

فصل اول (قسمت اول): نیروی الکتریکی و میدان الکتریکی

بخش اول: قانون کولن و نیروی الکتریکی وارد بر ذرات باردار

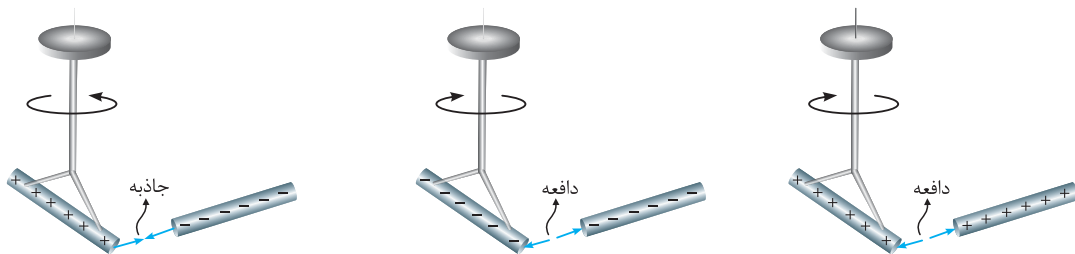
زیرشاخه‌های بخش اول A

- ۱- آشنایی با مفهوم بار الکتریکی
- ۲- آشنایی اولیه با قانون کولن
- ۳- تماس کره‌های مشابه باردار به یکدیگر و تحلیل نیروی بین آنها
- ۴- مروری بر خواص بردارها (پیش‌نیاز بسیار مهم در مسائل این فصل)
- ۵- بررسی قانون کولن برای بیش از دو ذره باردار
- ۶- صفر شدن نیروی الکتریکی وارد بر ذرات باردار

1-A آشنایی با مفهوم بار الکتریکی

از آزرش گرفته تا درفشش یک لامپ کوچک، از آن‌ها تم‌ها را به شکل مولکول به هم وصل می‌کنه تا پیام‌های عصبی تو دستگاه اعصاب و ... باور کنی همگی منشأ الکتریکی دارن ... ما تو این فصل به مطالعه بارها تو حالت سکون می‌پردازیم که به اون الکتریسیته ساکن می‌گن. اول کار هم می‌فویم یه ذره کلیات در موردش یاد بگیریم ...

در کتاب علوم تجربی پایه هشتم مشاهده کردید که وقتی دو جسم با یکدیگر مالش داده می‌شوند، معمولاً هر دوی آنها دارای بار الکتریکی می‌شوند و به یکدیگر نیرو وارد می‌کنند.



تذکره ۱: از این تجربه‌ها نتیجه می‌گیریم که دو نوع بار الکتریکی وجود دارد. این دو نوع بار الکتریکی توسط دانشمند آمریکایی بنیامین فرانکلین، بار مثبت و بار منفی نام‌گذاری شد. او می‌توانست آن‌ها را هر چیز دیگری نیز بنامد، اما استفاده از علامت‌های جبری به جای نام‌های دیگر این مزیت را دارد که وقتی در یک جسم از این دو نوع بار به مقدار مساوی وجود داشته باشد، جمع جبری بارهای جسم صفر می‌شود که به معنی **خنثی بودن** آن جسم است.

تذکره ۲: نیروی بین بارهای الکتریکی در بین بارهای **همنام** از نوع **دافعه** و در حالت **ناهم‌نام** از نوع **جاذبه** است.

تذکره ۳: یکای بار الکتریکی در SI، کولن (C) می‌باشد. یک کولن مقدار بار بزرگی است و معمولاً از یکاهای فرعی نانوکولن (nC) و میکروکولن (μC) در محاسبات استفاده می‌شود.

بررسی بیشتر بار الکتریکی و اصل پایستگی بار الکتریکی

به‌طور کلی، وقتی دو جسم خنثی به یکدیگر مالش داده می‌شوند، تعدادی الکترون از یکی از آن‌ها به دیگری منتقل می‌شود. در طی انجام این کار جسمی که الکترون از دست می‌دهد، دارای بار الکتریکی **مثبت** و جسمی که الکترون اضافی دریافت می‌کند، دارای بار الکتریکی **منفی** می‌شود (نوع باری که دو جسم بر اثر مالش پیدا می‌کنند، به جنس آن‌ها بستگی دارد). در رابطه با این موضوع، می‌توان به نکات مهم و کاربردی زیر اشاره کرد:

۱ افزایش تعداد الکترون‌ها در یک جسم، بار جسم را منفی کرده و کاهش تعداد الکترون‌ها بار آن را مثبت می‌کند.

۲ اگر به یک جسم خنثی n الکترون داده شود و اندازه بار الکتریکی هر الکترون را e در نظر بگیریم (باید برونید $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{C}$ هست)، بار الکتریکی خالص جسم در حالت جدید برابر است با:

$$q = -ne \quad (n = 0, 1, 2, \dots)$$

$$q = +ne$$

از سوی دیگر اگر n الکترون از جسمی گرفته شود، بار الکتریکی خالص جسم در حالت جدید برابر است با:

۳ با توجه به رابطه $q = \pm ne$ ، بار الکتریکی هر جسم مضرب صحیحی از یک مقدار پایه است که آن مقدار پایه، اندازه بار یک الکترون است.

$$q = \pm n e$$

مقدار پایه \rightarrow مضرب صحیح \leftarrow

۴ این موضوع یعنی حاصل $\frac{q}{e}$ برای یک جسم، نمی‌تواند هر مقداری داشته باشد و حاصل آن باید حتماً یک عدد صحیح باشد. این موضوع اصطلاحاً یعنی بار الکتریکی **کوانتیده (یا دانه‌ای)** می‌باشد.

بررسی دقیق‌تر انتقال بار به روش مالش

در مورد بحث مالش دو جسم به یکدیگر و انتقال الکترون در بین آن‌ها، نکات زیر حائز اهمیت است:

- ۱ در تجربه‌هایی مانند مالش اجسام به یکدیگر، الکترون‌ها تولید نمی‌شوند و یا از بین نمی‌روند، بلکه صرفاً از جسمی به جسم دیگر منتقل می‌شوند.
- ۲ به دست آوردن یا از دست دادن الکترون دو جسم در تماس با یکدیگر را می‌توان براساس جدولی موسوم به **سری الکتریسیته مالشی** (سری تریبوالکتریک؛ Tribos) در یونانی به معنای مالش است) مشخص کرد. در این جدول مواد پایین‌تر، الکترون‌خواهی بیشتری دارند؛ یعنی اگر دو ماده در این جدول در تماس با یکدیگر قرار گیرند، الکترون‌ها از ماده بالاتر جدول به ماده‌ای که پایین‌تر قرار دارد، منتقل می‌شود. مثلاً اگر تفلون با نایلون مالش یابد، الکترون‌ها از نایلون به تفلون منتقل می‌شوند. کاربرد بیشتر این جدول را روی آن نشان داده‌ایم:

سری الکتریسیته مالشی

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

اگر میله پلاستیکی به پارچه پشمی مالیده شود، میله پلاستیکی بار منفی پیدا می‌کند.

اگر میله شیشه‌ای به پارچه ابریستی مالیده شود، میله شیشه‌ای بار مثبت پیدا کرده و پارچه ابریستی بار منفی پیدا می‌کند.

کتاب درسی تو پاورقیش به ما قول داده از سری تریبوالکتریک سوالی که فرم مفظی داشته باشه، نره. توصیه ما اینه که دو موردی که روی شکل نشون داریم رو هتماً فقط باشیر ...

- ۳ در فرایند مالش به دو اصل بسیار مهم می‌رسیم، نخستین آن‌ها **اصل پایستگی بار** است که بیان می‌دارد: مجموع جبری همه بارهای الکتریکی در یک دستگاه منزوی (یعنی با بیرون از خودش مبارله بار الکتریکی ندراره و تنها هستش) ثابت است، یعنی بار می‌تواند از جسمی به جسم دیگر منتقل شود، ولی هرگز امکان تولید یا نابودی یک بار خالص وجود ندارد. هیچ شاهد تجربی در نقض این اصل وجود ندارد و دومین اصل، کوانتیده بودن بار است.
- ۴ در یک اتم خنثی، تعداد الکترون‌ها برابر با تعداد پروتون‌های هسته است و بنابراین جمع جبری همه بارها (بار خالص) دقیقاً برابر با صفر است.

Z عدد اتمی یا همان تعداد پروتون‌های هسته است. $\rightarrow X^A_Z$

- ۵ اگر در اثر یونیزاسیون، الکترون از اتم جدا کنیم، تعداد پروتون‌های هسته ثابت مانده ولی تعداد الکترون‌های آن کم می‌شود و دیگر بار خالص اتم صفر نیست.

تو ادامه کار با حل چند تا تمرین توپ و قشنگ، روی این بحث مسلط‌تر میشیم ...

تمرین ۱: از یک قطعه خنثی، چند الکترون گرفته شود تا بار الکتریکی آن به یک میلی‌کولن برسد؟ ($e = 1/6 \times 10^{-19} C$)

$$6/25 \times 10^{18} \quad (4)$$

$$6/25 \times 10^{16} \quad (3)$$

$$6/25 \times 10^{15} \quad (2)$$

$$6/25 \times 10^{13} \quad (1)$$

پاسخ: با توجه به رابطه $q = \pm ne$ ، برای محاسبه تعداد الکترون‌های گرفته شده از جسم برای رسیدن به بار $+1\text{mC}$ می‌توان نوشت:

$$q = +1\text{mC} = 10^{-3}\text{C}, \quad e = 1/6 \times 10^{-19}\text{C}, \quad n = ?$$

$$q = +ne \Rightarrow 10^{-3} = n \times 1/6 \times 10^{-19} \Rightarrow n = \frac{10^{-3}}{1/6 \times 10^{-19}} = 0/625 \times 10^{+16} = 6/25 \times 10^{15} \quad (\text{گزینه ۲})$$

سری الکتریسیته مالشی

انتهای مثبت سری

A

B

انتهای منفی سری

تمرین ۲: جسم A در اثر مالش با جسم B دارای بار الکتریکی شده است. بار الکتریکی جسم B

برحسب کولن کدام یک از گزینه‌های زیر می‌تواند باشد؟ (اندازه بار الکتریکی یک الکترون برابر $1/6 \times 10^{-19}$

کولن است.)

(۱) -2×10^{-19}

(۲) 2×10^{-19}

(۳) -8×10^{-10}

(۴) 8×10^{-10}

پاسخ: در جدول سری الکتریسیته مالشی داده شده، جسم A به سر مثبت سری نزدیک‌تر است، بنابراین در اثر مالش دو جسم A و B با یکدیگر، بار الکتریکی جسم A مثبت و بار الکتریکی جسم B منفی می‌شود، پس دو گزینه (۲) و (۴) نادرست است. از طرفی با توجه به رابطه $q = \pm ne$ ، بار الکتریکی یک جسم، مضرب صحیحی از بار پایه می‌باشد:

$$q = ne \Rightarrow n = \frac{q}{e}$$

حال به بررسی گزینه‌های (۱) و (۳) می‌پردازیم:

$$۱) n = \frac{q}{e} = \frac{2 \times 10^{-19}}{1/6 \times 10^{-19}} = 1/25 \rightarrow \text{عدد صحیح نمی‌باشد.} \quad \times \quad ۳) n = \frac{q}{e} = \frac{8 \times 10^{-10}}{1/6 \times 10^{-19}} = 5 \times 10^9 \rightarrow \text{عدد صحیح است.} \quad \checkmark$$

بنابراین فقط در گزینه (۳)، یک عدد صحیح به دست آمده و جواب سؤال می‌باشد.

تمرین ۳: عدد اتمی اورانیم $Z = 92$ است. بار الکتریکی هسته اتم اورانیم چه قدر است؟ اتم اورانیم چه مقدار بار الکتریکی منفی در اثر

حضور الکترون‌ها دارد؟ بار الکتریکی اتم اورانیم در حالت خنثی چه قدر است؟ (کتاب دس)

پاسخ: در مورد این تمرین خوب، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- $Z = 92$ در هسته اورانیم، یعنی تعداد ۹۲ پروتون در هسته موجود است و بار الکتریکی هسته اتم اورانیم $Z = 92$ برابر است با:

$$q = +ne = +92 \times (1/6 \times 10^{-19}) = +147/2 \times 10^{-19} = +1472 \times 10^{-17}\text{C}$$

۲- در حالت خنثی، تعداد الکترون‌های هسته و پروتون‌های هسته با هم برابر است و می‌توان گفت بار منفی ناشی از الکترون‌ها نیز برابر $-1472 \times 10^{-17}\text{C}$ می‌باشد.

۳- در مجموع اتم اورانیم خنثی بوده و بار کلی آن صفر است.

2-A آشنایی اولیه با قانون کولن

مشاهدات فیزیکی نشان می‌دهد که دو ذره باردار بر یکدیگر نیرو وارد می‌کنند، به گونه‌ای که اگر بار الکتریکی دو ذره هم‌نام (هر دو مثبت و یا هر دو منفی) باشد، آن‌ها یکدیگر را دفع کرده و اگر بار دو ذره ناهم‌نام (یکی مثبت و دیگری منفی) باشد، آن‌ها یکدیگر را جذب می‌کنند.



حالا سؤال اینست که نیروی الکتریکی بین دو جسم باردار به چه عواملی بستگی دارد و اندازه این نیروها رو از چه رابطه‌ای میشه حساب کرد؟ شارل آگوستین کولن، با قانون کولن جواب اینو داده ... دستش درد نکنه، بریم ببینیم چی میگه!!

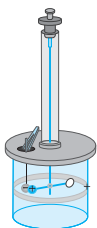
قانون کولن

با توجه به این قانون، اندازه نیروی الکتریکی (رابطه یا رانشی) بین دو بار نقطه‌ای q_1 و q_2 که در فاصله r از یکدیگر قرار دارند، با حاصل ضرب اندازه بار

دو ذره نسبت مستقیم و با مجذور فاصله آن‌ها از هم نسبت عکس دارد و با کمک رابطه زیر به دست می‌آید:

$$F = k \frac{|q_1| |q_2|}{r^2} \Rightarrow \begin{cases} F \propto \frac{1}{r^2} & (\text{نیرو با مجذور فاصله بین دو بار الکتریکی، رابطه معکوس دارد.}) \\ F \propto |q_1| |q_2| & (\text{نیرو رابطه مستقیم با حاصل ضرب اندازه دو بار الکتریکی دارد.}) \end{cases}$$

دقت کنید که در این رابطه برای محاسبه مقدار F ، علامت بارهای q_1 و q_2 را در نظر نمی‌گیریم و در واقع اندازه‌های این دو بار $|q_1|$ و $|q_2|$ را در رابطه وارد می‌کنیم.



نکات مهم و کاربردی:

۱ در این رابطه، k ثابت الکتروستاتیکی یا ثابت کولن نام دارد و یکای آن در سیستم SI عبارت است از:

$$F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2} \xrightarrow[\text{در یک طرف رابطه}]{\text{تنها کردن } k} k = \frac{Fr^2}{|q_1||q_2|} \equiv \frac{N.m^2}{C^2}, k = 9 \times 10^9 \frac{N.m^2}{C^2}$$

۲ ارتباط بین ثابت کولن (k) و ثابت مهم دیگری به نام **ضریب گذردهی الکتریکی خلأ** (ϵ_0) به صورت مقابل است:

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

بنابراین یکای ϵ_0 معکوس یکای k بوده و معادل با $\frac{C^2}{N.m^2}$ است. بنابراین:

$$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} C^2 / N.m^2$$

۳ اگر اندازه بارهای q_1 و q_2 و یا فاصله r در مسائل تغییر کند، در مقایسه اندازه نیروی کولنی در دو حالت (بعد از تغییر و قبل از تغییر) می توان نوشت:

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

۴ همان طور که در سال های قبل مشاهده کردید، مطابق قانون سوم نیوتون، هر عملی را عکس العملی است مساوی و در خلاف جهت آن، بنابراین نیرویی که بار q_1 بر بار q_2 وارد می کند، با نیرویی که بار q_2 بر بار q_1 وارد می کند، هم اندازه، هم راستا و در خلاف جهت یکدیگر است.

از همین الان یاد بگیریم $\vec{F}_{1,2}$ یعنی نیرویی که ذره (۱) به (۲) وارد میکند و برعکسش. موازتون باشه این نیروها از نوع بردار هستن و تو بردار هم اندازه مهمه و هم جهت.

درسته $\vec{F}_{1,2}$ و $\vec{F}_{2,1}$ هم اندازه هستن ولی به نگه ساره بندها بر میگردیم خلاف جهت همن ... درشتش اینه که بگیریم:

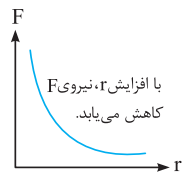
آکه نمیدونید، پروتید که اومدن قدم مطلق و یا برداشتن علامت بردار از بالای F ، دوتا قراردازیه که تو فیزیک اندازه بردار رو بهترتون نشون میده ...

۵ با توجه به قانون دوم نیوتون ($F = ma$) در علوم، اگر دو بار الکتریکی دو گلوله کوچک در نظر گرفته شوند و فقط تحت اثر نیروی کولنی که به یکدیگر وارد می کنند، شتاب بگیرند، در مقایسه شتاب آن ها می توان گفت:

$$F_{1,2} = F_{2,1} \Rightarrow m_1 a_1 = m_2 a_2 \Rightarrow \frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2}{m_1} \text{ (یعنی شتاب با جرم گلوله ها رابطه عکس داره)}$$

۶ نمودار نیروی بین دو ذره بردار بر حسب فاصله بین آن ها به صورت مقابل است:

در ادامه با حل چند تمرین، بر روی نکات ارائه شده در این قسمت مسلط تر می شویم:



$$F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2} \Rightarrow F \propto \frac{1}{r^2}$$

تمرین ۴: در هسته اتم هلیوم، دو پروتون به فاصله تقریبی $r = 2 \times 10^{-15} m$ از هم قرار دارند. بزرگی نیرویی که پروتون ها بر هم وارد می کنند،

برابر چند نیوتون است؟ ($k = 9 \times 10^9 N.m^2 / C^2$, $e = 1.6 \times 10^{-19} C$)

پاسخ: با استفاده از قانون کولن، برای محاسبه نیروی الکتریکی بین دو پروتون می توان نوشت:

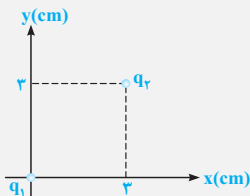
$$F = k \frac{|q_p||q_p|}{r^2} = (9 \times 10^9) \frac{(1.6 \times 10^{-19}) \times (1.6 \times 10^{-19})}{(2 \times 10^{-15})^2} = 57.6 N$$

نیرویی که حساب کردیم از جنس دفعه هست و پروتونای تو هسته فیلی از هم بردشون میار ... حالا تو سال بعد ایشالا یادتون میدیم کی میار نمیزاره

این پروتونا از هم پرا شن ☺

تمرین ۵: در شکل مقابل، مقدار نیروی الکتریکی وارد بر بار q_1 و شکل برداری آن در SI را به دست آورید.

$$(q_1 = q_2 = 2 \mu C, k = 9 \times 10^9 N.m^2 / C^2)$$

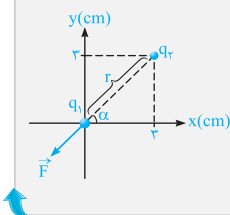


پاسخ: ابتدا با توجه به شکل، فاصله بین دو بار الکتریکی و سپس بزرگی نیروی الکتریکی که بار q_2 بر q_1 وارد می کند

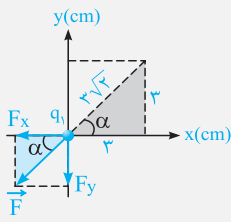
را به دست می آوریم، توجه شود که چون دو بار هم علامت با یکدیگر هستند، یکدیگر را دفع می کنند (یکجاها به SI باید تبدیل شود):

$$\Rightarrow r = \sqrt{3^2 + 3^2} = 3\sqrt{2} \text{ cm} = 3\sqrt{2} \times 10^{-2} m$$

$$F = \frac{k |q_1||q_2|}{r^2} = \frac{9 \times 10^9 \times 2 \times 10^{-6} \times 2 \times 10^{-6}}{(3\sqrt{2} \times 10^{-2})^2} = 20 N$$



در ادامه باید بتوانیم با یک عملیات ساده (که در این فصل به شدت به اون نیازمندیم)، مؤلفه‌های نیروی \vec{F} را در راستای محورهای مختصات با کمک مثلث آبی و البته مقادیر $\sin \alpha$ و $\cos \alpha$ از روی مثلث خاکستری به دست آوریم:



$$\Rightarrow \begin{cases} \sin \alpha = \frac{\text{مقابل}}{\text{وتر}} = \frac{3}{3\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2}}{2} \\ \cos \alpha = \frac{\text{مجاور}}{\text{وتر}} = \frac{3}{3\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2}}{2} \end{cases}$$

(مثلث خاکستری)

تحلیل مثلث آبی:

$$\begin{cases} \sin \alpha = \frac{|F_y|}{|\vec{F}|} \Rightarrow |F_y| = |\vec{F}| \sin \alpha \Rightarrow |F_y| = 20 \times \frac{\sqrt{2}}{2} = 10\sqrt{2} \text{ N} \\ \cos \alpha = \frac{|F_x|}{|\vec{F}|} \Rightarrow |F_x| = |\vec{F}| \cos \alpha \Rightarrow |F_x| = 20 \times \frac{\sqrt{2}}{2} = 10\sqrt{2} \text{ N} \end{cases}$$

از سوی دیگر باید توجه شود که چون هر دو مؤلفه F_x و F_y در خلاف جهت محورهای x و y هستند، ضرایب \vec{i} و \vec{j} هر دو منفی بوده و در نهایت داریم:

$$\vec{F} = -10\sqrt{2} \vec{i} - 10\sqrt{2} \vec{j}$$

میشه وتر در $\sin \alpha$ ، ضلع مجاور $\cos \alpha$...

آنگه میفوی تو این مور سوالا سه سوت پواب بری، همش با فودت تکرار کن ضلع مقابل α

ضلع مقابل α \Rightarrow وتر $\times \sin \alpha = F \sin \alpha$

میشه وتر در $\sin \alpha$ ، ضلع مجاور $\cos \alpha$...

