



هم کلاسی  
[Hamkelasi.ir](http://Hamkelasi.ir)

بسمه تعالی

جزوه کمک آموزشی

## فیزیک ۲

مناسب دانش آموزان یازدهم رشته ریاضی و تجربی

فصل اول – الکتریسته ساکن

محتوای جزوه:

ارائه و آموزش مطالب کتاب به زبان ساده و پاسخگویی تمامی مسائل و سوالات درسی

تهیه شده توسط :

امین گرمرودی – دبیر فیزیک (کارشناس ارشد فیزیک ذرات بنیادی)

(نسخه ۱)

**الکتریسیته:** واژه ای یونانی است و از کلمه الکترون گرفته شده است که به معنای کهربا می باشد.

**الکتریسیته ساکن:** مباحثی از قبیل مطالعه بارهای ساکن ، چگونگی ایجاد بار الکتریکی در یک جسم ، نیروی بین دو بار الکتریکی ، میدان الکتریکی ، انرژی پتانسیل الکتریکی و اختلاف پتانسیل الکتریکی ، توزیع بار در اجسام رسانا و کاربردهای خازن در حیطه الکتریسیته ساکن بررسی می شود.

**بار الکتریکی:** دو نوع بار الکتریکی در طبیعت وجود دارد ، بار الکتریکی مثبت و بار الکتریکی منفی .

**توجه!** هنگامی که دو جسم را به هم مالش دهیم یکی از آن ها بار منفی و دیگری بار مثبت به خود می گیرد.

**ساختار اتم:** اتم دارای یک هسته در مرکز بوده و الکترون ها در اطراف هسته می چرخند، داخل هسته ذرات پروتون و نوترون وجود دارد. بار الکترون منفی و بار پروتون مثبت است اما نوترون از لحاظ الکتریکی خنثی می باشد.

**نکته:** وقتی میله ای شیشه ای را با پارچه ابریشمی مالش دهیم ، میله شیشه ای بار مثبت به خود می گیرد.

وقتی میله پلاستیکی را با پارچه پشمی مالش دهیم ، میله پلاستیکی بار منفی به خود می گیرد.

**الکتروسکوپ:** وسیله ای است که به کمک آن می توانیم مقدار و نوع بار الکتریکی اجسام را اندازه بگیریم.



ب) جسمی باردار را به کلاهک الکتروسکوپ بدون بار نزدیک کرده یا تماس داده ایم.



الف) تصویری از یک الکتروسکوپ درجه بندی شده بدون بار

**توجه!** اگر یک جسم را نزدیک کلاهک الکتروسکوپ بدون بار بگیریم ، ورقه های الکتروسکوپ از هم باز می شوند.

**تعیین نوع بار یک جسم به کمک الکتروسکوپ:** اگر به یک الکتروسکوپ بار مشخصی بدهیم ورقه هایش باز می شود. حال اگر جسم بارداری را به الکتروسکوپ نزدیک کنیم اگر ورقه ها بیشتر باز شوند آنگاه بار الکتروسکوپ با بار جسم همسان است و اگر ورقه ها به هم نزدیک شوند بار الکتروسکوپ با بار جسم مخالف است.

**به عنوان مثال:** اگر به الکتروسکوپ بار مثبت بدهیم ورقه ها باز می شوند حال اگر جسمی را نزدیک الکتروسکوپ بگیریم و ورقه ها به هم نزدیک شوند بار آن جسم مخالف بار الکتروسکوپ است. (یعنی منفی است)

**یکای بار الکتریکی:** یکای بار الکتریکی در SI (سیستم بین المللی) کولن است و با نماد C نشان می دهند.

**توجه!** یکای کولن یکای بسیار بزرگی است برای همین در بیشتر مواقع از یکاهای کوچکتر میکرو کولن ( $\mu C$ ) و نانو کولن (nC) استفاده می شود..

**نکته:** بارهای ناهمنام یکدیگر را جذب می کنند و بارهای همنام یکدیگر را دفع می کنند.. یعنی دو بار منفی یکدیگر را دفع می کنند، دو بار مثبت یکدیگر را دفع می کنند اما یک بار منفی بار مثبت را جذب می کند.

### پرسش ۱-۱

چرا وقتی روکش پلاستیکی را روی یک ظرف غذا می کشید و آن را در لبه های ظرف فشار می دهید، روکش در جای خود ثابت باقی می ماند؟

**پاسخ پرسش ۱-۱:** زیرا در اثر این کار روکش پلاستیکی بار منفی به خود می گیرد و ظرف مقداری بار مثبت و می دانیم بارهای مثبت و منفی یکدیگر را جذب می کنند..

**چگونه یک جسم باردار می شود:** در حالت عادی تعداد بارهای مثبت و منفی در اجسام یکسان است، اما اگر جسم الکترون از دست بدهد یا الکترون دریافت کند آنگاه جسم باردار خواهد بود.

**نکته:** هنگام باردار شدن اجسام فقط الکترون ها جابجا می شوند و پروتون ها در هسته ثابت می مانند و جابجا شدن پروتون ها (بارهای مثبت) ممکن نیست.

**توجه!** اندازه بار الکترون و پروتون یکسان است (البته یکی منفی و یکی مثبت) و مقدار آن برابر است با:

$$e = 1/60217653 \times 10^{-19} C \approx 1/60 \times 10^{-19} C$$

این مقدار را بار بنیادی e می گویند.

