نکتهٔ مهم: همانطور که ذکر شد، بار آزمون (و یا هر بار خارجی) که در نقطهٔ خاصی از میدان حاصل از بار q قرار می‌گیرد، صرفاً برای سنجش و اندازه‌گیری میدان الکتریکی بار q در همان نقطهٔ خاص می‌باشد و هیچ تأثیری بر شدت میدان بار q ندارد. لذا چه آن بار خارجی آن‌جا باشد و چه نباشد، و چه اندازهٔ بار خارجی در آن نقطه کم یا زیاد شود، شدت میدان حاصل از بار q در آن نقطه، به همان اندازهٔ اول باقی می‌ماند (در بخش بعدی بیشتر به این موضوع می‌پردازیم). **اما** نیروی $\vec{F}$ وارد بر بار خارجی در آن نقطهٔ خاص، طبق قانون کولن به اندازهٔ هر دو بار بستگی دارد و اگر اندازهٔ بار خارجی تغییر کند، با اینکه میدان الکتریکی q در آن نقطه ثابت است اما نیروی وارد بر بار خارجی (q_0) تغییر خواهد کرد.

کتاب درسی **مثال ۱-۵** ← این مثال، نشان می‌دهد که تغییر اندازهٔ بار خارجی(بار آزمون)، تأثیری در اندازهٔ میدان آن نقطه ندارد.

☑ بخش۵: میدان الکتریکی حاصل از یک ذرهٔ باردار

در بخش قبل، اندازهٔ میدان الکتریکی حاصل از بار q را با استفاده از نیرویی که به بار آزمون وارد می‌شد محاسبه کردیم. اما با توجه به این‌که بار آزمون هیچ تأثیری در میدان الکتریکی بار q ندارد، آیا می‌توان میدان الکتریکی را در هر نقطهٔ دلخواه، بدون نیاز به بار آزمون، و فقط با استفاده از مشخصات بار q محاسبه کرد؟ پاسخ مثبت است. در واقع، رابطه‌ای که در بخش قبل به دست آمد، امکان این کار را فراهم کرده است.

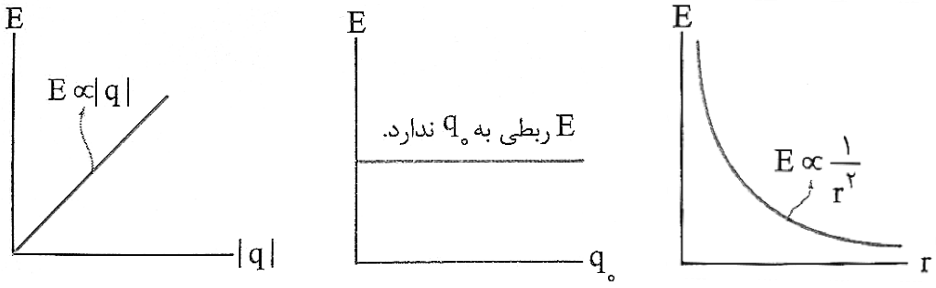
در ابتدا با نگاه به رابطهٔ $E=\frac{F}{q_0}$ این سوال در ذهن شکل می‌گیرد که اگر میدان الکتریکی، مستقل از بار آزمون است پس چرا در این رابطه بار آزمون q_0 ذکر شده است؟! مگر طبق این رابطه، میدان (E) با q_0 نسبت عکس ندارد؟ در پاسخ باید گفت که F طبق رابطهٔ قانون کولن ($F=k\frac{|q||q_0|}{r^2}$) ، q_0 را نیز در درون خود دارد لذا F و q_0 مستقل از هم نیستند؛ مثلاً اگر q_0 دو برابر شود، F نیز دو برابر خواهد شد، پس نسبت $\frac{F}{q_0}$ تغییر نخواهد کرد حال اگر این رابطه را به صورت زیر بنویسیم، می‌بینیم که q_0 از صورت و مخرج رابطه حذف شده و این رابطه یک شکل جدید پیدا می‌کند:

$$E=\frac{F}{q_0}=\frac{k\frac{|q|\cancel{q_0}}{r^2}}{\cancel{q_0}} \Rightarrow \boxed{E=k\frac{|q|}{r^2}}$$

با استفاده از این رابطه، اندازهٔ میدان الکتریکی ناشی از بار q در نقطه‌ای که به فاصلهٔ r از بار q قرار دارد محاسبه می‌گردد.