تمرین ۶: دو بار نقطه‌ای q_1 و q_2 در فاصله d یکدیگر را با نیروی F جذب می‌کنند. بارهای $-q_1$ و $+2q_2$ در فاصله $2d$ بر یکدیگر چه نیرویی وارد می‌کنند؟

(۱) $\frac{1}{4}F$ ، جاذبه (۲) $2F$ ، جاذبه (۳) $2F$ ، دافعه (۴) $\frac{1}{4}F$ ، دافعه

پاسخ: با توجه به جذب شدن بارهای q_1 و q_2 ، در ابتدای کار می‌فهمیم که این دو بار ناهم‌نام هستند، با توجه به این موضوع بارهای $-q_1$ و $+2q_2$ لزوماً هم‌نام هستند و یکدیگر را دفع می‌کنند (چرا؟). از طرفی با توجه به رابطه زیر داریم:

$$F = \frac{k |q_1| |q_2|}{r^2} \xrightarrow{\text{مقایسه دو حالت}} \frac{F'}{F} = \frac{|q_2'| |q_1'|}{|q_2| |q_1|} \times \left(\frac{r}{r'}\right)^2 \Rightarrow \frac{F'}{F} = \frac{|2q_2| \times |q_1|}{|q_2| |q_1|} \times \left(\frac{d}{2d}\right)^2 = \frac{1}{2} \Rightarrow F' = \frac{1}{2}F \quad (\text{گزینه ۴})$$

بررسی یک موضوع پرکاربرد

در تعداد زیادی از تست‌های کنکور و سؤالات امتحانات نهایی در این قسمت، تغییرات بار الکتریکی یا فاصله را برحسب درصد در صورت سؤال مطرح می‌کنند. برای حل این‌گونه سؤالات، کفایت عبارت درصدی را به صورت کسری بازنویسی کنید. به‌طور مثال اگر بار الکتریکی یک ذره ۲۵ درصد افزایش یافته باشد، می‌توان نوشت:

$$q' = q + \frac{25}{100}q = q + \frac{1}{4}q = \frac{5}{4}q$$

یا به عنوان مثال دیگر اگر فاصله بین دو بار الکتریکی ۲۰ درصد کاهش یابد، می‌توان نوشت:

$$d' = d - \frac{20}{100}d = d - \frac{1}{5}d = \frac{4}{5}d$$

با حل تمرین بعد، موضوع مطرح‌شده را بهتر درک می‌کنید.

تمرین ۷: دو بار الکتریکی هم‌نام $q_1 = 8 \mu\text{C}$ و q_2 در فاصله r ، نیروی F را بر هم وارد می‌کنند. اگر ۲۵ درصد از بار q_1 را برداشته و به q_2 اضافه کنیم، بدون تغییر فاصله بارها از یکدیگر، نیروی متقابل بین آن‌ها ۵۰ درصد افزایش می‌یابد. مقدار اولیه q_2 چند میکروکولن است؟

(۱) ۱ (۲) ۲ (۳) ۳ (۴) ۴ (سراسری ریاضی ۸۹)

پاسخ: کفایت دو شکل خوب، متناسب با شرایط مسئله رسم کنید. با توجه به این‌که هر دو بار مثبت هستند، با بررسی تغییرات بار (اضافه کردن ۲۵ درصد یا $\frac{1}{4}$ بار q_1 به q_2) در دو حالت داریم:

حالت اولیه: $\bullet \text{---} r \text{---} \bullet$
 $q_1 = 8 \mu\text{C}$ q_2

حالت ثانویه:

$$\Rightarrow \begin{cases} q_1' = q_1 - \frac{1}{4}q_1 = \frac{3}{4}q_1 = \frac{3}{4} \times 8 = 6 \mu\text{C} \\ q_2' = q_2 + \left(\frac{1}{4} \times 8\right) = q_2 + 2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} (1): F = \frac{k|q_1||q_2|}{r^2} = \frac{k(8q_2)}{r^2} \\ (2): F' = \frac{k|q_1'||q_2'|}{r^2} = \frac{k \times 6 \times (q_2 + 2)}{r^2} = \frac{k(6q_2 + 12)}{r^2} \end{cases}$$

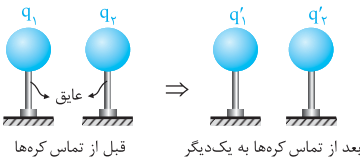
حال با توجه به این که نیرو در حالت ثانویه ۵۰ درصد افزایش پیدا کرده است، می توان نوشت:

$$F' = F + \frac{50}{100}F = \frac{150}{100}F = \frac{3}{2}F \Rightarrow \frac{k(6q_2 + 12)}{r^2} = \frac{3}{2} \frac{k(8q_2)}{r^2} \Rightarrow 6q_2 + 12 = \frac{3}{2} \times 8q_2 = 12q_2 \Rightarrow 6q_2 = 12 \Rightarrow q_2 = 2 \mu\text{C}$$

(گزینه ۲)

3-A تماس کره‌های مشابه باردار به یکدیگر و تحلیل نیروی بین آن‌ها

به مدل فیلی معروف از سوالای قانون کولن، مربوط به وقتی همیشه که پندرتا کره رو به هم میزنن و نیروی پینشون رو بررسی میکنن. فیلی سوالای باهالیه. بریم ببینیم چه پوری فلهشون کنیم ...



برای شروع بحث، دو کره رسانای کوچک و مشابه با قطر یکسان که دارای بارهای q_1 و q_2 می‌باشد را در نظر بگیرید. می‌توان نشان داد که اگر این دو کره را به یکدیگر متصل کرده و سپس از هم جدا کنیم، پس از جدا کردن، بار هر دو کره با یکدیگر یکسان و برابر $\frac{q_1 + q_2}{2}$ می‌شود (البته با این فرض که تبادل بار الکتریکی فقط بین دو کره انجام می‌شود).

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

تذکره: به عنوان یک موضوع جالب توجه کنید که اگر بار کره‌ها قبل از تماس به یکدیگر q و $-q$ باشد، بعد از تماس آن‌ها به هم، بار هر یک برابر صفر خواهد شد.

$$q_1' = q_2' = \frac{q_1 + q_2}{2} = \frac{q + (-q)}{2} = 0$$

در ادامه با حل یک مثال خوب، این موضوع را بهتر یاد می‌گیریم.

تمرین ۸: دو گلوله فلزی کوچک و مشابه که دارای بار الکتریکی می‌باشند، در فاصله ۳۰ سانتی‌متری، نیروی جاذبه ۴ نیوتون بر یکدیگر وارد می‌کنند. اگر این دو گلوله را به هم تماس دهیم، بار الکتریکی هر کدام $+3 \mu\text{C}$ خواهد شد. بار اولیه گلوله‌ها برحسب میکروکولن کدام است؟ ($k = 9 \times 10^9 \text{ N.m}^2 / \text{C}^2$) (سراسری ریاضی ۹۴)

- (۱) ۱۲ و ۶
(۲) ۱۰ و ۴
(۳) ۹ و ۳
(۴) ۸ و ۲

پاسخ: در شروع حل باید دقت شود که دو کره در ابتدا یکدیگر را جذب می‌کنند و این یعنی بارهای آن‌ها ناهم‌نام بوده‌اند. در ادامه با توجه به اطلاعات سؤال، حاصل ضرب $|q_1 q_2|$ برابر است با:

$$F = \frac{k|q_1||q_2|}{r^2} \Rightarrow 4 = \frac{9 \times 10^9 |q_1||q_2|}{(30 \times 10^{-2})^2} \Rightarrow |q_1 q_2| = 4 \times 10^{-11} \text{ C}^2 = \boxed{40} (\mu\text{C})^2 \quad (1)$$

در 10^{12} ضرب کرده‌ایم.

برای تبدیل C^2 به $(\mu\text{C})^2$ ، کافیست که به 10^{-12} تقابل ضرب کنی $(10^{-6})^2$...

از طرفی پس از تماس دو کره، به دلیل مشابه بودن کره‌ها، بار هریک از آن‌ها برابر $\frac{q_1 + q_2}{2}$ می‌شود که برابر $+3 \mu\text{C}$ است.

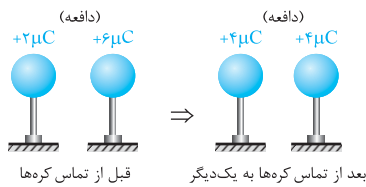
$$\frac{q_1 + q_2}{2} = +3 \mu\text{C} \Rightarrow q_1 + q_2 = +6 \mu\text{C} \quad (2)$$

در بین گزینه‌ها، تنها گزینه (۲) در هر دو معادله‌های (۱) و (۲) صدق می‌کند.

دقت: نیازی نبود معادله (۲) را به دست آوریم، از روی معادله (۱) به تنهایی نیز می‌توان گزینه صحیح را انتخاب کرد.

بررسی نوع نیروی جاذبه یا دافعه بین دو کره قبل و بعد از تماس به یکدیگر

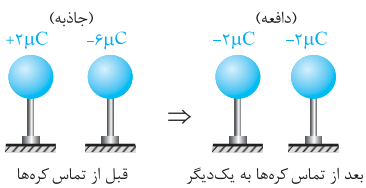
در ادامه بحث انجام شده، فرض کنید که دو کره کوچک مشابه با بارهای q_1 و q_2 را که در فاصله r از یکدیگر قرار دارند، به یکدیگر متصل کرده و پس از تبادل بار الکتریکی، مجدداً در همان فاصله r قرار داده‌ایم. حال می‌خواهیم به بررسی نیروی بین این دو کره پس از تماس بپردازیم که در مورد آن می‌توان به حالت‌های زیر اشاره کرد:



حالت اول: اگر بار دو کره هم‌نام و غیر هم‌اندازه باشد، نیروی بین کره‌ها قبل و بعد از تماس دافعه بوده و اندازه نیروی بین دو کره بعد از تماس به یکدیگر بیشتر می‌شود. این موضوع را با یک مثال عددی ساده نشان داده‌ایم:

$$q'_1 = q'_2 = \frac{2+6}{2} = 4 \mu\text{C}$$

$$F \propto |q_1| |q_2| \Rightarrow \frac{F_2}{F_1} = \frac{4 \times 4}{2 \times 6} = \frac{16}{12} > 1 \Rightarrow F_2 > F_1$$



حالت دوم: اگر بار دو کره ناهم‌نام و غیر هم‌اندازه باشد، نیروی بین دو کره قبل از تماس جاذبه و بعد از تماس دافعه است. به عنوان مثال، به شکل مقابل توجه کنید:

$$q'_1 = q'_2 = \frac{2+(-6)}{2} = -2 \mu\text{C}$$

$$F \propto |q_1| |q_2| \Rightarrow \frac{F_2}{F_1} = \frac{2 \times 2}{2 \times 6} = \frac{4}{12} < 1 \Rightarrow F_2 < F_1$$

دقت کنید اگر بار اولیه کره‌ها $-1 \mu\text{C}$ و $+11 \mu\text{C}$ بود، اندازه نیروی بین کره‌ها پس از تماس، افزایش می‌یافت (چرا؟). بنابراین در این حالت نمی‌توان اندازه نیروی بین کره‌ها را در حالت کلی قبل و پس از تماس، مقایسه کرد.

حالت سوم: اگر بار دو کره ناهم‌نام و هم‌اندازه باشد، بار هر یک از کره‌ها و نیروی بین دو کره بعد از تماس دادن آن‌ها به یکدیگر صفر می‌شود، بنابراین اندازه نیروی بین دو کره کاهش می‌یابد.

حالت چهارم: اگر بار دو کره مشابه، کاملاً یکسان باشد (هم‌اندازه و هم‌علامت)، بار دو کره، قبل و بعد از تماس به یکدیگر یکسان بوده و در نتیجه نیروی بین دو کره تغییر نمی‌کند (خودتان این موضوع را بررسی کنید).

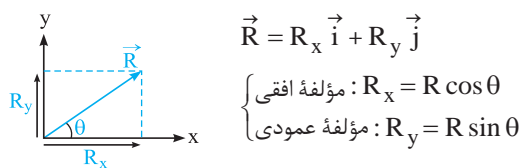
نکته: اگر به جای دو کره مشابه، چند کره رسانای کاملاً مشابه را به یکدیگر متصل کنیم، بار تمامی آن‌ها بعد از تماس به یکدیگر با هم یکسان شده و برابر می‌شود با:

$$q'_1 = q'_2 = q'_3 = \frac{q_1 + q_2 + q_3}{3}$$

4-A مروری بر خواص بردارها (پیش‌نیاز بسیار مهم در مسائل این فصل)

این فصل قبلی نیاز به برابری بردارها تو حالت‌های هم‌راستا و عمود بر هم داره ... تو ادامه به مرور سریع روی این موضوع داشته باشیم ...

همان‌طور که در ابتدای کار نشان دادیم، هر بردار دارای دو مؤلفه افقی و قائم می‌باشد و می‌توان آن را به صورت بردارهای یکه به صورت زیر نشان داد:



تو ذهنت بگو، وتر در کسینوس همیشه مجاور، و تر در سینوس همیشه مقابل ... هی تکرار کن، باشه!!

تذکره: برعکس موضوع انجام شده، با داشتن مؤلفه‌های افقی و عمودی یک بردار نیز به سادگی می‌توان اندازه آن بردار و زاویه آن را با افق یافت. به‌طور مثال در شکل فوق داریم:

$$\begin{cases} \text{اندازه بردار } \vec{R}: R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} \\ \text{محاسبه زاویه } \theta: \tan \theta = \frac{\text{مقابل}}{\text{مجاور}} = \frac{R_y}{R_x} \end{cases}$$

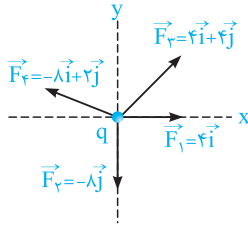
جمع بردارها با کمک بردارهای یکه

جمع دو بردار $\vec{A} = a_1 \vec{i} + a_2 \vec{j}$ و $\vec{B} = b_1 \vec{i} + b_2 \vec{j}$ به صورت مقابل است:

$$\vec{A} + \vec{B} = (a_1 + b_1) \vec{i} + (a_2 + b_2) \vec{j}$$

$$\tan \theta = \frac{\text{ضریب } \vec{j}}{\text{ضریب } \vec{i}}$$

در این حالت، پس از رسم بردار $\vec{A} + \vec{B}$ ، به سادگی می‌توان زاویه آن با افق را نیز پیدا کرد:



برای درک بهتر، فرض کنید بر ذره الکتریکی مقابل نیروهای نشان داده شده وارد شده است. برای این نیروهای وارد بر این ذره باردار برابر است با:

$$\vec{F}_T = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{F}_4 = (4\vec{i} + 0\vec{j}) + (0\vec{i} - 4\vec{j}) + (4\vec{i} + 4\vec{j}) + (-4\vec{i} + 2\vec{j})$$

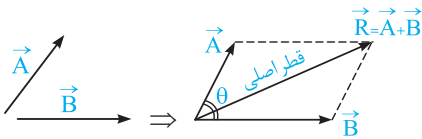
$$\vec{F}_T = (4 + 0 + 4 + (-4))\vec{i} + (0 + (-4) + 4 + 2)\vec{j} = 0\vec{i} - 2\vec{j}$$

مجموع ضرایب در راستای قائم ←
مجموع ضرایب در راستای افق ←

این موضوع یعنی بردار برآیند اولاً مؤلفه افقی ندارد و ثانیاً مؤلفه قائمش در خلاف جهت y همیشه، چون منفیه ...

برآیند دو بردار به روش متوازی الاضلاع

دو بردار \vec{A} و \vec{B} را مطابق شکل مقابل در نظر بگیرید:



برای به دست آوردن برآیند دو بردار (بیشتر از دو تا نه) می‌توان به گونه‌ای دیگر نیز عمل کرد. در این روش که به روش متوازی الاضلاع معروف است، دو بردار را به گونه‌ای رسم می‌کنیم که ابتدای آن‌ها از یک نقطه باشند، سپس متوازی الاضلاعی رسم می‌کنیم که دو ضلع آن بردارهای \vec{A} و \vec{B} باشد. در این حالت، قطری از متوازی الاضلاع که از نقطه شروع دو بردار آغاز می‌شود، معادل برآیند دو بردار می‌باشد (منظور قطر اصلی است).

دقت: در کتاب درسی برآیندگیری برای نیروهای در یک راستا و یا نیروهای عمود بر هم مدنظر می‌باشد. دو حالت زیر برای تکمیل اطلاعات دانش آموزان علاقه‌مند آورده شده است و مدنظر کتاب درسی نمی‌باشد.

۱ اگر زاویه بین دو بردار برابر θ باشد، اندازه برآیند آن‌ها برابر است با:

$$|\vec{R}| = \sqrt{A^2 + B^2 + 2AB \cos \theta}$$

۲ اگر اندازه دو بردار با هم برابر باشد، اندازه بردار برآیند از رابطه ساده شده روبه‌رو به دست می‌آید:

$$|\vec{R}| = 2A \cos\left(\frac{\theta}{2}\right)$$

نکات بسیار کاربردی در برآیندگیری دو بردار

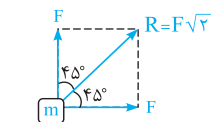
به طور کلی زمانی که دو بردار هم جهت باشند ($\theta = 0$)، اندازه برآیند آن‌ها حداکثر است و از جمع اندازه‌های دو بردار به دست می‌آید و زمانی که مختلف‌الجهت باشند ($\theta = 180^\circ$) اندازه برآیند آن‌ها حداقل است و از تفاضل اندازه‌های دو بردار به دست می‌آید.

مثال‌هایی برای درک بهتر:

بیشترین برآیند دو نیروی ۴N و ۲۰N \Rightarrow $F = 20N$ \equiv $m \rightarrow 24N$ (بیشترین برآیند دو نیروی ۴N و ۲۰N)
(زاویه بین دو نیرو $\theta = 0$)

کمترین برآیند دو نیروی ۴N و ۲۰N \Rightarrow $F = 20N$ \equiv $m \rightarrow 16N$ (کمترین برآیند دو نیروی ۴N و ۲۰N)
(زاویه بین دو نیرو $\theta = 180^\circ$)

حالت بینابین: $4N$ و $20N$ \equiv $16N < R < 24N$
(زاویه بین دو بردار: θ)

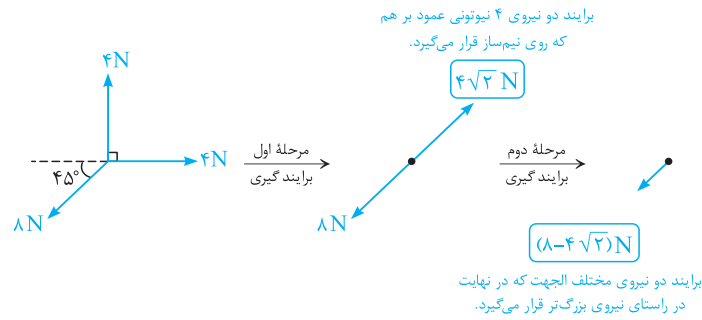


(دو بردار عمود برهم و هم اندازه)

برآیند برابر قطر مستطیل است. $\Rightarrow R = \sqrt{20^2 + 4^2}$
(دو بردار عمود برهم)

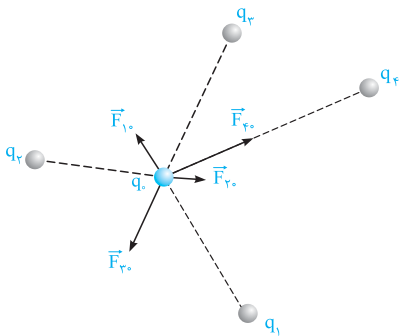
۵ تا حالت خاص مطرح شده، توکل این کتاب قبلی کاربرد داره ... قبلی خوب اینا رو درک کنید تا بتوانید ارزش تو تستا استفاده کنید.

به عنوان مثال در شکل زیر با کمک ایده‌های مطرح شده، برآیند نیروها را یافته‌ایم:



5-A بررسی قانون کولن برای بیش از دو ذره باردار

تا این‌های کار قانون کولن را برای دو ذره باردار یاد گرفتیم، حالا سؤال اینه که آگه ذره‌ها چندتا باشه چی؟! ... برای جواب دادن به این موضوع باید مسایلی برآیندگیری بلد باشیم ...



در حالت کلی اگر تعدادی ذره باردار در یک ناحیه از فضا قرار داشته باشند، نیروی الکتریکی وارد بر هر ذره، برآیند نیروهایی است که هر یک از ذره‌های دیگر در غیاب سایر ذره‌ها، بر آن ذره وارد می‌کند (این موضوع، اصل برهم‌نهی نیروهای الکتروستاتیکی نام دارد). به عبارت دیگر، وقتی چند ذره باردار را در یک راستا و یا در یک صفحه قرار داده و از ما می‌خواهند برآیند نیروهای وارد بر یکی از ذرات را محاسبه کنیم، برای رسیدن به این منظور گام‌های زیر را طی می‌کنیم:

گام اول: نیروهای وارد بر آن ذره از طرف ذره‌های باردار دیگر را رسم کرده و اندازه هر یک از این نیروها را با کمک رابطه $F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$ محاسبه می‌کنیم. یادآوری می‌شود که بارهای هم‌نام، یک‌دیگر را دفع کرده و بارهای ناهم‌نام، یک‌دیگر را جذب می‌کنند.

گام دوم: برآیند بردارهای رسم شده را با کمک خواص بردارها محاسبه می‌کنیم.

در ادامه با حل چندین سؤال متنوع، بر روی این سبک از سؤالات که همواره پای ثابت سؤالات کنکور و امتحانی می‌باشد، مسلط خواهیم شد.

تمرین ۹: در شکل روبه‌رو، برآیند نیروهای وارد بر بار الکتریکی نقطه‌ای $q = 2\mu C$ برابر نیوتون و به سمت است. $(\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9 \text{ SI})$

(۱) ۱۰۰، چپ (۲) ۱۰۰، راست (۳) ۶۰، چپ (۴) ۶۰، راست

پاسخ: ابتدا جهت نیروهایی را که هر یک از دو ذره باردار q_1 و q_2 بر بار q وارد می‌کنند (برفاسب هم‌نام یا ناهم‌نام بودن نشان) به دست می‌آوریم:

$\Rightarrow \begin{cases} \vec{F}_1 \text{ به سمت راست است.} \Rightarrow q_1 \text{ بار } q \text{ را دفع می‌کند} (\vec{F}_1) \\ \vec{F}_2 \text{ به سمت چپ است.} \Rightarrow q_2 \text{ بار } q \text{ را دفع می‌کند} (\vec{F}_2) \end{cases}$

در ادامه مقدار \vec{F}_1 و \vec{F}_2 را با کمک قانون کولن به دست می‌آوریم:

$$F_1 = \frac{k|q||q_1|}{r^2} = \frac{9 \times 10^9 \times 2 \times 10^{-6} \times 4 \times 10^{-6}}{(6 \times 10^{-2})^2} = 20 \text{ N}$$

(دافعه)

$$F_2 = \frac{k|q||q_2|}{r^2} = \frac{9 \times 10^9 \times 2 \times 10^{-6} \times 4 \times 10^{-6}}{(3 \times 10^{-2})^2} = 80 \text{ N}$$

(دافعه)

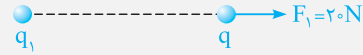
در نهایت با برآیندگیری از نیروهای در خلاف جهت F_1 و F_2 ، به سادگی نیروی برآیند به دست می‌آید (نیروها اثر هم‌دیگر را تضعیف می‌کنند):

$F_T = F_2 - F_1 = 80 - 20 = 60 \text{ N}$

با توجه به بزرگ‌تر بودن نیروی F_2 ، جهت نیروی برآیند نیز به سمت چپ می‌باشد و گزینه (۳) صحیح است. دقت شود که این موضوع یعنی نیروی وارد بر این ذره برابر $\vec{1}^{-60}$ است.

