

الکتریسیته ساکن

# فیزیک یازدهم

تهیه و تنظیم: عرفان بیدی

Fi\_Lambda

هر اتم در حالت معمولی به تعداد مساوی، الکترون و پروتون دارد و از نظر بار الکتریکی خنثی است یعنی  $N_e = N_p$ . اگر این تساوی را به هم بزنیم، می‌گوییم جسم دارای بار الکتریکی شده است. اگر از یک ذره یا جسم خنثی  $n$  الکترون بکنیم، تعداد پروتون‌های جسم،  $n$  تا بیش‌تر از تعداد الکترون‌های باقی‌مانده‌اش می‌شود، در این حالت بار جسم،  $n$  برابر بار پروتون می‌شود:

$$q = n \times \text{بار پروتون} = n \times (+e) = +ne$$

اگر روی جسم خنثی  $n$  الکترون اضافی بنشانیم، تعداد الکترون‌های جسم  $n$  تا بیش‌تر از تعداد پروتون‌هایش می‌شود در این حالت بار جسم،  $n$  برابر بار الکترون می‌شود:

$$q = n \times \text{بار الکترون} = n \times (-e) = -ne$$

بنابراین می‌توان گفت، بار الکتریکی هر جسم مضرب صحیحی از بار پایه است:

$$q = \pm ne \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots, \quad e = 1/6 \times 10^{-19} \text{C}$$

**تست ۱** از این مقادیر، کدام نمی‌تواند بار الکتریکی یک ذره باشد؟ ( $e = 1/6 \times 10^{-19} \text{C}$ )

$$+5/2 \times 10^{-10} \text{C} \quad \textcircled{2}$$

$$+4/8 \times 10^{-19} \text{C} \quad \textcircled{1}$$

$$-11/52 \times 10^{-15} \text{C} \quad \textcircled{4}$$

$$-8/0 \times 10^{-20} \text{C} \quad \textcircled{3}$$

**تست ۲** کدام عبارت صحیح است؟ (عدد اتمی کربن برابر ۶ و  $e = 1/6 \times 10^{-19} C$ )

۱ بار الکتریکی هسته یون  $C^{2+}$  برابر  $3/2 \times 10^{-19}$  کولن است.

۲ بار الکتریکی هسته یون  $C^{2+}$  برابر  $9/6 \times 10^{-19}$  کولن است.

۳ بار الکتریکی هسته یون  $C^{2+}$  برابر صفر است.

۴ بار الکتریکی هسته یون  $C^{2+}$  برابر  $6/4 \times 10^{-19}$  کولن است.

**تست ۳** بار الکتریکی یک جسم  $+8 \mu C$  است. کدام گزینه الزاماً درست است؟ ( $e = 1/6 \times 10^{-19} C$ )

۱ در این جسم  $5 \times 10^{13}$  الکترون وجود دارد.

۲ در این جسم  $5 \times 10^{13}$  پروتون وجود دارد.

۳ از جسمی دیگر  $5 \times 10^{13}$  پروتون به این جسم، انتقال یافته است.

۴ از این جسم  $5 \times 10^{13}$  الکترون به جسمی دیگر، منتقل شده است.

**تست ۴** در اثر مالش، یک جسم خنثی به جرم  $m$ ، دارای بار الکتریکی  $q$  می شود و جرم آن  $m'$  می شود. اگر

حاصل  $m' - m = +7/2 \times 10^{-16} kg$  باشد، بار الکتریکی  $q$  کدام است؟ ( $e = 1/6 \times 10^{-19} C$ ) و جرم الکترون برابر

$me = 9 \times 10^{-31} kg$  است.)

۱  $+128 \mu C$       ۲  $-128 \mu C$       ۳  $-7/2 mC$       ۴  $+7/2 mC$

### اصل پایستگی بار الکتریکی

مجموع جبری همه بارهای الکتریکی در یک دستگاه منزوی ثابت است. یعنی بار می تواند از جسمی به جسم دیگر منتقل شود ولی هرگز امکان تولید یا نابودی یک بار خالص وجود ندارد:

$$q_1 + q_2 + q_3 + \dots = q'_1 + q'_2 + q'_3 + \dots$$

کل بار دستگاه قبل از تبادل بار بین اجزاء

کل بار دستگاه پس از تبادل بار بین اجزاء

**تذکر** بارها را باید با علامت قرار دهیم.

## تست ۵

جسم A دارای بار  $-1/6 \times 10^{-13} \text{ C}$  و جسم B بدون بار است. اگر دو میلیون الکترون از جسم A به جسم B منتقل شود بار جسم‌های A و B به ترتیب از راست به چپ چند کولن خواهد شد؟ ( $e = 1/6 \times 10^{-19} \text{ C}$ )

۱  $-1/6 \times 10^{-13} \text{ C}$  و  $+1/6 \times 10^{-13} \text{ C}$

۲  $-3/2 \times 10^{-13} \text{ C}$  و  $+3/2 \times 10^{-13} \text{ C}$

۳  $-3/2 \times 10^{-13} \text{ C}$  و  $+1/6 \times 10^{-13} \text{ C}$

۴  $-3/2 \times 10^{-13} \text{ C}$  و  $-4/8 \times 10^{-13} \text{ C}$

## ایجاد بار به روش مالش

در این روش، با انتقال تعدادی الکترون از یک جسم به جسم دیگر، تعادل بارها در اتم خنثی برهم می‌خورد.

به دست آوردن یا از دست دادن الکترون دو جسم را در این روش می‌توان براساس جدولی به نام سری الکتریسیته مالشی (تریبوالکتریک) معلوم کرد. در این جدول مواد پائین‌تر الکترون‌خواهی بیش‌تر دارند.

سری الکتریسیته

مالشی (تریبوالکتریک)<sup>۱</sup>

انتهای مثبت سری

موی انسان

شیشه

نایلون

پشم

موی گربه

سُرب

ایریشم

آلومینیم

پوست انسان

کاغذ

چوب

پارچه کتان

کهریا

برنج، نقره

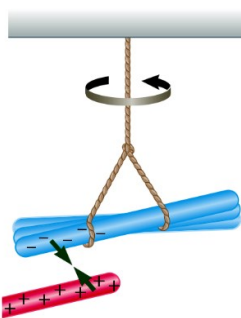
پلاستیک، پلی‌اتیلن

لاستیک

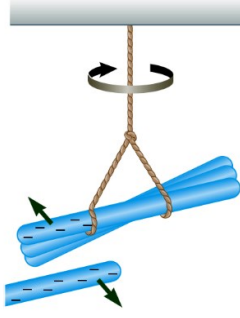
تفلون

انتهای منفی سری

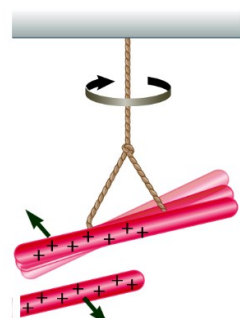
تذکره در این روش بین دو جسم جاذبه ایجاد می‌شود.



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



ب) وقتی دو میله پلاستیکی را با پارچه پشمی مالش دهیم، همدیگر را دفع می‌کنند.



الف) وقتی دو میله شیشه‌ای را با پارچه ابریشمی مالش دهیم، همدیگر را دفع می‌کنند.

## تست ۶

یک میله پلاستیکی را با پارچه‌ای پشمی مالش می‌دهیم. پس از مالش، اندازه بار الکتریکی میله پلاستیکی  $1/12 \text{ nC}$  می‌شود. به ترتیب، بار الکتریکی ایجاد شده در میله پلاستیکی چند نانوکولن و تعداد الکترون‌های جابه‌جا شده میان پارچه پشمی و میله پلاستیکی، کدام است؟ ( $e = 1/6 \times 10^{-19} \text{ C}$ )

انتهای مثبت سری

پشم

پلاستیک

انتهای منفی سری

۱  $7 \times 10^9, -1/12$

۲  $7 \times 10^9, +1/12$

۳  $7 \times 10^{11}, -1/12$

۴  $7 \times 10^{11}, +1/12$

## ایجاد بار به روش تماس

به‌طور کلی وقتی یک جسم باردار با یک جسم بدون بار تماس پیدا می‌کند، بار از جسم باردار به جسم بدون بار منتقل می‌شود.

## نکته

اگر دو گوی رسنا و هم‌اندازه دارای بارهای  $q_1$  و  $q_2$  باشند و آن‌ها را با هم تماس دهیم بار آن‌ها  $q'_1$  و  $q'_2$  خواهد شد به‌طوری‌که:

$$q'_1 = q'_2 = \frac{q_1 + q_2}{2}$$

## تست ۷

بار پارچه‌ای  $50 \text{ nC}$ ، بار میله‌ای پلاستیکی  $20 \text{ nC}$  و بار یک گلوله فلزی  $100 \text{ nC}$  است میله را با پارچه مالش داده و سپس با گوی تماس می‌دهیم. بار نهایی پارچه و میله  $100 \text{ nC}$  و  $40 \text{ nC}$  می‌شود بار نهایی گلوله چند نانوکولن است؟

۴  $+70$

۳  $-70$

۲  $-130$

۱  $130$

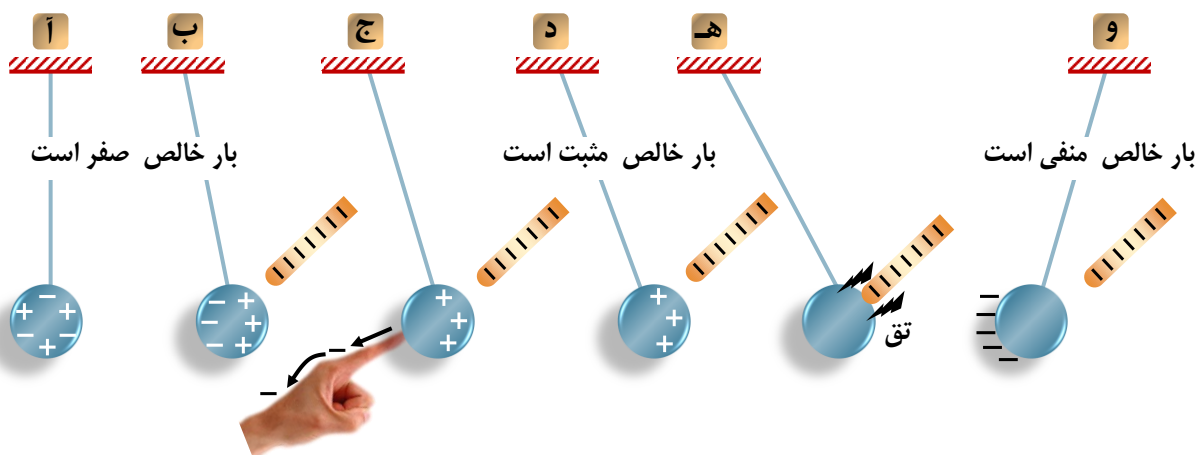
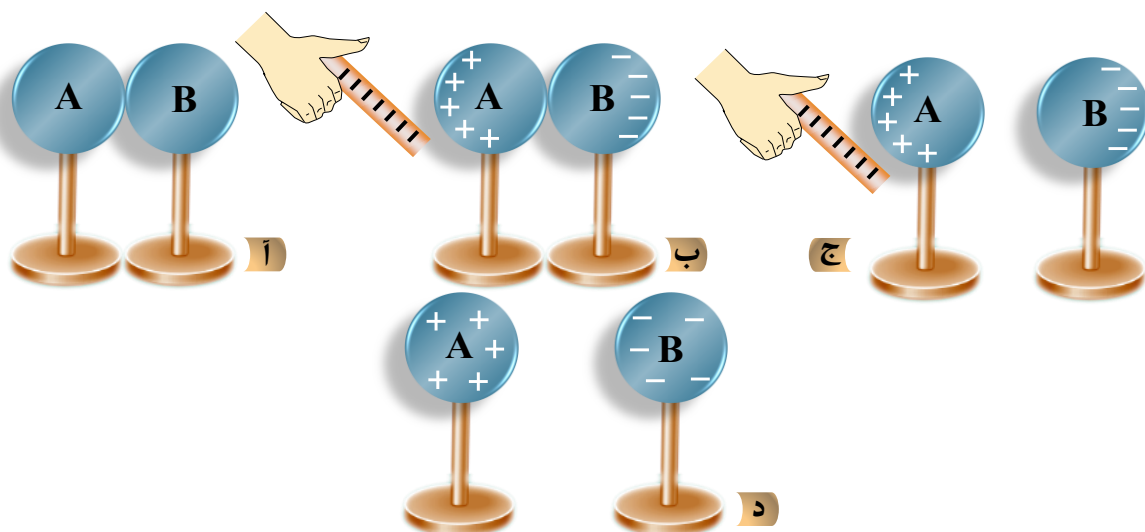


**تست ۸** دو کره فلزی مشابه A و B روی پایه‌های عایقی قرار دارند و به ترتیب دارای بارهای  $+20\text{nc}$  و  $-4\text{nc}$  با

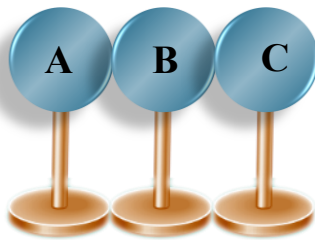
تماس این دو کره به یکدیگر، ..... الکترون از ..... منتقل می‌شود. ( $e = 1/6 \times 10^{-19}\text{C}$ )

- ۱  $5 \times 10^{10}$  کره A به کره B  
 ۲  $5 \times 10^{10}$  کره B به کره A  
 ۳  $7/5 \times 10^{10}$  کره A به کره B  
 ۴  $7/5 \times 10^{10}$  کره B به کره A

❖ ایجاد بار به روش القاء



**تست ۹** مطابق شکل، سه کره رسانای A و B و C را در مجاورت میله‌ای با بار مثبت در تماس با هم قرار می‌دهیم در کدام حالت، C دارای بار مثبت، A و B دارای بار منفی خواهند شد؟



۱ ابتدا A را از مجموعه دور کنیم و سپس میله را دور کرده و B و C را جدا کنیم.