نکته: طبق رابطهٔ بالا، میدان با اندازهٔ بار q **نسبت مستقیم**، و با مربع فاصله از بار، **نسبت عکس** دارد.

نمودارهای میدان الکتریکی حاصل از بار q
به صورت مقابل می‌باشند:



نکته: حالت مقایسه‌ای برای رابطهٔ میدان الکتریکی به صورت مقابل است:

$$\frac{E_2}{E_1}=\frac{|q_2|}{|q_1|}\times\left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2$$

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

نکته: میدان الکتریکی دارای ۲ رابطه است که هرچند از یکدیگر به دست آمده‌اند، اما استفاده از آن‌ها بستگی به نوع مسئله دارد:

- رابطهٔ $E = k\frac{|q|}{r^2}$ در مسائلی استفاده می‌شود که فقط بار q (باری که میدان را ایجاد می‌کند) داشته باشیم.
- رابطهٔ $E = \frac{F}{q_0}$ در مسائلی استفاده می‌شود که بار خارجی(q_0) یا نیروی F وارد بر بار خارجی را داشته باشیم.

توجه: توجه کنید که هرگاه مسئله بگوید که « بار q در میدان E قرار می‌گیرد»، نشان می‌دهد که q یک بار خارجی است و میدان E توسط بار دیگری ایجاد شده است. پس نیازی نیست که حتماً از نماد q_0 برای بار خارجی استفاد شود.

مثال ۱۳: اگر در یک میدان الکتریکی، نیروی وارد بر بار الکتریکی ۲۰ میکروکولنی، برابر با ۰/۲ نیوتون باشد، آن میدان الکتریکی چند نیوتون بر کولن است؟

مثال ۱۴: اندازهٔ میدان الکتریکی حاصل از بار الکتریکی نقطه‌ای $10\ \mu C$، در فاصلهٔ ۰/۵ متری از آن، چقدر است؟

کتاب درسی مثال ۱-۶ ← دراین مثال، با **مولد وان دو گراف** ، و همچنین نحوهٔ رسم نمودار E بر حسب r آشنا می‌شوید.

تمرین ۱-۴ کتاب درسی طبق مدل بور برای اتم هیدروژن، در حالت پایه فاصلهٔ الکترون از پروتون هسته برابر با $5/3\times10^{-11}\ m$ است.

الف) اندازهٔ میدان الکتریکی ناشی از پروتون هسته را در این فاصله تعیین کنید.

ب) در چه فاصله‌ای از پروتون هسته، بزرگی میدان الکتریکی، برابر با بزرگی میدان الکتریکی حاصل از مولد وان‌دوگرافِ مثال ۱-۶ کتاب درسی در فاصلهٔ ۱m از مرکز کلاهک آن است؟

میدان الکتریکی مولد وان‌دوگراف در فاصلهٔ ۱m از کلاهک : .....

نکته: در برخی مسائل نیاز است که ابتدا بار q را خودتان از رابطهٔ $q=\pm ne$ محاسبه کنید و سپس در رابطه قرار دهید. مانند مثال زیر:

مثال ۱۵ (مسائل پایانی فصل ـ مسئلهٔ ۹): هستهٔ اتم آهن شعاعی در حدود $4\times10^{-15}\ m$ دارد و تعداد پروتون‌های آن ۲۶ عدد است.

