

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

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

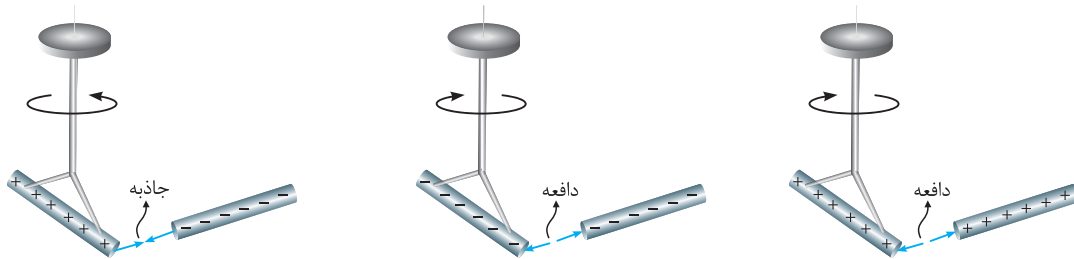
- ۱- آشنایی با مفهوم بار الکتریکی
- ۲- آشنایی اولیه با قانون کولن
- ۳- تماس کره‌های مشابه باردار به یکدیگر و تحلیل نیروی بین آن‌ها
- ۴- مروری بر خواص بردارها (پیش‌نیاز بسیار مهم در مسائل این فصل)
- ۵- بررسی قانون کولن برای بیش از دو ذره باردار
- ۶- صفر شدن نیروی الکتریکی وارد بر ذرات باردار

### زیرشاخه‌های بخش اول A

#### 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 دانشمندان 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.
- به‌دست 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 ابریشتی مالیده شود، میله شیشه‌ای بار مثبت پیدا کرده و پارچه ابریشتی 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 الکتريکی در یک دستگاه منزوی (یعنی با بیرون از خودش مبادله بار الکتريکی 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.  $\rightarrow X^A_Z$

- 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 الکتريکی 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:

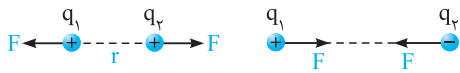
$$q = +ne = +92 \times (1/6 \times 10^{-19}) = +1.472 \times 10^{-17} C$$

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

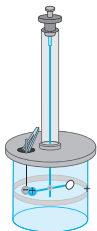


اگر بار الکتریکی دو ذره هم‌نام (هر دو مثبت و یا هر دو منفی) باشد، آن‌ها یکدیگر را دفع کرده و اگر بار دو ذره ناهم‌نام (یکی مثبت و دیگری منفی) باشد، آن‌ها یکدیگر را جذب می‌کنند.

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

### قانون کولن

با توجه به این قانون، اندازه نیروی الکتریکی (رابطه یا رانشی) بین دو بار نقطه‌ای  $q_1$  و  $q_2$  که در فاصله  $r$  از یکدیگر قرار دارند، با حاصل ضرب اندازه بار دو ذره نسبت مستقیم و با مجذور فاصله آن‌ها از هم نسبت عکس دارد و با کمک رابطه زیر به دست می‌آید:



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

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

**نکات مهم و کاربردی:**

۱ در این رابطه،  $k$  ثابت الکترواستاتیکی 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

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

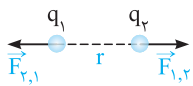
۲ ارتباط بین ثابت کولن ( $k$ ) و ثابت مهم دیگری به نام **ضریب گذردهی الکتریکی خالص** ( $\epsilon_0$ ) به صورت مقابل است:

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

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.

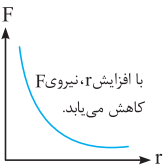
درسته  $\vec{F}_{1,2}$  و  $\vec{F}_{2,1}$  هم اندازه هستن ولی به نگره سازه بندها میفهمید فلاخ جهت همین ... درشتش اینه که بگیریم

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

که نمیدونید، بروید که اومدن قردمطلق و یا برداشتن علامت بردار از بالای  $F$ ، دوتا قراردادی که تو فیزیک اندازه بردار رو بهترتون نشون میده ...

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

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



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

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،

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

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

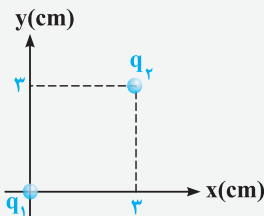
$$F = k \frac{|q_p||q_p|}{r^2} = (9 \times 10^9) \frac{(1.6 \times 10^{-19}) \times (1.6 \times 10^{-19})}{(2 \times 10^{-15})^2} = 57.6 \text{ N}$$

نیرویی که حساب کردیم از جنس دفعه هست و پروتوئای تو هسته فیلی از هم برداشتن میار ... حالا تو سال بعد ایشالا یارتون میدیم کی میار نیمزاره این

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 (یکاکا به SI باید تبدیل شود):

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

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



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

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

(مثلث خاکستری)

تحلیل مثلث آبی:

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

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

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

آه میگوی تو این جور سؤال سه سوت جواب بده، همش با فوریت تکرار کن ضلع مقابل  $\alpha$  میشه وتر در  $\sin \alpha$ ، ضلع مجاورش میشه وتر در  $\cos \alpha$  ...

وتر  $F \sin \alpha = F_{\text{مقابل}}$  (وتر)  $F \cos \alpha = F_{\text{مجاور}}$

**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:

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

(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 مطرح شده رو بهتر درک کنیم، بریم با هم‌دیگه به سؤال خوب ازش حل کنیم ...