**سری تریبو الکتریک:** اگر دو جسم به یکدیگر مالش داده شوند جسمی که الکترون بگیرد بار منفی و جسمی که الکترون از دست بدهد دارای بار مثبت می شود. اما از کجا بدانیم که کدام جسم الکترون می گیرد و کدام الکترون از دست می دهد؟ به دست آوردن یا از دست دادن الکترون توسط دو جسم هنگام مالش با جدولی موسوم به سری تریبو الکتریک مشخص می شود:

انتهای مثبت سری	انتهای منفی سری
موی انسان	فلون
پشمه	لاستیک
نایلون	پلاستیک، پلی اتیلن
پشم	برنج، نقره
موی گربه	کهربا
سرب	پارچه کتان
ابریشم	چوب
آلومینیوم	کاغذ
پوست انسان	

در این جدول هرچه به انتهای منفی سری نزدیک شویم الکترون خواهی بیشتر می شود. به طور مثال اگر پشم با آلومینیوم مالش داده شود، پشم بار مثبت و آلومینیوم بار منفی به خود می گیرد. یا اگر کاغذ با ابریشم مالش داده شود کاغذ منفی و ابریشم مثبت می شود.

### دو اصل بار الکتریکی :

**اصل ۱ : پایستگی بار:** در یک سامانه منزوی (سامانه ای که با محیط بیرون از خودش ارتباط ندارد) جمع جبری بارهای الکتریکی ثابت می ماند ، یعنی اگر جسمی مقداری الکترون از دست بدهد جسم دیگری در آن سامانه همانقدر الکترون به دست می آورد.

**اصل ۲ : کوانتیده بودن بار :** به این معناست که اجسام هر مقدار بار (هر عددی) را نمی توانند داشته باشند و همواره مقدار بار الکتریکی ایجاد در اجسام مضرب صحیحی از بار بنیادی خواهد بود یعنی:

$$q = \pm ne, \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

$q$  : بار الکتریکی ایجاد شده --  $n$  : تعداد الکترون دریافتی یا از دست داده (اگر الکترون بگیرد منفی و اگر الکترون از دست بدهد مثبت)

**قانون کولن :** نیرویی که بین دو بار الکتریکی ثابت ایجاد می شود را نیروی الکتروستاتیکی می نامند اندازه این نیرو توسط قانون کولن به صورت زیر بیان می شود:

اندازه نیروی الکتریکی (الکتروستاتیکی) بین دو بار نقطه ای که در راستای خط واصل آن ها اثر می کند ، با حاصل ضرب بزرگی (اندازه) آن ها متناسب است و با مربع فاصله بین آن ها نسبت وارون دارد ، بنابراین ، اندازه این نیرو برابر است با :

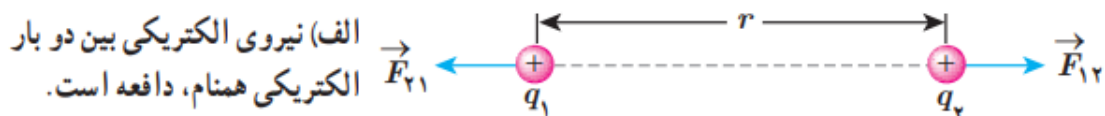
$$F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$$

در این رابطه  $q_1$  و  $q_2$  بارهای الکتریکی دو بار نقطه ای است و بر حسب کولن (C) می باشند،  $r$  فاصله دو بار از همدیگر بوده و بر حسب متر (m) بوده و  $F$  بزرگی نیروی الکتریکی وارد بر هر بار بر حسب نیوتون (N) است.

در این رابطه  $k$  ثابت الکترواستاتیکی (ثابت کولن) می باشد، عددی ثابت بوده که مقدار آن به صورت زیر است:

$$k = 8/98755179 \times 10^9 \text{ N.m}^2 / \text{C}^2 \approx 9/0 \times 10^9 \text{ N.m}^2 / \text{C}^2$$

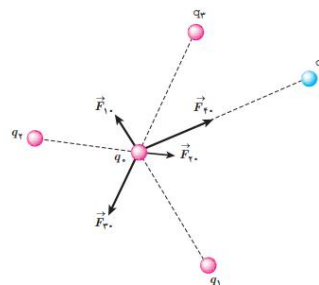
به شکل زیر توجه کنید:



دو بار همنام هستند که به هم نیروی دافعه وارد می کنند، نیرویی که بار  $q_1$  به بار  $q_2$  وارد می کند را با نماد  $\vec{F}_{12}$  و، نیرویی که بار  $q_2$  به بار  $q_1$  وارد می کند را با نماد  $\vec{F}_{21}$  نمایش می دهیم.

**نکته:** مقادیر  $\vec{F}_{12}$  و  $\vec{F}_{21}$  از نظر جهت همواره مخالف هم هستند اما از نظر اندازه یکسان می باشند، به عبارتی مقداری که بار  $q_1$  به بار  $q_2$  نیرو وارد می کند، به همان اندازه هم بار  $q_2$  به بار  $q_1$  نیرو وارد می کند و فرقی ندارد که یک بار بزرگتر باشد یا کوچکتر.

**برایند نیروهای الکتریکی:** اگر بیش از یک بار اطراف یک ذره باردار  $q$  قرار بگیرد نیروی خالص وارد بر آن بار برابر با جمع برداری (برایند) تمام نیروهایی است که از طرف بارهای اطراف به آن بار وارد می شود.



نیروی برایند وارد بر بار  $q$  در اینجا برابر است با

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{F}_4$$

**میدان الکتریکی:** خاصیتی از فضا است که توسط بارهای الکتریکی ایجاد می شود و اگر بار دیگری در آن فضا قرار گیرد به آن نیرو وارد می شود.

**توجه!** پس به دلیل ایجاد میدان الکتریکی است که بارهای الکتریکی به یکدیگر نیرو وارد می کنند.

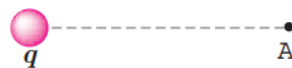
**توجه!** میدان الکتریکی کمیتی برداری بوده و آن را با نماد  $\vec{E}$  نشان می دهند و یکای آن "نیوتون بر کولن"  $N/C$  است.