تمرین ۱۰: در سؤال قبل، اگر بار الکتریکی q_2 حذف شود، برابند نیروهای وارد بر بار الکتریکی نقطه‌ای q برابر نیوتون شده و تغییر جهت
 (۱) ۸۰، نمی‌دهد (۲) ۲۰، می‌دهد (۳) ۱۰۰، می‌دهد (۴) ۲۰، نمی‌دهد

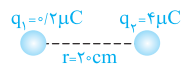
پاسخ: در سؤال قبل، با حذف بار الکتریکی q_2 ، تنها نیرویی که بر بار q وارد می‌شود، ناشی از نیروی دافعه بار q_1 بر آن می‌باشد. با توجه به پاسخ سؤال قبل، این نیرو برابر $F_1 = 20\text{N}$ و به سمت راست می‌باشد.



بنابراین برابند نیروهای وارد بر بار q برابر 20N شده و نسبت به حالت قبل تغییر جهت می‌دهد (به سمت راست می‌شود) و گزینه (۲) صحیح است.

بررسی دو نکته مهارتی

فیلی از بچه‌ها می‌پرسن رمز موفقیت تو سریع تر شدن حل سوالاتی قانون کولن چیه؟ دوتا شو همین الان می‌گیم ...



۱ در محاسبات رابطه $F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$ ، ترجیحاً اعداد به صورت ممیزدار نوشته نشود، زیرا این موضوع کمی ساده کردن اعداد را سخت می‌کند.

$$F = 9 \times 10^9 \times \frac{(2 \times 10^{-6})(4 \times 10^{-6})}{(0.02)^2}$$

شکل نامناسب

$$F = 9 \times 10^9 \times \frac{(2 \times 10^{-7})(4 \times 10^{-6})}{(2 \times 10^{-1})^2}$$

شکل مناسب

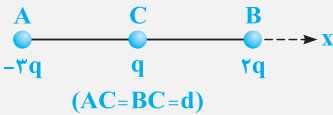
۲ در محاسبات کمی باهوش عمل کنیم. به طور مثال اگر در دو حالت زیر، نیرو در حالت (۱) را برابر 0.9N نیوتون به دست می‌آوریم، در حالت دوم تنها یکی از بارها دو برابر شده است و نیرو دو برابر حالت اول است، یعنی 1.8N نیوتون و نیازی به انجام محاسبات جدید نیست.

حالت اول: $F = 9 \times 10^9 \frac{(1 \times 10^{-6})(1 \times 10^{-6})}{(1 \times 10^{-1})^2} = 0.9\text{N}$

حالت دوم: $F' = 2F = 1.8\text{N}$

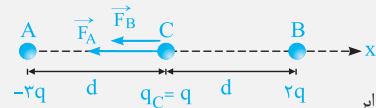
حالا بریم از این دوتا نکته مهارتیمون کلی استفاده کنیم ...

تمرین ۱۱: فرض کنید دو بار q در فاصله d ، بر یکدیگر نیروی 10N را وارد می‌کنند. در شکل



مقابل، بردار نیروی خالص وارد بر بار q کدام است؟

- (۱) $+50\hat{i}$ (۲) $-50\hat{i}$ (۳) $+40\hat{i}$ (۴) $-40\hat{i}$



پاسخ: فرض می‌کنیم اندازه نیرویی که دو بار q در فاصله d بر یکدیگر وارد می‌کنند، برابر F باشد، در این صورت چون دو بار q و $-3q$ ناهم‌نام هستند، نیروی بین آن‌ها جاذبه بوده و برابر است با:

برابر ۳: $F = k \frac{|q_A||q|}{d^2} \Rightarrow F_A = 3F \xrightarrow{F=10\text{N}} F_A = 30\text{N} \Rightarrow \vec{F}_A = -30\hat{i}$

از سوی دیگر نیروی بین دو بار هم‌نام q و $2q$ دافعه بوده و برابر است با:

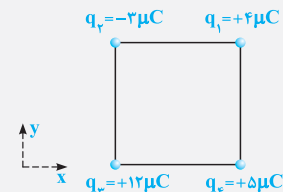
برابر ۲: $F = k \frac{|q_B||q|}{d^2} \Rightarrow F_B = 2F \xrightarrow{F=10\text{N}} F_B = 20\text{N} \Rightarrow \vec{F}_B = -20\hat{i}$

در نهایت با برابندگیری از نیروهای هم‌جهت به دست آمده، داریم:

(گزینه ۲) $\vec{F}_T = \vec{F}_A + \vec{F}_B \Rightarrow \vec{F}_T = -50\hat{i}$

تمرین بعدی به کم سنگین تر از کتاب درسیه، ولی تو امتحانا و کنکورای سفت سر و کلش پیدا میشه ...

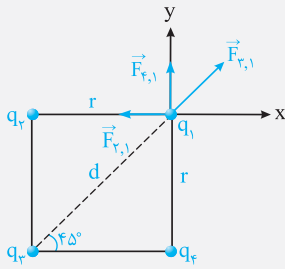
تمرین ۱۲: مطابق شکل، چهار بار الکتریکی در رأس‌های مربعی به ضلع 6cm قرار دارند. بردار نیروی



الکتریکی خالص وارد بر بار الکتریکی q_1 در SI کدام است؟ ($\sqrt{2} \approx 1/4$, $k = 9 \times 10^9 \text{ N.m}^2 / \text{C}^2$)

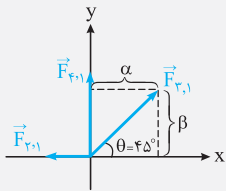
- (۱) $-12\hat{i} + 92\hat{j}$ (۲) $12\hat{i} + 92\hat{j}$ (۳) $-42\hat{i} + 60\hat{j}$ (۴) $42\hat{i} + 60\hat{j}$

پاسخ: برای شروع حل، مطابق شکل نیروهای وارد بر بار q_1 را رسم کرده و اندازه هر یک را به دست می‌آوریم:



$$\begin{cases} F_{r,1} = \frac{k |q_1| |q_2|}{r^2} = \frac{9 \times 10^9 \times (4 \times 10^{-6}) \times (3 \times 10^{-6})}{(6 \times 10^{-2})^2} = 30 \text{ N} \\ F_{r,1} = \frac{k |q_1| |q_3|}{d^2} = \frac{9 \times 10^9 \times (4 \times 10^{-6}) \times (12 \times 10^{-6})}{(6\sqrt{2} \times 10^{-2})^2} = 60 \text{ N} \\ F_{r,1} = \frac{k |q_1| |q_4|}{r^2} = \frac{9 \times 10^9 \times (4 \times 10^{-6}) \times (5 \times 10^{-6})}{(6 \times 10^{-2})^2} = 50 \text{ N} \end{cases}$$

در ادامه با رسم نیروها بر روی محورهای مختصات و با تجزیه بردار $\vec{F}_{r,1}$ در راستای محورهای x و y داریم (توجه شود که $\frac{\sqrt{2}}{2} \approx 0.7$ می‌باشد):

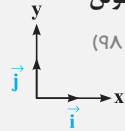
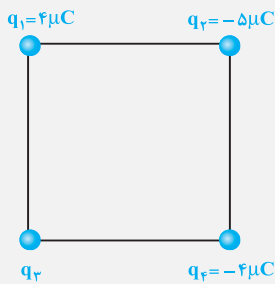


$$\begin{cases} \vec{F}_{r,1} = -30\vec{i} + 0\vec{j} \\ \vec{F}_{r,1} = \alpha\vec{i} + \beta\vec{j} \\ \vec{F}_{r,1} = 0\vec{i} + 50\vec{j} \end{cases} \begin{cases} \alpha = F_{r,1} \cos \theta = 60 \cos 45^\circ \approx 42 \text{ N} \\ \beta = F_{r,1} \sin \theta = 60 \sin 45^\circ \approx 42 \text{ N} \end{cases} \Rightarrow \vec{F}_{r,1} = 42\vec{i} + 42\vec{j}$$

برایند نیروی $\vec{F}_T = \vec{F}_{r,1} + \vec{F}_{r,1} + \vec{F}_{r,1} \Rightarrow \vec{F}_T = (-30 + 42 + 0)\vec{i} + (0 + 42 + 50)\vec{j} \Rightarrow \vec{F}_T = 12\vec{i} + 92\vec{j}$ (گزینه ۲)

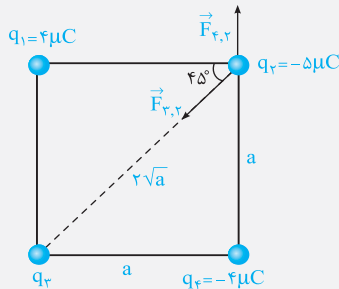
تمرین ۱۳: چهار ذره باردار مطابق شکل در رأس‌های یک مربع به ضلع 20 cm قرار دارند. اگر نیروی

الکترواستاتیکی خالص وارد بر q_2 در SI به صورت $\vec{F} = -9\vec{i}$ باشد، q_3 چند میکروکولن است؟ ($k = 9 \times 10^9 \text{ N.m}^2 / \text{C}^2$) (سراسری ریاضی ۹۸)



$$\begin{matrix} -4(2) & -8\sqrt{2} & (1) \\ 8\sqrt{2}(4) & 4 & (3) \end{matrix}$$

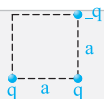
پاسخ: برای این که نیروی خالص وارد بر بار q_2 برابر $\vec{F} = -9\vec{i}$ باشد، باید برآیند نیروهای وارد بر بار q_2 از طرف بارهای دیگر، در راستای قائم برابر صفر باشد. این موضوع یعنی مؤلفه‌ای از نیروی $\vec{F}_{r,2}$ که در راستای قائم است، باید نیروی $\vec{F}_{r,2}$ را خنثی کند.



$$\sum F_y = 0 \Rightarrow F_{r,2} \sin 45^\circ = F_{r,3} \Rightarrow \frac{k q_2 q_3}{(\sqrt{2}a)^2} \times \frac{\sqrt{2}}{2} = \frac{k q_2 q_4}{a^2}$$

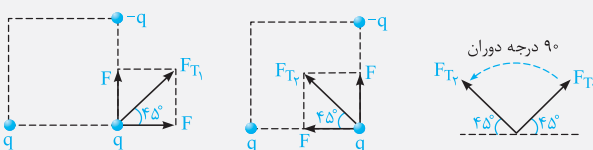
$$\Rightarrow \frac{\sqrt{2}}{2} q_3 = |q_4| = 4 \mu\text{C} \Rightarrow |q_3| = \frac{16}{\sqrt{2}} = 8\sqrt{2} \mu\text{C} \xrightarrow{q_3 > 0} q_3 = 8\sqrt{2} \mu\text{C} \quad (4 \text{ گزینه})$$

تمرین ۱۴: سه ذره باردار، مطابق شکل در گوشه‌های یک مربع قرار دارند. اگر ذره سمت چپ پایینی به جای q ، $-q$



داشته باشد، جهت نیروی الکترواستاتیکی خالص وارد بر بار سمت راست پایینی نسبت به حالت فعلی: (برگرفته از کتاب درس)

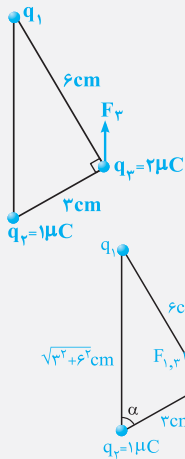
- (۱) 90° درجه ساعتگرد می‌چرخد.
- (۲) 90° درجه پادساعتگرد می‌چرخد.
- (۳) 45° درجه ساعتگرد می‌چرخد.
- (۴) 45° درجه پادساعتگرد می‌چرخد.



پاسخ: با سؤال جالب و مفهومی روبه‌رو شده‌ایم. برای پاسخ به این سؤال، اگر نیروی بین دو بار q در فاصله a را F فرض کنیم، در دو حالت برآیند نیروهای وارد بر ذره مورد نظر (سمت راست و پایینی) به صورت مقابل است:

همان‌طور که مشاهده می‌کنید، برآیند نیروهای وارد بر ذره مورد نظر 90° درجه پادساعتگرد دوران خواهد کرد و گزینه (۲) صحیح است.

◀ حالا می‌فویایم به سؤال توپ و قشنگ که مربوط به لنگور ۹۶ تهری همیشه، براتون حل کنیم. فوب به ابره استفاره شده در هلس دقت کنید ...



تمرین ۱۵: در شکل مقابل، سه بار نقطه‌ای در سه رأس مثلث قائم‌الزاویه‌ای ثابت شده‌اند. اگر F_3 برآیند نیروهای الکتریکی وارد بر بار q_3 موازی خط واصل q_1 و q_2 باشد، F_3 چند نیوتون است؟
(سراسری تهری ۹۶) $(k = 9 \times 10^9 \text{ N.m}^2 / \text{C}^2)$

- (۱) $8\sqrt{5}$ (۲) $12\sqrt{5}$
(۳) $16\sqrt{5}$ (۴) $20\sqrt{5}$

پاسخ: برای حل این سؤال، کافیت به دو مورد زیر توجه کنید:

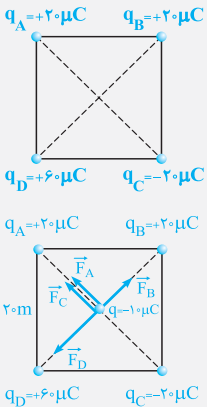
- ۱- به ذره q_3 ، نیروهای عمود بر هم $\vec{F}_{1,3}$ و $\vec{F}_{2,3}$ وارد می‌شود که برآیند آن‌ها $F_{1,3}$ را تشکیل می‌دهد.
- ۲- مقدار $\cos \alpha$ هم از روی مثلث آبی و هم از روی مثلث شکل اصلی سؤال قابل محاسبه است و رمز موفقیت در حل این سؤال، تساوی این دو مقدار است.

$$\cos \alpha = \frac{3}{\sqrt{3^2 + 6^2}} = \frac{3}{3\sqrt{5}} = \frac{1}{\sqrt{5}} \quad (1)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \cos \alpha = \frac{\text{ضلع مجاور}}{\text{وتر}} = \frac{F_{2,3}}{F_3} \\ F_{2,3} = \frac{k |q_2| |q_3|}{r^2} = \frac{9 \times 10^9 \times 2 \times 1 \times 10^{-12}}{(3 \times 10^{-2})^2} = 20 \text{ N} \end{array} \right. \Rightarrow \cos \alpha = \frac{F_{2,3}}{F_3} = \frac{20}{F_3} \quad (2)$$

$$(1) = (2) \xrightarrow{\text{بایست نهایی}} \frac{1}{\sqrt{5}} = \frac{20}{F_3} \Rightarrow F_3 = 20\sqrt{5} \text{ N} \quad (\text{گزینه ۴})$$

▶ یون مقدار q_1 رو نداشتیم، نمیشد $F_{1,3}$ رو درآورد و بعرض مقدار نیروی برآیند F_3 رو پیدا کرد و میبور شدیم به کلکی سوار کنیم ...



تمرین ۱۴: در چهار رأس یک مربع به ضلع ۲۰ سانتی‌متر، مطابق شکل بارهای نقطه‌ای قرار داده‌ایم. اگر یک بار $10 \mu\text{C}$ را در مرکز مربع قرار دهیم، نیروی وارد بر آن چند نیوتون و در کدام جهت خواهد بود؟
(سراسری ریاضی ۸۲ فارغ از کشور)

- (۱) $180\sqrt{2}$ ، به سمت چپ (۲) $180\sqrt{2}$ ، به سمت بالا
(۳) $270\sqrt{2}$ ، به سمت بالا (۴) $270\sqrt{2}$ ، به سمت چپ

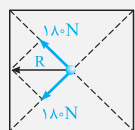
پاسخ: مطابق شکل، نیروهای وارد بر ذره q در مرکز مربع را رسم می‌کنیم. اندازه قطر مربع $20\sqrt{2}$ cm می‌باشد، در نتیجه فاصله بار q در مرکز مربع با هریک از بارهای موجود بر روی رئوس مربع، نصف اندازه قطر مربع $(\frac{a\sqrt{2}}{2})$ بوده و برابر $10\sqrt{2}$ cm می‌باشد.

$$\left\{ \begin{array}{l} F_B = \frac{k |q_B| |q|}{r^2} = \frac{9 \times 10^9 \times (20 \times 10^{-6}) \times (10 \times 10^{-6})}{(10\sqrt{2} \times 10^{-2})^2} = 90 \text{ N} \\ F_D = \frac{k |q_D| |q|}{r^2} \xrightarrow{|q_D| = 3|q_B|} F_D = 3F_B = 270 \text{ N} \end{array} \right. \Rightarrow \vec{F}_D \Rightarrow R_{B,D} = F_D - F_B = 270 - 90 = 180 \text{ N} \quad (\vec{F}_D \text{ جهت نیروی } \vec{F}_D)$$

$$F_A = \frac{k |q_A| |q|}{r^2} \xrightarrow{|q_A| = |q_C| = |q_B|} F_A = F_B = F_C = 90 \text{ N}$$



$$R_{A,C} = F_A + F_C = 90 + 90 = 180 \text{ N} \quad (\text{در جهت این دو نیرو})$$



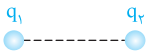
$$R = 2 \times 180 \times \cos \frac{90^\circ}{2} = 180\sqrt{2} \quad (\text{به سمت چپ})$$

از طرفی برآیند دو نیروی \vec{F}_C و \vec{F}_A نیز برابر است با:

دقت: همان‌طور که مشاهده کردید با کمی تیزهوشی، به جای محاسبه چهار نیرو، فقط یک نیرو را حساب کردیم و ملقی نیروها را با توجه به آن به‌دست آوردیم.

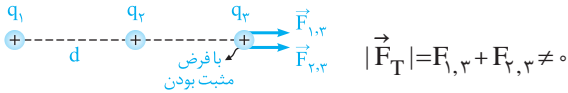
6-A | صفر شدن نیروی الکتریکی وارد بر ذرات باردار

دو ذره باردار و مثبت q_1 و q_2 که در جای خود ثابت فرض شده‌اند را در نظر بگیرید:



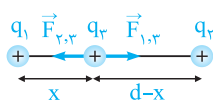
سؤالی که در بسیاری از تست‌های کنکور و سؤالات امتحانی مطرح می‌شود آن است که بار q_3 را در چه مکانی قرار دهیم تا نیروی الکتریکی برآیند وارد بر آن، از طرف بارهای q_1 و q_2 صفر شود. اگر هر سه بار q_1 ، q_2 و q_3 مثبت باشند، تحلیل این موضوع به صورت گام به گام ارائه شده در زیر انجام می‌شود:

گام اول: در خارج از فاصله بین دو بار، نیروی الکتریکی وارد بر ذره باردار از طرف بارهای مثبت نشان داده شده هم‌جهت است و امکان ندارد برآیند آن‌ها صفر شود، بنابراین ذره q_3 در خارج از فاصله بین دو بار به تعادل نمی‌رسد.



گام دوم: برای به تعادل رسیدن ذره q_3 ، این ذره باید در فاصله بین دو بار الکتریکی و نزدیک به بار با مقدار کوچک‌تر قرار گیرد.

به عبارت دیگر نیروهای وارد شده بر بار q_3 از طرف دو بار دیگر باید برابر و در خلاف جهت یکدیگر باشند.



$$F_T = 0 \Rightarrow F_{1,3} = F_{2,3}$$

$$\frac{k|q_1||q_3|}{x^2} = \frac{k|q_2||q_3|}{(d-x)^2} \Rightarrow \frac{|q_1|}{x^2} = \frac{|q_2|}{(d-x)^2}$$

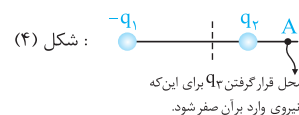
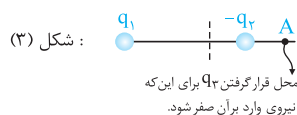
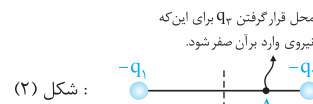
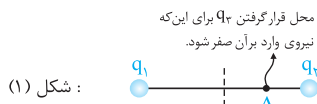
همان‌طور که مشاهده می‌کنید، مقدار و علامت بار q_3 ، تأثیری در به تعادل رسیدن آن ندارد که این موضوع خود، موضوع بسیار جالبی است.

یک نتیجه کاربردی

رمز موفقیت تو این قسمت اینه که نکته‌ای که یارتون میدیم رو با گوشه و پوستون هم بفهمید و هم به ذهن بسپارید ...

اگر دو بار نقطه‌ای q_1 و q_2 در فاصله d از یکدیگر قرار بگیرند و بخواهیم ذره باردار Q توسط این دو بار به تعادل برسد، اگر دو بار نقطه‌ای هم‌نام باشند، این ذره باید در فاصله بین دو بار الکتریکی قرار گیرد و اگر ناهم‌نام باشند، باید در خارج از فاصله بین دو بار الکتریکی قرار گیرد و باید توجه شود که این ذره را باید همواره نزدیک به بار با اندازه کوچک‌تر قرار دهیم.

با توجه به نتیجه به دست آمده، به‌طور مثال در هریک از شکل‌های زیر، اگر دو بار q_1 و q_2 هم‌نام و $|q_1| > |q_2|$ در نظر گرفته شوند، بار سوم را باید در نقطه A قرار دهیم تا امکان صفر شدن نیروی وارد بر آن وجود داشته باشد (توصیه می‌شود که در هریک از شکل‌ها، محل نقطه A و دلیل صفر شدن برآیند نیروهای وارد بر بار q_3 را تحلیل کنید).



در ادامه برای یادگیری و تسلط بیشتر بر روی مفاهیم ارائه شده، به تمرین‌های زیر توجه کنید:

تمرین ۱۷: دو بار الکتریکی $-q$ و $+4q$ در دو نقطه A و B به فاصله $AB = 30\text{cm}$ از هم قرار دارند. بار $+q'$ را در چه فاصله‌ای بر حسب سانتی‌متر از بار Q قرار دهیم تا به حال تعادل قرار گیرد؟

(سراسری قبل از ۸۰)

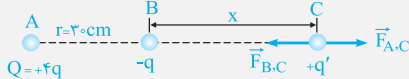
۶۰ (۴)

۴۵ (۳)

۳۰ (۲)

۱۵ (۱)

پاسخ: با توجه به این‌که بار $-q$ مقدار کوچک‌تری نسبت به $Q = +4q$ دارد، پس بار سوم برای تعادل



باید نزدیک به بار $-q$ باشد و چون بارها ناهم‌نام هستند، بار سوم باید خارج از فاصله بین دو بار قرار گیرد. در ادامه اگر فاصله بار $+q'$ تا بار $-q$ را x در نظر بگیریم، مقدار x به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\sum F = 0 \Rightarrow F_{A,C} = F_{B,C} \Rightarrow \frac{k|4q||q'|}{(30+x)^2} = \frac{k|q||q'|}{x^2} \Rightarrow \frac{4}{(30+x)^2} = \frac{1}{x^2}$$

$$\Rightarrow 4x^2 = (30+x)^2 \xrightarrow{\text{جذر}} 2x = 30+x \Rightarrow x = 30\text{cm}$$

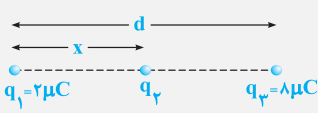
در نهایت باید گفت فاصله بار Q تا بار $+q'$ برابر 60cm است ($30+x = 30+30$) و گزینه (۴) صحیح می‌باشد.

