☑ بخش۳: قانون کولُن

دانستیم که بارهای الکتریکی به یکدیگر **نیرو** وارد می‌کنند که این نیرو می‌تواند جاذبه یا دافعه باشد. حال می‌خواهیم بدانیم که نیروی الکتریکی بین دو جسم باردار، به چه عواملی بستگی دارد و اندازهٔ این نیرو را از چه رابطه‌ای می‌توان محاسبه کرد؟

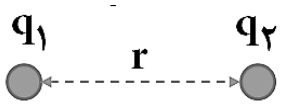
شارل کولُن، دانشمند فرانسوی پس از انجام آزمایش‌هایی ساده با وسیله‌ای به نام ترازوی پیچشی (شکل ۱-۷ کتاب درسی)، پاسخ این سولات را با ارائهٔ یک قانون فیزیکی بیان کرد که امروزه به نام **قانون کولن** خوانده می‌شود.

❖ **قانون کولن:** اندازهٔ نیروی الکتریکی (الکتروستاتیکی) بین دو بار نقطه‌ای(دو ذرهٔ باردار) که در راستای خط واصل آن‌ها اثر می‌کند با حاصل‌ضرب بزرگی آن‌ها متناسب است و با مربع فاصلهٔ بین آن‌ها نسبت وارون دارد.

(تعریف قانون کولن یکی از مهمترین تعاریف کتاب است و باید آن را حفظ باشید!)

بنابراین اندازهٔ نیروی بین دو ذرهٔ باردار برابر است با:

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



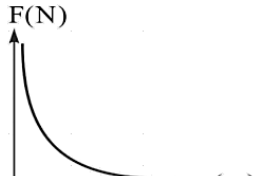
$$k = 9\times10^9\ \frac{N.m^2}{C^2}$$

- q_1 و q_2 : بارهای الکتریکی دو ذرهٔ باردار بر حسب کولن(C)
- r : فاصلهٔ بین دو بار بر حسب متر (m)
- F : بزرگی نیروی وارد بر هر بار بر حسب نیوتون (N)
- K : ثابت الکتروستاتیکی یا ثابت کولن (N)

← پس عواملی که اندازهٔ نیروی الکتریکی را تعیین می‌کنند عبارتند از: **بزرگی بارها** و **فاصلهٔ دو بار**

نیروی الکتریکی با حاصل‌ضرب بزرگی دو بار متناسب است ← $F \propto |q_1||q_2|$ **یعنی هرچه بارها بزرگتر باشند نیروی حاصل از آن ها بیشتر است (و بالعکس)**

نیروی الکتریکی با مربع فاصلهٔ دو بار نسبت عکس دارد ← $F \propto \frac{1}{r^2}$ **یعنی هرچه فاصلهٔ دو بار بیشتر باشد نیروی ایجاد شده کوچکتر است (و بالعکس**



○ **یادآوری:** علامت $\propto$ به معنی «متناسب بودن» است. لذا $F \propto \frac{1}{r^2}$ یعنی: نیروی الکتریکی متناسب است با عکس مربع(مجذور) فاصلهٔ میان دو ذرهٔ باردار الکتریکی. **یا به عبارت دیگر:** نیروی الکتریکی با مربع فاصلهٔ دو ذرهٔ باردار نسبت عکس دارد.

○ **یادآوری:** فراموش نکنید که عبارت‌های: « **اندازه** » و « **بزرگی** » فقط نشان دهندهٔ عدد یک کمیت هستند و جهت و یا علامت (+ و -) آن را نشان نمی‌دهند. لذا برای نشان دادن بزرگی یا اندازهٔ یک کمیت، آن را درون قدر مطلق قرار می‌دهند (مانند: $|q|$) و یا اگر مانند نیرو ($\vec{F}$) کمیتی برداری باشد، آن را بدون نماد بردارِ بالای آن نشان می‌دهند (F).

○ **نکتهٔ مهم:** توجه کنید که قانون کولن فقط اندازهٔ نیروی بین دو ذرهٔ باردار را محاسبه می‌کند (به همین علت بار ذره‌ها را درون قدر مطلق قرار می‌دهیم ($|q_1|$ $|q_2|$) چون نیازی به دانستن علامت آن‌ها نداریم و فقط بزرگی آن‌ها اهمیت دارد) اما اینکه این نیرو از نوع **دافعه** (رانشی) یا **جاذبه** (ربایشی) است به همنام یا ناهمنام بودن بارها بستگی دارد. *(پس این قسمت را باید خودتان تحلیل کنید!)*

← **مثلاً:** نیروی بین یک الکترون و یک پروتون از نوع ربایشی است؛ زیرا بار الکترون منفی و بار پروتون مثبت است و می‌دانیم که میان بارهای ناهمنام، جاذبه وجود دارد.

مثال ۶ (شبه نهایی ریاضی - خرداد ۱۴۰۴) (مشابه مسائل پایانی فصل ـ مسئلهٔ ۴): دو گوی رسانا، کوچک و یکسان به بارهای $q_1 = -4\ \mu C$ و $q_2 = +6\ \mu C$ را با هم تماس می‌دهیم و سپس تا فاصلهٔ $r = 30\ cm$ از هم دور می‌کنیم.

الف) نیروی الکتریکی بین دو گوی را محاسبه کنید. ($k = 9\times10^9\ \frac{N.m^2}{C^2}$)

ب) این نیرو رانشی است یا ربایشی؟

کتاب درسی ○ **مثال ۱-۲** ← توجه کنید که در این مثال، ذره‌های باردار، همان الکترون‌ها و پروتون‌های داخل اتم هستند.

