بار الکتریکی

بیا اینجا ببینم... بَله بفرمایید
چند وقته دارم می‌پامت، خوش نداریم تو این محل کسی دور کسی بگرده
آخه ...
آخه نداره... بحث تمومه
اما من کارم، اینه... یعنی چی... چه پُرو خودت داری اعتراف می‌کنی...!
من اسمم الکترون هست و مجبورم که...
مجبوری که چی مزاحم ناموس مردم بشی و دورشون بچرخی
نه بخدا... اشتباه می‌کنی... خدا منو اینجوری آفریده...
اونایی هم که دورشون می‌گردم پروتون و نوترون هستن.
ببین آقا اصلاً بذار کل ماجرا رو تعریف کنم که دیگه تو هم شاکی نباشی.
نوترون‌ها و پروتون‌ها هسته‌ی اتم رو تشکیل می‌دن و در کنار هم قرار دارند.
اون دو تا هم بیجا کردن کنار هم هستن.
ای بابا... نوترون از لحاظ بار الکتریکی خنثی‌ست فقط من و پروتون هستیم که دارای بار الکتریکی هستیم و بارهامون هم برابر هستند، فقط من از نوع منفی و پروتون از نوع مثبت تازه تعدادمون هم در حالت خنثی برابر هست.
یعنی چی... یعنی تو تنها نیستی...؟ دیگه دارم قاطی می‌کنم.
بذار بقیه‌رو هم بگم. بعد قاطی کن.

مقدار ما از رابطه $q = \pm ne$ بدست می‌آید.

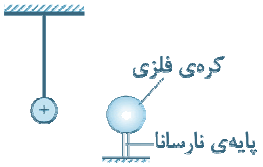
- q: (کولن) C
- n: تعداد
- e: $1/6 \times 10^{-19}$

مثبت برای وقتی‌ست که جسم الکترون از دست داده و منفی برای وقتی که الکترون گرفته درضمن بار الکتریکی کوآنتومی هست یعنی ما هیچ وقت خورد نمی‌شیم مثلاً یکی و نصفی الکترون هیچ وقت وجود نداره.
ببین دوست عزیز ماها «بارها» رو نمی‌تونی هیچ وقت از بین ببری چون ما نه به وجود می‌آییم نه از بین می‌ریم فقط از یه جسم به جسم دیگه منتقل می‌شیم.
عجب جانورانی هستین شما- خوب این آخری که گفتی رو انجام بده زودتر از این محل نقل مکان کن که دیگه حوصلتو ندارم.
باشه اما سه تا روش داره رفتن من همه‌رو توضیح می‌دم بعد هر کدومو که تونستی انجام بدی منم میرم...

۱ **مالش**: که در آن دو جسم بدون بار هر دو به یک اندازه و از نوع مخالف باردار می‌شن
۲ **القای الکتریکی**: که فقط مخصوص رساناهاست و نوع بار در جسم غیر هم نام با بار اولیه‌ست.
۳ **تماس**: که نوع بار در جسم همنام با بار اولیه‌ست.

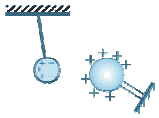
فکر کنم همون روش اول بهتره
الان خودم همچنین مالشت می‌دم که دیگه این همه حرف نزنی ادامه بحث رو با مثال ادامه می‌دیم.

مثال۱ **یک کره‌ی فلزی بدون بار الکتریکی را که روی پایه‌ی نارسانایی قرار دارد، به آونگ الکتریکی بارداری نزدیک می‌کنیم. با ذکر دلیل توضیح دهید که چه اتفاقی می‌افتد.**



پاسخ بارهای هم نام یکدیگر را دفع و بارهای ناهمنام یکدیگر را جذب می‌کنند.
کره فلزی دارای بار مثبت و منفی‌ست و چون گلوله دارای بار مثبت است.
بارهای منفی در کره به سمت چپ و بارهای مثبت به سمت راست خواهند رفت، مانند شکل.
به این حالت می‌گوییم که در کره بار القا شده.

در ادامه گلوله به کره نزدیک می‌شود که در این حالت ۲ اتفاق ممکن است بیافتد که اگر فاصله آنها کم نباشد در این صورت گلوله منحرف شده و سرجای خود می‌ماند.



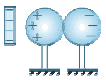
اما اگر فاصله گلوله از کره کم باشد گلوله به کره برخورد کرده در این صورت با هم تبادل بار خواهند کرد، در ادامه یکدیگر را خواهند راند مانند شکل روبرو:

مثال۲ **دو کره‌ی توپر با شعاع‌های مساوی یکی، مسی و دیگری پلاستیکی روی پایه‌های عایق قرار دارند. به هر دو کره مقدار مساوی بار الکتریکی همنام می‌دهیم. نحوه‌ی توزیع بار الکتریکی در هر یک از آن‌ها چگونه است؟**

پاسخ در این مثال با رساناها و نارسانا بیشتر آشنا خواهید شد این را به یاد داشته باشید وقتی جسم نارسانا را باردار می‌کنیم «مثل پلاستیک» بارهای الکتریکی در همان محل داده شده باقی می‌ماند اما در رساناها بار الکتریکی حرکت می‌کند و در تمام سطح خارجی رسانا به طور یکنواخت پخش می‌شود.

مثال۳ **با رسم شکل و توضیح بگویید چگونه می‌توان در دو کره رسانای بدون بار، بارهای الکتریکی مثبت و منفی ایجاد کرد.**

پاسخ یک میله با بار منفی را نزدیک دو کره‌ی رسانا که در تماس می‌باشند، می‌بریم کره‌ی اول دارای بار مثبت و کره‌ی دوم دارای بار منفی می‌گردد سپس، دو کره را از هم جدا می‌کنیم، بعد از آن میله را دور می‌کنیم.



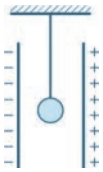
دقت کنید که با انجام این عمل بار الکتریکی به‌طور مساوی بین دو کره تقسیم می‌شود.

کره‌ها اگر هم‌اندازه نباشند بار به طور مساوی نیست.

مثال۴ **الف** **جاهای خالی را با کلمات مناسب پرکنید:**

اگر بارهای الکتریکی دو جسم ..... باشد، نیروی بین دو جسم، رانشی و اگر بارهای الکتریکی دو جسم ..... باشند، نیروی بین دو جسم ربایشی خواهد بود.

ب **در شکل روبه‌رو، گلوله‌ی رسانای سبک و بدون بار، توسط نخ عایقی میان دو صفحه باردار آویزان است. اگر آن را یک بار به یکی از صفحه‌ها تماس داده و رها کنیم، دائماً بین دو صفحه نوسان می‌کند (به صفحات چپ و راست برخورد می‌کند)**

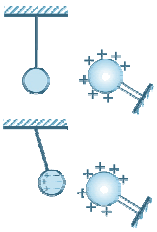


علت را توضیح دهید و بنویسید تا چه وقت این کار ادامه دارد؟

پاسخ **الف** هم‌نام- غیر هم نام

ب گلوله ابتدا به هر صفحه‌ای برخورد کند بار، همان صفحه را خواهد گرفت. در نتیجه از آن صفحه دور می‌شود «چون بارهایشان یکی شده» و به طرف صفحه دیگر حرکت می‌کند اما دوباره بعد از برخورد با آن صفحه نیز بار آن صفحه را گرفته و دوباره تغییر مکان داده و به سمت دیگر می‌رود. این عمل تا زمانی که بار روی صفحات خنثی شود ادامه دارد.

