

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

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

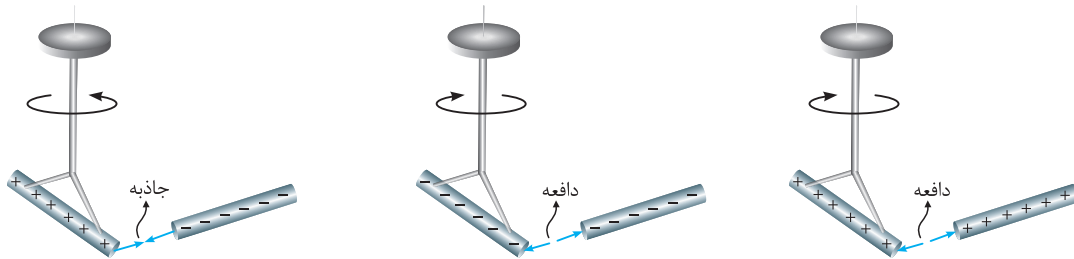
### زیرشاخه‌های بخش اول A

- 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 کنید همگی منشأ الکتریکی دارن ... ما تو این فصل به مطالعه بارها تو حالت سکون می‌پردازیم که به اون الکتریسیته ساکن می‌گن. اول کار هم می‌فوییم به زره 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 بر 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:

- در تجربه‌هایی مانند مالش اجسام به یکدیگر، الکترون‌ها تولید نمی‌شوند و یا از بین نمی‌روند، بلکه صرفاً از جسمی به جسم دیگر منتقل می‌شوند.
- به دست آوردن یا از دست دادن الکترون دو جسم در تماس با یکدیگر را می‌توان براساس جدولی موسوم به **سری الکتريسيته مالشی** (سری تریبولکتريک؛ 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 الکتريسيته مالشی

انتهای مثبت سری
موی انسان
شیشه
نایلون
پشم
موی گربه
شرب
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 ابریشمی مالیده شود، میله شیشه‌ای بار مثبت پیدا کرده و پارچه ابریشمی بار منفی پیدا می‌کند.

کتاب درسی تو پاورقیش به ما قول داده از سری تریبولکتريک سوالی که فرم مفظی داشته باشه، نره. توصیه ما اینه که دو موردی که روی شکل نشون داریم رو متمماً مفظ باشییر ...

- 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 مبادله بار الکتریکی نراره 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.
- 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.  $\rightarrow Z^A X$

- 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 مل پنر تا تمرین توپ و قشنگ، روی این بحث مسلط‌تر میشییم ...

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

$6/25 \times 10^{18}$  (۴)

$6/25 \times 10^{16}$  (۳)

$6/25 \times 10^{15}$  (۲)

$6/25 \times 10^{13}$  (۱)

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

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

$$q = +ne \Rightarrow 10^{-3} = n \times 1/6 \times 10^{-19} \Rightarrow n = \frac{10^{-3}}{1/6 \times 10^{-19}} = 0.625 \times 10^{+16} = 6.25 \times 10^{15} \quad (\text{گزینه ۲})$$

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

- (۱)  $-2 \times 10^{-19}$  (۲)  $2 \times 10^{-19}$   
 (۳)  $-8 \times 10^{-10}$  (۴)  $8 \times 10^{-10}$

**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؟

(برگرفته از کتاب درسی)

**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:

$$q = +ne = +92 \times (1/6 \times 10^{-19}) = +1.472 \times 10^{-17} C$$

۲- در حالت خنثی، تعداد الکترون‌های هسته و پروتون‌های هسته با هم برابر است و می‌توان گفت بار منفی ناشی از الکترون‌ها نیز برابر  $-1.472 \times 10^{-17} C$  می‌باشد.

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

## 2-A آشنایی اولیه با قانون کولن

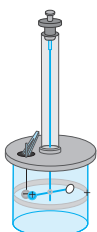
مشاهدات فیزیکی نشان می‌دهد که دو ذره باردار بر یکدیگر نیرو وارد می‌کنند، به گونه‌ای که اگر بار الکتریکی دو ذره هم‌نام (هر دو مثبت و یا هر دو منفی) باشد، آن‌ها یکدیگر را دفع کرده و اگر بار دو ذره ناهم‌نام (یکی مثبت و دیگری منفی) باشد، آن‌ها یکدیگر را جذب می‌کنند.



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

### قانون کولن

با توجه به این قانون، اندازه نیروی الکتریکی (رابطه‌ی 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 کاربرد:**

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

$$F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2} \xrightarrow{\text{تنها کردن } k} k = \frac{Fr^2}{|q_1||q_2|} \equiv \frac{N \cdot m^2}{C^2}, k = 9 \times 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$$

در یک طرف رابطه

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

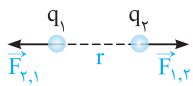
۲ ارتباط بین ثابت کولن ( $k$ ) و ثابت مهم دیگری به نام **ضریب گذردهی الکتریکی خالص** ( $\epsilon_0$ ) به صورت مقابل است:

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

بنابراین یکای  $\epsilon_0$  معکوس یکای  $k$  بوده و معادل با  $\frac{C^2}{N \cdot m^2}$  است. بنابراین:

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 نیروی که ذره (۱) به (۲) وارد میکند و برعکس. 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 نگره سازه بنظر میفومید فلاف جهت هستن ... درشتش اینه که بگیریم

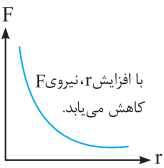
$$\vec{F}_{1,2} = -\vec{F}_{2,1}, |\vec{F}_{1,2}| = |\vec{F}_{2,1}| \text{ یا } F_{1,2} = F_{2,1}$$

که نمیدونید، پروتید که اومدن قدمطلق و یا برداشتن علامت بردار از بالای  $F$ ، دوتا قراردادیه که تو فیزیک اندازه بردار رو بهتون 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:

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



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

۶ نمودار نیروی بین دو ذره بردار برحسب 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:

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

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

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

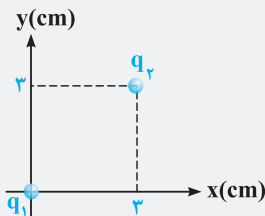
$$F = k \frac{|q_p||q_p|}{r^2} = (9 \times 10^9) \frac{(1.6 \times 10^{-19}) \times (1.6 \times 10^{-19})}{(2 \times 10^{-15})^2} = 57.6 \text{ N}$$

نیرویی که حساب کردیم از جنس دافعه هست و پروتوئای تو هسته فیلی از هم برداشتن میار ... حالا تو سال بعد ایشالا یارتون میدرم کی میار نیمیزاره اینر

پروتونا از هم جدا شن ☺

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

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

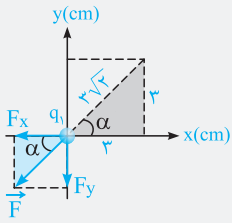


**پاسخ:** ابتدا با توجه به شکل، فاصله بین دو بار الکتریکی و سپس بزرگی نیروی الکتریکی که بار  $q_2$  بر  $q_1$  وارد می کند را به دست می آوریم، توجه شود که چون دو بار هم علامت با یکدیگر هستند، یکدیگر را دفع می کنند (یکایا به SI باید تبدیل شود):

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

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

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:



(مثلث خاکستری)

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

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:

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

(وتر)  $F \sin \alpha =$  ضلع مقابل  $\alpha$

$F \cos \alpha =$  ضلع مجاور  $\alpha$

آه میفوی تو این پور سؤال سه سوت جواب بری، همش با فورث تکرار کن ضلع مقابل  $\alpha$  میشه وتر در  $\sin \alpha$ ، ضلع مجاورش میشه وتر در  $\cos \alpha$  ...

**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:

$$F = \frac{k |q_1| |q_2|}{r^2} \xrightarrow{\text{مقایسه دو حالت}} \frac{F'}{F} = \frac{|q'_2| |q'_1|}{|q_2| |q_1|} \times \left(\frac{r}{r'}\right)^2 \Rightarrow \frac{F'}{F} = \frac{|2q_2| \times |q_1|}{|q_2| |q_1|} \times \left(\frac{d}{2d}\right)^2 = \frac{1}{4} \Rightarrow F' = \frac{1}{4}F \quad (\text{گزینه ۴})$$

### 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:

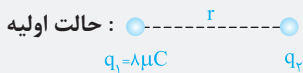
$$d' = d - \frac{20}{100}d = d - \frac{1}{5}d = \frac{4}{5}d$$

حالا برای این‌که موضوع مطرح‌شده رو بهتر درک کنیم، بریم با هم‌دیگه به سؤال خوب ازش حل کنیم ...

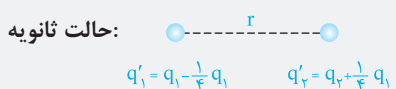
**تمرین ۷:** دو بار الکتریکی هم‌نام  $q_1 = 8 \mu\text{C}$  و  $q_2$  در فاصله  $r$ ، نیروی  $F$  را بر هم وارد می‌کنند. اگر ۲۵ درصد از بار  $q_1$  را برداشته و به  $q_2$  اضافه کنیم، بدون تغییر فاصله بارها از یکدیگر، نیروی متقابل بین آن‌ها ۵۰ درصد افزایش می‌یابد. مقدار اولیه  $q_2$  چند میکروکولن است؟

- (۱) ۱ (۲) ۲ (۳) ۳ (۴) ۴ (سراسری ریاضی ۹۰)

**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 ثانویه:



$$\Rightarrow \begin{cases} q_1' = q_1 - \frac{25}{100} q_1 = q_1 - \frac{1}{4} q_1 = \frac{3}{4} q_1 = \frac{3}{4} \times 8 = 6 \mu\text{C} \\ q_2' = q_2 + \left(\frac{1}{4} \times 8\right) = q_2 + 2 \end{cases}$$

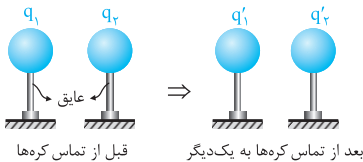
$$\begin{cases} (1): F = \frac{k |q_1| |q_2|}{r^2} = \frac{k (8q_2)}{r^2} \\ (2): F' = \frac{k |q_1'| |q_2'|}{r^2} = \frac{k \times 6 \times (q_2 + 2)}{r^2} = \frac{k (6q_2 + 12)}{r^2} \end{cases}$$

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

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

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

به مدل فیزیکی معروف از سوالی قانون کولن، مربوط به وقتی میشه که پندتا کره رو به هم میزنن و نیروی ینشون رو بررسی میکنن. فیزیکی سوالی باهالیه. بریم ببینیم چه پوری ملشون کنیم ...



برای شروع بحث، دو کره رسانای کوچک و مشابه با قطر یکسان که دارای بارهای  $q_1$  و  $q_2$  می باشد را در نظر بگیرید. می توان 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  $\frac{q_1 + q_2}{2}$  می شود (البته با این فرض که تبادل بار الکتریکی فقط بین دو کره انجام می شود).

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

**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.

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

تو ادامه کار با مل به مثال فوب، این موضوع رو بهتر یاد می گیریم ...

**تمرین ۸:** دو گلوله فلزی کوچک و مشابه که دارای بار الکتریکی می باشند، در فاصله  $30$  سانتی متری، نیروی جاذبه  $4$  نیوتون بر یکدیگر وارد می کنند. 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)

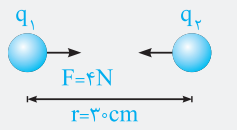
(۲) ۱۰ و -۴

(۱) ۱۲ و -۶

(۴) ۸ و -۲

(۳) ۹ و -۳

**پاسخ:** در شروع حل باید دقت شود که دو کره در ابتدا یکدیگر را جذب می کنند و این یعنی بارهای آن‌ها ناهم نام بوده اند. در ادامه با توجه به اطلاعات سؤال، حاصل ضرب  $|q_1 q_2|$  برابر است با:



$$F = \frac{k |q_1| |q_2|}{r^2} \Rightarrow 4 = \frac{9 \times 10^9 |q_1| |q_2|}{(30 \times 10^{-2})^2} \Rightarrow |q_1 q_2| = 4 \times 10^{-11} \text{ C}^2 = 400 (\mu\text{C})^2 \quad (1)$$

در  $10^{12}$  ضرب کرده ایم.

برای تبدیل  $\text{C}^2$  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 هر یک از آن‌ها برابر  $\frac{q_1 + q_2}{2}$  می شود که برابر  $3 \mu\text{C}$  است.

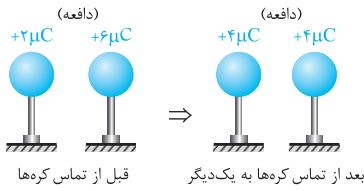
$$\frac{q_1 + q_2}{2} = 3 \mu\text{C} \Rightarrow q_1 + q_2 = 6 \mu\text{C} \quad (2)$$

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

مواستون باشه نیازی نیور معادله (۲) رو به درست بیاریم، از روی معادله (۱) هم به تنهایی میشه گزینه صحیح رو انتخاب کرد.

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

تو ادامه بحث انجام شده، فرض کنی دو کره کوچک مشابه با بارهای  $q_1$  و  $q_2$  که تو فاصله  $r$  از همدیگر قرار دارند، به هم وصل کرده و پس از تبادل بار الکتریکی، بازم تو همون فاصله  $r$  از همدیگر قرار میدی. حالا می‌خوایم نیروی بین این دو کره رو پس از تماس با همدیگر بررسی کنیم. به خاطر همین بریم انواع حالت‌هاش رو بررسی کنیم ...

