# فیزیک ۲

**محتوای ویژه کتاب**

- مفاهیم آموزشی
- پاسخ همه فعالیت‌ها، تمرین‌ها و پرسش‌های کتاب
- ایستگاه یادگیری
- موارد مهم و سؤالات امتحانی ✪
- ارزشیابی مستمر در پایان هر فصل همراه با پاسخ و بارم‌بندی
- آزمون‌های پایانی با پاسخ و بارم‌بندی

## فصل ۱ الکتریسیتهٔ ساکن

### مفاهیم آموزشی

**(۱) بار الکتریکی**

همهٔ مواد از ذرات ریزی به نام اتم تشکیل شده‌اند که شامل دو جزء است؛ هسته و الکترون که به دور هسته در حال چرخش است، هسته نیز شامل ذراتی به نام پروتون است؛ بنابراین همه مواد از پروتون و الکترون تشکیل شده‌اند. پروتون بار مثبت و الکترون بار منفی دارد. در هسته ذرات دیگری به نام نوترون نیز وجود دارند که بدون بار هستند. بین بارهای همنام دافعه و بین بارهای ناهمنام جاذبه وجود دارد. بار الکتریکی یک جسم را با q نشان می‌دهیم و یکای آن در دستگاه SI کولن (C) است. چون یک کولن مقدار بار بزرگی است از واحدهای میکروکولن ($\mu C$) یا نانوکولن (nC) برای بیان مقدار بار اجسام استفاده می‌شود.

الکتروسکوپ (برق‌نما): وسیله‌ای است که با آن می‌توان باردار بودن اجسام و نوع بار آنها را مشخص کرد.

**(۲) پایستگی و کوانتیده بودن بار الکتریکی**

اندازهٔ بار منفی الکترون با اندازهٔ بار مثبت پروتون برابر و مقدار آن $e \simeq ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹} C$ است و چون در حالت عادی در یک اتم تعداد پروتون‌ها و الکترون‌ها برابر است، اتم در حالت عادی خنثی است. در اثر مالش دو جسم به یکدیگر الکترون از یکی جدا و به دیگری منتقل می‌شود، بنابراین تعادل بارها در اتم‌های هر دو جسم به هم می‌خورد و هر دو جسم باردار می‌شوند. بار جسمی که الکترون از دست داده، مثبت و بار جسمی که الکترون گرفته منفی می‌شود.

نوع باری که اجسام در اثر مالش به‌دست می‌آورند از سری الکتریسیته مالشی (تریبوالکتریک) مشخص می‌شود. این سری شامل جدولی است که در آن مواد پایین‌تر، الکترون‌خواهی بیشتر و مواد بالاتر، الکترون‌دهی بیشتری دارند. در اثر مالش دو جسم با یکدیگر الکترون‌ها از مادهٔ بالاتر جدول به مادهٔ پایین‌تر منتقل می‌شوند.

دو اصل مهم در مورد بار الکتریکی عبارت‌اند از:

اصل پایستگی بار: بار الکتریکی به وجود نمی‌آید و از بین نمی‌رود بلکه از جسمی به جسم دیگر منتقل می‌شود.

اصل کوانتیده بودن بار: بار یک جسم همواره مضرب درستی از بار بنیادی $e \simeq ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹} C$ است. بنابراین اگر جسمی n الکترون بگیرد و یا از دست دهد بار آن از رابطهٔ مقابل به‌دست می‌آید: $q = \pm ne, n = ۰, ۱, ۲, \ldots$

**نکته:** در رابطهٔ فوق اگر جسم الکترون از دست بدهد از علامت مثبت و اگر الکترون بگیرد از علامت منفی استفاده می‌شود.

**مثال ۱)** جسمی $۲\times۱۰^{۱۰}$ الکترون از دست داده است، بار جسم چقدر است؟ $(e\simeq ۱/۶\times۱۰^{-۱۹}C)$

$$e\simeq ۱/۶\times۱۰^{-۱۹}C\ ,\ n=۲\times۱۰^{۱۰}\ ,\ q=?$$

$$q=+ne=۲\times۱۰^{۱۰}\times ۱/۶\times۱۰^{-۱۹}=۳/۲\times۱۰^{-۹}C\ \rightarrow q=+۳/۲\times۱۰^{-۹}C$$

**مثال ۲)** بار جسمی $-۸\mu C$ است. $(e\simeq ۱/۶\times۱۰^{-۱۹}C)$

الف) این جسم الکترون از دست داده یا گرفته است؟

با توجه به علامت منفی بار، جسم الکترون گرفته است.

ب) تعداد الکترون‌های مبادله شده چقدر است؟

$$q=-۸\mu C=-۸\times۱۰^{-۶}C\ ,\ e\simeq ۱/۶\times۱۰^{-۱۹}C\ ,\ n=?$$

$$q=-ne\rightarrow -۸\times۱۰^{-۶}=-n\times ۱/۶\times۱۰^{-۱۹}\rightarrow n=\frac{-۸\times۱۰^{-۶}}{-۱/۶\times۱۰^{-۱۹}}=۵\times۱۰^{۱۳}$$ الکترون

**(۳) قانون کولن و برهم‌نهی نیروهای الکتروستاتیکی**

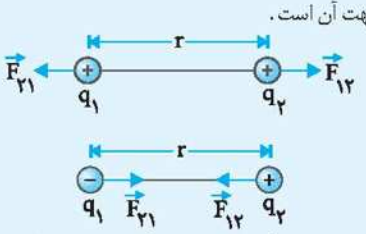
قانون کولن: براساس این قانون نیروی الکتریکی بین دو بار نقطه‌ای، با حاصل‌ضرب اندازهٔ دو بار نسبت مستقیم و با مجذور فاصلهٔ آنها نسبت عکس دارد. بنابراین اندازهٔ این نیرو برابر است با:

$$F=k\frac{|q_۱||q_۲|}{r^۲}$$

در این رابطه: $q_۱$ و $q_۲$ بار الکتریکی برحسب کولن $(C)$ ، $r$: فاصله بین دو بار برحسب متر $(m)$

$F$: اندازهٔ نیروی بین دو بار بر حسب نیوتون $(N)$ ، $k$: ثابت کولن، $(k\simeq ۹\times۱۰^{۹}\frac{N\cdot m^۲}{C^۲})$

**نکته:** نیروی بین بارهای همنام دافعه و نیروی بین بارهای ناهمنام جاذبه بوده و این نیرو همواره در راستای خطی است که دو بار را به هم وصل می‌کند. همچنین طبق قانون سوم نیوتون، نیرویی که بار $q_۱$ به بار $q_۲$ وارد می‌کند $(\vec{F}_{۱۲})$، با نیرویی که بار $q_۲$ به بار $q_۱$ وارد می‌کند $(\vec{F}_{۲۱})$، هم‌اندازه و در خلاف جهت آن است.




