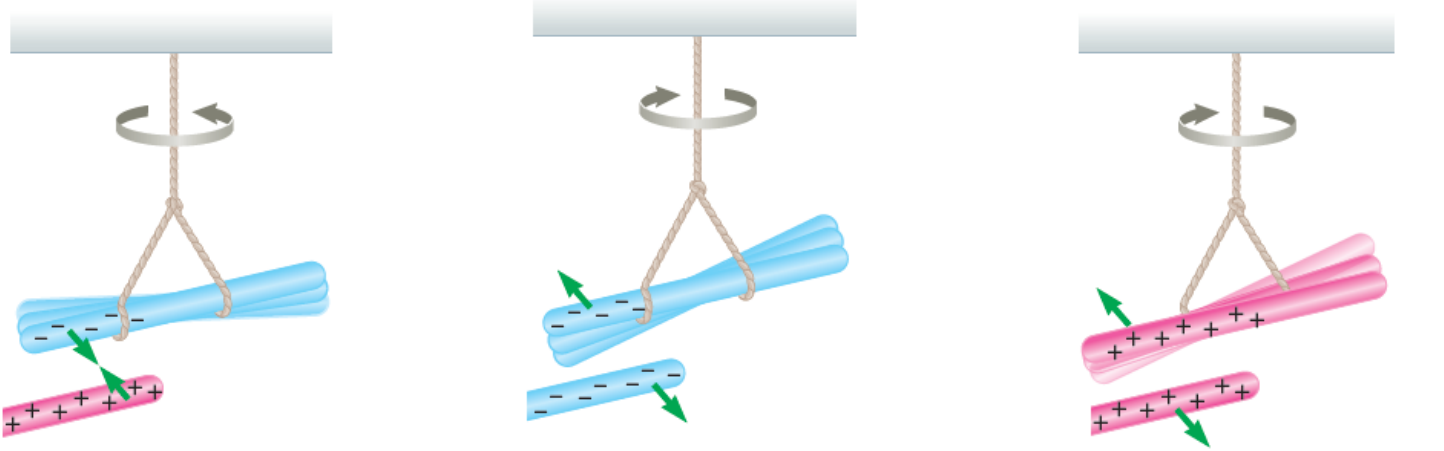
۱ـ۱ بار الکتریکی

آزمایش نشان می دهد که دو نوع بار الکتریکی وجود دارد و بارهای هم نام یکدیگر را دفع و بارهای غیرهم نام یکدیگر را جذب می کنند.



الف) وقتی دو میلهٔ شیشه‌ای را با پارچهٔ ابریشمی مالش دهیم، همدیگر را دفع می‌کنند.

ب) وقتی دو میلهٔ پلاستیکی را با پارچهٔ پشمی مالش دهیم، همدیگر را دفع می‌کنند.

پ) وقتی میلهٔ پلاستیکی مالش داده شده با پارچهٔ پشمی را به میلهٔ شیشه‌ای مالش داده شده با پارچهٔ ابریشمی نزدیک کنیم، همدیگر را جذب می‌کنند.

شکل ۱ـ۴

یکای بار الکتریکی در SI، کولُن (C) است. توجه کنید یک کولُن مقدار بار بزرگی است. مثلاً در یک آذرخش نوعی، باری از مرتبهٔ $10\,C$ به زمین منتقل می‌شود و از این رو، در این فصل غالباً با بارهایی از مرتبهٔ میکروکولن (μC) و نانو کولن (nC) سروکار داریم. به عنوان مثال، در مالش شانهٔ پلاستیکی با موهای سر، بارهای منتقل شده از مرتبهٔ نانوکولن (nC) است.

پرسش ۱ـ۱

چرا وقتی روکش پلاستیکی را روی یک ظرف غذا می‌کشید و آن را در لبه‌های ظرف فشار می‌دهید، روکش در جای خود ثابت باقی می‌ماند؟

۱ــ۲ پایستگی و کوانتیده بودن بار الکتریکی

در مورد بارهای الکتریکی دو اصل وجود دارد. نخستین آنها **اصل پایستگی بار** است که بیان می‌دارد : مجموع جبری همهٔ بارهای الکتریکی در یک دستگاه منزوی[۲] ثابت است؛ یعنی بار می‌تواند از جسمی به جسم دیگر منتقل شود، ولی هرگز امکان تولید یا نابودی یک بار خالص وجود ندارد. تاکنون هیچ آزمایشی این اصل را نقض نکرده است.

دومین اصل، **کوانتیده بودن بار** است. در تجربه‌هایی مانند مالش اجسام به یکدیگر اگر جسم خنثی الکترون به دست آورد یا از دست بدهد، همواره بار الکتریکی مشاهده‌شدهٔ جسم، مضرب درستی از بار بنیادی e است :

$$q = \pm ne \quad ، \quad n = ۰,۱,۲,\ldots \qquad (۱ــ۱)$$

مثال ۱ــ۱

وقتی روی فرش راه می‌روید و بدنتان بار الکتریکی پیدا می‌کند، هنگام دست دادن با دوستتان، ممکن است با انتقال باری در حدود ۱nC به او شوک خفیفی وارد کنید. در این انتقال بار، حدود چند الکترون بین شما و دوستتان منتقل شده است؟

پاسخ : از رابطه ۱ــ۱ داریم :

$$q = ne$$

$$n = \frac{q}{e} = \frac{۱\times۱۰^{-۹}\,\mathrm{C}}{۱/۶۰\times۱۰^{-۱۹}\,\mathrm{C}} = ۶\times۱۰^{۹} \text{ الکترون}$$

تمرین ۱ــ۱

عدد اتمی اورانیوم $Z = ۹۲$ است. بار الکتریکی هستهٔ اتم اورانیم چقدر است؟ مجموع بار الکتریکی الکترون‌های اتم اورانیم (خنثی) چه مقدار است؟ بار الکتریکی اتم اورانیم (خنثی) چقدر است؟

۱ چگونه توسط یک الکتروسکوپ می‌توانیم تشخیص دهیم که :

الف) یک میله باردار است یا نه؟

ب) میله رساناست یا عایق؟

پ) نوع بار میلهٔ باردار چیست؟

۲ یک میلهٔ پلاستیکی را با پارچهٔ پشمی مالش می‌دهیم. پس از مالش، بار الکتریکی میلهٔ پلاستیکی $-۱۲/۸nC$ می‌شود.
الف) بار الکتریکی ایجاد شده در پارچهٔ پشمی چقدر است؟
ب) تعداد الکترون‌های منتقل‌شده از پارچهٔ پشمی به میلهٔ پلاستیکی را محاسبه کنید.

۳ الف) بار الکتریکی اتم و هستهٔ اتم کربن ($_{۶}^{۱۲}C$) چند کولن است؟
ب) بار الکتریکی اتم کربن یک بار یونیده (C^{+}) چقدر است؟

اجسام A، B و C را دوبه‌دو به یکدیگر نزدیک می‌کنیم. وقتی A و B به یکدیگر نزدیک شوند، همدیگر را با نیروی الکتریکی جذب می‌کنند و اگر B و C را به یکدیگر نزدیک کنیم، یکدیگر را با نیروی الکتریکی دفع می‌کنند. کدام‌یک از گزینه‌های زیر می‌تواند درست باشد؟ (سراسری تجربی خارج از کشور- ۹۰)

۱) A و C بار هم‌نام و هم‌اندازه دارند.
۲) B و C بار ناهم‌نام دارند.
۳) B بدون بار و C باردار است.
۴) A بدون بار و B باردار است.

چند الکترون باید از یک سکهٔ خنثی خارج شود، تا بار الکتریکی آن $+۱\mu C$ شود؟ $(e = ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹} C)$ (سراسری ریاضی- ۹۵)

۱) $۱/۶ \times ۱۰^{۶}$
۲) $۱/۶ \times ۱۰^{۱۲}$
۳) $۶/۲۵ \times ۱۰^{۶}$
۴) $۶/۲۵ \times ۱۰^{۱۲}$

شکل مقابل، جدول مربوط به سری تریبوالکتریک است. میله‌ای از جنس مادهٔ F را با پارچه‌ای از جنس مادهٔ C مالش می‌دهیم. سپس F را به کلاهک یک الکتروسکوپ باردار نزدیک می‌کنیم. مشاهده می‌شود که برگه‌های الکتروسکوپ نسبت به قبل دورتر می‌شوند. بار اولیهٔ الکتروسکوپ و نوع بار میلهٔ F به ترتیب از راست به چپ کدام است؟

انتهای مثبت سری
A
B
C
⋮
F
G
H
انتهای منفی سری

۱) مثبت، مثبت
۲) مثبت، منفی
۳) منفی، مثبت
۴) منفی، منفی

۱ــ ۳ قانون کولُن

قانون کولن بیان می‌دارد :

اندازهٔ نیروی الکتریکی (الکتروستاتیکی) بین دو بار نقطه‌ای[۱] که در راستای خط واصل آنها اثر می‌کند، با حاصل‌ضرب بزرگی آنها متناسب است و با مربع فاصلهٔ بین آنها نسبت وارون دارد. بنابراین، اندازهٔ این نیرو برابر است با

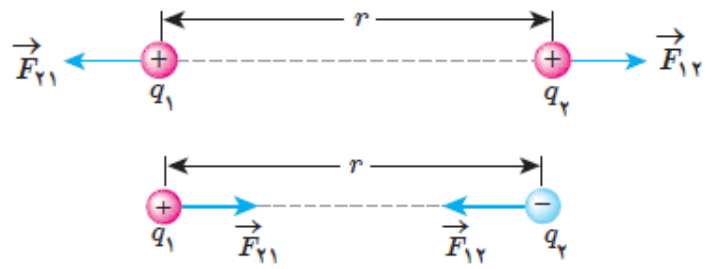
$$F = k\frac{|q_1||q_2|}{r^2} \qquad (۱ــ۲)$$

که در آن q_1 و q_2 بارهای الکتریکی دو بار نقطه‌ای برحسب کولن (C)، r فاصلهٔ بین دو بار برحسب متر (m) ، و F بزرگی نیروی الکتریکی وارد بر هر بار برحسب نیوتون (N) است. در این رابطه k ثابت الکتروستاتیکی یا ثابت کولن نام دارد و برابر است با[۲]

$$k = ۸/۹۸۷۵۵۱۷۹ \times ۱۰^۹ \text{N.m}^2/\text{C}^2 \approx ۹/۰ \times ۱۰^۹ \text{N.m}^2/\text{C}^2$$

در شکل ۱ــ۸، $\vec{F}_{12}$ نیرویی است که بار نقطه‌ای q_1 به بار نقطه‌ای q_2 وارد می‌کند و $\vec{F}_{21}$ نیرویی است که بار نقطه‌ای q_2 به بار نقطه‌ای q_1 وارد می‌کند. این دو نیروی الکتریکی (بنا به قانون سوم نیوتون) هم‌اندازه، هم‌راستا، و در خلاف جهت همدیگرند. به عبارتی :

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

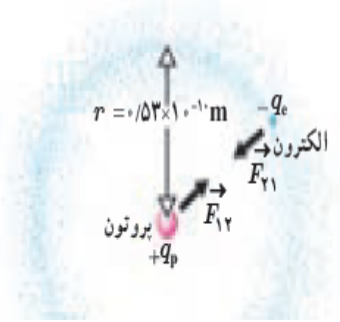


الف) نیروی الکتریکی بین دو بار الکتریکی همنام، دافعه است.

ب) نیروی الکتریکی بین دو بار الکتریکی ناهمنام، جاذبه است.

شکل ۱ــ۸

مثال ۱ــ۲



الف) در مدل بور برای اتم هیدروژن، فاصله الکترون از پروتون هسته در حالت پایه $۵/۳ \times ۱۰^{-۱۱}$ m است (شکل را ببینید). اندازهٔ نیروی الکتریکی که پروتون به الکترون وارد می‌کند را محاسبه کنید.

ب) در هستهٔ اتم هلیم دو پروتون به فاصلهٔ تقریبی $r = ۲/۴ \times ۱۰^{-۱۵}$ m از هم قرار دارند. اندازهٔ نیرویی که پروتون‌ها بر هم وارد می‌کنند را محاسبه کنید.

پاسخ :

الف) با استفاده از قانون کولن برای بزرگی نیروی الکتریکی بین دو ذرّهٔ باردار داریم :

$$F = k\frac{|q_1||q_2|}{r^2} = k\frac{|q_e||q_p|}{r^2} = (9/0\times10^9\,\mathrm{N.m^2/C^2})\frac{(1/60\times10^{-19}\,\mathrm{C})^2}{(5/3\times10^{-11}\,\mathrm{m})^2} = 8/2\times10^{-8}\,\mathrm{N}$$

ب) با استفاده از قانون کولن داریم :

$$F = k\frac{|q_p||q_p|}{r^2} = (9/0\times10^9\,\mathrm{N.m^2/C^2})\frac{(1/60\times10^{-19}\,\mathrm{C})^2}{(2/4\times10^{-15}\,\mathrm{m})^2} = 40\,\mathrm{N}$$

که این به مراتب بزرگ‌تر از نیروی محاسبه‌شده در قسمت الف است. این نیروی بزرگ، از جنس دافعه است. بنابراین، هسته اتم باید فرو بپاشد. از اینجا نتیجه می‌گیریم که باید نیروی دیگری وجود داشته باشد که مانع فروپاشی هسته شود. به این نیرو، نیروی هسته‌ای گفته می‌شود.

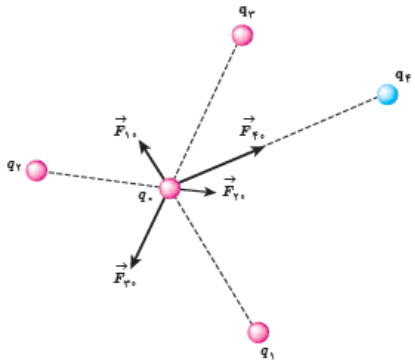
برهم‌نهی نیروهای الکتروستاتیکی : اگر به جای دو ذرّهٔ باردار، تعدادی بار نقطه‌ای داشته باشیم، نیروی الکتریکی وارد بر هر ذرّهٔ باردار چگونه تعیین می‌شود؟ تجربه نشان می‌دهد که در این وضعیت، نیروی الکتریکی وارد بر هر ذرّه، برایند نیروهایی است که هر یک از ذرّه‌های دیگر در غیاب سایر ذرّه‌ها، بر آن ذرّه وارد می‌کند. این موضوع که از آزمایش نتیجه شده است را **اصل برهم‌نهی** نیروهای الکتروستاتیکی می‌گویند.