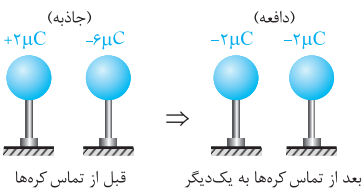


**حالت اول:** اگر بار دو کره هم‌نام و غیر هم‌اندازه باشد، نیروی بین کره‌ها قبل و بعد از تماس دافعه بوده و اندازه نیروی بین دو کره بعد از تماس به یکدیگر بیشتر می‌شود. این موضوع را با یک مثال عددی ساده نشان دادیم:

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

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

**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:



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

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

دقت کنید اگر بار اولیه کره‌ها  $+1\mu C$  و  $-1\mu C$  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.

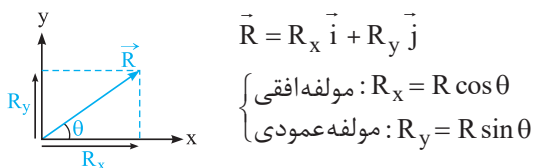
**حالت چهارم:** اگر بار دو کره مشابه، کاملاً یکسان باشد (هم‌اندازه و هم‌علامت)، بار دو کره، قبل و بعد از تماس به یکدیگر یکسان بوده و در نتیجه نیروی بین دو کره تغییر نمی‌کند (خودتان این موضوع را بررسی کنید).

**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 خیلی 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 یک‌به‌صورت زیر نشان داد:



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

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

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

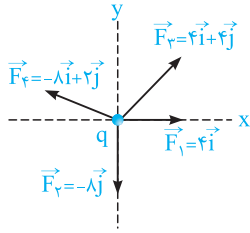
جمع بردارها با کمک بردارهای یک

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:

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

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

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



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

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

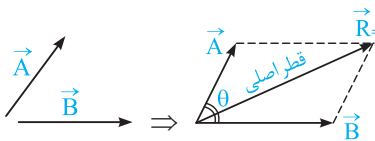
$$\vec{F}_T = [(4 + 0 + 4 + (-4))\vec{i}] + [(0 + (-4) + 4 + 2)\vec{j}] = 0\vec{i} - 2\vec{j}$$

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 میشه، 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) می توان به گونه ای دیگر نیز عمل کرد. در این روش که به روش متوازی الاضلاع معروف است، دو بردار را به گونه ای رسم می کنیم که ابتدای آن ها از یک نقطه باشند، سپس متوازی الاضلاعی رسم می کنیم 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 می شود، معادل برآیند دو بردار می باشد (منظور قطر اصلی است).

**دقت:** در کتاب درسی برآیندگیری برای نیروهای در یک راستا و یا نیروهای عمود بر هم مدنظر می باشد. دو حالت زیر برای تکمیل اطلاعات دانش آموزان علاقه مند آورده شده است و مدنظر کتاب درسی نمی باشد.

۱ اگر زاویه بین دو بردار برابر  $\theta$  باشد، اندازه برآیند آن ها برابر است با:

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

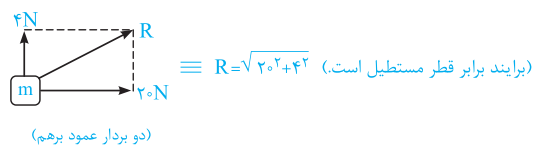
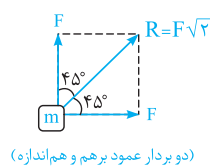
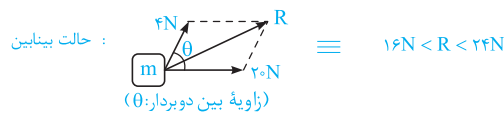
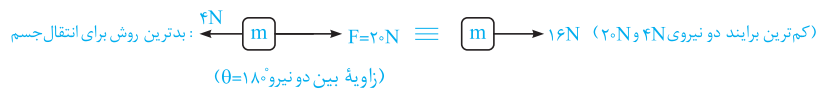
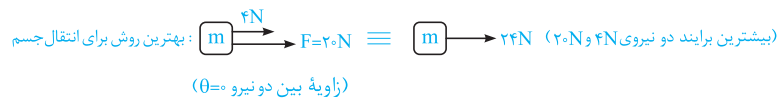
۲ اگر اندازه دو بردار با هم برابر باشد، اندازه بردار برآیند از رابطه ساده شده روبهرو به دست می آید:

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

### نکات بسیار کاربردی در برآیندگیری دو بردار

به طور کلی زمانی که دو بردار هم جهت باشند ( $\theta = 0$ )، اندازه برآیند آن ها حداکثر است و از جمع اندازه های دو بردار به دست می آید و زمانی که مختلف جهت باشند ( $\theta = 180^\circ$ ) اندازه برآیند آن ها حداقل است و از تفاضل اندازه های دو بردار به دست می آید.

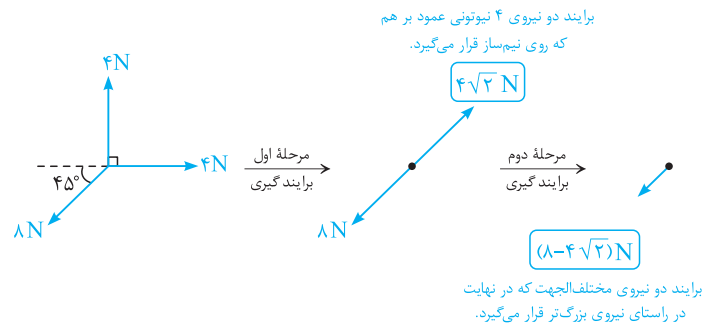
**مثال هایی برای درک بهتر:**



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

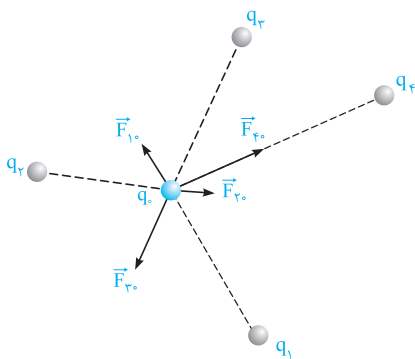


به عنوان مثال در شکل زیر با کمک ایده‌های مطرح شده، برآیند نیروها را یافته‌ایم:



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

تا این‌مای کار قانون کولن را برای دو ذره باردار یاد گرفتیم، حالا سؤال اینه که آگه زرها چندتا باشه چی؟ برای جواب دارن به این موضوع باید مسابلی برآیندگیری بلد باشید ...



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 هریک از ذره‌های دیگر در غیاب سایر ذره‌ها، بر آن ذره وارد می‌کنند (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.

تو ادامه کار، با حل چندتا سؤال متنوع، بر روی این سبک از سؤال‌ها که همواره پای ثابت سؤال‌های کنکور و امتحانات هستن، مسلط میشیم ...

**تمرین ۹:** در شکل روبه‌رو، برآیند نیروهای وارد بر بار الکتریکی نقطه‌ای  $q = 2\mu\text{C}$  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 (برمب‌هم‌نام یا ناهم‌نام بودنشان) به‌دست می‌آوریم:

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

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)

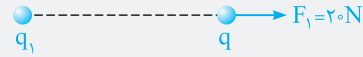
در نهایت با برآیندگیری از نیروهای در خلاف جهت  $F_1$  و  $F_2$ ، به سادگی نیروی برآیند به‌دست می‌آید (نیروها اثر هم‌دیگر را تضعیف می‌کنند):

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

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  $-60\hat{i}$  است.

**تمرین ۱۰:** در سؤال قبل، اگر بار الکتریکی  $q_2$  حذف شود، برآیند نیروهای وارد بر بار الکتریکی نقطه‌ای  $q$  برابر ..... نیوتون شده و تغییر جهت .....  
 (۱)  $8 \times 10^{-6}$  نمی‌دهد (۲)  $2 \times 10^{-6}$  می‌دهد (۳)  $1 \times 10^{-6}$  می‌دهد (۴)  $2 \times 10^{-6}$  نمی‌دهد

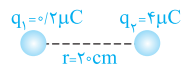
**پاسخ:** در سؤال قبل، با حذف بار الکتریکی  $q_2$ ، تنها نیرویی که بر بار  $q$  وارد می‌شود، ناشی از نیروی دافعه بار  $q_1$  بر آن می‌باشد. با توجه به پاسخ سؤال قبل، این نیرو برابر  $F_1 = 2 \times 10^{-6}$  N و به سمت راست می‌باشد.



بنابراین برآیند نیروهای وارد بر بار  $q$  برابر  $2 \times 10^{-6}$  N 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 می‌پرسد: رمز موفقیت تو سریع‌تر شدن حل سؤالاتی قانون کولن پیه؟ دوتاشو همین الان می‌گیرم ...



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.

$$F = 9 \times 10^9 \times \frac{(2 \times 10^{-6})(4 \times 10^{-6})}{(0.2)^2}$$

شکل نامناسب

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

شکل مناسب

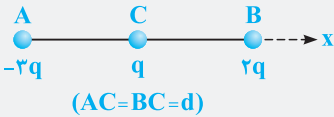
۲ در محاسبات کمی باهوش عمل کنیم. به‌طور مثال اگر در دو حالت زیر، نیرو در حالت (۱) را برابر  $9 \times 10^{-9}$  نیوتون به‌دست می‌آوریم، در حالت دوم تنها یکی از بارها دو برابر شده است و نیرو دو برابر حالت اول است، یعنی  $1/8$  نیوتون و نیازی به انجام محاسبات جدید نیست.

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

حالت دوم:  $F' = 2F = 1/8$  N

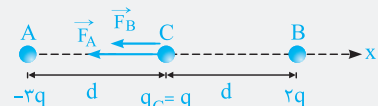
حالا ببریم از این دوتا نکته مهارتیمون کلی استفاده کنیم ...

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



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

- (۱)  $5 \times 10^{-1}$
- (۲)  $5 \times 10^{-1}$
- (۳)  $4 \times 10^{-1}$
- (۴)  $4 \times 10^{-1}$



**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:  $F = \frac{k |q_A| |q|}{d^2} \Rightarrow F_A = 3F \xrightarrow{F=10N} F_A = 30N \Rightarrow \vec{F}_A = -3 \times 10^{-1}$

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

برابر ۲:  $F = \frac{k |q_B| |q|}{d^2} \Rightarrow F_B = 2F \xrightarrow{F=10N} F_B = 20N \Rightarrow \vec{F}_B = 2 \times 10^{-1}$

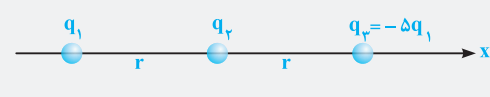
در نهایت با برآیندگیری از نیروهای هم‌جهت به‌دست آمده، داریم:

(گزینه ۲)  $\vec{F}_T = \vec{F}_A + \vec{F}_B \Rightarrow \vec{F}_T = -5 \times 10^{-1}$

**تمرین ۱۲:** در شکل زیر، سه ذره باردار روی محور  $x$  قرار دارند و به بار  $q_2$  نیروی الکتریکی خالص  $F$  وارد می‌شود. اگر بار  $q_3$  روی محور  $x$  به

(سراسری ریاضی ۱۴۰۰ فارج از کشور)

اندازه  $\frac{4r}{5}$  به بار  $q_2$  نزدیک شود، نیروی خالص وارد بر بار  $q_2$  چند برابر  $F$  می‌شود؟



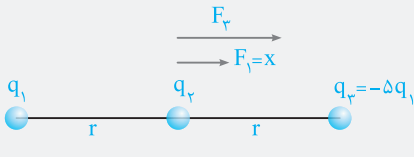
(۲) ۲۱

(۱) ۲۵

(۴) ۲۵/۶

(۳) ۱۳/۳

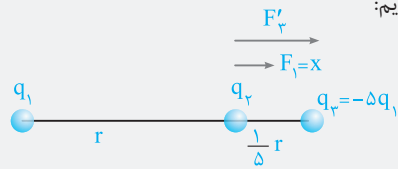
**پاسخ:** فرض می‌کنیم بزرگی نیرویی که بار  $q_1$  در فاصله  $r$  به بار  $q_2$  وارد می‌کند، برابر  $X$  باشد. در این صورت داریم:



$$F = \frac{k|q_1||q_2|}{r^2} \xrightarrow{\text{یکسان است}} \frac{F_2}{F_1} = \frac{|q_2|}{|q_1|} = \delta \Rightarrow F_2 = \delta X$$

$$F_{T_1} = F_1 + F_2 = \epsilon X$$

در حالت دوم بار  $q_3$  به اندازه  $\frac{4r}{\delta}$  به بار  $q_2$  نزدیک می‌شود و فاصله آن تا بار  $q_2$  به  $\frac{1}{\delta}r$  می‌رسد و داریم:

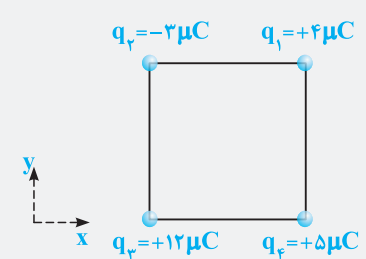


$$F = \frac{k|q_1||q_2|}{r^2} \Rightarrow \frac{F'_2}{F_1} = \frac{|q_2|}{|q_1|} \times \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 = \delta \times \left(\frac{1}{\delta}\right)^2 = \delta \times \frac{1}{\delta^2} = \frac{1}{\delta} \Rightarrow F'_2 = \frac{1}{\delta} X$$

و در نهایت داریم:

$$F_{T_2} = F_1 + F'_2 = \frac{1}{\delta} X \Rightarrow \frac{F_{T_2}}{F_{T_1}} = \frac{\frac{1}{\delta} X}{\epsilon X} = \frac{1}{\delta \epsilon} = 21 \quad (\text{گزینه ۲})$$