$$\vec{F}_{۱۲}=-\vec{F}_{۲۱}\rightarrow F_{۱۲}=F_{۲۱}=F$$

**مثال ۳)** دو بار نقطه‌ای $q_۱=-۵nC$ و $q_۲=۴\mu C$ در فاصلهٔ $۳cm$ از یکدیگر قرار دارند، بزرگی نیروی الکتریکی بین آنها را محاسبه کنید. $(k\simeq ۹\times۱۰^{۹}\frac{N\cdot m^۲}{C^۲})$

$$q_۱=-۵nC=-۵\times۱۰^{-۹}C\ ,\ q_۲=۴\mu C=۴\times۱۰^{-۶}C\ ,\ r=۳cm=۳\times۱۰^{-۲}m\ ,\ F=?$$

$$F=k\frac{|q_۱||q_۲|}{r^۲}=۹\times۱۰^{۹}\times\frac{۵\times۱۰^{-۹}\times۴\times۱۰^{-۶}}{(۳\times۱۰^{-۲})^۲}=۲۰\times۱۰^{-۲}=۰/۲N\rightarrow F=۰/۲N$$

**مثال ۴)** در هسته یک اتم، دو پروتون نیرویی به بزرگی ۵۷/۶ نیوتون به یکدیگر وارد می‌کنند. فاصلهٔ بین این دو پروتون را به‌دست آورید. $(k\simeq ۹\times۱۰^{۹}\frac{N\cdot m^۲}{C^۲}\ ,\ e\simeq ۱/۶\times۱۰^{-۱۹}C)$

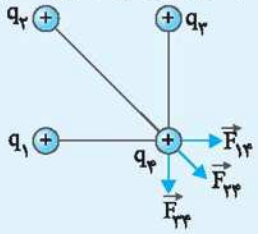
$$q_۱=q_۲=۱/۶\times۱۰^{-۱۹}C\ ,\ F=۵۷/۶\ N\ ,\ r=?$$

$$F=k\frac{|q_۱||q_۲|}{r^۲}\rightarrow r^۲=k\frac{|q_۱||q_۲|}{F}=۹\times۱۰^{۹}\times\frac{۱/۶\times۱۰^{-۱۹}\times ۱/۶\times۱۰^{-۱۹}}{۵۷/۶}=$$

$$۴\times۱۰^{-۳۰}\rightarrow r=۲\times۱۰^{-۱۵}m$$

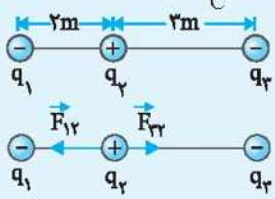
**اصل برهم نهی نیروهای الکتروستاتیکی:**

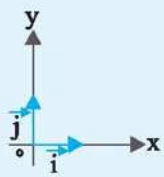
اگر چند ذرهٔ باردار داشته باشیم نیروی الکتریکی وارد بر هر ذره، برایند نیروهایی است که هر یک از ذرات در غیاب سایر ذرات بر آن ذره وارد می‌کنند. به‌عنوان مثال نیرویی که از طرف هریک از ذرات $q_1$ ، $q_2$ و $q_3$ به ذرهٔ $q_4$ در شکل زیر وارد می‌شود برابر است با:




$$\vec{F}_T = \vec{F}_{14} + \vec{F}_{24} + \vec{F}_{34}$$

**مثال ۵)** سه ذرهٔ باردار $q_1 = -2\mu C$ ، $q_2 = +2\mu C$ و $q_3 = -3\mu C$ مطابق شکل در نقاط مشخص شده بر روی یک خط راست قرار دارند. نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار $q_2$ را محاسبه کنید. $(k \simeq 9\times10^9 \frac{N\cdot m^2}{C^2})$ (ریاضی - دی ماه ۹۴)

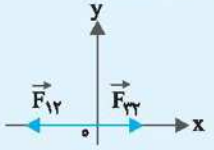



$$F_{12} = k\frac{|q_1||q_2|}{r_{12}^2} = 9\times10^9 \times \frac{2\times10^{-6}\times2\times10^{-6}}{4} = 9\times10^{-3}\,N \rightarrow F_{12} = 9\times10^{-3}\,N$$

$$F_{32} = k\frac{|q_3||q_2|}{r_{32}^2} = 9\times10^9 \times \frac{3\times10^{-6}\times2\times10^{-6}}{9} = 6\times10^{-3}\,N \rightarrow F_{32} = 6\times10^{-3}\,N$$

با توجه به دستگاه مختصات انتخاب شده نیروهای $\vec{F}_{12}$ و $\vec{F}_{23}$ برحسب بردارهای یکه به‌صورت زیر هستند:



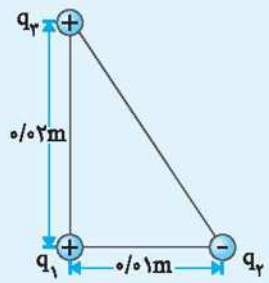

$$\vec{F}_{12} = (-9\times10^{-3}\,N)\vec{i}$$

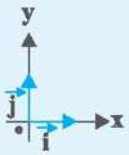
$$\vec{F}_{32} = (6\times10^{-3}\,N)\vec{i}$$

$$\vec{F}_T = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{32} = (-9\times10^{-3}\,N)\vec{i} + (6\times10^{-3}\,N)\vec{i} = (-3\times10^{-3}\,N)\vec{i}$$

$$\rightarrow \vec{F}_T = (-3\times10^{-3}\,N)\vec{i} \rightarrow F_T = 3\times10^{-3}\,N$$

**مثال ۶)** مطابق شکل سه ذرهٔ باردار در سه رأس مثلث قائم‌الزاویه‌ای قرار دارند، نیروی الکتریکی خالص وارد بر ذره $q_1$ را محاسبه کنید. $(k \simeq 9\times10^9 \frac{N\cdot m^2}{C^2}$ و $q_1 = 4\mu C$ ، $q_2 = -1\mu C$ ، $q_3 = 4\mu C)$

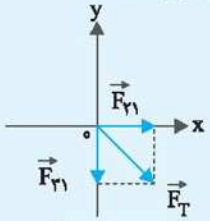



$$F_{31} = k\frac{|q_3||q_1|}{r_{31}^2} = 9\times10^9 \times \frac{4\times10^{-6}\times4\times10^{-6}}{(2\times10^{-2})^2} = 3/6\times10^2\,N$$

$$F_{21} = k\frac{|q_2||q_1|}{r_{21}^2} = 9\times10^9 \times \frac{1\times10^{-6}\times4\times10^{-6}}{(1\times10^{-2})^2} = 3/6\times10^2\,N$$