فرض کنید n ذرّهٔ باردار داشته باشیم که در نزدیکی بار نقطه‌ای q_0 قرار دارند. آن‌گاه نیروی خالص (برایند) وارد بر بار نقطه‌ای q_0 با جمع برداری زیر داده می‌شود :

$$\vec{F}_{T_0} = \vec{F}_{10} + \vec{F}_{20} + \cdots + \vec{F}_{n0}$$

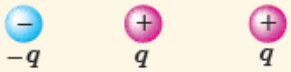
شکل ۱ــ ۹ نیروی وارد بر بار q_0 از سوی چهار بار دیگر را نشان می‌دهد.

در این کتاب، مثال‌هایی را بررسی می‌کنیم که در آنها نیروهای الکتریکی وارد بر یک ذرّهٔ باردار در یک راستا قرار دارند یا عمود بر یکدیگرند [1].



شکل ۱ــ ۹ نیروی برایند وارد بر بار q_0 در اینجا برابر است با $\vec{F}_{T0} = \vec{F}_{10} + \vec{F}_{20} + \vec{F}_{30} + \vec{F}_{40}$

پرسش ۱ــ۲

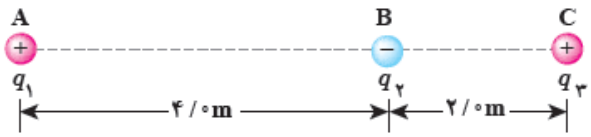


سه ذرّه باردار مانند شکل روبه‌رو، روی یک خط راست قرار دارند و فاصلهٔ بارهای سمت راست و چپ از بار میانی برابر است. الف) جهت نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار الکتریکی میانی را تعیین کنید.

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

مثال ۱ــ۳

سه ذرّه با بارهای $q_1=+۲/۵\mu C$، $q_2=-۱/۰\mu C$ و $q_3=+۴/۰\mu C$ در نقطه‌های A، B و C مطابق شکل روبه‌رو ثابت شده‌اند. نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار q_3 را محاسبه کنید.



پاسخ : نیروی الکتریکی خالصی که بر بار q_3 وارد می‌شود، برایند دو نیرویی است که از طرف بارهای q_1 و q_2 بر آن وارد می‌شوند. برای محاسبهٔ این نیرو، نیرویی را که هر یک از بارهای q_1 و q_2 در نبود دیگری، بر بار q_3 وارد می‌کند، محاسبه می‌کنیم. نیروی الکتریکی وارد بر q_3، برایند این دو نیرو است.

فاصلهٔ بین بارهای q_1 و q_3 را با r_{13} و فاصلهٔ بین بارهای q_2 و q_3 را با r_{23} نشان می‌دهیم. با استفاده از رابطهٔ ۱ــ ۲ داریم :

$$F_{13} = k\frac{|q_1||q_3|}{r_{13}^2} = (9/0\times10^9\ \mathrm{N.m^2/C^2})\ \frac{(2/5\times10^{-6}\ \mathrm{C})(4/0\times10^{-6}\ \mathrm{C})}{(6/0\ \mathrm{m})^2}$$

$$= 2/5\times10^{-3}\ \mathrm{N}$$

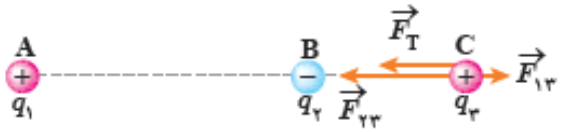
$$F_{23} = k\frac{|q_2||q_3|}{r_{23}^2} = (9/0\times10^9\ \mathrm{N.m^2/C^2})\ \frac{(1/0\times10^{-6}\ \mathrm{C})(4/0\times10^{-6}\ \mathrm{C})}{(2/0\ \mathrm{m})^2}$$

$$= 9/0\times10^{-3}\ \mathrm{N}$$

نیرویی که بار q_1 بر بار q_3 وارد می‌کند، دافعه و نیرویی که بار q_2 بر بار q_3 وارد می‌کند جاذبه است.

مطابق شکل، نیروهای $\vec{F}_{13}$ و $\vec{F}_{23}$ در جهت‌های مخالف یکدیگرند و برایند آنها برابر است با

$$\vec{F}_T = \vec{F}_{23} + \vec{F}_{13}$$



بنابراین، اندازهٔ نیروی برایند برابر با تفاضل اندازهٔ آنهاست :

$$F_T = F_{23} - F_{13} = 6/5\times10^{-3}\ \mathrm{N}$$

و جهت آن در جهت نیروی بزرگ‌تر ($\vec{F}_{23}$)، یعنی از سمت راست به طرف چپ، است. اگر محور x را روی خط واصل سه بار و جهت مثبت آن را به سمت راست درنظر بگیریم و بردار یکهٔ محور x را، $\vec{i}$ بنامیم، داریم :

$$\vec{F}_T = (-6/5\times10^{-3}\ \mathrm{N})\,\vec{i}$$

تمرین ۱ــ ۲

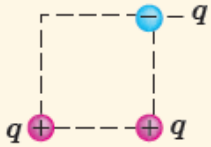
در مثال ۱ــ ۳، نیروی خالص وارد بر بار q_2 را به‌دست آورید.

پرسش ۱ــ۳

سه ذرّهٔ باردار مطابق شکل روبه‌رو، در سه گوشهٔ یک مربع قرار دارند.

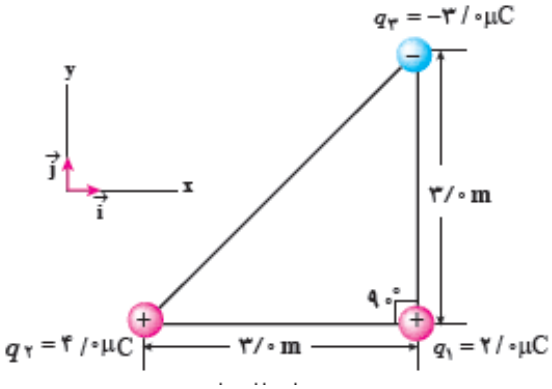
الف) جهت نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار سمت راست پایینی را تعیین کنید.

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



مثال ۱ــ۴

سه ذرّهٔ باردار مطابق شکل روبه‌رو در سه رأس مثلث قائم‌الزاویه‌ای ثابت شده‌اند. نیروی الکتریکی خالص وارد بر ذرّهٔ واقع در رأس قائمه را به‌دست آورده و اندازهٔ این نیرو را محاسبه کنید.



پاسخ : نیروی الکتریکی بین بارهای q_1 و q_2 دافعه و نیروی بین بارهای q_1 و q_2، جاذبه است. با استفاده از رابطهٔ ۱ــ ۲ داریم :

$$F_{21} = k\frac{|q_2||q_1|}{r_{21}^2} = (9/0\times10^9\,\mathrm{N.m^2/C^2})\frac{(4/0\times10^{-6}\,\mathrm{C})(2/0\times10^{-6}\,\mathrm{C})}{(3/0\,\mathrm{m})^2} = 8/0\times10^{-3}\,\mathrm{N}$$

با توجه به دستگاه مختصات داده شده، $\vec{F}_{21}$ در جهت مثبت محور x است. بنابراین، $\vec{F}_{21} = (8/0\times10^{-3}\,\mathrm{N})\,\vec{i}$ می‌شود.

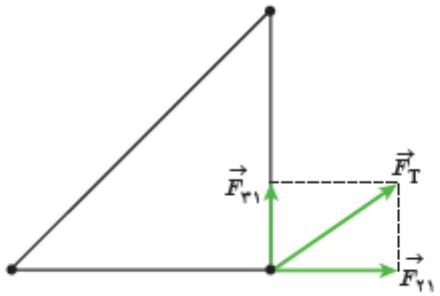
به همین ترتیب، برای نیروی بین بارهای q_3 و q_1 داریم :

$$F_{31} = k\frac{|q_3||q_1|}{r_{31}^2} = (9/0\times10^9\,\mathrm{N.m^2/C^2})\frac{(3/0\times10^{-6}\,\mathrm{C})(2/0\times10^{-6}\,\mathrm{C})}{(3/0\,\mathrm{m})^2} = 6/0\times10^{-3}\,\mathrm{N}$$

با توجه به دستگاه مختصات داده شده، $\vec{F}_{31}$ در جهت مثبت محور y است. بنابراین، $\vec{F}_{31} = (6/0\times10^{-3}\,\mathrm{N})\,\vec{j}$ می‌شود.

پس برایند نیروهای الکتریکی وارد بر بار q_1 برابر است با

$$\vec{F}_T = \vec{F}_{21} + \vec{F}_{31} = (8/0\times10^{-3}\,\mathrm{N})\,\vec{i} + (6/0\times10^{-3}\,\mathrm{N})\,\vec{j}$$



و بزرگی آن با استفاده از رابطهٔ فیثاغورس، چنین به‌دست می‌آید :

$$F_T = \sqrt{F_{21}^2 + F_{31}^2} = \sqrt{(8/0\times10^{-3}\,\mathrm{N})^2 + (6/0\times10^{-3}\,\mathrm{N})^2} = 1/0\times10^{-2}\,\mathrm{N}$$

تمرین ۱ــ ۳

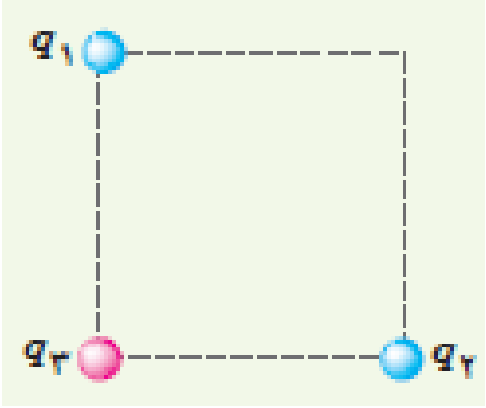
در مثال ۱ــ ۴ الف) اگر علامت بار q_2 تغییر کند جهت نیروی برایند وارد بر بار q_1 چگونه خواهد شد؟

ب) اگر علامت بار q_2 تغییر کند، جهت نیروی برایند وارد بر بار q_1 چگونه خواهد شد؟

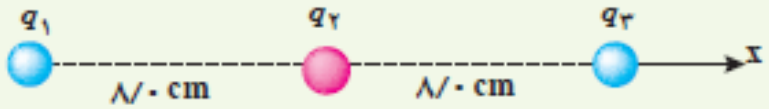
پ) آیا اندازهٔ نیروی برایند وارد بر بار q_1 در قسمت‌های الف و ب با مقدار به دست آمده در مثال ۱ــ ۴ متفاوت است؟

۴ دو گوی رسانا، کوچک و یکسان به بارهای $q_1 = ۴/۰\,nC$ و $q_2 = -۶/۰\,nC$ 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؟

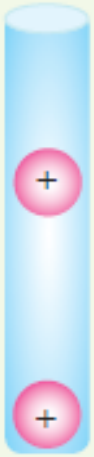
۵ سه ذرّهٔ باردار q_1، q_2 و q_3 مطابق شکل در سه رأس مربعی به ضلع ۳m ثابت شده‌اند. اگر $q_1 = q_2 = -۵\mu C$ و $q_3 = +۰/۲\,\mu C$ باشد، نیروی خالص الکتریکی وارد بر بار q_3 را برحسب بردارهای یکهٔ $\vec{i}$ و $\vec{j}$ تعیین کنید.



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



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



الف) اندازهٔ بار q را به‌دست آورید.

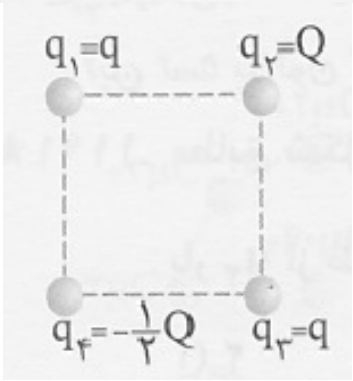
ب) تعداد الکترون‌های کنده‌شده از هر گوی چقدر است؟

دو گلولهٔ فلزی کوچک و مشابه که دارای بار الکتریکی می‌باشند، از فاصلهٔ ۳۰ سانتی‌متری، نیروی جاذبهٔ ۴ نیوتون بر یکدیگر وارد می‌کنند. اگر این دو گلوله را به هم تماس دهیم، بار الکتریکی هر کدام $+3\mu C$ خواهد شد. بار اولیهٔ گلوله‌ها بر حسب میکروکولن کدام است؟ $\left(k=9\times10^{9}\,N.m^{2}/C^{2}\right)$ (سراسری ریاضی- ۹۴)

۱) ۱۲ ، ۶- ۲) ۱۰ ، ۴- ۳) ۹ ، ۳- ۴) ۸ ، ۲-

چهار ذرهٔ باردار در رأس‌های یک مربع قرار دارند. برایند نیروهای الکتریکی وارد بر ذرهٔ باردار q_2 صفر است. $\frac{Q}{q}$ کدام است؟ (سراسری ریاضی- ۹۶)

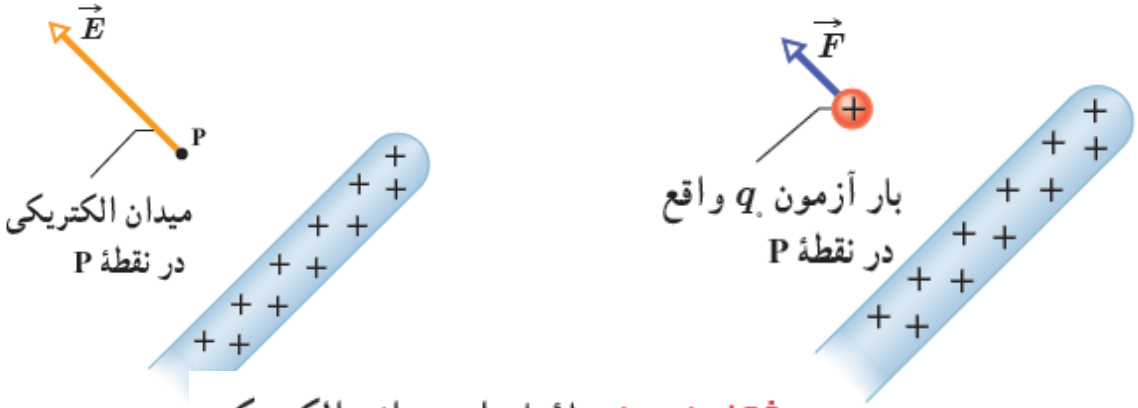
۱) $2\sqrt{2}$ ۲) $4\sqrt{2}$ ۳) $-2\sqrt{2}$ ۴) $-4\sqrt{2}$



۱ــ۴ میدان الکتریکی

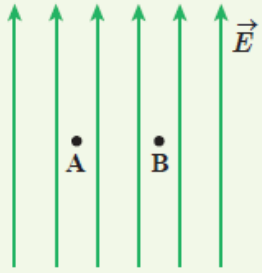
میدان الکتریکی در هر نقطه از فضای اطراف یک جسم باردار الکتریکی به صورت زیر تعیین می‌شود : نخست بار کوچک و مثبت q_0 موسوم به بار آزمون[1] را در آن نقطه قرار می‌دهیم و سپس نیروی الکتریکی $\vec{F}$ وارد بر آن را اندازه می‌گیریم. آن‌گاه میدان الکتریکی $\vec{E}$ ناشی از جسم باردار در آن نقطه به‌صورت زیر تعریف می‌شود :

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \qquad (۱ــ۳)$$



شکل ۱ــ ۱۰ میلهٔ باردار میدانی الکتریکی ایجاد می‌کند و به وسیلهٔ این میدان بر بار آزمون نیرو وارد می‌کند.