**تمرین بعدی** به کم سنگین‌تر از کتاب درسیه، ولی تو امتحانا و کنکورای سخت سر و گلش پیدا میشه ...



**تمرین ۱۳:** مطابق شکل، چهار بار الکتریکی در رأس‌های مربعی به ضلع  $6 \text{ cm}$  قرار دارند. بردار

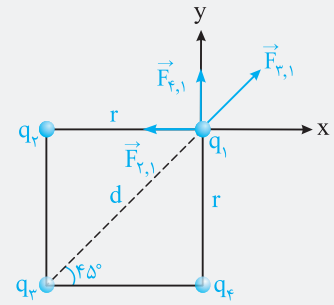
نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار الکتریکی  $q_1$  در  $\text{SI}$  کدام است؟

$$(\sqrt{2} \approx 1/4, k = 9 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2)$$

$$12\vec{i} + 92\vec{j} \quad (۲) \quad -12\vec{i} + 92\vec{j} \quad (۱)$$

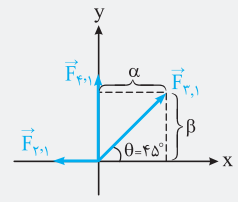
$$42\vec{i} + 6\vec{j} \quad (۴) \quad -42\vec{i} + 6\vec{j} \quad (۳)$$

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



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

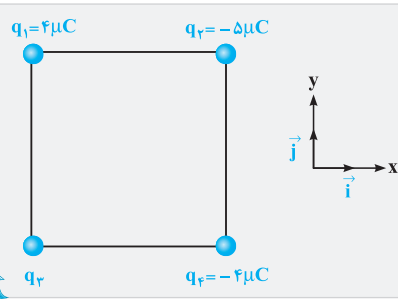
در ادامه با رسم نیروها بر روی محورهای مختصات و با تجزیه بردار  $\vec{F}_{3,1}$  در راستای محورهای  $X$  و  $Y$  داریم (توجه شود که  $\frac{\sqrt{2}}{2} \approx 0.7$  می‌باشد):



$$\begin{cases} \vec{F}_{2,1} = -30\vec{i} + 0\vec{j} \\ \vec{F}_{3,1} = \alpha\vec{i} + \beta\vec{j} \\ \vec{F}_{4,1} = 0\vec{i} + 50\vec{j} \end{cases} \begin{cases} \alpha = F_{3,1} \cos \theta = 60 \cos 45^\circ = 42 \text{ N} \\ \beta = F_{3,1} \sin \theta = 60 \sin 45^\circ = 42 \text{ N} \end{cases} \Rightarrow \vec{F}_{3,1} = 42\vec{i} + 42\vec{j}$$

برایند نیروی:  $\vec{F}_T = \vec{F}_{2,1} + \vec{F}_{3,1} + \vec{F}_{4,1} \Rightarrow \vec{F}_T = (-30 + 42 + 0)\vec{i} + (0 + 42 + 50)\vec{j}$

$\Rightarrow \vec{F}_T = 12\vec{i} + 92\vec{j} \quad (۲) \text{ (گزینه ۲)}$



**تمرین ۱۴:** چهار ذره باردار مطابق شکل در رأس‌های یک مربع به ضلع  $20 \text{ cm}$  قرار دارند. اگر

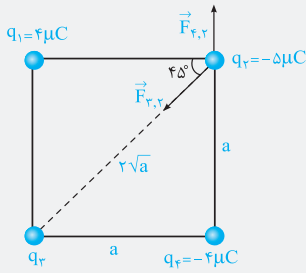
نیروی الکتریکی خالص وارد بر  $q_2$  در  $\text{SI}$  به صورت  $\vec{F} = -9\vec{i}$  باشد، چند میکروکولن

(سراسری ریاضی ۹۸)

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

$$-4 \quad (۱) \quad -8\sqrt{2}$$

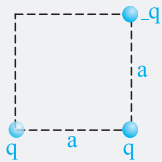
$$8\sqrt{2} \quad (۴) \quad 4 \quad (۳)$$



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

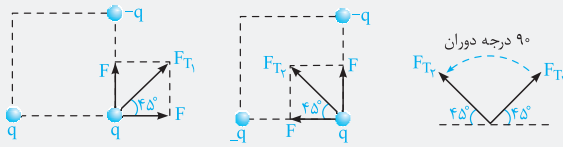
$$\sum F_y = 0 \Rightarrow F_{f,2} \sin 45^\circ = F_{f,2} \Rightarrow \frac{kq_2 q_3}{(\sqrt{2}a)^2} \times \frac{\sqrt{2}}{2} = \frac{kq_2 q_3}{a^2}$$

$$\Rightarrow \frac{\sqrt{2}}{2} q_3 = |q_4| = 4\mu C \Rightarrow |q_3| = \frac{16}{\sqrt{2}} = 8\sqrt{2}\mu C \xrightarrow{q_3 > 0} q_3 = 8\sqrt{2}\mu C \quad (\text{گزینه ۴})$$



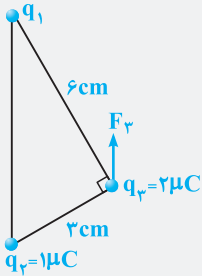
**تمرین ۱۵:** سه ذره باردار، مطابق شکل در گوشه‌های یک مربع قرار دارند. اگر ذره سمت چپ پایینی به جای  $q$ ، بار  $-q$  داشته باشد، جهت نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار سمت راست پایینی نسبت به حالت فعلی:

- (۱) ۹۰ درجه ساعتگرد می‌چرخد.
- (۲) ۹۰ درجه پادساعتگرد می‌چرخد.
- (۳) ۴۵ درجه ساعتگرد می‌چرخد.
- (۴) ۴۵ 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 پایین) به صورت مقابل است: همان‌طور که مشاهده می‌کنید، برآیند نیروهای وارد بر ذره مورد نظر ۹۰ درجه پادساعتگرد دوران خواهد کرد و گزینه (۲) صحیح است.

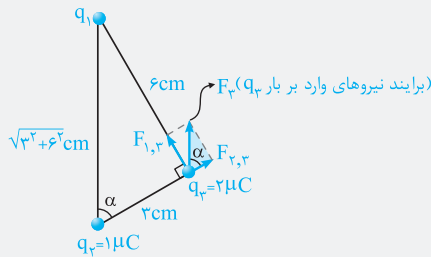
🔗 **مثال می‌فویام** به سؤال توپ و قشنگ که مربوط به کنکور ۹۶ تهری میشه، براتون مل کنیم. فوب به ایره استفاده شده در علش رقت کنیر ...



**تمرین ۱۶:** 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)

- (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  $F_3$  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.

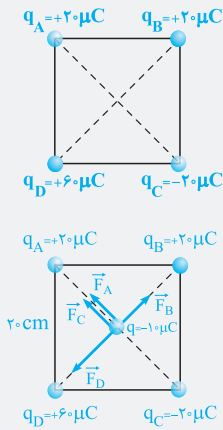
$$\text{مثلث بزرگ سمت چپ: } \cos \alpha = \frac{3}{\sqrt{3^2 + 6^2}} = \frac{3}{3\sqrt{5}} = \frac{1}{\sqrt{5}} \quad (1)$$

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

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

🔗 **پون مقدار  $q_1$  رو نداشتیم، نمیشد  $F_{1,3}$  رو درآورد و بعرض مقدار نیروی برآیند  $F_3$  رو پیدا کرد و میور شرم به کلکی سوار کنیم ...**

**تمرین ۱۷:** 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؟



- (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  $(\frac{20\sqrt{2}}{2})$  بوده و برابر  $10\sqrt{2}$  cm می‌باشد.

$$F_B = \frac{k|q_B||q|}{r^2} = \frac{9 \times 10^9 \times (20 \times 10^{-6}) \times (10 \times 10^{-6})}{(10\sqrt{2} \times 10^{-2})^2} = 90 \text{ N}$$

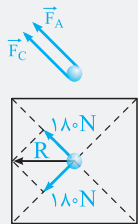
$$F_D = \frac{k|q_D||q|}{r^2} \rightarrow F_D = 3F_B = 270 \text{ N}$$

(در جهت نیروی  $\vec{F}_D$ )  $\Rightarrow R_{B,D} = F_D - F_B = 270 - 90 = 180 \text{ N}$

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

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

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

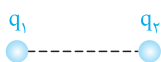


$$R = 2 \times 180 \times \cos \frac{90^\circ}{2} = 180\sqrt{2} \quad (\text{به سمت چپ})$$

همونطور که دیدید، با کمی تیزهوشی، به بای مناسبه پهارتا نیرو، فقط به نیرو رو حساب کردیم و مابقی نیروها رو با توجه به اون به‌دست آوردیم.

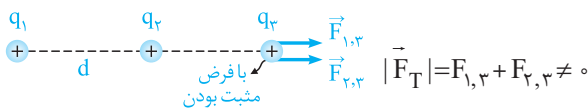
### 6-A صفر شدن نیروی الکتریکی وارد بر ذرات باردار

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

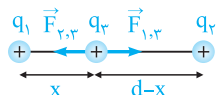


سؤالی که در بسیاری از تست‌های کنکور و سؤالات امتحانی مطرح می‌شود آن است که بار  $q_3$  را در چه مکانی قرار دهیم تا نیروی الکتریکی برآیند وارد بر آن، از طرف بارهای  $q_1$  و  $q_2$  صفر شود. اگر هر سه بار  $q_1$ ،  $q_2$  و  $q_3$  مثبت باشند، تحلیل این موضوع به صورت گام به گام ارائه شده در زیر انجام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



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

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

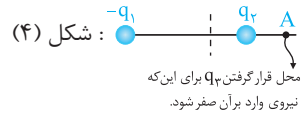
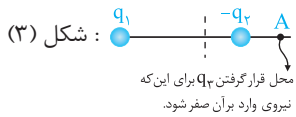
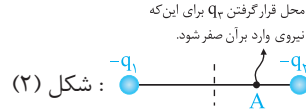
همان‌طور که مشاهده می‌کنید، مقدار و علامت بار  $q_3$ ، تأثیری در به تعادل رسیدن آن ندارد که این موضوع بسیار جالبی است.

یک نتیجه کاربردی

رمز موفقیت تو این قسمت اینه که نکته‌ای که یادتون میریم رو با کوشش 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 به‌دست 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 برابند نیروهای وارد بر بار  $q_3$  را تحلیل کنید):



برای یادگیری و تسلط بیشتر بر روی مفاهیم ارائه شده، با هم‌مدک بریم پندتا سوال ازتون حل کنیم ...

**تمرین ۱۸:** 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؟

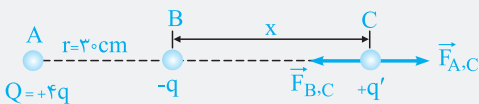
(سراسری قبل از ۹۰)

۶۰ (۴)

۴۵ (۳)

۳۰ (۲)

۱۵ (۱)



**پاسخ:** با توجه به این‌که بار  $-q$  مقدار کوچک‌تری نسبت به  $+4q$  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  $x$  به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

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

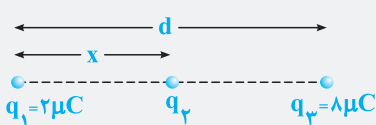
$$\Rightarrow 4x^2 = (30+x)^2 \xrightarrow{\text{جذر}} 2x = 30+x \Rightarrow x = 30\text{cm}$$

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

همون‌طور که دیدید، مقدار و علامت بار  $q'$ ، در به تعادل رسیدن اون نقشی نداره و به عنوان مثال اگر اندازه بار  $q'$  دو برابر بشه هم، مودراً در مثل به‌درست آمده تعادل برایش برقراره ... واقعاً قالب نیست!

**تمرین ۱۹:** سه بار نقطه‌ای مطابق شکل زیر قرار دارند. برابند نیروهای الکترواستاتیکی وارد بر هریک از بارها صفر است. بار  $q_3$  چند میکروکولن است؟

(سراسری تجربی ۹۰ فارغ از کشور)



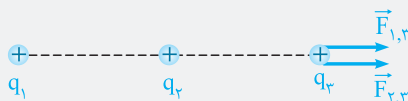
$+ \frac{2}{9}$  (۲)

$-\frac{2}{9}$  (۱)

$+ \frac{8}{9}$  (۴)

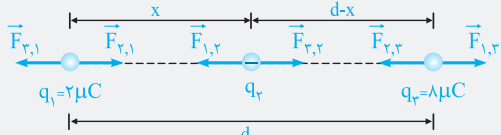
$-\frac{8}{9}$  (۳)

**پاسخ: گام اول:** با توجه به این‌که برابند نیروهای الکترواستاتیکی وارد بر بار  $q_3$  صفر است، نتیجه می‌گیریم بار  $q_2$  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.



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

**گام دوم:** در ادامه نیروهای وارد بر بارها را مشخص می‌کنیم و با توجه به این‌که همه بارها متعادل‌اند، تلاش می‌کنیم  $q_2$  را محاسبه کنیم:



$$F_{1,2} = F_{2,1} \Rightarrow k \frac{2 \mu C q_2}{x^2} = k \frac{\lambda q_2}{(d-x)^2} \Rightarrow 2x^2 = (d-x)^2 \Rightarrow 2x = d-x \Rightarrow x = \frac{d}{3}$$

کنترل شدن برآیند نیروهای وارد بر  $q_2$

$$F_{2,1} = F_{2,3} \Rightarrow k \frac{2 \mu C}{x^2} = k \frac{\lambda \times 2}{d^2} \Rightarrow |q_2| = \frac{\lambda}{9} \mu C \xrightarrow{q_2 < 0} q_2 = -\frac{\lambda}{9} \mu C$$

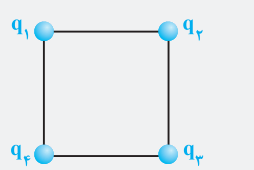
(گزینه ۳)

**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 دیکه از بحث صفر شدن برآیند نیروهای الکتریکی وارد بر به زره تو حالتی که بارها روی به خط قرار ندارند بررسی می‌کنیم. تو این‌جا سوال برای تعادل، کل نیروها بالا فرجه به پوری باید هم‌دیگه رو فنی کنن ...