با توجه به دستگاه مختصات انتخاب شده نیروهای $\vec{F}_{۳۱}$ و $\vec{F}_{۲۱}$ برحسب بردارهای یکه به‌صورت زیر هستند:




$$\vec{F}_{۲۱} = (۳۶۰N)\vec{i}$$
$$\vec{F}_{۳۱} = (-۳۶۰N)\vec{j}$$
$$\vec{F}_T = (۳۶۰N)\vec{i} + (-۳۶۰N)\vec{j}$$

$$F_T = \sqrt{۳۶۰^۲ + ۳۶۰^۲} = \sqrt{۲\times ۳۶۰^۲} = ۳۶۰\sqrt{۲}N \rightarrow F_T = ۳۶۰\sqrt{۲}N$$

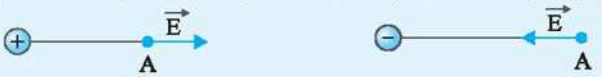
**(۴) میدان الکتریکی**

تعریف کیفی: خاصیتی است در فضای اطراف یک جسم باردار که به سبب آن به اجسام باردار دیگر نیرو وارد می‌شود. میدان الکتریکی کمیتی برداری است و آن را با $\vec{E}$ نشان می‌دهند. یکای میدان الکتریکی نیوتون بر کولن $(\frac{N}{C})$ است.

تعریف کمی: اگر بر بار آزمون $q_۰$ (بار مثبت و کوچک) که در نزدیکی یک جسم باردار است، نیروی الکتریکی $\vec{F}$ وارد شود، میدان الکتریکی در محل بار $q_۰$ از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_۰}$$

**نکته:** میدان الکتریکی در هر نقطه از فضای اطراف جسم باردار، در جهت نیروی وارد بر بار مثبت (بارآزمون) در آن نقطه است.




**مثال ۷)** بر بار آزمون $q_۰ = ۶\mu C$ در نزدیکی یک جسم باردار نیروی $۱۸\times ۱۰^{-۸} N$ وارد می‌شود. بزرگی میدان الکتریکی در محل بار آزمون چقدر است؟

$$q_۰ = ۶\mu C = ۶\times ۱۰^{-۶} C \quad , \quad F = ۱۸\times ۱۰^{-۸} N \quad , \quad E = ?$$

$$E = \frac{F}{q_۰} = \frac{۱۸\times ۱۰^{-۸}}{۶\times ۱۰^{-۶}} = ۳\times ۱۰^{-۲}\frac{N}{C} \rightarrow E = ۰/۰۳\frac{N}{C}$$

**مثال ۸)** اگر بزرگی میدان الکتریکی در نقطه‌ای از فضا $۱۵\frac{N}{C}$ باشد، بر بار آزمون $۴nC$ در این نقطه چه نیرویی وارد می‌شود؟

$$E = ۱۵\frac{N}{C} \quad , \quad q_۰ = ۴nC = ۴\times ۱۰^{-۹} C \quad , \quad F = ?$$

$$E = \frac{F}{q_۰} \rightarrow F = Eq_۰ = ۱۵\times ۴\times ۱۰^{-۹} = ۶۰\times ۱۰^{-۹} = ۶\times ۱۰^{-۸} N \rightarrow F = ۶\times ۱۰^{-۸} N$$

**(۵) میدان الکتریکی حاصل از یک ذرهٔ باردار**

اندازهٔ میدان الکتریکی ذرهٔ باردار q در فاصلهٔ r از آن، از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

$$E = k\frac{|q|}{r^۲}$$

مولد وان‌دوگراف: وسیله‌ای است برای ایجاد بار الکتریکی که در آن بار الکتریکی توسط تسمه متحرکی به کلاهک فلزی توخالی منتقل می‌شود.

**مثال ۹)** با توجه به اینکه بار پروتون $۱/۶\times ۱۰^{-۱۹} C$ است، محاسبه کنید: $(k \simeq ۹\times ۱۰\frac{N\cdot m^۲}{C^۲})$

الف) میدان الکتریکی در فاصلهٔ $۴\times ۱۰^{-۱۲} m$ از پروتون چقدر است؟ $q = ۱/۶\times ۱۰^{-۱۹} C \ , \ r = ۴\times ۱۰^{-۱۲} m \ , \ E = ?$

$$E = k\frac{|q|}{r^۲} = ۹\times ۱۰^۹ \times \frac{۱/۶\times ۱۰^{-۱۹}}{۱۶\times ۱۰^{-۲۴}} = ۹\times ۱۰^{۱۳}\frac{N}{C} \rightarrow E = ۹\times ۱۰^{۱۳}\frac{N}{C}$$

## فعالیت ۱-۸ ۳۰

**دو قطعه ورقهٔ آلومینیمی به ابعاد ۳cm × ۴cm را مچاله کنید و به سرهای دو تکه نخ هم‌اندازه به طول ۳۰cm وصل کنید. پس از آنکه جسم فلزی دوکی‌شکل را با مولد وان‌دوگراف باردار کردید، یکی از آونگ‌ها را مقابل نوک تیز و دیگری را مقابل بخش پهن دوک بیاویزید. چه مشاهده می‌کنید؟ مشاهدهٔ خود را توجیه کنید.**

ابتدا در هر دو آونگ که بدون بار هستند مقداری بار مثبت و منفی توسط جسم دوکی شکل القا می‌شود و آونگ‌ها به سمت دوک جذب می‌شوند. بعد از برخورد آونگ‌ها با سطح دوک، مقداری از بار دوک به آنها منتقل شده و باری همنام با بار جسم دوکی شکل پیدا می‌کنند و به علت نیروی دافعه بین بارهای همنام، از جسم دوکی شکل دور می‌شوند. مشاهده می‌کنیم آونگی که به قسمت نوک‌تیز جسم برخورد می‌کند انحراف بیشتری پیدا می‌کند. علت این است که چگالی بار در قسمت نوک‌تیز جسم دوکی شکل بیشتر است در نتیجه میدان الکتریکی در نزدیکی آن قوی‌تر و نیرویی که به آونگ وارد می‌کند بیشتر است.