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



۱ــ۵ میدان الکتریکی حاصل از یک ذرهٔ باردار

می‌خواهیم میدان الکتریکی ناشی از ذرّه‌ای با بار q را در نقطهٔ A که به فاصلهٔ r از بار q قرار دارد (شکل ۱ــ ۱۱)، محاسبه کنیم. برای این محاسبه از رابطهٔ ۱ــ ۳ استفاده می‌کنیم. اگر بار آزمون q_0 در نقطهٔ A قرار گیرد، بار q به آن نیروی $\vec{F}$ وارد می‌کند. با استفاده از قانون کولن، بزرگی نیروی $\vec{F}$ را محاسبه می‌کنیم و با جای‌گذاری در رابطهٔ $E = F/q_0$، بزرگی میدان الکتریکی بار q را در نقطهٔ A به‌دست می‌آوریم :

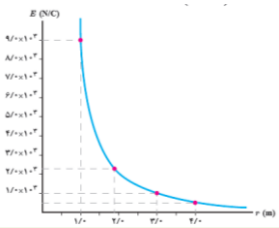
$$E = \frac{F}{q_0} \qquad \text{و} \qquad F = k\frac{|q|q_0}{r^2}$$

در نتیجه :

$$E = k\frac{|q|}{r^2} \qquad (۱ــ۴)$$

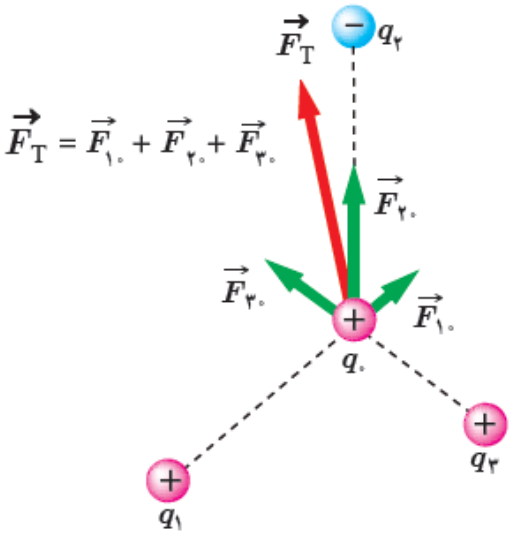
رابطهٔ ۱ــ ۴ عامل‌های مؤثر بر بزرگی میدان الکتریکی حاصل از ذرّه‌ای با بار q را مشخص می‌کند. طبق این رابطه، میدان با اندازهٔ بار q، نسبت مستقیم و با مربع فاصله از آن، نسبت وارون دارد. همان‌طور که پیش‌تر دیدیم جهت بردار میدان الکتریکی $\vec{E}$ در نقطهٔ A، همان جهت نیروی وارد بر بار آزمونی است که به‌طور فرضی در نقطهٔ A می‌گذاریم.

شکل ۱ــ ۱۱ می‌خواهیم میدان حاصل از ذرّهٔ باردار q را در نقطهٔ A محاسبه کنیم.



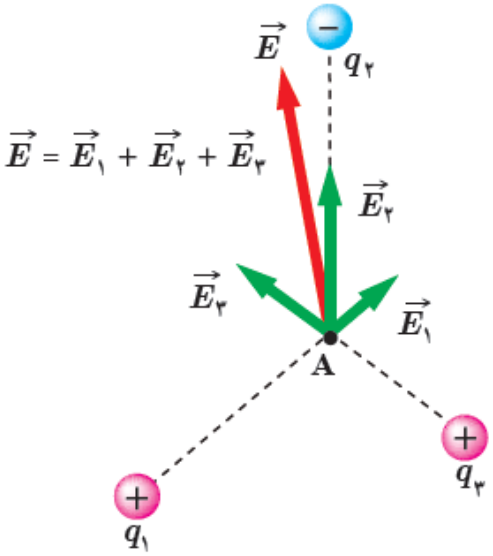
۹ هستهٔ اتم آهن شعاعی در حدود $۴/۰\times۱۰^{-۱۵}\,m$ دارد و تعداد پروتون‌های آن ۲۶ عدد است. الف) بزرگی نیروی دافعهٔ بین دو پروتون این هسته که به فاصلهٔ $۴/۰\times۱۰^{-۱۵}\,m$ از هم قرار دارند چقدر است؟ ب) اندازهٔ میدان الکتریکی ناشی از هسته در فاصلهٔ $۱/۰\times۱۰^{-۱۰}\,m$ از مرکز هسته چقدر است؟

برهم‌نهی میدان‌های الکتریکی :



شکل ۱ــ ۱۲

الف) نیروی $\vec{F}_T$ ، نیروی برآیند وارد بر بار آزمون $q_\circ$ است.



ب) 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.

$$\vec{F}_T = \vec{F}_{1\circ} + \vec{F}_{2\circ} + \dots$$

$$\frac{\vec{F}_T}{q_\circ} = \frac{\vec{F}_{1\circ}}{q_\circ} + \frac{\vec{F}_{2\circ}}{q_\circ} + \dots$$

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots \qquad (۵ــ۱)$$

مثال ۱ــ ۷

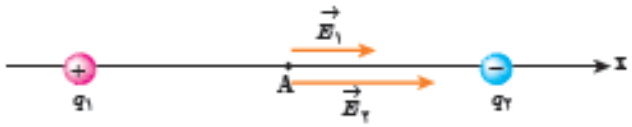
مطابق شکل، دو ذرّه با بارهای $q_1 = 4/\circ\,\mu C$ و $q_2 = -6/\circ\,\mu C$ در فاصلهٔ $8/\circ\,m$ از یکدیگر ثابت شده‌اند. اندازهٔ میدان الکتریکی خالص را در نقطه‌های زیر به‌دست آورید :

الف) در وسط خط واصل دو ذرّه،

ب) در نقطه‌ای روی خط واصل دو ذرّه به فاصلهٔ $8/\circ\,m$ از بار q_1 و $16\,m$ از بار q_2 .

پاسخ : در غیاب هر یک از دو ذرّه، میدان حاصل از بار دیگر را محاسبه می‌کنیم. میدانِ حاصل از مجموعهٔ دو بار، برایند این دو میدان خواهد بود.

الف) در شکل اگر بار آزمون را در نقطهٔ A واقع در وسط خط واصل دو ذرّه قرار دهیم، بار q_1 آن را دفع و بار q_2 آن را جذب می‌کند. بنابراین، همان‌طور که شکل نشان می‌دهد، $\vec{E}_1$ و $\vec{E}_2$ در نقطهٔ A هم‌جهت و به سوی بار q_2 (در سوی مثبت محور x) هستند.



بنابر اصل برهم‌نهیِ میدان‌های الکتریکی داریم :

$$\vec{E}_A = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 = E_1\vec{i} + E_2\vec{i}$$

مقادیر E_1 و E_2 را با استفاده از رابطهٔ ۱ــ۴ به‌دست می‌آوریم :

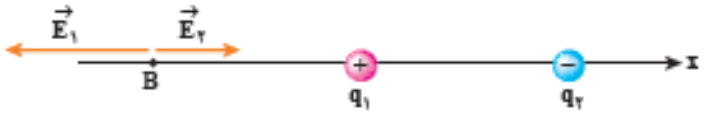
$$E_1 = k\frac{|q_1|}{r_1^2} = (9/0\times10^9\,N.m^2/C^2)\frac{(4/0\times10^{-6}\,C)}{(4/0\,m)^2} = 2/25\times10^3\,N/C \approx 2/3\times10^3\,N/C$$

$$E_2 = k\frac{|q_2|}{r_2^2} = (9/0\times10^9\,N.m^2/C^2)\frac{(6/0\times10^{-6}\,C)}{(4/0\,m)^2} = 3/375\times10^3\,N/C \approx 3/4\times10^3\,N/C$$

بنابراین :

$$\vec{E}_A = (2/3\times10^3\,N/C)\vec{i} + (3/4\times10^3\,N/C)\vec{i} = (5/7\times10^3\,N/C)\vec{i}$$

ب) اکنون اگر بار آزمون را در نقطهٔ B قرار دهیم شکل میدان‌های الکتریکی به‌صورت زیر در می‌آید :



با استفاده از اصل برهم‌نهیِ میدان‌های الکتریکی داریم :

$$\vec{E}_B = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 = -E_1\vec{i} + E_2\vec{i}$$

که در آن E_1 و E_2 برابرند با

$$E_1 = k\frac{|q_1|}{r_1^2} = (9/0\times10^9\,N.m^2/C^2)\frac{(4/0\times10^{-6}\,C)}{(8/0\,m)^2} = 5/625\times10^2\,N/C \approx 5/6\times10^2\,N/C$$

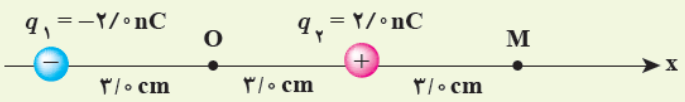
$$E_2 = k\frac{|q_2|}{r_2^2} = (9/0\times10^9\,N.m^2/C^2)\frac{(6/0\times10^{-6}\,C)}{(16\,m)^2} = 2/109\times10^2\,N/C \approx 2/1\times10^2\,N/C$$

بنابراین :

$$\vec{E}_B = (-5/6\times10^2\,N/C)\vec{i} + (2/1\times10^2\,N/C)\vec{i} = (-3/5\times10^2\,N/C)\vec{i}$$

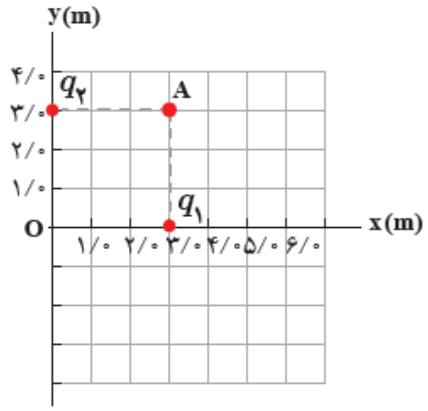
تمرین ۱ــ۵

شکل زیر، آرایشی از دو بار الکتریکی هم‌اندازه و غیرهمنام (دوقطبی الکتریکی) را نشان می‌دهد که در آن فاصلهٔ دو بار از هم ۶/۰ cm است. میدان الکتریکی خالص را در نقطه‌های O و M به‌دست آورید.



مثال ۱ــ ۸

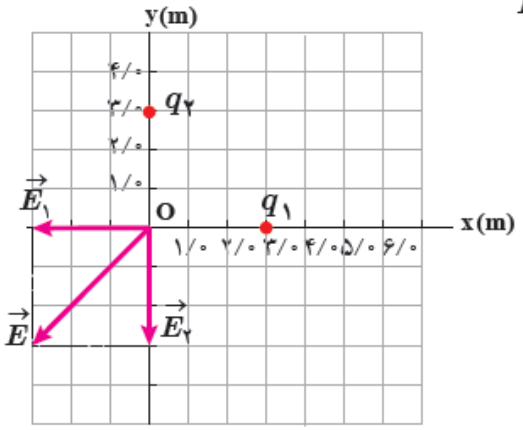
شکل روبه‌رو، دو بار نقطه‌ای q_1 و q_2 را در صفحهٔ xy نشان می‌دهد. میدان الکتریکی خالص را در نقطهٔ O (مبدأ مختصات) تعیین کنید. ($q_1 = q_2 = ۵/۰\ \mu C$)



پاسخ : در نقطهٔ O میدان‌های الکتریکی مانند شکل زیر می‌شوند؛ چون بارها با هم برابر و فاصلهٔ آنها تا نقطهٔ O نیز یکسان است، پس اندازهٔ میدان‌ها در این نقطه با هم برابرند :

$$E_1 = E_2 = k\frac{|q|}{r^2} = (۹/۰\times۱۰^۹\ N.m^2/C^2)\frac{(۵/۰\times۱۰^{-۶}\ C)}{(۳/۰\ m)^2} = ۵/۰\times۱۰^۳\ N/C$$

$$\vec{E}_1 = (-۵/۰\times۱۰^۳\ N/C)\,\vec{i} \quad \text{و} \quad \vec{E}_2 = (-۵/۰\times۱۰^۳\ N/C)\,\vec{j}$$



در نتیجه میدان الکتریکی خالص برابر است با

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

$$\vec{E} = (-۵/۰\times۱۰^۳\ N/C)\,\vec{i} + (-۵/۰\times۱۰^۳\ N/C)\,\vec{j}$$

و از آنجا اندازهٔ میدان الکتریکی خالص چنین می‌شود :

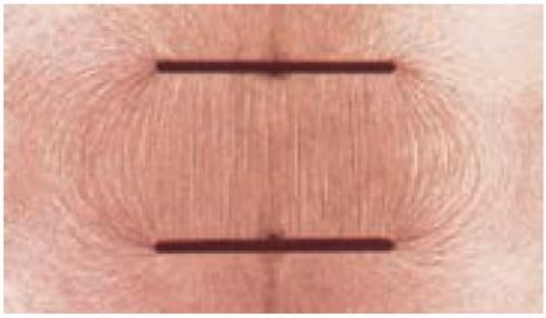
$$E = \sqrt{(-۵/۰\times۱۰^۳\ N/C)^2 + (-۵/۰\times۱۰^۳\ N/C)^2}$$

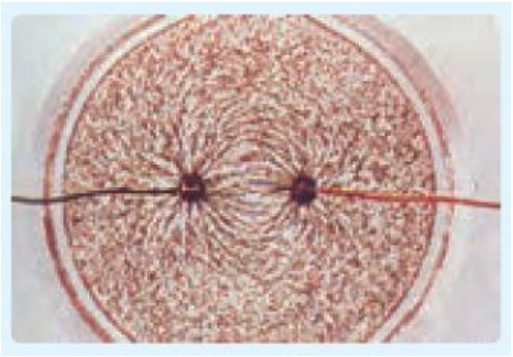
$$= ۷/۰۷\times۱۰^۳\ N/C \approx ۷/۱\times۱۰^۳\ N/C$$

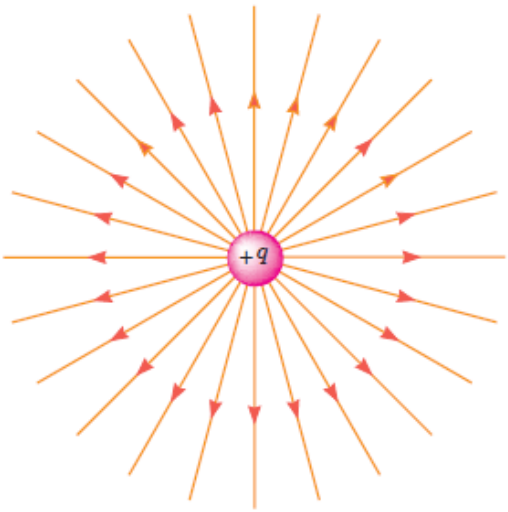
تمرین ۱ــ ۶

میدان الکتریکی خالص حاصل از آرایش بار مثال ۱ــ۸ را در نقطهٔ A تعیین کنید.