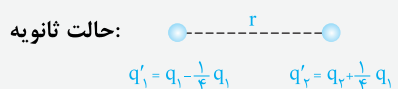
**تمرین ۷:** دو بار الکتریکی هم‌نام  $q_1 = 8 \mu\text{C}$  و  $q_2$  در فاصله  $r$ ، نیروی  $F$  را بر هم وارد می‌کنند. اگر ۲۵ درصد از بار  $q_1$  را برداشته و به  $q_2$  اضافه کنیم، بدون تغییر فاصله بارها از یکدیگر، نیروی متقابل بین آن‌ها ۵۰ درصد افزایش می‌یابد. مقدار اولیه  $q_2$  چند میکروکولن است؟

(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 اولیه:

حالت ثانویه:



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

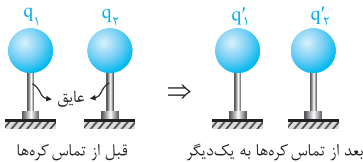
$$\begin{cases} (1): F = \frac{k |q_1| |q_2|}{r^2} = \frac{k (\lambda q_2)}{r^2} \\ (2): F' = \frac{k |q_1'| |q_2'|}{r'^2} = \frac{k \times 6 \times (q_2 + 2)}{r^2} = \frac{k (6q_2 + 12)}{r^2} \end{cases}$$

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

$$F' = F + \frac{50}{100} F = \frac{150}{100} F = \frac{3}{2} F \Rightarrow \frac{k (6q_2 + 12)}{r^2} = \frac{3}{2} \frac{k (\lambda q_2)}{r^2} \Rightarrow 6q_2 + 12 = \frac{3}{2} \times 8q_2 = 12q_2 \Rightarrow 6q_2 = 12q_2 - 12 \Rightarrow q_2 = 2 \mu\text{C} \quad (\text{گزینه ۲})$$

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

به مدل فیزیکی معروف از سؤالای قانون کولن، مربوط به وقتی میشه که پندتا کره رو به هم میزنن و نیروی ینشون رو بررسی میکنن. فیزیکی سؤالای باهالیه. بریم ببینیم چه جور میشون 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.

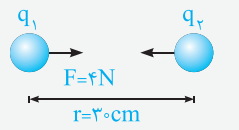
$$q_1' = q_2' = \frac{q_1 + q_2}{2} = \frac{q + (-q)}{2} = 0$$

تو ادامه کار با مدل 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)

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

**پاسخ:** در شروع حل باید دقت شود که دو کره در ابتدا یکدیگر را جذب 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:



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

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.

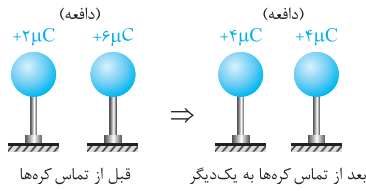
$$\frac{q_1 + q_2}{2} = +3 \mu\text{C} \Rightarrow q_1 + q_2 = +6 \mu\text{C} \quad (2)$$

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

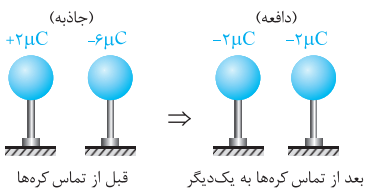
تو ادامه بحث انجام شده، فرض کنی دو کره کوچک مشابه با بارهای  $q_1$  و  $q_2$  که تو فاصله  $r$  از همدیگر قرار دارند، به هم وصل کرده و پس از تبادل بار الکتریکی، بازم تو همون فاصله  $r$  از همدیگر قرار میری. حالا می‌خوایم نیروی بین این دو کره رو پس از تماس با همدیگر بررسی کنیم. به خاطر همین بریم انواع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

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

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



**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.

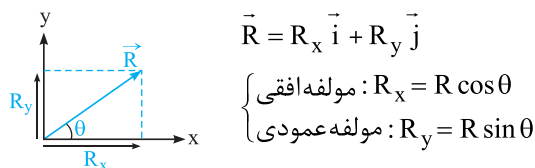
**حالت چهارم:** اگر بار دو کره مشابه، کاملاً یکسان باشد (هم‌اندازه و هم‌علامت)، بار دو کره، قبل و بعد از تماس به یکدیگر یکسان بوده و در نتیجه نیروی بین دو کره تغییر نمی‌کند (خودتان این موضوع را بررسی کنید).

**نقته:** 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 برابندگیری بردارها تو حالت‌های هم‌راستا و عمود بر هم داره ... تو ادامه به مرور سریع روی این موضوع داشته باشیم ... همان‌طور که در ابتدای کار نشان دادیم، هر بردار دارای دو مؤلفه افقی و قائم می‌باشد و می‌توان آن را به صورت بردارهای یکه به صورت زیر نشان داد:



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

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

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

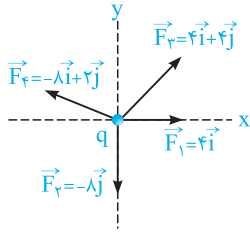
جمع بردارها با کمک بردارهای یکه

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

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

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 الکترواستاتیکی مقابل نیروهای نشان داده شده وارد شده است. برآیند نیروهای وارد بر این ذره باردار برابر است با:

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

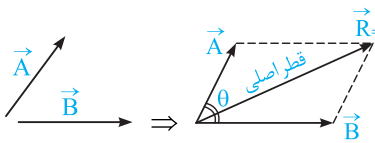
$$\vec{F}_T = [(4 + 0 + 4 + (-4))\vec{i}] + [(0 + (-4) + 4 + 2)\vec{j}] = 0\vec{i} - 2\vec{j}$$

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:

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

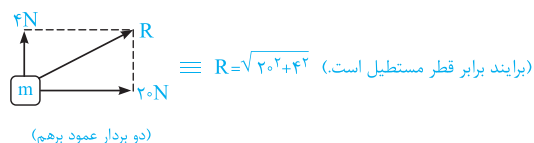
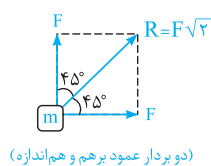
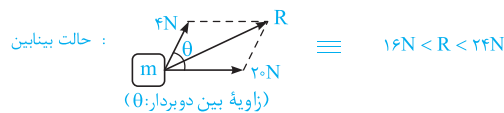
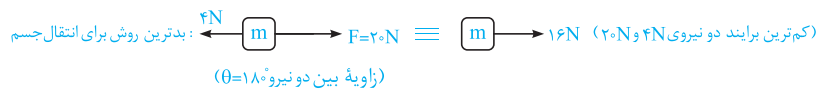
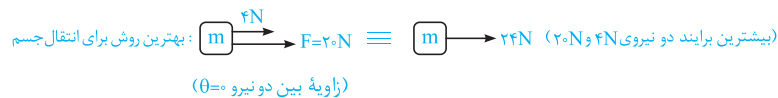
۲ اگر اندازه دو بردار با هم برابر باشد، اندازه بردار برآیند از رابطه ساده شده روبه رو به دست می آید:

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

### 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.

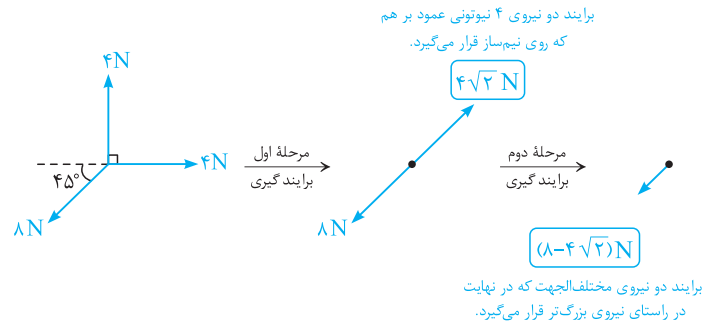
**مثال هایی برای درک بهتر:**



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.

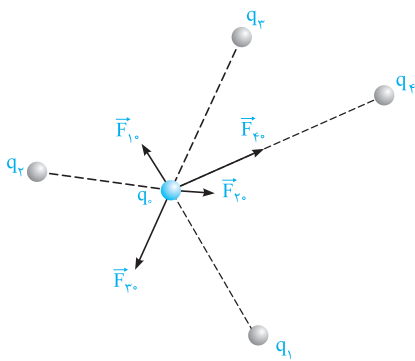


به عنوان مثال در شکل زیر با کمک ایده‌های مطرح شده، برآیند نیروها را یافته‌ایم:



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

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



در حالت کلی اگر تعدادی ذره باردار در یک ناحیه از فضا قرار داشته باشند، نیروی الکتریکی وارد بر هر ذره، برآیند نیروهایی است که 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 هستند، مسلط میشیم ...

**تمرین ۹:** در شکل روبه‌رو، برآیند نیروهای وارد بر بار الکتریکی نقطه‌ای  $q = 2\mu C$  برابر ..... است.

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 (برسب هم‌نام 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)

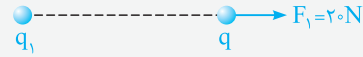
در نهایت با برآیندگیری از نیروهای در خلاف جهت  $F_1$  و  $F_2$ ، به سادگی نیروی برآیند به‌دست می‌آید (نیروها اثر هم‌دیگر را تضعیف می‌کنند):

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

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) ۸۰، نمی‌دهد (۲) ۲۰، می‌دهد (۳) ۱۰۰، می‌دهد (۴) ۲۰، نمی‌دهد

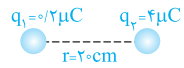
**پاسخ:** در سؤال قبل، با حذف بار الکتریکی  $q_2$ ، تنها نیرویی که بر بار  $q$  وارد می‌شود، ناشی از نیروی دافعه بار  $q_1$  بر آن می‌باشد. با توجه به پاسخ سؤال قبل، این نیرو برابر  $F_1 = 20\text{N}$  و به سمت راست می‌باشد.



بنابراین برآیند نیروهای وارد بر بار  $q$  برابر  $20\text{N}$  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 سؤالی قانون کولن پیه؟ دوتاشو همین الان می‌گیم ...



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

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

شکل نامناسب

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

شکل مناسب

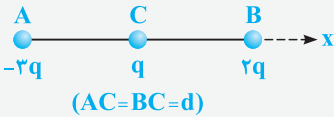
۲ در محاسبات کمی باهوش عمل کنیم. به‌طور مثال اگر در دو حالت زیر، نیرو در حالت (۱) را برابر ۹ نیوتون به‌دست می‌آوریم، در حالت دوم تنها یکی از بارها دو برابر شده است و نیرو دو برابر حالت اول است، یعنی ۱۸ نیوتون و نیازی به انجام محاسبات جدید نیست.

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

حالت دوم:  $F' = 2F = 18\text{N}$

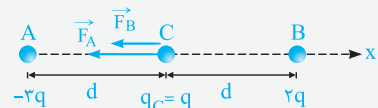
حالا بریم از این دوتا نکته مهارتیمون کلی استفاده کنیم ...

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



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

- (۱)  $5\hat{i}$
- (۲)  $-5\hat{i}$
- (۳)  $4\hat{i}$
- (۴)  $-4\hat{i}$



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

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

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

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

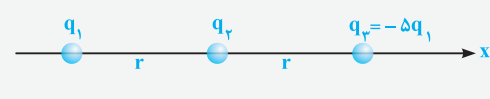
در نهایت با برآیندگیری از نیروهای هم‌جهت به‌دست آمده، داریم:

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

**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 فاز ۱ از کشور)

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



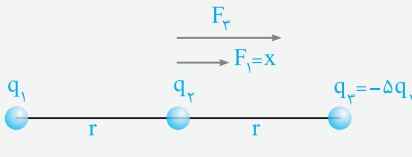
(۲) ۲۱

(۱) ۲۵

(۴) ۲۵/۶

(۳) ۱۳/۳

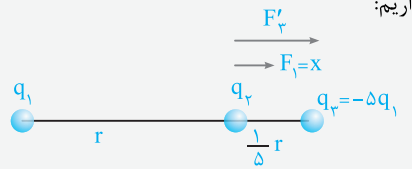
**پاسخ:** فرض می‌کنیم بزرگی نیرویی که بار  $q_1$  در فاصله  $r$  به بار  $q_2$  وارد می‌کند، برابر  $x$  باشد. در این صورت داریم:



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

$$F_{T_1} = F_1 + F_2 = 6x$$

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:

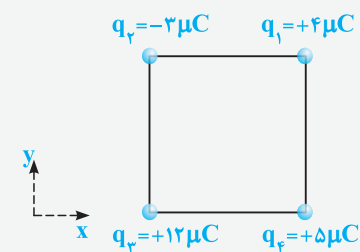


$$F = \frac{k|q_1||q_2|}{r^2} \Rightarrow \frac{F'_2}{F_1} = \frac{|q_2|}{|q_1|} \times \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 = \Delta \times \left(\frac{1}{\Delta}\right)^2 = \frac{1}{\Delta} \Rightarrow F'_2 = \frac{1}{\Delta} 6x$$

و در نهایت داریم:

$$F_{T_2} = F_1 + F'_2 = 6x \Rightarrow \frac{F_{T_2}}{F_{T_1}} = \frac{6x}{6x} = 1 \quad (\text{گزینه ۲})$$

**تمرین بعدی** به کم سنگین‌تر از کتاب درسیه، ولی تو امتحانات 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

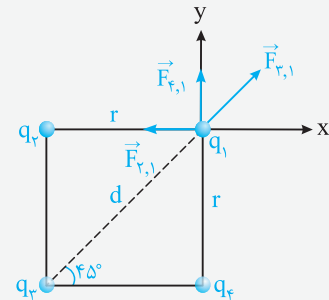
نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار الکتریکی  $q_1$  در  $\text{SI}$  کدام است؟

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

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

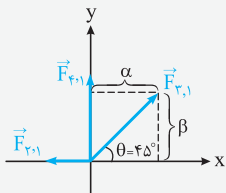
$$42\vec{i} + 6\vec{j} \quad (۴) \quad -42\vec{i} + 6\vec{j} \quad (۳)$$

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



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

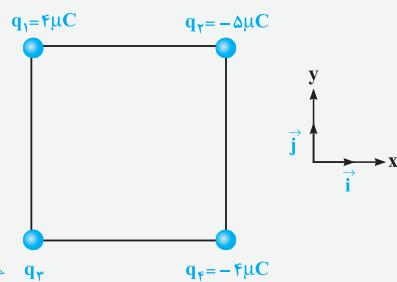
در ادامه با رسم نیروها بر روی محورهای مختصات و با تجزیه بردار  $\vec{F}_{3,1}$  در راستای محورهای  $x$  و  $y$  داریم (توجه شود که  $\frac{\sqrt{2}}{2} \approx 0.7$  می‌باشد):



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

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

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



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

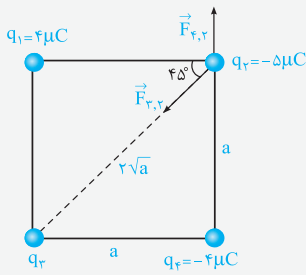
نیروی الکتریکی خالص وارد بر  $q_2$  در  $\text{SI}$  به صورت  $\vec{F} = -9\vec{i}$  باشد، چند میکروکولن

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

(سراسری ریاضی ۹۸)

$$-4 \quad (۲) \quad -8\sqrt{2} \quad (۱)$$

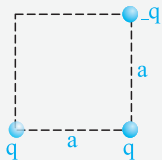
$$8\sqrt{2} \quad (۴) \quad 4 \quad (۳)$$



**پاسخ:** برای این که نیروی خالص وارد بر بار  $q_2$  برابر  $\vec{F} = -9\vec{i}$  باشد، باید برآیند نیروهای وارد بر بار  $q_2$  از طرف بارهای دیگر، در راستای قائم برابر صفر باشد. این موضوع یعنی مؤلفه‌های از نیروی  $\vec{F}_{2,3}$  که در راستای قائم است، باید نیروی  $\vec{F}_{2,1}$  را خنثی کند.

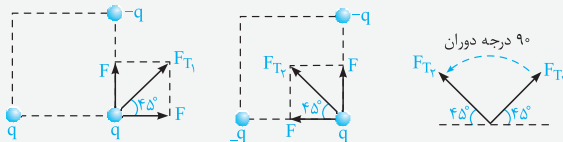
$$\sum F_y = 0 \Rightarrow F_{2,3} \sin 45^\circ = F_{2,1} \Rightarrow \frac{kq_2 q_3}{(\sqrt{2}a)^2} \times \frac{\sqrt{2}}{2} = \frac{kq_2 q_1}{a^2}$$

$$\Rightarrow \frac{\sqrt{2}}{2} q_3 = |q_1| = 4 \mu C \Rightarrow |q_3| = \frac{16}{\sqrt{2}} = 8\sqrt{2} \mu C \xrightarrow{q_3 > 0} q_3 = 8\sqrt{2} \mu C \quad (\text{گزینه ۴})$$



**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:

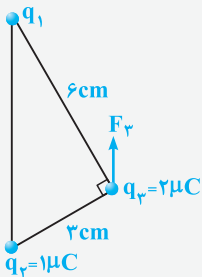
- (۱) ۹۰ درجه ساعتگرد می‌چرخد.
- (۲) ۹۰ درجه پادساعتگرد می‌چرخد.
- (۳) ۴۵ درجه ساعتگرد می‌چرخد.
- (۴) ۴۵ درجه پادساعتگرد می‌چرخد.



**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.

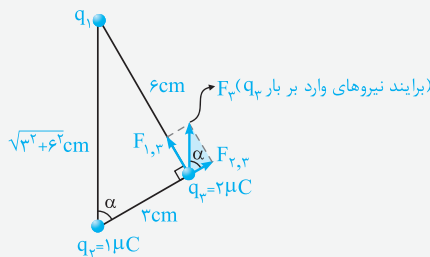
🔗 **نالا می‌فویام** به سؤال توپ و قشنگ که مربوط به کنکور ۹۶ تهری میشه، براتون مل کنیم. فوب به ایره استفاره شره در علش رقت کنیر ...