**تعیین جهت میدان الکتریکی:** بار مثبت کوچک موسوم به بار آزمون ( $q$ ) را در نقطه مورد نظر قرار می دهیم جهت نیروی وارد بر بار آزمون جهت میدان الکتریکی را در آن نقطه نشان می دهد.

**فرمول میدان الکتریکی:** برابر است با

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

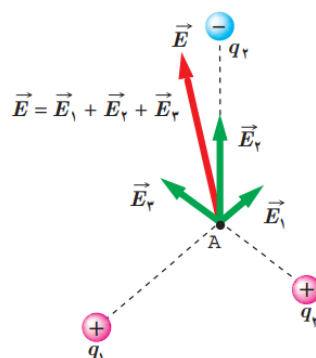
**میدان الکتریکی ناشی از یک بار ذره ای:** میدان الکتریکی که در اطراف یک بار نقطه ای کوچک ایجاد می شود از رابطه زیر بدست می آید:



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

که در آن  $q$  اندازه بار الکتریکی نقطه ای است.

**برایند میدان های الکتریکی:** اگر بخواهیم میدان الکتریکی ناشی از چندین ذره باردار را در یک نقطه بدست آوریم، باید مقدار میدان الکتریکی ناشی از تمام بارها را بدست آورده و به صورت برداری با هم جمع کنیم:

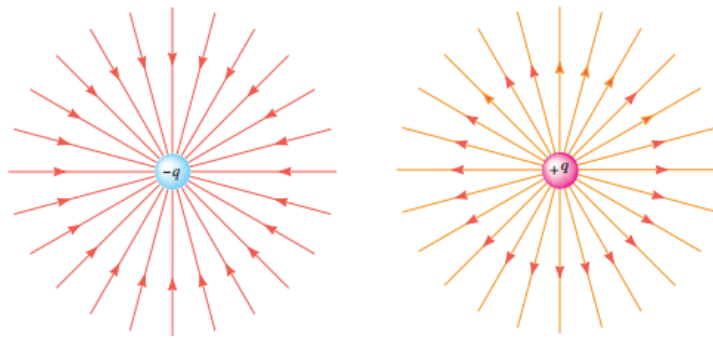


میدان الکتریکی  $\vec{E}$  در نقطه  $A$

جمع برداری میدان های  $E_1$ ،  $E_2$  و  $E_3$  در این نقطه است.

**خطوط میدان الکتریکی:** برای مجسم کردن میدان الکتریکی در فضای اطراف اجسام باردار از خط های جهت داری موسوم به خطوط میدان الکتریکی استفاده می کنیم.

خطوط میدان الکتریکی در اطراف بار نقطه ای به شکل زیر است:

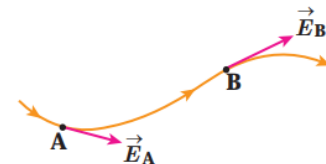


(ب) خطوط میدان الکتریکی به سمت ذره باردار  $-q$  است.

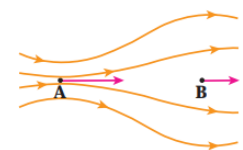
(الف) خطوط میدان الکتریکی در جهت دور شدن از ذره باردار  $+q$  است.

### قواعد رسم خطوط میدان الکتریکی:

○ در هر نقطه، بردار میدان الکتریکی باید مماس بر خط میدان الکتریکی عبوری از آن نقطه و در همان جهت باشد.



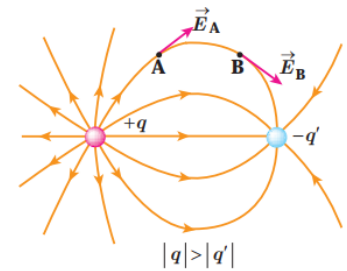
○ میزان تراکم خطوط میدان در هر ناحیه از فضا نشان دهنده اندازه میدان در آن ناحیه است؛ هر جا خطوط میدان متراکم تر باشد، اندازه میدان بیشتر است.



اطراف نقطه A خطوط میدان متراکم تر از اطراف نقطه B است. بنابراین، بزرگی میدان در نقطه A بیشتر از نقطه B است.

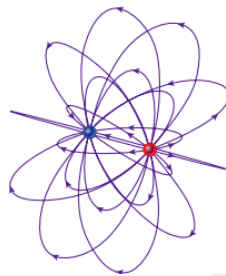
○ در آرایش از بارها خطوط میدان الکتریکی از بارهای مثبت شروع و به بارهای منفی ختم میشوند.



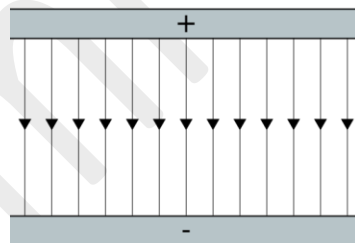


○ خطوط میدان برآیند هرگز یکدیگر را قطع نمی کنند ، یعنی یعنی از هر نقطه فضا فقط یک خط میدان الکتریکی میگذرد.

**نکته:** تجسم واقعی خطوط میدان، در فضاست، و بنابراین طرحی سه بعدی دارد:



**میدان الکتریکی یکنواخت:** به میدان الکتریکی که در آن بردار میدان در تمام نقاط بین دو صفحه هم اندازه و هم جهت باشد میدان الکتریکی یکنواخت می گویند.