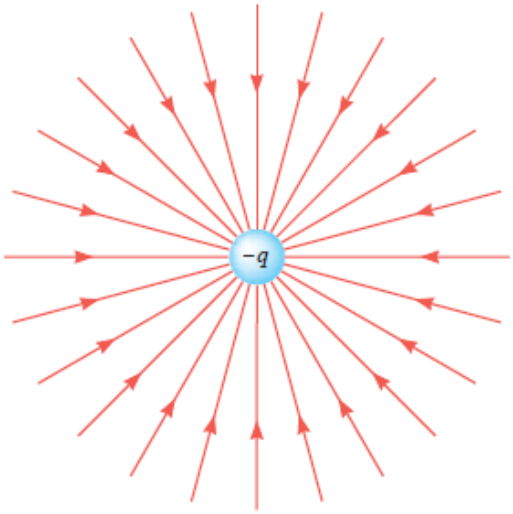
۱ـ۶ خطوط میدان الکتریکی





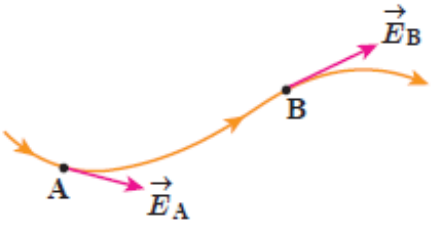


الف) خطوط میدان الکتریکی در جهتِ دور شدن از ذرّهٔ باردار $q+$ است.

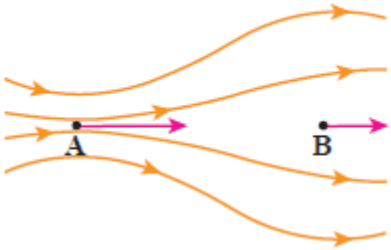


ب) خطوط میدان الکتریکی به سمت ذرّهٔ باردار $q-$ است.

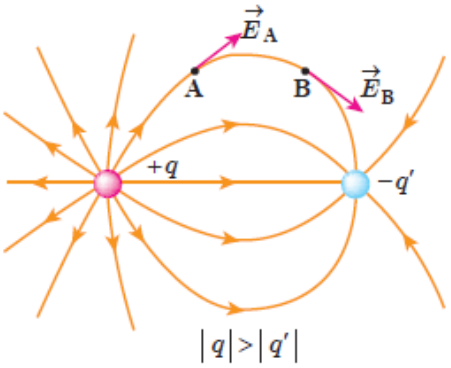
شکل ۱ـ۱۴



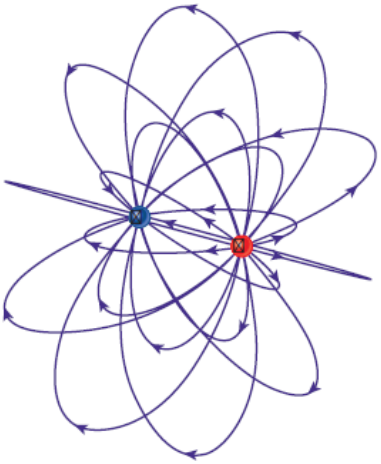
شکل ۱ـ۱۵ میدان الکتریکی در هر نقطهٔ برداری است مماس بر خط میدانی که از آن نقطه می‌گذرد و با آن خط میدان هم‌جهت است.



شکل ۱ـ۱۶ اطراف نقطهٔ A خطوط میدان متراکم‌تر از اطراف نقطهٔ B است. بنابراین، بزرگی میدان در نقطهٔ A بیشتر از نقطهٔ B است.



شکل ۱ــ۱۷ خطوط میدان از بارهای مثبت شروع و به بارهای منفی ختم می‌شوند و هرگز یکدیگر را قطع نمی‌کنند.



شکل ۱ــ۱۸ نمایش سه‌بعدی خطوط میدان برای یک دوقطبی الکتریکی

قاعده‌های رسم خطوط میدان الکتریکی عبارت‌اند از :

۱ــ در هر نقطه، بردار میدان الکتریکی باید مماس بر خط میدان الکتریکی عبوری از آن نقطه و در همان جهت باشد (شکل ۱ــ۱۵).

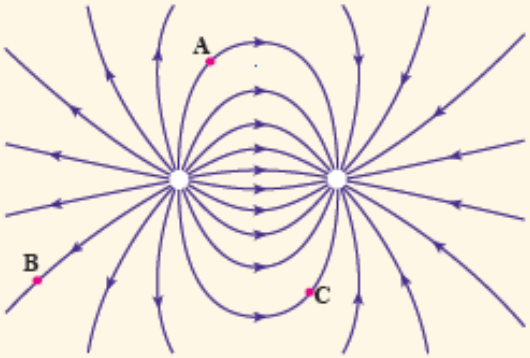
۲ــ میزان تراکم خطوط میدان در هر ناحیه از فضا نشان‌دهندهٔ اندازهٔ میدان در آن ناحیه است؛ هرجا خطوط میدان متراکم‌تر باشد، اندازهٔ میدان بیشتر است (شکل ۱ــ۱۶).

۳ــ در آرایشی از بارها خطوط میدان الکتریکی از بارهای مثبت شروع و به بارهای منفی ختم می‌شوند.

۴ــ خطوط میدان برایند هرگز یکدیگر را قطع نمی‌کنند (شکل ۱ــ۱۷) یعنی از هر نقطهٔ فضا فقط یک خط میدان الکتریکی می‌گذرد.

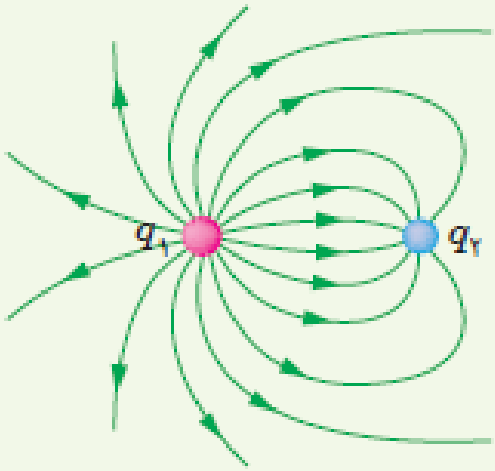
پرسش ۱ــ۴

به نظر شما چرا خطوط میدان الکتریکی برایند هرگز یکدیگر را قطع نمی‌کنند؟

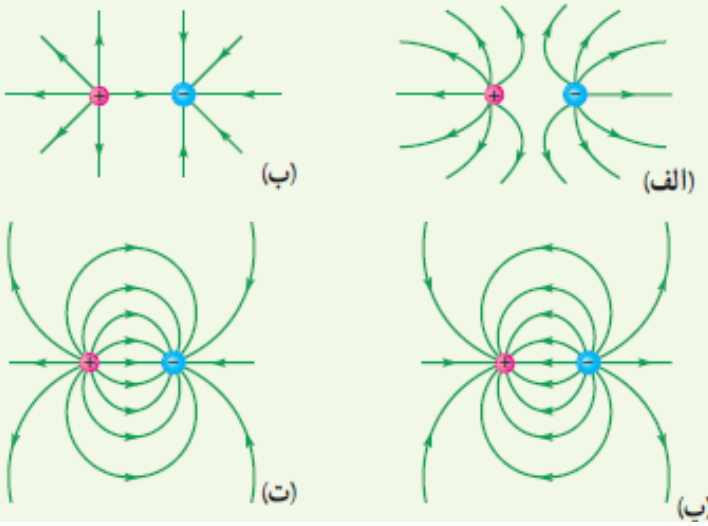


بار $q-$ را در نقطه‌های A، B و C از میدان الکتریکی غیریکنواخت شکل روبه‌رو قرار دهید و جهت نیروی الکتریکی وارد بر این بار منفی را تعیین کنید.

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

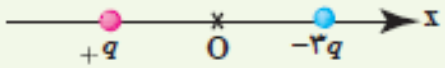


۱۴ در شکل‌های زیر، اندازهٔ دو بار، یکسان ولی علامت آنها مخالف هم است. کدام آرایش‌های خطوط میدان نادرست است؟ دلیل آن را توضیح دهید.



۱۰ شکل زیر، دو ذرّهٔ باردار را نشان می‌دهدکه 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.

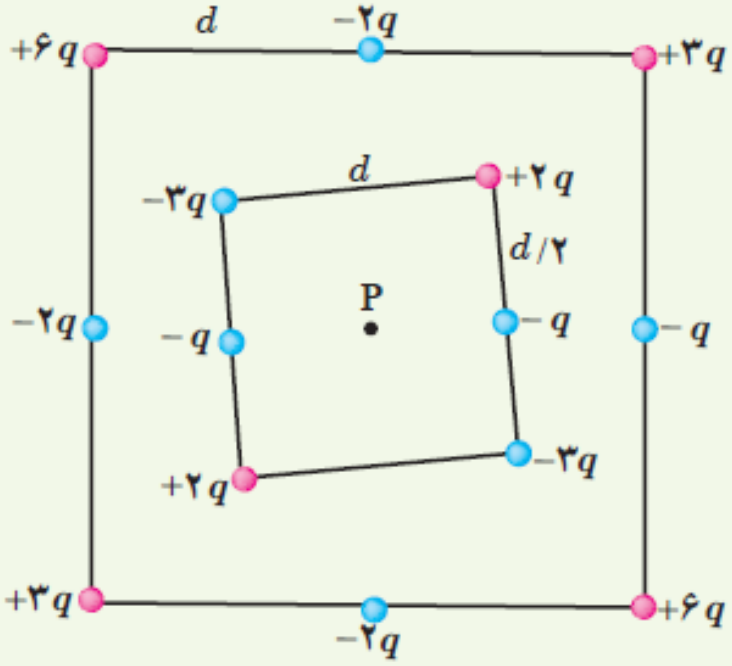


تمرین ۱ـ۷

روی سطح بادکنکی به جرم ۱۰/۰g بار الکتریکی ۲۰۰nC- ایجاد می‌کنیم و آن را در یک میدان الکتریکی قرار می‌دهیم. بزرگی و جهت این میدان الکتریکی را در صورتی که بادکنک معلق بماند، تعیین کنید. از نیروی شناوری وارد به بادکنک چشم‌پوشی کنید.

۱۱ در یک میدان الکتریکی یکنواخت به بزرگی $۵/۰\times۱۰^{۵}\,N/C$ که جهت آن قائم و رو به 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.

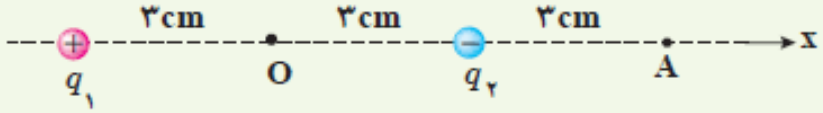
۱۲ شکل زیر دو آرایهٔ مربعی از ذرات باردار را نشان می‌دهد. مربع‌ها که در نقطهٔ P هم‌مرکزند، همردیف نیستند. ذرّه‌ها روی محیط مربع به فاصلهٔ d یا $d/۲$ از هم قرار گرفته‌اند. بزرگی و جهت میدان الکتریکی برایند در نقطهٔ P چیست؟



۱۵ دو بار الکتریکی نقطه‌ای غیرهمنام $q_۱=+۱/۰\,nC$ و $q_۲=-۱/۰\,nC$ مطابق شکل زیر به فاصلهٔ $۶/۰\,cm$ از یکدیگر قرار دارند.