۲ ابتدا C را از مجموعه دور کنیم و سپس میله را دور کرده و A و B را جدا کنیم.

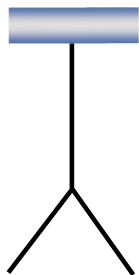
۳ میله را ثابت نگه داریم و سپس A و B و C را جدا کنیم.

۴ ابتدا میله را دور کرده و سپس A و B و C را جدا کنیم.

### الکتروسکوپ یا برق‌نما

از این وسیله برای تشخیص باردار بودن اجسام و هم‌چنین نوع بار آن‌ها استفاده می‌شود. اگر جسم **بارداری** را به الکتروسکوپ **بدون باری** نزدیک کنیم، مستقل از نوع بار جسم، ورقه‌های الکتروسکوپ از هم دور می‌شوند.

برای تشخیص نوع بار جسم، الکتروسکوپ نیز باید دارای بار الکتریکی باشد.



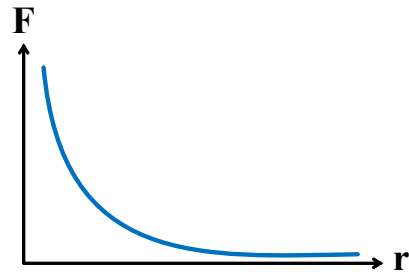
| نوع بار الکتروسکوپ | نوع بار جسم                      | تاثیر روی ورقه‌ها |
|--------------------|----------------------------------|-------------------|
| منفی               | منفی                             |                   |
| مثبت               | مثبت                             |                   |
| منفی               | مثبت ولی کمتر از بار الکتروسکوپ  |                   |
| مثبت               | منفی ولی کمتر از بار الکتروسکوپ  |                   |
| منفی               | مثبت ولی بیشتر از بار الکتروسکوپ |                   |
| مثبت               | منفی ولی بیشتر از بار الکتروسکوپ |                   |

## قانون کولن

اندازه نیروی الکتریکی (الکتروستاتیکی) بین دو بار نقطه‌ای که در راستای خط واصل آن‌ها اثر می‌کند، با حاصل ضرب بزرگی آن‌ها متناسب است و با مربع فاصله بین آن‌ها نسبت وارون دارد. اندازه این نیرو برابر است با:

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

$$\begin{cases} F \propto |q_1| |q_2| \\ F \propto \frac{1}{r^2} \end{cases}$$



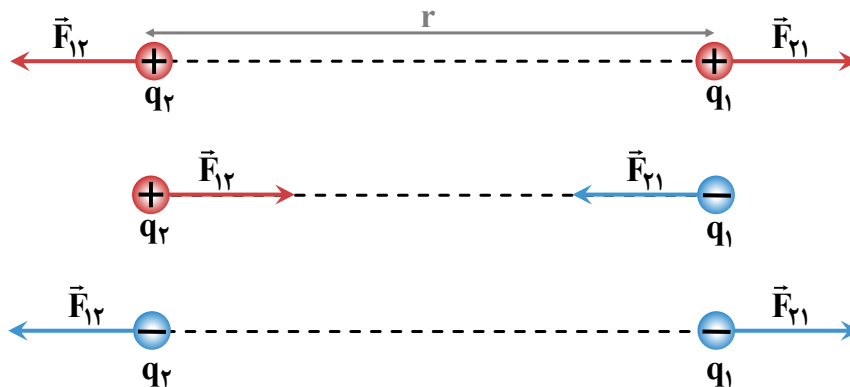
•  $q_1, q_2$ : بارهای الکتریکی بر حسب کولن

•  $r$ : فاصله بین دو بار بر حسب متر

•  $k$ : ثابت کولن نام دارد که مقدار آن در خلأ تقریباً برابر  $9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$  است.

اگر نیرویی که بار  $q_1$  به  $q_2$  وارد می‌کند، برابر  $\vec{F}_{12}$  و نیرویی که بار  $q_2$  به  $q_1$  وارد می‌کند، برابر  $\vec{F}_{21}$  باشد، طبق قانون سوم نیوتن:

$$\begin{cases} \vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} \\ F_{12} = F_{21} \end{cases}$$



**تذکر** اگر اندازه  $q_1$  و  $q_2$  بر حسب میکروکولن و  $r$  بر حسب سانتی‌متر باشد، می‌توان  $K$  را برابر ۹۰ قرار داد.



**تست ۱۰** فاصله میان دو پروتون چقدر باشد تا نیروی دافعه وارد بر هر کدام برابر وزن پروتون در سطح زمین باشد؟ ( $m_p = 1/6 \times 10^{-27} \text{ kg}$  و  $q_p = 1/6 \times 10^{-19} \text{ C}$ ,  $g = 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$ )

۶۰ cm (۴)

۶ cm (۳)

۱۲ cm (۲)

۱/۲ cm (۱)

**تست ۱۱** دو بار الکتریکی  $q_1 = q$  و  $q_2 = -q$  در فاصله مشخصی از یکدیگر قرار دارند و به یکدیگر نیروی  $F$  وارد می‌کنند. اگر از بار  $q_1$ ، ۲۰ درصد بکاهیم و آن را به بار  $q_2$  بیفزاییم، بزرگی نیروی الکتریکی میان آن‌ها در همان فاصله، چند درصد تغییر می‌کند؟

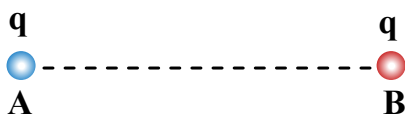
۹۶ (۴)

۶۴ (۳)

۳۶ (۲)

۴ (۱)

**تست ۱۲** مطابق شکل زیر، بارهای الکتریکی مثبت و هم‌اندازه  $q$  در جای خود ثابت شده‌اند و به یکدیگر نیروی الکتریکی به بزرگی  $F$  وارد می‌کنند اگر تعدادی الکترون از جسم  $A$  به جسم  $B$  منتقل کنیم تا بار جسم  $B$  برابر  $-2q$  شود در این صورت بزرگی نیرویی که دو ذره به هم وارد می‌کنند چند برابر  $F$  می‌شود؟



۲ (۱)

۴ (۲)

۶ (۳)

۸ (۴)

**تمرین ۱۳** بارهای  $q_1 = q_2 = +5 \mu\text{C}$  به ترتیب در نقاطی به مختصات  $(0, 0)$  و  $(4\text{m}, 3\text{m})$  ثابت شده‌اند.  $\vec{F}_{21}$  بر حسب بردارهای یکه چگونه است؟

تست ۱۴

دو بار الکتریکی در فاصله ۸cm از یکدیگر قرار دارند. اندازه یکی از بارها را  $\frac{3}{8}$  و اندازه بار دیگر را  $\frac{1}{6}$  برابر کرده‌ایم. فاصله میان دو بار را چند سانتی‌متر تغییر دهیم تا بزرگی نیروی میان دو بار تغییری نکند؟

۱) ۲

۲) ۶

۳) ۲۴

۴) ۳۲

تست ۱۵

دو بار  $+Q$  که در یک فاصله معین قرار دارند. نیرویی برابر  $F$  به یکدیگر وارد می‌کنند. چند درصد از بار یکی را برداشته و به دیگری اضافه کنیم تا در همان فاصله نیروی بین آن‌ها  $\frac{15}{16}F$  شود؟

۱) ۱۵

۲) ۱۶

۳) ۲۰

۴) ۲۵

تست ۱۶

دو گلوله رسانای کوچک و مشابه با بارهای الکتریکی  $+8nc$  و  $+2nc$  که در فاصله ۲۰cm از یکدیگر قرار دارند را به یکدیگر تماس می‌دهیم. فاصله دو گلوله را پس از تماس، چند سانتی‌متر و چگونه تغییر دهیم تا بزرگی نیروی الکتروستاتیکی میان آن‌ها تغییر نکند؟

۱) ۴، کاهش

۲) ۴، افزایش

۳) ۵، کاهش

۴) ۵، افزایش

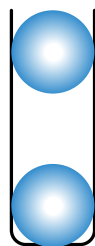
تذکر

اگر دو کره رسانای مشابه، دارای بارهای هم‌نام  $q_1$  و  $q_2$  ( $q_1 \neq q_2$ ) باشند و در فاصله مشخصی از هم قرار داشته باشند و به هم نیروی  $F$  وارد کنند. حال اگر آن‌ها را به هم تماس دهیم و مجدداً در همان فاصله قبل قرار دهیم، نیرویی که به هم وارد می‌کنند به بیشینه مقدار خود می‌رسد.

**تست ۱۷** دو کره فلزی خیلی کوچک و مشابه دارای بار الکتریکی ناهمنام  $q_1$  و  $q_2$  هستند و در فاصله  $60\text{cm}$  از هم قرار دارند و بر هم نیروی الکتریکی  $9/0\text{N}$  وارد می کنند. اگر کره ها را به هم تماس دهیم و دوباره به همان فاصله قبلی از هم دور کنیم، نیروی الکتریکی  $1/6\text{N}$  به هم وارد می کنند.  $q_1$  چند میکروکولن است؟

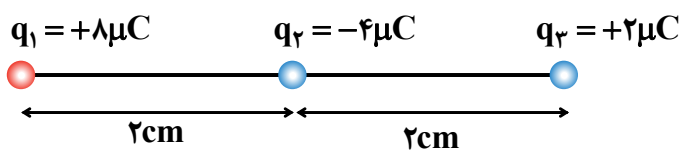
- ۱) ۱      ۲) ۲      ۳) ۱۰      ۴) ۲۰

**تست ۱۸** در شکل مقابل دو گوی رسانای بسیار کوچک در فاصله  $18\text{cm}$  از هم در حال تعادل قرار دارند. گوی شماره ۱ در اثر مالش با جسمی  $4/5 \times 10^{10}$  الکترون و گوی شماره ۲ در اثر مالش  $2/5 \times 10^{10}$  الکترون دریافت کرده است. اگر ظرف عایق و دیواره ظرف بدون اصطکاک باشد جرم گوی بالایی کدام است؟



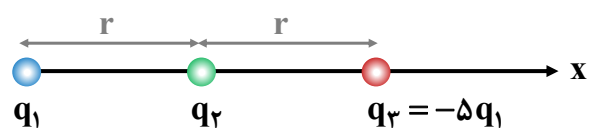
- ۱)  $8\mu\text{g}$       ۲)  $8\text{mg}$       ۳)  $8\text{ng}$       ۴)  $8\text{dg}$

**تست ۱۹** در شکل زیر، اندازه نیروی خالص وارد بر بار  $q_1$  ..... برابر اندازه نیروی خالص وارد بر بار  $q_3$  و ..... است.