**نیروی الکتریکی وارد بر بار الکتریکی در یک میدان الکتریکی:** اگر یک ذره باردار  $q$  داخل میدان الکتریکی  $\vec{E}$  قرار گیرد نیرویی به آن وارد می شود که از رابطه زیر بدست می آید :

$$\vec{F} = q\vec{E}$$

**نکته:** نیروی وارد بر بار مثبت ( $+q$ ) هم جهت با خطوط میدان الکتریکی می باشد ، و نیروی وارد بر بار منفی ( $-q$ ) خلاف جهت خطوط میدان الکتریکی است.

**انرژی پتانسیل الکتریکی:** اگر جسم بارداری داخل یک میدان الکتریکی قرار گیرد انرژی ای در آن ذخیره می گردد که به آن انرژی پتانسیل الکتریکی می گویند.

**تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی:** اگر بار الکتریکی  $q$  در داخل میدان  $\vec{E}$  به اندازه  $d$  جابجا شود، انرژی پتانسیل الکتریکی اش تغییر می کند که مقدار آن از رابطه زیر بدست می آید:

$$\Delta U_E = -W_E = -|q| E d \cos\theta$$

که در آن  $\theta$  زاویه بین نیروی وارد شده از طرف میدان الکتریکی و  $d$  جابجایی است.

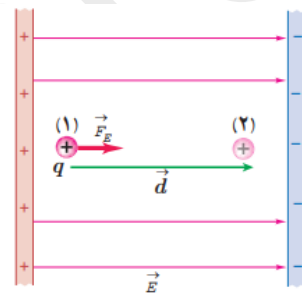
**توجه!** یکای تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی ژول است.

**پتانسیل الکتریکی:** نسبت انرژی پتانسیل الکتریکی  $U_E$  به بار الکتریکی ذره مورد نظر  $q$  را پتانسیل الکتریکی آن بار می گویند و از رابطه زیر بدست می آید:

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

**اختلاف پتانسیل الکتریکی:** اگر بار الکتریکی در میدان الکتریکی حرکت کند آنگاه، نسبت تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی  $\Delta U_E$  به بار ذره  $q$  را اختلاف پتانسیل الکتریکی آن ذره می گویند که از رابطه زیر بدست می آید:

$$\Delta V = V_r - V_i = \frac{\Delta U_E}{q} \rightarrow \Delta V = -Ed \cos\theta$$



**توجه!** نسبت اختلاف پتانسیل الکتریکی مستقل از اندازه و نوع بار  $q$  است.

**توجه!** پتانسیل الکتریکی و اختلاف پتانسیل الکتریکی کمیت هایی نرده ای هستند و یکای آن ها "ژول بر کولن"

می باشد که به اختصار آن را "ولت" ( $V$ ) می نامند.  $(J/C)$

**نکته:** اختلاف پتانسیل دو سر باتری برابر با پتانسیل پایانه مثبت منهای پتانسیل پایانه منفی است:

$$\Delta V_{\text{باتری}} = V_+ - V_-$$

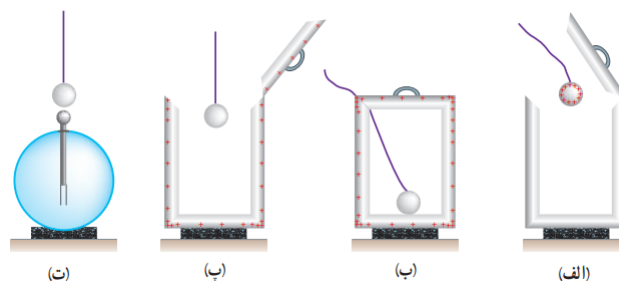
مثلا وقتی می گوئیم اختلاف پتانسیل یک باتری ۱۲ ولت است یعنی پتانسیل پایانه مثبت آن ۱۲ ولت بیشتر از پتانسیل پایانه منفی آن است.

**نقطه زمین:** معمولا در محاسبات مهندسی پتانسیل قسمتی از مدار یا پتانسیل سطح زمین را صفر در نظر می گیرند و به آن نقطه اصلاحا نقطه زمین میگویند و پتانسیل نقطه های دیگر را نسبت به آن می سنجدند. نماد پتانسیل زمین را در مدارهای الکتریکی به صورت  $\perp$  نمایش می دهند.

**رابطه اختلاف پتانسیل دو نقطه و اندازه میدان الکتریکی یکنواخت:** اندازه اختلاف پتانسیل الکتریکی در یک جابجایی داخل میدان الکتریکی یکنواخت از طریق رابطه  $|\Delta V| = Ed$  بدست می آید.

### توزیع بار الکتریکی در اجسام رسانا:

**آزمایش فاراده:** ظرف رسانایی با درپوش فلزی که روی پایه عایق قرار دارد را در نظر بگیرید. در ابتدا ظرف بدون بار است، گلوله بارداری را به وسیله نخ عایق درونش می اندازیم، سپس درب ظرف را می بندیم و دوباره باز کرده و گوی را خارج می کنیم، هنگامی که گوی را به الکتروسکوپ نزدیک می کنیم ورقه های الکتروسکوپ از هم باز نمی شوند. در این آزمایش مشاهده کردیم هنگامی که درب ظرف را ببندیم بار گلوله صفر می شود پس نتیجه می گیریم داخل ظرف بدون بار می شود.

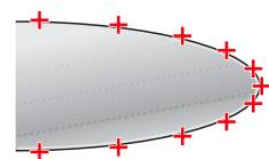


**نتیجه آزمایش فاراده:** بار اضافی داده شده به یک رسانا روی سطح خارجی آن توزیع میشود.

**نکته:** بار الکتریکی همواره در سطح خارجی رسانا توزیع می شود و به گونه ای توزیع و پخش می شود که میدان الکتریکی داخل رسانا صفر گردد.