مثال۵ **مطابق شکل، گلوله‌ی سبک رسانایی از نخ عایقی آویزان است، ابتدا آن را با دست لمس می‌کنیم، بعد کره رسانای بارداری را با پایه عایق به آن نزدیک می‌کنیم، وضعیت گلوله چه تغییری می‌کند؟ چرا؟**



پاسخ با لمس گلوله، باری روی آن خنثی می‌شود و با نزدیک کردن کره رسانای باردار به گلوله بارهای روی گلوله تفکیک می‌شود. حالا چون بارهای منفی گلوله و مثبت کره یکدیگر را جذب می‌کنند نیروی جاذبه به‌وجود آمده باعث می‌شود گلوله به سمت کره منحرف شود.

مثال۶ **پیش‌بینی کنید اگر یک میله پلاستیکی باردار را به یک ورق کاغذ دفتر نزدیک کنیم چه روی می‌دهد؟**

پاسخ در این صورت میله کاغذ را جذب خواهد کرد.

مثال۷ **اگر یک میله شیشه‌ای را به یک تکه ابریشم مالش دهیم میله شیشه‌ای به ابریشم .....۱..... خواهد داد و در نتیجه میله به‌طور .....۲..... و ابریشم به‌طور .....۳..... باردار خواهند شد. اگر یک میله پلاستیکی را به یک تکه پشم مالش دهیم، میله پلاستیکی از پارچه پشمی الکترون می‌گیرد در نتیجه به طور .....۴..... و پارچه پشمی به‌طور .....۵..... باردار می‌شود. به این روش باردار کردن از طریق .....۶..... می‌گویند.**

پاسخ ۱ الکترون ۲ مثبت ۳ منفی ۴ منفی ۵ مثبت ۶ مالش یا اصطکاک

مثال۸ کدام‌یک از مقادیر زیر جسم نمی‌تواند بار الکتریکی یک جسم باشد؟ $(e = ۱/۶\times۱۰^{-۱۹})$

الف) $۸/۲\times۱۰^{-۱۸}$ کولن　　ب) $۳/۵\times۱۰^{-۱۸}$ کولن

پاسخ

با توجه به کوانتومی بودن بار ب نمی‌تواند باشد.

الف) $q = ne \Rightarrow ۵/۴\times۱۰^{-۱۸} = n\times۱/۶\times۱۰^{-۱۹} \Rightarrow n = ۳۰$

ب) $q = ne \Rightarrow ۳/۵\times۱۰^{۱۸} = n = \times۱/۶\times۱۰^{-۱۹} \Rightarrow n = ۲۱/۸$

مثال۹ القای الکتریکی را با یک آزمایش نشان دهید.

پاسخ ابتدا دو کره خنثی را به هم چسبانده و یک میله باردار به آن‌ها نزدیک می‌کنیم. در اینجا میله دارای بار منفی است. این آزمایش را با میله دارای بار مثبت نیز می‌توان انجام داد که در این صورت عکس این مطلب رخ می‌داد.

بعد از اینکه بارها در دو کره تفکیک شدن بدون اینکه میله منفی را دور کنیم دو کره را از هم دور می‌کنیم و سپس میله را بر می‌داریم. مشاهده می‌شود که بار یکی از دو کره مثبت و دیگری منفی‌ست به این روش القای الکتریکی می‌گویند که در رساناها کاربرد دارد.

نکته: اینکه چه جسمی الکترون می‌گیره یا میده رو می‌تونید از جدولی موسوم به تریبولکتریک که در کتابتون هست یاد بگیرید درضمن لازم نیست این جدول رو حفظ کنید.

برق‌نما (الکتروسکوپ)

الکتروسکوپ وسیله‌ای است که یک ورقه‌ی طلا روی یک میله فلزی قرار دارد و میله فلزی به یک کلاهک رسانا وصل است که همه در یک قاب عایق قرار دارند.

حالا به چه درد می‌خوره؟

۱) باهاش میتونی بفهمی یک جسم رساناست یا نارسانا به این صورت که جسم رو می‌چسبونی به کلاهک الکتروسکوپ اگه ورقه طلا تکون نخورد جسم نارساناست و اگه تکون خورد رساناست.

۲) باهاش میتونی بفهمی جسم رسانا بارداره یا بدون باره به این صورت که جسم رو به الکتروسکوپ بدون باری نزدیک می‌کنیم اگر ورقه‌ها از هم جدا شدن می‌فهمیم جسم بارداره.

۳) باهاش میتونی بفهمی نوع بار جسمی که داری چیه، به این صورت که اگر الکتروسکوپ و میله بارهای مخالف هم داشتن ممکنه یکی از حالت‌های زیر رخ بده

الف) اگر اندازه بار روی میله از اندازه بار روی ورقه کم‌تر باشد، با نزدیک کردن میله زاویه بین ورقه و تیغه فلزی کاهش می‌یابد.

ب) اگر اندازه بار میله با اندازه بار روی ورقه مساوی و یا کمی بیش‌تر باشد ممکن است که ورقه به تیغه فلزی بچسبد.

پ) در صورتی‌که اندازه بار روی میله بسیار بیش‌تر از اندازه با روی ورقه باشد، با نزدیک کردن میله ورقه ابتدا بسته شده سپس از تیغه دور می‌شود.

اگر هر دو بارهای هم‌نام داشته باشن با نزدیک کردن میله ورقه از میله بیشتر دور می‌شود.

مثال: جسمی رسانا را به یک الکتروسکوپ باردار، نزدیک می‌کنیم سپس ورقه‌های الکتروسکوپ به‌هم نزدیک می‌شوند. بار جسم رسانا چگونه می‌تواند باشد؟

درصورتی‌که بار جسم و الکتروسکوپ مخالف هم باشن ورقه‌ها به هم نزدیک می‌شن. اما صبر کنید اونقدر زود جواب ندین اگه این سؤال تستی بود ممکن بود بیوفتین تو دامش ☺ ـ یه حالت دیگه هم هست اگر جسم بدونه بار باشه هم بخاطر القای الکتریکی بازهم ورقه‌ها به هم نزدیک می‌شن.

قانون کولن

اینجا بهشت است و شما در دادگاه قرار دارید. در این دادگاه شاکی نیوتن است و متهم جناب آقای کولن

نیوتن: جناب قاضی این فرمول که کولن اختراع کرده خیلی شبیه فرمول منه و من فکر می‌کنم آقای کولن حق کپی رایت رو رعایت نکرده.

کولن: اجازه بدید از خودم دفاع کنم.

قاضی: بفرمایید

کولن: فرمول من در مورد نیروی جسم‌های کوچک در حد بارهاست. در حالی که قانون نیوتن در مورد نیروی اجسام بزرگ در حد سیاره‌ها و ستاره‌هاست. در فرمول من فاصله در حد سانتی‌متر و حتی کوچکتر از آن بررسی می‌شود. در حالی که در قانون نیوتن فاصله در حد کیلومتر است.

و در آخر ثابت فرمول من با ثابت جهانی گرانش نیوتن از زمین تا آسمان فرق دارد. برای اثبات لطفاً خودتان فرمول من را مشاهده کنید.

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

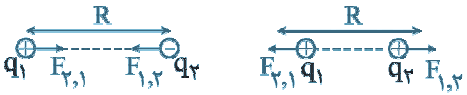
$K = 9\times10^9 \frac{Nm^2}{C^2}$

بار برحسب کولن

فاصله دو بار بر حسب متر

نیرویی که دو جسم باردار به هم وارد می‌کنند

قاضی: کمی بیشتر در مورد این فرمول توضیح دهید. $K = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}, k$



کولن: خوب اولاً که در آن ε_0 ضریب‌گذردهی در خلاءست و مقدار آن $8/85\times10^{-12}\frac{c^2}{Nm^2}$ است.