## فعالیت ۱-۹ ۳۱

**در مورد برق‌گیرهای ساختمان تحقیق کنید و بررسی کنید آنها چگونه ساختمان‌ها را از گزند آذرخش در امان نگه می‌دارند.**

برق‌گیر وسیله‌ای است که در بالاترین نقطهٔ ساختمان نصب و اولین نقطهٔ اصابت آذرخش است؛ زیرا رعد و برق از کوتاه‌ترین فاصله بین ابر و زمین تخلیه می‌گردد. از نوک برق‌گیر نصب شده به زاویه $45^\circ$ تا سطح افق را مخروط ایمنی می‌گویند. و هر جسمی که درون مخروط ایمنی قرار گیرد، در معرض اصابت مستقیم صاعقه نخواهد بود. به همین دلیل است که در بعضی موارد برای پوشش کل ساختمان از چندین برقگیر به صورت قفس فاراده استفاده می‌گردد. ارتباط بین برقگیر و زمین توسط هادی میانی انجام می‌گیرد. نکتهٔ ضروری در مورد هادی میانی تخلیهٔ جانبی است. اگر هنگام نصب اتصالات هادی میانی، به اندازهٔ کافی دقت نشود، امکان ایجاد اتصال کوتاه و تخلیهٔ انرژی از مسیرهای نامناسب وجود دارد. با اصابت آذرخش به برقگیر انرژی به آن منتقل و توسط سیستم هادی به زمین هدایت می‌شود. اتصال به زمین نیز انواع مختلفی دارد از قبیل سیستم چاه، سیستم حلقه و سیستم میله‌ای ارت.

## پرسش ۱-۶ ۳۶

**در شکل زیر صفحه‌های باردار یک خازن تخت را که بین آنها هواست، به ولت‌سنج وصل می‌کنیم. با وارد کردن دی‌الکتریک در بین صفحه‌ها، اختلاف پتانسیل دو صفحه کاهش می‌یابد. علت آن را توضیح دهید. (توجه کنید که این آزمایش با بیشتر ولت‌سنج‌های معمولی و رایج ممکن نیست.)**

روش اوّل: با قرار دادن دی‌الکتریک بین صفحات خازن ظرفیت آن افزایش می‌یابد، از آنجایی که بار روی صفحات خازن ثابت است بنابراین طبق رابطه $V = \frac{Q}{C}$، اختلاف پتانسیل کاهش می‌یابد.

روش دوم: با قرار دادن دی‌الکتریک بین صفحات خازن میدان الکتریکی بین صفحات کاهش و طبق رابطه $|\Delta V| = Ed$ اختلاف پتانسیل بین صفحات نیز کاهش می‌یابد.

## فعالیت ۱-۱۰ ۳۷

**در حسگر کیسهٔ هوای برخی از خودروها از یک خازن استفاده می‌شود. دربارهٔ چگونگی عملکرد این حسگرها تحقیق کنید و نتیجهٔ آن را به کلاس گزارش دهید.**

این حسگرها که در قسمت جلوی خودرو نصب می‌شوند، شامل خازنی با یک صفحه ثابت و یک صفحه متحرک هستند. در تغییر سرعت‌های ناگهانی و ترمزهای شدید، فاصله بین این دو صفحه کاهش و ظرفیت خازن افزایش می‌یابد. این تغییر ظرفیت خازن توسط دستگاه کنترل مرکزی، آشکارسازی و باعث باز شدن کیسه هوا می‌شود.

(منبع: http://physic-one.blog.ir)

## تمرین ۱-۱۲ ۳۸

یک یاختهٔ عصبی (نورون) را می‌توان با یک خازن تخت مدل‌سازی کرد، به‌طوری که غشای سلول به‌عنوان دی‌الکتریک و یون‌های باردار با علامت مخالف که در دو طرف غشا هستند به عنوان بارهای روی صفحه‌های خازن عمل کنند (شکل روبه‌رو). ظرفیت یک سلول عصبی و تعداد یون‌های لازم (با فرض آنکه هر یون یک بار یونیده باشد) برای آنکه یک اختلاف پتانسیل $۸۵mV$ ایجاد شود چقدر است؟ فرض کنید غشا دارای ثابت دی‌الکتریک $\kappa = ۳/۰$، ضخامت $۱۰/۰nm$ و مساحت سطح $۱/۰\times۱۰^{-۱۰}m^۲$ است.

$$V = ۸۵mV = ۸۵\times۱۰^{-۳}V \quad , \quad \varepsilon_۰ = ۸/۸۵\times۱۰^{-۱۲}\frac{F}{m} \quad , \quad e = ۱/۶\times۱۰^{-۱۹}C \quad , \quad \kappa = ۳$$

$$d = ۱۰nm = ۱۰\times۱۰^{-۹}m = ۱۰^{-۱۰}m \quad , \quad A = ۱\times۱۰^{-۱۰}m^۲$$

$$C = \kappa\varepsilon_۰\frac{A}{d} = \frac{۳\times۸/۸۵\times۱۰^{-۱۲}\times۱\times۱۰^{-۱۰}}{۱۰\times۱۰^{-۹}} = ۲/۶۵۵\times۱۰^{-۱۳}F \rightarrow C = ۲/۶۵۵\times۱۰^{-۱۳}F$$

$$C = \frac{Q}{V} \rightarrow Q = CV = ۲/۶۵۵\times۱۰^{-۱۳}\times۸۵\times۱۰^{-۳} \simeq ۲/۲۵۷\times۱۰^{-۱۴}C \rightarrow Q = ۲/۲۵۷\times۱۰^{-۱۴}C$$

$$Q = ne \rightarrow n = \frac{Q}{e} = \frac{۲/۲۵۷\times۱۰^{-۱۴}}{۱/۶\times۱۰^{-۱۹}} \simeq ۱/۴۱\times۱۰^{۵}$$

## فعالیت ۱-۱۱ ۳۸

**خازن‌ها انواع متعددی دارند؛ زیرا برای کاربردهای مختلفی طراحی و ساخته می‌شوند. دربارهٔ خازن‌های مختلف مانند خازن‌های ورقه‌ای، میکا، سرامیکی، الکترولیتی، خازن‌های متغیر، اَبَرخازن‌ها و ظرفیت آنها تحقیق کنید. هر گروه می‌تواند روی یک نوع خازن تحقیق کند.**

خازن‌های ورقه‌ای: این خازن‌ها از دو ورقه قلع یا آلومینیم تشکیل شده‌اند که بین آنها دو ورقه دی‌الکتریک مانند کاغذ یا پلاستیک جا داده می‌شود. این ورق‌ها را لوله می‌کنند و به صورت یک استوانه در می‌آورند و در محفظه‌ای پلاستیکی قرار می‌دهند. ظرفیت این نوع خازن‌ها از $۱nF$ تا $۱\mu F$ است.

خازن‌های میکا: بین ورقه‌های فلزی نازک قلعی ورقه‌های نازک میکا قرار می‌دهند و ورقه‌های قلع را یک در میان به یکدیگر وصل می‌کنند. ظرفیت این خازن‌ها حدود ۵۰ تا ۵۰۰ پیکوفاراد است.