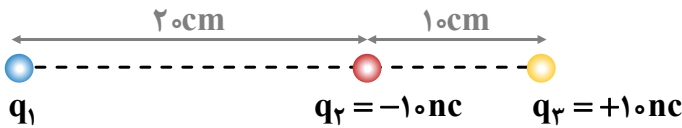
- ۱) ۷، هم جهت با آن      ۲) ۳، هم جهت با آن  
۳) ۷، در خلاف جهت آن      ۴) ۳، در خلاف جهت آن

**تست ۲۰** در شکل زیر سه ذره باردار روی محور  $x$  قرار دارند و به بار  $q_2$  نیروی الکتریکی خالص  $F$  وارد می شود. اگر بار  $q_3$  روی محور  $x$  به اندازه  $\frac{4r}{5}$  به بار  $q_2$  نزدیک شود نیروی خالص وارد بر بار  $q_2$  چند برابر  $F$  می شود؟



- ۱) ۲۵      ۲) ۲۱      ۳)  $\frac{13}{3}$       ۴)  $\frac{25}{6}$

**تست ۲۱** در شکل مقابل نیروی خالص وارد بر بار  $q_3$  صفر است. اگر بدون تغییر در  $q_2$  و  $q_3$ ، بار  $q_1$  را دو برابر کنیم اندازه نیروی خالص وارد بر  $q_3$  چند نیوتون و به کدام طرف می‌شود؟



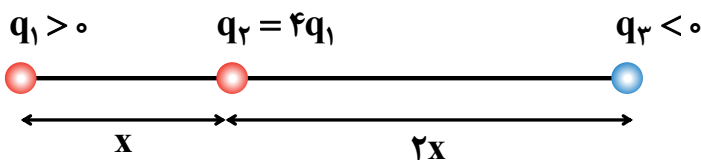
۱  $\rightarrow, 9 \times 10^{-5}$

۲  $\leftarrow, 9 \times 10^{-5}$

۳  $\leftarrow, 18 \times 10^{-5}$

۴  $\rightarrow, 18 \times 10^{-5}$

**تست ۲۲** مطابق شکل زیر، سه ذره باردار روی محوری قرار دارند، بزرگی نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار  $q_1$ ،  $\frac{17}{27}$  برابر بزرگی نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار  $q_2$  است.  $|\frac{q_3}{q_1}|$  کدام است؟



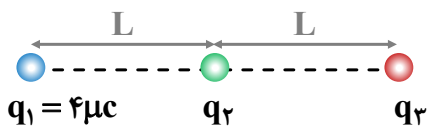
۲ ۴

۱ ۲

۴  $\frac{1}{4}$

۳  $\frac{1}{2}$

**تست ۲۳** در شکل زیر برآیند نیروهای الکتریکی وارد بر بار  $q_3$  هم اندازه نیروی الکتریکی است که بار  $q_1$  بر  $q_3$  وارد می‌کند.  $q_2$  چند میکروکولن است؟



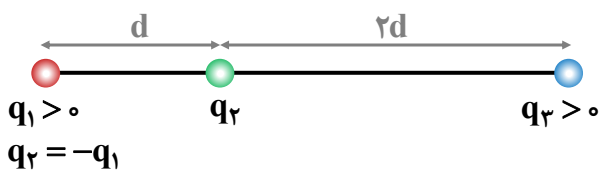
۲ ۲

۱ ۸

۴ -۸

۳ -۲

**تست ۲۴** سه بار نقطه‌ای مطابق شکل زیر ثابت شده‌اند اگر برآیند نیروهای الکتریکی وارد بر بار  $q_1$  هم اندازه برآیند نیروهای الکتریکی وارد بر بار  $q_2$  باشد.  $\frac{q_3}{q_1}$  کدام است؟



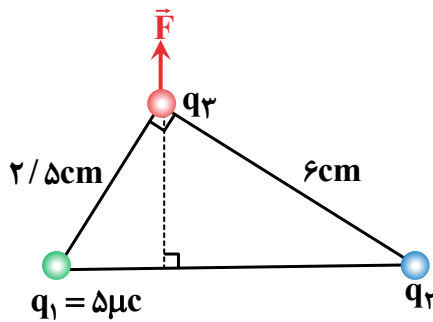
۲  $\frac{13}{8}$

۱  $\frac{8}{13}$

۴  $\frac{72}{13}$

۳  $\frac{13}{72}$

**تست ۲۵** دو ذره باردار  $q_1$  و  $q_2$  مطابق شکل زیر قرار دارند. نیرو الکتریکی خالص ناشی از دو ذره باردار بر بار  $q_3$  برابر  $\vec{F}$  است.  $q_2$  چند میکروکولن است؟



- ۱) ۱۰۸  
۲) ۱۲  
۳) ۲۴  
۴) ۶

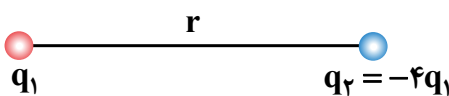
### میدان الکتریکی

در فضای اطراف هر بار الکتریکی، خاصیتی وجود دارد به طوری که اگر بار دیگری در این فضا قرار بگیرد به آن نیرو وارد می شود. به این خاصیت میدان الکتریکی گفته می شود. اگر باری مانند  $q'$  در نقطه ای از یک میدان قرار گیرد و به آن نیروی  $\vec{F}$  وارد شود، میدان الکتریکی در نقطه مورد نظر برابر است با:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q'} \rightarrow \vec{F} = q'\vec{E} \begin{cases} q' > 0 \rightarrow \vec{E}, \vec{F} \text{ هم جهت یکدیگر} \\ q' < 0 \rightarrow \vec{E}, \vec{F} \text{ خلاف جهت یکدیگر} \end{cases} \rightarrow \vec{E}, \vec{F} \text{ هم راستا هستند}$$

**تمرین ۲۶** در نقطه ای از صفحه x-y بردار میدان الکتریکی،  $(\frac{N}{C})(3\vec{i} - 4\vec{j})$  است. در این نقطه بار  $-2\mu C$  را قرار می دهیم. بردار و اندازه نیروی وارد بر این بار را بیابید.

**تست ۲۷** در شکل زیر، میدان الکتریکی حاصل از بار  $q_1$  در محل بار  $q_2$ ،  $\vec{E}_1$  است و میدان الکتریکی حاصل از بار  $q_2$  در محل بار  $q_1$ ،  $\vec{E}_2$  است. کدام رابطه بین  $\vec{E}_1$  و  $\vec{E}_2$  برقرار است؟



- ۱)  $\vec{E}_2 = \vec{E}_1$   
۲)  $\vec{E}_2 = 4\vec{E}_1$   
۳)  $\vec{E}_2 = -\vec{E}_1$   
۴)  $\vec{E}_2 = -4\vec{E}_1$



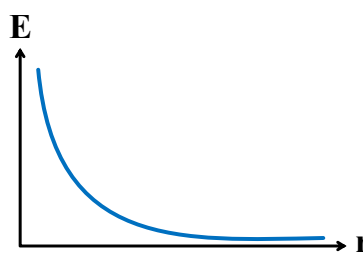
**تست ۲۸** بار الکتریکی  $q_1 = +2\mu\text{C}$  به بار الکتریکی  $q_2 = -3\mu\text{C}$  نیروی  $18\vec{j} + 12\vec{i}$  (برحسب میکرونیوتن) وارد

می‌کند. بردار میدان الکتریکی بار  $q_1$  در محل بار  $q_2$  برحسب نیوتن بر کولن، کدام است؟

- ۱)  $9\vec{i} + 6\vec{j}$       ۲)  $9\vec{j} - 6\vec{i}$       ۳)  $6\vec{j} + 4\vec{i}$       ۴)  $6\vec{j} - 4\vec{i}$

### میدان الکتریکی حاصل از بار نقطه‌ای

بزرگی میدان الکتریکی ناشی از بار  $q$  در نقطه‌ای به فاصله  $r$  از آن، از رابطه زیر محاسبه می‌شود:



$$E = k \frac{|q|}{r^2}$$

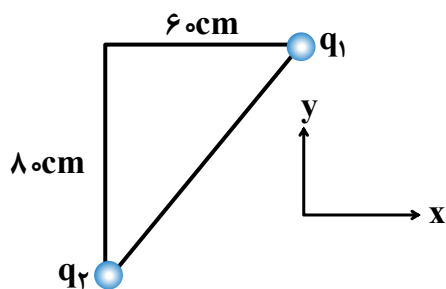
**تمرین ۲۹** میدان الکتریکی حاصل از بار  $q$  در نقطه  $A$  که در فاصله  $30$  سانتی‌متری از آن قرار دارد

برابر  $10^5 \text{ N/C}$  است اگر بار  $q'$  در نقطه  $A$  قرار گیرد نیرویی برابر  $2\text{N}$  به آن وارد می‌شود.  $q$  و  $q'$  به ترتیب چند میکروکولن هستند؟

**تمرین ۳۰** بار  $q = -5\mu\text{C}$  در نقطه‌ای به مختصات  $(2\text{m}, 4\text{m})$  قرار دارد. بردار میدان الکتریکی ناشی از آن در

نقطه  $A$  به مختصات  $(5\text{m}, 0)$  برحسب بردارهای یک‌ه‌چگونه است؟

**تست ۳۱** در شکل زیر، بردار میدان الکتریکی در رأس قائمه مثلث در SI به صورت  $\vec{E} = -2 \times 10^5 \vec{i} - 1/8 \times 10^5 \vec{j}$  است. بارهای  $q_1$  و  $q_2$  به ترتیب چند میکروکولن هستند؟



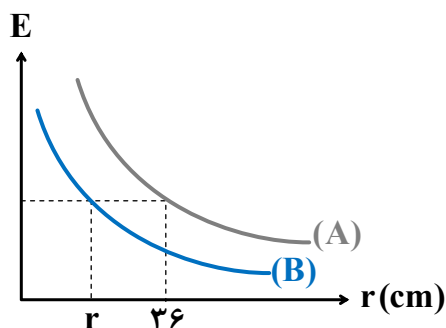
۱)  $-6$  و  $-4/8$

۲)  $-6$  و  $4/8$

۳)  $-8$  و  $-12/8$

۴)  $+8$  و  $-12/8$

**تست ۳۲** نمودار تغییرات بزرگی میدان الکتریکی بر حسب فاصله برای دو بار الکتریکی نقطه‌ای  $q_A$  و  $q_B$  به صورت مقابل است. اگر  $|q_A| = \frac{9}{4} |q_B|$  باشد،  $r$  چند سانتی‌متر است؟



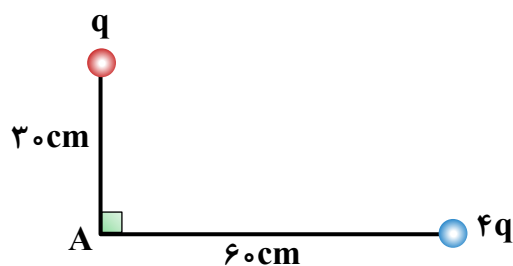
۱) ۸۱

۲) ۲۴

۳) ۱۶

۴) ۵۴

**تست ۳۳** شکل زیر، دو بار الکتریکی مثبت را نشان می‌دهد. اگر میدان الکتریکی خالص در نقطه A برابر  $1000\sqrt{2} \frac{N}{C}$  باشد  $q$  چند نانوکولن است؟



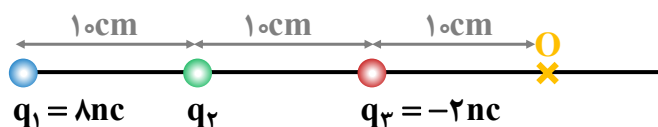
۱)  $2\sqrt{2}$

۲)  $5\sqrt{2}$

۳) ۱۰

۴) ۲۰

**تمرین ۳۴** سه بار نقطه‌ای مطابق شکل زیر ثابت شده‌اند. میدان الکتریکی برآیند حاصل از سه بار در نقطه O برابر  $100 \frac{N}{C}$  است. بار  $q_2$  چند نانوکولن است؟



**تمرین ۳۵** بارهای  $q_1$  و  $q_2$  در فاصله  $r$  از هم قرار دارند و میدان الکتریکی خالص در نقطه  $M$  وسط آنها برابر  $\vec{E}$  است.

**الف** اگر بار  $q_1$  را حذف کنیم، میدان خالص در همان نقطه  $\frac{\vec{E}}{2}$

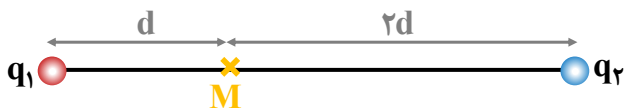
می‌شود،  $\frac{q_2}{q_1}$  را حساب کنید.