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

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

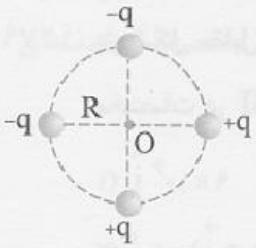


هشت بار الکتریکی نقطه‌ای هر یک به اندازهٔ 5×10^{-9} کولن با فواصل مساوی روی محیط دایره‌ای به شعاع ۳۰ سانتی‌متر توزیع شده‌اند. هرگاه فقط یکی از بارها منفی باشد، شدت میدان کل در مرکز دایره چند نیوتون بر کولن است؟

۱) 10^{3} ۲) 5×10^{2} ۳) 3×10^{3} ۴) 15×10^{2}

دو بار الکتریکی نقطه‌ای $+2\mu C$ و $+8\mu C$ در فاصلهٔ ۳۰ سانتی‌متری هم قرار دارند. بار الکتریکی q را در نقطه‌ای قرار داده‌ایم که میدان الکتریکی در محل هر سه بار صفر شود. بار الکتریکی q چند میکروکولن است؟ (سراسری تجربی خارج از کشور- ۸۸)

۱) $-\frac{8}{9}$ ۲) $\frac{8}{9}$ ۳) $-\frac{16}{9}$ ۴) $\frac{16}{9}$



اگر بار نقطه‌ای q روی محیط دایره‌ای به شعاع R قرار گیرد، شدت میدان الکتریکی حاصل از آن در مرکز دایره برابر E_1 می‌شود. در شکل مقابل، اندازهٔ شدت میدان در مرکز دایره برابر کدام است؟

۱) $2\sqrt{2}E_1$ ۲) $4E_1$

۳) $\frac{3}{2}E_1$ ۴) صفر

۱ـ۷ انرژی پتانسیل الکتریکی

هر گاه جسمی یا فنری و یا یک بار الکتریکی به زور حرکت کنند در آن ها مقداری انرژی به نام انرژی پتانسیل ذخیره می شود:

$$W_E = -\Delta U_E \qquad (۷ـ۱)$$

نکته : سه نوع انرژی پتانسیل داریم که در زیر رابطه هر یک معرفی شده است.

الف) انرژی پتانسیل گرانشی : $W_g = mgh$

ب)انرژی پتانسیل کشسانی : $W_e = \frac{1}{2}kx^2$

ج)انرژی پتانسیل الکتریکی:

بار ذرّه‌ای q را در میدان الکتریکی یکنواخت $\vec{E}$ درنظر بگیرید که جابه‌جایی $\vec{d}$ را موازی میدان الکتریکی، انجام می‌دهد (شکل ۱ـ۲۲). طبق تعریف کار که در سال قبل دیدید، کار انجام‌شده توسط نیروی الکتریکی ثابت $\vec{F}_E$ در طی جابه‌جایی $\vec{d}$ از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید :

$$W_E = (F_E \cos\theta)\, d = F_E\, d \cos\theta$$

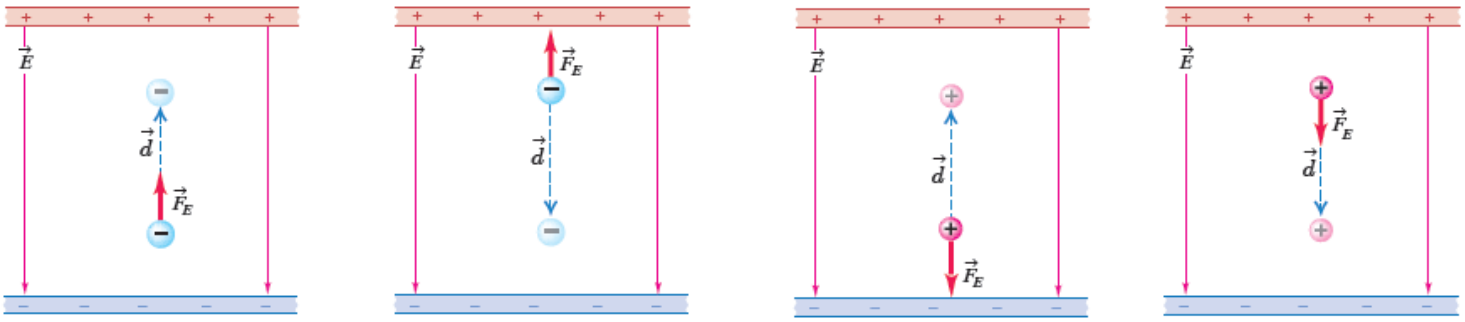
با توجه به اینکه $F_E = |q|E$ است، این رابطه به‌صورت زیر می‌شود :

$$W_E = |q|\, E d \cos\theta$$

اکنون با استفاده از رابطهٔ ۱ـ۷ تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی بار ذرّه‌ای q چنین محاسبه می‌شود :

$$\Delta U_E = -W_E = -|q|\, E\, d \cos\theta \qquad (۸ـ۱)$$

سوال : در هر یک از حالات زیر کار نیروی میدان و انرژی پتانسیل الکتریکی را مقایسه کنید.



الف) بار مثبت را در جهت میدان الکتریکی $\vec{E}$ جابه‌جا می‌کنیم : میدان الکتریکی *کار مثبت* W_E را روی بار انجام می‌دهد. انرژی پتانسیل الکتریکی U_E *کاهش می‌یابد*.

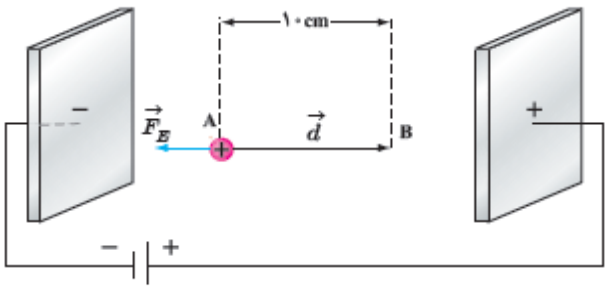
ب) بار مثبت را در خلاف جهت میدان الکتریکی $\vec{E}$ جابه‌جا می‌کنیم : میدان الکتریکی *کار منفی* W_E را روی بار انجام می‌دهد. انرژی پتانسیل الکتریکی U_E *افزایش می‌یابد*.

پ) بار منفی را در جهت میدان الکتریکی $\vec{E}$ جابه‌جا می‌کنیم : میدان الکتریکی کار منفی W_E را روی بار انجام می‌دهد. انرژی پتانسیل الکتریکی U_E افزایش می‌یابد.

ت) بار منفی را در خلاف جهت میدان الکتریکی $\vec{E}$ جابه‌جا می‌کنیم : میدان الکتریکی *کار مثبت* W_E را روی بار انجام می‌دهد. انرژی پتانسیل الکتریکی U_E *کاهش می‌یابد*.

شکل ۱ــ۲۴

مثال ۱ــ۱۰



در یک میدان الکتریکی یکنواخت $E = ۲/۰\times۱۰^{۲}\,N/C$، پروتونی از نقطهٔ A با سرعت $\vec{v}_{۰}$ در خلاف جهت میدان الکتریکی پرتاب شده است. پروتون سرانجام در نقطهٔ B متوقف می‌شود. بار پروتون $۱/۶\times۱۰^{-۱۹}C$ و جرم آن $۱/۶۷\times۱۰^{-۲۷}kg$ است.

الف) تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی پروتون در این جابه‌جایی چقدر است؟

ب) تندی پرتاب پروتون را پیدا کنید (از وزن پروتون و مقاومت هوا چشم‌پوشی شود).

پاسخ :

الف) با توجه به رابطهٔ ۱ــ۸ داریم :

$$\Delta U_E = -W_E = -|q|Ed\cos\theta = -(۱/۶\times۱۰^{-۱۹}C)(۲/۰\times۱۰^{۳}N/C)(۱۰\times۱۰^{-۲}m)(\cos۱۸۰^{\circ}) = ۳/۲\times۱۰^{-۱۷}J$$

ب) طبق قضیهٔ کار ــ انرژی جنبشی می‌توان نوشت :

$$W_E = \Delta K \Rightarrow -\Delta U_E = \frac{۱}{۲}m(۰ - v_{۰}^{۲})$$

$$-۳/۲\times۱۰^{-۱۷}J = \frac{۱}{۲}(۱/۶۷\times۱۰^{-۲۷}kg)(-v_{۰}^{۲}) \Rightarrow v_{۰} = ۱/۹۶\times۱۰^{۵}m/s \approx ۲/۰\times۱۰^{۵}m/s$$

تمرین ۱ــ۸

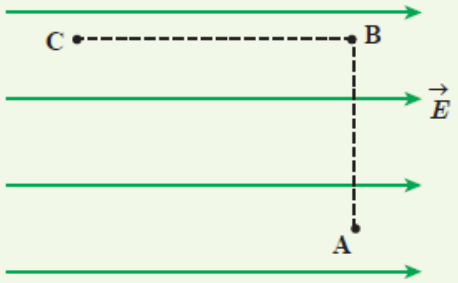
در مثال ۱ــ۱۰ اگر جای قطب‌های باتری عوض شود و پروتون را در نقطهٔ A از حالت سکون رها کنیم، پروتون با چه تندی‌ای به نقطهٔ B می‌رسد؟

۱۶ مطابق شکل زیر، بار $q=+۵۰\,nC$ را در میدان الکتریکی یکنواخت $۸/۰\times۱۰^{۵}\,N/C$ نخست از نقطهٔ A تا نقطهٔ B و سپس تا نقطهٔ C جابه‌جا می‌کنیم. اگر $AB=۰/۲۰\,m$ و $BC=۰/۴۰\,m$ باشد، مطلوب است :

الف) نیروی الکتریکی وارد بر بار q،

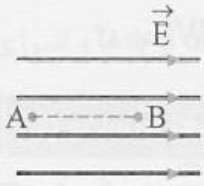
ب) کاری که نیروی الکتریکی در این جابه‌جایی انجام می‌دهد،

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



در شکل زیر، در میدان الکتریکی یکنواخت $۱۰^{۵}\,N/C$، ذره‌ای با بار الکتریکی $q=-۵\mu C$ در نقطهٔ B بدون سرعت اولیه رها می‌شود. وقتی این ذره در مسیر مستقیم، ۲۰ سانتی‌متر جابه‌جا شده و به نقطهٔ A می‌رسد، انرژی جنبشی آن چند ژول می‌شود؟ (از اثر گرانش و نیروهای مقاوم در مقابل حرکت ذره صرف‌نظر شود.)

(سراسری ریاضی خارج از کشور- ۹۴)



۱) ۰/۱

۲) ۰/۵

۳) ۰/۰۱

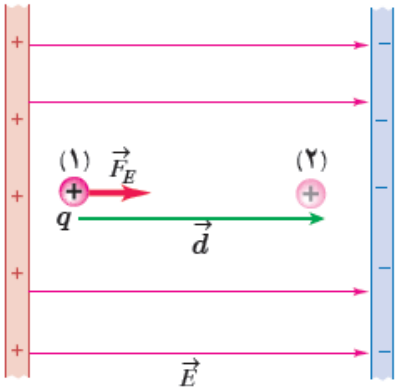
۴) ۰/۰۵

۱ــ۸ پتانسیل الکتریکی

در بخش قبل دیدیم تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی یک ذرّهٔ باردار به بار الکتریکی آن بستگی دارد؛ مثلاً با دوبرابر شدن بار ذرّه، تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی آن نیز دو برابر می‌شود. بنابراین، نسبت تغییر انرژی پتانسیل به بار ذرّه، مستقل از نوع و اندازهٔ بار الکتریکی است. به این نسبت، **اختلاف پتانسیل الکتریکی** دونقطه‌ای می‌گوییم که ذرّه میان آنها جابه‌جا شده است (شکل ۱ــ۲۵) و آن را با ΔV نمایش می‌دهیم :

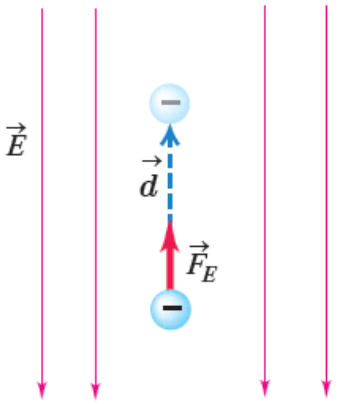
$$\Delta V = V_2 - V_1 = \frac{\Delta U_E}{q} \qquad (۹ــ۱)$$

که در آن V کمیتی نرده‌ای موسوم به پتانسیل الکتریکی است که مقدار آن در نقطه‌های ۱ و ۲ به ترتیب V_1 و V_2 است. در این رابطه، اختلاف پتانسیل الکتریکی (ΔV) برحسب ژول بر کولن (J/C) است که آن را به افتخار *الساندرو ولتا*، ولت می‌نامند و با نماد V نمایش می‌دهند.



شکل ۱ــ۲۵ نسبت تغییر انرژی پتانسیل به بار، مستقل از نوع و اندازهٔ بار الکتریکی است.

مثال ۱ــ۱۱



در نتیجهٔ برخورد پرتوهای کیهانی با مولکول‌های هوا، الکترون‌هایی از این مولکول‌ها کنده می‌شوند. در نزدیکی سطح زمین، میدان الکتریکی با بزرگی ۱۵۰N/C و جهت رو به پایین وجود دارد. الف) اگر یکی از این الکترون‌ها، تحت تأثیر این میدان ۵۰۰m رو به بالا جابه‌جا شود، انرژی پتانسیل الکتریکی آن چقدر تغییر می‌کند؟ ب) اختلاف پتانسیل الکتریکی دو نقطه‌ای که الکترون بین آنها جابه‌جا شده چقدر است؟

پاسخ : الف) با استفاده از رابطهٔ ۱ــ۸ برای تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی الکترون داریم

$$\Delta U_E = -W_E = -|q|Ed\cos\theta = -(۱/۶۰\times۱۰^{-۱۹}\text{C})(۱۵۰\text{N/C})(۵۰۰\text{m})\cos۰^\circ$$
$$= -۱/۲۰\times۱۰^{-۱۴}\text{J}$$

ب) با استفاده از رابطهٔ ۱ــ۹ برای اختلاف پتانسیل داریم

$$\Delta V = \frac{\Delta U_E}{q} = \frac{-۱/۲۰\times۱۰^{-۱۴}\text{J}}{-۱/۶۰\times۱۰^{-۱۹}\text{C}} = ۷/۵۰\times۱۰^{۴}\text{V} = ۷۵/۰\text{kV}$$

تمرین ۱ــ۹

الف) نشان دهید در یک میدان الکتریکی یکنواخت، با حرکت در سوی خطوط میدان، بدون توجه به نوع بار، پتانسیل الکتریکی کاهش می‌یابد و بالعکس با حرکت در خلاف جهت خطوط میدان، بدون توجه به نوع بار، پتانسیل الکتریکی افزایش می‌یابد.

ب) نشان دهید در میدان الکتریکی یکنواخت، با حرکت در جهت عمود بر خطوط میدان، پتانسیل الکتریکی تغییر نمی‌کند.

سوال: این یک باتری ۱۲ ولت است. مفهوم فیزیکی این جمله را توضیح دهید.