**تمرین ۲۰:** در شکل زیر، چهار ذره باردار در رأس‌های یک مربع قرار دارند. اگر نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار  $q_3$  برابر صفر باشد، کدام رابطه درست است؟

(سراسری تجربی ۱۴۰۰ خارج از کشور)



$$q_4 = q_2 = -2\sqrt{2}q_1 \quad (1)$$

$$q_4 = q_2 = -\frac{\sqrt{2}}{4}q_1 \quad (2)$$

$$q_4 = q_2 = 2\sqrt{2}q_1 \quad (3)$$

$$q_4 = q_2 = \frac{\sqrt{2}}{4}q_1 \quad (4)$$

**پاسخ: گام اول:** فرض می‌کنیم علامت بار  $q_3$  مثبت باشد و بار  $q_1$  بار  $q_3$  را دفع کند. بدین ترتیب داریم:

$$F_{1,3} = \frac{k|q_1||q_3|}{r^2} = \frac{k|q_1||q_3|}{2a^2}$$

**گام دوم:** برای این‌که برآیند نیروهای وارد شده به  $q_3$  بتواند صفر شود، باید اندازه بارهای  $q_2$  و  $q_4$  برابر باشند و علامت آن‌ها قرینه علامت  $q_1$  باشد. به شکل مقابل دقت کنید:

$$F_{2,3} = \frac{k|q_2||q_3|}{a^2}$$

$$F' = \sqrt{2}F_{2,3} = \sqrt{2} \times \frac{k|q_2||q_3|}{a^2}$$

از آن‌جایی که برآیند نیروهای وارد شده به  $q_3$  صفر است،  $F' = F_{1,3}$  می‌باشد و داریم:

$$\frac{k|q_2||q_3|\sqrt{2}}{a^2} = \frac{k|q_1||q_3|}{2a^2} \Rightarrow |q_2| = \frac{1}{2\sqrt{2}}|q_1| = \frac{\sqrt{2}}{4}|q_1|$$

و از آن‌جایی که  $q_2$  و  $q_4$  هم‌نام بوده و  $q_1$  و  $q_3$  ناهم‌نام هستند، داریم:

$$q_4 = q_2 = -\frac{\sqrt{2}}{4}q_1 \quad (\text{گزینه ۲})$$

الان دیکه وقتشه شما فودتون رو نشون بدید، به خاطر همین به شما توصیه می‌کنیم که تستای ۱ تا ۵۷ از فاز کسب مهارت و تستای ۱۱۴ تا ۱۴۶ از فاز گلگور رو بزیند ...



در تست‌های این فاز که به صورت میکرو طبقه‌بندی ارائه شده است، اولاً به فوبی می‌توانید بر روی درسنامه‌ها مسلط شوید و ثانیاً مهارت‌های زیاری را در هنگام تست‌زنی کسب کنید. این موضوع سبب می‌شود به بهترین شکل فود را برای تست‌های فاز دور ۴ آماده کنید.



## آشنایی با مفهوم بار الکتریکی

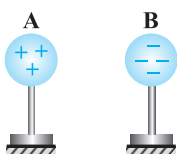
تو شروع کار این فصل، می‌فویم سؤالی رو براتون بیاریم که شما رو با مفهوم پایه‌ای بار الکتریکی آشنا بکنه ...

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  $80 \times 10^{-9} \text{C}$  و  $-4/8 \times 10^{-7} \text{C}$  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  $5 \times 10^{11}$  پروتون و به جسم B تعداد  $3 \times 10^{12}$  الکترون داده‌ایم.
- (۲) از جسم A تعداد  $5 \times 10^{11}$  الکترون و از جسم B تعداد  $3 \times 10^{11}$  پروتون گرفته‌ایم.
- (۳) از جسم A تعداد  $5 \times 10^{11}$  الکترون گرفته‌ایم و به جسم B تعداد  $3 \times 10^{12}$  الکترون داده‌ایم.
- (۴) از جسم A تعداد  $8 \times 10^{11}$  الکترون گرفته‌ایم و به جسم B تعداد  $48 \times 10^{11}$  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 تریبو الکتریک، شیشه بالاتر از ابریشم قرار دارد).

- (۱)  $2 \times 10^{-19}$
- (۲)  $-2 \times 10^{-19}$
- (۳)  $8 \times 10^{-19}$
- (۴)  $-8 \times 10^{-19}$

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

- (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  $+2 \mu\text{C}$  و جسم B دارای بار  $-2 \mu\text{C}$  شود.
- (۲) حالتی که در آن جسم A دارای بار  $-2 \mu\text{C}$  و جسم B دارای بار  $+2 \mu\text{C}$  شود.
- (۳) حالتی که در آن جسم A دارای بار  $-2 \mu\text{C}$  و جسم B نیز دارای بار  $-2 \mu\text{C}$  شود.
- (۴) حالتی که در آن جسم A و جسم B در پایان آزمایش خنثی باقی بمانند.

۶- در یک اتم دو بار مثبت ( $X^{2+}$ )، اندازه بار الکتریکی الکترون‌های آن برابر  $4/8 \times 10^{-18} \text{C}$  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

راستی میدونید سری الکتریسیته مالش (سری تریبو الکتریک) چیه؟! تو سؤالی بعدی با این موضوع سروکله می‌زنیم ...

۷- در شکل مقابل، جدول سری الکتریسیته 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)

انتهای مثبت سری
A
B
C
D
انتهای منفی سری

- (۱) دو جسم A و C هم‌دیگر را دفع می‌کنند.
- (۲) دو جسم B و D هم‌دیگر را جذب می‌کنند.
- (۳) دو جسم A و D هم‌دیگر را دفع می‌کنند.
- (۴) دو جسم B و C هم‌دیگر را دفع می‌کنند.



۸- 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 الکتریسیته 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

۹- 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 الکتریسیته مالشی، کدام گزینه الزاماً درست است؟

انتهای مثبت سری
شیشه
نایلون
پشم
انتهای منفی سری

$$q_A = q_B \quad (۱)$$

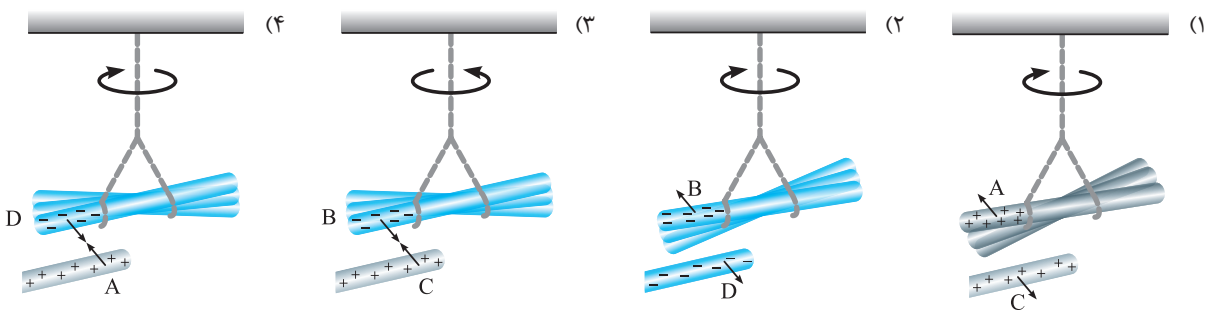
$$q_C = q_A + q_B \quad (۲)$$

$$q_C = -q_A \quad (۳)$$

$$-q_C = q_A + q_B \quad (۴)$$

انتهای مثبت سری
A
B
C
D
انتهای منفی سری

۱۰- با توجه به سری الکتریسیته مالشی داده شده، میله A را با میله B و میله C را با میله D مالش می‌دهیم. کدام یک از شکل‌های زیر، جهت چرخش میله آویخته شده، نیروی بین میله‌ها و بار الکتریکی آن‌ها را پس از مالش دادن به یکدیگر، به درستی نشان نمی‌دهد؟ (تألیفی)



### آشنایی اولیه با قانون کولن

ملا می‌فوییم بریم سرخ 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)

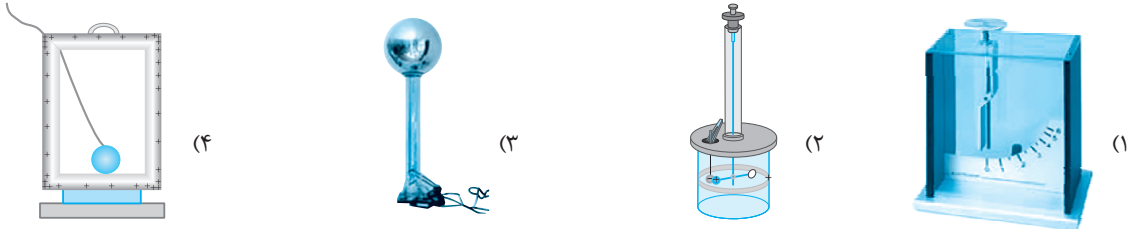
- (۱) اندازه بار هر یک از آن‌ها - مجذور فاصله بین آن‌ها
- (۲) اندازه بار هر یک از آن‌ها - فاصله بین آن‌ها
- (۳) مجذور اندازه بار هر یک از آن‌ها - فاصله بین آن‌ها
- (۴) مجذور اندازه بار هر یک از آن‌ها - مجذور فاصله آن‌ها



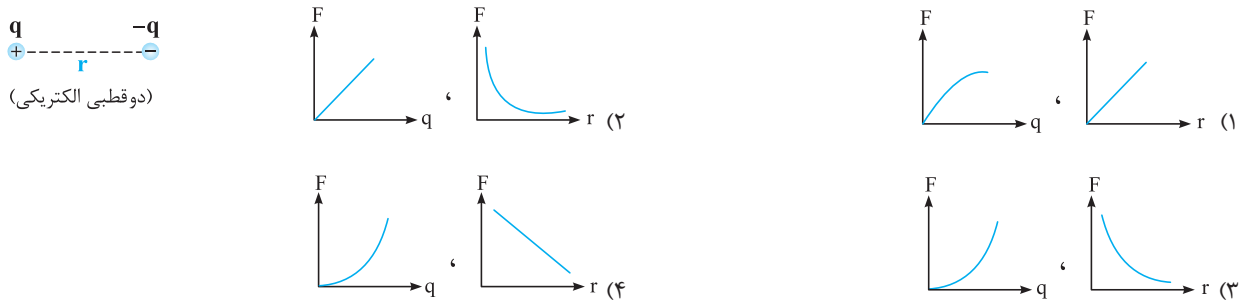
۱۲- یکای  $k$  (ثابت کولن) و  $\epsilon_0$  (ضریب گذردهی الکتریکی در خلأ) در SI به ترتیب از راست به چپ کدام است؟

(۱)  $\frac{C^2}{N.m^2}, \frac{N.m^2}{C^2}$  (۲)  $\frac{C}{N.m}, \frac{N.m}{C}$  (۳)  $\frac{N.m^2}{C^2}, \frac{C^2}{N.m^2}$  (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 ذرهٔ 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 فاصلهٔ بین آن‌ها و برحسب اندازهٔ بار الکتریکی  $q$  به درستی نشان می‌دهد؟



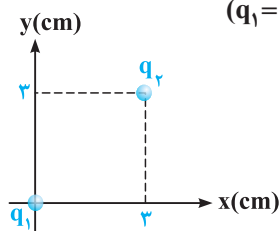
۱۵- بار الکتریکی ۵ میکروکولنی را در چند سانتی‌متری از یک بار ۴ میکروکولنی قرار دهیم تا بر آن نیروی ۱۸ نیوتون را وارد کند؟ (سراسری قبل از ۹۰)

- (۱) ۱ (۲) ۳/۱۴ (۳) ۱۰ (۴) ۹

۱۶- دو ذرهٔ باردار با بارهای مثبت در فاصلهٔ 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؟ ( $k = 9 \times 10^9 \text{ N.m}^2 / \text{C}^2$ )

- (۱) ۸ و ۷ (۲) ۶ و ۹ (۳) ۵ و ۱۰ (۴) ۳ و ۱۲

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

۱۸- دو بار نقطه‌ای  $q$  و  $2q$  به فاصلهٔ  $d$  از یکدیگر بر روی محور  $x$  قرار دارند. اگر بار  $q$  بر بار  $2q$  نیروی  $\vec{F} = +10\vec{i}$  را در SI وارد کند،

بار  $2q$  بر بار  $q$  چه نیرویی وارد خواهد کرد؟

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

۱۹- در شکل روبه‌رو، دو گوی مشابه و کوچک به جرم  $9 \text{ gr}$  و بار یکسان مثبت  $q$  در فاصلهٔ ۱cm از هم قرار دارند، به طوری که گوی بالایی به حالت معلق مانده است. تعداد الکترون‌های کنده‌شده از هر گوی چه قدر

است؟ ( $g = 10 \text{ N/kg}, e = 1/6 \times 10^{-19} \text{ C}$ ) (کتاب درسی)



- (۱)  $6/25 \times 10^{14}$  (۲)  $6/25 \times 10^{10}$   
 (۳)  $2/25 \times 10^{12}$  (۴)  $2/25 \times 10^{14}$

۲۰- ذره A به جرم  $m$  و بار الکتریکی  $q$  و ذره B به جرم  $2m$  و بار الکتریکی  $2q$  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؟