**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.

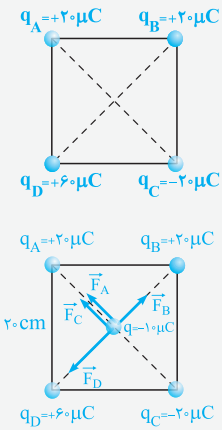
$$\text{مثلث بزرگ سمت چپ: } \cos \alpha = \frac{3}{\sqrt{3^2 + 6^2}} = \frac{3}{3\sqrt{5}} = \frac{1}{\sqrt{5}} \quad (1)$$

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

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

🔗 **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؟ (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

**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.

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

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

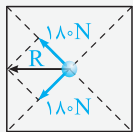
(در جهت نیروی  $\vec{F}_D$ )  $R_{B,D} = F_D - F_B = 270 - 90 = 180 \text{ N}$

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



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

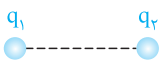
(در جهت این دو نیرو)  $R_{A,C} = F_A + F_C = 90 + 90 = 180 \text{ N}$



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

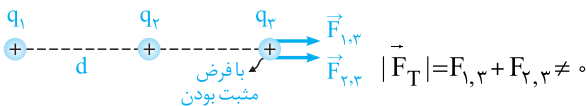
همونطور که دیدید، با کمی تیزهوشی، به بای مناسبه چهارتا نیرو، فقط به نیرو رو حساب کردیم و مابقی نیروها رو با توجه به اون به‌دست آوردیم.

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

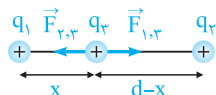


دو ذره باردار و مثبت  $q_1$  و  $q_2$  که در جای خود ثابت فرض شده‌اند را در نظر بگیرید:

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.



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

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

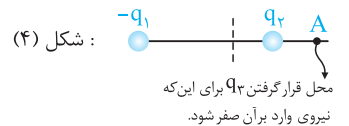
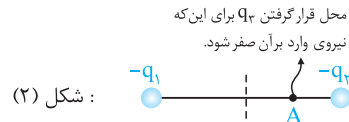
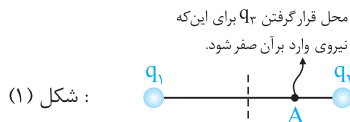
همان‌طور که مشاهده می‌کنید، مقدار و علامت بار  $q_3$ ، تأثیری در به تعادل رسیدن آن ندارد که این موضوع خود، موضوع بسیار جالبی است.

## 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 بسپرد ...

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

با توجه به نتیجه به دست آمده، به طور 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  $Q = +4q$  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؟

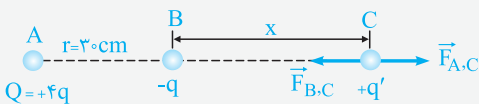
(سراسری قبل از ۹۰)

۶۰ (۴)

۴۵ (۳)

۳۰ (۲)

۱۵ (۱)



**پاسخ:** با توجه به این که بار  $-q$  مقدار کوچک‌تری نسبت به  $Q = +4q$  دارد، پس بار سوم برای تعادل باید نزدیک به بار  $-q$  باشد و چون بارها ناهم‌نام هستند، بار سوم باید خارج از فاصله بین دو بار قرار گیرد. در ادامه اگر فاصله بار  $+q'$  تا بار  $-q$  را  $x$  در نظر بگیریم، مقدار  $x$  به صورت زیر به دست می‌آید:

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

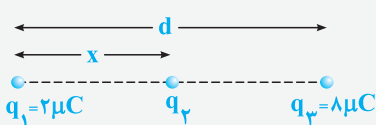
$$\Rightarrow 4x^2 = (30+x)^2 \xrightarrow{\text{جذر}} 2x = 30+x \Rightarrow x = 30\text{cm}$$

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 به دست 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)



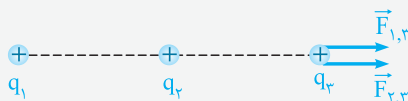
$$+\frac{2}{9} \quad (۲)$$

$$-\frac{2}{9} \quad (۱)$$

$$+\frac{8}{9} \quad (۴)$$

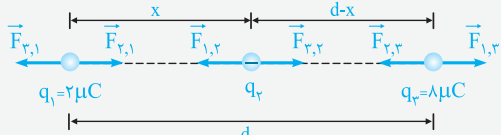
$$-\frac{8}{9} \quad (۳)$$

**پاسخ: گام اول:** با توجه به این که 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.



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

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



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

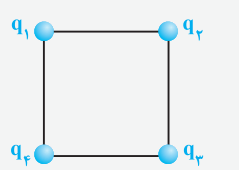
$$F_{2,3} = F_{3,2} \Rightarrow k \frac{2|q_2|}{x^2} = k \frac{8 \times 2}{d^2} \Rightarrow |q_2| = \frac{8}{9} \mu C \xrightarrow{q_2 < 0} q_2 = -\frac{8}{9} \mu C$$

**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 براینر نیروهای الکتریکی وارد بر به زره تو حالتی که بارها روی به فط قرار ندرن بررسی می‌کنیم. تو این‌جور سؤالا برای تعادل، کل نیروها بالافره به‌جوری باید هم‌دیکه رو فشی 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 تیربی ۱۴۰۰ خارج از کشور)



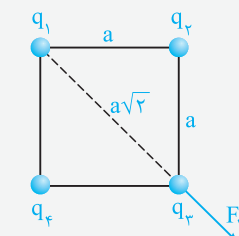
$$q_4 = q_2 = -2\sqrt{2}q_1 \quad (1)$$

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

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

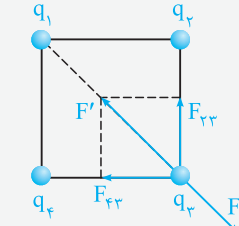
$$q_4 = q_2 = \frac{\sqrt{2}}{4}q_1 \quad (4)$$

**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 براینر نیروهای واردشده 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 براینر نیروهای واردشده 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 برید، به فاطر 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 دو (۴) آماده کنید.