شما با انواع باتری‌ها که در وسیله‌های الکتریکی نظیر چراغ‌قوه یا گوشی تلفن همراه از آنها استفاده می‌شود (شکل ۱ــ۲۶) و نیز با باتری خودرو آشنایی دارید. باتری‌ها ولتاژهای متفاوتی دارند؛ مثلاً باتری خودروهای سواری معمولاً ۱۲ ولتی و باتری کامیون‌ها ۲۴ولتی یا بیشترند. هر باتری دو پایانه دارد که یکی با مثبت و دیگری با منفی نشان داده می‌شود. بنا به قرارداد، اختلاف پتانسیل الکتریکی دو سر باتری برابر با پتانسیل پایانهٔ مثبت منهای پتانسیل پایانهٔ منفی است. اگر پتانسیل پایانهٔ منفی را با V_- و پتانسیل پایانهٔ مثبت را با V_+ نشان دهیم، داریم :

$$\Delta V = V_+ - V_-$$

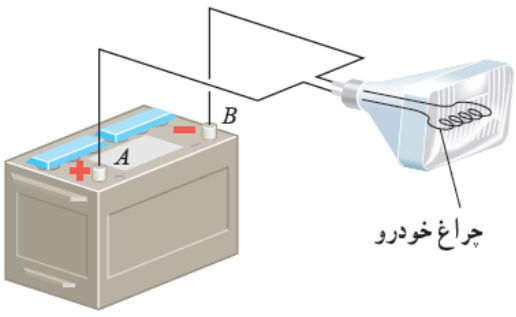
بنابراین، وقتی می‌گوییم باتری خودرو ۱۲ ولت است، یعنی پتانسیل پایانهٔ مثبت به اندازهٔ ۱۲ ولت از پتانسیل پایانهٔ منفی آن بیشتر است؛ مثلاً اگر پتانسیل پایانهٔ منفی را برابر با ۴V− فرض کنیم، پتانسیل پایانهٔ مثبت برابر ۸V+ خواهد شد. می‌توان پایانهٔ منفی را مرجع پتانسیل درنظر گرفت؛ در این صورت، پتانسیل پایانهٔ مثبت برابر ۱۲V+ می‌شود. معمولاً (به‌خصوص در مهندسی برق) پتانسیل زمین یا نقطه‌ای از مدار را برابر صفر می‌گیرند و به آن نقطه، اصطلاحاً نقطهٔ زمین می‌گویند و پتانسیل نقطه‌های دیگر را نسبت به آن می‌سنجند. نقطهٔ زمین را در مدارهای الکتریکی با نماد ⏚ نشان می‌دهند.

تمرین ۱ــ۱۰

اگر پایانهٔ مثبت یک باتری ۱۲ ولتی را مرجع پتانسیل درنظر بگیریم، پتانسیل پایانهٔ منفی آن چند ولت خواهد شد؟

مثال ۱ــ۱۲

اختلاف پتانسیل الکتریکی پایانه‌های باتری خودروی نشان داده شده در شکل برابر ۱۲/۰V است. اگر بار الکتریکی ۵۰/۰− کولن از پایانهٔ منفی به پایانهٔ مثبت باتری جابه‌جا شود، انرژی پتانسیل الکتریکی آن چقدر تغییر می‌کند؟



پاسخ : با استفاده از رابطهٔ ۱ــ۹ داریم :

$$\Delta V = \frac{\Delta U_E}{q}$$

$$\Delta U = q\Delta V = q(V_+ - V_-) = (-۵۰/۰\,C)(+۱۲/۰\,V) = -۶۰۰\,J$$

بنابراین، انرژی پتانسیل الکتریکی این بار به اندازهٔ ۶۰۰ J کاهش یافته است.

رابطهٔ اختلاف پتانسیل دو نقطه و اندازهٔ میدان الکتریکی یکنواخت : همان‌طور که پیش‌تر گفتیم اختلاف پتانسیل الکتریکی دو نقطه از میدان الکتریکی، مستقل از نوع و اندازهٔ بار جابه‌جا شده بین دو نقطه است. بنابراین، می‌توانیم فرض کنیم بار جابه‌جا شده بین دو نقطه مثبت است. همچنین فرض کنید این بار مثبت را در میدان الکتریکی یکنواخت $\vec{E}$ هم‌جهت با خطوط میدان به اندازهٔ d جابه‌جا کنیم. بنا به رابطهٔ ۱ــ۸ و با توجه به مثبت بودن q و صفر بودن زاویهٔ θ داریم

$$\Delta U_E = -|q|Ed\cos 0^\circ = -qEd$$

از طرفی با استفاده از رابطهٔ ۱ــ۹ داریم

$$\Delta U_E = q\Delta V$$

با برابر قرار دادن دو رابطهٔ بالا به رابطهٔ زیر می‌رسیم

$$\Delta V = -Ed$$

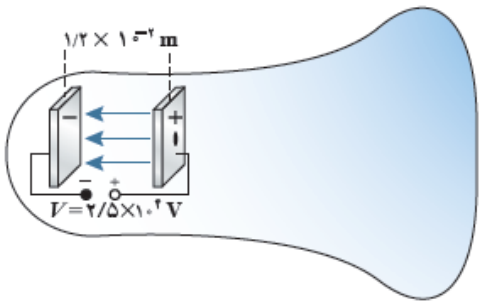
توجه کنید که این رابطه را برای حرکت در جهت میدان الکتریکی به دست آوردیم. اگر در خلاف جهت میدان حرکت می‌کردیم به رابطهٔ $\Delta V = Ed$ می‌رسیدیم. پس در هر دو حالت می‌توان گفت :

$$|\Delta V| = Ed \qquad (۱۱ــ۱)$$

در این رابطه ΔV برحسب ولت، E برحسب نیوتون بر کولن، و d برحسب متر است. بنابراین می‌توان نوشت : $1\,N/C = 1\,V/m$.

مثال ۱ــ۱۳

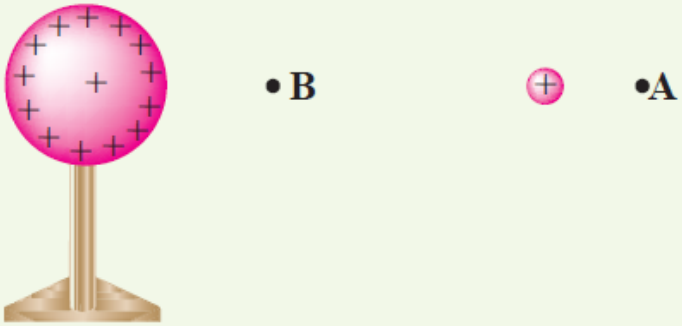
لامپ‌های تصویر تلویزیون‌ها و نمایشگرهای قدیمی، لامپ پرتو ــ کاتدی (CRT)[1] بودند. در این لامپ، الکترون‌ها در میدان الکتریکی یکنواخت بین دو صفحهٔ باردار، مطابق شکل، شتاب می‌گیرند و با صفحهٔ نمایشگر برخورد می‌کنند. اگر صفحه‌ها در فاصلهٔ $1/2\times10^{-2}\,m$ از یکدیگر باشند و اختلاف پتانسیل بین آنها $2/5\times10^{4}\,V$ باشد، بزرگی میدان الکتریکی بین صفحه‌ها را تعیین کنید.



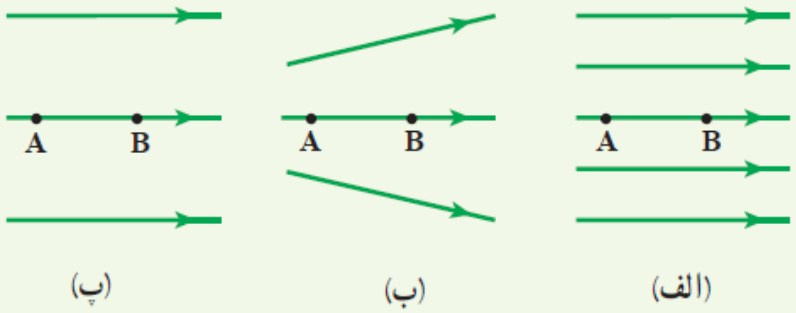
پاسخ : با استفاده از رابطهٔ ۱ــ۱۱ داریم :

$$E = \frac{|\Delta V|}{d} = \frac{2/5\times10^{4}\,V}{1/2\times10^{-2}\,m} = 2/08\times10^{6}\,V/m \approx 2/1\,MV/m$$

۱۷ در شکل زیر ذرّهٔ باردار مثبت و کوچکی را از حالت سکون، از نقطهٔ A به سمت کرهٔ باردار که روی پایهٔ عایقی قرار دارد، نزدیک می‌کنیم و در نقطهٔ B قرار می‌دهیم. (الف) در این جابه‌جایی، کار نیروی الکتریکی مثبت است یا منفی؟ (ب) کاری که ما در این جابه‌جایی انجام می‌دهیم مثبت است یا منفی؟ (پ) انرژی پتانسیل ذرّهٔ باردار در این جابه‌جایی چگونه تغییر می‌کند؟ (ت) پتانسیل نقطه‌های A و B را با هم مقایسه کنید.



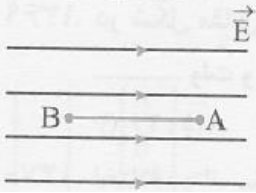
۱۸ شکل زیر سه آرایش خطوط میدان الکتریکی را نشان می‌دهد. در هر آرایش، یک پروتون از حالت سکون در نقطهٔ A رها می‌شود و سپس توسط میدان الکتریکی تا نقطهٔ B شتاب می‌گیرد. نقطه‌های A و B در هر سه آرایش در فاصله‌های یکسانی از هم قرار دارند. در کدام شکل سرعت پروتون در نقطهٔ B بیشتر است؟ توضیح دهید.



۱۹ دو صفحهٔ رسانا با فاصلهٔ ۲/۰۰ cm را موازی یکدیگر قرار می‌دهیم و آنها را به‌اختلاف پتانسیل ۱۰۰V وصل می‌کنیم. درنتیجه، یکی از صفحه‌ها به‌طور منفی و دیگری به‌طور مثبت باردار می‌شوند و میان دو صفحه میدان الکتریکی یکنواختی به‌وجود می‌آید. اندازهٔ این میدان الکتریکی را حساب کنید و با توجه به جهت خطوط میدان الکتریکی در فضای بین دو صفحه توضیح دهید که کدام‌یک از دو صفحه پتانسیل الکتریکی بیشتری دارند.

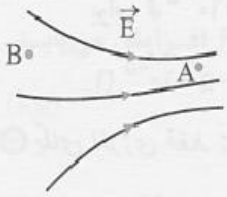
۲۰ بار الکتریکی $q=-۴۰\,nC$ از نقطه‌ای با پتانسیل الکتریکی $V_۱=-۴۰\,V$ تا نقطه‌ای با پتانسیل $V_۲=-۱۰\,V$ آزادانه جابه‌جا می‌شود. الف) انرژی پتانسیل الکتریکی بار q چه اندازه و چگونه تغییر می‌کند؟ ب) با توجه به قانون پایستگی انرژی، در مورد چگونگی تبدیل انرژی بار q در این جابه‌جایی توضیح دهید.

بار الکتریکی $q = -۴\mu C$ مطابق شکل در یک میدان الکتریکی یکنواخت به بزرگی $۱۰^۵\,V/m$ رها می‌شود. در جابه‌جایی بار از A تا B انرژی جنبشی بار ۸ میلی‌ژول افزایش می‌یابد. $V_B - V_A$ چند کیلوولت است؟ (سراسری (ریاضی- ۸۹)



۱) ۲
۲) -۲
۳) ۲۰۰

شکل زیر خطوط میدان الکتریکی را در قسمتی از فضا نشان می‌دهد. در مقایسهٔ میدان و پتانسیل الکتریکی نقاط A و B کدام رابطه درست است؟

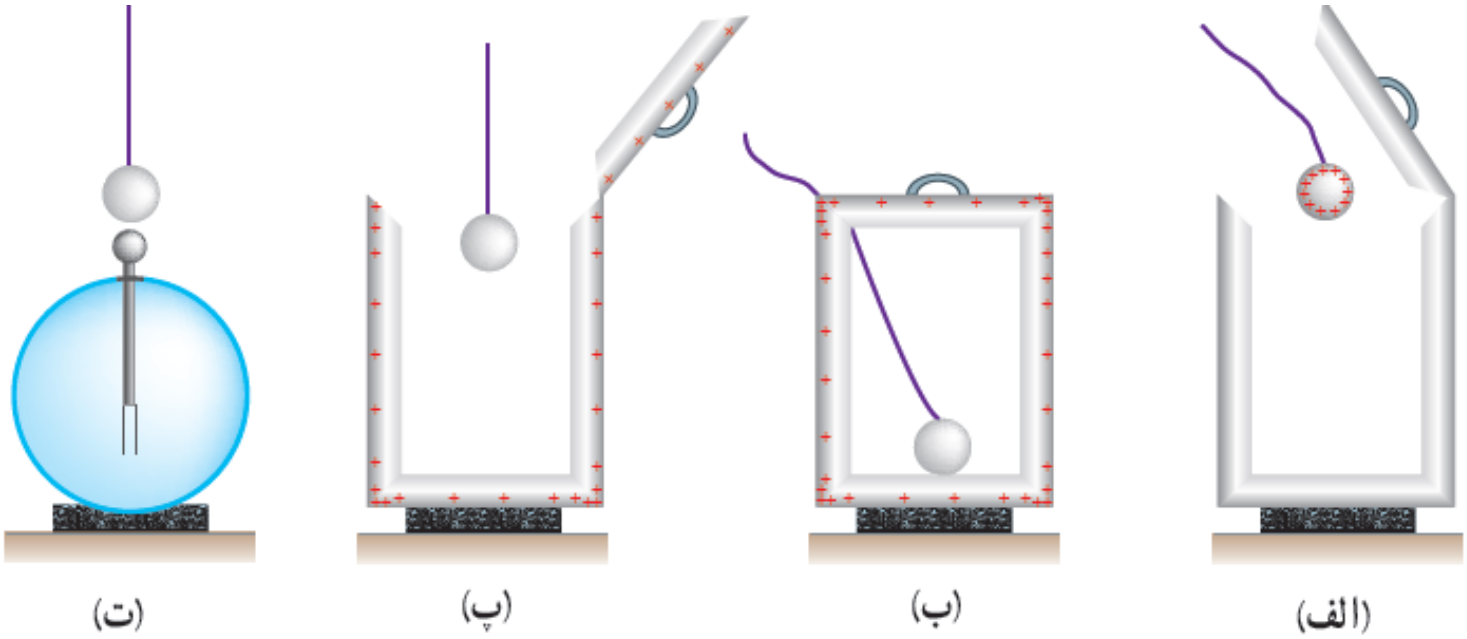


۱) $V_B > V_A \;،\; E_B < E_A$
۲) $V_B > V_A \;،\; E_B > E_A$
۳) $V_B < V_A \;،\; E_B < E_A$
۴) $V_B < V_A \;،\; E_B > E_A$

رساناها به دلیل داشتن الکترون آزاد دارای ویژگی های منحصر بفردی می باشند:

الف) بارهای الکتریکی در سطح خارجی رساناها جمع می شوند بنابراین میدان الکتریکی درون رسانا همواره برابر صفر است.(زیر پل های فلزی ویا درون چند ورق آلومینیوم فویل موبایل آنتن نمی دهد.)