**ب** اگر با حذف  $q_1$ ، میدان خالص در همان نقطه  $-\frac{\vec{E}}{2}$  شود،  $\frac{q_2}{q_1}$

را حساب کنید.

**تمرین ۳۶** در شکل مقابل برآیند میدان الکتریکی حاصل از  $q_1$  و  $q_2$  در نقطه  $M$  برابر  $\vec{E}$  است. اگر بدون

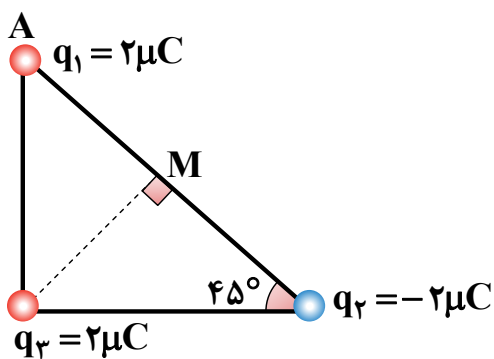
تغییر  $q_1$ ، بار  $q_2$  را دو برابر کنیم، میدان در  $M$  برابر  $\frac{\vec{E}}{3}$  می‌شود. نسبت  $\frac{q_1}{q_2}$ ؟



**تست ۳۷** سه بار نقطه‌ای شکل در سه رأس یک مثلث قرار دارند و بزرگی میدان برآیند در نقطه  $M$  وسط پاره خط

واصل  $q_1$  و  $q_2$   $E$  است. اگر بار  $q_1$  را خنثی کنیم، بزرگی میدان برآیند در نقطه  $M$  برابر  $E'$  می‌شود.  $E'$  چند برابر  $E$

است؟ ( $AM = 10\text{cm}$ )



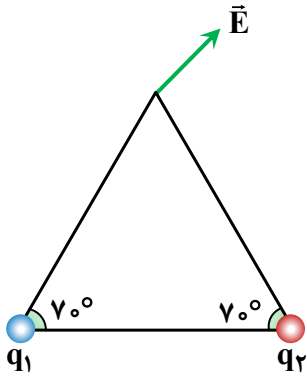
۱  $\sqrt{2}$

۲  $\frac{\sqrt{2}}{2}$

۳  $\sqrt{\frac{2}{5}}$

۴  $\sqrt{\frac{2}{3}}$

تست ۳۸ با توجه به شکل روبه‌رو، کدام گزینه صحیح است؟



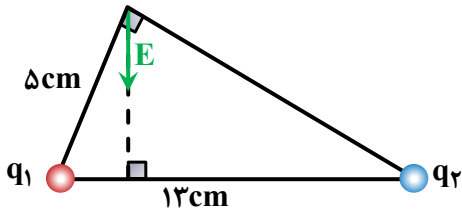
۱  $q_1 > |q_2|$  ,  $q_2 < 0$  ,  $q_1 > 0$

۲  $|q_2| > q_1$  ,  $q_2 > 0$  ,  $q_1 < 0$

۳  $|q_2| < q_1$  ,  $q_2 > 0$  ,  $q_1 < 0$

۴  $q_1 < |q_2|$  ,  $q_2 < 0$  ,  $q_1 > 0$

تست ۳۹ با توجه به شکل روبه‌رو، کدام گزینه صحیح است؟



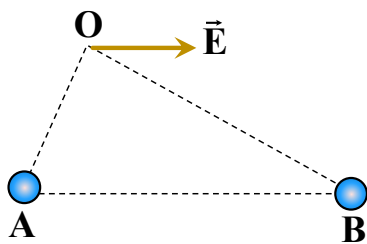
۱  $q_1 > q_2$  ,  $q_2 > 0$  ,  $q_1 > 0$

۲  $|q_1| > |q_2|$  ,  $q_2 < 0$  ,  $q_1 < 0$

۳  $|q_1| < |q_2|$  ,  $q_2 < 0$  ,  $q_1 < 0$

۴  $q_1 < q_2$  ,  $q_2 > 0$  ,  $q_1 > 0$

تست ۴۰ بارهای  $q_1 = 1 \mu C$  و  $q_2 = 64 \mu C$  به ترتیب در نقاط A و B ثابت شده‌اند. در نقطه O بردار میدان الکتریکی حاصل از این بارها با ضلع AB موازی است. نسبت OB به OA برابر کدام گزینه است؟



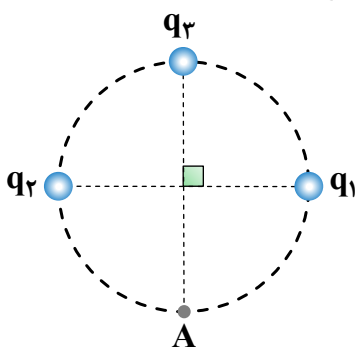
۱ ۲

۲ ۴

۳ ۸

۴ ۱۶

تست ۴۱ در شکل زیر میدان الکتریکی خالص در نقطه A برابر صفر است.  $\left| \frac{q_3}{q_1} \right|$  چقدر است؟



۱ ۲

۲  $2\sqrt{2}$

۳ ۴

۴  $4\sqrt{2}$

**تست ۴۲** بار الکتریکی نقطه‌ای  $q_1 = q_2 = 2\mu\text{C}$  و  $q_3 = q_4 = -2\mu\text{C}$  را طوری در ۴ رأس مربعی به ضلع  $30\text{cm}$  قرار می‌دهیم که میدان الکتریکی خالص در مرکز مربع صفر باشد. در این حالت نیروی الکتریکی وارد بر هریک از بارهای الکتریکی چند نیوتن است؟ ( $\sqrt{2} \approx 1/4$ )

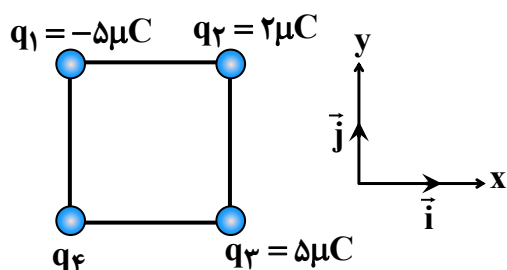
۴) ۰/۷۶

۳) ۰/۴۸

۲) ۰/۳۶

۱) ۰/۱۸

**تست ۴۳** چهار ذره باردار مطابق شکل، در رأس‌های مربعی به ضلع  $10\text{cm}$  قرار دارند. اگر نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار  $q_2$ ،  $\vec{F} = (-18\text{N})\vec{i}$  باشد، بار  $q_4$  چند میکروکولن است؟ ( $k = 9 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$ )

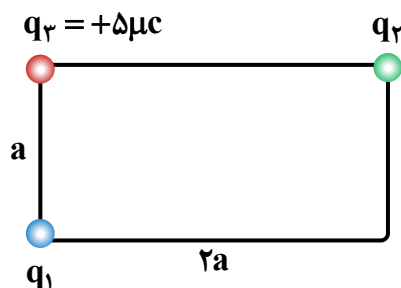


۱) ۱۰

۲) -۱۰

۳)  $10\sqrt{2}$ ۴)  $-10\sqrt{2}$ 

**تمرین ۴۴** در شکل زیر برآیند میدان‌های سه بار در رأس چهارم صفر است.  $q_1$  و  $q_2$  را بیابید.

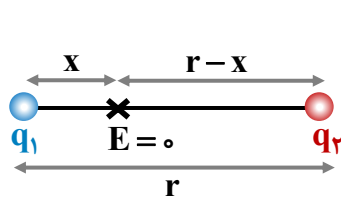


**تذکر** اگر دو بار نقطه‌ای  $q_1$  و  $q_2$  در فاصله  $r$  از یکدیگر قرار داشته باشند و مکانی را بخواهیم بیابیم که میدان الکتریکی برآیند یا خالص در آن مکان صفر شود، دو حالت خواهیم داشت:

الف) اگر بارها هم‌علامت باشند، مکان موردنظر بین دو بار و نزدیک‌تر به بار کوچک‌تر است.



تذکر



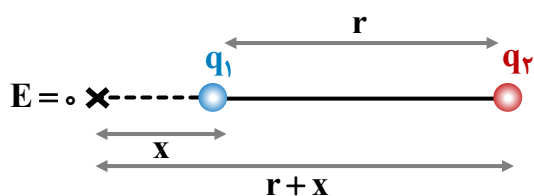
$$E_1 = E_2$$

$$k \frac{q_1}{x^2} = k \frac{q_2}{(r-x)^2}$$

$$\frac{r-x}{x} = \sqrt{\frac{q_2}{q_1}}$$

$$x = \frac{r}{\sqrt{\frac{q_2}{q_1}} + 1}$$

ب اگر بارها ناهم نام باشند، مکان مورد نظر خارج دو بار و باز هم نزدیک تر به بار کوچک تر است.



$$E_1 = E_2$$

$$k \frac{q_1}{x^2} = k \frac{q_2}{(r+x)^2}$$

$$\frac{r+x}{x} = \sqrt{\frac{q_2}{q_1}}$$

$$x = \frac{r}{\sqrt{\frac{q_2}{q_1}} - 1}$$

**تست ۴۵** دو بار  $+2\mu C$  و  $-18\mu C$  در فاصله  $8\text{cm}$  از یکدیگر ثابت شده اند. اگر بار  $q$  را در محلی معین قرار دهیم، نیروی خالص وارد بر آن صفر می شود. اگر علامت یکی از دو بار قرینه شود، محل صفر شدن نیروی خالص وارد بر بار  $q$  چند سانتی متر جابه جا می شود؟

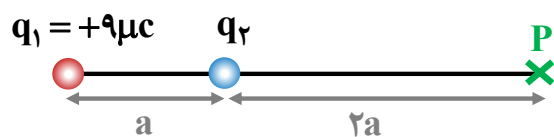
۴ ۱۰

۳ ۸

۲ ۶

۱ ۴

**تست ۴۶** در شکل زیر اگر بار  $q = -5\mu C$  در نقطه P قرار گیرد، نیروی خالصی به آن وارد نمی شود  $q_2$  چند میکروکولن است؟



۲ +۴

۱ -۴

۴ -۲

۳ +۲

**تست ۴۷** در صفحه  $xy$  بار الکتریکی نقطه‌ای  $q_1 = -2\mu C$  در نقطه  $A$  به مختصات  $(0, 9\text{cm})$  قرار دارد و بار الکتریکی  $q_2 = -8\mu C$  نیز در نقطه  $B$  به مختصات  $(12\text{cm}, 0)$  ثابت نگه داشته شده است. بار الکتریکی  $q_3$  در مکانی در این صفحه قرار دارد که نیروی الکتریکی خالص وارد بر آن صفر است. فاصله بین  $q_1$  تا  $q_3$  چند سانتی‌متر است؟

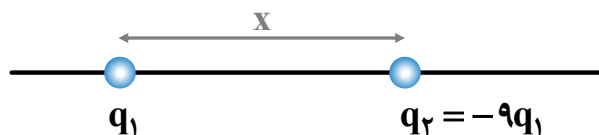
۳ ۴

۵ ۳

۶ ۲

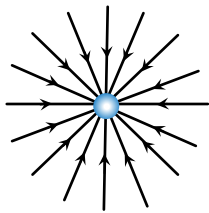
۱۰ ۱

**تست ۴۸** مطابق شکل زیر، دو ذره باردار روی محوری در فاصله  $x$  از هم قرار دارند. بار  $q_3$  چه اندازه باشد و در کدام نقطه روی این محور قرار گیرد تا نیروی الکتریکی خالص وارد بر هر سه ذره صفر باشد؟

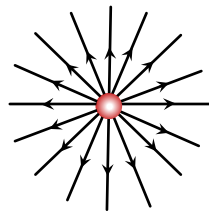
۱  $q_1$  و در فاصله  $2x$  سمت چپ بار  $q_1$ ۲  $q_1$  و در فاصله  $\frac{x}{4}$  سمت چپ بار  $q_1$ ۳  $-q_1$  و در فاصله  $2x$  سمت چپ بار  $q_1$ ۴  $-q_1$  و در فاصله  $\frac{x}{4}$  سمت چپ بار  $q_1$ 

### مشخصات خطوط میدان الکتریکی

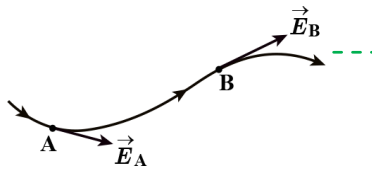
- ◀ همواره از بار مثبت خارج شده و به بار منفی وارد می‌شوند.
- ◀ هر جا میدان قوی‌تر باشد، خطوط میدان متراکم‌تر هستند.
- ◀ در هر نقطه از خطوط میدان، به این خطوط مماس رسم کنیم، با توجه به پیکان‌های روی خطوط، جهت بردار میدان در آن نقطه معلوم می‌شود.
- ◀ این خطوط یکدیگر را قطع نمی‌کنند.
- ◀ تعداد این خطوط متناسب با اندازه بارهاست.