در ضمن وقتی می‌خوایین از این فرمول استفاده کنید یادتون باشه که علامت $+$ و $-$ بارها رو توی فرمول جای‌گذاری نکنید و این علامت‌ها فقط نشان دهنده این هست که نیروی وارد بر بارها جاذبه است یا دافعه مثل شکل‌ها

قاضی: چند لحظه تنفس.... حکم قرائت می‌شود.

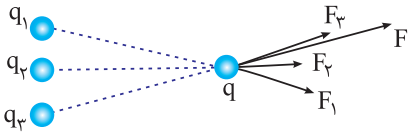
کولن بی‌گناه هست.

نیوتن: اما من هنوز هم به این قضیه مشکوکم.

بر هم نهی نیروهای کولنی یا الکتروستاتیکی

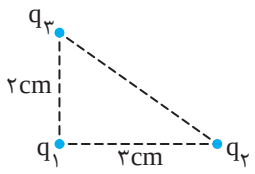
فرض کنید تعدادی ذره باردار در یک ناحیه قرار داره. اگر نیروی وارد بر هر ذره رو بخواهیم بدست بیاریم این نیرو از جمع نیروهای هر یک از ذرات دیگر که به‌طور مستقل وارد می‌شوند بدست می‌آید به این موضوع اصل برهم نهی کولنی می‌گویند.

برای درک بهتر شکل زیر به شما کمک خواهد کرد.



در شکل بالا نیروی وارد بر q از طرف تک‌تک بارهای $q_۱$ و $q_۲$ و $q_۳$ وارد می‌شود و جمع آنها نیروی F است همین مسأله در مورد بارهای دیگر نیز صادق است.

مطابق شکل، سه بار الکتریکی نقطه‌ای در سه رأس مثلث قائم‌الزاویه‌ای قرار دارند. برآیند نیروهای وارد بر بار $q_۱$ رابرحسب بردارهای یکه $\vec{i}$ و $\vec{j}$ دستگاه مختصات نشان داده شده در شکل بنویسید.



$$(q_۱ = ۳\mu C \ , \ q_۲ = q_۳ = ۴\mu C)$$

$$(K = ۹\times ۱۰^۹ \frac{N.m^۲}{C^۲})$$

قبل از حل این سؤال یه کوچولو در مورد دستگاه مختصات دکارتی می‌خوام براتون توضیح بدم در هندسه یه نقطه رو از صفحه با دو عدد نشون می‌دن که بهش زوج مرتب می‌گویند.

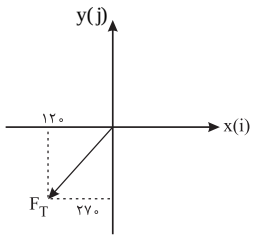
محور افقی محور x هست که با (i) نشان داده می‌شه و محور عمودی y هست که با (j) نشان داده می‌شه حالا می‌ریم سراغ حل این سؤال:

$$F_{۲۱} = K\frac{|q_۱||q_۲|}{r_{۲۱}^۲} \qquad F_{۲۱} = ۹\times ۱۰^۹ \frac{۳\times ۴\times ۱۰^{-۱۲}}{۹\times ۱۰^{-۴}} \Rightarrow F_{۲۱} = ۱۲۰N$$

$$F_{۳۱} = ۹\times ۱۰^۹ \frac{۳\times ۴\times ۱۰^{-۱۲}}{۴\times ۱۰^{-۴}} \Rightarrow F_{۳۱} = ۲۷۰N$$

$$\vec{F}_T = \vec{F}_{۲۱} + \vec{F}_{۳۱} \Rightarrow \vec{F}_T = -۱۲۰\vec{i} - ۲۷۰\vec{j}$$

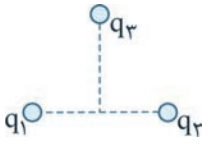
حالا اگر قرار بود F_T رو رسم کنیم به صورت زیر می‌شد.



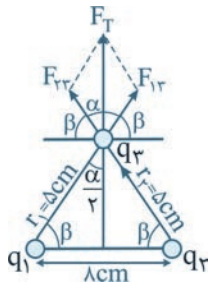
و اگر قرار بود اندازه‌ی F_T رو به‌دست بیاریم از رابطه‌ی زیر استفاده می‌کردیم.

$$F_T = \sqrt{(F_{۲۱})^۲ + (F_{۳۱})^۲}$$

مثال۱۰ **بارهای الکتریکی نقطه‌ای $q_۱ = -۴\mu C$ و $q_۲ = -۳\mu C$ مطابق شکل در فاصله‌ی $۸cm$ از یک‌دیگر ثابت شده‌اند. بار نقطه‌ای $q_۳ = -۵\mu C$ را در نقطه‌ای که فاصله‌ی آن از هر یک از دو بار الکتریکی قبلی برابر $۵cm$ است، قرار می‌دهیم. نیروی الکتریکی وارد بر بار $q_۳$ را محاسبه کنید.**



پاسخ نیروی وارد بر بار q_3 از طرف q_1 را F_{13} و نیروی وارد بر بار q_3 از طرف q_2 را F_{23} می‌نامیم این دو نیرو را مطابق شکل رسم کرده و هر کدام را جداگانه حساب می‌کنیم.



$$r_1 = 5cm \rightarrow r_1^2 = 25cm^2 = 25\times10^{-4}m^2$$
$$r_2 = 5cm \rightarrow r_2^2 = 25cm^2 = 25\times10^{-4}m^2$$
$$q_1 = 4\times10^{-6}C$$
$$q_2 = 3\times10^{-6}C \quad , \quad q_3 = 5\times10^{-6}C$$
$$F_{13} = k\frac{q_1q_3}{r_1^2} = 9\times10^9\ \frac{4\times10^{-6}\times5\times10^{-6}}{25\times10^{-4}} = 72N$$
$$F_{23} = k\frac{q_2q_3}{r_1^2} = 9\times10^9\ \frac{3\times10^{-6}\times5\times10^{-6}}{25\times10^{-4}} = 54N$$

در ادامه باید زاویه α را بدست آورد تا بتوان برآیند دو نیرو را بدست آورد برای اینکار ابتدا $\frac{\alpha}{2}$ را بدست می‌آوریم.

$$\sin(\frac{\alpha}{2}) = \frac{\text{مقابل}}{\text{وتر}} = \frac{4}{5} = 0/8$$

پس $\frac{\alpha}{2}$ برابر 53° درجه است و α نیز 106 درجه می‌باشد در ادامه داریم.

$$F_T = \sqrt{F_{13}^2 + F_{23}^2 + 2F_{13}F_{23}\cos\alpha} = \sqrt{72^2 + 54^2 + 2\times72\times54\times\underbrace{\cos106^\circ}_{-0/28}} \Rightarrow F_T = 77/5N$$

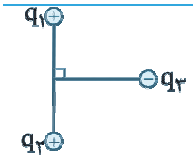
یادآوری: برآیند دو بردار a و b برابر است با $C = \sqrt{a^2 + b^2 + 2ab\cos\alpha}$

یادآوری: تفاضل دو بردار a و b برابر است با $R = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab\cos\alpha}$

البته هیچ‌وقت چنین سوال غیررندی در امتحانات نهایی و کنکور و حتی المپیاد هم نخواهیددید. درضمن در کتاب شما یا بارها در یک راستا قرار دارند یا برهم عمودند که اگه عمود بودنند بهتره از رابطه‌ی $F_T = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$ استفاده کنید که جلو ترازش مثال حل می‌کنیم.