توزیع بار الکتریکی در رسانا ــ آزمایش فاراده :



شکل ۱ــ۲۸ شرحی تصویری از آزمایش فاراده

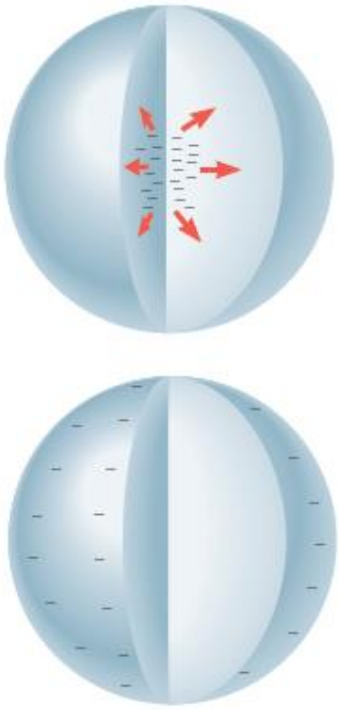
ب) سطح یک رسانا یک سطح هم پتانسیل است.

چون میدان الکتریکی درون رسانایی که در تعادل الکتروستاتیکی است برابر با صفر است، نیروی لکتریکی وارد بر هر ذرّهٔ باردار در داخل رسانا نیز صفر می‌شود. بنابراین، کار نیروی الکتریکی در هر جابه‌جایی دلخواهی در داخل رسانا صفر می‌شود. در نتیجه همهٔ نقاط رسانا پتانسیل یکسانی دارند. ءعبارت دیگر :

$$F_E = 0 \Rightarrow \Delta U_E = -W_E = 0$$

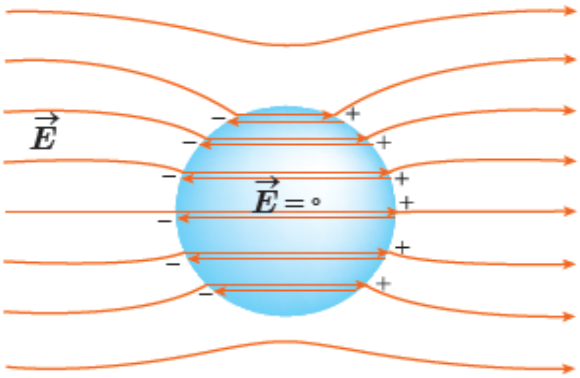
و در نتیجه

$$\Delta V = \frac{\Delta U_E}{q} = 0 \Rightarrow V_2 - V_1 = 0 \Rightarrow V_1 = V_2$$



شکل ۱ــ۲۹ بار اضافی داده شده به یک رسانا در سطح خارجی آن توزیع می‌شود.

شکل ۱ــ ۳۰ نزدیک کردن میلهٔ باردار منفی به گوی فلزی خنثایی که روی پایهٔ عایقی قرار گرفته است، موجب ایجاد بارهای القایی مثبت و منفی در دو طرف گوی فلزی می‌شود.



شکل ۱ــ ۳۱ یک گوی رسانای خنثی در میدان الکتریکی خارجی. میدان الکتریکی خارجی باعث جدا شدن بارهای مثبت و منفی در دو وجه رسانا شده است، به‌طوری‌که میدان حاصل از این بارها، میدان خارجی در داخل رسانا را خنثی می‌کند. (توجه کنید که دو خط هر جفت خطوط میدان نشان داده شده در داخل رسانا منطبق برهم‌اند و برای آنکه دیده شوند، با فاصلهٔ اندکی از هم رسم شده‌اند.)

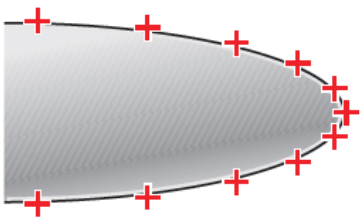
چگالی سطحی بار الکتریکی رسانا : برای اینکه بتوانیم تراکم بار الکتریکی در بخش‌های مختلف سطح یک جسم را با هم مقایسه کنیم کمیتی به نام **چگالی سطحی بار** را تعریف می‌کنیم. اگر مساحت سطحی که بار روی آن توزیع شده است برابر A و بار الکتریکی موجود در آن سطح برابر Q باشد چگالی سطحی بار که با نماد σ نشان داده می‌شود از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید :

$$\sigma = \frac{Q}{A} \qquad (۱۴_۱)$$

سوال : اولا در مورد رساناها چرا چگالی سطحی تعریف می کنند.

ثانیا واحد چگالی سطحی چیست؟

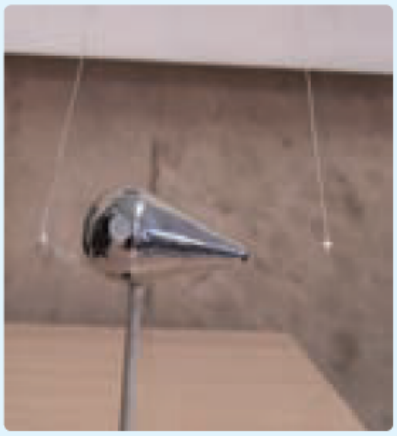
نکته مهم:

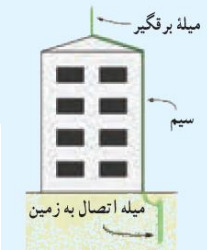


شکل ۱ـ۳۴ چگالی بار در نقاط تیزتر سطح یک جسم رسانای باردار بیشتر است.

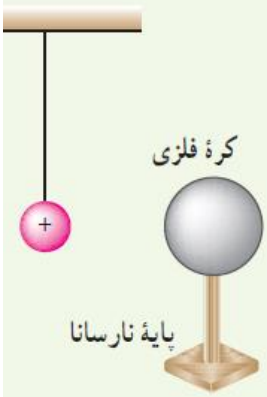
فعالیت ۱ـ۸

دو قطعه ورقهٔ آلومینیمی نازک به ابعاد ۳cm×۴cm را مچاله کنید و به سرهای دو تکه نخ هم اندازه به طول ۳۰cm وصل کنید. پس از آنکه جسم فلزی دوکی‌شکل را با مولد وان دوگراف 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.





۲۱ یک کرهٔ فلزی بدون بار الکتریکی را که روی پایهٔ نارسانایی قرار دارد، به آونگ الکتریکی بارداری نزدیک می‌کنیم. با ذکر دلیل توضیح دهید که چه اتفاقی می‌افتد.



۲۲ یک صفحهٔ پلاستیکی باردار (تلق یا ورق باردار) را به براده‌های ریز آلومینیمی بدون بار نزدیک می‌کنیم. مشاهده می‌شود که براده‌ها به طرف صفحهٔ پلاستیکی، جذب می‌شوند. علت این پدیده را توضیح دهید.

۲۳ وقتی ماهواره‌ای به دور زمین می‌چرخد بر اثر عبور از فضای اطراف زمین باردار می‌شود. این بارها ممکن است موجب آسیب‌رساندن به قطعات الکترونیکی ماهواره شود. فرض کنید ماهواره‌ای در اثر عبور از یکی از لایه‌های جو دارای بار الکتریکی $q=۲/۰\times۱۰^{-۹}C$ شود. این ماهواره، مکعبی به ضلع $۴۰cm$ است. چگالی سطحی بار الکتریکی روی سطح این ماهواره را محاسبه کنید. (از تجمع بار بر روی لبه‌ها چشم‌پوشی شود.)

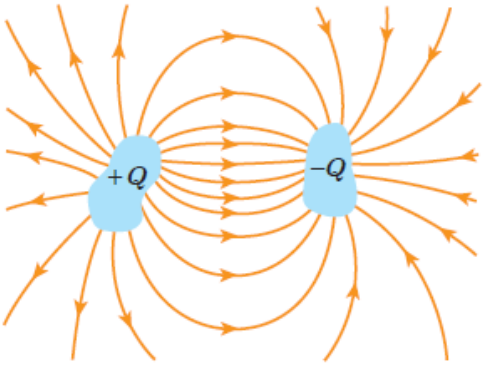
. دو کرهٔ رسانای A و B به شعاع r_A و $r_B=۲r_A$ و چگالی سطحی بار σ_A و $\sigma_B=۲\sigma_A$ دارای بار الکتریکی مثبت‌اند. چند درصد از بار کرهٔ بزرگ‌تر به کرهٔ کوچک‌تر منتقل شود تا نسبت بار کره‌ها برابر نسبت شعاع آن‌ها شود؟ (سراسری ریاضی- ۹۳)

۱) ۱۵ ۲) ۲۵ ۳) ۵۰ ۴) ۷۵

۱ـ۱۰ خازن

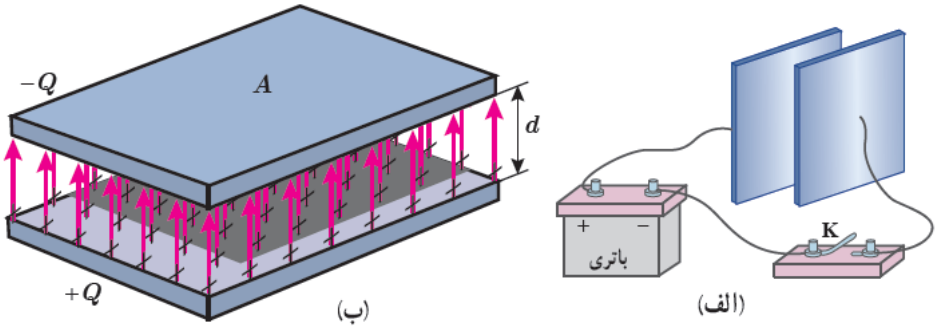
خازن وسیله‌ای الکتریکی است که می‌تواند بار و انرژی الکتریکی را در خود ذخیره کند؛ مثلاً باتری‌های یک دوربین با باردار کردن یک خازن، انرژی را در خازن فلاش دوربین ذخیره می‌کنند (شکل۱ـ۳۵). باتری‌ها معمولاً می‌توانند انرژی را فقط با آهنگ نسبتاً کمی به مدار بدهند که این آهنگ برای گسیل نور از فلاش دوربین بسیار کم است، اما وقتی خازن باردار می‌شود، می‌تواند انرژی را با آهنگ بسیار زیادی برای فلاش زدن آماده کند.

سوال : تفاوت خازن و باتری را بیان کنید.



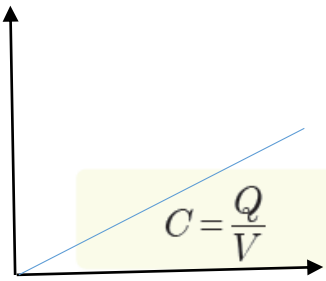
شکل ۱ـ۳۷ اجزای اصلی یک خازن باردار

سوال : نماد خارن در مدارهای الکتریکی چگونه است؟ خازن چگونه شارژ می شود؟



شکل ۱ـ ۴۰ الف) یک روش برای باردار کردن خازن، اتصال صفحه‌های آن به یک باتری است. ب) صفحه‌های این خازن بارهایی هم‌اندازه و با علامت مخالف پیدا می‌کنند. میدان الکتریکی از صفحهٔ مثبت به سمت صفحهٔ منفی است.

سوال: نمودار q-v یک خازن را رسم کنید . شیب این نمودار نشان دهنده چه کمیتی است؟



$$C = \frac{Q}{V} \qquad (۱۵_۱)$$

در رابطهٔ ۱ــ۱۵ یکای بار الکتریکی، کولن (C)، یکای اختلاف پتانسیل، ولت (V) و بنابراین یکای ظرفیت، کولن بر ولت (C/V) می‌شود که به پاس خدمات مایکل فاراده، فاراد (F) نامیده شده است. فاراد یکای بسیار بزرگی است و عملاً ظرفیت اکثر خازن‌های متداول در محدودهٔ پیکوفاراد ($۱۰^{-۱۲}$F) تا میلی‌فاراد ($۱۰^{-۳}$F) است. گرچه امروزه فنّاوری ساخت خازن‌ها، دستیابی به ظرفیت‌هایی بسیار بیشتر را نیز ممکن ساخته است.

۲۴ اگر ساختمان یک خازن را تغییر ندهیم، در هریک از شرایط زیر ظرفیت خازن چگونه تغییر می‌کند؟

الف) بار آن دو برابر شود.

ب) اختلاف پتانسیل میان صفحه‌های آن سه برابر شود.

۲۵ اختلاف پتانسیل بین دو صفحهٔ یک خازن را از ۲۸ ولت به ۴۰ ولت افزایش می‌دهیم. اگر با این کار ۱۵ میکروکولن بر بار ذخیره شده در خازن افزوده شود، ظرفیت خازن را حساب کنید.

سوال: عوامل موثر در ظرفیت خازن تخت را بنویسید.