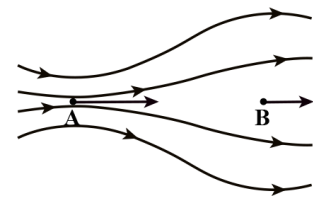
خطوط میدان بار ذره‌ای منفی



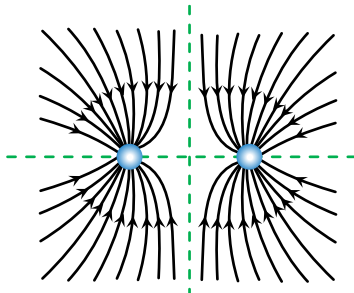
خطوط میدان بار ذره‌ای مثبت



خطوط میدان ایجاد شده به وسیله‌ی دو بار ذره‌ای منفی و هم‌اندازه

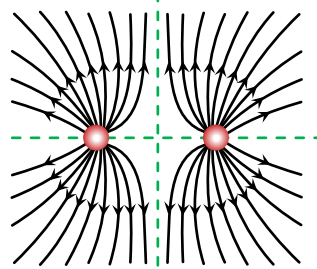


خطوط میدان ایجاد شده به وسیله‌ی دو بار ذره‌ای مثبت و هم‌اندازه

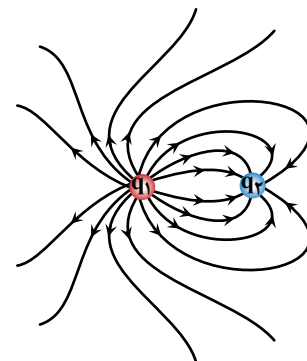
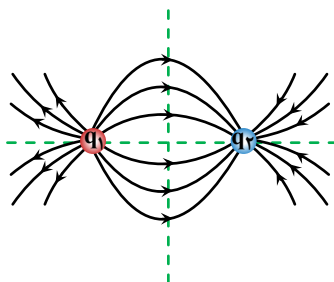
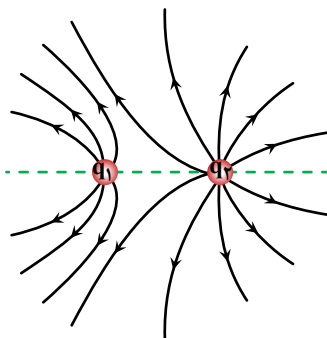


خطوط میدان بار ذره‌ای مثبت

خطوط میدان ایجاد شده به وسیله‌ی دو بار ذره‌ای منفی و هم‌اندازه



خطوط میدان ایجاد شده به وسیله‌ی دو بار ذره‌ای مثبت و هم‌اندازه



## انرژی پتانسیل الکتریکی

برای ذره‌ای با بار  $q$  که در یک میدان الکتریکی حرکت می‌کند، در هر نقطه از میدان، یک انرژی پتانسیل الکتریکی  $U$  تعریف کرده‌اند به‌طوری‌که: **تغییرات** انرژی پتانسیل الکتریکی این بار، برابر منفی کار انجام شده توسط میدان الکتریکی در انتقال این بار است:

انرژی پتانسیل الکتریکی بار در نقطه (۱)

$$\Delta U = -W_E \Rightarrow U_2 - U_1 = -W_E$$

انرژی پتانسیل الکتریکی بار در نقطه (۲)

کار میدان الکتریکی

بار الکتریکی مطابق میل خود حرکت کند

$$W_E > 0 \Rightarrow \Delta U < 0 \Rightarrow U \downarrow$$

بار الکتریکی برخلاف میل خود حرکت کند

$$W_E < 0, \Delta U > 0 \Rightarrow U \uparrow$$

### تذکر

۱ هرچه  $U$  منفی تر باشد کم تر و هرچه مثبت تر باشد بیش تر است.

۲ اگر هنگام حرکت بار در میدان الکتریکی، نیرو فقط از طرف میدان الکتریکی به آن وارد شود، به این حرکت، حرکت آزاد در میدان می گویند. در این حرکت انرژی مکانیکی بار پایسته است:

$$E_{\text{بار}} = \text{ثابت} \Rightarrow U_1 + K_1 = U_2 + K_2$$

$$\Delta K = -\Delta U$$

$$U \downarrow \Rightarrow K \uparrow$$

$$U \uparrow \Rightarrow K \downarrow$$

۳ اگر هنگام حرکت بار در میدان الکتریکی، ما هم به آن نیرو وارد کنیم، طبق قضیه کار و تغییرات انرژی جنبشی

$$\Delta K = W_t = W_E + W_{\text{ما}}$$

۴ تمام بارها تمایل به حرکت از انرژی پتانسیل بیش تر به انرژی پتانسیل کم تر دارند.

**تمرین ۴۹** باری در میدان الکتریکی از نقطه ۱ به نقطه ۲ می رود و به آن دو نیرو وارد می شود. نیرویی که میدان الکتریکی به آن وارد می کند و نیرویی که ما به ذره وارد می کنیم، انرژی پتانسیل الکتریکی ذره در نقاط ۱ و ۲ به ترتیب  $50 \text{ PJ}$  و  $-20 \text{ PJ}$  است.

**الف** کار میدان الکتریکی در این جابه جایی چند ژول است؟

**ب** کاری که ما انجام داده ایم را با هریک از این سه فرض،

جداگانه محاسبه کنید:

**I:** انرژی جنبشی ذره تغییر نکند.

**II:** انرژی جنبشی ذره  $100 \text{ PJ}$  کاهش یابد.

**III:** انرژی جنبشی ذره  $140 \text{ PJ}$  افزایش یابد.

**تمرین ۵۰** ذره‌ای با بار  $q_0$  و جرم  $2 \text{ g}$  در یک میدان الکتریکی از نقطه ۱ به نقطه ۲ می‌رود و انرژی پتانسیل الکتریکی ذره در نقطه ۱،  $5 \text{ mJ}$  و در نقطه ۲،  $4 \text{ mJ}$  است. ذره در نقطه ۱ ساکن بوده است. سرعت ذره در نقطه ۲ چند متر بر ثانیه است؟ (به ذره فقط از طرف میدان الکتریکی نیرو وارد می‌شود).

### پتانسیل الکتریکی

انرژی پتانسیل الکتریکی بار  $q$ ، در هر نقطه از میدان را به  $q$  تقسیم کرده حاصل تقسیم را پتانسیل الکتریکی آن نقطه از میدان می‌نامند.

پتانسیل الکتریکی هر نقطه از میدان

$$V = \frac{U}{q}$$

### تذکر

۱)  $q$  را باید با علامت قرار دهیم.

۲) هرچه  $V$  منفی‌تر باشد، کم‌تر و هرچه مثبت‌تر باشد بیش‌تر است.



## ♦ اختلاف پتانسیل الکتریکی دو نقطه از میدان

پتانسیل نقطه ۱

$$V_1 = \frac{U_1}{q}$$

پتانسیل نقطه ۲

$$V_2 = \frac{U_2}{q}$$

$$\Delta V_{1 \rightarrow 2} = V_2 - V_1 = \frac{U_2 - U_1}{q} = \frac{\Delta U}{q} = \frac{-W_E}{q}$$

♦  $q$ : بار منتقل شده بین دو نقطه است که باید با علامت باشد.

## تذکر

۱ در رابطه فوق با تغییر دادن  $q$  باید دقت کنیم که  $W_E$  و  $\Delta U$  نیز تغییر می کنند به طوری که اختلاف پتانسیل بین دو نقطه به بار منتقل شده بین دو نقطه بستگی ندارد.

۲ بار مثبت تمایل به حرکت از نقطه ای با پتانسیل بیش تر به نقطه ای با پتانسیل کم تر دارد و بار منفی برعکس است.

۳ با حرکت در جهت خطوط میدان، یعنی با دور شدن از بار مثبت یا نزدیک شدن به بار منفی پتانسیل نقاط کاهش می یابد و با حرکت در خلاف جهت میدان، یعنی با دور شدن از بار منفی یا نزدیک شدن به بار مثبت پتانسیل نقاط افزایش می یابد و اگر عمود بر خطوط میدان حرکت کنیم پتانسیل نقاط تغییری نمی کند.

**تمرین ۵۱** بار  $8\text{pC}$  را در یک میدان الکتریکی با سرعت ثابت از نقطه ۱ با پتانسیل  $10\text{KVolt}$  به نقطه ۲ می بریم فقط دو نیرو به بار وارد می شود. نیرویی که ما به آن وارد می کنیم و نیروی الکتریکی، کار ما  $12\text{nJ}$  است.

**الف** انرژی پتانسیل بار در نقطه ۱ چند نانوژول است؟

**ب** کار میدان الکتریکی در این جابه جایی چند نانوژول است؟

**پ** انرژی پتانسیل بار در نقطه ۲ چند نانوژول است؟

**ت** پتانسیل نقطه ۲ چند کیلوولت است؟

**تمرین ۵۲** بار  $20\mu\text{C}$  را از نقطه A به نقطه B منتقل می‌کنیم در این انتقال کار میدان الکتریکی  $5\text{J}$  است.  $V_A - V_B$  چند ولت است؟

**تست ۵۳** بار الکتریکی  $q = -2\mu\text{C}$  از نقطه‌ای با پتانسیل الکتریکی  $40\text{V}$  تا نقطه‌ای با پتانسیل الکتریکی  $10\text{V}$  جابه‌جا می‌شود. انرژی پتانسیل بار چند ژول تغییر می‌کند؟

- ۱)  $10^{-4}\text{J}$ ، کاهش      ۲)  $10^{-4}\text{J}$ ، افزایش      ۳)  $6 \times 10^{-5}\text{J}$ ، افزایش      ۴)  $6 \times 10^{-5}\text{J}$ ، کاهش

**تست ۵۴** بار الکتریکی  $q = +4\mu\text{C}$  به جرم  $2$  میلی‌گرم در یک میدان الکتریکی، تنها تحت تأثیر میدان الکتریکی از نقطه A تا نقطه B جابه‌جا می‌شود تندی این بار در نقاط A و B به ترتیب  $20\frac{\text{m}}{\text{s}}$  و  $40\sqrt{10}\frac{\text{m}}{\text{s}}$  است. اگر پتانسیل الکتریکی نقطه B برابر  $20\text{V}$  باشد، پتانسیل الکتریکی نقطه A چند ولت است؟

- ۱)  $-60$       ۲)  $60$       ۳)  $-40$       ۴)  $80$

**تذکر** نقطه‌ای از فضا که به عنوان نقطه‌ی با پتانسیل صفر انتخاب می‌شود را، نقطه‌ی مبدأ پتانسیل، یا نقطه‌ی زمین می‌گویند. این نقطه را با نماد  یا  نشان می‌دهند. اصطلاح نقطه‌ی زمین به این معنی نیست که نقطه‌ی موردنظر، با سیم به زمین زیر پای ما وصل شده است. همه‌ی معنی نقطه‌ی زمین یا نقطه‌ی مبدأ پتانسیل این است که، به دلخواه خودمان تصمیم گرفته‌ایم پتانسیل الکتریکی این نقطه را صفر بگیریم.

**تمرین ۵۵** بار  $-5\text{nC}$  را در یک میدان الکتریکی با سرعت ثابت از نقطه‌ای زمین به نقطه‌ای  $P$  می‌بریم. در این جابه‌جایی فقط دو نیرو به بار وارد می‌شود، نیروی الکتریکی و نیرویی که ما به آن وارد می‌کنیم. کاری که ما انجام می‌دهیم  $10\text{mJ}$  است.