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

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

تو ازماء کن، بریم ببینیم تغییر پارامترهای مختلف چه بری باعث تغییر نیروی کولنی میشه. تو این قسمت، پیزی 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  $a \times 10^{-4}$  از هم قرار دارند. اندازه نیرویی که پروتون‌ها در هسته اتم هلیم بر هم وارد می‌کنند، چند برابر نیروی بین الکترون و پروتون در هسته اتم هیدروژن است؟

(برگرفته از کتاب درسی)

- (۱)  $5 \times 10^6$  (۲)  $5 \times 10^7$  (۳)  $2/5 \times 10^6$  (۴)  $2/5 \times 10^7$

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؟

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

۲۳- بار الکتریکی ۸ میکروکولنی از فاصله  $r$  بر بار ۲ میکروکولنی نیروی  $F$  را وارد می‌کند. بار ۲ میکروکولنی در چه فاصله‌ای بر بار ۸ میکروکولنی نیرویی با اندازه  $2F$  وارد می‌کند؟

(سراسری قبل از ۹۰)

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

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 ۹۰)

- (۱) ۱۵ (۲) ۱۶ (۳) ۲۰ (۴) ۲۵

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؟

- (۱)  $\frac{5}{4}$  (۲)  $\frac{4}{5}$  (۳)  $\frac{4}{25}$  (۴)  $\frac{16}{25}$

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؟

- (۱)  $q_1 < \sqrt{2}q_2$  (۲)  $q_1 > \sqrt{2}q_2$  (۳)  $q_1 < 2q_2$  (۴)  $q_1 > 2q_2$

۲۷- نیروی دافعه بین دو بار الکتریکی نقطه‌ای مشابه در فاصله  $r$  از هم برابر با  $2N$  است. اگر به یکی از بارها  $2\mu C$  اضافه کنیم این نیروی دافعه در همین فاصله برابر  $3N$  می‌شود. اندازه اولیه هر یک از این بارهای الکتریکی چند میکروکولن بوده است؟

(سراسری قبل از ۹۰)

- (۱) ۲ (۲) ۴ (۳) ۶ (۴) ۸

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

حالا بریم سراغ بحث اتصال دو کره به هم و تمایل نیروی کولنی بین اون‌ها. تستای این زیرشافه هم، تو سال‌های اخیر پرتکرار بوده. راستی می‌دونید ایده اصلی مل این‌جور سؤالا چیه؟

۲۸- دو گوی فلزی مشابه روی پایه‌های عایق قرار دارند. بار الکتریکی یکی از گوی‌ها  $4\mu C$ - و بار دیگری  $6\mu C$ + 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. ( $e = 1.6 \times 10^{-19} C$ )

- (۱)  $5, 3/125 \times 10^{13}$  (۲)  $1, 6/25 \times 10^{12}$  (۳)  $1, 3/125 \times 10^{13}$  (۴)  $5, 6/25 \times 10^{12}$

۲۹- 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  $r = 30\text{cm}$

(کتاب درسی)

از هم دور می‌کنیم. نیروی برهم‌کنش الکتریکی بین دو گوی در حالت جدید:  $(k = 9 \times 10^9 \text{N.m}^2 / \text{C}^2)$

- (۱)  $100$  نانونیوتون و از نوع رانشی است.  
 (۲)  $400$  نانونیوتون و از نوع ربایشی است.  
 (۳)  $400$  نانونیوتون و از نوع رانشی است.  
 (۴)  $100$  نانونیوتون و از نوع ربایشی است.

۳۰- 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؟

- (۱) بار دو کره هم‌نام و هم‌اندازه است.  
 (۲) بار دو کره ناهم‌نام بوده و هم‌اندازه نیست.  
 (۳) بار دو کره هم‌نام بوده و هم‌اندازه نیست.  
 (۴) بار دو کره ناهم‌نام و هم‌اندازه است.

۳۱- 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 ۹۰)

$F > F'$  (۱)  $F < F'$  (۲)

$F = F'$  (۳) (۴) بسته به شرایط، هر کدام ممکن است صحیح باشد.

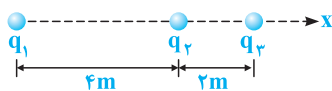
۳۲- در سؤال قبل، اگر قبل از تماس دادن دو کره به یک‌دیگر، بار الکتریکی آن‌ها هم‌نام و نامساوی باشند، آن‌گاه کدام رابطه بین  $F$  و  $F'$  برقرار است؟

$F > F'$  (۱)  $F' > F$  (۲)

$F = F'$  (۳) (۴) با توجه به شرایط، هر یک از سه گزینه ممکن است صحیح باشد.

### محاسبه نیروی کولنی بین چند بار الکتریکی واقع در یک راستا

علا می‌نویسم برهم روی براینر نیروهای وارد بر یک زره، تو مانتی که بارهای الکتریکی روی یه راستا هستن، لکر کنیم. بعضی سؤالا، ایره‌هاشون فیلی قشنگ و پریره ...



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

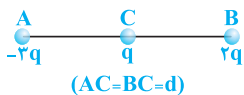
و بر روی محور  $x$  ثابت شده‌اند. بردار نیروی الکتریکی وارد بر بار  $q_3$  در  $SI$

(سراسری قبل از ۹۰)

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

$-6/5 \times 10^{-3} \vec{i}$  (۱)  $7/5 \times 10^{-3} \vec{i}$  (۲)  $10/5 \times 10^{-3} \vec{i}$  (۳)  $-11/5 \times 10^{-3} \vec{i}$  (۴)

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

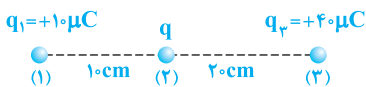


$\Delta F$  (۱) به طرف راست  $\Delta F$  (۲) به طرف چپ

$4F$  (۳) به طرف چپ  $4F$  (۴) به طرف راست

۳۵- در شکل مقابل، بار  $q$  چند میکروکولن باشد تا بزرگی برابری نیروهای وارد بر بارهای (۱) و

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



$20$  (۲)  $10$  (۱)

$30$  (۳) (۴) هر مقدار دلخواهی می‌تواند باشد.

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

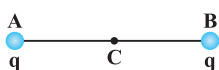
بار  $q_1$ ، بار  $q_2$  را با نیروی الکتریکی  $F$  دفع کند و بزرگی برابری نیروهای وارد بر بار  $q_3$

برابر  $F/3$  و به سمت چپ باشد، نسبت  $q_1/q_2$  کدام است؟

$1/6$  (۱)  $-1/6$  (۲)  $-6$  (۳)  $6$  (۴)

۳۷- مطابق شکل، بارهای الکتریکی هم‌نام و هم‌اندازه  $q$  در نقاط  $A$  و  $B$  ثابت شده‌اند. اگر بار الکتریکی  $q$  بر روی عمودمنصف پاره‌خط

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



(۱) ابتدا کاهش، سپس افزایش می‌یابد. (۲) ابتدا افزایش، سپس کاهش می‌یابد.

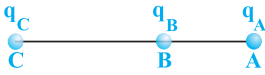
(۳) همواره افزایش می‌یابد. (۴) همواره کاهش می‌یابد.



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

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

۳۸- 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،



(۲)  $q_B \cdot q_A$

(۱)  $q_C \cdot q_A$

(۳)  $q_C \cdot q_B$

(۴) ممکن است هر سه بار هم نام باشند.

کدام بارها الزاماً غیرهم نام اند؟

۳۹- 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 برحسب

(سراسری قبل از ۹۰)

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

(۲) ۳۰

(۱) ۱۵

(۴) ۶۰

(۳) ۴۵

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

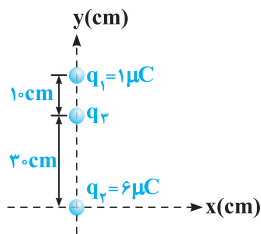
(۴) ۶۰

(۳) ۴۵

(۲) ۳۰

(۱) ۱۵

۴۱- در شکل روبه‌رو سه ذره الکتریکی نشان داده شده، بر روی محور y قرار گرفته‌اند. بار الکتریکی  $q_2$  را



چند میکروکولن و چگونه تغییر دهیم تا بار الکتریکی  $q_3$  متعادل شود؟ (از وزن بارها صرف نظر شود.)

(۲)  $3\mu\text{C}$  از آن کم کنیم.

(۱)  $3\mu\text{C}$  به آن بیافزاییم.

(۴) در وضعیت فعلی بار  $q_3$  متعادل است.

(۳)  $4\mu\text{C}$  به آن بیافزاییم.

۴۲- 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؟



(۲) و (۴)

(۱) فقط (۴)

(۴) و (۱)

(۳)، (۴) و (۲)

۴۳- دو بار الکتریکی  $q_1 = +4\mu\text{C}$  و  $q_2 = -16\mu\text{C}$  در فاصله  $60\text{cm}$  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؟

(۴)  $120, -16$

(۳)  $120, +16$

(۲)  $60, -16$

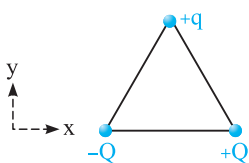
(۱)  $60, +16$



**برابری 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 برابری نیروها تو این حالت هم، عین حالت هم امتزاده.

۴۴- 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؟



(سراسری قبل از ۹۰، با تغییر)

(۲)  $+1\vec{i}$

(۱)  $-1\vec{i}$

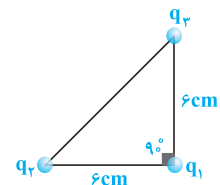
(۴)  $+1\vec{j}$

(۳)  $-1\vec{j}$

۴۵- در شکل مقابل، سه ذره با بارهای  $q_1 = q_2 = q_3 = 4\mu\text{C}$  در سه رأس یک مثلث قائم‌الزاویه ثابت شده‌اند.

برابری نیروهای الکتریکی وارد بر  $q_1$  ..... نیوتون و اگر تنها علامت بار  $q_2$  قرینه شود، بزرگی برابری نیروهای

وارد بر  $q_1$  ..... و تغییر جهت ..... ( $k = 9 \times 10^9 \text{ N.m}^2 / \text{C}^2$ )



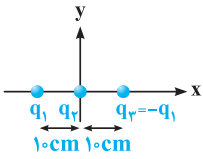
(۲)  $20\sqrt{2}$ ، ثابت می‌ماند، نمی‌دهد

(۱)  $40\sqrt{2}$ ، تغییر کرده، می‌دهد

(۴)  $40\sqrt{2}$ ، ثابت می‌ماند، می‌دهد

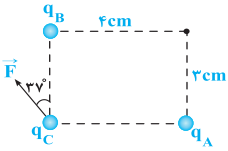
(۳)  $20\sqrt{2}$ ، تغییر کرده، نمی‌دهد

۴۶- 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  $10\text{ cm}$  روی محور y جابه‌جا کنیم، بزرگی نیروی وارد بر بار  $q_2$  چند برابر  $F$  خواهد شد؟ (سراسری قبل از ۹۰، با تغییر)



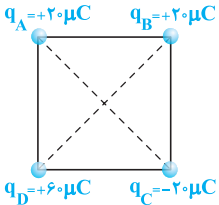
- (۱)  $\frac{1}{2}$  (۲) ۱ (۳)  $\frac{\sqrt{2}}{4}$  (۴)  $\frac{\sqrt{2}}{2}$

۴۷- در شکل مقابل، در سه رأس از مستطیل بارهای  $q_A$ ،  $q_B$  و  $q_C$  قرار داده شده‌اند. اگر بردار نیروهای الکتریکی وارد بر بار  $q_C$  از طرف دو بار  $q_A$  و  $q_B$  برابر نیروی نشان داده شده  $(\vec{F})$  باشد، در این صورت نسبت  $\frac{q_A}{q_B}$  کدام است؟ ( $\sin 37^\circ = 0.6$ )



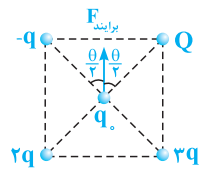
- (۱)  $\frac{4}{3}$  (۲)  $-\frac{4}{3}$  (۳)  $\frac{16}{9}$  (۴)  $-\frac{16}{9}$

۴۸- در چهار رأس یک مربع به ضلع  $20$  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 قبل از ۹۰)



- (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

۴۹- 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؟

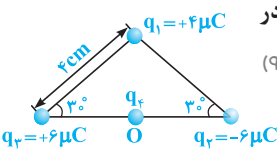


- (۱)  $2q$  (۲)  $q$  (۳)  $-2q$  (۴)  $-q$

۵۰- چهار بار الکتریکی مثبت و هم‌اندازه  $q$  در رأس‌های یک مربع به ضلع  $d$  قرار دارند. اندازه نیرویی که از طرف بارهای دیگر بر یکی از آن‌ها وارد می‌شود، چند  $\frac{kq^2}{rd^2}$  است؟ ( $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$  و اندازه‌ها در SI است.) (سراسری قبل از ۹۰)

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

۵۱- سه بار نقطه‌ای مطابق شکل در سه رأس یک مثلث ثابت شده‌اند. نیروی وارد بر بار  $q_4 = 1\mu\text{C}$  واقع در نقطه  $O$ ، در وسط خط واصل دو بار  $q_2$  و  $q_3$  چند نیوتون است؟ (سراسری قبل از ۹۰)



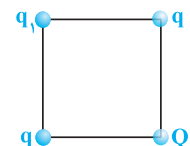
- (۱) ۴۵ (۲) ۹۰ (۳)  $90\sqrt{2}$  (۴)  $45\sqrt{3}$

۵۲- 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

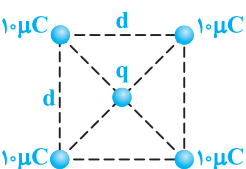
بررسی صفر شدن برایند نیروها، تو حالت بارهای غیرهم‌راستا هم نکات جالبی دراره که تو ادامه دو تا سؤال خیلی مهم رو ارزش بررسی می‌کنیم ...