خازن‌های سرامیکی: دی‌الکتریک این خازن‌ها سرامیک است که با استفاده از انواع سیلیکات‌ها در دمای بالا تهیه می‌شود. ثابت دی‌الکتریک این خازن‌ها زیاد و در حدود ۱۰۰۰ است. خازن‌های سرامیکی به شکل عدس تهیه می‌شوند و حجم آنها کم است. صفحات رسانای آنها نیز با ذوب نقره در دو طرف سرامیک تهیه می‌شوند. ظرفیت این خازن‌ها حدود ده‌ها نانوفاراد ($nF$) است.

خازن‌های الکترولیتی: این خازن‌ها از یک صفحه فلزی اندود شده با اکسید آلومینیم به‌طوری که صفحه فلزی، قطب مثبت خازن و لایه اکسید، دی‌الکتریک آن باشد تشکیل شده است. الکترولیت جامد یا مایع که غالباً کاغذی آغشته به مایع الکترولیت است به عنوان قطب منفی خازن عمل می‌کند. ظرفیت این خازن‌ها بالا است و تا حدود $۰/۱F$ می‌رسد.

خازن‌های متغیر: دی‌الکتریک این خازن‌ها معمولاً هوا است. در ساختمان آنها دو نوع صفحه فلزی یک دسته ثابت و دسته دیگر متحرک به‌کار رفته است که هر دو دسته روی یک محور قرار گرفته‌اند ولی صفحات متحرک روی این محور می‌چرخند. صفحه‌ها به شکل نیم‌دایره‌اند و با چرخیدن صفحات متحرک مساحت خازن کم و زیاد می‌شود. این نوع خازن‌ها در گیرنده‌های رادیویی به کار می‌رفته است.

اَبَرخازن‌ها: این نوع از خازن‌ها از موادی مانند زغال فعال پر شده‌اند که خود درون نوعی الکترولیت قرار گرفته‌اند. زغال‌ها پس از قرار گرفتن در دو سوی خازن که توسط غشای عایق و نفوذپذیری به نام جداکننده از هم جدا شده‌اند، بارهایی با علامت مخالف می‌گیرند و با توجه به نفوذپذیری جداکننده یون‌های موجود در الکترولیت از غشای جداکننده عبور می‌کنند؛ به‌طوری که یون‌های منفی در سمت زغال‌های باردار مثبت و یون‌های مثبت در سمت زغال‌های باردار منفی قرار می‌گیرند. هر یک از جفت بارهای مثبت و منفی زغال - یون به مثابه خازنی با فاصله جدایی $d$ است که میلیون‌ها بار کوچک‌تر از فاصله جدایی صفحات یک خازن معمولی است. از طرفی ساختار میکروسکوپی زغال‌های فعال اسفنجی‌شکل است، به‌طوری که در مقیاس نانو سطح تماس بسیار بزرگی با یون‌ها دارند و به این ترتیب مساحت صفحات این خازن‌ها به مراتب بزرگ‌تر از مساحت سطح یک خازن معمولی است. بنابراین این خازن‌ها ظرفیت‌های بسیار بزرگی از مرتبه کیلوفاراد دارند که میلیون‌ها برابر خازن‌های معمولی است. از مزایای این نوع خازن‌ها شارژ سریع آنها است که باعث استفاده آنها در وسایل الکتریکی می‌شود.

(منبع: کتاب درسی فیزیک ۳ و آزمایشگاه)

## پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۱

**۱- چگونه توسط یک الکتروسکوپ می‌توانیم تشخیص دهیم که:**

**الف) یک میله باردار است یا نه؟** میله را به تیغه یک الکتروسکوپ خنثی نزدیک می‌کنیم. اگر ورقه‌های الکتروسکوپ از یکدیگر دور شدند، میله باردار است؛ در غیر این‌صورت میله خنثی است.

**ب) میله رساناست یا عایق؟** میله را به تیغه یک الکتروسکوپ باردار تماس می‌دهیم. اگر بار الکتروسکوپ تخلیه شد (ورقه‌ها به هم چسبیدند) میله رسانا و در غیر این‌صورت میله عایق است.

**پ) نوع بار میلهٔ باردار چیست؟** میله را به تیغه یک الکتروسکوپ باردار نزدیک می‌کنیم. اگر ورقه‌های الکتروسکوپ بیشتر از قبل از هم فاصله گرفتند بار میله موافق با بار الکتروسکوپ و اگر ورقه‌ها به هم نزدیک شدند بار میله مخالف بار الکتروسکوپ است.

**۲- یک میلهٔ پلاستیکی را با پارچهٔ پشمی مالش می‌دهیم. پس از مالش، بار الکتریکی میلهٔ پلاستیکی $+۱۲/۸\,nC$ - می‌شود.**

**الف) بار الکتریکی ایجاد شده در پارچهٔ پشمی چقدر است؟** $+۱۲/۸\,nC$

**ب) تعداد الکترون‌های منتقل شده از پارچهٔ پشمی به میلهٔ پلاستیکی را محاسبه کنید.**

$$q = ne \rightarrow n = \frac{q}{e} = \frac{۱۲/۸ \times ۱۰^{-۹}}{۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}} = ۸ \times ۱۰^{۱۰} \rightarrow n = ۸ \times ۱۰^{۱۰}$$

**۳- الف) بار الکتریکی اتم و هستهٔ اتم کربن ($_{۶}^{۱۲}C$) چند کولن است؟**

چون تعداد الکترون‌ها و پروتون‌های اتم کربن برابر است، بار الکتریکی اتم کربن صفر است.

هسته اتم کربن ۶ پروتون دارد، بنابراین بار هسته اتم کربن برابر است با:

$$q = +ne = +۶ \times ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹} = +۹/۶ \times ۱۰^{-۱۹}\,C$$

**ب) بار الکتریکی اتم کربن یک بار یونیده ($C^{+}$) چقدر است؟**

$$n = ۱ \rightarrow q = +ne = +۱ \times ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹} = +۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹}\,C$$

**۴- دو گوی رسانا، کوچک و یکسان به بارهای $q_۱ = ۴/۰\,nC$ و $q_۲ = -۶/۰\,nC$ را با هم تماس می‌دهیم و سپس تا فاصلهٔ $r = ۳۰\,cm$ از هم دور می‌کنیم. نیروی برهم‌کنش الکتریکی بین دو گوی را محاسبه کنید. این نیرو رانشی است یا ربایشی؟**

با تماس گوی‌ها بار الکتریکی بین آنها منتقل و در نهایت بار هر دو گوی یکسان می‌شود. بار الکتریکی گوی‌ها پس از تماس برابر است با:

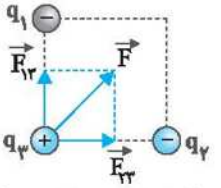
$$q = \frac{q_۱ + q_۲}{۲} = \frac{۴ - ۶}{۲} = -۱\,nC$$

$$q_۱ = q_۲ = -۱\,nC \quad ، \quad r = ۳۰\,cm = ۳ \times ۱۰^{-۱}\,m$$

$$F = k\frac{|q_۱||q_۲|}{r^۲} = ۹ \times ۱۰^{۹} \times \frac{۱ \times ۱۰^{-۹} \times ۱ \times ۱۰^{-۹}}{(۰/۳)^۲} = ۱ \times ۱۰^{-۷}\,N$$

بارها همنام هستند، بنابراین نیروی بین آنها رانشی است.