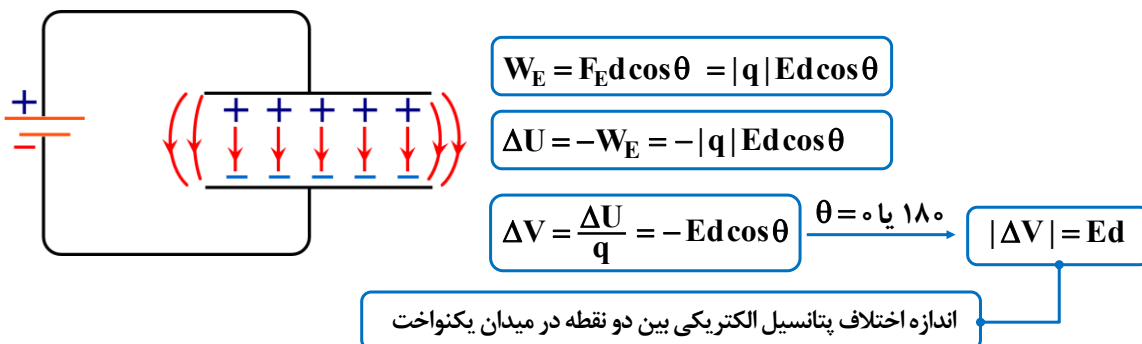
**الف** کار میدان الکتریکی در این جابه‌جایی چقدر است؟

**ب** انرژی پتانسیل بار در نقطه‌ای  $P$  چقدر است؟

**پ** پتانسیل الکتریکی نقطه‌ای  $P$  چقدر است؟

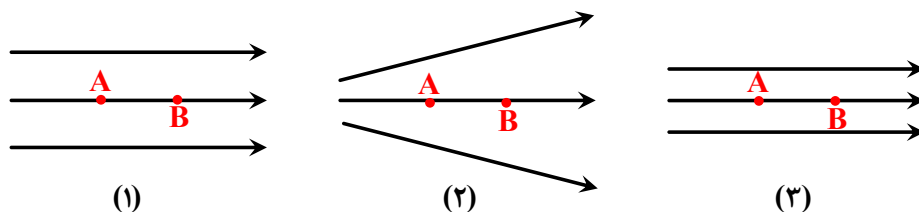
### میدان الکتریکی یکنواخت

میدانی است که بزرگی و جهت آن در تمام نقاط فضا یکسان است مانند میدان الکتریکی بین دو صفحه رسانای موازی که اختلاف پتانسیل (یا ولتاژ) ثابتی بین آن‌ها ایجاد شده است.



**تمرین ۵۶** بار  $q = +3\text{nC}$  را در یک میدان الکتریکی یکنواخت به بزرگی  $4 \times 10^5 \frac{\text{N}}{\text{C}}$  با سرعت ثابت به اندازه  $10\text{cm}$  در خلاف جهت میدان جابه‌جا می‌کنیم و به بار فقط دو نیرو وارد می‌شود: نیروی الکتریکی و نیروی ما، کار انجام شده توسط ما چند ژول است؟

**تست ۵۷** شکل زیر، سه آرایش خطوط میدان الکتریکی را نشان می‌دهد. یک الکترون از حالت سکون از نقطه B رها می‌شود و سپس توسط میدان الکتریکی تا نقطه A شتاب می‌گیرد. نقطه‌های A و B در هر سه آرایش در فاصله یکسان قرار دارند. اگر اختلاف پتانسیل بین دو نقطه  $(V_A - V_B)$  را  $\Delta V$  بنامیم، کدام رابطه درست است؟



$$\Delta V_{(3)} = \Delta V_{(1)} > \Delta V_{(2)} \quad \text{۲}$$

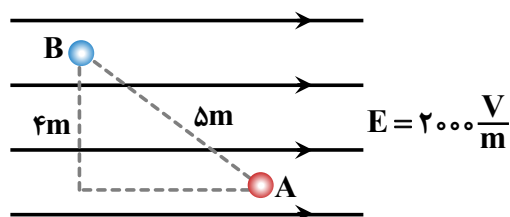
$$\Delta V_{(1)} = \Delta V_{(2)} = \Delta V_{(3)} \quad \text{۴}$$

$$\Delta V_{(3)} > \Delta V_{(2)} > \Delta V_{(1)} \quad \text{۱}$$

$$\Delta V_{(1)} > \Delta V_{(2)} > \Delta V_{(3)} \quad \text{۳}$$

**تمرین ۵۸** در میدان الکتریکی یکنواخت شکل مقابل:

**الف**  $V_A - V_B$  چند ولت است؟



**ب** ذره‌ای با بار  $-\Delta pc$  را از A به B می‌بریم، انرژی

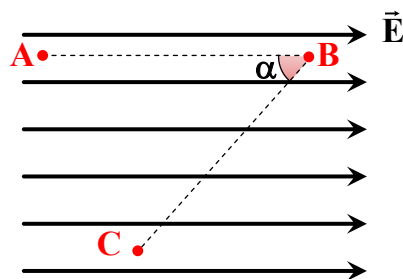
جنبشی ذره  $20 \text{ nJ}$  افزایش می‌یابد. چند نانوزول کار

انجام می‌دهیم؟

**تست ۵۹** در میدان الکتریکی یکنواخت  $E = 10^5 \frac{\text{N}}{\text{C}}$ ، ذره‌ای با بار الکتریکی  $q = -5 \mu\text{C}$  مسیر ABC را از A تا

C طی کرده است. انرژی پتانسیل الکتریکی ذره در این مسیر، چگونه تغییر کرده

است؟  $(\sin \alpha = 0.8, AB = BC = 50 \text{ cm})$



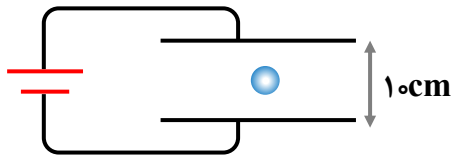
۱ ۰/۱ ژول، افزایش

۲ ۰/۱ ژول، کاهش

۳ ۰/۴ ژول، افزایش

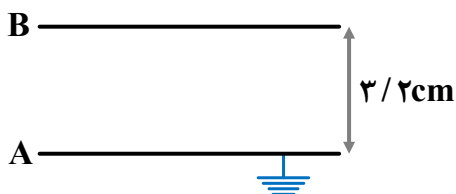
۴ ۰/۴ ژول، کاهش

**تست ۶۰** در شکل مقابل ولتاژ پیل  $10\text{ kV}$  است. قطره روغنی در فضای بین دو صفحه معلق است اگر جرم قطره  $8 \times 10^{-15}\text{ kg}$  باشد، تعداد الکترون‌هایی که قطره جذب کرده و یا از دست داده برابر کدام گزینه است؟

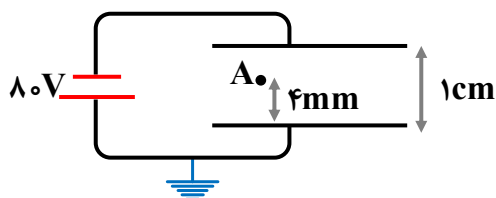


- ۱ ۵ الکترون جذب کرده است.
- ۲ ۱۰ الکترون جذب کرده است.
- ۳ ۵ الکترون از دست داده است.
- ۴ ۱۰ الکترون از دست داده است.

**تمرین ۶۱** در شکل مقابل، یک الکترون از حال سکون و از مجاورت صفحه‌ی A حرکت کرده و در مدت  $2 \times 10^{-8}\text{ s}$  به صفحه‌ی B می‌رسد. اگر از نیروی گرانش در مقابل نیروی میدان چشم‌پوشی کنیم، میدان الکتریکی بین دو صفحه چند نیوتن بر کولن است؟ ( $e = 1.6 \times 10^{-19}\text{ C}$ ,  $m_e = 9.1 \times 10^{-31}\text{ kg}$ )

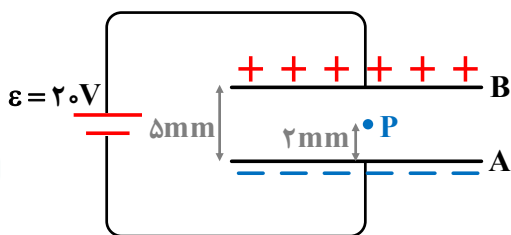


**تست ۶۲** دو صفحه رسانای موازی با ابعاد بزرگ را مطابق شکل زیر به یک باتری وصل کرده‌ایم پتانسیل نقطه A چند ولت است؟



- ۱ -۴۸
- ۲ -۳۲
- ۳ +۳۲
- ۴ +۴۸

**تست ۶۳** در شکل زیر، بین دو صفحه موازی هوا است و نقطه P در ۲ میلی‌متری صفحه A قرار دارد. اگر با ثابت ماندن صفحه A، صفحه B را دور کنیم تا فاصله بین دو صفحه  $10\text{ mm}$  شود، پتانسیل الکتریکی نقطه P، چگونه تغییر می‌کند؟



- ۱ ۲ ولت افزایش می‌یابد.
- ۲ ۴ ولت کاهش می‌یابد.
- ۳ ۲ ولت کاهش می‌یابد.
- ۴ ۴ ولت افزایش می‌یابد.



## ویژه رشته ریاضی

## چگالی سطحی بار

برای این که بتوانیم تراکم بار در قسمت های مختلف سطح جسم باردار را با هم مقایسه کنیم، از این کمیت استفاده می کنیم:

$$\sigma = \frac{q}{A}$$

بار الکتریکی (با علامت)

مساحت

**تمرین ۶۴** از یک کره رسانا به قطر  $1\text{m}$  چه تعداد الکترون جدا کنیم تا چگالی سطحی بار روی آن  $\frac{C}{m^2} \times 10^{-4} + 8$  شود؟ ( $\pi \approx 3$ )

**تمرین ۶۵** یک کره فلزی به شعاع  $50\text{cm}$  روی پایه عایقی قرار دارد و چگالی سطحی بار الکتریکی آن  $320 \mu\text{C}/\text{m}^2$  است. اگر این کره را با سیم فلزی به کره فلزی مشابه بدون بار که آن هم روی پایه عایق قرار دارد وصل کنیم، چند الکترون از طریق سیم منتقل می شود؟ ( $\pi \approx 3$ ,  $e = 1/6 \times 10^{-19} \text{C}$ )

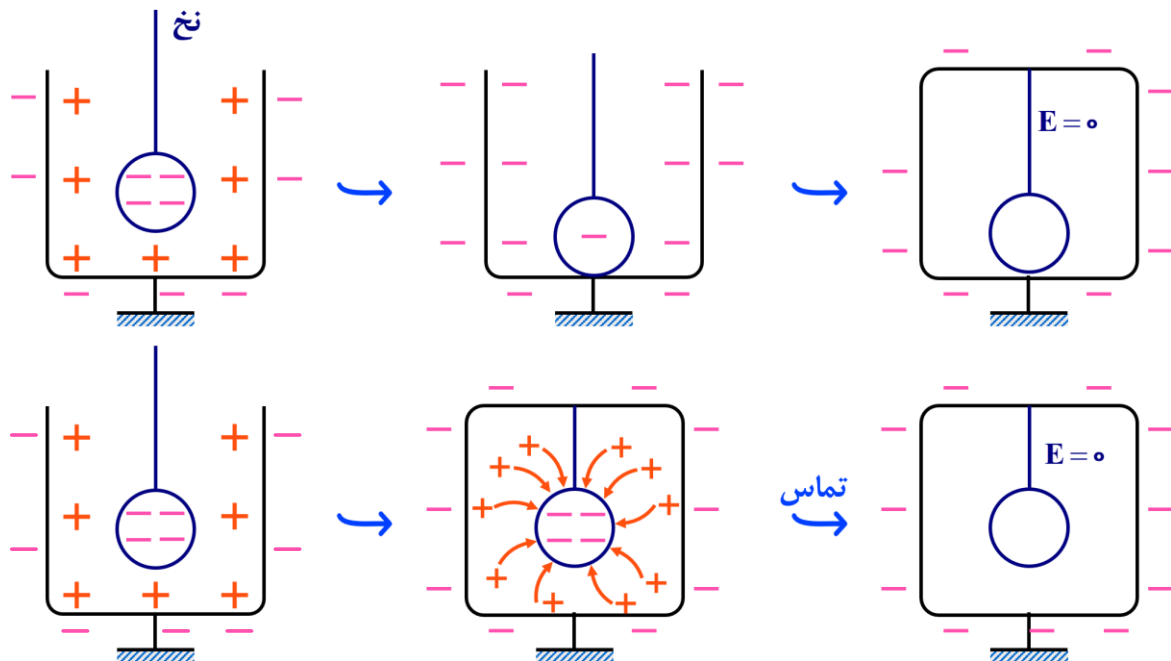
## چگونگی توزیع بار در یک رسانا

اگر به رسانایی بار الکتریکی بدهیم، پس از **برقراری تعادل و ساکن شدن** بارها ملاحظه می کنیم که تمام بار روی **سطح خارجی** توزیع می شود و میدان الکتریکی در داخل رسانا **صفر** می شود و میدان بر سطح رسانا **عمود** می شود. اگر سطح بسته نباشد تمام آن سطح خارجی محسوب می شود. مثلاً اگر مطابق شکل یک گلوله **فلزی** باردار را وارد ظرف **رسانای** بدون بار می کنیم، در ظرف القای بار انجام می شود. حال اگر گلوله را با ظرف تماس دهیم بار گلوله **تخلیه** نمی شود بلکه بین ظرف و گلوله تقسیم می شود زیرا ظرف سطح بسته نیست و گلوله

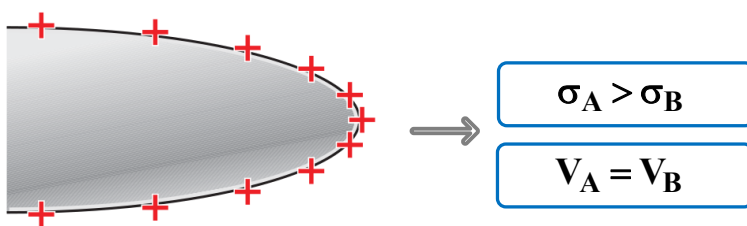
جزئی از سطح خارجی ظرف محسوب می‌شود. حال اگر در ظرف را با ماده رسانایی ببندیم، گلوله جزئی از سطح داخلی ظرف محسوب می‌شود و تمام بار گلوله و ظرف به سطح خارجی ظرف منتقل می‌شود.