همون‌طور که دیدیم، مقدار و علامت بار q' ، در به تعادل رسیدن اون نقشی نداره و به عنوان مثال اگر اندازه بار q' دو برابر بشه هم، مبدراً در فصل به‌دست آمده تعادل برانش برقراره ... واقعاً قالب نیست!؟

تمرین ۱۸: سه بار نقطه‌ای مطابق شکل زیر قرار دارند. برابند نیروهای الکتروستاتیکی وارد بر هر یک از بارها صفر است. بار q_3 چند میکروکولن

(سراسری تجربی ۸۹ فاج از کشور)

است؟



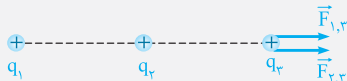
$$+ \frac{2}{9} \quad (2)$$

$$- \frac{2}{9} \quad (1)$$

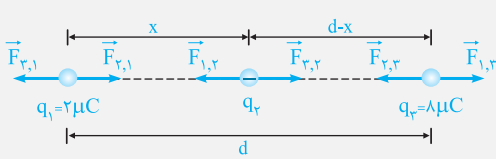
$$+ \frac{8}{9} \quad (4)$$

$$- \frac{8}{9} \quad (3)$$

پاسخ: گام اول: با توجه به این‌که برابند نیروهای الکتروستاتیکی وارد بر بار q_3 صفر است، نتیجه می‌گیریم بار q_3 منفی است، زیرا اگر q_1 و q_2 هر دو مثبت باشند، هر دو q_3 را دفع کرده و امکان ندارد برابند نیروهای وارد بر آن صفر شود.



$$F_T = F_{1,3} + F_{2,3} \neq 0 \quad (\text{تعادل ندارد})$$



گام دوم: در ادامه نیروهای وارد بر بارها را مشخص می‌کنیم و با توجه به این‌که همه بارها متعادل‌اند، تلاش می‌کنیم q_3 را محاسبه کنیم:

$$q_2 \text{ بر } q_3: F_{1,2} = F_{2,1} \Rightarrow k \frac{2|q_2|}{x^2} = k \frac{8|q_2|}{(d-x)^2} \Rightarrow 4x^2 = (d-x)^2 \Rightarrow 2x = d-x \Rightarrow x = \frac{d}{3}$$

$$q_1 \text{ بر } q_2: F_{1,1} = F_{2,1} \Rightarrow k \frac{2|q_2|}{x^2} = k \frac{8 \times 2}{d^2} \Rightarrow |q_2| = \frac{8}{9} \mu\text{C} \xrightarrow{q_2 < 0} q_2 = -\frac{8}{9} \mu\text{C} \quad (\text{گزینه ۳})$$

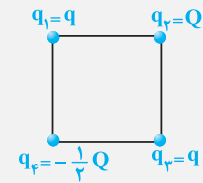
دقت: در رابطه $F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$ اندازه بارها یعنی $|q_1|$ و $|q_2|$ را قرار می‌دهیم و علامت بارها را وارد نمی‌کنیم.

تو ادامه کار، به تست فوب ریگه (مال کنگور ۹۶) از بحث صفر شدن برابند نیروهای الکتریکی وارد بر یه ذره تو حالتی که بارها روی یه خط قرار ندرن بررسی می‌کنیم. تو این‌پور سوالا برای تعادل، کل نیروها بالافره یه‌پوری باید همدیگه رو فشتی کنن ...

تمرین ۱۹: چهار ذره باردار در رأس‌های یک مربع قرار دارند. برابند نیروهای الکتریکی وارد بر ذره باردار q_3 صفر

(سراسری ریاضی ۹۶)

است. $\frac{Q}{q}$ کدام است؟



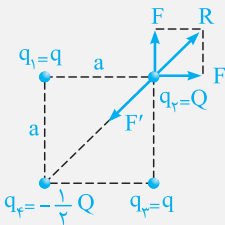
$$4\sqrt{2} \quad (2)$$

$$2\sqrt{2} \quad (1)$$

$$-4\sqrt{2} \quad (4)$$

$$-2\sqrt{2} \quad (3)$$

پاسخ: ابتدا دقت شود که بارهای q_1 و q_2 مختلف‌العلامت هستند و یک‌دیگر را جذب می‌کنند. با توجه به این موضوع بارهای $q_1 = q$ و $q_2 = Q$ باید حتماً هم‌علامت باشند تا یک‌دیگر را دفع کنند و در نهایت برابند نیروی حاصل از q_1 و q_3 یعنی R نیروی F' را خنثی کند و q_3 متعادل شود. در ادامه به صورت زیر عمل می‌کنیم:



$$R = \sqrt{F'^2 + F^2} = F\sqrt{2}$$

$$F_{T_3} = 0 \Rightarrow F' = R \Rightarrow \frac{k \times |Q| \times |-\frac{1}{4}Q|}{(a\sqrt{2})^2} = \frac{k|q||Q|}{a^2} \times \sqrt{2}$$

$$\Rightarrow \frac{|Q|}{|q|} = 4\sqrt{2} \Rightarrow \frac{Q}{q} = 4\sqrt{2} \quad (\text{گزینه ۲})$$

الان ریگه وقتشه شما فودتون رو نشون بید، به فاطر همین به شما توصیه می‌کنیم که تستای ۱ تا ۵۴ از فاز کسب مهارت و تستای ۱۰۹ تا ۱۳۵ از فاز کنگور رو بزنین ...



در تست‌های این فاز که به صورت میکروطبقه‌بندی ارائه شده است، اولاً به‌فوبی می‌توانید بر روی درسامها مسلط شوید و ثانیاً مهارت‌های زیاری را در هنگام تست‌زنی کسب کنید. این موضوع سبب می‌شود به بهترین شکل خود را برای تست‌های فاز دو آماده کنید.

فاز اول

تست‌های کسب مهارت



آشنایی با مفهوم بار الکتریکی

تو شروع کار این فصل، می‌توانیم سوالاتی رو براتون بپاریم که شما رو با مفهوم پایه‌ای بار الکتریکی آشنا بکنه ...

۱- یک میله پلاستیکی خنثی را با یک پارچه پشمی مالش داده و باردار کرده‌ایم. بار الکتریکی این میله:

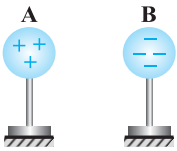
(۱) مقداری منفی بوده و مضرب صحیحی از یک بار الکتریکی پایه است.

(۲) مقداری منفی بوده و مضرب صحیحی از یک کولن است.

(۳) مقداری مثبت بوده و مضرب صحیحی از یک بار الکتریکی پایه است.

(۴) مقداری مثبت بوده و مضرب صحیحی از یک کولن است.

۲- مطابق شکل زیر، دو کره A و B بر روی پایه‌های عایق قرار گرفته و بار آنها به ترتیب برابر $80 \times 10^{-9} C$ و $-4/8 \times 10^{-7} C$ می‌باشد. در مورد این دو جسم، کدام یک از عبارات‌های زیر صحیح است؟ (اندازه بار الکتریکی هر الکترون $1/6 \times 10^{-19}$ کولن می‌باشد).



(۱) به جسم A تعداد 5×10^{11} پروتون و به جسم B تعداد 3×10^{12} الکترون داده‌ایم.

(۲) از جسم A تعداد 5×10^{11} الکترون و از جسم B تعداد 3×10^{11} پروتون گرفته‌ایم.

(۳) از جسم A تعداد 5×10^{11} الکترون گرفته‌ایم و به جسم B تعداد 3×10^{12} الکترون داده‌ایم.

(۴) از جسم A تعداد 8×10^{11} الکترون گرفته‌ایم و به جسم B تعداد 48×10^{11} الکترون داده‌ایم.

۳- یک میله شیشه‌ای به وسیله مالش با یک پارچه ابریشمی، دارای بار الکتریکی شده است. این میله چند کولن الکتریسیته می‌تواند داشته باشد؟ (بار الکتریکی هر الکترون $1/6 \times 10^{-19}$ کولن می‌باشد، هم‌چنین در سری تریبوالکتریک، شیشه بالاتر از ابریشم قرار دارد).

(۱) $+2 \times 10^{-19}$

(۲) -2×10^{-19}

(۳) $+8 \times 10^{-19}$

(۴) -8×10^{-19}

۴- جسمی دارای بار اولیه q می‌باشد. اگر این جسم 5×10^{15} الکترون از دست بدهد، بار آن قرینه حالت اول می‌شود. بار اولیه این جسم، چند میکروکولن بوده است؟ ($e = 1/6 \times 10^{-19} C$)

(۱) -400

(۲) 400

(۳) 800

(۴) -800

۵- جسم خنثی A را به جسم خنثی B مالش داده و دو جسم تنها با یک‌دیگر در تماس بوده‌اند. کدام یک از حالت‌های زیر، اصل پایستگی بار الکتریکی را نقض می‌کند؟

(۱) حالتی که در آن جسم A دارای بار $+2\mu C$ و جسم B دارای بار $-2\mu C$ شود.

(۲) حالتی که در آن جسم A دارای بار $-2\mu C$ و جسم B دارای بار $+2\mu C$ شود.

(۳) حالتی که در آن جسم A دارای بار $-2\mu C$ و جسم B نیز دارای بار $-2\mu C$ شود.

(۴) حالتی که در آن جسم A و جسم B در پایان آزمایش خنثی باقی بمانند.

(سراسری قبل از ۸۰)

۶- بار الکتریکی مثبت هسته یک اتم خنثی برابر Q است، بنابراین

(۱) تعداد الکترون‌ها Q است.

(۲) تعداد الکترون‌ها $\frac{Q}{e}$ است.

(۳) تعداد نوترون‌ها Q است.

(۴) تعداد نوترون‌ها $\frac{Q}{e}$ است.

۷- در یک اتم دو بار مثبت (X^{2+})، اندازه بار الکتریکی الکترون‌های آن برابر $4/8 \times 10^{-18} C$ می‌باشد. تعداد پروتون‌های این اتم کدام است؟ (اندازه بار الکتریکی یک الکترون برابر $1/6 \times 10^{-19}$ کولن می‌باشد).

(۱) ۳۰

(۲) ۲۸

(۳) ۳۲

(۴) ۳۶

انتهای مثبت سری	۸- در شکل مقابل، جدول سری الکتروسیسته مالشی نشان داده شده است. اگر جسم A را به جسم B و جسم C را به جسم D مالش دهیم، کدام یک از اظهارنظرهای زیر در رابطه با آنها صحیح است؟ (تألیفی)
A	(۱) دو جسم A و C هم‌دیگر را دفع می‌کنند.
B	(۲) دو جسم B و D هم‌دیگر را جذب می‌کنند.
C	(۳) دو جسم A و D هم‌دیگر را دفع می‌کنند.
D	(۴) دو جسم B و C هم‌دیگر را دفع می‌کنند.
انتهای منفی سری	

۹- پس از مالش دو جسم A و B بر یک‌دیگر، بار الکتریکی جسم B مثبت می‌شود. پس از مالش دو جسم C و D بر یک‌دیگر، جسم C جسم B را دفع می‌کند. محل قرارگیری این اجسام در سری الکتروسیسته مالشی، به کدام صورت می‌تواند باشد؟ (تألیفی)

انتهای مثبت سری	انتهای مثبت سری	انتهای مثبت سری	انتهای مثبت سری
D	B	C	A
A	A	B	B
B	D	A	C
C	C	D	D
انتهای منفی سری	انتهای منفی سری	انتهای منفی سری	انتهای منفی سری

(۴) (۳) (۲) (۱)

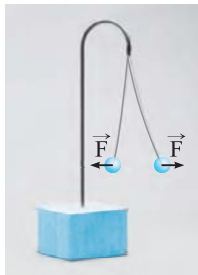
۱۰- یک میله شیشه‌ای خنثی را توسط یک پارچه پشمی مالش می‌دهیم، سپس یک جسم نایلونی را توسط همان پارچه پشمی مالش می‌دهیم. اگر بار نهایی میله شیشه‌ای، جسم نایلونی و پارچه پشمی به ترتیب q_A ، q_B و q_C باشد، با توجه به سری الکتروسیسته مالشی، کدام گزینه الزاماً درست است؟

انتهای مثبت سری
شیشه
نایلون
پشم
انتهای منفی سری

- (۱) $q_A = q_B$
- (۲) $q_C = q_A + q_B$
- (۳) $q_C = -q_A$
- (۴) $-q_C = q_A + q_B$

آشنایی اولیه با قانون کولن

حالا می‌فوییم بریم سراغ قانون کولن و به سری سؤالی مقدماتی از اصل فرمول براتون بیاریم ...



۱۱- با توجه به قانون کولن، اندازه نیرویی که دو گلوله باردار نشان داده شده بر یک‌دیگر وارد می‌کنند، با متناسب و با نسبت عکس دارد. (کتاب درسی)

- (۱) اندازه بار هر یک از آنها - مجذور فاصله بین آنها
- (۲) اندازه بار هر یک از آنها - فاصله بین آنها
- (۳) مجذور اندازه بار هر یک از آنها - فاصله بین آنها
- (۴) مجذور اندازه بار هر یک از آنها - مجذور فاصله آنها

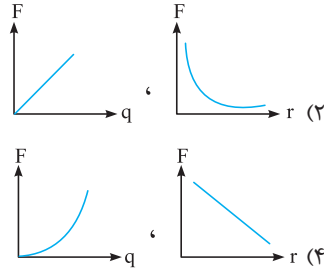
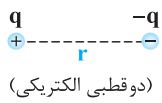
۱۲- یکای k (ثابت کولن) و ϵ_0 (ضریب گذردهی الکتریکی در خلأ) در SI به ترتیب از راست به چپ کدام است؟

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

۱۳- به کمک کدام یک از وسایل زیر، کولن توانست عامل‌های مؤثر بر نیروی الکتریکی بین دو ذره باردار را شناسایی کند؟ (کتاب درسی)



۱۴- در شکل زیر، دو بار الکتریکی هم‌اندازه و ناهم‌نام نشان داده شده است. کدام یک از نمودارهای زیر، تغییرات نیروی کولنی بین دو بار الکتریکی را برحسب فاصله بین آن‌ها و برحسب اندازه بار الکتریکی q به درستی نشان می‌دهد؟



۱۵- بار الکتریکی ۵ میکروکولنی را در چند سانتی‌متری از یک بار ۴ میکروکولنی قرار دهیم تا بر آن نیروی ۱۸ نیوتون را وارد کند؟

(سراسری قبل از ۸۰)

$$۳/۱۴ (۲)$$

$$۱ (۱)$$

$$۱۰ (۴)$$

$$۹ (۳)$$

۱۶- دو ذره باردار با بارهای مثبت در فاصله ۳۰cm از یکدیگر با نیروی الکتریکی ۵N یکدیگر را می‌رانند. اگر مجموع بار دو ذره ۱۵ میکروکولن باشد، بار هر یک از این ذره‌ها چند میکروکولن است؟ ($k = ۹ \times ۱۰^۹ \text{ N.m}^2 / \text{C}^2$)

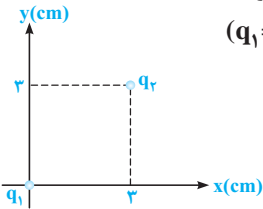
$$۱۲ \text{ و } ۳ (۴)$$

$$۱۰ \text{ و } ۵ (۳)$$

$$۹ \text{ و } ۶ (۲)$$

$$۸ \text{ و } ۷ (۱)$$

۱۷- در شکل مقابل، بردار نیروی الکتریکی وارد بر بار q_1 در SI کدام است؟ ($q_1 = -q_2 = ۲\mu\text{C}$, $k = ۹ \times ۱۰^۹ \text{ N.m}^2 / \text{C}^2$)



$$\vec{F} = ۱۰\sqrt{۲}\vec{i} + ۱۰\sqrt{۲}\vec{j} (۱)$$

$$\vec{F} = -۱۰\sqrt{۲}\vec{i} - ۱۰\sqrt{۲}\vec{j} (۲)$$

$$\vec{F} = -۲۰\sqrt{۲}\vec{i} - ۲۰\sqrt{۲}\vec{j} (۳)$$

$$\vec{F} = ۲۰\sqrt{۲}\vec{i} + ۲۰\sqrt{۲}\vec{j} (۴)$$

۱۸- دو بار نقطه‌ای q و $۲q$ به فاصله d از یکدیگر بر روی محور x قرار دارند. اگر بار q بر بار $۲q$ نیروی $\vec{F} = +۱۰\vec{i}$ در SI وارد کند،

بار $۲q$ بر بار q چه نیرویی وارد خواهد کرد؟

$$\vec{F}' = -۱۰\vec{i} (۴)$$

$$\vec{F}' = -۲۰\vec{i} (۳)$$

$$\vec{F}' = +۱۰\vec{i} (۲)$$

$$\vec{F}' = +۲۰\vec{i} (۱)$$



۱۹- در شکل روبه‌رو، دو گوی مشابه و کوچک به جرم $۰/۹\text{gr}$ و بار یکسان مثبت q در فاصله ۱cm از هم قرار دارند، به طوری که گوی بالایی به حالت معلق مانده است. تعداد الکترون‌های کنده شده از هر گوی چه قدر

(کتاب درسی)

$$\text{است؟ } (g = ۱۰\text{N/kg}, e = ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}\text{C})$$

$$۶/۲۵ \times ۱۰^{۱۰} (۲)$$

$$۶/۲۵ \times ۱۰^{۱۴} (۱)$$

$$۲/۲۵ \times ۱۰^{۱۴} (۴)$$

$$۲/۲۵ \times ۱۰^{۱۲} (۳)$$

۲۰- ذره A به جرم m و بار الکتریکی q و ذره B به جرم $۲m$ و بار الکتریکی $۲q$ در نزدیکی هم قرار دارند. اگر تنها نیروی وارد بر این ذره‌ها، نیروی الکتریکی متقابل آن‌ها باشد و تحت آن نیروها ذرات شتاب بگیرند، بزرگی شتاب ذره A چند برابر بزرگی شتاب ذره B خواهد شد؟

$$۴ (۴)$$

$$۲ (۳)$$

$$۱ (۲)$$

$$\frac{1}{4} (۱)$$

بررسی تأثیر اندازه بارها و فاصله بین دو بار بر نیروی کولنی

تو ادامه کار، بریم ببینیم تغییر پارامترهای مختلف، چه‌بهری باعث تغییر نیروی کولنی میشه. تو این قسمت، چیزای جالبی یاد می‌گیری ...

۲۱- در مدل بور برای اتم هیدروژن، فاصله الکترون از پروتون هسته در حالت پایه برابر a و در هسته اتم هلیم دو پروتون به فاصله تقریبی $a \times ۱۰^{-۴}$ از هم قرار دارند. اندازه نیروی که پروتون‌ها در هسته اتم هلیم بر هم وارد می‌کنند، چند برابر نیروی بین الکترون و

(برگرفته از کتاب درسی)

پروتون در هسته اتم هیدروژن است؟

$$۲/۵ \times ۱۰^۷ (۴)$$

$$۲/۵ \times ۱۰^۶ (۳)$$

$$۵ \times ۱۰^۷ (۲)$$

$$۵ \times ۱۰^۶ (۱)$$

۲۲- دو بار الکتریکی همنام و مساوی به فاصله d از یکدیگر قرار گرفته‌اند و با نیروی F یکدیگر را می‌رانند. این دو بار را در چه فاصله‌ای از یکدیگر باید قرار داد تا نیروی کولنی بین آن‌ها ۵۰ درصد کاهش یابد؟

$$(1) \frac{d\sqrt{2}}{2} \quad (2) d\sqrt{2} \quad (3) \frac{d}{2} \quad (4) 2d$$

۲۳- دو بار الکتریکی نقطه‌ای در فاصله معین بر هم نیرو وارد می‌کنند. اگر اندازه یکی از بارها دو برابر شود، فاصله بین دو بار را چند برابر کنیم تا نیروی کولنی بین آن‌ها تغییر نکند؟

$$(1) \sqrt{2} \text{ برابر} \quad (2) \frac{1}{2} \text{ برابر} \quad (3) 2 \text{ برابر} \quad (4) \frac{\sqrt{2}}{2} \text{ برابر}$$

۲۴- فرض می‌کنیم دو بار مثبت Q که در یک فاصله معین قرار دارند نیرویی برابر F به یکدیگر وارد می‌کنند. چند درصد یکی را برداشته به دیگری اضافه کنیم تا در همان فاصله نیروی بین آن‌ها برابر $\frac{15}{16}F$ گردد؟

(سراسری قبل از ۸۰)

$$(1) 15 \quad (2) 16 \quad (3) 20 \quad (4) 25$$

۲۵- دو بار الکتریکی نقطه‌ای هم‌مقدار و ناهمنام، در فاصله r بر یکدیگر نیروی F را وارد می‌کنند. اگر ۲۰ درصد یکی از بارها را کم کرده و آن را بر دیگری بیفزاییم، فاصله بین دو بار الکتریکی را چند برابر کنیم تا نیروی کولنی بین آن‌ها تغییر نکند؟

$$(1) \frac{5}{4} \quad (2) \frac{4}{5} \quad (3) \frac{4}{25} \quad (4) \frac{16}{25}$$

۲۶- دو کره کوچک با بار الکتریکی مثبت با مقادیر q_1 و q_2 در فاصله r از هم ثابت شده‌اند و یکدیگر را با نیرویی به بزرگی F_1 می‌رانند. اگر ۵۰ درصد از بار q_1 را برداریم و به بار q_2 اضافه کنیم، در همان فاصله، مقدار نیرویی که دو ذره به یکدیگر وارد می‌کنند، F_2 می‌شود. در کدام حالت، $F_2 > F_1$ است؟

$$(1) q_1 < \sqrt{2}q_2 \quad (2) q_1 > \sqrt{2}q_2 \quad (3) q_1 < 2q_2 \quad (4) q_1 > 2q_2$$

نحوه توزیع بار الکتریکی بین دو کره مشابه با تماس با یکدیگر و بررسی نیروی کولنی بین آن‌ها

هالا بریم سراغ بحث اتصال دو کره به هم و تحلیل نیروی کولنی بین اون‌ها. تستای این زیرشافه هم، تو سال‌های اخیر پرتکرار بوده. راستی می‌دونید ایده اصلی حل این‌ها چیه؟

۲۷- دو گوی فلزی مشابه روی پایه‌های عایق قرار دارند. بار الکتریکی یکی از گوی‌ها $4\mu\text{C}$ - و بار دیگری $6\mu\text{C}$ + است. اگر دو گوی را به هم تماس دهیم، بار الکتریکی هر گوی میکروکولن می‌شود و برای رسیدن به تعادل الکتروستاتیکی، الکترون از یکی به دیگری منتقل شده است. ($e = 1.6 \times 10^{-19} \text{C}$)

$$(1) 5, 3.125 \times 10^{13} \quad (2) 1, 6.25 \times 10^{12} \quad (3) 1, 3.125 \times 10^{13} \quad (4) 5, 6.25 \times 10^{12}$$

۲۸- دو گوی رسانای کوچک و با شعاع‌های برابر با بارهای $q_1 = 4\text{nC}$ و $q_2 = -6\text{nC}$ را با هم تماس می‌دهیم و سپس تا فاصله $r = 30\text{cm}$ از هم دور می‌کنیم. نیروی برهم‌کنش الکتریکی بین دو گوی در حالت جدید: ($k = 9 \times 10^9 \text{N.m}^2/\text{C}^2$)

(کتاب درسی)

$$(1) 100 \text{ نانونیوتون و از نوع رانشی است.} \quad (2) 400 \text{ نانونیوتون و از نوع ربایشی است.}$$

$$(3) 400 \text{ نانونیوتون و از نوع رانشی است.} \quad (4) 100 \text{ نانونیوتون و از نوع ربایشی است.}$$

۲۹- دو کره رسانای کوچک باردار با شعاع‌های برابر، قبل از تماس با هم، یکدیگر را جذب و بعد از تماس با هم، یکدیگر را دفع می‌کنند. کدام گزینه در مورد بار اولیه این دو کره درست است؟

$$(1) \text{ بار دو کره همنام و هم‌اندازه است.} \quad (2) \text{ بار دو کره ناهمنام بوده و هم‌اندازه نیست.}$$

$$(3) \text{ بار دو کره همنام بوده و هم‌اندازه نیست.} \quad (4) \text{ بار دو کره ناهمنام و هم‌اندازه است.}$$

۳۰- دو کره فلزی که روی پایه‌های عایقی قرار دارند، دارای بار الکتریکی هستند. اندازه نیروی الکتریکی بین این دو کره با فاصله d برابر F است. اگر آن دو را به هم تماس داده و دوباره در همان فاصله قرار دهیم، اندازه نیرو F' می‌شود. کدام رابطه بین F و F' برقرار است؟

(سراسری قبل از ۸۰)

$$(1) F > F' \quad (2) F < F'$$

$$(3) F = F' \quad (4) \text{ بسته به شرایط، هر کدام ممکن است صحیح باشد.}$$

۳۱- در سؤال قبل، اگر قبل از تماس دادن دو کره به یکدیگر، بار الکتریکی آنها هم نام و نامساوی باشند، آن‌گاه کدام رابطه بین F و F' برقرار است؟

$$F' > F \quad (۲)$$

$$F > F' \quad (۱)$$

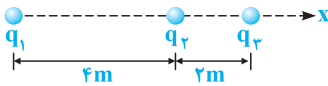
(۴) با توجه به شرایط، هر یک از سه گزینه ممکن است صحیح باشد.

$$F = F' \quad (۳)$$

محاسبه نیروی کولنی بین چند بار الکتریکی واقع در یک راستا



هلا می‌فوائیم بریم روی براینده نیروهای وارد بر یک ذره، تو حالتی که بارهای الکتریکی روی یه راستا هستن، کار کنیم. بعضی سؤالا، ایردهاشون فیلی قشنگ و هریره ...