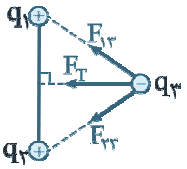
مثال ۱۱ **الف) قانون کولن را بنویسید.**

ب) مطابق شکل روبه رو بار نقطه‌ای q_3 روی عمود منصف خط واصل دو ذره‌ی باردار مساوی q_1 و q_2 قرار دارد. نیروی الکتریکی برآیند وارد بر q_3 را رسم کنید.

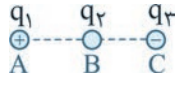


پاسخ **الف)** نیروی ربایش یا رانشی بین دو ذره‌ی باردار q_1 و q_2 که در فاصله‌ی r از یک‌دیگر قرار دارند، با حاصل ضرب بار دو ذره نسبت مستقیم و با مجذور فاصله‌ی دو ذره از یک‌دیگر نسبت وارون دارد.

ب)



مثال ۱۲ **دو بار نقطه‌ای q_1 و q_2 مطابق شکل در نقطه‌های A و B ثابت شده‌اند، و q_3 در نقطه‌ی C در راستای AB، در حال تعادل است.**



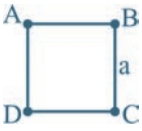
الف) نوع بار q_2 مثبت است یا منفی؟

ب) مقادیر $|q_1|$ و $|q_2|$ را مقایسه کنید.

پاسخ **الف)** اگر قرار است q_3 ثابت بماند باید بار q_2 منفی باشد چون اگر + بود بار q_2 به طرف بار q_3 حرکت می‌کرد

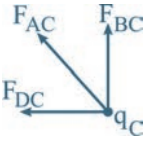
«ب» باید مقدار $|q_2|$ $|q_1|$ باشد.

مثال ۱۳ **مطابق شکل روبه‌رو، چهار بار مساوی در چهار رأس مربعی به ضلع a قرار دارند، برآیند نیروی وارد بر بار C را محاسبه کنید و شکل آن را رسم کنید.**



$$q_A = q_B = q_D = -q_C = q$$

پاسخ نیروهای زیر به بار q_C وارد می‌شوند چون بار C منفی‌ست پس q_A و q_B و q_D آن را جذب می‌کنند.



بعد از رسم نیروها کافیست برآیند آنها را بدست آورید.

فاصله q_B و q_D از q_C برابر a می‌باشد.

و فاصله q_A از q_C برابر $a\sqrt{۲}$ می‌باشد در ضمن نیروی F_{BC} و F_{DC} نیز با هم برابراند.

$$F_{BC} = F_{DC} = \frac{Kq^۲}{a^۲}$$

$$F_{AC} = \frac{Kq^۲}{(a\sqrt{۲})^۲} = \frac{Kq^۲}{۲a^۲}$$

حالا برآیند F_{BC} و F_{DC} را بدست می‌آوریم.

اما قبل از آن چند نکته را بدانید.

برآیند دو بردار هم اندازه که با هم:

۱) زاویه ۶۰ درجه بسازند برابر $a\sqrt{۳}$
۲) زاویه ۹۰ درجه بسازند برابر $a\sqrt{۲}$
۳) زاویه ۱۲۰ درجه بسازند برابر a
۴) زاویه ۱۸۰ درجه بسازند برابر صفر
۵) زاویه صفر درجه بسازند برابر ۲a

البته تمام روابط از فرمول $R = ۲a\cos\frac{\alpha}{۲}$ سرچشمه گرفته اما یه بچه کنکوری خوب باید روابط بالارو حفظ باشد.

توی این سؤال هم می‌شه از همون رابطه $F_T = \sqrt{F^۲_x + F^۲_y}$ استفاده کرد.

حالا با توجه به اینکه F_{BC} و F_{DC} با هم برابر و زاویه بین آنها ۹۰° درجه است، برآیند آنها برابر $a\sqrt{۲}$ می‌شود، یعنی:

$$R = \boxed{\frac{Kq^۲}{a^۲}}\sqrt{۲}$$

a ↙

در ادامه باید $R_۱$ را با F_{AC} جمع کنیم تا برآیند کلی بدست آید. توجه کنید دلیل این امر آن است که $R_۱$ دقیقاً نیم‌ساز مربع F_{AC} است و هم جهت با

$$F_T = F_{AC} + R = \frac{Kq^۲}{a^۲}\sqrt{۲} + \frac{Kq^۲}{۲a^۲} = \frac{Kq^۲}{a^۲}(\sqrt{۲} + \frac{۱}{۲})$$

میدان الکتریکی

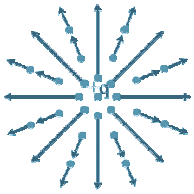
یک بار الکتریکی در فضای اطراف خودش میدان الکتریکی ایجاد می‌کند.
اگر یک بار الکتریکی رو در یک میدان الکتریکی قرار دهیم برآن نیرو وارد می‌شود.
حالا به این نیرو که به یک بار مثبت در هر نقطه از فضا وارد می‌شود شدت میدان الکتریکی می‌گویند.
که از رابطه‌های:

$$\vec{E}_{\text{میدان}} = \frac{\vec{F}}{q_0} \quad \vec{F} \rightarrow \text{نیرو (نیوتن)} \quad q_0 \rightarrow \text{بار برحسب کولن}$$

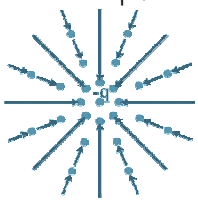
ثابت $\rightarrow (9\times10^9)$

$$\vec{E}_{\text{میدان}} = \frac{Kq}{r^2} \quad r \rightarrow \text{فاصله برحسب (متر)}$$

بدست می‌آید.
میدان الکتریکی یک کمیت برداری‌ست و جهت آن در بارها بصورت شکل زیر است.
جهت میدان الکتریکی به علامت بار q بستگی دارد. اگر بار الکتریکی مثبت باشد، جهت میدان در امتداد شعاع‌های دایره به بیرون و اگر q منفی باشد، در امتداد شعاع‌ها به طرف داخل است. هر چه از بار دور شویم اندازه‌ی میدان کاهش می‌یابد.



بردارهای میدان الکتریکی در اطراف یک‌بار نقطه‌ای مثبت
بردارهای میدان در امتداد شعاع و به طرف بیرون هستند.



بردارهای میدان الکتریکی در اطراف یک‌بار نقطه‌ای منفی.
بردارهای میدان در امتداد شعاع و به طرف داخل هستند.

نکته: میدان الکتریکی ناشی از چند بار الکتریکی در نقطه‌ای از فضا برابر مجموع میدان‌هایی است که هر بار در نبود بارها در آن نقطه از فضا ایجاد می‌کند که به آن اصل برهم‌نهی میدان الکتریکی می‌گویند.

مثال ۱ **توضیح دهید که چرا خط‌های میدان الکتریکی یکنواخت، به صورت خط‌های راست و موازی با فاصله‌های مساوی با یک‌دیگرند.**

پاسخ قبل از حل این سوال در مورد ویژگی‌های میدان الکتریکی صحبت می‌کنیم.