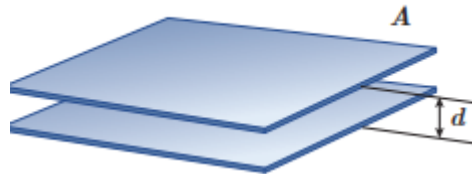
**نکته:** تراکم بار روی اجسام رسانا در نقاط تیز بیشتر می شود (شکل زیر)

تراکم بار در نقاط تیزتر سطح یک جسم رسانای باردار بیشتر است.



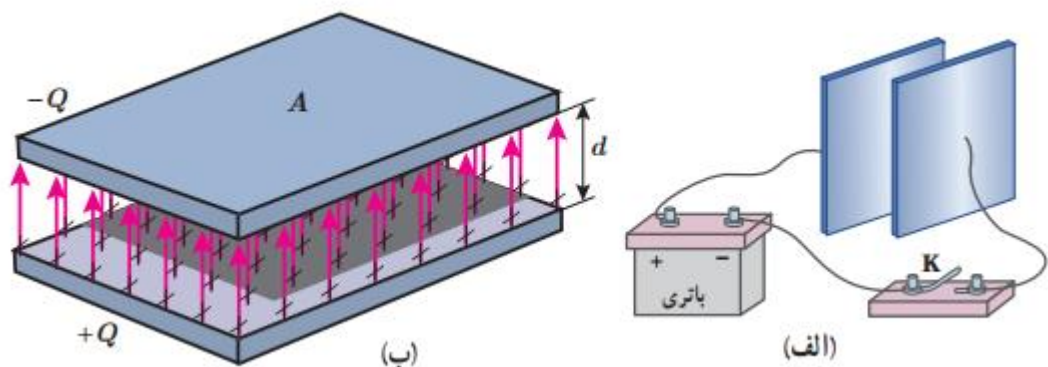
**خازن:** خازن وسیله‌های الکتریکی است که می‌توانند بار و انرژی الکتریکی را در خود ذخیره کند. از انواع خازن می‌توان به خازن های ثابت ، متغیر ، سرامیکی ، ورقه ای ، کاغذی ، پلاستیکی ، تخت ، استوانه ای و ... نام برد.

**خازن تخت:** این نوع خازن شامل دو صفحه رسانای موازی با مساحت  $A$  است که به فاصله  $d$  از هم قرار گرفته اند.



**توجه!** برای نشان دادن خازن در مدار از نماد  $(\text{||})$  استفاده می‌کنیم.

**باردار (شارژ) کردن خازن:** اگر دو صفحه خازن را به دو سر باتری وصل کنیم صفحات خازن دارای بارهای مخالف هم می‌شوند. به صورت شکل زیر:



**ظرفیت خازن:** هر خازن متناسب با اختلاف پتانسیلی که به آن وصل می‌شود بار الکتریکی در خود ذخیره می‌کند ، نسب بار الکتریکی ذخیره شده به اختلاف پتانسیل دو صفحه خازن را ظرفیت خازن می‌گویند و از رابطه زیر بدست می‌آید:

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

**توجه!** ظرفیت خازن را با نماد  $C$  نشان می‌دهند ، با توجه به این اینکه یکای بار کولن و یکای اختلاف پتانسیل ولت است ، یکای ظرفیت خازن  $C/V$  (کولن بر ولت) می‌شود که به اختصار آن را F فاراد می‌نامیم.

**نکته:** فاراد  $F$  یکای بسیار بزرگی است بنابراین اکثرا از یکاهای کوچکتر میکروفاراد  $10^{-6}F$  ، پیکوفاراد  $10^{-12}F$  و ... استفاده می‌شود.

**نکته:** ظرفیت خازن فقط به ساختمان خازن و جنس صفحه های آن بستگی دارد .

**ظرفیت خازن با توجه به ساختار آن :** اگر خازنی با صفحه هایی به مساحت  $A$  داشته باشیم که به فاصله  $d$  از هم قرار داشته باشند ، ظرفیت خازن از رابطه زیر بدست می آید:

$$C = \epsilon \cdot \frac{A}{d}$$

در این رابطه  $\epsilon$  ضریب گذردهی خلا بوده و مقدار آن برابر است با :

$$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$$

**نکته:** اگر میان صفحات خازن را با ماده عایقی (که به آن دی الکتریک می گویند) پر کنیم آنگاه ظرفیت خازن به صورت رابطه زیر افزایش می یابد.

$$C = \kappa C_0$$

$\kappa$  : ثابت دی الکتریک ماده ای است که میان خازن قرار می گیرد.

در جدول زیر ثابت دی الکتریک برخی از مواد ذکر شده است :

ماده دی الکتریک	ثابت دی الکتریک
هوای ۱ atm	۱/۰۰۰۶
تفلون	۲/۱
پارافین	۲/۲
پلی استیرن	۲/۶
میلار	۳/۱
پی وی سی	۳/۴
کاغذ	۳/۵
کوارتز	۴/۳
شیشه پیرکس	۵
میکا	۷
آب خالص	۸۰
تیتانید استرانسیوم	۳۱۰

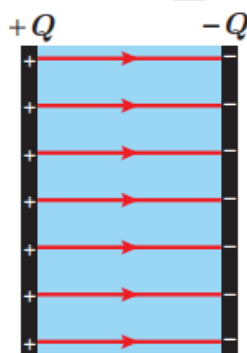
**فروریزش الکتریکی:** اگر اختلاف پتانسیل دو صفحه یک خازن را به اندازه کافی زیاد کنیم تعدادی از الکترون های اتم های ماده دی الکتریک ، توسط میدان الکتریکی ایجاد شده بین دو صفحه، کنده میشوند و مسیرهایی رسانا درون دی الکتریک ایجاد میشود که سبب تخلیه خازن میگردد. به این پدیده فروریزش الکتریکی ماده دی الکتریک می گویند.