**۵- سه ذرهٔ باردار $q_۱$، $q_۲$ و $q_۳$ مطابق شکل در سه رأس مربعی به ضلع $۳\,m$ ثابت شده‌اند. اگر $q_۱ = q_۲ = -۵\,\mu C$ و $q_۳ = +۰/۲\,\mu C$ باشد، نیروی خالص وارد بر بار $q_۳$ را برحسب بردارهای یکهٔ $\vec{i}$ و $\vec{j}$ تعیین کنید.**

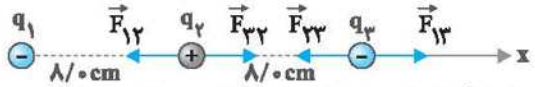



چون بارهای $q_۱$ و $q_۲$ برابر و فاصله آنها از بار $q_۳$ یکسان است؛ بنابراین $F_{۱۳} = F_{۲۳}$، در نتیجه:

$$F_{۱۳} = F_{۲۳} = k\frac{|q_۲||q_۳|}{r^۲} = ۹ \times ۱۰^{۹} \times \frac{۵ \times ۱۰^{-۶} \times ۰/۲ \times ۱۰^{-۶}}{۳^۲} = ۱ \times ۱۰^{-۳}\,N \rightarrow \begin{cases} \vec{F}_{۲۳} = (۱ \times ۱۰^{-۳}\,N)\,\vec{i} \\ \vec{F}_{۱۳} = (۱ \times ۱۰^{-۳}\,N)\,\vec{j} \end{cases}$$

$$\vec{F} = \vec{F}_{۲۳} + \vec{F}_{۱۳} = (۱ \times ۱۰^{-۳}\,N)\,\vec{i} + (۱ \times ۱۰^{-۳}\,N)\,\vec{j}$$

۶- ✪ بارهای الکتریکی نقطه‌ای $q_1 = -۴/۰ nC$ ، $q_2 = +۵/۰ nC$ و $q_3 = -۴/۰ nC$ مطابق شکل، در جای خود ثابت شده‌اند. نیروی خالص الکتریکی وارد بر هریک از بارهای $q_2$ و $q_3$ را محاسبه کنید.




چون بارهای $q_1$ و $q_3$ برابر و فاصله آنها از بار $q_2$ یکسان است، بنابراین: $F_{12} = F_{32}$ در نتیجه:

$$F_{12} = F_{32} = k\frac{|q_3||q_2|}{r_{32}^2} = ۹\times۱۰^۹ \times \frac{۴\times۱۰^{-۹}\times۵\times۱۰^{-۹}}{(۸\times۱۰^{-۲})^۲} = \frac{۴۵}{۱۶}\times۱۰^{-۵}\,N$$

$$\rightarrow \begin{cases} \vec{F}_{12} = (-\frac{۴۵}{۱۶}\times۱۰^{-۵}\,N)\,\vec{i} \\ \vec{F}_{32} = (+\frac{۴۵}{۱۶}\times۱۰^{-۵}\,N)\,\vec{i} \end{cases}$$

نیروی خالص وارد بر بار $q_2$: $\vec{F}_T = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{32} \rightarrow \vec{F}_T = ۰$

نیروی خالص وارد بر بار $q_3$ نیز به صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$F_{13} = k\frac{|q_1||q_3|}{r_{13}^2} = ۹\times۱۰^۹ \times \frac{۴\times۱۰^{-۹}\times۴\times۱۰^{-۹}}{(۱۶\times۱۰^{-۲})^۲} = \frac{۹}{۱۶}\times۱۰^{-۵}\,N \rightarrow \vec{F}_{13} = (\frac{۹}{۱۶}\times۱۰^{-۵}\,N)\,\vec{i}$$

$$F_{23} = k\frac{|q_2||q_3|}{r_{23}^2} = ۹\times۱۰^۹ \times \frac{۵\times۱۰^{-۹}\times۴\times۱۰^{-۹}}{(۸\times۱۰^{-۲})^۲} = \frac{۴۵}{۱۶}\times۱۰^{-۵}\,N \rightarrow \vec{F}_{23} = (-\frac{۴۵}{۱۶}\times۱۰^{-۵}\,N)\,\vec{i}$$

$$\vec{F}_T = \vec{F}_{13} + \vec{F}_{23} = (\frac{۹}{۱۶}\times۱۰^{-۵}\,N)\,\vec{i} + (-\frac{۴۵}{۱۶}\times۱۰^{-۵}\,N)\,\vec{i} = (-\frac{۳۶}{۱۶}\times۱۰^{-۵}\,N)\,\vec{i} \rightarrow F_T = \frac{۹}{۴}\times۱۰^{-۵}\,N$$

۷- در شکل روبه‌رو، دو گوی مشابه به جرم ۲/۵g و بار یکسان مثبت q در فاصله ۱/۰ cm از هم قرار دارند، به‌طوری که گوی بالایی به حالت معلق مانده است.

الف) اندازهٔ بار q را به‌دست آورید.

شرط معلق ماندن گوی بالایی آن است که نیروی وزن آن با نیروی دافعه الکتریکی بین گوی‌ها برابر باشد، بنابراین:

$$F_E = mg \rightarrow k\frac{|q||q|}{r^2} = mg \rightarrow \frac{kq^2}{r^2} = mg \rightarrow q^2 = \frac{mgr^2}{k}$$

$$\rightarrow q^2 = \frac{۲/۵\times۱۰^{-۳}\times۱۰\times(۱\times۱۰^{-۲})^۲}{۹\times۱۰^۹} = \frac{۲۵\times۱۰^{-۷}}{۹\times۱۰^۹} = \frac{۲۵}{۹}\times۱۰^{-۱۶} \rightarrow q = \sqrt{\frac{۲۵}{۹}\times۱۰^{-۱۶}}\,C$$

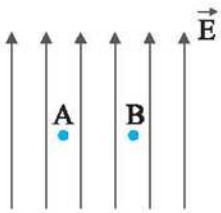
$$\rightarrow q = \frac{۵}{۳}\times۱۰^{-۸}\,C \simeq ۱/۶\times۱۰^{-۸}\,C$$

ب) تعداد الکترون‌های کنده شده از هر گوی چقدر است؟

$$q = ne \rightarrow n = \frac{q}{e} = \frac{۱/۶\times۱۰^{-۸}}{۱/۶\times۱۰^{-۱۹}} = ۱\times۱۰^{۱۱} \rightarrow n = ۱\times۱۰^{۱۱}$$ الکترون

۸- یک ذرهٔ باردار را یک بار در نقطهٔ A و بار دیگر در نقطهٔ B قرار می‌دهیم. نیرویی که از طرف میدان الکتریکی بر این ذرهٔ باردار در این دو نقطه وارد می‌شود را مقایسه کنید.