۳۲- مطابق شکل روبه‌رو، سه ذره با بارهای الکتریکی $q_1 = +2/5 \mu C$ ، $q_2 = -1 \mu C$ ، $q_3 = +4 \mu C$ و

بر روی محور x ثابت شده‌اند. بردار نیروی الکتریکی وارد بر بار q_3 در SI

کدام است؟ ($k = 9 \times 10^9 \text{ N.m}^2 / \text{C}^2$) (سراسری قبل از ۸۰)

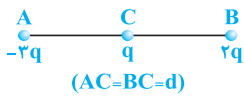
$$-1/5 \times 10^{-3} \vec{i} \quad (۴)$$

$$1/5 \times 10^{-3} \vec{i} \quad (۳)$$

$$7/5 \times 10^{-3} \vec{i} \quad (۲)$$

$$-6/5 \times 10^{-3} \vec{i} \quad (۱)$$

۳۳- دو بار q در فاصله d بر یکدیگر نیروی F را وارد می‌کنند. در شکل روبه‌رو، نیروی وارد بر بار q کدام است؟



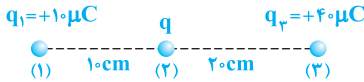
(۲) $5F$ به طرف چپ

(۱) $5F$ به طرف راست

(۴) $4F$ به طرف راست

(۳) $4F$ به طرف چپ

۳۴- در شکل مقابل، بار q چند میکروکولن باشد تا بزرگی براینده نیروهای وارد بر بارهای (۱) و (۳) برابر باشند؟ ($k = 9 \times 10^9 \text{ N.m}^2 / \text{C}^2$)



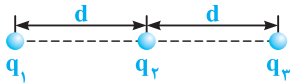
(۲) ۲۰

(۱) ۱۰

(۴) هر مقدار دلخواهی می‌تواند باشد.

(۳) ۳۰

۳۵- در شکل مقابل، سه بار نقطه‌ای روی سه نقطه بر روی یک خط راست ثابت شده‌اند. اگر



بار q_1 ، q_2 را با نیروی الکتریکی F دفع کند و بزرگی براینده نیروهای وارد بر بار q_3 برابر $F/3$ و به سمت چپ باشد، نسبت q_1/q_2 کدام است؟

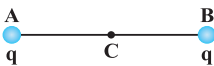
(۴) ۶

(۳) -۶

(۲) $-\frac{1}{6}$

(۱) $\frac{1}{6}$

۳۶- مطابق شکل، بارهای الکتریکی هم نام و هم اندازه q در نقاط A و B ثابت شده‌اند. اگر بار الکتریکی q_0 بر روی عمودمنصف پاره‌خط



AB ، از فاصله خیلی دور تا نقطه C جابه‌جا شود، بزرگی نیروی خالص وارد شده بر آن، چگونه تغییر می‌کند؟

(۲) ابتدا افزایش، سپس کاهش می‌یابد.

(۱) ابتدا کاهش، سپس افزایش می‌یابد.

(۴) همواره کاهش می‌یابد.

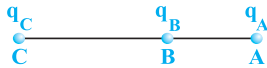
(۳) همواره افزایش می‌یابد.

صفر شدن براینده نیروهای وارد بر بار آزمون، هنگامی که ذرات در یک راستا قرار دارند



تو بارهای واقع در یک راستا، براینده نیروها هم ممکنه صفر بشه. تو ادامه این موضوع رو بررسی فوائیم کرد ...

۳۷- در نقاط A ، B و C به ترتیب بارهای الکتریکی q_A ، q_B و q_C مطابق شکل زیر قرار دارند. اگر نیروی وارد بر بار q_C صفر باشد،



کدام بارها الزاماً غیرهم‌نام‌اند؟

(۲) q_B, q_A

(۱) q_C, q_A

(۴) ممکن است هر سه بار هم‌نام باشند.

(۳) q_C, q_B

۳۸- دو بار الکتریکی $-q$ و $Q = +4q$ در دو نقطه A و B به فاصله $AB = 30 \text{ cm}$ از هم قرار دارند. بار $+q'$ را در چه فاصله‌ای برحسب

(سراسری قبل از ۸۰)

سانتی‌متر از بار Q قرار دهیم تا به حال تعادل قرار گیرد؟

(۴) ۶۰

(۳) ۴۵

(۲) ۳۰

(۱) ۱۵

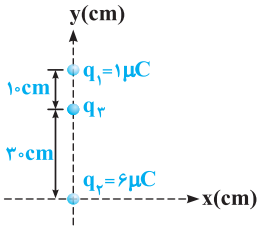
۳۹- در تست قبل، بار $-2q'$ را در چه فاصله‌ای برحسب سانتی‌متر از بار Q قرار دهیم تا به حال تعادل قرار گیرد؟

(۴) ۶۰

(۳) ۴۵

(۲) ۳۰

(۱) ۱۵



۴۰- در شکل روبه‌رو سه ذره الکتریکی نشان داده شده. بر روی محور y قرار گرفته‌اند. بار الکتریکی q_3 را چند میکروکولن و چگونه تغییر دهیم تا بار الکتریکی q_3 متعادل شود؟ (از وزن بارها صرف‌نظر شود.)

- (۱) $3 \mu C$ به آن بیافزاییم. (۲) $3 \mu C$ از آن کم کنیم. (۳) $4 \mu C$ به آن بیافزاییم. (۴) در وضعیت فعلی بار q_3 متعادل است.

۴۱- در شکل زیر، دو بار الکتریکی نشان داده شده. فاصله یکسانی از مبدأ دارند. در کدام ناحیه اگر یک پروتون قرار گیرد، ممکن است نیرویی در جهت محور x به آن وارد شود؟



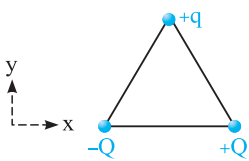
- (۱) فقط (۴) (۲) و (۴) (۳) و (۴)، (۲) و (۴) (۱) و (۴)

۴۲- دو بار الکتریکی $q_1 = +4 \mu C$ و $q_2 = -16 \mu C$ در فاصله 60 cm از یک‌دیگر قرار دارند. اگر بار الکتریکی q_3 را در فاصله d از بار q_1 قرار دهیم، هر سه بار نقطه‌ای به تعادل می‌رسند. به ترتیب از راست به چپ q_3 چند میکروکولن و d چند سانتی‌متر است؟

- (۱) $60, +16$ (۲) $60, -16$ (۳) $120, +16$ (۴) $120, -16$

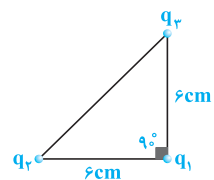
برایند نیروی کولنی برای چند بار نقطه‌ای واقع در صفحه

تو ادامه کار، بارها رو از حالت هم‌امتداد خارج می‌کنیم و می‌بریم تو حالت‌های مثلثی، مستطیلی و ... اصول مناسبه برایند نیروها تو این حالت هم، عین حالت هم امتداده.



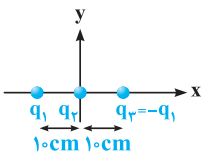
۴۳- سه بار نقطه‌ای $+Q$ و $-Q$ و $+q$ در سه رأس یک مثلث متساوی‌الاضلاع مطابق شکل واقع‌اند. کدام گزینه، می‌تواند مقدار نیروی خالص وارد بر بار $+q$ باشد؟

- (۱) $-10 \vec{i}$ (۲) $+10 \vec{i}$ (۳) $-10 \vec{j}$ (۴) $+10 \vec{j}$



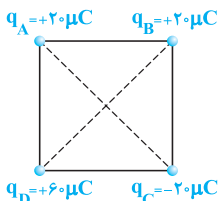
۴۴- در شکل مقابل، سه ذره با بارهای $q_1 = q_2 = q_3 = 4 \mu C$ در سه رأس یک مثلث قائم‌الزاویه ثابت شده‌اند. برایند نیروهای الکتریکی وارد بر q_1 نیوتون و اگر تنها علامت بار q_2 قرینه شود، بزرگی برایند نیروهای وارد بر q_1 و تغییر جهت ($k = 9 \times 10^9 \text{ N.m}^2 / \text{C}^2$).

- (۱) $40\sqrt{2}$ ، تغییر کرده، می‌دهد (۲) $20\sqrt{2}$ ، ثابت می‌ماند، نمی‌دهد (۳) $20\sqrt{2}$ ، تغییر کرده، نمی‌دهد (۴) $40\sqrt{2}$ ، ثابت می‌ماند، می‌دهد



۴۵- مطابق شکل سه بار الکتریکی نقطه‌ای روی محور x قرار دارند. اندازه نیروی وارد بر بار q_2 برابر F است. اگر بار q_2 را به اندازه 10 cm روی محور y جابه‌جا کنیم، بزرگی نیروی وارد بر بار q_2 چند برابر F خواهد شد؟

- (۱) $\frac{1}{2}$ (۲) 1 (۳) $\frac{\sqrt{2}}{4}$ (۴) $\frac{\sqrt{2}}{2}$

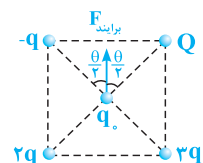


۴۶- در چهار رأس یک مربع به ضلع 20 سانتی‌متر، مطابق شکل بارهای نقطه‌ای قرار داده‌ایم. اگر یک بار $10 \mu C$ را در مرکز مربع قرار دهیم، نیروی وارد بر آن چند نیوتون و در کدام جهت خواهد بود؟ (سراسری ریاضی ۸۲ فارغ از کشور)

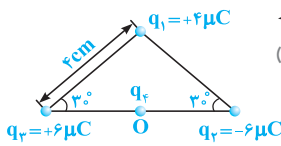
- (۱) $180\sqrt{2}$ ، به سمت چپ (۲) $180\sqrt{2}$ ، به سمت بالا (۳) $270\sqrt{2}$ ، به سمت بالا (۴) $270\sqrt{2}$ ، به سمت چپ

۴۷- مطابق شکل مقابل، چهار بار الکتریکی در رئوس مربع قرار گرفته و برایند نیروی وارد شده از طرف آن‌ها بر بار q_0 واقع در مرکز مربع به سمت بالا می‌باشد. مقدار بار Q کدام است؟

- (۱) $2q$ (۲) q (۳) $-2q$ (۴) $-q$



۴۸- سه بار نقطه‌ای مطابق شکل در سه رأس یک مثلث ثابت شده‌اند. نیروی وارد بر بار $q_4 = 1 \mu C$ واقع در نقطه O ، در وسط خط واصل دو بار q_2 و q_3 چند نیوتون است؟ (سراسری ریاضی ۸۴)



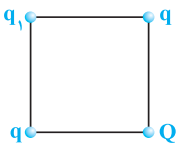
- (۱) ۴۵
(۲) ۹۰
(۳) $45\sqrt{3}$
(۴) $90\sqrt{2}$

۴۹- در تست قبل، اگر تنها علامت بار q_2 تغییر کند، جهت نیروی وارد بر بار q_4 چند درجه تغییر خواهد کرد؟ (برگرفته از کتاب درسی)

(۱) صفر
(۲) ۴۵
(۳) ۹۰
(۴) ۱۸۰

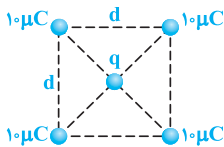
بررسی سفر شدن برابند نیروها، تو حالت بارهای غیرهم‌راستا هم نکات پالپی داره که تو ادامه دو تا سوال فیلی موم رو ازش بررسی می‌کنیم ...

۵۰- چهار بار الکتریکی مطابق شکل در رؤس مربع قرار دارند. اگر برابند نیروهای وارد شده بر بار q_1 صفر باشد، کدام یک از عبارتهای زیر نادرست است؟ (سراسری قبل از ۸۰)



- (۱) ممکن است علامت بار q مثبت و علامت بار Q منفی باشد.
(۲) ممکن است علامت بار q منفی و علامت بار Q مثبت باشد.
(۳) برای برقراری تعادل، اندازه بار Q ، باید $2\sqrt{2}$ برابر اندازه بار q باشد.
(۴) مقدار بار الکتریکی q_1 ، در تعادل آن نقش دارد.

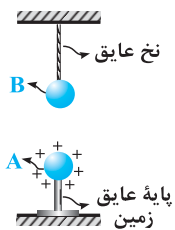
۵۱- پنج بار نقطه‌ای مطابق شکل قرار دارند و برابند نیروهای الکتروستاتیکی وارد بر هر یک از این بارها صفر است. بار q تقریباً چند میکروکولن است؟



- (۱) ۱۹
(۲) -۱۹
(۳) ۹/۵
(۴) -۹/۵

بررسی تعادل گلوله باردار (آونگ الکتریکی)

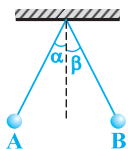
هالا بریم سراغ ترکیب قانون کولن، بدت تعادل و مناسبه کشش نخ. البته فرمایش رو بخواهید، این بمتا با کتاب پایه دوازدهمتون مفهوظ شده ولی آوردیم تا بچه درسفوتنا، ست کامل سوالای قانون کولن رو دیده باشن ... این تستا رو فقط بچه درسفوتنا حل کنن ...



۵۲- در شکل مقابل، گلوله رسانای A ، دارای بار الکتریکی $1 \mu C$ و در فاصله ۳ سانتی متری از گلوله B با جرم 2 kg و با بار الکتریکی $0.5 \mu C$ قرار دارد و کشش ایجاد شده در نخ عایق برابر T_1 است. اگر علامت بار الکتریکی گلوله A قرینه شود، نیروی کشش نخ عایق چند برابر می‌شود؟ ($g = 10 \text{ N/kg}$, $k = 9 \times 10^9 \text{ N.m}^2 / \text{C}^2$)

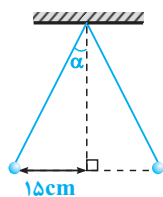
- (۱) ۵/۳
(۲) ۳/۵
(۳) ۲۵
(۴) ۱۵

۵۳- در شکل زیر، گلوله‌های باردار A و B با جرم‌های m_A و m_B و بارهای q_A و q_B از دو نخ با طول مساوی آویزان هستند و زاویه انحراف آن‌ها از راستای قائم برابر α و β می‌باشد. اگر اندازه نیروی الکتریکی وارد بر آن‌ها F_A و F_B باشد، کدام یک از عبارتهای زیر درست می‌باشد؟ (سراسری قبل از ۸۰)



- (۱) دو نیروی F_A و F_B هم‌اندازه و هم‌جهت می‌باشند.
(۲) برای برابر بودن دو زاویه α و β ، باید بار دو گلوله هم‌اندازه باشد.
(۳) برای برابر بودن دو زاویه α و β ، باید جرم دو گلوله یکسان باشد.
(۴) اگر $m_B > m_A$ باشد، در این صورت $\beta > \alpha$ است.

۵۴- مطابق شکل مقابل، دو گلوله مشابه با بار یکسان و مثبت، هر یک به جرم 24 g گرم توسط نخ‌هایی سبک به طول 39 cm آویزان شده‌اند و در حالت تعادل قرار دارند. از هر گلوله، چند الکترون جدا شده است؟



- (۱) $6/25 \times 10^{11}$
(۲) $6/25 \times 10^{12}$
(۳) $2/25 \times 10^{11}$
(۴) $2/25 \times 10^{12}$



محاسبه میدان الکتریکی در اطراف یک بار نقطه‌ای و تحلیل پارامترهای مؤثر بر آن

بهر از تحلیل نیروهای کولنی، حالا می‌توانیم بریم سراغ میدان الکتریکی ناشی از یک بار نقطه‌ای و سؤالی مقدماتی رو ارزش بررسی کنیم ...

۵۵- اندازه میدان الکتریکی حاصل از یک بار الکتریکی نقطه‌ای، با متناسب و با از بار الکتریکی نسبت عکس دارد.

(۱) مجذور بار الکتریکی - فاصله

(۲) اندازه بار الکتریکی - فاصله

(۳) مجذور بار الکتریکی - مجذور فاصله

(۴) اندازه بار الکتریکی - مجذور فاصله

۵۶- اندازه میدان الکتریکی حاصل از بار الکتریکی نقطه‌ای $20 \mu\text{C}$ در فاصله یک متری آن، چند نیوتون بر کولن است؟ ($k = 9 \times 10^9 \text{ N.m}^2 / \text{C}^2$)

(۱) 2×10^3 (۲) 2×10^6 (۳) $1/8 \times 10^4$ (۴) $1/8 \times 10^5$ (سراسری ریاضی ۸۰)

۵۷- اندازه میدان الکتریکی حاصل از بار کره کوچکی که $2/5 \times 10^{13}$ الکترون از دست داده است، در چند سانتی‌متری از آن برابر $9/10$ مگانیوتون بر

کولن است؟ ($k = 9 \times 10^9 \text{ N.m}^2 / \text{C}^2$)

(۱) ۱۰ (۲) ۲۰ (۳) ۳۰ (۴) ۴۰

۵۸- مطابق شکل مقابل، بار الکتریکی $q = -20 \text{ nC}$ در نقطه $A(100 \text{ cm}, 100 \text{ cm})$ قرار دارد. بردار میدان

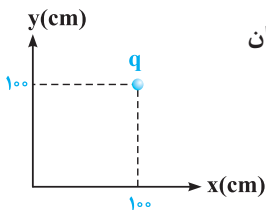
الکتریکی حاصل از این بار الکتریکی در مبدأ مختصات، در SI کدام است؟ ($k = 9 \times 10^9 \text{ N.m}^2 / \text{C}^2$)

$$\vec{E} = -45\sqrt{2}\vec{i} - 45\sqrt{2}\vec{j} \quad (۱)$$

$$\vec{E} = 90\vec{i} + 90\vec{j} \quad (۲)$$

$$\vec{E} = 45\sqrt{2}\vec{i} + 45\sqrt{2}\vec{j} \quad (۳)$$

$$\vec{E} = 45\vec{i} + 45\vec{j} \quad (۴)$$



۲ تا سؤال ببری، رو پارامتر فاصله تو فرمول E کار کرده و پندین بار مورد توجه بوده. تست ببری یه سؤال خیلی قشنگ و ساره هست ...

۵۹- اگر بردار شدت میدان حاصل از بار الکتریکی نقطه‌ای مثبت q_A در نقطه B در SI برابر $\vec{E}_B = 25 \times 10^9 \vec{i}$ و $\frac{AB}{BC} = \frac{3}{4}$ باشد، بردار

شدت میدان الکتریکی در SI، برای نقطه C کدام است؟

$$+15 \times 10^9 \vec{i} \quad (۱)$$

$$-15 \times 10^9 \vec{i} \quad (۲)$$

$$-9 \times 10^9 \vec{i} \quad (۴)$$

$$+9 \times 10^9 \vec{i} \quad (۳)$$

۶۰- میدان الکتریکی در فاصله ۲۰ سانتی‌متری از بار q برابر E است. چند سانتی‌متر دیگر از این بار دور شویم تا میدان الکتریکی ۷۵

درصد کاهش یابد؟ (سراسری تجربی ۸۲ فارغ از کشور)

(۱) ۱۰ (۲) ۲۰ (۳) ۳۰ (۴) ۴۰

۶۱- در شکل زیر، شمعی در فاصله نسبتاً دور از یک کره رسانا با بار الکتریکی منفی نسبتاً بزرگ قرار دارد. اگر شمع را به نزدیکی کره

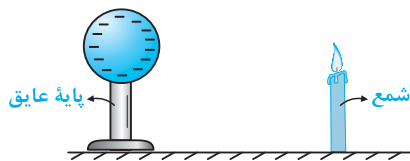
منتقل کنیم، چه تغییری در وضعیت شعله شمع مشاهده می‌شود؟

(۱) در راستای قائم باقی می‌ماند.

(۲) به سمت چپ منحرف می‌شود.

(۳) به سمت راست منحرف می‌شود.

(۴) وضعیت مشخصی ندارد.



میدان الکتریکی ناشی از بارهای واقع در یک امتداد

تو ادامه کار، عین بحث نیروهای کولنی، بریم سراغ محاسبه میدان الکتریکی ناشی از چندتا بار الکتریکی واقع در یک امتداد ...