**انرژی خازن:** انرژی ذخیره شده در خازن از رابطه زیر بدست می آید:

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

$Q$ : بار ذخیره شده در خازن،  $C$ : ظرفیت خازن،  $V$ : اختلاف پتانسیل خازن



انرژی در میدان الکتریکی

بین صفحات خازن ذخیره می شود.

## بخش دوم

# بررسی و پاسخ تمرینات و مسائل کتاب

Garmroudi.ir

## پرسش ۱-۱

چرا وقتی روکش پلاستیکی را روی یک ظرف غذا می کشید و آن را در لبه های ظرف فشار می دهید، روکش در جای خود ثابت باقی می ماند؟

**پاسخ پرسش ۱-۱:** زیرا هنگامی که پلاستیک به ظرف مالش داده می شود الکترون ها جابجا شده و در اثر باردار شدن روکش و ظرف به هم می چسبند.

## مثال ۱-۱

وقتی روی فرش راه می روید و بدنتان بار الکتریکی پیدا می کند، هنگام دست دادن با دوستان، ممکن است با انتقال باری در حدود  $1\text{ nC}$  به او شوک خفیفی وارد کنید. در این انتقال بار، چند الکترون بین شما و دوستان منتقل شده است؟  
**پاسخ:** از رابطه ۱-۱ داریم:

$$q = ne$$

$$n = \frac{q}{e} = \frac{1 \times 10^{-9} \text{ C}}{1.6 \times 10^{-19} \text{ C}} = 6 \times 10^9 \text{ الکترون}$$

## تمرین ۱-۱

عدد اتمی اورانیوم  $Z = 92$  است. بار الکتریکی هسته اتم اورانیم چقدر است؟ مجموع بار الکتریکی الکترون های اتم اورانیم (خنثی) چه مقدار است؟ بار الکتریکی اتم اورانیم (خنثی) چقدر است؟

## پاسخ تمرین ۱-۱

به تعداد ۹۲ عدد پروتون در داخل هسته اتم وجود دارد:

$$q_{\text{پروتون}} = +ne = 92 \times 1/6 \times 10^{-19} \text{ C} = 1/47 \times 10^{-17} \text{ C}$$

به تعداد ۹۲ عدد الکترون نیز در اطراف هسته در حرکت است:

$$q_{\text{الکترون}} = -ne = -92 \times 1/6 \times 10^{-19} \text{ C} = -1/47 \times 10^{-17} \text{ C}$$

مجموع بار کل اتم اورانیم:

$$q_{\text{الکترون}} = q_{\text{پروتون}} + q_{\text{الکترون}} = 1/47 \times 10^{-17} \text{ C} + (-1/47 \times 10^{-17} \text{ C}) = 0$$

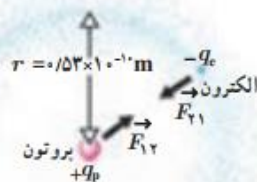


## فعالیت ۱-۱ (کاردرکلاس)



مطابق شکل، دو نی پلاستیکی را از نزدیکی یک انتهای آنها خم کنید و پس از مالش دادن با پارچه‌ای پشمی نزدیک یکدیگر قرار دهید. اگر نی‌ها به خوبی باردار شده باشند، نیروی دافعه آنها را می‌توانید به وضوح بر روی انگشتان خود حس کنید.

## مثال ۱-۲



الف) در مدل بور برای اتم هیدروژن، فاصله الکترون از پروتون هسته در حالت پایه  $5/3 \times 10^{-11} \text{ m}$  است (شکل را ببینید). اندازه نیروی الکتریکی که پروتون به الکترون وارد می‌کند را محاسبه کنید. ب) در هسته اتم هلیم دو پروتون به فاصله تقریبی  $r = 2/4 \times 10^{-15} \text{ m}$  از هم قرار دارند. اندازه نیروی که پروتون‌ها بر هم وارد می‌کنند را محاسبه کنید.

پاسخ:

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

$$F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2} = k \frac{|q_e||q_p|}{r^2} = (9/0 \times 10^9 \text{ N.m}^2 / \text{C}^2) \frac{(1/60 \times 10^{-19} \text{ C})^2}{(5/3 \times 10^{-11} \text{ m})^2} = 8/2 \times 10^{-8} \text{ N}$$

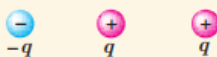
ب) با استفاده از قانون کولن داریم:

$$F = k \frac{|q_p||q_p|}{r^2} = (9/0 \times 10^9 \text{ N.m}^2 / \text{C}^2) \frac{(1/60 \times 10^{-19} \text{ C})^2}{(2/4 \times 10^{-15} \text{ m})^2} = 40 \text{ N}$$

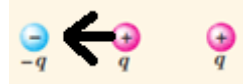
که این به مراتب بزرگ‌تر از نیروی محاسبه‌شده در قسمت الف است. این نیروی بزرگ، از جنس دافعه است. بنابراین، هسته اتم باید فرو بپاشد. از اینجا نتیجه می‌گیریم که باید نیروی دیگری وجود داشته باشد که مانع فروپاشی هسته شود. به این نیرو، نیروی هسته‌ای گفته می‌شود.