### چگونگی توزیع بار در یک رسانا

اگر هنگامی که گلوله با ظرف تماس ندارد، در ظرف را با ماده رسانا ببندیم، در القا تغییری ایجاد نمی‌شود اما اگر در این حالت گلوله را حرکت داده تا با سطح ظرف برخورد کند مجدداً تمام بار به سطح خارجی ظرف منتقل می‌شود. اگر از قبل ظرف دارای بار باشد پس از تماس گلوله با ظرف (هنگامی که در ظرف بسته است) بار سطح خارجی برابر مجموع بار اولیه ظرف و بار گلوله است.



**نکته** اگر به رسانایی بار الکتریکی بدهیم پس از برقراری تعادل، چگالی سطحی بار در نقاط نوک تیز بیش تر است و پتانسیل الکتریکی در تمام نقاط رسانا یکسان است. A و B روی سطح قرار دارند.



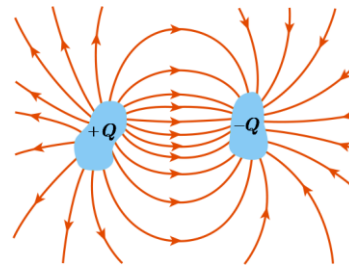
## خازن

خازن وسيله‌اى است كه مى‌تواند بار و انرژى الكتريكي را در خود ذخيره كند؛ مثلاً باترى‌هاى يك دوربين با باردار كردن يك خازن، انرژى را در خازن فلاش دوربين ذخيره مى‌كنند.

(شكل ۱) چند خازن را در اندازه‌ها و شكل‌هاى مختلف نشان مى‌دهد. (شكل ۲) اجزاي اصلى يك خازن معمولى را نشان مى‌دهد كه شامل دو رسانا با هر شكلى است. اين رساناها را صفحه‌هاى خازن مى‌ناميم.

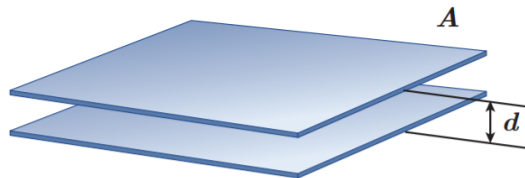


شكل ۱- تصويرى از چند خازن مختلف

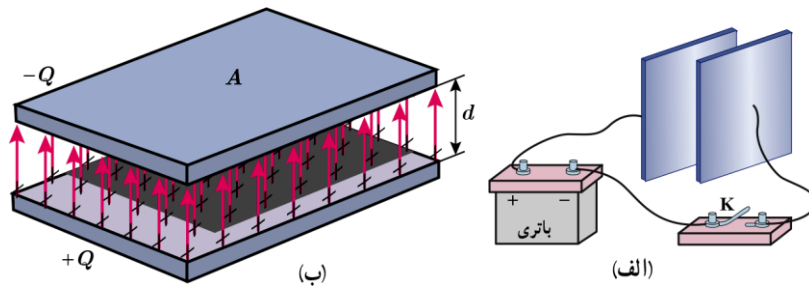


شكل ۲- اجزاي اصلى يك خازن باردار

شكل زير آرايش خازنى موسوم به خازن تخت را نشان مى‌دهد كه شامل دو صفحه رساناي موازى با مساحت  $A$  است كه به فاصله  $d$  (كه در برابر ابعاد صفحه‌ها ناچيز است) از هم قرار گرفته‌اند. گرچه نمادى كه براى نشان دادن يك خازن به كار مى‌بريم  $\left( \begin{array}{|c|} \hline + \\ \hline | \\ \hline - \\ \hline \end{array} \right)$  مبتنى بر شكل يك خازن تخت است، ولى از آن براى نشان دادن خازن‌ها با هر شكلى استفاده مى‌شود.



**باردار (شارژ) كردن خازن:** روش ساده و مرسوم براى باردار كردن خازن قرار دادن آن در مدار الكتريكي ساده‌اى است كه يك باترى دارد (شكل زير). وقتى كليد  $K$  بسته (وصل) شود بار از طريق سيم‌هاى رسانا جريان مى‌يابد. اين شارش بار تا هنگامى ادامه پيدا مى‌كند كه اختلاف پتانسيل ميان دو صفحه خازن با اختلاف پتانسيل ميان دو پايانه باترى يكسان شود. وقتى يك خازن باردار مى‌شود، صفحه‌هاى آن داراي بارهاى با بزرگى يكسان، ولى با علامت مخالف مى‌شود:  $+Q$  و  $-Q$ . با اين حال، بار يك خازن را به صورت  $Q$  نشان مى‌دهند كه همان بار صفحه مثبت است. بين دو صفحه خازن باردار يك ميدان الكتريكي ايجاد مى‌شود كه خطوط اين ميدان از صفحه مثبت به منفي است.



**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 صفحه‌ی مثبت به سمت صفحه‌ی منفی است.

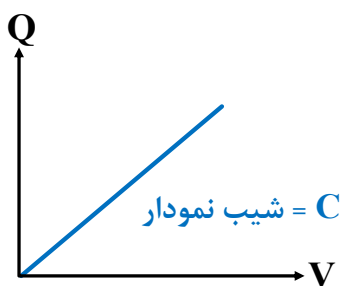
### ظرفیت خازن

اگر اختلاف پتانسیل بین صفحه‌های خازن ( $\Delta V$ ) را زیاد کنیم، بار خازن ( $Q$ ) نیز به همان نسبت زیاد می‌شود.

به عبارتی نسبت  $\frac{Q}{\Delta V}$  همواره مقداری ثابت است که به این نسبت ثابت، ظرفیت خازن می‌گویند و آن را با  $C$  نشان می‌دهند. ظرفیت خازن به اندازه بار خازن و نیز اختلاف پتانسیل دو صفحه آن بستگی ندارد. قدرمطلق اختلاف پتانسیل  $\Delta V$  بین دو صفحه خازن را با  $V$  نمایش می‌دهند. بنابراین:

$$C = \frac{Q}{V} \longrightarrow Q = CV$$

نمودار بار یک خازن بر حسب اختلاف پتانسیل آن به صورت زیر است:



**تست ۶۶** اگر اختلاف پتانسیل الکتریکی بین دو صفحه یک خازن ۸ میکروفارادی، یک ولت تغییر کند، تعداد

الکترون‌های هر صفحه چقدر تغییر می‌کند؟ ( $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ )

۴  $2 \times 10^{13}$

۳  $5 \times 10^{13}$

۲  $2 \times 10^{19}$

۱  $5 \times 10^{19}$



**تست ۶۷** با تغییر اختلاف پتانسیل دو سر یک خازن از  $40V$  به  $60V$ ، بار الکتریکی ذخیره شده در خازن از  $Q_1$  به  $12\mu C$  تغییر می‌کند. به ترتیب از راست به چپ، ظرفیت خازن و بار  $Q_1$  (برحسب میکروفاراد و میکروکولن) کدام است؟

۴۰، ۲ (۴)

۸۰، ۲ (۳)

۴۰، ۰/۵ (۲)

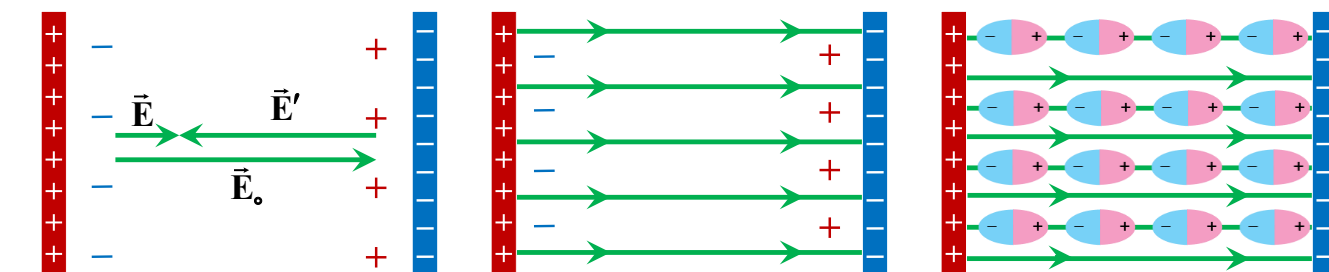
۸۰، ۰/۵ (۱)

### خازن با دی الکتریک

♦ اگر فضای میان صفحه‌های یک خازن را با ماده‌ای عایق (مانند کاغذ یا پلاستیک) که به آن دی الکتریک گفته می‌شود پر کنیم، ظرفیت خازن با ضریبی موسوم به ثابت دی الکتریک ماده عایق (که آن را با  $K$  نشان می‌دهند) افزایش می‌یابد؛ یعنی اگر ظرفیت خازن بدون دی الکتریک را با  $C_0$  نمایش دهیم آن‌گاه ظرفیت خازن با دی الکتریک برابر است با:

$$C = KC_0$$

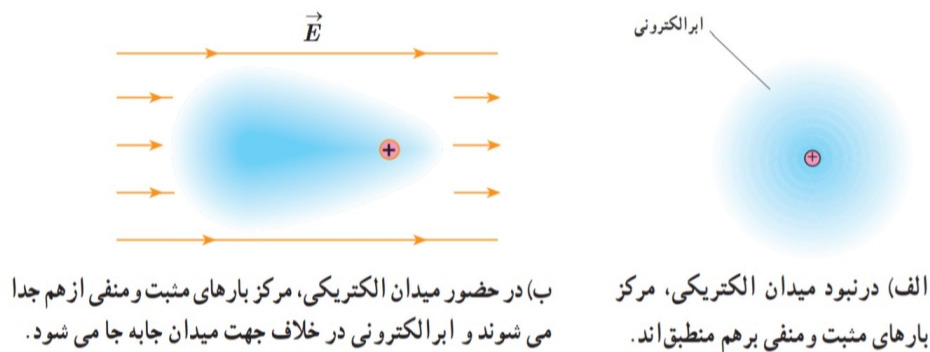
♦ فرض کنید خازنی را نخست توسط یک باتری باردار و سپس از باتری جدا کرده‌ایم. اکنون فضای داخل این خازن را با یک دی الکتریک پر می‌کنیم. توجه کنید که دی الکتریک‌ها بر دو نوع‌اند: قطبی و غیرقطبی. وقتی یک دی الکتریک قطبی (مانند آب،  $NH_3$ ،  $HCl$ ) در میدان الکتریکی بین دو صفحه خازن قرار می‌گیرد، سر منفی مولکول‌های دوقطبی به طرف صفحه مثبت و سر مثبت آن‌ها به طرف صفحه منفی کشیده می‌شود و در نتیجه این مولکول‌های دوقطبی می‌کوشند خود را در جهت میدان الکتریکی بین دو صفحه خازن هم‌ردیف کنند.