الف) بزرگی نیروی دافعهٔ بین دو پروتون این هسته که به فاصلهٔ $4\times10^{-15}\ m$ از هم قرار دارند چقدر است؟

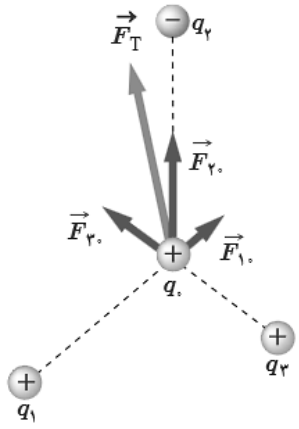
ب) اندازهٔ میدان الکتریکی ناشی از هسته در فاصلهٔ $1\times10^{-10}\ m$ از مرکز هسته چقدر است؟

* برهم‌نهی میدان‌های الکتریکی

تا این‌جا توانستیم اندازهٔ میدان الکتریکیِ ناشی از بار q را در فاصلهٔ دلخواه از آن به دست آوریم. حال اگر چند بار نقطه‌ای q_1، q_2 و ... داشته باشیم میدان الکتریکی خالص ناشی از همهٔ این بارها در یک نقطهٔ دلخواه (مانند A) در فضا چگونه تعیین می‌شود؟

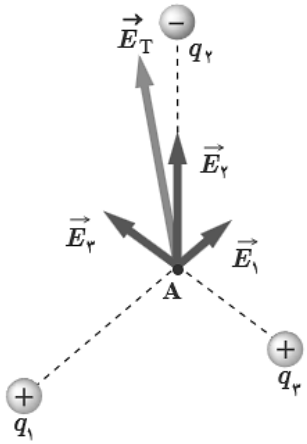
روش یافتن میدان الکتریکی خالص(برایند) حاصل از چند ذرهٔ باردار، در یک نقطه از فضا، دقیقاً مشابه برهم‌نهی نیروهای الکتروستاتیکی است.

در اینجا نیز ابتدا میدان الکتریکی ناشی از هر ذرّه را در آن نقطهٔ دلخواه به‌صورت مجزا (تک‌تک) به‌دست می‌آوریم و سپس همه را به‌صورت برداری باهم جمع می‌کنیم. به این کار، **اصلِ برهم‌نهیِ میدان‌های الکتریکی** گفته می‌شود.



$$\vec{F}_T = \vec{F}_{10} + \vec{F}_{20} + \vec{F}_{30}$$

نیروی $\vec{F}_T$، نیروی برآیند وارد بر بار آزمون q_0 است.



$$\vec{E}_T = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3$$

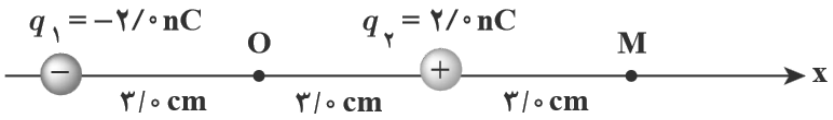
میدان الکتریکی $\vec{E}$ در محل بار آزمون، جمع برداری میدان‌های $\vec{E}_1$، $\vec{E}_2$ و $\vec{E}_3$ در محل این بار است.

توجه: تمام روش‌هایی که در اصل برهم‌نهی نیروهای الکتروستاتیکی بیان شد در حل مسائل برهم‌نهی میدان‌های الکتریکی نیز معتبر است و فقط رابطهٔ آن کمی آسانتر است! (به جای دو تا بار، فقط یک بار q در صورت آن وجود دارد)

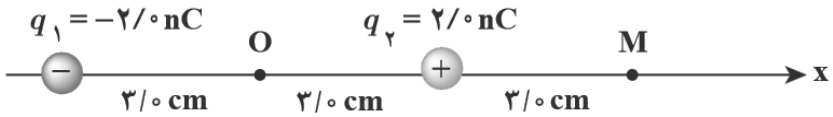
کتاب درسی ○ مثال ۱-۷

تمرین ۱-۵ کتاب درسی شکل زیر، آرایشی از دو بار الکتریکی هم‌اندازه و غیرهمنام (**دو قطبی الکتریکی**) را نشان می‌دهد که در آن فاصلهٔ دو بار از هم ۶ cm است. میدان الکتریکی خالص را در نقطه‌های O و M به‌دست آورید.