۶۲- بار الکتریکی نقطه‌ای مثبت دو میکروکولنی در مبدأ مختصات و بار هم‌نام نقطه‌ای چهار میکروکولنی در جهت مثبت محور y

و در فاصله ۳ متری مبدأ قرار دارد. بردار میدان الکتریکی بین دو بار الکتریکی و در نقطه‌ای به فاصله ۲ متر از بار بزرگ‌تر

در SI کدام است؟ ($k = 9 \times 10^9 \text{ N.m}^2 / \text{C}^2$) (سراسری قبل از ۸۰)

$$9 \times 10^3 \vec{j} \quad (۱)$$

$$-9 \times 10^3 \vec{j} \quad (۲)$$

$$18 \times 10^3 \vec{j} \quad (۳)$$

$$-18 \times 10^3 \vec{j} \quad (۴)$$

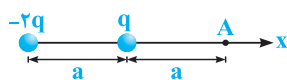
۶۳- میدان الکتریکی حاصل از بارهای شکل زیر، در نقطه A، کدام است؟ ($q > 0$) (سراسری قبل از ۸۰)

$$\frac{3kq}{2a^2} \quad (۱) \quad \text{در جهت مثبت X}$$

$$\frac{kq}{2a^2} \quad (۲) \quad \text{در جهت منفی X}$$

$$\frac{3kq}{2a^2} \quad (۴) \quad \text{در جهت منفی X}$$

$$\frac{kq}{2a^2} \quad (۳) \quad \text{در جهت مثبت X}$$



۱ ۱ با توجه به سری تریپوالکتریک در درسنامه، با مالش میله پلاستیکی و پارچه پشمی به یکدیگر، میله پلاستیکی بار منفی پیدا می کند که مقدار آن مضرب صحیحی از یک مقدار پایه (بار الکترون) می باشد و گزینه (۱) صحیح است.

$$q = -ne$$

۲ ۳ همان طور که در درسنامه مطرح شد، وقتی جسمی دارای بار الکتریکی مثبت و یا منفی است، در واقع الکترون از آن گرفته و یا به آن داده شده است، این موضوع یعنی باردار کردن یک جسم، تعداد پروتون های آن جسم را تغییر نمی دهد، بنابراین گزینه های (۱) و (۲) نادرست است. حال می توان نوشت:



جسم A، 5×10^{11} الکترون از دست داده است. $\Rightarrow n = 5 \times 10^{11} \Rightarrow n \times 1/6 \times 10^{-19} = 8 \times 10^{-9} = q_A = ne$: جسم A



به جسم B، 3×10^{12} الکترون داده ایم. $\Rightarrow n = 3 \times 10^{12} \Rightarrow -n \times 1/6 \times 10^{-19} = -4/8 \times 10^{-7} = -ne = q_B$: جسم B

۳ ۳ با مالش میله شیشه ای با پارچه ابریشمی، بار الکتریکی آن مثبت می شود (با توجه به بالاتر بودن شیشه نسبت به ابریشم در سری تریپوالکتریک). از سوی دیگر مطابق با رابطه $q = +ne$ ، بار الکتریکی میله، مضرب صحیحی از بار پایه می باشد:

$$q = ne \Rightarrow n = \frac{q}{e}$$

حال به بررسی گزینه ها می پردازیم:

* عدد صحیح نمی باشد. $\rightarrow 1/25 = \frac{2 \times 10^{-19}}{1/6 \times 10^{-19}} = n$: گزینه (۱)

✓ عدد صحیح است. $\rightarrow 5 = \frac{8 \times 10^{-19}}{1/6 \times 10^{-19}} = n$: گزینه (۳)

با توجه به گزینه ها، تنها در گزینه (۳) یک عدد صحیح و مثبت به دست آمده و جواب سؤال می باشد.

۱ ۴ چون جسم الکترون از دست می دهد، بنابراین در حالت ثانویه بار آن مثبت و در حالت اولیه بار آن منفی است (رد گزینه های ۲ و ۳). بار جسم به مقدار $-2q_0$ تغییر کرده است (از q_0 به $-q_0$ رسیده است) و داریم:

$$\begin{cases} \Delta q = -q_0 - (q_0) = -2q_0 \\ \Delta q = ne \end{cases} \Rightarrow -2q_0 = ne = 5 \times 10^{15} \times 1/6 \times 10^{-19} = 8 \times 10^{-4} \Rightarrow q_0 = -4 \times 10^{-4} C = -400 \mu C$$

۳ ۵ با توجه به اصل پایستگی بار الکتریکی، مجموع جبری بارهای الکتریکی در یک دستگاه منزوی (دستگاهی که با محیط اطراف تبادل بار الکتریکی ندارد)، برابر صفر است. این موضوع در گزینه (۳) رعایت نشده و اصل پایستگی بار الکتریکی نقض می شود.

۲ ۶ برای پاسخ دادن به این سؤال، به سه نکته زیر توجه کنید:

۱- نوترون از نظر بار الکتریکی خنثی است، پس می توان گفت بار الکتریکی کل هسته یک اتم، با بار پروتون های آن هسته برابر است.

۲- اندازه بار پروتون و الکترون با یکدیگر یکسان است ($|q_e| = |q_p| = 1/6 \times 10^{-19} C$).

۳- در یک اتم خنثی، تعداد الکترون ها و پروتون ها مساوی هستند.

حال با توجه به سه نکته بالا می توان نوشت:

$$n = \frac{Q}{e} \text{ : تعداد پروتون ها یا الکترون ها} \Rightarrow Q = ne \text{ (بار الکتریکی مثبت هسته)}$$

۳ ۷ برای پاسخ دادن به این سؤال، گام های زیر را طی می کنیم:

گام اول: محاسبه تعداد الکترون های اتم دو بار مثبت X^{2+} :

$$q = -ne \Rightarrow -4/8 \times 10^{-18} = -n \times 1/6 \times 10^{-19} \Rightarrow n = 30$$

گام دوم: تعداد الکترون های اتم دو بار مثبت (X^{2+})، ۲ واحد کم تر از تعداد پروتون های آن می باشد. بنابراین تعداد پروتون های این اتم برابر ۳۲ می باشد.

۱۸ چون جسم A نسبت به B به انتهای مثبت سری تریبولکتریک نزدیکتر است، بنابراین در اثر مالش این دو جسم به یکدیگر، بار الکتریکی جسم A مثبت و بار الکتریکی جسم B منفی می‌شود. به طور مشابه، ثابت می‌شود که در تماس دو جسم C و D، بار الکتریکی C مثبت و بار الکتریکی D منفی می‌شود. بنابراین اجسام A و C و هم‌چنین B و D یکدیگر را دفع می‌کنند، پس گزینه (۱) صحیح است.

انتهای مثبت سری	
A	در مالش این دو جسم به یکدیگر، بار A مثبت و بار B منفی می‌شود. ($q_A > 0, q_B < 0$)
B	
C	در مالش این دو جسم به یکدیگر، بار C مثبت و بار D منفی می‌شود. ($q_C > 0, q_D < 0$)
D	
انتهای منفی سری	

۲۹ پس از مالش دو جسم A و B با یکدیگر، بار الکتریکی جسم B مثبت شده است، بنابراین B به انتهای مثبت سری نزدیک‌تر می‌باشد. پس از مالش دو جسم C و D با یکدیگر، جسم C جسم B را دفع کرده است، بنابراین بار C با بار B هم‌نام است و در نتیجه بار C مثبت و بار D منفی است. بنابراین C نسبت به D به انتهای مثبت سری نزدیک‌تر است که این شرایط فقط در گزینه (۲) رعایت شده است.

۴۱۰ همان‌طور که می‌دانید، هنگامی که در سری الکتریسیته مالشی، ماده بالاتر را با ماده پایین‌تر مالش می‌دهیم، الکترون‌ها از ماده بالاتر به ماده پایین‌تر منتقل می‌شوند، بنابراین در این سؤال، شیشه و نایلون الکترون از دست می‌دهند و پارچه پشمی الکترون می‌گیرد. از طرف دیگر، تعداد الکترون‌هایی که پارچه پشمی می‌گیرد، برابر مجموع تعداد الکترون‌هایی است که شیشه و نایلون از دست می‌دهند، بنابراین داریم:

$$q_C = -(q_A + q_B) \Rightarrow q_A + q_B = -q_C$$

نقاه دیگر: با توجه به اصل پایستگی بار الکتریکی، هنگامی که دو جسم را با هم مالش می‌دهیم، الکترون‌ها از یکی از آن‌ها به دیگری منتقل می‌شود، به طوری که مجموع بار الکتریکی آن‌ها برابر صفر است. در این سؤال نیز که سه جسم را مالش داده‌ایم، الکترون بین آن‌ها مبادله می‌شود، به طوری که مجموع بار الکتریکی آن‌ها برابر صفر است. بنابراین داریم:

$$q_A + q_B + q_C = 0 \Rightarrow q_A + q_B = -q_C$$

۱۱ با توجه به قانون کولن می‌توان گفت:

$$F = \frac{k |q_1| |q_2|}{r^2} \rightarrow \begin{cases} F \propto |q_1| |q_2| \Rightarrow \text{رابطه مستقیم با حاصل ضرب اندازه بارها} \\ F \propto \frac{1}{r^2} \Rightarrow \text{رابطه معکوس با مجذور فاصله بین دو بار} \end{cases}$$

۱۲ برای پاسخ دادن به این سؤال، با توجه به رابطه قانون کولن می‌توان نوشت:

$$F = k \frac{|q_1| |q_2|}{r^2} \Rightarrow k = \frac{Fr^2}{|q_1| |q_2|} \Rightarrow k \text{ یکای } \frac{(\text{متر})^2 \times \text{نیوتون}}{\text{کولن} \times \text{کولن}} \equiv \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2}$$

در ادامه با توجه به رابطه $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ ، یکای ضریب گذردهی الکتریکی در خلأ (ϵ_0)، برعکس یکای ثابت کولن (k) است و داریم:

$$k \text{ یکای } \equiv \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2} \Rightarrow \epsilon_0 \text{ یکای } \equiv \frac{\text{C}^2}{\text{N.m}^2}$$

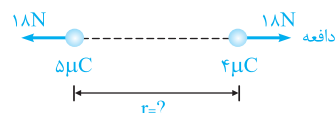
۲۱۳ گزینه (۱) یک الکتروسکوپ، گزینه (۲) یک ترازوی پیچشی، گزینه (۳) مولد وان دوگراف و گزینه (۴) وسیله مورد نیاز برای انجام آزمایش فاراده را نشان می‌دهد. همان‌طور که می‌دانید، کولن به وسیله ترازوی پیچشی، عوامل مؤثر بر نیروی الکتریکی بین دو ذره باردار را شناسایی کرد.

۳۱۴ با توجه به رابطه نیروی کولنی بین دو بار، رابطه F با r و q به صورت زیر است:

$$F = \frac{k |q_1| |q_2|}{r^2} \xrightarrow{|q_1|=|q_2|=q} F = \frac{kq^2}{r^2} \Rightarrow \begin{cases} F \propto q^2 \\ F \propto \frac{1}{r^2} \end{cases} \Rightarrow$$

تذکر: دو بار الکتریکی هم‌اندازه و غیرهم‌نام که در فاصله r از یکدیگر قرار دارند، یک دوقطبی الکتریکی نامیده می‌شوند.

۴۱۵



$$F = k \frac{|q_1| |q_2|}{r^2} \Rightarrow r^2 = \frac{k |q_1| |q_2|}{F} = \frac{9 \times 10^9 \times (5 \times 10^{-6}) \times (4 \times 10^{-6})}{18} = 0.01 \Rightarrow r = 0.1 \text{ m} = 10 \text{ cm}$$

۱۶ ۳ با توجه به اطلاعات مسأله، می‌توان نوشت:

$$\begin{cases} F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2} \Rightarrow 5 = 9 \times 10^9 \times \frac{|q_1||q_2|}{(3 \times 10^{-1})^2} \Rightarrow |q_1||q_2| = 5 \times 10^{-11} \text{ C}^2 = 50 \mu\text{C}^2 \\ |q_1| + |q_2| = 15 \mu\text{C} \end{cases}$$

حاصل ضرب دو بار هم‌نام $50 \mu\text{C}^2$ و حاصل جمع آن‌ها $15 \mu\text{C}$ است، بنابراین اندازه بار الکتریکی دو ذره برابر $5 \mu\text{C}$ و $10 \mu\text{C}$ است. البته اگر علاقه‌مند باشید می‌توانید با حل معادله درجه دوم نیز دو معادله دو مجهول اخیر را حل کنید، ولی این کار، زمان‌بر و طولانی است.

۱۷ ۱ مشابه با تمرین (۵) درسنامه، گزینه (۱) صحیح است.

برای تمرین بیشتر، تمرین زیر را نیز بررسی کنید.

تمرین: در شکل مقابل، بردار نیروی الکتریکی وارد بر بار q_1 در SI کدام است؟

$(q_1 = q_2 = 2 \mu\text{C}, k = 9 \times 10^9 \text{ N.m}^2 / \text{C}^2)$

۱) $\vec{F} = 10\vec{i} + 10\vec{j}$ (۱)
 ۲) $\vec{F} = -10\sqrt{2}\vec{i} - 10\sqrt{2}\vec{j}$ (۲)
 ۳) $\vec{F} = -20\sqrt{2}\vec{i} - 20\sqrt{2}\vec{j}$ (۳)
 ۴) $\vec{F} = -20\vec{i} + 20\vec{j}$ (۴)

پاسخ: گزینه (۲)

۱۸ ۴ با توجه به شکل زیر، نیرویی که بار q بر بار $2q$ وارد می‌کند، با نیرویی که بار $2q$ بر بار q وارد می‌کند، مساوی و در خلاف جهت هم است. این موضوع بیانی از قانون سوم نیوتون است (هر عملی را عکس‌العملی است مساوی و در خلاف جهت آن) و در نهایت می‌توان نوشت:

$$\begin{cases} \vec{F} = 10\vec{i} & \text{نیروی } q \text{ بر } 2q \\ -\vec{F} = -10\vec{i} & \text{نیروی } 2q \text{ بر } q \end{cases}$$

۱۹ ۲ برای معلق ماندن گوی بالای، نیروی دافعه الکتریکی بین دو گوی باید وزن گوی (۱) را خنثی کند و برای رسیدن به این هدف داریم:

$$F = mg \Rightarrow \frac{kq \times q}{r^2} = mg$$

$$\Rightarrow \frac{9 \times 10^9 \times q^2}{(1 \times 10^{-2})^2} = (0.9 \times 10^{-3}) \times 10 \Rightarrow q^2 = 10^{-16} \text{ C}^2 \Rightarrow q = 10^{-8} \text{ C}$$

و برای پیدا کردن تعداد الکترون‌های کنده شده از هر گوی می‌توان نوشت:

$$q = ne \Rightarrow 10^{-8} = n \times (1.6 \times 10^{-19}) \Rightarrow n = \frac{1}{1.6} \times 10^{11} = 6.25 \times 10^{10}$$

۲۰ ۳ از آن جایی‌که نیرویی که ذره A بر ذره B وارد می‌کند، با نیرویی که ذره B بر ذره A وارد می‌کند، با توجه به قانون سوم نیوتون برابر است، می‌توان نوشت:

$$F_A = F_B \xrightarrow{F=ma} m_A a_A = m_B a_B \Rightarrow m a_A = 2 m a_B \Rightarrow \frac{a_A}{a_B} = \frac{2m}{m} = 2$$

روش بهتر: چون اندازه نیروها با یکدیگر یکسان است، ذره A که جرم آن نصف جرم ذره B است، لزوماً شتابی ۲ برابر شتاب ذره B دارد.

۲۱ ۴ با استفاده از قانون کولن برای مقایسه بزرگی نیروی الکتریکی بین دو ذره باردار در دو حالت داریم:

$$\begin{cases} F_1 = k \frac{|q_1||q_2|}{r_1^2} = k \frac{|q_e||q_p|}{r_1^2} = k \frac{e^2}{r_1^2} \\ F_2 = k \frac{|q_p||q_p|}{r_2^2} = k \frac{e^2}{r_2^2} \end{cases} \Rightarrow \frac{F_2}{F_1} = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 = \left(\frac{a}{2 \times 10^{-4} a}\right)^2 = \frac{10^8}{4} = 2.5 \times 10^7$$

۲۲ ۲ برای این‌که نیروی کولنی بین دو بار نصف شود (۵۰ درصد کاهش یابد)، فاصله بین دو بار باید $\sqrt{2}$ برابر شود:

$$F = \frac{k|q_1||q_2|}{d^2} \Rightarrow \frac{F'}{F} = \left(\frac{d}{d'}\right)^2 \xrightarrow{F'=\frac{F}{2}} \frac{1}{2} = \left(\frac{d}{d'}\right)^2 \Rightarrow d' = \sqrt{2}d$$

۱ ۲۳ روش اول: با توجه به ثابت ماندن نیرو در دو حالت می توان نوشت:

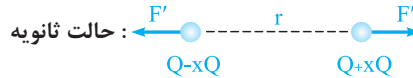
$$F = F' \Rightarrow \frac{k |q_1| |q_2|}{r^2} = \frac{k |2q_1| |q_2|}{(r')^2} \Rightarrow r' = \sqrt{2} r$$

روش دوم: با دو برابر شدن اندازه یکی از بارها، نیروی بین دو بار الکتریکی هم ۲ برابر می شود و برای ثابت ماندن نیرو، باید r را طوری انتخاب کنیم که کسر را نصف کند و این موضوع یعنی r باید $\sqrt{2}$ برابر شود:

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

↑ برابر ۲
↓ برابر $(\sqrt{2})^2$

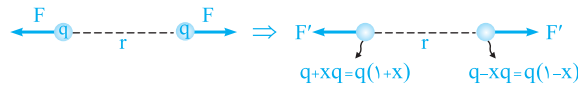
۴ ۲۴ درصد باری که از یکی از بارها برداشته و به دیگری اضافه شده است را x در نظر می گیریم. حال با بررسی دو حالت، مقدار مجهول را به دست می آوریم:



$$\left\{ \begin{array}{l} (1): F = \frac{k |q_1| |q_2|}{r^2} \xrightarrow{\text{بارها مشابه اند}} F = \frac{k Q^2}{r^2} \\ (2): F' = \frac{k |q_1'| |q_2'|}{r^2} = k \frac{Q(1-x) Q(1+x)}{r^2} = \frac{k Q^2}{r^2} (1-x^2) \end{array} \right.$$

$$F' = \frac{15}{16} F \Rightarrow (1-x^2) \left(\frac{k Q^2}{r^2} \right) = \frac{15}{16} \left(\frac{k Q^2}{r^2} \right) \Rightarrow 1-x^2 = \frac{15}{16} \Rightarrow x^2 = 1 - \frac{15}{16} = \frac{1}{16} \Rightarrow x = \frac{1}{4} \equiv 25\%$$

خلاصیت حرفه‌ای‌ها: به دلیل اهمیت این سؤال می خواهیم کمی بیشتر به بررسی آن بپردازیم. کفایت کمی ذهنی تر به این سؤال نگاه کنیم:



$$\frac{F'}{F} = \frac{|q_1'| |q_2'|}{|q_1| |q_2|} \Rightarrow \frac{F'}{F} = 1-x^2 = \frac{15}{16} \Rightarrow x^2 = \frac{1}{16} \Rightarrow x = \frac{1}{4} \equiv 25\%$$

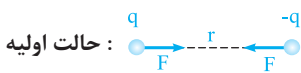
باز هم سریع تر: نیرو چه قدر کم شده است؟ F جذر $\frac{1}{16}$ برابر x است. $\Leftarrow x = \frac{1}{4}$ یا ۲۵٪ است.

تمرین: اگر نیرو $\frac{24}{25}$ برابر شود، x چه قدر است؟

پاسخ: نیرو چه قدر کم شده است؟ F جذر $\frac{1}{25}$ برابر x است. $\Leftarrow x = \frac{1}{5}$ یا ۲۰٪ است.

۲ ۲۵ این سؤال، مکمل خوبی برای تست قبل محسوب می شود، زیرا در آن بارها برابر و مختلف‌العلامت هستند. در این سؤال ۲۰ درصد $\left(\frac{20}{100} = \frac{1}{5} \right)$ یکی از

بارها را کم کرده و به دیگری اضافه کرده‌ایم. برای این که نیروی کولنی بین دو بار تغییر نکند، باید فاصله دو بار را تغییر دهیم. بنابراین می توان نوشت:



$$q'_1 = q - \frac{1}{8}q = \frac{7}{8}q \quad q'_2 = -q + \frac{1}{8}q = -\frac{7}{8}q$$

$$F = k \frac{|q_1| |q_2|}{r^2} \xrightarrow{F'=F} k \frac{|q| |q|}{r^2} = k \frac{\left| \frac{7}{8}q \right| \left| \frac{7}{8}q \right|}{(r')^2} \Rightarrow \left(\frac{r'}{r} \right)^2 = \frac{16}{49} \Rightarrow \frac{r'}{r} = \frac{4}{7}$$

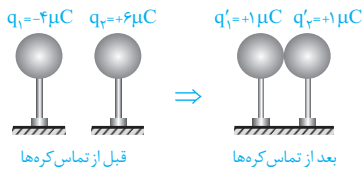
۴ ۲۶ این یک سؤال بسیار جالب و جدید است. با توجه به قانون کولن در مقایسه دو حالت می توان نوشت:

$$F = k \frac{|q_1| |q_2|}{r^2} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} F_1 = k \frac{|q_1| |q_2|}{r^2} \\ F_2 = k \frac{\left| q_1 - \frac{1}{4}q_1 \right| \left| q_2 + \frac{1}{4}q_2 \right|}{r^2} \end{array} \right. \Rightarrow \frac{F_2}{F_1} = \frac{\frac{1}{2} |q_1| |q_2| + \frac{1}{4} |q_1|^2}{|q_1| |q_2|} = \frac{1}{2} + \frac{|q_1|}{4 |q_2|} \xrightarrow{\text{خواسته سؤال}} \frac{1}{2} + \frac{|q_1|}{4 |q_2|} > 1$$

$$\Rightarrow \frac{|q_1|}{4 |q_2|} > \frac{1}{2} \Rightarrow |q_1| > 2 |q_2| \Rightarrow q_1 > 2q_2$$

دقت: در این سؤال، دو حالت زیر نیز می‌تواند پرسیده شود:

$$\Rightarrow \frac{F_2}{F_1} = 0.5 + \frac{|q_1|}{4|q_2|} \Rightarrow \text{اگر} \begin{cases} \frac{|q_1|}{4|q_2|} = 0.5 \Rightarrow q_1 = 2q_2 \Rightarrow \frac{F_2}{F_1} = 1 \Rightarrow F_2 = F_1 \\ \frac{|q_1|}{4|q_2|} < 0.5 \Rightarrow q_1 < 2q_2 \Rightarrow \frac{F_2}{F_1} < 1 \Rightarrow F_2 < F_1 \end{cases}$$



۲۷ ۳ با توجه به مشابه بودن گوی‌ها، پس از تماس آن‌ها با یکدیگر، بار الکتریکی کره‌ها با یکدیگر برابر شده و مقدار آن برابر است با:

$$\begin{cases} q_1 = -4 \mu\text{C} \\ q_2 = +6 \mu\text{C} \end{cases} \Rightarrow q'_1 = q'_2 = \frac{q_1 + q_2}{2} = \frac{(-4) + 6}{2} = 1 \mu\text{C}$$

به عبارت دیگر با تماس دادن دو کره با یکدیگر باید به میزان $-5 \mu\text{C}$ بار از کره اول به کره دوم منتقل شود. در ادامه با رابطه $q = ne$ تعداد

$$q = -ne \Rightarrow -5 \times 10^{-6} = n \times (-1.6 \times 10^{-19}) \Rightarrow n = 3.125 \times 10^{13}$$

الکترون‌های مبادله‌شده را به دست می‌آوریم:

۲۸ ۱ در حالت جدید بار هر دو کره یکسان شده و مقدار آن برابر است با:

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

در ادامه می‌توان گفت نیروی بین آن‌ها از نوع رانشی بوده و به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$F' = k \frac{|q'_1| |q'_2|}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{(1 \times 10^{-9}) \times (1 \times 10^{-9})}{(30 \times 10^{-2})^2} = 10^{-7} \text{ N} = 100 \text{ nN}$$

۲۹ ۲ می‌دانیم که دو کره قبل از تماس یکدیگر را جذب می‌کنند، بنابراین بار دو کره ناهم‌نام است. اکنون دو حالت را فرض می‌کنیم:

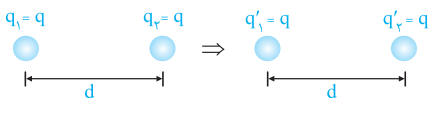
الف) اندازه بار دو کره برابر است ($|q_2| = |q_1|$): در این حالت با تماس دو کره، بارها یکدیگر را خنثی می‌کنند و دیگر باری برای کره‌ها باقی نمی‌ماند، بنابراین در این حالت کره‌ها نمی‌توانند پس از اتصال یکدیگر را دفع کنند.