به عنوان مثالی از کاربرد دی‌الکتریک، خازن تختی را در نظر بگیرید. آزمایش و محاسبه نشان می‌دهد که ظرفیت یک خازن تخت با مساحت صفحه های A وفاصلهٔ جدایی صفحه‌های d، از رابطهٔ زیر به دست می‌آید :

$$C_{\circ} = \varepsilon_{\circ} \frac{A}{d} \qquad (۱۷_۱)$$

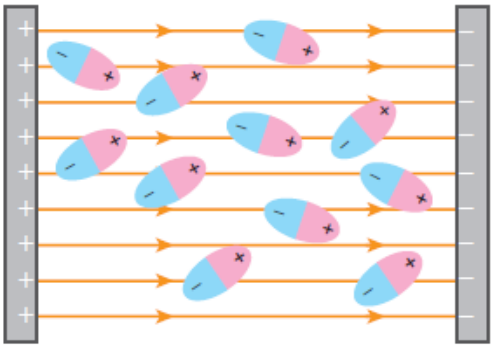
حال اگر فضای بین صفحه‌های این خازن را با یک دی‌الکتریک با ثابت دی‌الکتریک κ کاملاً پر کنیم، طبق رابطه ۱ــ۱۶ برای ظرفیت خازن جدید داریم :

$$C = \kappa\varepsilon_{\circ} \frac{A}{d} \qquad (۱۸_۱)$$

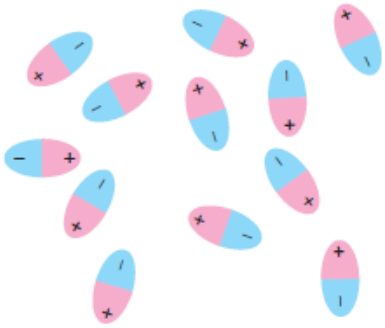
سوال:چرا دی الکتریک باعث افزایش ظرفیت خازن می شود؟

جدول ۱ــ۴ــ ثابت دی الکتریک برخی عایق‌ها در دمای $20^{\circ}C$

مادهٔ دی‌الکتریک	ثابت دی‌الکتریک
هوای ۱atm	۱/۰۰۰۶
تفلون	۲/۱
پارافین	۲/۲
پلی‌استیرن	۲/۶
میلار	۳/۱
پی‌وی‌سی	۳/۴
کاغذ	۳/۵
کوارتز	۴/۳
شیشهٔ پیرکس	۵
میکا	۷
آب خالص	۸۰
تیتانید استرانسیوم	۳۱۰

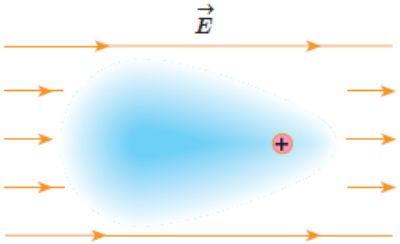


ب) در حضور میدان الکتریکی، مولکول‌های قطبی می‌کوشند خود را در جهت میدان الکتریکی خارجی هم‌ردیف کنند.

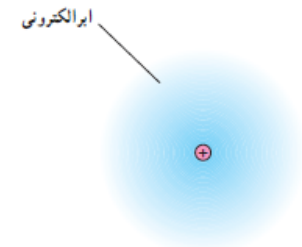


الف) در نبود میدان الکتریکی، سمت‌گیری مولکول‌های دوقطبی نامنظم است.

شکل ۱ــ۴۲



ب) در حضور میدان الکتریکی، مرکز بارهای مثبت و منفی از هم جدا می شوند و ابرالکترونی در خلاف جهت میدان جابه جا می شود.

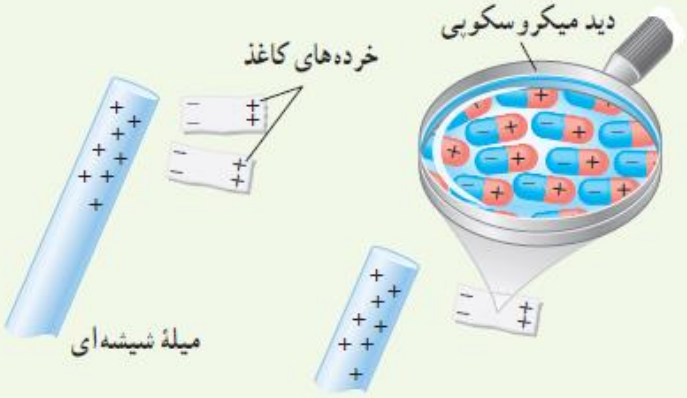


الف) درنبود میدان الکتریکی، مرکز بارهای مثبت و منفی برهم منطبق‌اند.

شکل ۱ــ۴۳

۲۶ بادکنک باردار شکل زیر را به آب نزدیک کرده‌ایم. توضیح دهید چرا آب به‌جای اینکه به‌طور قائم فرو ریزد، خمیده می‌شود؟

۲۷ با توجه به شکل زیر توضیح دهید چرا یک میلهٔ باردار، خرده‌های کاغذ را می‌رباید؟



۲۹ یک خازن تخت به یک باتری بسته شده است تا باردار شود. پس از مدتی، درحالی‌که باتری همچنان به خازن متصل است، فاصلهٔ بین صفحه‌های خازن را دو برابر می‌کنیم. کدام‌یک از موارد زیر درست است؟

الف) میدان الکتریکی میان صفحه‌ها نصف می‌شود.

ب) اختلاف پتانسیل میان صفحه‌ها نصف می‌شود.

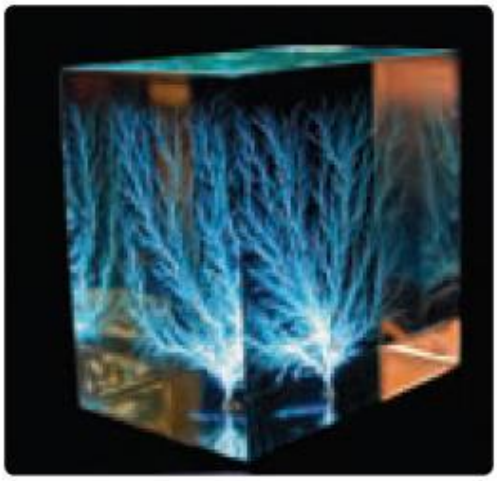
پ) ظرفیت خازن دو برابر می شود.

ت) بار روی صفحه‌ها تغییر نمی‌کند.

۳۰ مساحت هریک از صفحه‌های خازن تختی، $۱/۰۰\ m^۲$ و فاصلهٔ دو صفحه از هم، $۰/۵۰۰\ mm$ است. عایقی با ثابت دی‌الکتریک ۴/۹ بین دو صفحه قرار داده شده است. ظرفیت خازن را تعیین کنید.

سوال : فروریزش الکتریکی خازن را نعریف کنید.

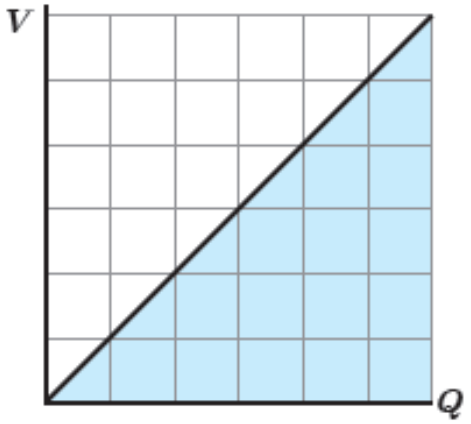
فروریزش الکتریکی : اثر دیگر حضور دی الکتریک‌ها درخازن، افزایش حداکثر ولتاژ قابل تحمل خازن است. اگر اختلاف پتانسیل دو صفحهٔ یک خازن را به اندازهٔ کافی زیاد کنیم، تعدادی از الکترون‌های اتم‌های مادهٔ دی‌الکتریک، توسط میدان الکتریکی ایجادشده بین دو صفحه، کنده می‌شوند و مسیرهایی رسانا درون دی‌الکتریک[1] ایجاد می‌شود (شکل ۱ـ۴۵) که سبب تخلیهٔ خازن می‌گردد. به این پدیده فروریزش الکتریکی[2] مادهٔ دی‌الکتریک می‌گویند. فروریزش الکتریکی در عایق بین دو صفحهٔ خازن‌ها معمولاً، با ایجاد یک جرقه همراه است و در بیشتر مواقع خازن را می‌سوزاند. خازن‌ها معمولاً با مقدار ظرفیت آنها و اختلاف پتانسیل بیشینه‌ای که می‌توانند تحمل کنند مشخص می‌شوند (شکل ۱ـ۴۶).



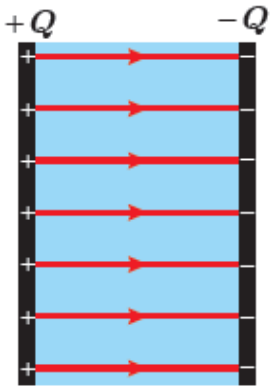
شکل ۱ـ۴۵ نقش‌های لیچنبرگ. فروریزش الکتریکی باعث تشکیل مسیرهای رسانشی سرخس شکلی در دی الکتریک شده است.

شکل ۱ـ۴۶ تصویری از یک خازن که روی آن ظرفیت و اختلاف پتانسیل بیشینهٔ قابل تحمل نوشته شده است.

سوال : اگر مساحت زیر نمودار q-v در خازن برابر انرژی الکتریکی ذخیره شده در خازن باشد . اولا این انرژی الکتریکی در کجای خازن ذخیره شده است و ثانیا از چه روابطی بدست می آید.



شکل ۱ــ۴۷ نمودار ولتاژ برحسب بار برای خازنی که توسط یک باتری باردار می شود.



شکل ۱ــ۴۸ انرژی در میدان الکتریکی بین صفحات خازن ذخیره می‌شود.

این کار به‌صورت انرژی پتانسیل الکتریکی در میدان الکتریکی فضای بین صفحه‌های خازن ذخیره می‌شود (شکل ۱ــ۴۸) :

$$U_{\text{خازن}} = \frac{1}{2}QV = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C} \qquad (۱ــ۱۹)$$

که در آن انرژی پتانسیل الکتریکی خازن ($U_{\text{خازن}}$) برحسب ژول (J)، بار خازن (Q) برحسب کولن (C)، اختلاف پتانسیل دو صفحهٔ خازن (V) برحسب ولت (V) و ظرفیت خازن (C) برحسب فاراد (F) است.

مثال ۱ــ۱۸

مدار یک فلاش عکاسی، انرژی را با ولتاژ ۳۳۰V، در یک خازن ۶۶۰μF، ذخیره می‌کند. الف) چه مقدار انرژی الکتریکی در این خازن ذخیره می‌شود؟ ب) اگر تقریباً همهٔ این انرژی در مدت ۱/۰ ms آزاد شود، توان متوسط خروجی فلاش چقدر است؟

پاسخ : با توجه به رابطهٔ ۱ــ۱۹ داریم

$$U = \frac{۱}{۲}CV^{۲} = \frac{۱}{۲}(۶۶۰ \times ۱۰^{-۶}\text{F})\,(۳۳۰\text{V})^{۲} = ۳۵/۹\ \text{J}$$

با توجه به تعریف توان داریم :

$$\overline{P} = \frac{U}{t} = \frac{۳۵/۹\text{J}}{۱/۰ \times ۱۰^{-۳}\text{s}} = ۳/۶ \times ۱۰^{۴}\,\text{J/s} = ۳۶\text{kW}$$

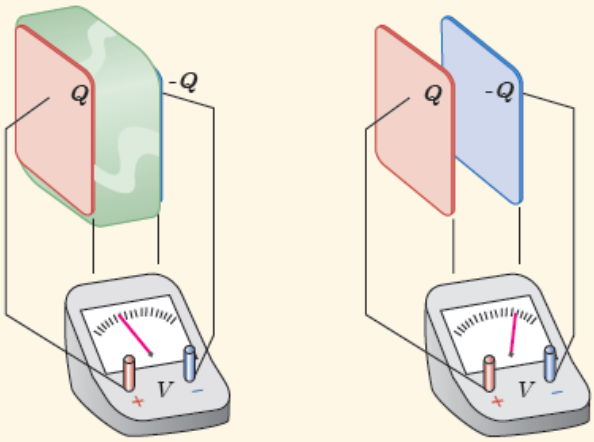
که این در تأیید گفته ای است که در ابتدای بخش ۱ــ۱۰ در مورد خازن بیان کردیم و گفتیم یک خازن باردار می‌تواند انرژی را با آهنگ بسیار بیشتری از یک باتری برای فلاش دوربین مهیّا کند.

۳۱ دو صفحهٔ خازن تخت بارداری را به هم وصل می‌کنیم. در نتیجه جرقه‌ای زده می‌شود. حال اگر دوباره صفحات را به همان اندازه باردار کنیم ولی فاصلهٔ آنها را دو برابر کنیم و سپس دو صفحه را به هم وصل کنیم، آیا جرقهٔ حاصل بزرگ‌تر از قبل می‌شود، یا کوچک‌تر و یا تغییری نمی‌کند؟ توضیح دهید.

۳۲ ظرفیت خازنی ۱۲ میکروفاراد و بارالکتریکی آن q است. اگر $+۳/۰\,\text{mC}$ بار الکتریکی را از صفحهٔ منفی جداکرده و به صفحهٔ مثبت منتقل کنیم، انرژی ذخیره‌شده در خازن به اندازهٔ $۸/۰\,\text{J}$ زیاد می‌شود. q را محاسبه کنید.

پرسش ۱ـ۶

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.)



یک خازن مسطح را به باتری وصل کرده تا بار q_1 پیدا کند و سپس آن را از باتری جدا می‌کنیم. اگر یک قطعه دی‌الکتریک میان صفحات خازن وارد شود، کدام گزینه دربارهٔ انرژی خازن، اختلاف پتانسیل و بار نسبت به حالت قبل درست است؟

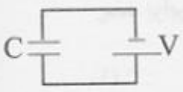
۱) $q_2 < q_1 ، V_2 < V_1 ، U_2 = U_1$

۲) $q_2 > q_1 ، V_2 > V_1 ، U_2 < U_1$

۳) $q_2 = q_1 ، V_2 = V_1 ، U_2 = U_1$

۴) $q_2 = q_1 ، V_2 < V_1 ، U_2 < U_1$

در مدار شکل روبه‌رو در حالی‌که باتری به خازن متصل است، فاصلهٔ بین صفحات خازن را زیاد می‌کنیم. کدام گزینه درست است؟



۱) ظرفیت و بار خازن هر دو کم می‌شوند.

۲) ظرفیت کم و بار ثابت می‌ماند.

۳) بزرگی میدان الکتریکی بین صفحات خازن افزایش می‌یابد.

۴) بزرگی میدان بین صفحات ثابت می‌ماند.

اگر صفحات خازن بارداری با بار ۱۲mC را به یکدیگر وصل کنیم، انرژی ذخیره‌شده به‌صورت جرقه و طی مدت ۰/۱ms تخلیه می‌شود. اگر توان الکتریکی ۱۴۴ کیلووات باشد، ظرفیت خازن چند نانوفاراد است؟

۱) ۸۰۰ ۲) ۲۴۰۰ ۳) ۴۸۰۰ ۴) ۵۰۰۰