○ **نکته:** حالت مقایسه‌ای قانون کولن به صورت مقابل است:

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

(از این رابطه می‌توان برای مقایسهٔ ویژگی‌های دو جفت بار الکتریکی مختلف و یا مقایسهٔ ویژگی‌های یک جفت بار الکتریکی برای دو حالت مختلف استفاده کرد.)

* رسم نیروی الکتریکی بین دو بار

برای رسم نیروهایی که دو ذرهٔ بار دار به هم وارد می‌کنند باید توجه داشت که بنا به **قانون سوم نیوتون**:

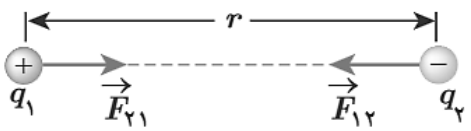
۱- نیروها **هم‌راستا** هستند. (هر دو نیرو روی خطی قرار می‌گیرند که دو بار را به هم وصل می‌کند)

۲- نیروها همواره **در خلاف جهت** یکدیگرند. (چه بارها همنام باشند و چه غیر همنام باشند)

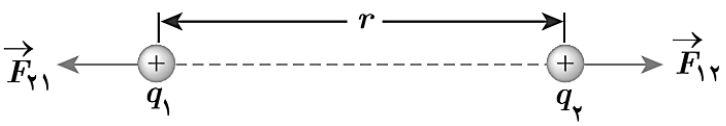
۳- نیروها **هم‌اندازه** اند. (حتی اگر بارها هم‌اندازه نباشند)

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} \Rightarrow F_{12} = F_{21} = F$$

حالت جاذبه



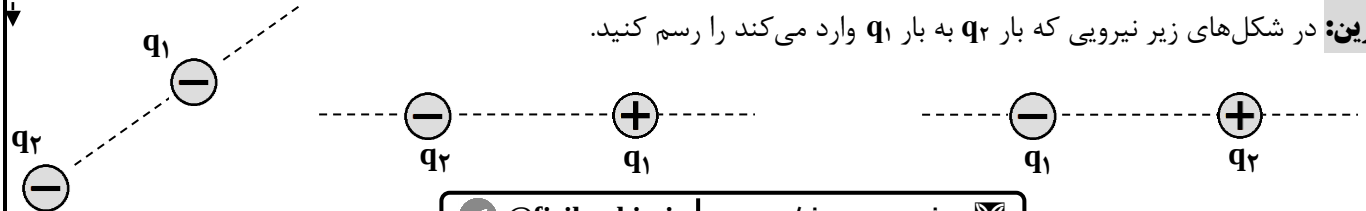
حالت دافعه



○ چنانکه در شکل‌های بالا مشاهده می‌کنید، وقتی بارها **همنام** هستند نیروهای رسم شده از هم دور می‌شوند و یکدیگر را دفع می‌کنند (دافعه) و وقتی بارها **ناهمنام** هستند نیروهای رسم شده به سمت یکدیگر قرار می‌گیرند و یکدیگر را جذب می‌کنند (جاذبه).

○ **نکتهٔ مهم:** $\vec{F}_{12}$ (خوانده می‌شود: افِ یک دو) نیرویی است که بار q_1 به بار q_2 وارد می‌کند، و $\vec{F}_{21}$ (افِ دو یک) نیرویی است که بار q_2 به بار q_1 وارد می‌کند. پس برای رسم یک نیرو، اول باید ببینیم که این نیرو به کدام بار وارد می‌شود و سپس ابتدای بردار نیرو را از روی همان بار رسم کنیم.

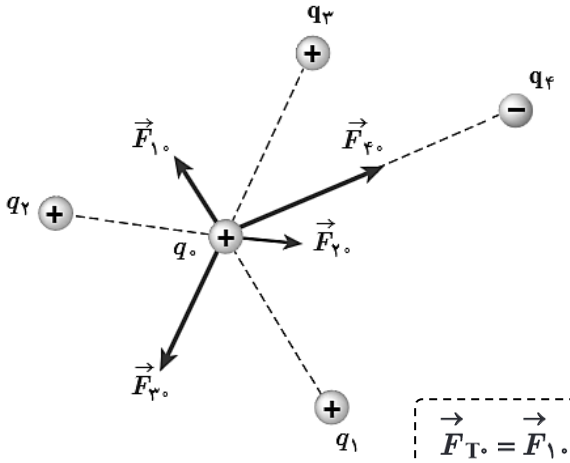
تمرین: در شکل‌های زیر نیرویی که بار q_2 به بار q_1 وارد می‌کند را رسم کنید.



** جهت مشاوره تحصیلی رایگان و پرسیدن سوالات خود با مشاوران سایت ارتباط بگیرید **

* برهم‌نهی نیروهای الکتروستاتیکی

تا این‌جا دانستیم که اگر دو ذرهٔ باردار در مجاورت هم قرار بگیرند، به هرکدام از آن‌ها نیرویی برابر با رابطهٔ قانون کولن وارد می‌شود. اما اگر تعداد ذره‌های باردار بیش از دو ذره باشد، به هر کدام از ذره‌ها چه نیرویی وارد می‌شود؟



در شکل مقابل، ۵ ذرهٔ باردار در مجاورت یکدیگر قرار گرفته‌اند. حال اگر بخواهیم نیرویی را که از جانب ۴ ذره ذرات بر ذرهٔ q_0 وارد می‌شود را محاسبه کنیم، ابتدا نیرویی که هریک از ذرات بر ذرهٔ q_0 وارد می‌کند را به طور جداگانه رسم و محاسبه می‌کنیم. آنگاه برایند همهٔ این نیروها می‌شود نیروی خالص وارد بر ذرهٔ q_0.