۱) خط‌های میدان در هر نقطه، هم جهت با نیروی وارد بر بار مثبت واقع در آن نقطه‌اند. در نتیجه، جهت این خط‌ها از بار مثبت رو به خارج و به سوی بار منفی است. (بر بار منفی، نیرو در خلاف جهت میدان وارد می‌شود.)

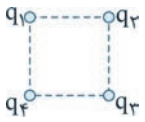
۲) خط میدان در هر نقطه، جهت میدان را در آن نقطه نشان می‌دهد و میدان در هر نقطه، برداری است مماس بر خط میدانی که از آن نقطه می‌گذرد و با آن هم جهت است.

۳) در هر ناحیه که میدان قوی‌تر باشد، خط‌های میدان به یک‌دیگر نزدیک‌تر و فشرده‌ترند.

۴) خط‌های میدان یک‌دیگر را قطع نمی‌کنند، یعنی از هر نقطه فقط یک خط میدان می‌گذرد. به بیان دیگر، در هر نقطه‌ی فضا فقط یک میدان الکتریکی وجود دارد که همان میدان الکتریکی برآیند است.

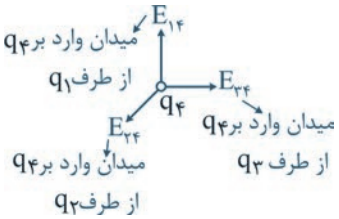
با توجه به موارد بالا باید در همه جا تراکم خطوط و نیز جهت آنها یکسان باشد. بنابراین لازم است خط‌های میدان یکنواخت، همگی موازی و با فاصله یکسان از هم باشند تا بزرگی میدان یکسان بماند.

مثال ۱۵ سه ذره‌ی باردار q_1، q_2 و q_3 مطابق شکل در سه رأس مربعی ثابت شده‌اند.



اگر $q_1 = q_3 = -5\mu C$ باشد، نوع و اندازه‌ی بار q_2 را طوری تعیین کنید که بار q_4 در حال تعادل باشد؟

پاسخ ابتدا میدان‌های وارد بر q_4 را رسم می‌کنیم، برای اینکه q_4 در حال تعادل بماند باید برآیند میدان‌های وارد شده به آن صفر باشد.



ابتدا باید برآیند E_{34} و E_{14} را بدست آوریم و اگر قرار باشد q_4 در حال تعادل باشد، باید برآیند دو میدان قبل برابر با میدان E_{24} باشد.

در نتیجه داریم:

$$E_{34} = \frac{Kq}{r^2} \Rightarrow E_{34} = \frac{9\times10^9\times5\times10^{-6}}{a^2} = \frac{45\times10^3}{a^2}$$

میدان E_{14} نیز با E_{34} برابر است و برآیند آنها برابر است با:

$$E_T = \underbrace{2E_{34}}_{\text{یا } E_{14}}\cos\frac{\overset{90^\circ}{\alpha}}{2} \Rightarrow E_T = \frac{2\times45\times10^3}{a^2}\times\frac{\sqrt{2}}{2} = \frac{45\sqrt{2}\times10^3}{a^2}$$

حالا باید E_T را با E_{24} برابر باشد تا q_4 در حال تعادل بماند.

$$E_{24} = E_T = \frac{45\sqrt{2}\times10^3}{a^2} \Rightarrow \frac{Kq_2}{r^2} = \frac{45\sqrt{2}\times10^3}{a^2}$$

$$\frac{9\times10^9 q_2}{\underbrace{2a^2}_{\downarrow}} = \frac{45\sqrt{2}\times10^3}{a^2} \Rightarrow q_2 = 10\sqrt{2}\times10^{-6}C = 10\sqrt{2}\mu C$$

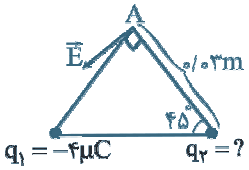
قطر مربع برابر $a\sqrt{2}$ است در نتیجه $r = a\sqrt{2} \Rightarrow r^2 = 2a^2$

مثال ۱۶ در یک میدان الکتریکی یکنواخت به بزرگی $5\times10^4\ \frac{N}{C}$ که جهت آن قائم و رو به پایین است، ذره‌ی بارداری بـه جرم $2g$ معلق و به حال سکون قرار دارد. اگر $g = 10\frac{N}{kg}$ باشد، اندازه و نوع بار الکتریکی ذره را مشخص کنید.

پاسخ اولاً وقتی جهت میدان رو به پایین است، پس حتماً باید یه نیرویی رو به بالا به این ذره محترم وارد شود تا برا خـودش معلق بمونه و مقدار این نیرو نیز باید حتماً برابر وزن جسم باشد چون اگه کمتر باشد ذره سقوط می‌کند و اگه بیشـتر هـم باشـه ذره به سمت بالا می‌بره در ضمن نوع بار منفی زیرا در خلاف جهت میدان به آن نیرو وارد می‌شود.

$$E = \frac{F}{q} \Rightarrow F = Eq \Rightarrow mg = Eq \Rightarrow q = \frac{mg}{E} \Rightarrow q = \frac{2\times10^{-3}\times10}{5\times10^4} = \frac{20}{5}\times10^{-7} = 4\times10^{-7} = 0/4\times10^{-6} = 0/4\mu C$$

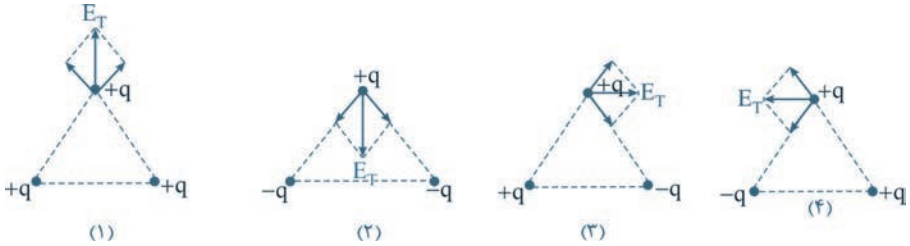
مثال ۱۷ در شکل روبه‌رو ذره‌ی باردار q_1 و q_2 در دو رأس مثلث متساوی‌الساقین ثابت شده‌اند و $\vec{E}$ میدان الکتریکی حاصـل از این دوبار، در رأس قائم‌الزاویه A است.



الف بار q_2 مثبت است یا منفی؟

ب اگر $q_1 = -4\mu C$ باشد، اندازه‌ی بار q_2 را طوری تعیین کنید که بزرگی میدان الکتریکی $\vec{E}$ برابر $5\times10^7\ \frac{N}{C}$ باشد. $\left(k = 9\times10^9\ \frac{N.m^2}{C^2}\right)$

پاسخ **الف** بار q_2 مثبت است. قبل از حل قسمت **ب** در نگاه کلی به حالت‌های مختلف E_T در یک مثلث می‌پردازیم.