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

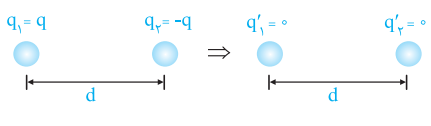
ب) اندازه بار دو کره برابر نباشد: در این حالت با تماس دو کره، مقداری از بار بزرگ‌تر توسط بار کوچک‌تر خنثی شده و مابقی آن بین دو کره به طور یکسان بخش می‌شود، بنابراین در این حالت کره‌ها پس از اتصال یکدیگر را دفع می‌کنند.

تذکره: دقت کنیم در این سؤال مقدار نیروی بین دو کره در حالت قبل از تماس بیشتر از حالت بعد از تماس است (چرا؟).

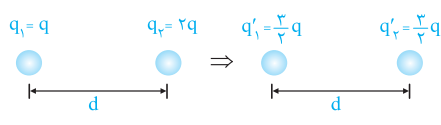
۳۰ ۴ در این سؤال با توجه به علامت بار دو کره، هر سه حالت می‌تواند رخ دهد. با سه مثال ساده این موضوع را بررسی می‌کنیم:



حالت اول: اگر دو کره بار هم‌علامت و مساوی داشته باشند، پس از اتصال نیروی بین دو کره تغییر نمی‌کند، زیرا حاصل ضرب $|q_1| |q_2|$ تغییر نمی‌کند.

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


حالت دوم: اگر دو کره بار مساوی و مختلف‌العلامت داشته باشند، پس از اتصال نیروی بین دو کره صفر شده و به عبارتی کاهش می‌یابد.

$$q'_1 = q'_2 = \frac{q + (-q)}{2} = 0 \Rightarrow F' = 0 < F$$


حالت سوم: اگر دو کره بار نامساوی و هم‌علامت داشته باشند، پس از اتصال نیروی بین دو کره افزایش می‌یابد. برای درک بهتر این حالت به اعداد زیر توجه کنید:

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

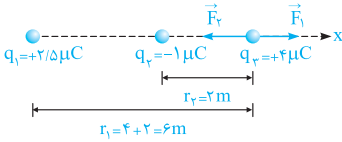
$$\begin{cases} |q'_1| |q'_2| = \left| \frac{3}{2} q \right| \times \left| \frac{3}{2} q \right| = \frac{9}{4} q^2 \\ |q_1| |q_2| = |q| \times |2q| = 2q^2 \end{cases} \xrightarrow{F \propto |q_1| |q_2|} F' > F$$

بنابراین هر سه حالت ممکن است رخ دهد.

۳۱ ۲ در پاسخ سؤال قبل، در حالت سوم به کمک یک مثال عددی دیدیم که اگر دو کره دارای بار الکتریکی هم‌نام و نامساوی باشند، اندازه نیروی بین دو کره

بعد از تماس دادن به یکدیگر بیشتر از حالت قبل از تماس است (این موضوع با کمک اصول ریاضی نیز به سادگی قابل اثبات است).

۱ ۳۲ بار الکتریکی q_1 بار q_3 را دفع می‌کند (\vec{F}_1) و بار الکتریکی q_2 بار q_3 را جذب می‌کند (\vec{F}_2).

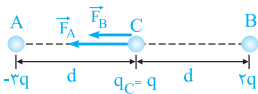


$$\begin{cases} \text{دافعه: } F_1 = k \frac{|q_1||q_3|}{r_1^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{2/5 \times 10^{-6} \times 2 \times 10^{-6}}{(6)^2} = 2/5 \times 10^{-3} \text{ N} \xrightarrow{\text{در جهت محور } x} \vec{F}_1 = 2/5 \times 10^{-3} \vec{i} \\ \text{جاذبه: } F_2 = k \frac{|q_2||q_3|}{r_2^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{1 \times 10^{-6} \times 2 \times 10^{-6}}{(2)^2} = 9 \times 10^{-3} \text{ N} \xrightarrow{\text{در خلاف جهت محور } x} \vec{F}_2 = -9 \times 10^{-3} \vec{i} \end{cases}$$

بنابراین برآیند نیروهای وارد بر بار q_3 برابر است با:

$$\vec{F}_T = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 = 2/5 \times 10^{-3} \vec{i} + (-9 \times 10^{-3} \vec{i}) = -6/5 \times 10^{-3} \vec{i}$$

به عبارت دیگر اندازه برآیند نیروهای وارد بر بار q_3 برابر $6/5 \times 10^{-3}$ نیوتون و در خلاف جهت محور x می‌باشد.



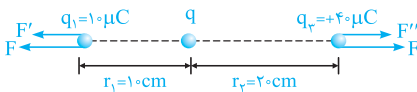
۲ ۳۳ فرض می‌کنیم اندازه نیرویی که دو بار q در فاصله d بر یکدیگر وارد می‌کنند، برابر F باشد در این صورت اندازه نیروهای F_A و F_B برابر است با:

$$\text{نیروی بین } A \text{ و } C \text{ (جاذبه): } F = k \frac{|q_A||q_C|}{d^2} \Rightarrow F_A = 3F \quad \text{نیروی بین } B \text{ و } C \text{ (دافعه): } F = k \frac{|q_B||q_C|}{d^2} \Rightarrow F_B = 2F$$

$$R = 3F + 2F = 5F \text{ (به سمت چپ)}$$

با برآیندگیری از نیروهای هم‌جهت به دست آمده، داریم:

۴ ۳۴ این سؤال، یک سؤال جالب و مفهومی است. دو بار q_1 و q_3 یکدیگر را با نیروی F دفع می‌کنند. حال اگر بار q را مثبت فرض کنیم، این بار q دو بار q_1 و q_3 را نیز دفع می‌کند. با توجه به



نیروهای نشان داده شده بر روی شکل، برای برابر بودن اندازه برآیند نیروهای وارد بر دو بار q_1 و q_3 باید داشته باشیم:

$$\begin{cases} F_{T_1} = F + F' = F + k \frac{|q_1||q|}{r_1^2} = F + k \times \frac{1 \times 10^{-6} |q|}{(1 \times 10^{-1})^2} = F + 10^{-3} k |q| \\ F_{T_3} = F + F'' = F + k \frac{|q_3||q|}{r_2^2} = F + k \times \frac{4 \times 10^{-6} |q|}{(2 \times 10^{-1})^2} = F + 10^{-3} k |q| \end{cases}$$

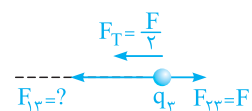
همان‌طور که مشاهده می‌کنیم، بدون توجه به این‌که اندازه بار الکتریکی q چه مقدار باشد، همیشه دو نیروی F_{T_1} و F_{T_3} با هم برابر می‌باشند. بنابراین بار الکتریکی q هر مقدار دلخواهی را می‌تواند داشته باشد.

تذکر: توصیه می‌شود که به عنوان تمرین نشان دهید که اگر بار q منفی باشد نیز به همین نتیجه می‌رسیم.

۳ ۳۵ **گام اول:** چون بارهای q_1 و q_3 یکدیگر را دفع می‌کنند، بنابراین هم‌نام می‌باشند و از طرفی نیرویی که q_2 به q_1 وارد می‌کند نیز طبق قانون

سوم نیوتون برابر F و باید به سمت راست باشد (حالت دافعه).

گام دوم: همان‌طور که در صورت سؤال مطرح شده است، بزرگی برآیند نیروهای وارد بر بار q_3 برابر $F/3$ و به سمت چپ است، بنابراین مطابق شکل رسم



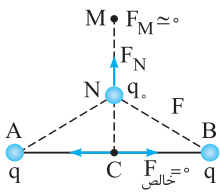
شده، بار q_1 ، باید بار q_3 را با نیروی $F_{13} = \frac{3}{4}F$ به سمت خود، یعنی به سمت چپ، جذب کند:

$$F_T = F_{13} - F_{q_3} \Rightarrow \frac{F}{3} = F_{13} - F \Rightarrow F_{13} = \frac{3}{4}F$$

گام سوم: حال با توجه به این‌که $F_{13} = \frac{3}{4}F$ و $F_{q_3} = F$ می‌باشد، به سادگی می‌توان نسبت $\frac{q_1}{q_2}$ را به دست آورد:

$$F_{13} = \frac{3}{4}F \Rightarrow F_{13} = \frac{3}{4}F_{q_3} \Rightarrow k \frac{|q_1||q_3|}{(2d)^2} = \frac{3}{4} \times k \frac{|q_2||q_3|}{d^2} \Rightarrow \left| \frac{q_1}{q_2} \right| = 6$$

بار q_1 ، بار q_3 را جذب و بار q_2 ، بار q_3 را دفع می‌کند، بنابراین بارهای q_1 و q_2 مختلف‌العلامت می‌باشد و $\frac{q_1}{q_2} = -6$ می‌باشد.



۲ ۳۶ مطابق شکل، نیروی وارد شده به بار q_0 را در سه نقطه M ، N و C بررسی می‌کنیم. نقطه M در فاصله بسیار زیادی از بارها قرار گرفته است و طبق رابطه $F = \frac{k|q_1||q_2|}{r^2}$ ، چون فاصله بسیار زیاد است، اندازه نیروی وارد شده به بار q_0 بسیار ناچیز است. در نقطه C نیز همان‌طور که در شکل می‌بینید، نیروهای وارد شده به بار q_0 هم‌اندازه و مختلف‌الجهت هستند و یک‌دیگر را خنثی می‌کنند و نیروی خالص وارد شده به q_0 ، صفر می‌شود. اما در نقطه N ، نیرویی به بزرگی F به بار q_0 وارد می‌شود، بنابراین در انتقال بار q_0 از M به C ، ابتدا بزرگی نیروی الکتریکی وارد شده بر آن، افزایش و سپس کاهش می‌یابد.

۲ ۳۷ با توجه به درسنامه، از آن‌جایی‌که نقطه C (محل صفر شدن برابند نیروها) خارج از فاصله بین دو بار q_A و q_B قرار دارد، درمی‌یابیم این دو بار با یک‌دیگر مختلف‌العلامت هستند (q_B ، q_A) و چون نقطه C به نقطه B نزدیک‌تر است، می‌فهمیم این بار اندازه کوچک‌تری دارد.

۴ ۳۸ با توجه به تمرین (۱۷) در درسنامه، گزینه (۴) صحیح است.

۴ ۳۹ همان‌طور که در روند حل تست قبل (در درسنامه) مشاهده می‌شود، مقدار و علامت بار q' ، در به تعادل رسیدن آن نقشی ندارد و اگر اندازه بار q' دو برابر و حتی قریبه نیز شود، مجدداً تعادل برای آن برقرار است و پاسخ همان 60 cm می‌باشد.

۱ ۴۰ برای تعادل بار الکتریکی q_3 باید دو نیروی مساوی و در خلاف جهت هم به آن وارد شود. بار جدید q_4 را با q_3 نشان می‌دهیم. بنابراین داریم:

$$F_{2,3} = F_{1,3} \Rightarrow \frac{k|q_2||q_3|}{(30)^2} = \frac{k|q_1||q_3|}{(10)^2} \Rightarrow \frac{|q_2|}{900} = \frac{1}{100} \Rightarrow |q_2| = 9\mu\text{C} \Rightarrow q_2' = 9\mu\text{C}$$

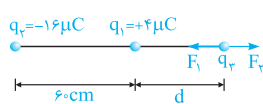
با توجه به این‌که $q_2 = 6\mu\text{C}$ است، باید $3\mu\text{C}$ به بار q_2 بیافزاییم تا بار q_2 متعادل شود.

۲ ۴۱ نیروی وارد از طرف بارهای مثبت q_1 و q_2 بر پروتون دافعه می‌باشد. بنابراین نیروهای وارد بر بار پروتون در ناحیه (۴) به سمت راست (در جهت محور X) و در ناحیه (۱) به سمت چپ (در خلاف جهت محور X) می‌باشد.



از طرفی در ناحیه (۳) نیروی دافعه وارد از طرف q_2 بر پروتون بیشتر از نیروی دافعه وارد شده از طرف q_1 بر پروتون می‌باشد (چرا؟)، بنابراین در این ناحیه برابند نیروهای وارد بر پروتون حتماً به سمت چپ و در خلاف جهت محور X می‌باشد. در ناحیه (۲) نیروی وارد بر پروتون از طرف q_1 می‌تواند بیشتر از نیروی وارد بر پروتون از طرف q_2 شود (چون پروتون به بار q_1 نزدیک‌تر است)، بنابراین در محدوده‌ای از ناحیه (۲) برابند نیروی وارد بر پروتون می‌تواند در جهت محور X باشد. در مجموع می‌توان گفت در دو ناحیه (۴) و (۲) برابند نیروی وارد بر پروتون از طرف دو بار دیگر می‌تواند به سمت راست و در جهت محور X باشد.

۲ ۴۲ در این سؤال با توجه به این‌که بار q_1 اندازه کوچک‌تری نسبت به بار q_2 دارد، پس بار q_3 برای تعادل باید نزدیک به بار q_1 باشد و چون بارهای q_1 و q_2 ناهم‌نام هستند، پس بار q_3 باید در خارج از فاصله بین دو بار قرار گیرد.



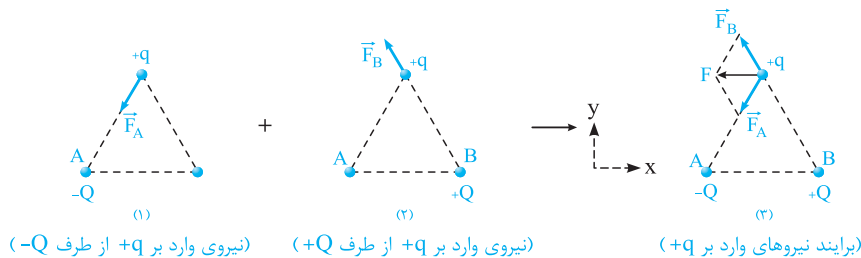
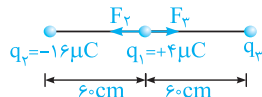
$$F_{T_3} = 0 \Rightarrow F_1 = F_2 \Rightarrow k \frac{4 \times |q_3|}{d^2} = k \frac{16 \times |q_3|}{(d+60)^2} \Rightarrow \frac{4}{d^2} = \frac{16}{(d+60)^2} \Rightarrow \frac{2}{d} = \frac{4}{d+60} \Rightarrow d = 60\text{ cm}$$

برای این‌که بار q_1 نیز در حال تعادل باشد، باید بارهای q_2 و q_3 هم‌علامت بوده (در نتیجه علامت بار q_3 باید منفی باشد) و اندازه نیروهای وارد شده از طرف آن‌ها بر بار q_1 با هم برابر باشد. بنابراین می‌توان نوشت:

$$F_{T_1} = 0 \Rightarrow F_2 = F_3 \Rightarrow k \frac{16 \times 4}{60^2} = k \frac{4 \times |q_3|}{60^2} \Rightarrow |q_3| = 16\mu\text{C}$$

بنابراین بار q_3 برابر $-16\mu\text{C}$ میکروکولن خواهد بود ($q_3 = -16\mu\text{C}$).

۱ ۴۳ اگر اندازه نیرویی که دو بار Q و q برهم وارد می‌کنند را F' در نظر بگیریم، داریم:



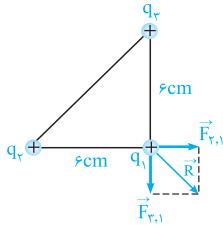
همان‌طور که مشاهده می‌کنید، نیروی خالص وارد بر ذره $+q$ در خلاف جهت X است و از بین گزینه‌ها تنها گزینه (۱) با فرم برداری آن انطباق دارد.

تذکر: با توجه به یکسان بودن فاصله و اندازه بار در شکل‌های (۱) و (۲)، F_A و F_B با هم برابرند:

$$F_A = F_B = F' = \frac{k|q||Q|}{r^2}$$

۴۴ این سؤال را در دو حالت بررسی می‌کنیم:

حالت اول: ابتدا نیروهای وارد بر بار q_1 را مطابق شکل مقابل رسم می‌کنیم. از آنجایی که بارهای q_3 و q_2 مشابه بوده و فاصله آن‌ها تا بار q_1 یکسان است، داریم:



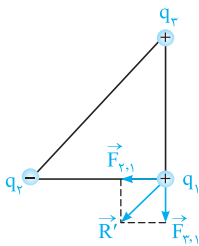
\Rightarrow $\begin{cases} q_1, q_3 \text{ را دفع می‌کند.} \\ q_1, q_2 \text{ را دفع می‌کند.} \end{cases}$

$$F_{2,1} = F_{3,1} = \frac{9 \times 10^9 \times 4 \times 10^{-6} \times 4 \times 10^{-6}}{(6 \times 10^{-2})^2} = 40 \text{ N}$$

در ادامه با برابری از دو نیروی عمود بر هم $\vec{F}_{2,1}$ و $\vec{F}_{3,1}$ ، پاسخ سؤال را به دست می‌آوریم:

$$F_T = \sqrt{F_{2,1}^2 + F_{3,1}^2} = 40\sqrt{2} \text{ N}$$

حالت دوم (علامت بار q_2 قرینه شود): در این حالت با ثابت بودن اندازه بارها و فاصله بین آن‌ها، همچنان $F_{2,1} = F_{3,1} = 40 \text{ N}$ باقی می‌ماند ولی بار q_2 را دفع کرده و بار q_3 را جذب می‌کند.



باز هم با توجه به عمود بودن $F_{2,1}$ و $F_{3,1}$ داریم:

$$F'_T = \sqrt{F_{2,1}^2 + F_{3,1}^2} = 40\sqrt{2} \text{ N}$$

بنابراین اندازه بردار برابری نیروهای وارد بر بار q_1 ثابت مانده ولی مطابق شکل مقابل، جهت آن تغییر می‌کند، بنابراین گزینه (۴) صحیح است.

۴۵ از آنجا که اندازه بارهای q_1 و q_3 با یکدیگر برابر و مختلف‌العلامت هستند و فاصله آن‌ها تا بار q_2 برابر است، بنابراین نیروهای وارد شده از طرف آن‌ها بر بار q_2 مساوی و برابر $\frac{F}{2}$ می‌باشد.

$$F = F_{1,2} + F_{3,2} \rightarrow F_{1,2} = F_{3,2} \rightarrow F_{1,2} = F_{3,2} = \frac{F}{2}$$

در ادامه وقتی بار q_2 را به اندازه $d = 10 \text{ cm}$ روی محور y جابه‌جا می‌کنیم، اندازه بارها ثابت بوده و فقط فاصله بین q_2 و دو بار الکتریکی دیگر $\sqrt{2}$ برابر می‌شود، بنابراین داریم:

$$r'^2 = 10^2 + 10^2 \Rightarrow r' = 10\sqrt{2} \text{ cm}$$

$$\frac{F'_{1,2}}{F_{1,2}} = \left(\frac{r}{r'}\right)^2 = \left(\frac{10}{10\sqrt{2}}\right)^2 = \frac{1}{2} \Rightarrow F'_{1,2} = F'_{3,2} = \frac{1}{2}F_{1,2} = \frac{1}{2}\left(\frac{F}{2}\right) = \frac{1}{4}F$$

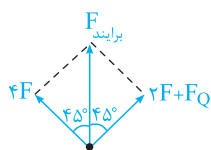
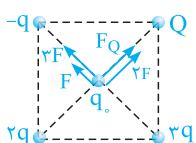
حال برابری دو نیروی $F'_{1,2}$ و $F'_{3,2}$ را به دست می‌آوریم:

$$F \underset{\text{برایند}}{=} F'_{1,2}\sqrt{2} \rightarrow F \underset{\text{برایند}}{=} \left(\frac{1}{4}F\right) \times \sqrt{2} = \frac{\sqrt{2}}{4}F$$

۴۶ با توجه به تمرین (۱۶) در درسنامه، گزینه (۱) صحیح است.

۴۷ اگر اندازه نیرویی که بار q بر Q وارد می‌کند برابر F باشد، بار $3q$ نیرویی به بزرگی $3F$ را بر Q اعمال می‌کند. با توجه به شکل زیر، برابری دو نیروی هم‌جهتی که بارهای $-q$ و $2q$ بر Q وارد می‌کنند، $4F$ می‌شود.

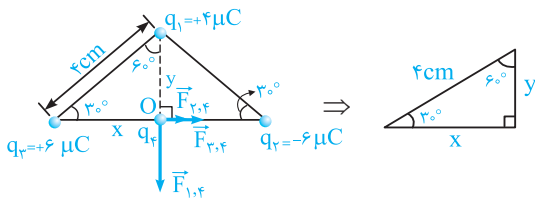
از طرفی برابری نیروهایی که بارهای $2q$ و Q بر بار q وارد می‌کنند، باید همین مقدار باشد تا برابری کل نیروهای وارد شده بر بار q ، بر روی نیمساز زاویه θ و به سمت بالا قرار گیرد.



$$\Rightarrow 4F = F_Q + 2F \Rightarrow F_Q = 2F$$

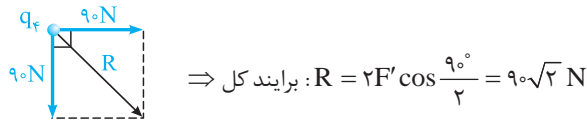
بنابراین اندازه نیروی وارد شده از طرف بار Q بر q دو برابر نیروی وارد شده از طرف بار q بر Q می‌باشد. با توجه به یکسان بودن فاصله تمام بارها از q ، بنابراین بار Q باید برابر $-2q$ باشد (منفی است زیرا باید q را جذب کند).