◄ برای به دست آوردن **نیروی برایند** ($\vec{F}_T$)، ابتدا همهٔ نیروها را به صورت برداری می‌نویسیم و سپس با هم جمع می‌کنیم:

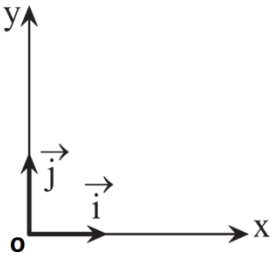
$$\vec{F}_{T۰} = \vec{F}_{۱۰} + \vec{F}_{۲۰} + \vec{F}_{۳۰} + \vec{F}_{۴۰}$$

ⓘ توجه: شکل بالا تنها برای بیان طرح کلی موضوع ارائه شده است و کتاب درسی فقط دو حالت ساده را در مسائل مورد بررسی قرار می‌دهد:

۱- نیروهای وارد بر یک ذرهٔ باردار، همراستا باشند **۲- نیروهای وارد بر یک ذرهٔ باردار، بر هم عمود باشند**

قبل از پرداختن به این دو حالت، از جهت یادآوری، مروری به بحث بردار و جمع برداری خواهیم داشت.

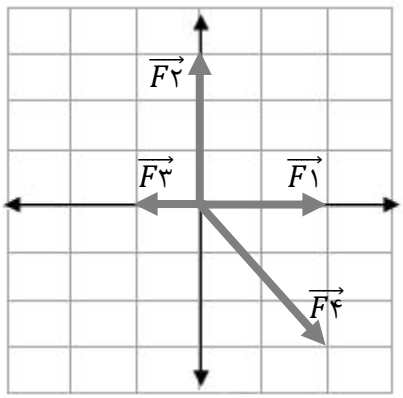
* بردار و جمع برداری



نیرو کمیتی برداری است و یک کمیت برداری دارای اندازه و جهت است. اعداد درج شده بر روی محورهای مختصات می‌تواند اندازهٔ بردار رسم شده را نشان دهد اما جهت بردار با توجه به بردارهای یکه ($\vec{i}$ و $\vec{j}$) معلوم می‌شود.

بردارهای یکه، بردارهایی به طول واحد هستند که بر جهت مثبت محورهای x و y بنا شده‌اند. بردار یکهٔ $\vec{i}$ جهت مثبت محور x ، و بردار یکهٔ $\vec{j}$ جهت مثبت محور y را نشان می‌دهد.

◄ بر این اساس می‌توان هر برداری را با **اندازه** و **جهت** آن مشخص کرد. **مثال:**



$\vec{F}_۱$: دو واحد به سمت راست (جهت i) کشیده شده ◄ $\vec{F}_۱ = ۲\,\vec{i}$ ← اندازه: ۲ ، جهت: i

$\vec{F}_۲$: سه واحد به سمت بالا (جهت j) کشیده شده ◄ $\vec{F}_۲ = ۳\,\vec{j}$

$\vec{F}_۳$: یک واحد به سمت چپ (جهت -i) کشیده شده ◄ $\vec{F}_۳ = -۱\,\vec{i}$ ← اندازه: ۱ ، جهت: -i

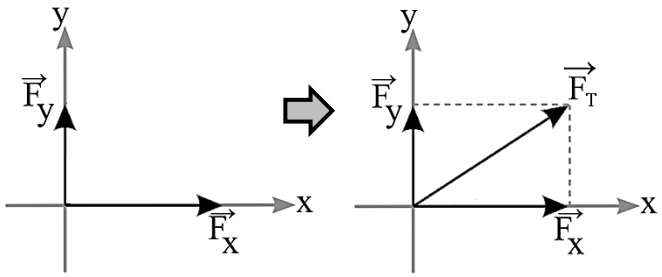
$\vec{F}_۴$: دو واحد به راست (جهت i) و سه واحد به پایین (جهت -j) کشیده شده ◄ $\vec{F}_۴ = ۳\,\vec{i} + (-۱)\,\vec{j}$

○ نکته: وقتی جهت بردار بر خلاف بردار یکه باشد، علامت منفی آن را پشت اندازهٔ بردار قرار می‌دهیم.

جمع برداری: برای به دست آوردن برایند چند بردار کافی است که آن‌ها را با هم جمع کنیم. به این صورت که تمام مؤلفه‌هایی که در راستای **i** هستند را با هم، و تمام مؤلفه‌هایی که در راستای **j** هستند را نیز با هم جمع کرده و یک بردار برایند را می‌سازیم. مثلاً برای شکل بالا:

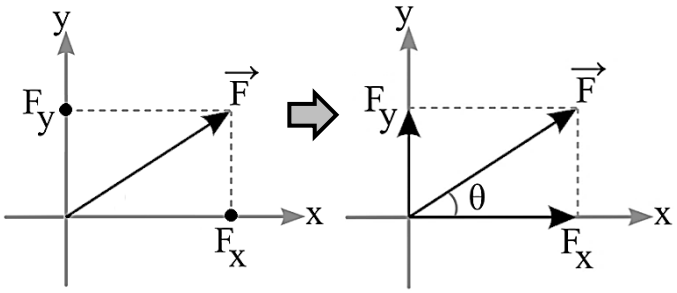
$$\mathbf{F_T} = \vec{F}_۱ + \vec{F}_۲ + \vec{F}_۳ + \vec{F}_۴ = [۲ + (-۱) + ۳]\,\vec{i} + [۳ + (-۱)]\,\vec{j} = ۴\,\vec{i} + ۲\,\vec{j}$$

رسم برایند بردارهای مُتعامِد: برای رسم برایند دو بردار عمود بر هم (مانند $\vec{F}_x$ و $\vec{F}_y$ در شکل مقابل) کافیست که از انتهای هر بردار، خطی موازی بردار دیگر بکشیم تا یکدیگر را قطع کنند و یک مستطیل (یا مربع) ساخته شود. آن قطرِ مستطیل که ابتدایش مبدأ مختصات است می‌شود برایند دو بردار. $\vec{F}_T = \vec{F}_x + \vec{F}_y$



o نکته: برایند دو بردار که در یک راستا هستند، در همان راستا و به سمت بردار بزرگتر است.