چون بار الکتریکی (q) و میدان الکتریکی (E) در نقاط A و B یکسان است طبق رابطه $F = |q|E$ نیروی وارد بر ذرهٔ باردار در این نقاط نیز برابر است.



۹- هستهٔ آهن شعاعی در حدود $۴/۰\times۱۰^{-۱۵}\,m$ دارد و تعداد پروتون‌های آن ۲۶ عدد است.

الف) بزرگی نیروی دافعهٔ بین دو پروتون این هسته که به فاصلهٔ $۴/۰\times۱۰^{-۱۵}\,m$ از هم قرار دارند چقدر است؟

$$q = e = ۱/۶\times۱۰^{-۱۹}\,C \quad ، \quad r = ۴\times۱۰^{-۱۵}\,m$$

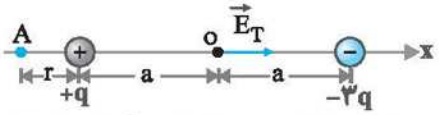
$$F = k\frac{|q_۱||q_۲|}{r^۲} = ۹\times۱۰^۹\times\frac{۱/۶\times۱۰^{-۱۹}\times۱/۶\times۱۰^{-۱۹}}{(۴\times۱۰^{-۱۵})^۲} \rightarrow F = ۱/۴۴\times۱۰^{۱}\,N \rightarrow F = ۱۴/۴\,N$$

ب) اندازهٔ میدان الکتریکی ناشی از هسته در فاصلهٔ $۱/۰\times۱۰^{-۱۰}\,m$ از مرکز هسته چقدر است؟

بار هسته: $q = ne = ۲۶\times۱/۶\times۱۰^{-۱۹} = ۴۱/۶\times۱۰^{-۱۹}\,C$

$$E = k\frac{|q|}{r^۲} = ۹\times۱۰^۹\times\frac{۴۱/۶\times۱۰^{-۱۹}}{(۱\times۱۰^{-۱۰})^۲} = ۳۷۴/۴\times۱۰^{۱۰}\frac{N}{C} \rightarrow E = ۳/۷۴۴\times۱۰^{۱۲}\frac{N}{C}$$

۱۰- ✪ شکل زیر، دو ذرّهٔ 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؟

برای دو بار ناهمنام، میدان الکتریکی روی خط واصل دو بار در نقطه‌ای خارج از محدوده دو بار و نزدیک بار کوچک‌تر صفر است. (نقطه A)

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

$$E_+ = k\frac{|q|}{r^۲} = \frac{kq}{a^۲} \rightarrow \vec{E}_+ = (\frac{kq}{a^۲})\,\vec{i}$$

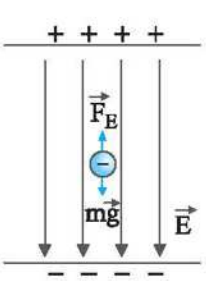
$$E_- = k\frac{|q|}{r^۲} = \frac{k(۳q)}{a^۲} = ۳\frac{kq}{a^۲} \rightarrow \vec{E}_- = (\frac{۳kq}{a^۲})\,\vec{i}$$

$$\vec{E}_T = \vec{E}_+ + \vec{E}_- \rightarrow \vec{E}_T = (\frac{۴kq}{a^۲})\,\vec{i} \rightarrow E_T = (\frac{۴kq}{a^۲})$$

۱۱- در یک میدان الکتریکی یکنواخت به بزرگی $۵/۰\times۱۰^۵\,N/C$ که جهت آن قائم و روبه پایین است، ذرّهٔ بارداری به جرم ۲/۰g معلّق و به حال سکون قرار دارد. اگر $g = ۱۰\,N/kg$ باشد، اندازه و نوع بار الکتریکی ذرّه را مشخص کنید.

برای معلق بودن ذرّه باید نیروی الکتریکی وارد بر آن رو به بالا باشد تا وزن ذرّه را خنثی کند چون به بار منفی نیرو در خلاف جهت میدان وارد می‌شود، بنابراین بار ذرّه منفی است.

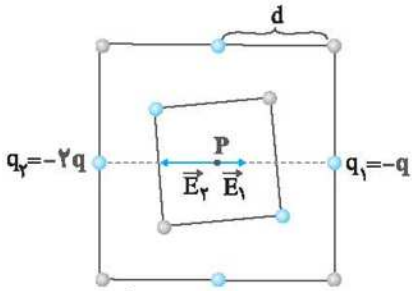
اندازه بار ذرّه نیز به صورت زیر به‌دست می‌آید:




$$F_E = mg \rightarrow E|q| = mg \rightarrow |q| = \frac{mg}{E} = \frac{۲\times۱۰^{-۳}\times۱۰}{۵\times۱۰^۵} = ۴\times۱۰^{-۸}\,C$$

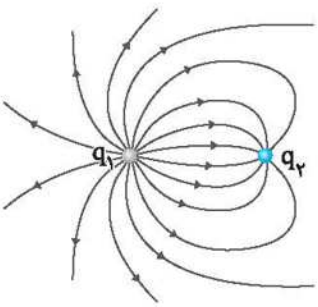
**۱۲- شکل زیر دو آرایهٔ مربعی از ذرات باردار را نشان می‌دهد. مربع‌ها که در نقطهٔ P هم مرکزند، همردیف نیستند. ذره‌ها روی محیط مربع به فاصلهٔ d یا d / ۲ از هم قرار گرفته‌اند. بزرگی و جهت میدان الکتریکی برایند در نقطهٔ P چیست؟**

به دلیل تقارن بارها نسبت به نقطه P، میدان برایند کلیه بارها به جز بارهای $-q$ و $-۲q$ در نقطه P صفر است، بنابراین برای محاسبه بزرگی و جهت میدان برایند کافی است میدان برایند ناشی از بارهای $-q$ و $-۲q$ را در نقطه P به‌دست آوریم.