برای نقطهٔ O:



برای نقطهٔ M:

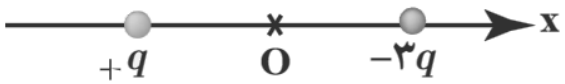


مثال ۱۶ (نهایی ریاضی ـ خرداد ۹۳): میدان الکتریکی حاصل از دو بار نقطه‌ای $q_1 = +2\ \mu C$ و $q_2 = +32\ \mu C$ در فاصلهٔ ۱۶ سانتی‌متری از بار q_2 صفر می‌باشد. فاصلهٔ دو بار الکتریکی از یکدیگر چند سانتی‌متر است؟

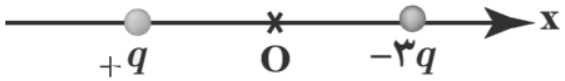
مثال ۱۷ (نهایی ریاضی ـ خرداد ۹۲): دو بار الکتریکی نقطه‌ای $q_1 = -2\ \mu C$ و $q_2 = +8\ \mu C$ در فاصلهٔ $30\ cm$ از یکدیگر روی خط راستی قرار دارند. در چه فاصله‌ای از بار q_2 ، برایند میدان الکتریکی صفر است؟

مثال ۱۸ (مسائل پایانی فصل ـ مسئلهٔ ۹): شکل زیر، دو ذرهٔ باردار را نشان می‌دهد که در جای خود روی محور x ثابت شده‌اند. بارها در فاصلهٔ یکسان a از مبدأ مختصات (نقطهٔ O) قرار دارند.

الف) در کجای این محور (غیر از بی‌نهایت) نقطه‌ای وجود دارد که در آنجا میدان الکتریکی برایند برابر با صفر است؟

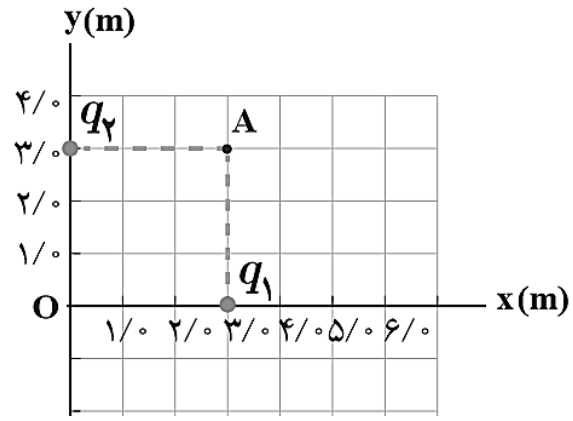


ب) بزرگی و جهت میدان الکتریکی برایند در مبدأ مختصات را بیابید.



کتاب درسی ○ مثال ۱-۷

تمرین ۱-۶ کتاب درسی شکل زیر، دو بار نقطه‌ای q_1 و q_2 را در صفحهٔ xy نشان می‌دهد. میدان الکتریکی خالص حاصل از آرایش دو بار را در نقطهٔ A تعیین کنید. ($q_1= q_2= 5\ \mu C$)



مثال ۱۹ (نهایی تجربی ـ دی ۹۷): مطابق شکل، سه ذرهٔ باردار $q_1= 3\mu C$ ، $q_2= -3\mu C$ و $q_3= 8\mu C$ روی محیط نیم‌دایره‌ای به شعاع ۳۰ cm ثابت شده‌اند. میدان الکتریکی برایند را در نقطهٔ O بر حسب بردارهای یکه ($\vec{j}$) بنویسید. (* اندازهٔ آن را نیز به دست آورید)