تجزیهٔ مؤلفه‌های بردار: هر برداری که به صورت مایل رسم می‌شود، دارای دو مؤلفهٔ i و j است. مثلاً در شکل مقابل، بردار $\vec{F}$ به اندازهٔ F_x در جهت i، و به اندازهٔ F_y در جهت j کشیده شده است. اگر مبدأ مختصات را به این دو نقطه وصل کنیم، دو بردار $\vec{F}_x$ و $\vec{F}_y$ پدید می‌آید که مؤلفه‌های بردار $\vec{F}$ بر روی محورهای x و y هستند. (این کار دقیقاً برعکس رسم برایند بردارهای متعامد است.)



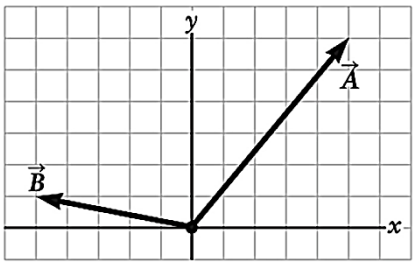
حال می‌توانیم بنویسیم: $\vec{F} = F_x\,\vec{i} + F_y\,\vec{j}$

$Fx = F\cos\theta$

$Fy = F\sin\theta$

اندازه (بزرگی) بردارها ← $F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$ (فیثاغورس)

تمرین: بردارهای $\vec{A}$ و $\vec{B}$ را بر حسب بردارهای یکه بنویسید و سپس بردار برایند آن‌ها را به‌دست آورید و آن را رسم کنید.

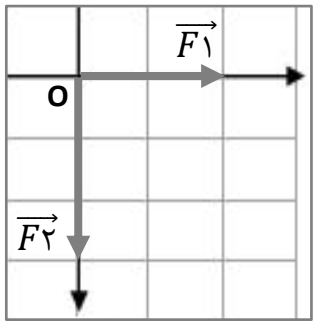


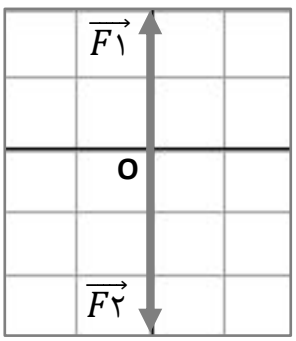
$\vec{A} = \ldots\ldots\,\vec{i} + \ldots\ldots\,\vec{j}$

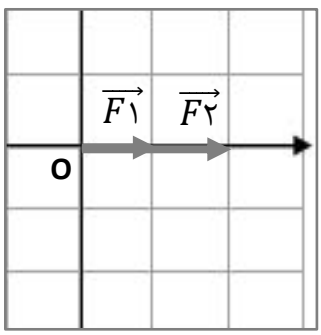
$\vec{B} = \ldots\ldots\,\vec{i} + \ldots\ldots\,\vec{j}$

بردار برایند ⇦ $\vec{C} = \ldots\ldots\,\vec{i} + \ldots\ldots\,\vec{j}$

تمرین: بردارهای نیرو در شکل‌های زیر را بر حسب بردارهای یکه بنویسید و بردار برایند آن‌ها را نیز به‌دست آورده و رسم کنید.

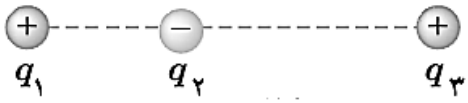






حالت اول: برهم‌نهی بارهای هم‌راستا (نیروهای هم‌راستا)

در این نوع مسائل، معمولاً ۳ ذرهٔ باردار که در یک راستا (روی یک خط) قرار گرفته‌اند را می‌دهند و از شما می‌خواهند که نیروی الکتریکی خالص را روی یکی از این ذرات باردار محاسبه کنید و یا آن را بر حسب بردارهای یکه بنویسید.



❖ **برای حل همهٔ انواع مسائل برهم‌نهی(حالت اول و دوم) باید مراحل زیر را انجام دهید:**

۱– تعیین اندازهٔ نیروها: ابتدا با استفاده از رابطهٔ قانون کولن ($F = k\frac{|q_1||q_2|}{r^2}$) نیرویی را که هر یک از بارهای دیگر بر بار مورد نظر وارد می‌کنند به طور جداگانه محاسبه کنید. (✍ *توجه کنید که این رابطه فقط اندازهٔ این نیروها را محاسبه می‌کند.*)

۲– تعیین جهت نیروها: جهت هر کدام از نیروها را با توجه به جاذبه و دافعهٔ میان بارهای آن‌ها تعیین کنید (و در صورت نیاز رسم کنید).

۳– نوشتن نیروها به صورت برداری: حالا که اندازه و جهت هر نیرو مشخص است، می‌توانید آن‌ها را به صورت برداری بنویسید.

۴– به دست آوردن نیروی برایند(بردار برایند) : با جمع برداری نیروها، نیروی برایند به دست می‌آید. $\vec{F}_T = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$

۵– به دست آوردن اندازهٔ نیروی برایند : با داشتن بردار برایند، اندازهٔ آن نیز معلوم می‌شود.

