C \xrightarrow{q_3 < 0} q_3 = -27 \mu C$$

توجه کنید اگر در ابتدا فرض می‌کردیم بار $q_4 < 0$ است نیز جواب فرقی نمی‌کرد. امتحان کنید!

متوسط

۲۴- گزینه ۲»

چون q_1 و q_3 ناهمنام هستند و بار q_2 بین q_1 و q_3 است بدون توجه به نوع بار q_2 ، نیروهای F_{12} و F_{32} هم جهت هستند.

$$\text{حالت اول: } F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2} + k \frac{5|q_1||q_2|}{r^2} = 6k \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$$

$$\text{حالت دوم: } F' = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2} + k \frac{5|q_1||q_2|}{(\frac{r}{5})^2} = 126k \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$$

$$\frac{F'}{F} = \frac{126}{6} = 21$$

توجه کنید که اگر بار q_2 به $\frac{4r}{5}$ نزدیک شود، فاصله‌اش تا آن برابر $\frac{r}{5}$ می‌شود.

متوسط

۲۵- گزینه ۳»

برای برقراری شرط سوال

اگر $q_3 > 0$ باشد، باید نیروهای وارد بر آن مطابق شکل زیر باشد و $q_2 < 0$ است.

$$F_{23} = 2F_{13} \quad \leftarrow \quad \rightarrow \quad F_{13}$$

اگر $q_3 < 0$ باشد، باید نیروهای وارد بر آن مطابق شکل زیر باشد و $q_2 < 0$ است.

$$F_{13} \quad \leftarrow \quad \rightarrow \quad F_{23} = 2F_{13}$$

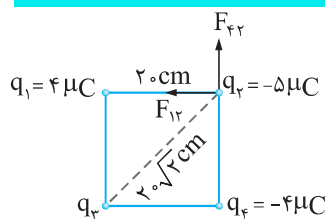
در هر دو صورت $F_{23} = 2F_{13}$ است و $q_2 < 0$ است.

$$F_{23} = 2F_{13} \Rightarrow \frac{k|q_2||q_3|}{L^2} = 2 \frac{k|q_1||q_3|}{(2L)^2}$$

$$\Rightarrow |q_2| = \frac{|q_1|}{2} = 2 \mu C \xrightarrow{q_2 < 0} q_2 = -2 \mu C$$

دشوار

۳۱- گزینه «۴»



$$F_{12} = F_{21} = \frac{9 \times 10^9 \times 4 \times 10^{-6} \times 5 \times 10^{-6}}{(0.2)^2} = 4.5 \text{ N}$$

$$\vec{F}_{12} = -4.5 \vec{i} \text{ و } \vec{F}_{21} = 4.5 \vec{j}$$

$$\vec{F}_T = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{21} \Rightarrow -9 \vec{i} = -4.5 \vec{i} + 4.5 \vec{j} + \vec{F}_{21}$$

$$\Rightarrow \vec{F}_{21} = -4.5 \vec{i} - 4.5 \vec{j}$$

$$\Rightarrow F_{21} = \sqrt{(4.5)^2 + (4.5)^2} = 4.5\sqrt{2} \text{ N}$$

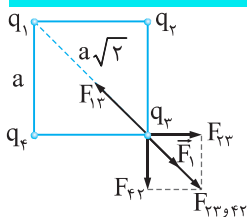
طبق $\vec{F}_{21}$ محاسبه شده، نیروی q_3 بر q_2 جاذبه است پس q_3 باید مثبت باشد.

$$F_{23} = \frac{9 \times 10^9 \times |q_2| \times |q_3|}{(0.2\sqrt{2})^2} \Rightarrow 4.5\sqrt{2} = \frac{45 \times 10^3 \times |q_3|}{8 \times 10^{-2}}$$

$$\Rightarrow |q_3| = 8\sqrt{2} \times 10^{-6} \text{ C} \Rightarrow q_3 = 8\sqrt{2} \mu\text{C}$$

دشوار

۳۲- گزینه «۲»