۴۸ بارهای q_1 و q_3 و q_4 بار q_4 را دفع کرده و بار q_2 آن را جذب می‌کند. در ادامه مطابق شکل نیروهای وارد بر این بار را حساب می‌کنیم:

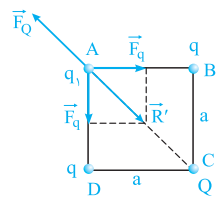
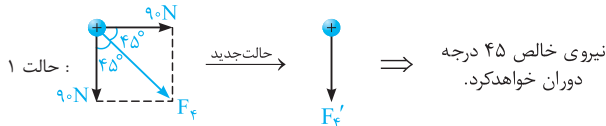


$$\begin{cases} \sin 60^\circ = \frac{\text{ضلع مقابل}}{\text{وتر}} = \frac{x}{4} = \frac{\sqrt{3}}{2} \Rightarrow x = 2\sqrt{3} \text{ cm} \\ \cos 60^\circ = \frac{\text{ضلع مجاور}}{\text{وتر}} = \frac{y}{4} = \frac{1}{2} \Rightarrow y = 2 \text{ cm} \end{cases}$$

$$\begin{cases} F_{1,4} = \frac{k|q_1||q_4|}{y^2} = \frac{9 \times 10^9 \times (4 \times 10^{-6})(1 \times 10^{-6})}{(2 \times 10^{-2})^2} = 90 \text{ N} \\ F_{2,4} = F_{3,4} = \frac{k|q_2||q_4|}{x^2} = \frac{9 \times 10^9 \times (6 \times 10^{-6})(1 \times 10^{-6})}{(2\sqrt{3} \times 10^{-2})^2} = 45 \text{ N} \Rightarrow F'_{2,4} = F'_{3,4} = 45 + 45 = 90 \text{ N} \end{cases}$$



۴۹ در سؤال قبل اگر علامت q_2 قرینه شود، نیروی ناشی از q_2 و q_3 یکدیگر را خنثی خواهند کرد و در مجموع تنها یک نیروی قائم باقی خواهد ماند. با توجه به این موضوع، جهت نیروی وارد بر q_4 به اندازه 45° درجه تغییر خواهد کرد.



۵۰ ابتدا فرض می‌کنیم که علامت بار Q و q_1 مثبت باشد. در شکل مقابل بار الکتریکی Q ، بار q_1 را با نیروی \vec{F}_Q دفع می‌کند. اگر بار q_1 توسط بارهای q نیز دفع شود، در این صورت امکان ندارد که برایند نیروهای وارد بر این بار صفر شود (چرا؟)، بنابراین بار q_1 توسط بارهای q جذب می‌شود. به بیان دیگر بارهای Q و q مختلف‌العلامت هستند و برایند دو نیروی \vec{F}_Q (یعنی \vec{R}') را خنثی می‌کند.

$$\begin{cases} \text{قانون کولن: } F = \frac{k|q_1||q_2|}{r^2} \Rightarrow F_q = \frac{k|q||q_1|}{a^2} \\ \text{محاسبه } |\vec{R}'| \text{ و } |\vec{F}_Q|: \\ F_q = R' = 2F_q \cos(45^\circ) = \sqrt{2}F_q \Rightarrow R' = \frac{\sqrt{2}k|q||q_1|}{a^2} \end{cases}$$

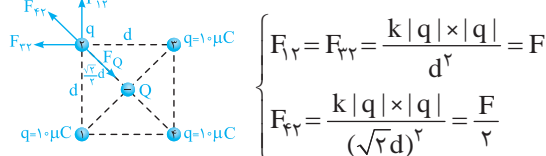
$$\text{محاسبه } F_Q: \begin{cases} \text{ضلع مربع} = \sqrt{2} \times \text{مربع} \Rightarrow r = \sqrt{2}a \\ \text{قانون کولن: } F = \frac{k|q_1||q_2|}{r^2} \Rightarrow F_Q = \frac{k|Q||q_1|}{2a^2} \end{cases}$$

(بارهای Q و q ناهم‌نام هستند.) $\Rightarrow F_Q = R' \Rightarrow \frac{k|Q||q_1|}{2a^2} = \frac{\sqrt{2}k|q||q_1|}{a^2} \Rightarrow \left| \frac{Q}{q} \right| = 2\sqrt{2} \Rightarrow \frac{Q}{q} = -2\sqrt{2}$

دقت: نیروی \vec{F}_Q در راستای قطر مربع است. از طرفی به دلیل هم‌اندازه بودن نیروهای \vec{F}_q ، نیروی \vec{R}' نیز در راستای قطر مربع می‌باشد. بنابراین نیروهای \vec{R}' و \vec{F}_Q در راستای یکدیگر می‌باشند.

حال اگر علامت بار Q را منفی فرض کنیم، علامت بار q باید مثبت باشد (به عنوان تمرین مشابه روند فوق بررسی کنید)، بنابراین هریک از گزینه‌های (۱) و (۲) می‌تواند صحیح باشد. در هر دو حالت اندازه بار Q باید $2\sqrt{2}$ برابر اندازه بار q باشد ($\frac{Q}{q} = -2\sqrt{2}$).

۵۱ ذره Q تحت اثر نیروی بارهای $10\mu\text{C}$ متعادل است و کفایت تعادل یکی از بارهای $10\mu\text{C}$ را فرض کرده‌ایم: برای تعادل، علامت بار Q باید منفی باشد تا نیروهای نشان داده شده در نهایت یکدیگر را خنثی کنند (بار q را فرض کرده‌ایم):



$$F_{\text{ق}} \text{ و } F_{\text{ج}} \text{ و } F_{\text{ب}} \text{ : برابند } R = F\sqrt{2} + F_{\text{ق}} = F\sqrt{2} + \frac{F}{\sqrt{2}} = F\left(\sqrt{2} + \frac{1}{\sqrt{2}}\right) = \frac{k|q| \times |q|}{d^2} \left(\sqrt{2} + \frac{1}{\sqrt{2}}\right)$$

برایند نیروهای عمود بر هم $F_{\text{ق}}$ و $F_{\text{ج}}$

حال برایند فوق را نیروی F_Q باید خنثی کند و داریم:

$$F_Q = R \Rightarrow \frac{k|Q| \times |q|}{\left(\frac{\sqrt{2}}{2}d\right)^2} = \frac{k|q| \times |q|}{d^2} \times \left(\sqrt{2} + \frac{1}{\sqrt{2}}\right)$$

$$|Q| = |q| \left(\frac{\sqrt{2}}{2} + \frac{1}{2}\right) = 10 \left(\frac{\sqrt{2}}{2} + \frac{1}{2}\right) = 9.5 \mu\text{C} \Rightarrow Q = -9.5 \mu\text{C}$$

این سؤال را در دو حالت بررسی می‌کنیم:

حالت اول: ابتدا نیروی الکتریکی بین دو گلوله را به دست می‌آوریم:

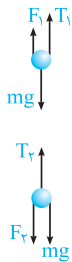
$$F = k \frac{|q_A||q_B|}{r^2} = \frac{9 \times 10^9 \times 10^{-6} \times 0.5 \times 10^{-6}}{9 \times 10^{-4}} = 5 \text{ N}$$

چون بار گلوله‌های A و B مثبت است، نیروی الکتریکی وارد بر گلوله B به سمت بالا می‌باشد (دافعه)، اما وزن آن (mg) همیشه رو به پایین است.

$$F_1 + T_1 = mg \Rightarrow 5 + T_1 = 2 \times 10 \Rightarrow T_1 = 15 \text{ N}$$

حالت دوم: در این حالت با منفی شدن بار گلوله A، گلوله‌های A و B یکدیگر را جذب کرده و در نتیجه نیروی الکتریکی وارد بر بار B به سمت پایین می‌شود ولی با توجه به ثابت بودن اندازه بارها و فاصله بین آنها اندازه این نیروی الکتریکی تغییری نمی‌کند.

$$T_2 = F_2 + mg \Rightarrow T_2 = 5 + (2 \times 10) \Rightarrow T_2 = 25 \text{ N} \Rightarrow \frac{T_2}{T_1} = \frac{25}{15} = \frac{5}{3}$$



۳ ۵۳

نکته: در شکل مقابل اگر گلوله در حالت تعادل باشد، رابطه بین F ، mg و α به صورت زیر است:

$$\begin{cases} \sum F_x = 0 \Rightarrow T \sin \alpha = F \\ \sum F_y = 0 \Rightarrow T \cos \alpha = mg \end{cases} \Rightarrow \tan \alpha = \frac{F}{mg}$$

این نکته در حل دو تست بعد، کاربرد بسیار زیادی دارد.

به بررسی هر یک از گزینه‌ها می‌پردازیم:

گزینه (۱): طبق قانون سوم نیوتون، نیرویی که گلوله A بر B وارد می‌کند، برابر و در خلاف جهت نیرویی است که گلوله B بر A وارد می‌کند، بنابراین $F_A = F_B$ بوده و در خلاف جهت یکدیگر می‌باشد.

گزینه‌های (۲) و (۳): طبق نکته فوق، برای برابر بودن زاویه انحراف دو گلوله از راستای قائم ($\alpha = \beta$)، از آن جا که اندازه نیروی الکتریکی بین دو گلوله یکسان است، باید جرم دو گلوله نیز یکسان باشد.

$$\tan \alpha = \tan \beta \Rightarrow \frac{F_A}{m_A g} = \frac{F_B}{m_B g} \xrightarrow{F_A = F_B} m_A = m_B$$

بنابراین گزینه (۳) صحیح است.

دقت کنید که برابر بودن زاویه انحراف دو گلوله ارتباطی به بار دو گلوله ندارد، چون در هر صورت نیروی الکتریکی بین دو بار یکسان می‌شود.

گزینه (۴): با توجه به نکته فوق و شکل مقابل، برای هریک از گلوله‌های A و B می‌توان نوشت:

$$\begin{cases} \tan \alpha = \frac{F_A}{m_A g} \\ \tan \beta = \frac{F_B}{m_B g} \end{cases} \xrightarrow{F_A = F_B} \frac{\tan \alpha}{\tan \beta} = \frac{m_B}{m_A} \xrightarrow{m_B > m_A} \tan \alpha > \tan \beta \Rightarrow \alpha > \beta$$

برای پاسخ دادن به این سؤال، گام‌های زیر را طی می‌کنیم:

گام اول: به دست آوردن $\tan \alpha$ به کمک روابط مثلثاتی:

$$\text{فینتاغورث: } 39^2 = 15^2 + OA^2 \Rightarrow OA^2 = 39^2 - 15^2 = (39-15)(39+15)$$

$$\Rightarrow OA = \sqrt{24 \times 54} = \sqrt{4 \times 6 \times 6 \times 9} = 2 \times 6 \times 3 = 36 \text{ cm}$$

$$\tan \alpha = \frac{\text{مقابل}}{\text{مجاور}} = \frac{15}{36}$$

$$\tan \alpha = \frac{F}{mg} \Rightarrow \frac{15}{36} = \frac{F}{24 \times 10^{-2} \times 10} \Rightarrow F = 0.1 \text{ N}$$

گام دوم: به دست آوردن نیروی الکتریکی بین دو گلوله (F):

گام سوم: به دست آوردن بار گلوله‌ها با استفاده از قانون کولن:

$$F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2} \quad \frac{|q_1|=|q_2|=|q|}{r=2 \times 15=30 \text{ cm}} \Rightarrow 0.1 = 9 \times 10^9 \times \frac{q^2}{(3 \times 10^{-1})^2} \Rightarrow q^2 = 10^{-12} \Rightarrow q = 10^{-6} \text{ C}$$

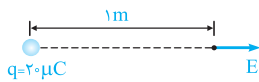
گام چهارم: به دست آوردن تعداد الکترون‌های جدا شده:

$$q = ne \Rightarrow 10^{-6} = n \times (1.6 \times 10^{-19}) \Rightarrow n = 6.25 \times 10^{12}$$

۴ ۵۵ مطابق رابطه $E = \frac{k|q|}{r^2}$ می‌توان نوشت:

$$E = \frac{k|q|}{r^2} \Rightarrow \begin{cases} E \propto |q| \Rightarrow \text{اندازه میدان الکتریکی با اندازه بار الکتریکی نقطه‌ای رابطه مستقیم دارد.} \\ E \propto \frac{1}{r^2} \Rightarrow \text{اندازه میدان الکتریکی با مجذور فاصله از بار الکتریکی رابطه معکوس دارد.} \end{cases}$$

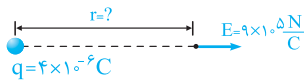
۴ ۵۶ میدان الکتریکی حاصل از بار نقطه‌ای q در فاصله r از آن برابر است با:



$$r = 1 \text{ m}, q = 20 \mu\text{C} = 2 \times 10^{-5} \text{ C} \Rightarrow E = \frac{k|q|}{r^2} = \frac{9 \times 10^9 \times 2 \times 10^{-5}}{(1)^2} = 1.8 \times 10^5 \text{ N/C}$$

۲ ۵۷ با توجه به رابطه $E = \frac{k|q|}{r^2}$ می‌توان نوشت:

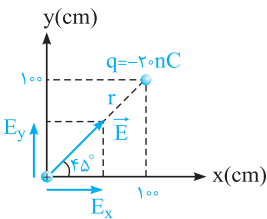
$$\text{کره الکترون از دست داده است. } q = +ne = +2.5 \times 10^{13} \times 1.6 \times 10^{-19} = 4 \times 10^{-6} \text{ C}$$



$$E = 0.9 \text{ MN/C} = 9 \times 10^5 \text{ N/C}$$

$$E = \frac{k|q|}{r^2} \Rightarrow 9 \times 10^5 = \frac{9 \times 10^9 \times 4 \times 10^{-6}}{r^2} \Rightarrow r^2 = \frac{4}{100} \Rightarrow r = 0.2 \text{ m} = 20 \text{ cm}$$

۳ ۵۸ برای پاسخ دادن به این سؤال، گام‌های زیر را طی می‌کنیم:



گام اول: با توجه به شکل، ابتدا فاصله q را تا مبدأ مختصات را به دست آورده و سپس بزرگی میدان ناشی از آن را در مبدأ محاسبه می‌کنیم:

$$r = \sqrt{100^2 + 100^2} = 100\sqrt{2} \text{ cm} = \sqrt{2} \text{ m}$$

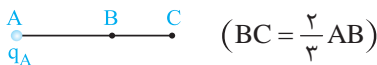
$$E = k \frac{|q|}{r^2} = \frac{9 \times 10^9 \times 20 \times 10^{-9}}{(\sqrt{2})^2} = 90 \text{ N/C}$$

گام دوم: حال با قرار دادن بار مثبت آزمون در مبدأ مختصات، متوجه می‌شویم که جهت میدان الکتریکی در این نقطه به سمت بار q خواهد بود، زیرا بار 20 nC ، بار مثبت آزمون را جذب می‌کند.

گام سوم: در ادامه مؤلفه‌های بردار میدان الکتریکی را در راستاهای افقی و قائم به دست می‌آوریم:

$$\begin{cases} E_x = E \cos 45^\circ = 90 \times \frac{\sqrt{2}}{2} = 45\sqrt{2} \text{ N/C} \\ E_y = E \sin 45^\circ = 90 \times \frac{\sqrt{2}}{2} = 45\sqrt{2} \text{ N/C} \end{cases} \Rightarrow \vec{E} = E_x \vec{i} + E_y \vec{j} = 45\sqrt{2} \vec{i} + 45\sqrt{2} \vec{j}$$

۳ ۵۹ در مقایسه اندازه میدان الکتریکی در نقاط B و C می‌توان نوشت:



$$E = k \frac{|q|}{r^2} \Rightarrow \frac{E_C}{E_B} = \left(\frac{r_B}{r_C}\right)^2 = \left(\frac{AB}{AC}\right)^2 = \left(\frac{AB}{AB+BC}\right)^2 = \left(\frac{AB}{AB+\frac{1}{3}AB}\right)^2 = \frac{9}{25}$$

در ادامه برای پیدا کردن بردار میدان در C ، باید به این موضوع توجه شود که میدان در B و C هم‌جهت است.

$$\vec{E}_C = \frac{9}{25} \vec{E}_B = \frac{9}{25} \times (25 \times 10^9 \vec{i}) = 9 \times 10^9 \vec{i}$$

۲ ۶۰ اگر میدان الکتریکی ۷۵ درصد کاهش یابد، به $\frac{1}{4}$ مقدار اولیه می‌رسد و می‌توان نوشت:

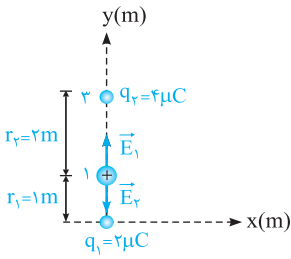
$$E_2 = E_1 - \frac{75}{100} E_1 = \frac{1}{4} E_1$$

$$\frac{E_2}{E_1} = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 \Rightarrow \frac{1}{4} = \left(\frac{r_0}{r_2}\right)^2 \Rightarrow \frac{1}{2} = \frac{r_0}{r_2} \Rightarrow r_2 = 40 \text{ cm}$$

یعنی باید از فاصله 20 cm به فاصله 40 cm منتقل شویم و به عبارتی 20 cm از بار الکتریکی دور شویم.

۲ ۶۱ شعله شمع در حالت نزدیک‌تر به سمت کره (سمت چپ) کشیده می‌شود، در حالی که شعله شمع دورتر تقریباً قائم است. دلیل آن است که کره بار منفی بزرگی دارد که یون‌های مثبت درون شعله شمع در حالت نزدیک را به سمت خود می‌کشد، در حالی که شمع در حالت دور، تحت تأثیر میدان الکتریکی ضعیف‌تری قرار می‌گیرد و تقریباً قائم باقی می‌ماند.

۱ ۶۲ مطابق شکل روبه‌رو، اندازه و جهت میدان الکتریکی حاصل از هریک از بارها را در نقطه مطرح‌شده، به‌دست می‌آوریم:



$$q_1 = 2 \mu\text{C} = 2 \times 10^{-6} \text{C}, \quad r_1 = 1 \text{m}, \quad E_1 = ?$$

$$\Rightarrow E_1 = \frac{k|q_1|}{r_1^2} = \frac{9 \times 10^9 \times 2 \times 10^{-6}}{(1)^2} = 18 \times 10^3 \text{ N/C} \Rightarrow \vec{E}_1 = 18 \times 10^3 \vec{j}$$

$$q_2 = 4 \mu\text{C} = 4 \times 10^{-6} \text{C}, \quad r_2 = 2 \text{m}, \quad E_2 = ?$$

$$\Rightarrow E_2 = \frac{k|q_2|}{r_2^2} = \frac{9 \times 10^9 \times 4 \times 10^{-6}}{(2)^2} = 9 \times 10^3 \text{ N/C} \Rightarrow \vec{E}_2 = -9 \times 10^3 \vec{j}$$

با توجه به آن‌که میدان‌های \vec{E}_1 و \vec{E}_2 در خلاف جهت یکدیگر هستند، بردار برایندها برابر است با:

$$\vec{E}_{\text{برایند}} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 = 18 \times 10^3 \vec{j} + (-9 \times 10^3 \vec{j}) = 9 \times 10^3 \vec{j}$$

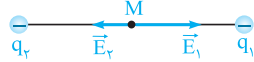
۳ ۶۳ با توجه به تمرین (۲۲) در درسنامه، گزینه (۳) صحیح است.

۴ ۶۴ در هریک از حالت‌های زیر، با قرار دادن بار مثبت آزمون در نقطه M، براینده میدان‌های E_1 و E_2 در

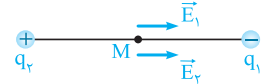
نقطه M به سمت راست است:



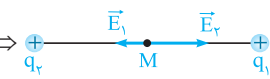
حالت اول: $\begin{cases} q_1 < 0, q_2 < 0 \\ |q_1| > |q_2| \end{cases} \Rightarrow$



حالت دوم: $q_1 < 0, q_2 > 0 \Rightarrow$



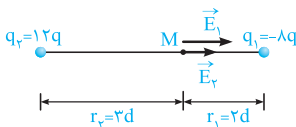
حالت سوم: $\begin{cases} q_1 > 0, q_2 > 0 \\ |q_2| > |q_1| \end{cases} \Rightarrow$



با توجه به حالت‌های فوق، هر سه حالت امکان‌پذیر است، بنابراین گزینه (۴) صحیح است.

۳ ۶۵ اگر اندازه میدان الکتریکی حاصل از بار مثبت q در فاصله d از آن برابر $E = 3 \times 10^5 \text{ N/C}$

باشد، اندازه و جهت میدان الکتریکی هریک از بارهای مقابل در نقطه M برابر است با:



$$\text{می‌دانیم: } \begin{cases} E \propto |q| \\ E \propto \frac{1}{r^2} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \frac{E_2}{E} = \frac{|q_2|}{|q_1|} \times \left(\frac{d}{r_2}\right)^2 = \frac{8q}{12q} \times \left(\frac{d}{2d}\right)^2 = \frac{2}{3} \Rightarrow E_2 = \frac{2}{3}E \text{ (به سمت راست)} \\ \frac{E_1}{E} = \frac{|q_1|}{|q_2|} \times \left(\frac{d}{r_1}\right)^2 = \frac{12q}{8q} \times \left(\frac{d}{2d}\right)^2 = 2 \Rightarrow E_1 = 2E \text{ (به سمت راست)} \end{cases}$$

اکنون با توجه به شکل فوق، می‌توان اندازه براینده میدان‌های الکتریکی را در نقطه M به‌دست آورد:

$$E_M = E_1 + E_2 = 2E + \frac{2}{3}E = \frac{8}{3}E = \frac{10^6}{3} \text{ N/C} \Rightarrow \vec{E}_M = 10^6 \vec{i}$$

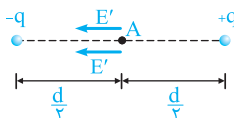
۲ ۶۶ در شکل روبه‌رو، براینده شدت میدان الکتریکی حاصل از بارهای q_1 و q_2 در وسط خط واصل بین دو بار برابر 1000 N/C است:

$$q_1 \leftarrow \frac{r}{2} \rightarrow A \leftarrow \frac{r}{2} \rightarrow q_2 \Rightarrow |\vec{E}_{\text{برایند}}| = |\vec{E}_1 + \vec{E}_2| = 1000 \text{ N/C}$$

از طرفی با توجه به آن‌که $(E \propto |q|)$ ، با دو برابر شدن اندازه هریک از بارهای q_1 و q_2 میدان حاصل از آن‌ها نیز دو برابر می‌شود، بنابراین میدان براینده در نقطه A برابر است با:

$$E'_{\text{برایند}} = |\vec{E}'_1 + \vec{E}'_2| = 2|\vec{E}_1 + \vec{E}_2| = 2 \times 1000 = 2000 \text{ N/C}$$

۳ ۶۷ براینده میدان الکتریکی حاصل از بارها را در هر دو حالت به‌دست می‌آوریم:



حالت اول: اندازه و فاصله دو بار تا نقطه A (وسط دو بار) برابر است، بنابراین اندازه میدان‌های الکتریکی حاصل از

هر یک از دو بار نیز در نقطه A یکسان می‌باشد.

$$E_{\text{برایند}} = E' + E' = E \Rightarrow E' = \frac{E}{2}$$

حالت دوم:

تذکر: با توجه به رابطه $E = k \frac{|q|}{r^2}$ ، با نصف شدن فاصله و دو برابر شدن بار الکتریکی اندازه میدان الکتریکی ۸ برابر می‌شود.

برای $\vec{E} \propto \frac{q}{r^2}$ برابر ۸

برای $\left(\frac{1}{r}\right)^2$ برابر ۲