خلاصهٔ تمام موارد بالا:

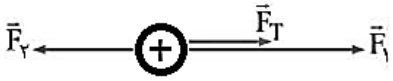
- ابتدا یک‌یک نیروهای وارد بر ذرهٔ باردار را شناسایی و به صورت بردار می‌نویسیم.
- سپس با جمع آن‌ها بردار برایند و اندازهٔ آن به دست می‌آید.

(✍ *ممکن است تصور کنید مراحل بالا طولانی و پیچیده است اما در واقع فقط همین دو عمل کلی انجام می‌شود.*)

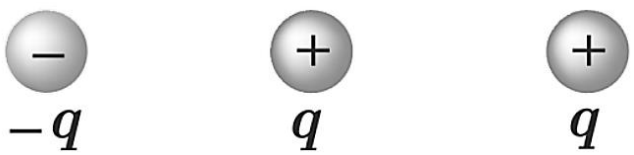
○ نکته: در برهم‌نهی بارهای هم‌راستا، همهٔ نیروها در یک راستا هستند (یا در راستای i و یا در راستای j) بنابراین، برایند آن‌ها فقط یک مؤلفه در همان راستا دارد. لذا بزرگی نیروی برایند، برابر با اندازهٔ همان مؤلفه است.

مثال: $\vec{F}_T = -5N\,\vec{i} \Rightarrow F_T = 5N$ (بردار نیرو — اندازهٔ نیرو)

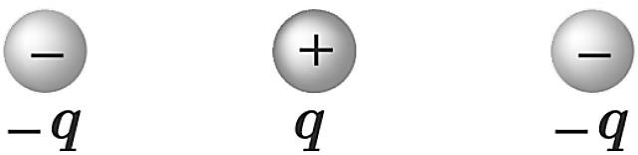
○ نکته: جهت بردار برایند در این حالت، به سمت نیروی بزرگتر است.



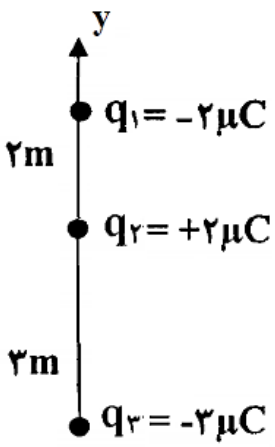
پرسش ۱–۲ کتاب درسی سه ذرّه باردار مانند شکل زیر، روی یک خط راست قرار دارند و فاصلهٔ بارهای سمت راست و چپ از بار میانی برابر است. الف) جهت نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار الکتریکی میانی را تعیین کنید.



ب) اگر ذرهٔ سمت راست به جای q ، بار $-q$ داشته باشد، جهت نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار میانی چگونه خواهد بود؟



مثال ۷ (نهایی ریاضی - دی۹۴): سه ذرهٔ باردار روی محور y‌ها، مطابق شکل، قرار دارند.

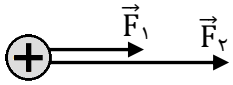


برایند نیروهای وارد بر بار $q_۲$ را در SI بر حسب بردارهای یکه بنویسید.

*** سوال:** اندازهٔ نیروی برایند چند نیوتون است؟

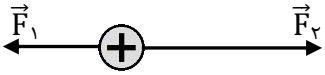
ⓘ توجه: یکی از اشتباهات رایج دانش آموزان در حل این مسائل، بی‌توجهی به یکاهای داده شده و عدم تبدیل آن بر مبنای قابل قبول SI است. فراموش نکنید که یکای بار الکتریکی(q) کولن (C) است، و یکای فاصلهٔ میان بارها(r) نیز متر(m) است.

o نکته: در رابطه با مسائل این قسمت توجه داشته باشید که همیشه این‌طور نیست که بردار نیروی برایند را از شما بخواهند. بلکه ممکن است از شما بخواهند که مستقیماً اندازهٔ نیروی برایند را به‌دست آورید. باید بدانید که با توجه به ساده بودن جمع بردارهای هم‌راستا (تک‌مؤلفه)، وقتی که اندازهٔ نیروهای وارد بر ذره را با قانون کولن مشخص کردید، می‌توانید جای مراحل ۴ و ۵ را عوض کنید، یعنی اول **اندازهٔ نیروی برایند** را به روش زیر به‌دست آورید، سپس با قرار دادن بردار یکهٔ مناسب(جهت نیروی برایند) در کنار آن، **بردار نیروی برایند** نیز به سادگی به‌دست می‌آید.



$F_T = F_۱ + F_۲$

وقتی نیروهای وارد بر یک بار **هم‌جهت‌اند**، کافی است که اندازهٔ آن‌ها را با هم جمع کنیم.



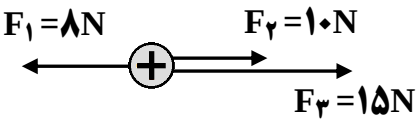
$F_T = F_۲ - F_۱$

وقتی نیروهای وارد بر یک بار در **خلاف جهت یکدیگراند**، کافی است که تفاضل اندازهٔ آن‌ها را محاسبه کنیم.

توجه داشته باشید که اندازهٔ بردار برایند همیشه باید مثبت باشد، لذا باید بردار بزرگتر را منهای بردار کوچکتر کنیم و چون در این مثال $F_۲$ بزرگتر از $F_۱$ است رابطه به این شکل درآمده است. اما در حالت کلی می‌توانیم قدر مطلقِ تفاضل را در نظر بگیریم و بنویسیم:

$$F_T = |F_۱ - F_۲|$$

مثال:



کوچکتر بزرگتر

اندازهٔ نیروی برایند $F_T = (F_۲ + F_۳) - F_۱ = (۱۰ + ۱۵) - ۸ = ۱۷\ N$

بردار نیروی برایند $\vec{F}_T = ۱۷\ N\,\vec{i}$

نیروها در جهت مثبتِ i ، قوی‌تر هستند، لذا برایند به همان جهت است.