## پرسش ۱-۲

سه ذره باردار مانند شکل روبه‌رو، روی یک خط راست قرار دارند و فاصله 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 ذره سمت راست به جای  $q$ ، بار  $-q$  داشته باشد، جهت نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار میانی چگونه خواهد بود؟



**پاسخ پرسش ۱-۲:** الف: بار سمت راست به بار میانی نیروی دافعه (به سمت چپ) وارد می کند و بار سمت چپ به بار میانی نیروی جاذبه (به سمت چپ) وارد می کند که حاصل جمع این دو نیرو به سمت چپ می شود. مانند شکل زیر:



ب: اگر ذره سمت راست هم بار منفی داشته باشند هر دو بار چپ و راست می خواهند بار میانی را به سمت خود جذب کنند (خلاف جهت هم نیرو وارد می کنند) که برآیند این دو نیرو صفر می شود.

### مثال ۱-۳



سه ذره با بارهای  $q_1 = +2/5 \mu\text{C}$ ،  $q_2 = -1/0 \mu\text{C}$  و  $q_3 = +4/0 \mu\text{C}$  در نقطه های A، B و C مطابق شکل روبه رو ثابت شده اند. نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار  $q_2$  را محاسبه کنید.

**پاسخ:** نیروی الکتریکی خالصی که بر بار  $q_2$  وارد می شود، برآیند دو نیروی است که از طرف بارهای  $q_1$  و  $q_3$  بر آن وارد می شوند. برای محاسبه این نیرو، نیروی را که هر یک از بارهای  $q_1$  و  $q_3$  در نبود دیگری، بر بار  $q_2$  وارد می کند، محاسبه می کنیم. نیروی الکتریکی وارد بر  $q_2$ ، برآیند این دو نیرو است.

فاصله بین بارهای  $q_1$  و  $q_2$  را با  $r_{12}$  و فاصله بین بارهای  $q_2$  و  $q_3$  را با  $r_{23}$  نشان می دهیم. با استفاده از رابطه ۱-۲ داریم:

$$F_{12} = k \frac{|q_1| |q_2|}{r_{12}^2} = (9/0 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2) \frac{(2/5 \times 10^{-6} \text{ C})(1/0 \times 10^{-6} \text{ C})}{(4/0 \text{ m})^2}$$

$$= 2/5 \times 10^{-7} \text{ N}$$

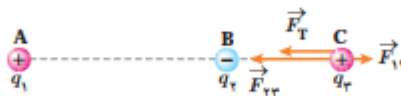
$$F_{23} = k \frac{|q_2| |q_3|}{r_{23}^2} = (9/0 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2) \frac{(1/0 \times 10^{-6} \text{ C})(4/0 \times 10^{-6} \text{ C})}{(2/0 \text{ m})^2}$$

$$= 9/0 \times 10^{-7} \text{ N}$$

نیروی که بار  $q_1$  بر بار  $q_2$  وارد می کند، دافعه و نیروی که بار  $q_3$  بر بار  $q_2$  وارد می کند جاذبه است.

مطابق شکل، نیروهای  $\vec{F}_{12}$  و  $\vec{F}_{23}$  در جهت های مخالف یکدیگرند و برآیند آنها برابر است با

$$\vec{F}_T = \vec{F}_{23} + \vec{F}_{12}$$



بنابراین، اندازه نیروی برآیند برابر با تفاضل اندازه آنهاست:

$$F_T = F_{23} - F_{12} = 6/5 \times 10^{-7} \text{ N}$$

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 در نظر بگیریم و بردار یکه محور  $x$  را،  $\vec{i}$  بنامیم، داریم:

$$\vec{F}_T = (-6/5 \times 10^{-7} \text{ N}) \vec{i}$$

## تمرین ۱-۲

در مثال ۱-۳، نیروی خالص وارد بر بار  $q_2$  را به دست آورید.

**پاسخ تمرین ۱-۲:** می خواهیم نیروی خالص وارد بر بار  $q_2$  را پیدا کنیم، پس باید نیرویی که بارهای  $q_1$  و  $q_3$  به ذره  $q_2$  وارد می کنند پیدا کرده با هم جمع کنیم.



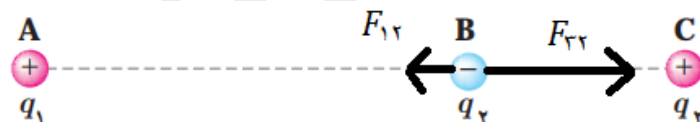
نیرویی که  $q_1$  به  $q_2$  وارد می کند:

$$F_{12} = k \frac{|q_1||q_2|}{r_{12}^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{2/5 \times 10^{-6} \times 1 \times 10^{-6}}{4^2} = 1/4 \times 10^{-3} N$$

نیرویی که  $q_3$  به  $q_2$  وارد می کند:

$$F_{32} = k \frac{|q_3||q_2|}{r_{32}^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{4 \times 10^{-6} \times 1 \times 10^{-6}}{2^2} = 9 \times 10^{-3} N$$

این دو نیرو خلاف جهت هم هستند، پس برآیندشان به صورت زیر بدست می آید:



$$F_{\text{خالص}} = F_{32} - F_{12} = 9 \times 10^{-3} N - 1/4 \times 10^{-3} N = 7/6 \times 10^{-3} N$$

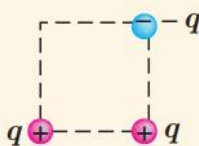
## پرسش ۱-۳

سه ذره باردار مطابق شکل روبه‌رو، در سه گوشه یک مربع قرار دارند.