در ضمن E_T همیشه به باری که قدرت بیشتری (مقدار بیشتر) داره نزدیک می‌شه. در ضمن مقدار $q_۲$ از $q_۱$ نیز کمتره چون E_T به $q_۱$ نزدیک‌تر شده. خوب بریم سراغ قسمت ب

۱ ابتدا میدان وارد بر A از طرف $q_۱$ را محاسبه کرده و آن را $E_۱$ می‌نامیم.

$$E_۱ = \frac{Kq_۱}{r^۲} \Rightarrow E_۱ = \frac{۹\times۱۰^۹ \times ۴\times۱۰^{-۶}}{۹\times۱۰^{-۴}} \Rightarrow E_۱ = ۴\times۱۰^۷ \frac{N}{C}$$

۲ در ادامه $E_۲$ را بدست آورده:

$$E_T = \sqrt{E_۱^۲ + E_۲^۲} \Rightarrow ۵\times۱۰^۷ = \sqrt{۴^۲ + E_۲^۲}\times۱۰^۷ \Rightarrow E_۲ = ۳\times۱۰^۷ \frac{N}{C}$$

۳ و سپس سراغ $q_۲$ می‌رویم.

$$E_۲ = \frac{Kq_۲}{r^۲} \Rightarrow ۳\times۱۰^۷ = \frac{۹\times۱۰^۹ \times q_۲}{۹\times۱۰^{-۴}} \Rightarrow q_۲ = ۳\times۱۰^{-۶} c$$

مثال۱۸ **دو بار الکتریکی نقطه‌ای $+Q$ و $+۴Q$ در فاصله‌ی ۳۰ سانتی‌متری از هم قرار دارند.**

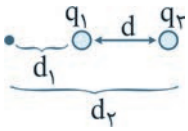
الف **خط‌های میدان الکتریکی این بارها را به طور کیفی رسم کنید.**

ب **اگر نقطه‌ی M روی خط واصل بین دو بار، میدان الکتریکی صفر باشد، این نقطه تا بار $+Q$ چند سانتی‌متر فاصله دارد؟**

پاسخ قبل از حل سوال ابتدا چند نکته رو خدمتتون عرض می‌کنم.

هرگاه دوبار ناهم‌نام داشته باشیم میدان در جایی خارج از دوبار، نزدیک به بار کوچکتر صفر می‌شه.

$q_۱ < q_۲$



در این صورت داریم:

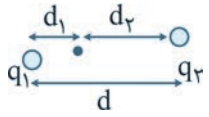
$$E_۱ = E_۲ \Rightarrow K\frac{q_۱}{d_۱^۲} = K\frac{q_۲}{d_۲^۲}$$

یا می‌توان $d_۱$ را بصورت روبرو بدست آورد.

$$d_۱ = \frac{d}{\frac{\sqrt{q_۲}}{\sqrt{q_۱}} - ۱}$$

همچنین اگر دوبار هم نام باشند میدان وسط دوبار و باز هم نزدیک به بار کوچکتر صفر می‌شه که باز در این صورت داریم.

$q_۱ < q_۲$

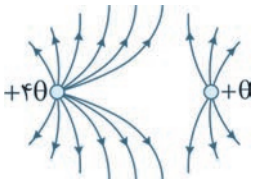


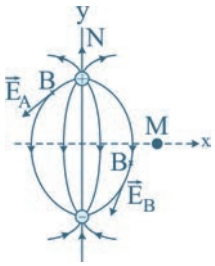
$$E_۱ = E_۲ = K\frac{q_۱}{d_۱^۲} = K\frac{q_۲}{d_۲^۲}$$

یا می‌توان $d_۱$ را بصورت روبرو بدست آورد.

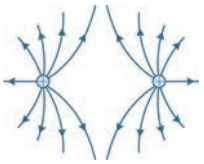
$$d_۱ = \frac{d}{\frac{\sqrt{q_۲}}{\sqrt{q_۱}} + ۱}$$

الف حال به حل سوال خودمان می‌پردازیم. اگر اندازه باری بزرگتر از بار دیگر باشد، تعداد خطوط میدان آن نیز بیشتر است مانند شکل، در ادامه چند مثال دیگر هم برای شما آورده‌ایم.

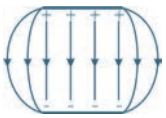




مثال ۱) دو قطبی الکتریکی



مثال ۲) دو بار الکتریکی مثبت و هم‌اندازه



مثال ۳) میدان بین دو صفحه‌ی رسانای موازی با بارهای هم‌اندازه (میدان یکنواخت)

ب روش اول:

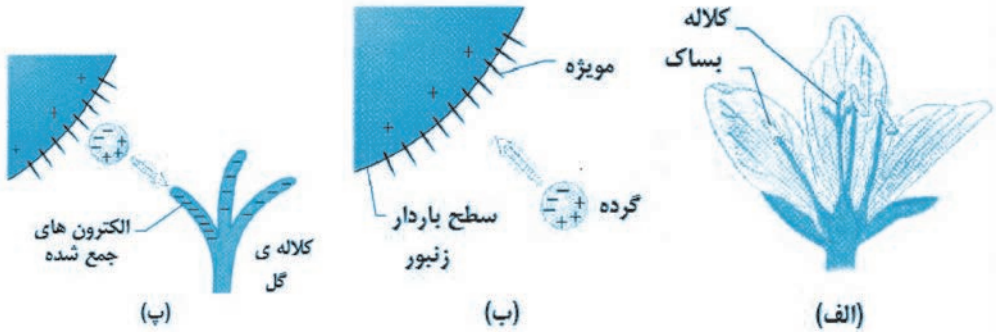
$$d_1 = \frac{d}{\frac{\sqrt{q_2}}{\sqrt{q_1}}+1} = \frac{30}{\sqrt{4}+1} = \frac{30}{3} = 10\,cm$$

روش دوم:

$$E_1 = E_2 \Rightarrow \frac{kQ}{x^2} = \frac{k(4Q)}{(30-x)^2} \Rightarrow \frac{1}{x^2} = \frac{4}{(30-x)^2} \Rightarrow \frac{1}{x} = \frac{2}{30-x} \Rightarrow x = 10\,cm$$

مثال ۱۹ چگونه زنبور عسل به کمک القا در گرده‌افشانی گل‌ها مؤثر است؟

پاسخ زنبورها معمولاً در حین پرواز دارای بار مثبت می‌شوند. وقتی این زنبور در نزدیکی بساک یک گل، که از لحاظ الکتریکی خنثی است به حالت در جا پر می‌زند، میدان الکتریکی ناشی از زنبور بار القا شده‌ای را در برخی از گرده‌های گل ایجاد می‌کند. چنین گرده‌ای از لحاظ بار الکتریکی خنثی است اما میدان الکتریکی زنبور، بار این گرده را از نو توزیع می‌کند. بخشی از الکترون‌های آن به سمتی که رو به زنبور دارد حرکت می‌کنند تا به زنبوری که دارای بار مثبت است نزدیک شوند. این حرکت سمت دیگر گرده را دارای بار مثبت می‌کند، اکنون گرده خنثی در یک سمت بار منفی و در سمت دیگر دارای بار مثبت است. سمت منفی گرده به سمت زنبور کشیده می‌شود و سمت مثبت آن توسط زنبور رانده می‌شود. چون بخش منفی به زنبور نزدیک‌تر است، کشیدن غالب می‌شود و گرده در هوا می‌جهد تا روی زنبور فرود آید. در واقع گرده روی مویژه‌های زنبور فرود می‌آید. اگر گرده با بدن باردار زنبور تماس پیدا می‌کرد، الکترون‌های خود را از دست می‌دهد. در آن صورت گرده فقط با باری مثبت بر جای می‌ماند و در نتیجه از زنبور رانده می‌شد و هرگز به سمت گل بعدی حرکت نمی‌کند. انتقال گرده به گل بعدی زمانی رخ می‌دهد که زنبور به کلاله گل نزدیک بشود. میدان الکتریکی زنبور الکترون‌های کلاله را می‌کشد تا جایی که ممکن است به زنبور نزدیک شوند. با تجمع بار منفی در بالای کلاله، اکنون دانه‌های گرده با قدرت بیشتری به سمت بار جمع شده در بالای کلاله کشیده می‌شوند. در نتیجه گرده از زنبور به سمت کلاله می‌جهد و موجب باروری گل می‌شود.