کتاب درسی ○ مثال ۱-۳ ○ تمرین ۱-۲

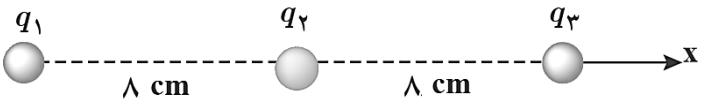
○ **نکته: تکنیک محاسباتی**: در بسیاری از سوال‌های مربوط به نیروی الکتریکی، فاصلهٔ بارها را بر حسب سانتی‌متر (cm) می‌دهند، که این فاصله باید به متر تبدیل شود و در رابطهٔ قانون کولن ($F = k\frac{|q_1||q_2|}{r^2}$) به توان ۲ برسد (r^2). یکی از اشتباهات محاسباتیِ رایج میان دانش آموزان در همین نقطه است. برای این مورد پیشنهاد می‌شود که از این تکنیک استفاده کنید:

فاصله را با همان یکای cm به توان **۲** برسانید و سپس در 10^{-4} ضرب کنید.

تمرین : (فاصلهٔ دو بار از هم) $r = 8cm \rightarrow r^2 = \ldots\ldots\ldots$ **مثال :** (فاصلهٔ دو بار از هم) $r = 30cm \rightarrow r^2 = 900\times10^{-4}\ m$

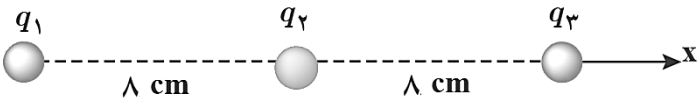
مثال ۸ (مسائل پایانی فصل ـ مسئلهٔ ۶): بارهای الکتریکی نقطه‌ای $q_1 = -4\ nC$ ، $q_2 = +5\ nC$ و $q_3 = -4\ nC$ مطابق شکل در جای خود ثابت شده‌اند. نیروی خالص الکتریکی وارد بر هریک از بارهای q_2 و q_3 را محاسبه کنید.

نیروی وارد بر بار q_2:



نکته: طبق قانون کولن، اندازهٔ نیروی الکتریکی فقط به اندازهٔ بارها و فاصلهٔ بارها بستگی دارد. پس در مثال‌هایی از این دست که اندازهٔ بارها و فاصلهٔ آن‌ها از بار مورد نظر برابر است نیازی به محاسبهٔ دوبارهٔ نیروها نیست و محاسبهٔ یکی از آن‌ها کفایت می‌کند.

نیروی وارد بر بار q_3:



مثال ۹ (مسائل پایانی فصل ـ مسئلهٔ ۷): در شکل روبه‌رو دو گوی مشابه به جرم ۰/۲۵g و بار یکسان مثبت q در فاصلهٔ ۱cm از هم قرار دارند، به طوری که گوی بالایی به حالت معلق مانده است.

الف) اندازهٔ بار q را به‌دست آورید. ب) تعداد الکترون‌های کنده شده از هر گوی چقدر است؟

راهنمایی(الف): گوی بالایی تحت تأثیر دو نیرو قرار دارد. یکی نیروی الکتریکی (F_E) به سمت بالا و دیگری نیروی وزن(mg) به سمت پایین؛ و چون معلق مانده، یعنی در حالت تعادل قرار گرفته و هر دو نیرو با هم برابر شده‌اند.

راهنمایی(ب): می‌دانیم که هر مقدار الکترون از گوی کنده شده باشد، به همان میزان بار مثبت پیدا کرده است.

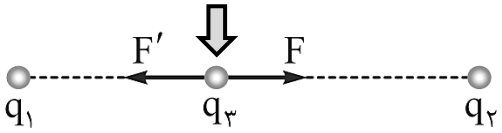
❋ نقطهٔ تعادل نیروها

اگر دو بار الکتریکی (مثلاً q_1 و q_2) در فاصلهٔ معینی از هم قرار داشته باشند، نقطه‌ای در **نزدیکی بار کوچکتر** و **روی خط واصل دو بار** وجود دارد که هر باری (مثل q_3) در آن نقطه قرار بگیرد برایند نیروهای الکتریکی وارد بر آن **صفر** خواهد بود. زیرا نیروهای وارد بر بار سوم (q_3) در آن نقطه، **هم اندازه** و در **خلاف جهت** یکدیگر هستند. لذا برایند نیروها بر بار سوم صفر می‌شود و به تعادل می‌رسد.

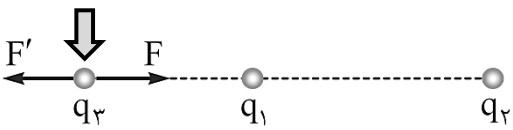
❖ **چرا این نقطه در نزدیکی بار کوچکتر است؟** طبق قانون کولن، اندازهٔ نیرو فقط به اندازهٔ بارها و فاصلهٔ میان آن‌ها بستگی دارد. از آن‌جا که بار کوچکتر، نیروی کمتری از بار بزرگتر دارد و نمی‌تواند آن را خنثی کند، باید فاصلهٔ آن به بار سوم نزدیکتر باشد تا بتواند ضعف خود را جبران کند.

با توجه به نوع بارهای q_1 و q_2، دو حالت برای این مسائل وجود دارد:

۱– بارهای همنام: اگر q_1 و q_2 همنام باشند، نقطهٔ تعادل بین دو بار قرار می‌گیرد.



۲– بارهای ناهمنام: اگر q_1 و q_2 ناهمنام باشند، نقطهٔ تعادل خارج از دو بار قرار می‌گیرد



O نکته: اندازه و علامت **بار سوم** هیچ تأثیری در موقعیت نقطهٔ تعادل ندارد. لذا هر باری در آن نقطه باشد به تعادل می‌رسد.