اگر طول هر ضلع مربع a باشد. طول قطر آن $a\sqrt{2}$ است. نیروهای وارد بر q_3 می‌تواند مطابق شکل باشد، طبق این شکل باید $F_{23} = F_{43}$ باشد. چون فاصله بارهای q_2 و q_4 از بار q_3 برابر است، باید $q_2 = q_4$ باشد. چون F_{23} و F_{43} هم‌اندازه و عمود برهم هستند، بزرگی برابری آن‌ها $\sqrt{2}$ برابر هر یک از آن‌ها است.

$$F_{23} = F_{43} = \frac{K |q_2| |q_3|}{a^2}$$

$$\Rightarrow F_{23,43} = \sqrt{2} \frac{K |q_2| |q_3|}{a^2}$$

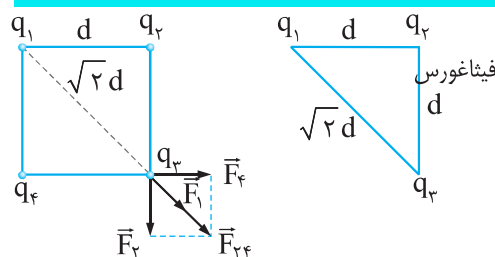
چون نیروی خالص وارد بر بار q_3 صفر است. باید $F_{13} = F_{23,43}$ باشد. با توجه به جهت نیروها، باید q_2 و q_4 همنام و بار q_1 با q_2 و q_4 ناهمنام باشد.

$$F_{13} = F_{23,43} \Rightarrow \frac{K |q_1| |q_3|}{(a\sqrt{2})^2} = \sqrt{2} \frac{K |q_2| |q_3|}{a^2}$$

$$\frac{|q_1|}{2} = \sqrt{2} |q_2| \Rightarrow |q_2| = \frac{\sqrt{2}}{4} |q_1| \xrightarrow{\text{ناهمنام}} q_2 = -\frac{\sqrt{2}}{4} q_1$$

دشوار

۳۹- گزینه «۴»



$$F_1 = \frac{kq_1q_2}{(\sqrt{2}d)^2} = \frac{kq^2}{2d^2}$$

$$F_2 = F_4 = \frac{kq_1q_3}{d^2} = \frac{kq^2}{d^2}$$

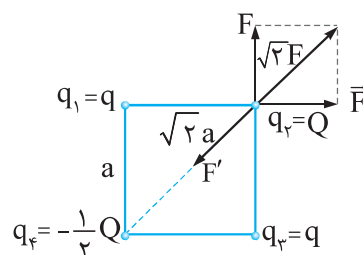
$$F_{24} = \sqrt{F_2^2 + F_4^2} = \sqrt{2} F_2 = \sqrt{2} \frac{kq^2}{d^2}$$

$$F_T = F_1 + F_{24} \Rightarrow F_T = \frac{kq^2}{2d^2} + \sqrt{2} \frac{kq^2}{d^2} = \frac{kq^2}{2d^2} (1 + 2\sqrt{2})$$

متوسط

۳۰- گزینه «۲»

نیروهای وارد بر بار q_2 را رسم می‌کنیم. با توجه به این که بارهای q_1 و q_3 هم‌اندازه بوده و فاصله آن‌ها تا بار q_2 با هم برابر است، نیروی وارده از طرف این بارها به بار q_2 برابر بوده که آن را با $\vec{F}$ نمایش می‌دهیم. بنابراین نیروی وارد از طرف بار q_4 به بار q_2 که آن را با $\vec{F}'$ نشان می‌دهیم. باید برابری نیروهای وارد از طرف بارهای q_1 و q_3 به بار q_2 ($\sqrt{2}F$) را خنثی کند، لذا جهت $\vec{F}'$ می‌بایست در خلاف جهت $\sqrt{2}F$ باشد.



$$F' = \sqrt{2} F \Rightarrow \frac{k |-\frac{1}{2} Q| |Q|}{(\sqrt{2}a)^2} = \sqrt{2} \frac{kqQ}{a^2}$$

فاصله q_4 تا q_2

$$\Rightarrow \frac{|Q|}{q} = 4\sqrt{2} \xrightarrow{\text{همنام } q, Q} \frac{Q}{q} = 4\sqrt{2}$$