۵۳- چهار بار الکتریکی مطابق شکل در رئوس مربع قرار دارند. اگر برایند نیروهای وارد شده بر بار  $q_1$  صفر باشد، کدام‌یک از عبارتهای زیر نادرست است؟ (سراسری قبل از ۹۰)



- (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.

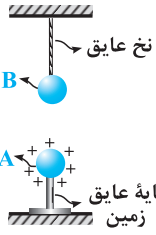
۵۴- پنج بار نقطه‌ای مطابق شکل قرار دارند و برایند نیروهای الکتروستاتیکی وارد بر هر یک از این بارها صفر است. بار  $q$  تقریباً چند میکروکولن است؟



- (۱) ۱۹ (۲) -۱۹ (۳) ۹/۵ (۴) -۹/۵

بررسی تعادل گلوله باردار (آونگ الکتریکی)

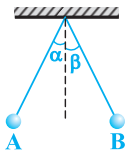
حالا بریم سراغ ترکیب قانون کولن، بحث تعادل و مناسبه کشش نخ. البته خداییش رو بخواهید، این پشا با کتاب پایه دوازدهمتون مفلوط شده ولی آوریم تا بپه درسفوناه، ست کامل سوالای قانون کولن رو برده باشن ... این تست رو فقط بپه درسفوناه مل کنن ...



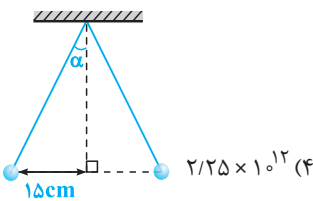
۵۵- در شکل مقابل، گلوله رسانای A، دارای بار الکتریکی  $1 \mu\text{C}$  و در فاصله ۳ سانتی متری از گلوله B با جرم  $2 \text{ kg}$  و با بار الکتریکی  $5 \mu\text{C}$  قرار دارد و کشش ایجاد شده در نخ عایق برابر  $T_1$  است. اگر علامت بار الکتریکی گلوله A قرینه شود، نیروی کشش نخ عایق چند برابر می شود؟ ( $g = 10 \text{ N/kg}$ ,  $k = 9 \times 10^9 \text{ N.m}^2 / \text{C}^2$ )

- (۱)  $\frac{5}{3}$
- (۲)  $\frac{3}{5}$
- (۳) ۲۵
- (۴) ۱۵

۵۶- در شکل زیر، گلوله های باردار A و B با جرم های  $m_A$  و  $m_B$  و بارهای  $q_A$  و  $q_B$  از دو نخ با طول مساوی آویزان هستند و زاویه انحراف آن ها از راستای قائم برابر  $\alpha$  و  $\beta$  می باشد. اگر اندازه نیروی الکتریکی وارد بر آن ها  $F_A$  و  $F_B$  باشد، کدام یک از عبارتهای زیر درست می باشد؟ (سراسری قبل از ۹۰)



- (۱) دو نیروی  $F_B$  و  $F_A$  هم اندازه و هم جهت می باشند.
- (۲) برای برابر بودن دو زاویه  $\alpha$  و  $\beta$ ، باید بار دو گلوله هم اندازه باشد.
- (۳) برای برابر بودن دو زاویه  $\alpha$  و  $\beta$ ، باید جرم دو گلوله یکسان باشد.
- (۴) اگر  $m_B > m_A$  باشد، در این صورت  $\beta > \alpha$  است.



۵۷- مطابق شکل مقابل، دو گلوله مشابه با بار یکسان و مثبت، هر یک به جرم ۲۴ گرم توسط نخ هایی سبک به طول ۳۹ cm آویزان شده اند و در حالت تعادل قرار دارند. از هر گلوله، چند الکترون جدا شده است؟ ( $e = 1/6 \times 10^{-19} \text{ C}$ ,  $k = 9 \times 10^9 \text{ N.m}^2 / \text{C}^2$ ,  $g = 10 \text{ m/s}^2$ )

- (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 نقطه ای و تحلیل پارامترهای مؤثر بر آن

بعد از تحلیل نیروهای کولنی، حالا می خوام بریم سراغ میدان الکتریکی ناشی از یه بار نقطه ای و سوالای مقدماتی رو ازش بررسی کنیم ...

۵۸- اندازه میدان الکتریکی حاصل از یک بار الکتریکی نقطه ای، با ..... متناسب و با ..... از بار الکتریکی نسبت عکس دارد.

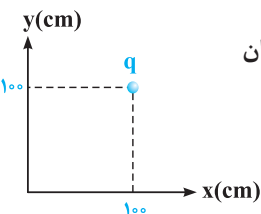
- (۱) مجذور بار الکتریکی - فاصله
- (۲) اندازه بار الکتریکی - فاصله
- (۳) مجذور بار الکتریکی - مجذور فاصله
- (۴) اندازه بار الکتریکی - مجذور فاصله

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

- (۱)  $2 \times 10^3$
- (۲)  $2 \times 10^6$
- (۳)  $1/8 \times 10^4$
- (۴)  $1/8 \times 10^5$

۶۰- اندازه میدان الکتریکی حاصل از بار کره کوچکی که  $2/5 \times 10^{13}$  الکترون از دست داده است، در چند سانتی متری 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



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

- (۱)  $\vec{E} = -45\sqrt{2} \vec{i} - 45\sqrt{2} \vec{j}$
- (۲)  $\vec{E} = 90 \vec{i} + 90 \vec{j}$
- (۳)  $\vec{E} = 45\sqrt{2} \vec{i} + 45\sqrt{2} \vec{j}$
- (۴)  $\vec{E} = 45 \vec{i} + 45 \vec{j}$

سوالای بعدی، رو پارامتر فاصله تو فرمول E کار کرده و پندین بار مورد توجه بوره. تست بعدی یه سوال فیلی قشنگ و ساده هست ...

۶۲- اگر بردار شدت میدان حاصل از بار الکتریکی نقطه ای 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؟



- (۱)  $+15 \times 10^9 \vec{i}$
- (۲)  $-15 \times 10^9 \vec{i}$
- (۳)  $+9 \times 10^9 \vec{i}$
- (۴)  $-9 \times 10^9 \vec{i}$

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

$$q = -ne$$

۲ ۳ همان‌طور 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 پروتون‌های آن جسم را تغییر نمی‌دهد، بنابراین گزینه‌های (۱) و (۲) نادرست است. حال می‌توان نوشت:



جسم A،  $5 \times 10^{11}$  الکترون از دست داده است.  $\Rightarrow n = 5 \times 10^{11} \Rightarrow n \times 1/6 \times 10^{-19} = 80 \times 10^{-9} = q_A = ne \Rightarrow$  جسم A :



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

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

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

حال به بررسی گزینه‌ها می‌پردازیم:

$$n = \frac{q}{e} = \frac{2 \times 10^{-19}}{1/6 \times 10^{-19}} = 1/25 \rightarrow \text{عدد صحیح نمی‌باشد.} \quad \times$$

$$n = \frac{q}{e} = \frac{8 \times 10^{-19}}{1/6 \times 10^{-19}} = 5 \rightarrow \text{عدد صحیح است.} \quad \checkmark$$

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

۴ ۱ چون جسم الکترون از دست می‌دهد، بنابراین در حالت ثانویه بار آن مثبت و در حالت اولیه بار آن منفی است (رد گزینه‌های ۲ و ۳). بار جسم

به مقدار  $-2q_0$  تغییر کرده است (از  $q_0$  به  $-q_0$  رسیده است) و داریم:

$$\begin{cases} \Delta q = -q_0 - (q_0) = -2q_0 \\ \Delta q = ne \end{cases} \Rightarrow -2q_0 = ne = 5 \times 10^{15} \times 1/6 \times 10^{-19} = 8 \times 10^{-4} \Rightarrow q_0 = -4 \times 10^{-4} \text{ C} = -40 \mu\text{C}$$

۵ ۳ با توجه به اصل پایداری 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 پایداری بار الکتریکی نقض می‌شود.

۶ ۳ برای پاسخ دادن به این سؤال، گام‌های زیر را طی می‌کنیم:

گام اول: محاسبه تعداد الکترون‌های اتم دو بار مثبت  $X^{2+}$ :  $q = -ne \Rightarrow -4/8 \times 10^{-18} = -n \times 1/6 \times 10^{-19} \Rightarrow n = 3$

گام دوم: تعداد الکترون‌های اتم دو بار مثبت  $(X^{2+})$ ، ۲ واحد کم‌تر از تعداد پروتون‌های آن می‌باشد. بنابراین تعداد پروتون‌های این اتم برابر ۳۲ می‌باشد.

۷ ۱ 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	→ (q <sub>A</sub> > 0, q <sub>B</sub> < 0)
B	
C	→ (q <sub>C</sub> > 0, q <sub>D</sub> < 0)
D	
انتهای منفی سری	

در مالش این دو جسم به یکدیگر، بار A مثبت و بار B منفی می‌شود.

در مالش این دو جسم به یکدیگر، بار C مثبت و بار D منفی می‌شود.



**۲ ۸** 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.

**۴ ۹** همان‌طور که می‌دانید، هنگامی که در سری الکترواستاتیکی مالشی، مادهٔ بالاتر را با مادهٔ پایین‌تر مالش می‌دهیم، الکترون‌ها از مادهٔ بالاتر به مادهٔ پایین‌تر منتقل می‌شوند، بنابراین در این سؤال، شیشه و نایلون الکترون از دست می‌دهند و پارچهٔ پشمی الکترون می‌گیرد. از طرف دیگر، تعداد الکترون‌هایی که پارچهٔ پشمی می‌گیرد، برابر مجموع تعداد الکترون‌هایی است که شیشه و نایلون از دست می‌دهند، بنابراین داریم:

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

**نگاه 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:

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

**۴ ۱۰** با توجه به جدول سری الکترواستاتیکی مالشی داده شده، بار الکتریکی میله‌های A و C مثبت و بار الکتریکی میله‌های B و D منفی می‌شود. همان‌طور که می‌دانیم، بارهای هم‌علامت یکدیگر را دفع و بارهای مختلف‌العلامت یکدیگر را جذب می‌کنند. حال به بررسی گزینه (۴) می‌پردازیم:

**بررسی گزینه (۴):** چون بار الکتریکی دو میلهٔ A و D مختلف‌العلامت است، بنابراین این دو میله هم‌دیگر را جذب می‌کنند. در نتیجه جهت چرخش میلهٔ آویخته شده در این گزینه، نادرست نشان داده شده است.

**۱ ۱۱** با توجه به قانون کولن می‌توان گفت:

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

**۱ ۱۲** برای پاسخ دادن به این سؤال، با توجه به رابطهٔ قانون کولن می‌توان نوشت:

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

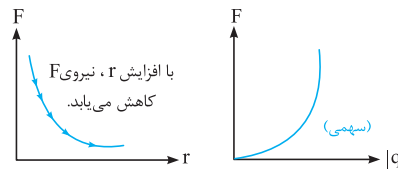
در ادامه با توجه به رابطه  $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ ، یکای ضریب گذردهی الکتریکی در خلأ ( $\epsilon_0$ )، برعکس یکای ثابت کولن ( $k$ ) است و داریم:

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

**۲ ۱۳** گزینه (۱) یک الکتروسکوپ، گزینه (۲) یک ترازوی پیچشی، گزینه (۳) مولد وان دوگراف و گزینه (۴) وسیلهٔ مورد نیاز برای انجام آزمایش فاراده را نشان می‌دهد. همان‌طور که می‌دانید، کولن به وسیلهٔ ترازوی پیچشی، عوامل مؤثر بر نیروی الکتریکی بین دو ذرهٔ باردار را شناسایی کرد.

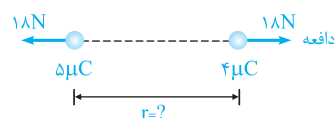
**۳ ۱۴** با توجه به رابطهٔ نیروی کولنی بین دو بار، رابطهٔ F با r و q به صورت زیر است:

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



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

**۴ ۱۵**



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

۳۱۶ 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.

۳۱۷ 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)  $\vec{F} = 10\vec{i} + 10\vec{j}$

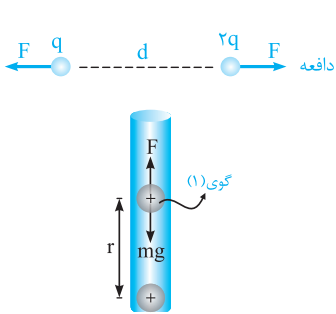
(۲)  $\vec{F} = -10\sqrt{2}\vec{i} - 10\sqrt{2}\vec{j}$

(۳)  $\vec{F} = -20\sqrt{2}\vec{i} - 20\sqrt{2}\vec{j}$

(۴)  $\vec{F} = -20\vec{i} + 20\vec{j}$

پاسخ: گزینه (۲)

۳۱۸ 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:



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

۳۱۹ 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:

$$\begin{aligned} F = mg &\Rightarrow \frac{kq \times q}{r^2} = mg \\ \Rightarrow \frac{9 \times 10^9 \times q^2}{(1 \times 10^{-2})^2} &= (9 \times 10^{-3}) \times 10 \Rightarrow q^2 = 10^{-16} \text{ C}^2 \Rightarrow q = 10^{-8} \text{ C} \end{aligned}$$

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

$$q = ne \Rightarrow 10^{-8} = n \times (1/6 \times 10^{-19}) \Rightarrow n = \frac{1}{1/6} \times 10^{11} = 6/25 \times 10^{11}$$

۳۲۰ 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.