بارهای هم اندازه

O نکته: اگر بارها علاوه بر اینکه **همنام** هستند (حالت ۱)، **هم‌اندازه** نیز باشند، نقطهٔ تعادل دقیقاً در **وسط دو بار** قرار می‌گیرد.

O نکته: یک استثناء مهم: اگر بارهای **ناهمنام** (حالت ۲)، **هم‌اندازه** باشند، بار سوم در هیچ نقطه‌ای جز بی‌نهایت **به تعادل نمی‌رسد.**

روش حل مسائل نقطهٔ تعادل

سوال‌های نقطهٔ تعادل معمولاً به این صورت است که اندازهٔ دو بار q_1 و q_2 و فاصلهٔ میان آن‌ها را می‌دهند و از شما می‌خواهند که فاصلهٔ بار سوم (نقطهٔ تعادل) را از بار کوچکتر معلوم کنید. هرچند که می‌توان سوال‌های مختلف دیگری نیز مطرح کرد.

کلید اصلی حل این مسائل، توجه به این نکته است که در نقطهٔ تعادل، اندازهٔ نیروهایی که از جانب دو بار q_1 و q_2 به بار سوم وارد می‌شود باید برابر باشد (یعنی: $F_1=F_2$).

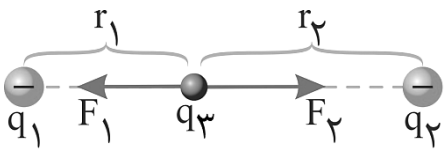
لذا می‌نویسیم:

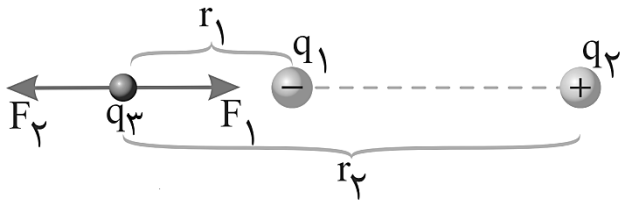
$$F_1 = F_2 \Rightarrow k\frac{q_1 q_3}{r_1^2} = k\frac{q_2 q_3}{r_2^2} \Rightarrow \frac{q_1}{r_1^2} = \frac{q_2}{r_2^2} \Rightarrow \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 = \frac{q_1}{q_2} \Rightarrow \boxed{\frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{q_1}{q_2}}}$$

معادلهٔ ۱

- **نکته:** می‌بینید که q_3 از دو طرف معادله حذف شد. به همین دلیل است که اندازه و علامت بار سوم هیچ تأثیری در موقعیت تعادل ندارد.
- **نکته:** منظور از q در رابطهٔ بالا همان $|q|$ است که برای ساده نویسی ذکر نکرده‌ایم. (لذا اگر مقدار q منفی بود علامت منفی آن حذف می‌شود.)
- **نکتهٔ بسیار مهم:** این رابطه چون به صورت **نسبت** است، نیازی به تبدیل یکاهای q و r ندارد. چون یکاها با هم خط می‌خورند و حذف می‌شوند.

رابطهٔ به دست آمده در بالا **معادلهٔ اول** ما را تشکیل می‌دهد. اما به **معادلهٔ دوم** نیز نیاز داریم که از روش زیر به دست می‌آید:





اگر فاصلهٔ بین دو بار q_1 و q_2 را d بنامیم خواهیم داشت:

برای بارهای هـمنام: $\boxed{d = r_1 + r_2}$

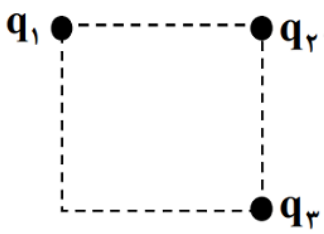
برای بارهای ناهمنام: $\boxed{d = r_2 - r_1}$

معادلهٔ ۲

با استفاده از این دو معادله می‌توانیم مجهول‌های مسئله را حل کنیم. (می‌توانیم معادلهٔ ۲ را مستقیماً وارد معادلهٔ ۱کنیم، مثلاً به جای r_2 قرار دهیم $d-r_1$ و همه را یکباره حل کنیم؛ **و یا می‌توانیم** اول معادلهٔ ۱را کامل حل کنیم و سپس معادلهٔ ۲ را وارد کنیم و دستگاه دو معادله دو مجهول تشکیل دهیم)

مثال ۱۰ (آزمایشی سنجش - ۸۸): دو بار الکتریکی نقطه‌ای $q_1= +۲\ \mu C$ ، $q_2= +۱۸\ \mu C$ در فاصلهٔ $۴\ cm$ از هم ثابت شده‌اند. بار q_3 را در چند سانتی‌متری بار q_1 و روی خط واصل دو بار q_1 و q_2 قرار دهیم تا به حال تعادل قرار بگیرد؟

حالت دوم: برهم‌نهی بارهای غیرهم‌راستا (نیروهای متعامد)



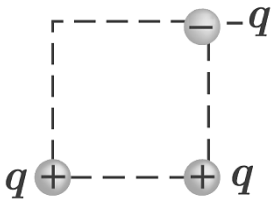
در این نوع مسائل، معمولاً ۳ تا ۴ ذرهٔ باردار را که در یک راستا قرار ندارند به شما می‌دهند و می‌خواهند که نیروی الکتریکی خالص (اندازهٔ نیروی برایند) را روی یکی از این ذرات باردار محاسبه کنید و یا نیروی برایند را بر حسب بردارهای یکه بنویسید.