فاز اول

## تست‌های کسب مهارت

### آشنایی با مفهوم بار الکتریکی

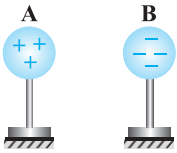
تو شروع کار این فصل، می‌فویم سؤالی رو براتون بیاریم که شما رو با مفهوم پایه‌ای بار الکتریکی آشنا بکنه ...

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  $8.0 \times 10^{-9} \text{ C}$  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 الکتروسیته 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 الکتروسیته مالش (سری تریبو الکتریک) چیه؟! تو سؤالی بعدی با این موضوع سروکله می‌زنیم ...

۷- در شکل مقابل، جدول سری الکتروسیته 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

$$q_A = q_B \quad (۱)$$

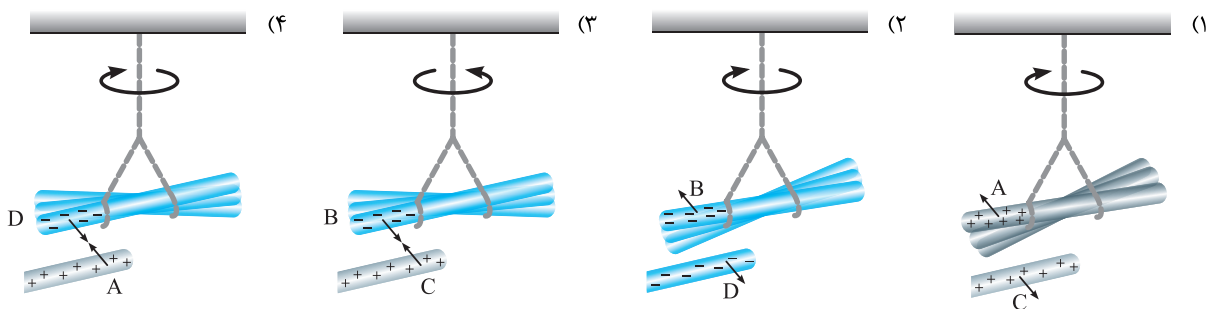
$$q_C = q_A + q_B \quad (۲)$$

$$q_C = -q_A \quad (۳)$$

$$-q_C = q_A + q_B \quad (۴)$$

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 می‌نویسیم بریم سرخ قانون کولن و به سری سوالاتی 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)

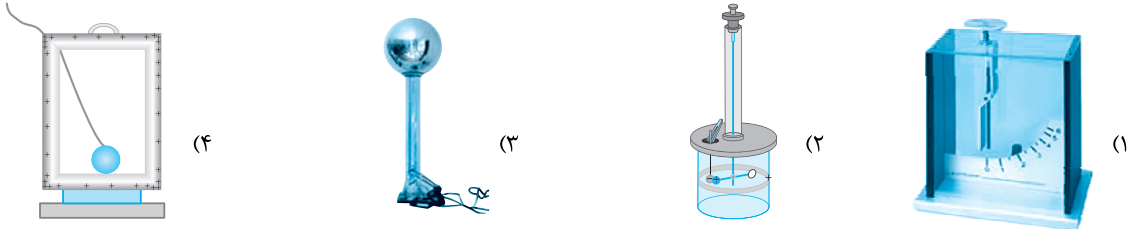
- (۱) اندازه بار هر یک از آن‌ها - مجذور فاصله بین آن‌ها
- (۲) اندازه بار هر یک از آن‌ها - فاصله بین آن‌ها
- (۳) مجذور اندازه بار هر یک از آن‌ها - فاصله بین آن‌ها
- (۴) مجذور اندازه بار هر یک از آن‌ها - مجذور فاصله آن‌ها



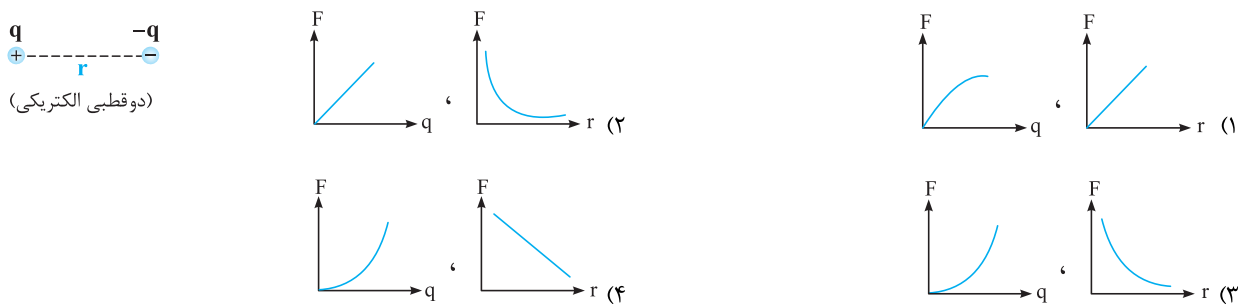
۱۲- یکای  $k$  (ثابت کولن) و  $\epsilon_0$  (ضریب گذردهی الکتریکی در خلأ) در SI به ترتیب از راست به چپ کدام است؟

(۱)  $\frac{C^2}{N.m^2}, \frac{N.m}{C}$  (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 کدامیک از وسایل زیر، کولن توانست عامل‌های مؤثر بر نیروی الکتریکی بین دو ذره باردار را شناسایی کند؟ (کتاب درسی)