سؤالات تشریحی

سری ۱

۱. در جمله‌های زیر جاهای خالی را پر کنید.

الف) نیروی کولنی بین دو بار الکتریکی ..... رانشی است.

ب) نیرویی که دو جسم باردار بر یکدیگر وارد می‌کنند ..... نام دارد.

پ) نیروی الکتریکی که دو ذره‌ی باردار بر یکدیگر وارد می‌کنند ..... و در جهت مخالف یک دیگرند.

ت) نیروی الکتریکی بین دو ذره‌ی باردار با حاصل ضرب اندازه‌ی بارالکتریکی دو ذره نسبت ..... دارد.

ث) اگر فاصله‌ی دو بار نقطه‌ای از یک دیگر نصف شود، نیروی الکتریکی بین دو بار ..... برابر می‌شود.

---

۲. مفاهیم زیر را تعریف کنید.

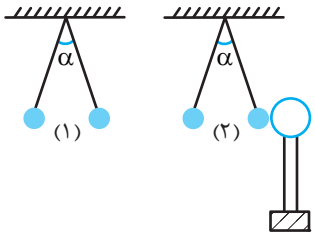
الف) میدان الکتریکی (کمی)

ب) قانون کولن

پ) پایستگی بار الکتریکی

---

۳. شکل (۱) دو آونگ الکتریکی کاملاً مشابه با بارهای مثبت و هم اندازه را نشان می‌دهد که با یکدیگر زاویه‌ی α ساخته‌اند. یک کره‌ی رسانای بدون بار را با پایه‌ی عایق مطابق شکل (۲) به گلوله‌ی یکی از آونگ‌ها تماس داده و سپس دور می‌کنیم.

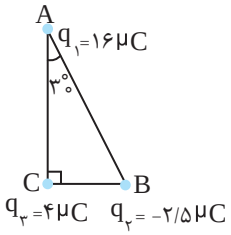


الف) با رسم شکل ساده پیش‌بینی کنید چه اتفاقی می‌افتد؟

ب) از انجام این آزمایش، چه نتیجه‌ای می‌گیریم؟

---

۴. سه بار الکتریکی مطابق شکل، در سه رأس یک مثلث ثابت شده‌اند.



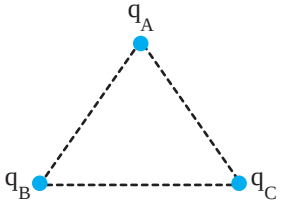
الف) بزرگی نیروی الکتریکی برآیند وارد بر بار q_2 را تعیین کنید.

ب) جهت این نیرو را با رسم شکل نشان دهید.

$$(K = ۹\times۱۰^۹ \frac{N.m^۲}{C^۲}\ ,\ Cos۶۰^\circ = \frac{۱}{۲}\ ,\ Cos۳۰^\circ = \frac{\sqrt{۳}}{۲}\ ,\ AB = ۱m)$$

---

۵. سه ذره‌ی باردار مطابق شکل زیر در سه راس مثلث متساوی الاضلاع ABC به ضلع ۰/۰۳ متر ثابت شده‌اند. بزرگی نیروی الکتریکی وارد بر ذره‌ی باردار q_A چند نیوتون است؟



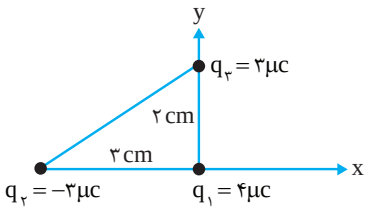
$$q_B = q_C = ۴\mu C\ ,\ q_A = ۳\mu C$$

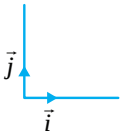
$$K = ۹\times۱۰^۹ \frac{N.m^۲}{C^۲}\ ,\ \cos۶۰^\circ = \frac{۱}{۲}\ ,\ \cos۳۰^\circ = \frac{\sqrt{۳}}{۲}$$

۶. دو ذره با بارهای q_1 و $q_2 = 5q_1$ در فاصله‌ی ۳ سانتی‌متر از یک‌دیگر ثابت شده‌اند، اندازه‌ی نیرویی که دو ذره به یک‌دیگر وارد می‌کنند، $50N$ است. اندازه‌ی q_1 و q_2 را حساب کنید.

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

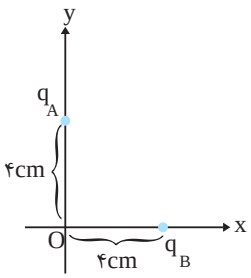
۷. مطابق شکل، سه بار الکتریکی نقطه‌ای در سه راس مثلث قائم الزاویه‌ای قرار دارند. برآیند نیروهای وارد بر بار q_1 را برحسب بردارهای یکه $\vec{i}$ و $\vec{j}$ دستگاه مختصات نشان داده شده در شکل بنویسید.





$$(K = 9\times10^9 \frac{N.m^2}{C^2})$$

۸. دو ذره‌ی باردار $q_A = 4\mu c$ و $q_B = -4\mu c$ مطابق شکل روی محورهای x و y ثابت شده‌اند.



الف) بزرگی میدان الکتریکی هر یک از دو ذره‌ی باردار، در نقطه‌ی o چند نیوتون بر کولن است؟

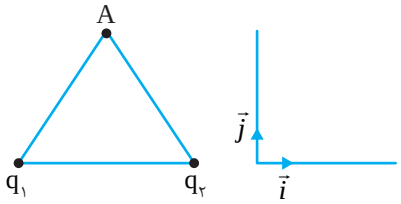
ب) بردار میدان الکتریکی برآیند را در نقطه‌ی o بر حسب بردارهای یکه‌ی $\vec{i}$ و $\vec{j}$ بنویسید.

۹. میدان الکتریکی حاصل از دو بار نقطه‌ای $q_1 = +2\mu C$ و $q_2 = +32\mu C$ در فاصله‌ی ۱۶ سانتی‌متری از بار q_2 صفر می‌باشد. فاصله‌ی دو بار الکتریکی از یکدیگر چند سانتی‌متر است؟

۱۰. مطابق شکل، دو ذره باردار q_1 و q_2 در فاصله $0/01m$ از یکدیگر قرار دارند. بردار میدان الکتریکی برآیند را در نقطه A که فاصله آن از هر یک از بارها برابر $0/01m$ است، برحسب بردارهای یکه $\vec{i}$ و $\vec{j}$ دستگاه مختصات نشان داده شده در شکل بنویسید.

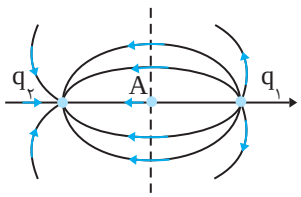
$$K = 9\times10^9 N.m^2/C^2 \quad , \quad q_1 = q_2 = 2nC$$

$$\sin30 = \cos60 = \frac{1}{2} \quad , \quad \cos30 = \sin60 = \frac{\sqrt{3}}{2}$$



۱۱. با استفاده از بذر چمن، ورقه آلومینیومی، ظرف شیشه‌ای مناسب، روغن مایع، سیم‌های رابط و مولد واندوگراف، آزمایشی برای مشاهده طرح خط‌های میدان الکتریکی در اطراف دو بار الکتریکی هم‌اندازه و ناهمنام طراحی کنید.