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

$$\begin{cases} F_1 = k \frac{|q_1||q_2|}{r_1^2} = k \frac{|q_e||q_p|}{r_1^2} = k \frac{e^2}{r_1^2} \\ F_2 = k \frac{|q_p||q_p|}{r_2^2} = k \frac{e^2}{r_2^2} \end{cases} \Rightarrow \frac{F_2}{F_1} = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 = \left(\frac{a}{2 \times 10^{-4} a}\right)^2 = \frac{10^8}{4} = 2/5 \times 10^7$$

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

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

۳۲۳ می‌دانیم نیروی کولنی با مجذور فاصله بین دو بار رابطه عکس دارد، با جایگذاری در رابطه کولن با توجه به دو برابر شدن نیروی کولنی می‌توان نوشت:

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

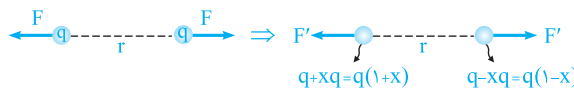
۲۴ ۴ درصد باری که از یکی از بارها برداشته و به دیگری اضافه شده است را  $x$  در نظر می‌گیریم. حال با بررسی دو حالت، مقدار مجهول را به دست می‌آوریم:



$$\begin{cases} (1): F = \frac{k|q_1||q_2|}{r^2} \xrightarrow{\text{بارها مشابه‌اند}} F = \frac{kQ^2}{r^2} \\ (2): F' = \frac{k|q'_1||q'_2|}{r'^2} = k \frac{Q(1-x) \cdot Q(1+x)}{(Q-xQ)(Q+xQ)} = \frac{kQ^2}{r'^2} (1-x^2) \end{cases}$$

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

**خلاصیت حرفه‌ای‌ها:** به دلیل اهمیت این سؤال می‌خواهیم 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 سریع‌تر: نیرو چه قدر کم شده است؟  $\frac{1}{16} F \leftarrow$  جذر  $\frac{1}{16}$  برابر  $x$  است.  $\leftarrow x = \frac{1}{4}$  یا  $25\%$  است.

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

**پاسخ:** نیرو چه قدر کم شده است؟  $\frac{1}{25} F \leftarrow$  جذر  $\frac{1}{25}$  برابر  $x$  است.  $\leftarrow x = \frac{1}{5}$  یا  $20\%$  است.

۲۵ ۲ این سؤال، مکمل خوبی برای تست قبل محسوب می‌شود، زیرا در آن بارها برابر و مختلف‌العلامت هستند. در این سؤال  $20\%$  ( $\frac{2}{10} = \frac{1}{5}$ ) یکی از

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



$$F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2} \xrightarrow{F'=F} k \frac{|q| \times |q|}{r^2} = k \frac{\left| \frac{4}{5}q \right| \times \left| \frac{4}{5}q \right|}{(r')^2} \Rightarrow \left( \frac{r'}{r} \right)^2 = \frac{16}{25} \Rightarrow \frac{r'}{r} = \frac{4}{5}$$

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

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

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

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

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

۲۷ با بررسی دو حالت داریم:

حالت اولیه:  $F = 0.02 \text{ N}$

حالت ثانویه:  $F' = 0.03 \text{ N}$

$$\begin{cases} (1) F = \frac{k|q_1||q_2|}{r^2} \xrightarrow{\text{بارها مشابه اند}} 0.02 = \frac{kq^2}{r^2} \\ (2) F' = \frac{k|q'_1||q'_2|}{r^2} \Rightarrow 0.03 = \frac{kq(q+2)}{r^2} \end{cases} \Rightarrow \frac{F}{F'} = \frac{0.02}{0.03} = \frac{k \frac{q^2}{r^2}}{k \frac{q(q+2)}{r^2}} \Rightarrow \frac{2}{3} = \frac{q}{q+2} \Rightarrow 2q + 4 = 3q \Rightarrow q = 4 \mu\text{C}$$

۲۸ 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:

قبل از تماس کره‌ها:  $q_1 = -4 \mu\text{C}$ ,  $q_2 = +6 \mu\text{C}$

بعد از تماس کره‌ها:  $q'_1 = +1 \mu\text{C}$ ,  $q'_2 = +1 \mu\text{C}$

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

بعبارت 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 الکترون‌های مبادله‌شده را به دست می‌آوریم:

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

۲۹ 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:

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

۳۰ 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 به‌طور یکسان پخش می‌شود، بنابراین در این حالت کره‌ها پس از اتصال یکدیگر را دفع می‌کنند.

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

۳۱ 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.

$$q_1 = q, q_2 = q \Rightarrow q'_1 = q, q'_2 = q$$

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

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.

$$q_1 = q, q_2 = -q \Rightarrow q'_1 = 0, q'_2 = 0$$

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

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:

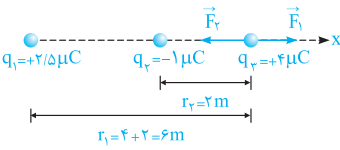
$$q_1 = q, q_2 = 2q \Rightarrow q'_1 = \frac{3}{2}q, q'_2 = \frac{3}{2}q$$

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

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

بنابراین هر سه حالت ممکن است رخ دهد.

۳۲ 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).



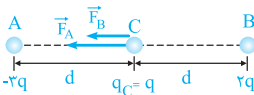
۳۳ بار الکتریکی  $q_1$  بار  $q_3$  را دفع می‌کند ( $\vec{F}_1$ ) و بار الکتریکی  $q_2$  بار  $q_3$  را جذب می‌کند ( $\vec{F}_2$ ).

$$\begin{cases} \text{دافعه: } F_1 = k \frac{|q_1||q_3|}{r_1^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{2/5 \times 10^{-6} \times 4 \times 10^{-6}}{(6)^2} = 2/5 \times 10^{-3} \text{ N} \xrightarrow{\vec{F}_1 \text{ در جهت محور } x} \vec{F}_1 = 2/5 \times 10^{-3} \vec{i} \\ \text{جاذبه: } F_2 = k \frac{|q_2||q_3|}{r_2^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{1 \times 10^{-6} \times 4 \times 10^{-6}}{(2)^2} = 9 \times 10^{-3} \text{ N} \xrightarrow{\vec{F}_2 \text{ در خلاف جهت محور } x} \vec{F}_2 = -9 \times 10^{-3} \vec{i} \end{cases}$$

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.



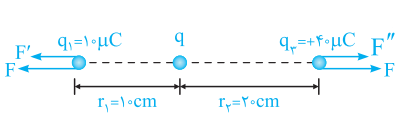
۳۴ فرض می‌کنیم اندازه نیرویی که دو بار  $q$  در فاصله  $d$  در یکدیگر وارد می‌کنند، برابر  $F$  باشد،

در این صورت اندازه نیروهای  $F_A$  و  $F_B$  برابر است با:

$$\vec{F} = \frac{k(q_1)(q_2)}{d^2} \Rightarrow F_B = 2F \quad \text{نیروی بین } B \text{ و } C \text{ (دافعه)} \quad \vec{F} = \frac{k(q_1)(q_2)}{d^2} \Rightarrow F_A = 3F \quad \text{نیروی بین } A \text{ و } C \text{ (جاذبه)}$$

(به سمت چپ)  $R = 2F + 2F = 4F$

با برآیندگیری از نیروهای هم‌جهت به‌دست آمده، داریم:



۳۵ 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:

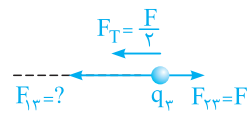
$$\begin{cases} F_{T_1} = F + F' = F + k \frac{|q_1||q|}{r_1^2} = F + k \times \frac{10 \times 10^{-6} |q|}{(10^{-1})^2} = F + 10^{-3} k |q| \\ F_{T_3} = F + F'' = F + k \frac{|q_3||q|}{r_3^2} = F + k \times \frac{40 \times 10^{-6} |q|}{(2 \times 10^{-1})^2} = F + 10^{-3} k |q| \end{cases}$$

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.

۳۶ **گام اول:** چون بارهای  $q_2$  و  $q_3$  یکدیگر را دفع می‌کنند، بنابراین هم‌نام می‌باشند و از طرفی نیرویی که  $q_2$  به  $q_3$  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  $F$  و به سمت چپ است، بنابراین مطابق شکل رسم شده، بار  $q_1$  باید بار  $q_3$  را با نیروی  $F_{13} = \frac{3}{2}F$  به سمت خود، یعنی به سمت چپ، جذب کند:



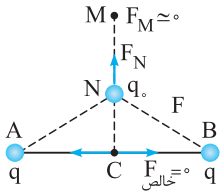
$$F_T = F_{13} - F_{23} \Rightarrow \frac{F}{2} = F_{13} - F \Rightarrow F_{13} = \frac{3}{2}F$$

**گام سوم:** حال با توجه به این‌که  $F_{13} = \frac{3}{2}F$  و  $F_{23} = F$  می‌باشد، به سادگی می‌توان نسبت  $\frac{q_1}{q_2}$  را به‌دست آورد:

$$F_{13} = \frac{3}{2}F \Rightarrow F_{13} = \frac{3}{2}F_{23} \Rightarrow k \frac{|q_1||q_3|}{(2d)^2} = \frac{3}{2} \times k \frac{|q_2||q_3|}{d^2} \Rightarrow \left| \frac{q_1}{q_2} \right| = 6$$

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.

۳۷ | 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.

۳۸ | با توجه به درسنامه، از آن جایی‌که نقطه  $C$  (محل صفر شدن برابری 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.

۳۹ | با توجه به تمرین (۱۸) در درسنامه، گزینه (۴) صحیح است.

۴۰ | 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  $6\text{cm}$  می‌باشد.

۴۱ | برای تعادل بار الکتریکی  $q_3$  باید دو نیروی مساوی و در خلاف جهت هم به آن وارد شود. بار

جدید  $q_3$  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.

۴۲ | 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

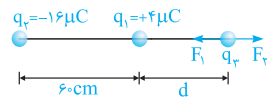
محور  $X$ ) و در ناحیه (۱) به سمت چپ (در خلاف جهت محور  $X$ ) می‌باشد.



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 برابری 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) برابری نیروی وارد بر پروتون می‌تواند در جهت محور  $X$  باشد. در مجموع می‌توان گفت در دو ناحیه (۴) و (۲) برابری نیروی وارد بر پروتون از طرف دو بار دیگر می‌تواند به سمت راست و در جهت محور  $X$  باشد.

۴۳ | 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  $q_1$

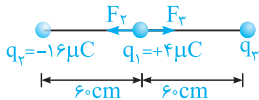
و  $q_2$  ناهم‌نام هستند، پس بار  $q_3$  باید در خارج از فاصله بین دو بار قرار گیرد.



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

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

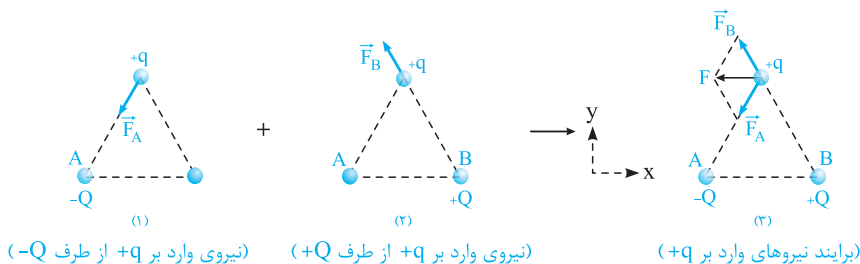
طرف آن‌ها بر بار  $q_1$  با هم برابر باشد. بنابراین می‌توان نوشت:



$$F_{T_1} = 0 \Rightarrow F_2 = F_3 \Rightarrow k \frac{16 \times 4}{6^2} = k \frac{4 \times |q_3|}{6^2} \Rightarrow |q_3| = 16\mu\text{C}$$

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

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



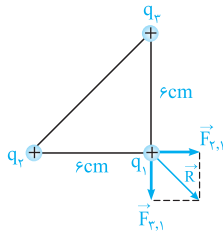
همان‌طور که مشاهده می‌کنید، نیروی خالص وارد بر ذره  $+q$  در خلاف جهت  $X$  است و از بین گزینه‌ها تنها گزینه (۱) با فرم برداری آن انطباق دارد.

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

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

**۴۵** 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  $q_2$  و  $q_3$  مشابه بوده و فاصله آن‌ها تا بار  $q_1$  یکسان است، داریم:



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

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

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

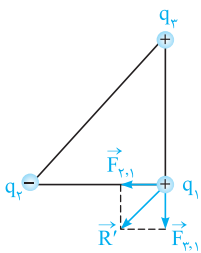
$$F_{2,1} = F_{3,1} = 40 \text{ N}$$

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:

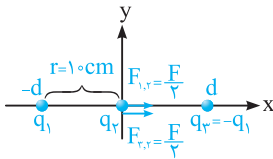
$$F_T = \sqrt{F_{2,1}^2 + F_{3,1}^2} = 40\sqrt{2} \text{ N}$$

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.