$$E_۱ = k\frac{|-q|}{d^۲} = \frac{kq}{d^۲} \rightarrow \vec{E}_۱ = (\frac{kq}{d^۲})\,\vec{i}$$
$$E_۲ = k\frac{|-۲q|}{d^۲} = \frac{۲kq}{d^۲} \rightarrow \vec{E}_۲ = (-\frac{۲kq}{d^۲})\,\vec{i}$$
$$\rightarrow \vec{E}_T = \vec{E}_۱ + \vec{E}_۲ \rightarrow \vec{E}_T = (-\frac{kq}{d^۲})\,\vec{i}$$

**۱۳- خطوط میدان الکتریکی برای دو کرهٔ رسانای باردارکوچک در شکل روبه‌رو نشان داده شده است. نوع بار هر کره را تعیین کرده و اندازهٔ آنها را مقایسه کنید.**

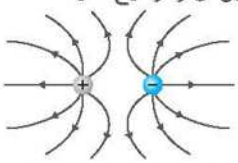



جهت خطوط میدان الکتریکی به‌گونه‌ای است که از بار مثبت خارج و به بار منفی داخل می‌شود، بنابراین $q_۱$ مثبت و $q_۲$ منفی است.

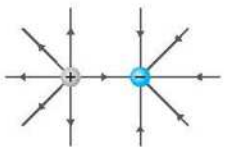
چون در نزدیکی بار $q_۱$ خطوط میدان متراکم‌تر هستند، بنابراین اندازه بار $q_۱$ بزرگ‌تر از بار $q_۲$ است.

**۱۴- در شکل‌های زیر، اندازهٔ دو بار، یکسان ولی علامت آنها مخالف هم است. کدام آرایش‌های خطوط میدان نادرست است؟ دلیل آن را توضیح دهید.**

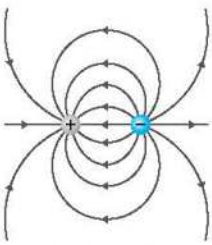
الف)



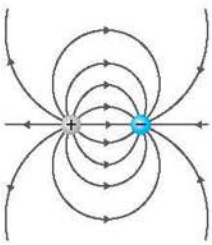
ب)



پ)



ت)



الف) نادرست، زیرا جهت خطوط میدان بار منفی به سمت خارج از بار رسم شده است.

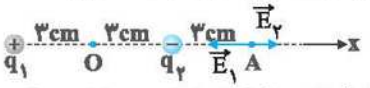
ب) نادرست، زیرا در فضای بین دو بار ناهمنام نقاطی وجود دارد که میدان الکتریکی در آنجا صفر است.

پ) نادرست، زیرا جهت خطوط میدان از بار منفی به بار مثبت رسم شده است.

ت) درست

**۱۵- ✪ دو بار الکتریکی نقطه‌ای غیرهمنام $q_1 = +1/0\ nC$ و $q_2 = -1/0\ nC$ مطابق شکل زیر به فاصله $6/0\ cm$ از یکدیگر قرار دارند.**

**الف) جهت و اندازهٔ میدان الکتریکی را در نقطه‌های O و A به‌دست آورید.**




چون بارهای $q_1$ و $q_2$ هم‌اندازه و فاصله آنها از نقطهٔ O یکسان است، بنابراین $E_1 = E_2$ در نتیجه:

$$E_1 = E_2 = k\frac{|q|}{r^2} = 9\times10^9 \times \frac{1\times10^{-9}}{(3\times10^{-2})^2} = 1\times10^4\ \frac{N}{C} \rightarrow \begin{cases} \vec{E}_1 = (1\times10^4\ \frac{N}{C})\,\vec{i} \\ \vec{E}_2 = (1\times10^4\ \frac{N}{C})\,\vec{i} \end{cases} \rightarrow \vec{E}_O = (2\times10^4\ \frac{N}{C})\,i$$

$$\rightarrow E_O = 2\times10^4\ \frac{N}{C}$$

میدان الکتریکی در نقطه A نیز به صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$E_1 = k\frac{|q_1|}{r_1^2} = 9\times10^9 \times \frac{1\times10^{-9}}{(9\times10^{-2})^2} = \frac{1}{9}\times10^4\ \frac{N}{C} \rightarrow \vec{E}_1 = (\frac{1}{9}\times10^4\ \frac{N}{C})\,\vec{i}$$

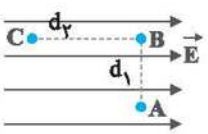
$$E_2 = k\frac{|q_2|}{r_2^2} = 9\times10^9 \times \frac{1\times10^{-9}}{(3\times10^{-2})^2} = 1\times10^4\ \frac{N}{C} \rightarrow \vec{E}_2 = (-1\times10^4\ \frac{N}{C})\,\vec{i}$$

$$\vec{E}_A = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 \rightarrow \vec{E}_A = (-\frac{8}{9}\times10^4\ \frac{N}{C})\,\vec{i} \rightarrow E_A = \frac{8}{9}\times10^4\ \frac{N}{C}$$

**ب) آیا بر روی محور، نقطه‌ای وجود دارد که میدان خالص در آن صفر شود؟**

چون بارها ناهمنام و اندازه آنها برابر است نقطه‌ای که میدان خالص صفر شود وجود ندارد.

**۱۶- ✪ مطابق شکل زیر، بار $q = +50\ nC$ را در میدان الکتریکی یکنواخت $8/0\times10^5\ N/C$ نخست از نقطهٔ A تا نقطهٔ B و سپس تا نقطهٔ C جابه‌جا می‌کنیم. اگر $AB = 0/20\ m$ و $BC = 0/40\ m$ باشد، مطلوب است:**




**الف) نیروی الکتریکی وارد بر بار q،**

$$F = |q|\,E = 50\times10^{-9}\times8\times10^5 = 4\times10^{-2}\,N \rightarrow F = 4\times10^{-2}\,N$$

**ب) کاری که نیروی الکتریکی در این جابه‌جایی انجام می‌دهد،**

کار نیروی الکتریکی در جابه‌جایی از A تا B برابر است با:

$$W_{E1} = |q|\,Ed_1\cos\theta_1 = 50\times10^{-9}\times8\times10^5\times0/2\times\cancel{\cos90^\circ} = 0$$

کار نیروی الکتریکی در جابه‌جایی از B تا C برابر است با:

$$W_{E2} = |q|\,Ed_2\cos\theta_2 = 50\times10^{-9}\times8\times10^5\times0/4\times\underset{(-1)}{\cancel{\cos180^\circ}} = -1/6\times10^{-2}\,J$$

$$W_E = W_{E1} + W_{E2} \rightarrow W_E = -1/6\times10^{-2}\,J$$

**پ) تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی بار q در این جابه‌جایی.**

$$\Delta U_E = -W_E \rightarrow \Delta U_E = +1/6\times10^{-2}\,J$$