۱۲. خط‌های میدان الکتریکی ناشی از دو ذره‌ی باردار q_1 و q_2 مطابق شکل روبه‌رو است:



الف) نوع بار الکتریکی q_1 را تعیین کنید.

ب) اندازه‌ی بار الکتریکی دو ذره را با یکدیگر مقایسه کنید.

سؤالات تشریحی

سری ۲

۱. جاهای خالی را با کلمه‌های مناسب پر کنید و به پاسخنامه انتقال دهید:

الف) اگر اندازه‌ی یکی از دو ذره‌ی بارداری که در فاصله r از یکدیگر قرار گرفته‌اند نصف شود، نیروی الکتریکی بین آنها ..... می‌شود.

ب) وقتی به یک جسم ..... بار الکتریکی داده می‌شود، بار در محل داده شده باقی می‌ماند و در جسم جابجا نمی‌شود.

پ) نیروی وارد بر بار الکتریکی مثبت واقع در میدان الکتریکی با آن ..... است.

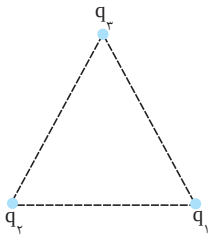
۲. در جاهای خالی عبارت مناسب بنویسید:

الف) اگر بارهای الکتریکی دو جسم ناهمنام باشند، نیروی الکتریکی بین دو جسم ..... است.

ب) بنا به تعریف، میدان الکتریکی در هر نقطه، نیروی وارد بر ..... بار الکتریکی مثبت در آن نقطه است.

پ) در هر ناحیه که میدان الکتریکی قوی‌تر باشد، خط‌های میدان به یکدیگر ..... هستند.

۳. سه ذره‌ی باردار مطابق شکل در سه راس مثلث متساوی‌الاضلاعی به ضلع ۶ سانتیمتر ثابت شده‌اند.



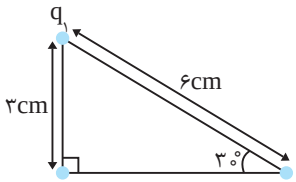
الف) نیروی الکتریکی وارد بر بار $q_۳$ چند نیوتون است؟

ب) جهت نیروی الکتریکی وارد بر بار $q_۳$ را با رسم شکل نشان دهید.

$K = ۹\times۱۰^۹ \frac{N.m^۲}{C^۲}$ $\quad q_۳ = ۰/۴\mu C$ $\quad q_۱ = q_۲ = ۲\mu C$

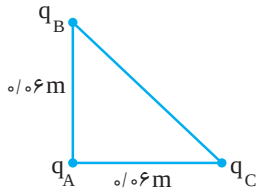
$\cos ۶۰^\circ = \frac{۱}{۲}$ $\quad \cos ۳۰^\circ = \frac{\sqrt{۳}}{۲}$

۴. در شکل مقابل، سه بار الکتریکی $q_۱ = ۲\mu C$، $q_۲ = ۳\mu C$ و $q_۳ = -۴\mu C$ در سه رأس مثلث قائم‌الزاویه قرار گرفته‌اند. برآیند نیروهای وارد بر $q_۱$ را حساب کنید. (با رسم شکل)



$(k = ۹\times۱۰^۹ \frac{N.m^۲}{C}, \cos ۱۲۰^\circ = -\frac{۱}{۲})$

۵. مطابق شکل زیر، سه ذره‌ی باردار در سه راس مثلث قائم الزاویه‌ی ABC ثابت شده‌اند. اندازه‌ی نیروی الکتریکی وارد بر ذره‌ی باردار q_A چند نیوتون است؟

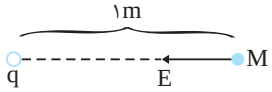


$q_A = +۴\mu C \quad , \quad q_B = q_C = +۳\mu C$

$AB = AC = ۰/۰۶\,m$

$K = ۹\times۱۰^۹ \frac{N.m^۲}{C^۲}$

۶. مانند شکل، در نقطه‌ی M، $E_M = ۴۵۰۰ \frac{N}{C}$ است.



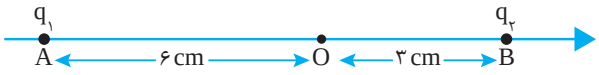
الف) بار نقطه‌ای q چند میکرو کولن است و علامت آن چیست؟

ب) بار الکتریکی $۲\mu C$ را در نقطه‌ی M قرار می‌دهیم. بزرگی نیروی وارد بر آن چند نیوتون است؟ $(k = ۹\times۱۰^۹ \frac{N.m^۲}{C^۲})$

۷. دو ذره با بارهای الکتریکی $q_1 = +4\mu C$ و $q_2 = +\mu C$ در نقطه‌های **A** و **B** روی محور **x** مطابق شکل زیر ثابت شده‌اند.

الف میدان الکتریکی برایند در نقطه O مبدا مختصات را، (در SI) محاسبه کنید و آن را برحسب بردارهای یکه بنویسید.

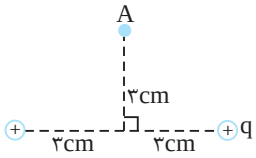
ب اگر در نقطه O ذره‌ای با بار الکتریکی، $-5\mu C$ قرار دهیم، نیروی الکتریکی وارد بر ذره را (در SI) برحسب بردارهای یکه محاسبه کنید.



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

---

۸. دو بار نقطه‌ای هم نام $q = 6\mu c$ مطابق شکل به فاصله‌ی ۶ سانتی‌متر از یکدیگر قرار دارند. جهت و اندازه‌ی میدان الکتریکی را در نقطه‌ی A مشخص کنید.



$$K = 9\times10^{9}\ \frac{Nm^2}{C^2}$$

---

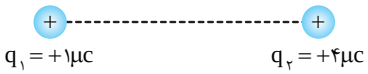
۹. بر بار الکتریکی $+2\mu C$ در یک نقطه از میدان الکتریکی، نیرویی برابر $5\times10^{-2}N$ وارد می‌شود. اندازه‌ی میدان الکتریکی را در این نقطه محاسبه کنید.

---

۱۰. دو بار نقطه‌ای $q_1 = 1\mu C$ و $q_2 = 4\mu C$ بر روی خط راستی به فاصله ۹ سانتی‌متری از یکدیگر قرار دارند.

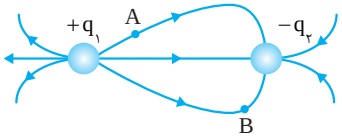
الف در چه فاصله‌ای از بار q_1 برآیند میدان الکتریکی حاصل از دو بار صفر می‌شود؟

ب خط‌های میدان الکتریکی این بارها را به طور کیفی رسم کنید. $K = 9\times10^{9}\ \frac{N.m^2}{C^2}$



---

۱۱. **الف** دو بار الکتریکی $+q_1$ و $-q_2$ در فاصله‌ی معینی از یکدیگر واقع شده‌اند، به طوری که خط‌های میدان الکتریکی آنها مطابق شکل است. بردار میدان را در نقطه‌های A و B رسم کنید.



ب دو بار الکتریکی نقطه‌ای $q_1 = +2\mu c$ و $q_2 = +8\mu c$ در فاصله‌ی ۳۰ سانتی‌متر از یکدیگر بر روی خط راستی قرار دارند. در چه فاصله‌ای از بار q_2 برآیند میدان الکتریکی صفر می‌شود؟ $(K = 9\times10^{9}\ \frac{N.m^2}{c^2})$