**۴۶** 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 برابری  $\frac{F}{2}$  می‌باشد.



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

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:

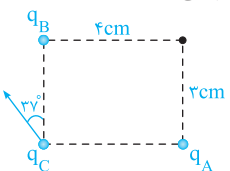
$$r'^2 = 10^2 + 10^2 \Rightarrow r' = 10\sqrt{2} \text{ cm}$$

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

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

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

**۴۷** مطابق شکل، به بار  $q_C$  از طرف بارهای  $q_A$  و  $q_B$  به ترتیب نیروهای  $\vec{F}_A$  و  $\vec{F}_B$  وارد می‌شود که برایند آن‌ها برابر  $\vec{F}$  است.



$$\tan 37^\circ = \frac{F_A}{F_B} \rightarrow \frac{F_A}{F_B} = \frac{3}{4}$$

با توجه به شکل، می‌توان نوشت:

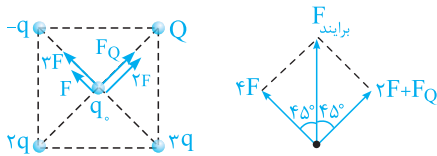
از طرفی برای مقایسه  $F_B$  و  $F_A$  می‌توان نوشت:

$$\begin{cases} F_A = \frac{k|q_A||q_C|}{r_A^2} \\ F_B = \frac{k|q_B||q_C|}{r_B^2} \end{cases} \Rightarrow \frac{F_A}{F_B} = \frac{|q_A|}{|q_B|} \times \left(\frac{r_B}{r_A}\right)^2 \xrightarrow{\substack{r_A = 4 \text{ cm} \\ r_B = 3 \text{ cm}}} \frac{3}{4} = \frac{|q_A|}{|q_B|} \times \left(\frac{3}{4}\right)^2 \Rightarrow \frac{|q_A|}{|q_B|} = \frac{4}{3}$$

با توجه به شکل،  $q_A$  بار  $q_C$  را دفع کرده است و  $q_B$  بار  $q_C$  را جذب کرده است، بنابراین بارهای  $q_A$  و  $q_B$  ناهم‌نام هستند و  $\frac{q_A}{q_B} = -\frac{4}{3}$  خواهد بود.

**۴۸** با توجه به تمرین (۱۷) در درسنامه، گزینه (۱) صحیح است.

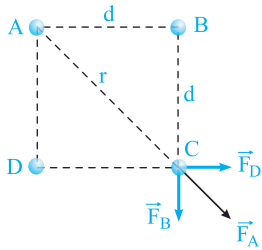
۴۹ اگر اندازه نیرویی که بار  $q$  بر  $q_0$  وارد می‌کند برابر  $F$  باشد، بار  $3q$  نیرویی به بزرگی  $2F$  را بر  $q_0$  اعمال می‌کند. با توجه به شکل زیر، برآیند دو نیروی هم‌جهتی که بارهای  $-q$  و  $3q$  بر  $q_0$  وارد می‌کنند،  $4F$  می‌شود.



از طرفی برآیند نیروهایی که بارهای  $2q$  و  $Q$  بر بار  $q_0$  وارد می‌کنند، باید همین مقدار باشد تا برآیند کل نیروهای وارد شده بر بار  $q_0$ ، بر روی نیمساز زاویه  $\theta$  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  $q_0$  دو برابر نیروی وارد شده از طرف بار  $q$  بر  $q_0$  می‌باشد. با توجه به یکسان بودن فاصله تمام بارها از  $q_0$ ، بنابراین  $Q$  باید برابر  $-2q$  باشد (منفی است زیرا باید  $q_0$  را جذب کند).



۵۰ مطابق شکل مقابل فاصله بار  $A$  تا بار  $C$  معادل قطر مربع می‌باشد و قطر مربع،  $\sqrt{2}$  برابر اندازه ضلع مربع است ( $r = \sqrt{2}d$ ). در ادامه با توجه به مشابه بودن بارها نیروهای وارد بر بار  $(C)$  را رسم می‌کنیم، دقت شود که بارها یکدیگر را دفع می‌کنند.

$$\Rightarrow \begin{cases} F_A = \frac{k|q_A||q_C|}{r^2} = \frac{kq^2}{(\sqrt{2}d)^2} = \frac{kq^2}{2d^2} \\ F_D = F_B = \frac{k|q_D||q_C|}{d^2} = \frac{kq^2}{d^2} \end{cases}$$

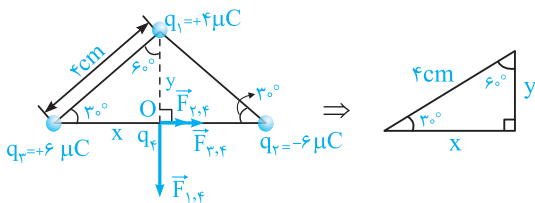
در راستای نیمساز  $F_B$  و  $F_D$  که در واقع همان راستای قطر است، قرار دارد.  $R' = \sqrt{2} \frac{kq^2}{d^2}$  برآیند دو نیروی  $\vec{F}_B$  و  $\vec{F}_D$

$$\vec{F}_A \text{ و } \vec{R}' \text{ بودن هم‌جهت بودن: } R = F_A + R' = \frac{kq^2}{2d^2} + (\sqrt{2}) \frac{kq^2}{d^2} = \left(\frac{1}{2} + \sqrt{2}\right) \frac{kq^2}{d^2}$$

با توجه به این‌که در صورت سؤال، پاسخ براساس  $\frac{kq^2}{2d^2}$  خواسته شده است، در نتیجه صورت و مخرج کسر حاصل را در ۲ ضرب می‌کنیم:

$$R = 2 \times \left(\frac{1}{2} + \sqrt{2}\right) \frac{kq^2}{2 \times d^2} = (1 + 2\sqrt{2}) \frac{kq^2}{2d^2} \Rightarrow R = (1 + 2\sqrt{2}) \frac{kq^2}{2d^2}$$

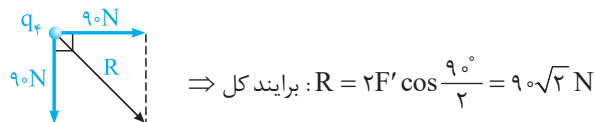
۵۱ بارهای  $q_1$  و  $q_3$  و  $q_4$  را دفع کرده و بار  $q_2$  آن را جذب می‌کند. در ادامه مطابق شکل نیروهای وارد بر این بار را حساب می‌کنیم:



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

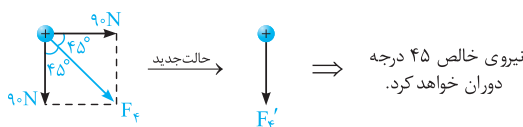
$$F_{1,4} = \frac{k|q_1||q_4|}{y^2} = \frac{9 \times 10^9 \times (4 \times 10^{-6})(1 \times 10^{-6})}{(2 \times 10^{-2})^2} = 90 \text{ N}$$

$$F_{2,4} = F_{3,4} = \frac{k|q_2||q_4|}{x^2} = \frac{9 \times 10^9 \times (6 \times 10^{-6})(1 \times 10^{-6})}{(2\sqrt{3} \times 10^{-2})^2} = 45 \text{ N} \Rightarrow F_{2,4} \text{ و } F_{3,4} \text{ برآیند: } F' = 45 + 45 = 90 \text{ N}$$

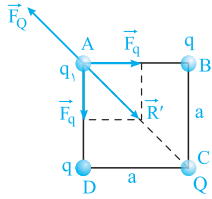


$$\Rightarrow \text{برآیند کل: } R = 2F' \cos \frac{90^\circ}{2} = 90\sqrt{2} \text{ N}$$

۵۲ 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  $45^\circ$  درجه تغییر خواهد کرد.







**۴ ۵۳** 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 برآیند 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 برآیند دو نیروی  $\vec{F}_Q$  (یعنی  $\vec{R}'$ )،  $\vec{F}_Q$  را خنثی می‌کند.

$$\text{محاسبه } |\vec{R}'| \text{ و } |\vec{F}_Q| : \begin{cases} \text{قانون کولن: } F = \frac{k|q_1||q_2|}{r^2} \Rightarrow F_q = \frac{k|q||q_1|}{a^2} \\ \text{برآیند نیروهای } F_q : R' = 2F_q \cos\left(\frac{90^\circ}{2}\right) = \sqrt{2}F_q \Rightarrow R' = \frac{\sqrt{2}k|q||q_1|}{a^2} \end{cases}$$

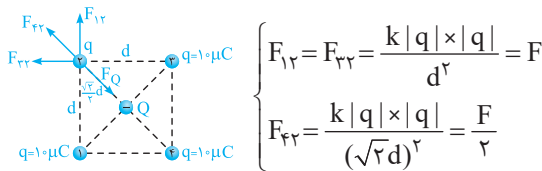
$$\text{محاسبه } F_Q : \begin{cases} \text{قطر مربع} = \sqrt{2} \times \text{ضلع مربع} \Rightarrow r = \sqrt{2}a \\ \text{قانون کولن: } F = \frac{k|q_1||q_2|}{r^2} \Rightarrow F_Q = \frac{k|Q||q_1|}{2a^2} \end{cases}$$

$$\text{بررسی تعادل بار واقع در } A \Rightarrow F_Q = R' \Rightarrow \frac{k|Q||q_1|}{2a^2} = \frac{\sqrt{2}k|q||q_1|}{a^2} \Rightarrow \left| \frac{Q}{q} \right| = 2\sqrt{2} \Rightarrow \frac{Q}{q} = -2\sqrt{2}$$

**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  $\vec{F}_Q$  و  $\vec{R}'$  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 هر یک از گزینه‌های (۱) و (۲) می‌تواند صحیح باشد. در هر دو حالت اندازه بار  $Q$  باید  $2\sqrt{2}$  برابر اندازه بار  $q$  باشد ( $\frac{Q}{q} = -2\sqrt{2}$ ).

**۴ ۵۴** ذره  $Q$  تحت اثر نیروی بارهای  $10\mu\text{C}$  متعادل است و کفایت تعادل یکی از بارهای  $10\mu\text{C}$  را بررسی کنیم. با توجه به مفاهیم دو تست قبل، برای تعادل، علامت بار  $Q$  باید منفی باشد تا نیروهای نشان داده شده در نهایت یکدیگر را خنثی کنند (بار  $10\mu\text{C}$  را  $q$  فرض کرده‌ایم):



$$\begin{cases} F_{12} = F_{32} = \frac{k|q||q|}{d^2} = F \\ F_{23} = \frac{k|q||q|}{(\sqrt{2}d)^2} = \frac{F}{2} \end{cases}$$

$$\text{برآیند } F_{12} \text{ و } F_{13} \text{ و } F_{14} : R = F\sqrt{2} + \frac{F}{2} = F\sqrt{2} + \frac{F}{2} = F\left(\sqrt{2} + \frac{1}{2}\right) = \frac{k|q||q|}{d^2}\left(\sqrt{2} + \frac{1}{2}\right)$$

برآیند نیروهای عمود بر هم  $F_{23}$  و  $F_{14}$

حال برآیند فوق را نیروی  $F_Q$  باید خنثی کند و داریم:

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

مقدار تقریبی  $\sqrt{2}$

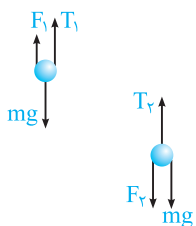
$$|Q| = |q| \left(\frac{\sqrt{2}}{2} + \frac{1}{4}\right) = 10 \left(\frac{\sqrt{2}}{2} + \frac{1}{4}\right) = 9.5\mu\text{C} \Rightarrow Q = -9.5\mu\text{C}$$

**۱ ۵۵** 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  $B$  به سمت پایین می‌شود ولی با توجه به ثابت بودن اندازه بارها و فاصله بین آن‌ها اندازه این نیروی الکتریکی تغییری نمی‌کند.

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

**نکته:** در شکل مقابل اگر گلوله در حالت تعادل باشد، رابطه بین  $F$ ،  $mg$  و  $\alpha$  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 باردار A بر B وارد می‌کند، برابر و در خلاف جهت نیرویی است که گلوله باردار B بر A وارد می‌کند، بنابراین  $F_A = F_B$  بوده و در خلاف جهت یکدیگر می‌باشد.

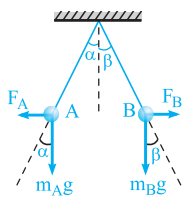
**گزینه‌های (۲) و (۳):** طبق نکته فوق، برای برابر بودن زاویه انحراف دو گلوله از راستای قائم ( $\alpha = \beta$ )، از آن جا که اندازه نیروی الکتریکی بین دو گلوله یکسان است، باید جرم دو گلوله نیز یکسان باشد.

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

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.

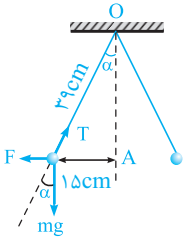
**گزینه (۴):** با توجه به نکته فوق و شکل مقابل، برای هر یک از گلوله‌های A و B می‌توان نوشت:



$$\begin{cases} \tan \alpha = \frac{F_A}{m_A g} \\ \tan \beta = \frac{F_B}{m_B g} \end{cases} \xrightarrow[\frac{F_A = F_B}{\text{طرفین را بر هم تقسیم می‌کنیم}}]{} \frac{\tan \alpha}{\tan \beta} = \frac{m_B}{m_A} \xrightarrow{m_B > m_A} \tan \alpha > \tan \beta \Rightarrow \alpha > \beta$$

**۵۷ ۲** برای پاسخ دادن به این سؤال، گام‌های زیر را طی می‌کنیم:

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



فیتاغورس:  $39^2 = 15^2 + OA^2 \Rightarrow OA^2 = 39^2 - 15^2 = (39-15)(39+15)$

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

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

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

$$\tan \alpha = \frac{F}{mg} \Rightarrow \frac{15}{36} = \frac{F}{24 \times 10^{-3} \times 10} \Rightarrow F = 0.1 \text{ N}$$

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

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

**گام چهارم:** به دست آوردن تعداد الکترون‌های جدا شده:

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

**۵۸ ۴** مطابق رابطه  $E = \frac{k|q|}{r^2}$  می‌توان نوشت:

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

**۵۹ ۴** میدان الکتریکی حاصل از بار نقطه‌ای q در فاصله r از آن برابر است با:

$$r = 1 \text{ m}, q = 2 \mu\text{C} = 2 \times 10^{-6} \text{ C} \Rightarrow E = \frac{k|q|}{r^2} = \frac{9 \times 10^9 \times 2 \times 10^{-6}}{(1)^2} = 1.8 \times 10^5 \text{ N/C}$$