(الف) مولکول‌های دو قطبی در حضور میدان الکتریکی خارجی  $E_0$  هم‌ردیف شده‌اند.  
(ب) این هم‌ردیفی، بارهایی سطحی را روی دو وجه دی الکتریک ایجاد می‌کند که موجب تضعیف میدان الکتریکی می‌شود.  
(پ) میدان الکتریکی  $E'$  حاصل از بارهای سطحی در خلاف جهت میدان الکتریکی  $E_0$  است. میدان الکتریکی برآیند  $E'$  در جهت  $E_0$  و کوچک‌تر از آن شده است.



وقتی یک دی الکتریک غیرقطبی (مانند متان، بنزن و...) در میدان بین دو صفحه خازن قرار می گیرد بر اثر القا قطبیده می شود؛ یعنی میدان الکتریکی اعمال شده باعث می شود که ابر الکترونی مولکول های دی الکتریک در خلاف جهت میدان جابه جا شود و به این ترتیب، مرکز بارهای مثبت و منفی مولکول ها از هم جدا شده و اصطلاحاً مولکول ها **قطبیده** شوند.



می توان نشان داد این رفتار مولکول های دی الکتریک (قطبی یا غیرقطبی) در میدان الکتریکی بین صفحه های خازن، سبب افزایش ظرفیت خازن می شود. به عنوان مثالی از کاربرد دی الکتریک، خازن تختی را در نظر بگیرید. آزمایش و محاسبه نشان می دهد که ظرفیت یک خازن تخت با مساحت صفحه های  $A$  و فاصله جدایی صفحه های  $d$ ، از رابطه زیر به دست می آید:

$$C_0 = \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

حال اگر فضای بین صفحه های این خازن را با یک دی الکتریک با ثابت دی الکتریک  $\kappa$  کاملاً پر کنیم، طبق رابطه زیر برای ظرفیت خازن جدید داریم:

$$C = \kappa \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

**تمرین ۶۷** مساحت هر صفحه خازن تختی  $150 \text{ cm}^2$  و فاصله بین صفحات  $5 \text{ mm}$  و ثابت دی الکتریک عایق  $2/5$  است. عایق بین دو صفحه را عوض می کنیم در نتیجه ظرفیت خازن  $1/5 \text{ nF}$  بیش تر از حالت اول می شود. ثابت دی الکتریک عایق جدید چه مقدار است؟ ( $\epsilon_0 = 10^{-11} \frac{\text{F}}{\text{m}}$ )

**تمرین ۶۹** ابعاد صفحات یک خازن مسطح  $10\text{cm} \times 10\text{cm}$  و فاصله بین صفحات آن  $2\text{mm}$  است. اگر بخواهیم خازن دیگری مساوی با ظرفیت این خازن اما با صفحاتی به ابعاد  $5\text{cm} \times 5\text{cm}$  بسازیم فاصله بین صفحات آن چند میلی‌متر باید باشد؟ (عایق بین صفحات هواست).

**تست ۷۰** فاصله بین صفحات یک خازن تحت  $5\text{mm}$  و مساحت هریک از آن‌ها  $2\text{cm}^2$  است و خازن از ماده دی‌الکتریک انعطاف‌پذیری به ثابت  $K = 4$  پر شده است اگر فاصله بین صفحه‌ها  $3\text{mm}$  کاهش یابد ظرفیت خازن چند پیکوفاراد تغییر می‌کند؟ ( $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}}$ )

۴ ۲۳/۶

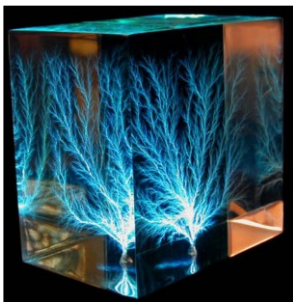
۳ ۲۱/۲۴

۲ ۲/۳۶

۱ ۲/۱۲۴

### فروریزش الکتریکی

اثر دیگر حضور دی‌الکتریک‌ها در خازن، افزایش حداکثر ولتاژ قابل تحمل خازن است. اگر اختلاف پتانسیل دو صفحه یک خازن را به اندازه کافی زیاد کنیم، تعدادی از الکترون‌های اتم‌های ماده دی‌الکتریک، توسط میدان الکتریکی ایجاد شده بین دو صفحه، کنده می‌شوند و مسیرهایی رسانا درون دی‌الکتریک ایجاد می‌شود که سبب تخلیه خازن می‌گردد. به این پدیده **فروریزش الکتریکی** ماده دی‌الکتریک می‌گویند. فروریزش الکتریکی در عایق بین دو صفحه 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.

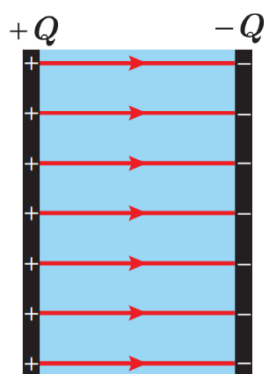


**نقش‌های لیچنبرگ.** فروریزش الکتریکی باعث تشکیل مسیرهای رسانشی سرخس شکلی در دی‌الکتریک شده است.

## انرژی خازن

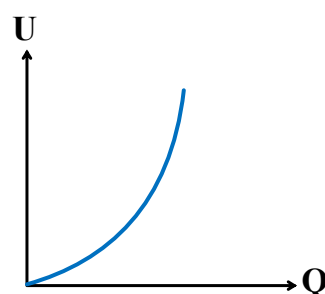
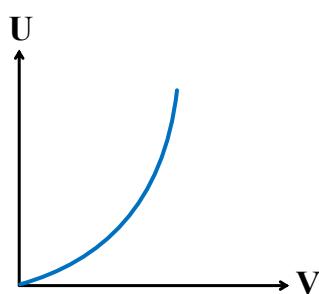
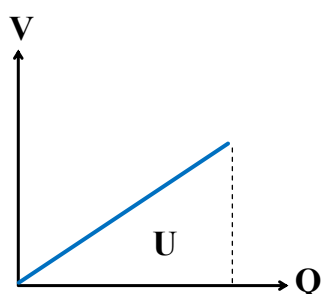
وقتی صفحه‌های خازن دارای بار الکتریکی می‌شوند در خازن انرژی ذخیره می‌شود. برای این که انرژی ذخیره شده در خازن را مشاهده کنیم، کافی است دو سر یک خازن پر شده را به دو سر یک لامپ کوچک وصل کنیم. به شرط آن که ظرفیت و اختلاف پتانسیل خازن به اندازه کافی زیاد باشد، لامپ برای مدتی روشن و سپس خاموش می‌شود.

انرژی پتانسیل الکتریکی‌ای که در میدان الکتریکی فضای بین صفحه‌های خازن ذخیره می‌شود، به صورت زیر است.



$$U_{\text{خازن}} = \frac{1}{2} QV = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$$

که در آن انرژی پتانسیل الکتریکی خازن ( $U$ ) بر حسب ژول ( $J$ ), بار خازن ( $Q$ ) بر حسب کولن ( $C$ ), اختلاف پتانسیل دو صفحه خازن ( $V$ ) بر حسب ولت ( $V$ ) و ظرفیت خازن ( $C$ ) بر حسب فاراد ( $F$ ) است.



**تست ۷۱** ظرفیت خازنی  $5\mu F$  و بین صفحات آن هواست. می‌خواهیم بدون تغییر در فاصله صفحات از هم، بین دو صفحه را با عایقی پر کنیم که وقتی خازن با اختلاف پتانسیل الکتریکی  $20$  ولت شارژ می‌شود انرژی ذخیره شده در آن  $2$  میلی‌ژول باشد، ضریب دی‌الکتریک عایق چقدر است؟

۴

۳/۵

۲

۱/۵

**تمرین ۷۲** دوربین عکاسی انرژی را در ولتاژ  $۳۳۰\text{V}$  با خازنی به ظرفیت  $۶۶\mu\text{F}$  ذخیره می‌کند. توان خروجی این دوربین چنانچه انرژی در یک میلی ثانیه آزاد شود چند وات است؟

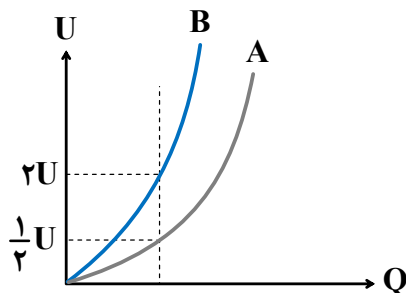
**تست ۷۳** اگر ولتاژ دو سر خازنی به ظرفیت  $۸\mu\text{F}$  را به اندازه ۲ ولت تغییر دهیم، انرژی ذخیره شده در آن ۴۴ درصد افزایش می‌یابد. انرژی اولیه خازن چند میکروژول بوده است؟

- ۱) ۴۰۰      ۲) ۳۰۰      ۳) ۲۰۰      ۴) ۱۰۰

**تست ۷۴** بار خازنی به ظرفیت  $۵\mu\text{F}$ ، ۲۵ درصد افزایش می‌یابد و در اثر آن،  $۹\mu\text{J}$  به انرژی ذخیره شده در خازن افزوده می‌شود. ولتاژ اولیه دو سر خازن چند ولت بوده است؟

- ۱) ۸      ۲)  $۱۲/۵$       ۳) ۲۰      ۴) ۲۵

**تست ۷۵** نمودار تغییرات انرژی ذخیره شده بر حسب بار الکتریکی در دو خازن تخت A و B با مساحت صفحه‌های یکسان که با دی‌الکتریک‌های هم ضخامتی پر شده‌اند، به صورت زیر است. اگر ضریب دی‌الکتریک خازن B، ۱۲ باشد، ضریب دی‌الکتریک خازن A کدام است؟



- ۱) ۳      ۲) ۲۴      ۳) ۴۸      ۴) ۶

## تمرین ۷۶

عایق خازن تختی، کاغذ با ثابت دی الکتریک  $\kappa = 3/5$  است و میدان فروشکست  $16 \times 10^6 \text{ V/m}$  است. مساحت هر صفحه خازن  $200 \text{ cm}^2$  و فاصله بین دو صفحه  $1 \text{ mm}$  است. حداکثر انرژی ای که می توان در خازن ذخیره کرد چند میلی ژول است؟ ( $\epsilon_0 = 10^{-11} \frac{\text{F}}{\text{m}}$ )

## تمرین ۷۷

ظرفیت خازنی  $15 \mu\text{F}$  و انرژی ذخیره شده در آن  $U$  است. اگر  $3 \text{ mC}$  بار الکتریکی را از صفحه منفی جدا کنیم و به صفحه مثبت انتقال دهیم، انرژی ذخیره شده در خازن  $900 \text{ mJ}$  افزایش می یابد. انرژی اولیه خازن چند میلی ژول است؟

## تذکر

اگر خازنی را به مولدی وصل کنیم و پس از شارژ، آن را از مولد جدا کنیم، با تغییر دادن ظرفیت آن، بار خازن ثابت مانده و تغییر نمی کند ولی با جدا نکردن خازن از مولد، اگر ظرفیت آن را تغییر دهیم، ولتاژ آن ثابت مانده و تغییر نمی کند.

## تمرین ۷۸

دو صفحه خازن تختی با عایق هوا به دو قطب یک باتری متصل است. فاصله بین صفحات را  $2 \text{ mm}$  کاهش می دهیم، بار آن ۳ برابر می شود. فاصله اولیه صفحات خازن چند میلی متر بوده است؟

## تست ۷۹

خازن شارژ شده ای را از مولد جدا می کنیم. عایقی که بین صفحات خازن را پر کرده، خارج می کنیم اگر ثابت دی الکتریک عایق  $\kappa = 2$  باشد، ظرفیت، میدان الکتریکی بین دو صفحه و انرژی آن به ترتیب چند برابر می شوند؟

۱/۴ و ۱/۲، ۲ (۴)

۲ و ۲، ۲ (۳)

۱/۴ و ۱/۲، ۱/۲ (۲)

۱/۲ و ۲، ۲ (۱)



## تمرین ۸۰

خازن تختی را که عایق آن هواست با ولتاژ  $V$  شارژ می‌کنیم. ابتدا بدون آن که آن را از مولد جدا کنیم فاصله بین صفحات را ۲۰ درصد کاهش می‌دهیم و سپس آن را از مولد جدا کرده و فضای بین صفحات را با دی‌الکتریک  $K=2$  پر می‌کنیم. ظرفیت، ولتاژ، بار، انرژی و میدان الکتریکی بین صفحات چگونه تغییر می‌کنند؟