❖ **روش حل مسائل این حالت، دقیقاً مشابه حالت اول (بارهای هم‌راستا) می‌باشد و تنها یک تفاوت وجود دارد:**

برایند نیروهای غیرهم‌راستا دارای دو مؤلفهٔ $\vec{i}$ و $\vec{j}$ می‌باشد. لذا برای محاسبهٔ اندازهٔ نیروی برایند باید از روش **فیثاغورس** استفاده کنید.

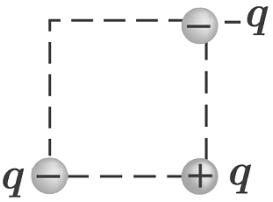
مثال: اگر نیروی برایند در مسئله‌ای به صورت $\vec{F} = -۳\vec{i} + ۴\vec{j}$ باشد، اندازهٔ این نیرو می‌شود: $F = \sqrt{(-۳)^۲ + ۴^۲} = ۵\,N$

پرسش ۱-۳ کتاب درسی سه ذرّه باردار مطابق شکل روبه‌رو، در سه گوشهٔ یک مربع قرار دارند.



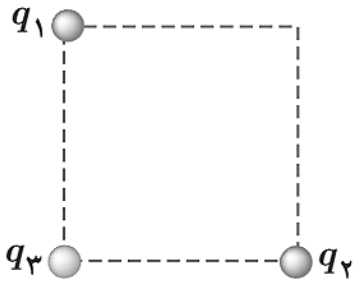
الف) جهت نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار سمت راست پایینی را تعیین کنید.

.

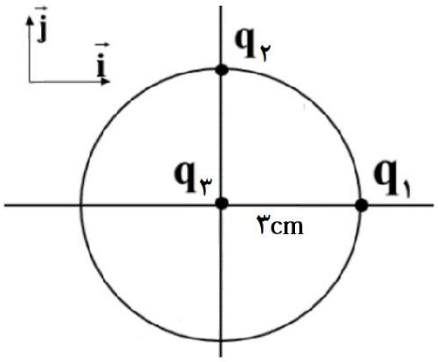


ب) اگر ذرهٔ سمت چپ پایینی به جای q، بار $-q$ داشته باشد، جهت نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار سمت راست پایینی چگونه خواهد بود؟

مثال ۱۱ (مسائل پایانی فصل ـ مسئلهٔ ۵): سه ذرهٔ باردار q_1، q_2 و q_3 مطابق شکل زیر در سه رأس مربعی به ضلع $۳\,m$ ثابت شده‌اند. اگر $q_1 = q_2 = -۵\,\mu C$ و $q_3 = +۲\,\mu C$ باشد، نیروی خالص الکتریکی وارد بر بار q_3 را بر حسب بردارهای یکهٔ $\vec{i}$ و $\vec{j}$ تعیین کنید.



مثال ۱۲ (نهایی تجربی ـ خرداد ۱۴۰۳): دو ذرهٔ باردار $q_1 = 40\ nC$ و $q_2 = -30\ nC$ روی محیط دایره‌ای به شعاع $3\ cm$ قرار دارند. نیروی خالص وارد بر بار $q_3 = 20\ nC$ را که در مرکز دایره واقع است رسم کنید و آن را بر حسب بردارهای یکهٔ $\vec{i}$ و $\vec{j}$ بنویسید.



کتاب درسی ○ مثال ۱-۴ ○ تمرین ۱-۳

☑ بخش۴: میدان الکتریکی

دانستیم که وقتی دو بار الکتریکی در فاصله‌ای از یکدیگر قرار بگیرند، بر هم نیرو وارد می‌کنند. اما این سوال مطرح می‌شود که این بارها، با اینکه با هم در تماس نیستند، چطور حضور یکدیگر را حس می‌کنند و بر هم نیرو وارد می‌کنند؟

پاسخ علم فیزیک: هر بار الکتریکی، در فضای پیرامون خود خاصیتی ایجاد می‌کند که به واسطهٔ آن، به هر باری که در آن فضا قرار بگیرد، نیروی الکتریکی وارد می‌شود. به این خاصیت، **میدان الکتریکی** گفته می‌شود.

توضیح: فرض کنید یک گوی دارای بار مثبت در فضای اتاق قرار دارد و بار الکتریکی دیگری هم در اطراف آن نیست. در ظاهر، اتفاق خاصی رقم نمی‌خورد اما این گوی باردار در اطراف خود خاصیتی را ایجاد کرده که همانند سربازانی نامرئی گرداگرد او را گرفته‌اند. سربازهایی که به گوی نزدیک‌ترند قوی‌تر هستند و هرچه از گوی دور شویم، از قدرت آن‌ها کاسته می‌شود. وظیفه (خاصیت) سربازها این است که هرگاه ذرهٔ بارداری در اتاق وارد شد، اگر دارای بار همنام با گوی بود با نیروی رانشی آن را دفع کنند و اگر دارای باری ناهمنام با گوی بود، با نیروی ربایشی آن را جذب کنند.

پس اگر هیچ ذرهٔ بارداری هم وارد اتاق نشود، سربازها که همان **میدان‌الکتریکی** هستند حضور دارند و همیشه آماده‌اند. یعنی وجود میدان الکتریکی، ربطی به حضور و یا عدم‌حضور یک **بار خارجی** ندارد و خاصیتِ ذاتیِ ذرهٔ باردار است. حال اگر یک ذرهٔ باردارِ خارجی وارد این میدان شود، از طرف سربازها (میدان) به آن نیرو هم وارد می‌شود. یعنی نیروی الکتریکی (بر خلاف میدان الکتریکی)، فقط با ورود بار خارجی، ظاهر می‌شود.