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



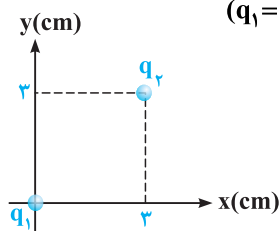
۱۵- بار الکتریکی ۵ میکروکولنی را در چند سانتی‌متری از یک بار ۴ میکروکولنی قرار دهیم تا بر آن نیروی ۱۸ نیوتون را وارد کند؟ (سراسری قبل از ۹۰)

- (۱) ۱ (۲) ۳/۱۴ (۳) ۹ (۴) ۱۰

۱۶- دو ذره باردار با بارهای مثبت در فاصله ۳۰cm از یکدیگر با نیروی الکتریکی ۵N یکدیگر را می‌رانند. اگر مجموع بار دو ذره ۱۵ میکروکولن باشد، بار هر یک از این ذره‌ها چند میکروکولن است؟ ( $k = 9 \times 10^9 \text{ N.m}^2 / \text{C}^2$ )

- (۱) ۷ و ۸ (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 فاصله  $d$  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 فاصله ۱cm از هم قرار دارند، به طوری که گوی بالایی به حالت معلق مانده است. تعداد الکترون‌های کنده‌شده از هر گوی چه قدر

(کتاب درسی)

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



- (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 ازمایه کن، بریم ببینیم تغییر پارامترهای مختلف، چه تغییری باعث تغییر نیروی کولنی میشه. تو این قسمت، پیزیای بالایی 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  $a = 10^{-4} \times 2$  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؟

- (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؟

- (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  $F$  گردد؟

- (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؟

- (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 ایبره اصلی مل این‌جور سؤاله؟

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)

(۱)  $F > F'$       (۲)  $F < F'$

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

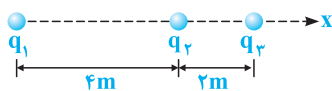
۳۲- در سؤال قبل، اگر قبل از تماس دادن دو کره به یک‌دیگر، بار الکتریکی آن‌ها هم‌نام و نامساوی باشند، آن‌گاه کدام رابطه بین  $F$  و  $F'$  برقرار است؟

(۱)  $F > F'$       (۲)  $F' > F$

(۳)  $F = F'$       (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 براینتر نیروهای وارز بر یک زره، تو مانتی که بارهای الکتریکی روی یه راستا هستن، لار کنیم. بعضی سؤالا، ایره‌هاشون فیلی قشنگ و بریره ...



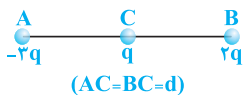
۳۳- مطابق شکل روبه‌رو، سه ذره با بارهای الکتریکی  $q_1 = +2/5 \mu\text{C}$ ،  $q_2 = -1 \mu\text{C}$ ،  $q_3 = +4 \mu\text{C}$

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

کدام است؟  $(k = 9 \times 10^9 \text{ N.m}^2 / \text{C}^2)$  (سراسری قبل از ۹۰)

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

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

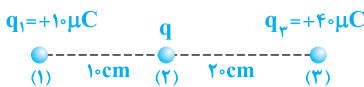


(۱)  $\Delta F$  به طرف راست      (۲)  $\Delta F$  به طرف چپ

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

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

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



(۱)  $10$       (۲)  $20$

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

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

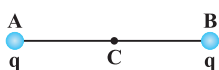
بار  $q_1$ ،  $q_2$ ،  $q_3$  را با نیروی الکتریکی  $F$  دفع کند و بزرگی برابری نیروهای وارد بر بار  $q_3$

برابر  $F/4$  و به سمت چپ باشد، نسبت  $q_1/q_2$  کدام است؟

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

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

$AB$ ، 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.

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

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

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

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

با توجه به 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:

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

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  $X^{2+}$ :  $q = -ne \Rightarrow -4/8 \times 10^{-18} = -n \times 1/6 \times 10^{-19} \Rightarrow n = 30$

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 الکترواستاتیساکنی، 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 الکترواستاتیساکنی 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:

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

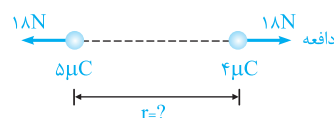
۲ ۱۳ گزینه (۱) یک الکتروسکوپ، گزینه (۲) یک ترازوی پیچشی، گزینه (۳) مولد وان دوگراف و گزینه (۴) وسیلهٔ مورد نیاز برای انجام آزمایش فاراده را نشان می‌دهد. همان‌طور که می‌دانید، کولن به وسیلهٔ ترازوی پیچشی، عوامل مؤثر بر نیروی الکتریکی بین دو ذرهٔ باردار را شناسایی کرد.

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

$$F = \frac{k |q_1| |q_2|}{r^2} \xrightarrow{|q_1| = |q_2| = q} F = \frac{kq^2}{r^2} \Rightarrow \begin{cases} F \propto q^2 \\ F \propto \frac{1}{r^2} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \text{با افزایش } r \text{، نیروی } F \text{ کاهش می‌یابد.} \\ \text{سهمی} \end{cases}$$

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

۴ ۱۵



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

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

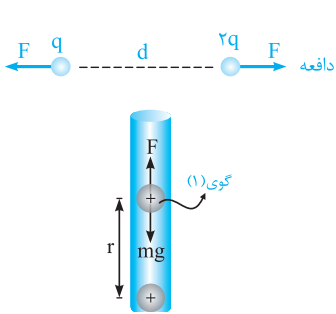
(۲)  $\vec{F} = -10\sqrt{2}\vec{i} - 10\sqrt{2}\vec{j}$

(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:



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

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:

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

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:

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

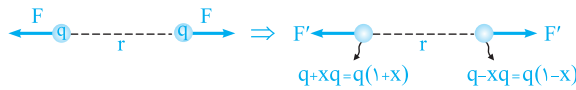
۲۴ ۴ درصد باری که از یکی از بارها برداشته و به دیگری اضافه شده است را  $x$  در نظر می‌گیریم. حال با بررسی دو حالت، مقدار مجهول را به دست می‌آوریم:



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

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

**خلاصیت حرف‌هایها:** به دلیل اهمیت این سؤال 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؟  $F \leftarrow$  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؟  $F \leftarrow$  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:

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

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

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

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



۲۷ با بررسی دو حالت داریم:

حالت اولیه :  $F = ۰/۰۲\text{ N}$   $q_1$   $q_2$   $r$   $F$

حالت ثانویه :  $F' = ۰/۰۳\text{ N}$   $q'_1 = q_1$   $q'_2 = q_2 + ۲\mu\text{C}$   $r$   $F'$

$$\begin{cases} (۱) F = \frac{k|q_1||q_2|}{r^2} \xrightarrow{\text{بارها مشابهند}} ۰/۰۲ = \frac{kq^2}{r^2} \\ (۲) F' = \frac{k|q'_1||q'_2|}{r^2} \Rightarrow ۰/۰۳ = \frac{kq(q+۲)}{r^2} \end{cases} \Rightarrow \frac{F}{F'} = \frac{۰/۰۲}{۰/۰۳} = \frac{k \frac{q^2}{r^2}}{k \frac{q(q+۲)}{r^2}} \Rightarrow \frac{۲}{۳} = \frac{q}{q+۲} \Rightarrow ۲q + ۴ = ۳q \Rightarrow q = ۴\mu\text{C}$$

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  $q_1 = -۴\mu\text{C}$   $q_2 = +۶\mu\text{C}$   $\Rightarrow$   $q'_1 = +۱\mu\text{C}$   $q'_2 = +۱\mu\text{C}$  بعد از تماس کره‌ها

$$\begin{cases} q_1 = -۴\mu\text{C} \\ q_2 = +۶\mu\text{C} \end{cases} \Rightarrow q'_1 = q'_2 = \frac{q_1 + q_2}{۲} = \frac{(-۴) + ۶}{۲} = ۱\mu\text{C}$$

به عبارت دیگر با تماس دادن دو کره با یکدیگر باید به میزان  $-۵\mu\text{C}$  بار از کره اول به کره دوم منتقل شود. در ادامه با رابطه  $q = ne$  تعداد الکترون‌های مبادله شده را به دست می‌آوریم:

$$q = -ne \Rightarrow -۵ \times ۱۰^{-۶} = n \times (-۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}) \Rightarrow n = ۳/۱۲۵ \times ۱۰^{۱۳}$$

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

$$q'_1 = q'_2 = \frac{-۶ + (+۴)}{۲} = -۱\text{ nC}$$

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

$$F' = k \frac{|q'_1||q'_2|}{r^2} = ۹ \times ۱۰^۹ \times \frac{(۱ \times ۱۰^{-۹}) \times (۱ \times ۱۰^{-۹})}{(۳۰ \times ۱۰^{-۲})^2} = ۱۰^{-۷}\text{ N} = ۱۰۰\text{ nN}$$

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.

$$q'_1 = q'_2 = \frac{q_1 + q_2}{۲} = ۰$$

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

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

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.

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

$$q'_1 = q'_2 = \frac{q+q}{۲} = q$$

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.

$q_1 = q$   $q_2 = -q$   $\Rightarrow$   $q'_1 = ۰$   $q'_2 = ۰$   $d$   $d$

$$q'_1 = q'_2 = \frac{q+(-q)}{۲} = ۰ \Rightarrow F' = ۰ < F$$

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:

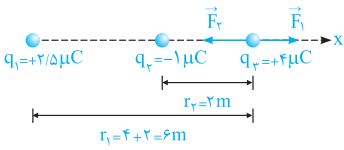
$q_1 = q$   $q_2 = ۲q$   $\Rightarrow$   $q'_1 = \frac{۳}{۲}q$   $q'_2 = \frac{۳}{۲}q$   $d$   $d$

$$q'_1 = q'_2 = \frac{q+۲q}{۲} = \frac{۳}{۲}q$$

$$\begin{cases} |q'_1||q'_2| = \left|\frac{۳}{۲}q\right| \times \left|\frac{۳}{۲}q\right| = \frac{۹}{۴}q^2 \xrightarrow{F \propto |q_1||q_2|} F' > F \\ |q_1||q_2| = |q| \times |۲q| = ۲q^2 \end{cases}$$

بنابراین هر سه حالت ممکن است رخ دهد.

۲ 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).



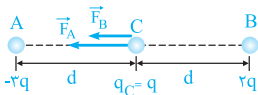
۱ ۳۳ بار الکتریکی  $q_1$  بار  $q_3$  را دفع می‌کند ( $\vec{F}_1$ ) و بار الکتریکی  $q_2$  بار  $q_3$  را جذب می‌کند ( $\vec{F}_2$ ).

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

بنابراین برآیند نیروهای وارد بر بار  $q_3$  برابر است با:

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

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



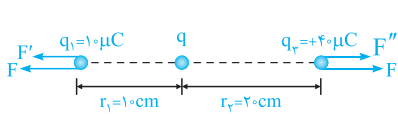
۲ ۳۴ فرض می‌کنیم اندازه نیرویی که دو بار  $q$  در فاصله  $d$  بر یکدیگر وارد می‌کنند، برابر  $F$  باشد

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

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

(به سمت چپ)  $R = 2F + 3F = 5F$

با برآیندگیری از نیروهای هم‌جهت به‌دست آمده، داریم:



۴ 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:

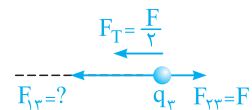
$$\left\{ \begin{aligned} F_{T_1} &= F + F' = F + k \frac{|q_1||q|}{r_1^2} = F + k \times \frac{10 \times 10^{-6} |q|}{(1 \times 10^{-2})^2} = F + 10^{-3} k |q| \\ F_{T_3} &= F + F'' = F + k \frac{|q_3||q|}{r_3^2} = F + k \times \frac{4 \times 10^{-6} |q|}{(2 \times 10^{-2})^2} = F + 10^{-3} k |q| \end{aligned} \right.$$

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

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

۳ 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.