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

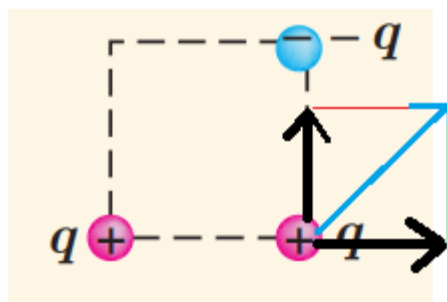
ب) اگر ذره سمت چپ پایینی به جای  $q$ ، بار  $-q$  داشته باشد، جهت نیروی الکتریکی خالص وارد

بر بار سمت راست پایینی چگونه خواهد بود؟

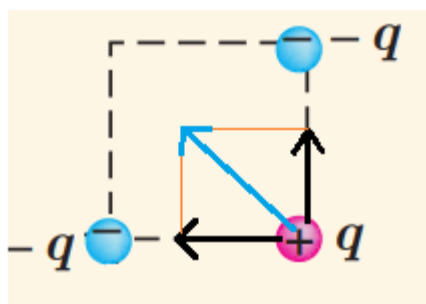


**پاسخ پرسش ۱-۳:** الف: بار منفی به بار مورد نظر نیروی جاذبه رو به بالا و بار سمت چپ به بار مورد نظر نیروی

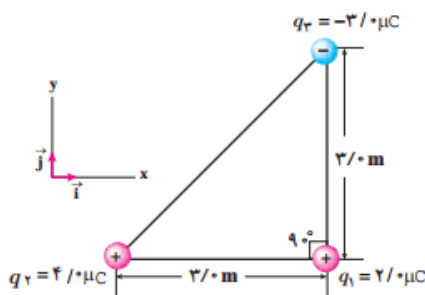
دافعه به سمت راست وارد می کند به شکل زیر برآیند دو نیرو با رنگ آبی نشان داده شده است:



ب: اگر سمت چپ منفی باشد هر دو بار به بار مثبت نیروی جاذبه وارد می کنند و برآیند این دو نیرو با رنگ آبی نشان داده شده است:



مثال ۱-۴



سه ذره باردار مطابق شکل روبه‌رو در سه رأس مثلث قائم‌الزاویه‌ای ثابت شده‌اند. نیروی الکتریکی خالص وارد بر ذره واقع در رأس قائمه را به دست آورده و اندازه این نیرو را محاسبه کنید.

**پاسخ:** نیروی الکتریکی بین بارهای  $q_1$  و  $q_2$  دافعه و نیروی بین بارهای  $q_1$  و  $q_3$ ، جاذبه است. با استفاده از رابطه ۱-۲ داریم:

$$F_{r1} = k \frac{|q_2||q_1|}{r_{r1}^2} = (9/0 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2) \frac{(4/0 \times 10^{-6} \text{ C})(2/0 \times 10^{-6} \text{ C})}{(3/0 \text{ m})^2} = 8/0 \times 10^{-3} \text{ N}$$

با توجه به دستگاه مختصات داده شده،  $\vec{F}_{r1}$  در جهت مثبت محور  $x$  است. بنابراین،  $\vec{F}_{r1} = (8/0 \times 10^{-3} \text{ N}) \vec{i}$  می‌شود. به همین ترتیب، برای نیروی بین بارهای  $q_1$  و  $q_3$  داریم:

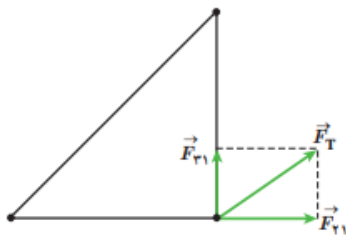
$$F_{r1} = k \frac{|q_3||q_1|}{r_{r1}^2} = (9/0 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2) \frac{(3/0 \times 10^{-6} \text{ C})(2/0 \times 10^{-6} \text{ C})}{(3/0 \text{ m})^2} = 6/0 \times 10^{-3} \text{ N}$$

با توجه به دستگاه مختصات داده شده،  $\vec{F}_{r1}$  در جهت مثبت محور  $y$  است. بنابراین،  $\vec{F}_{r1} = (6/0 \times 10^{-3} \text{ N}) \vec{j}$  می‌شود. پس برآیند نیروهای الکتریکی وارد بر بار  $q_1$  برابر است با

$$\vec{F}_T = \vec{F}_{r1} + \vec{F}_{r1} = (8/0 \times 10^{-3} \text{ N}) \vec{i} + (6/0 \times 10^{-3} \text{ N}) \vec{j}$$

و بزرگی آن با استفاده از رابطه فیثاغورس، چنین به دست می‌آید:

$$F_T = \sqrt{F_{r1}^2 + F_{r1}^2} = \sqrt{(8/0 \times 10^{-3} \text{ N})^2 + (6/0 \times 10^{-3} \text{ N})^2} = 1/0 \times 10^{-2} \text{ N}$$

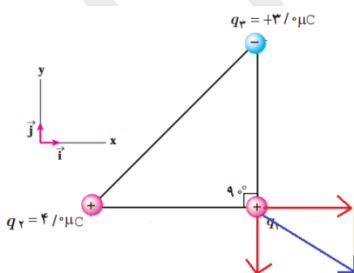


تمرین ۱-۳

در مثال ۱-۴ الف) اگر علامت بار  $q_3$  تغییر کند جهت نیروی برآیند وارد بر بار  $q_1$  چگونه خواهد شد؟  
 ب) اگر علامت بار  $q_2$  تغییر کند، جهت نیروی برآیند وارد بر بار  $q_1$  چگونه خواهد شد؟  
 پ) آیا اندازه نیروی برآیند وارد بر بار  $q_1$  در قسمت‌های الف و ب با مقدار به دست آمده در مثال ۱-۴ متفاوت است؟

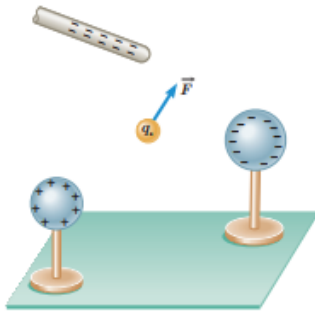
**پاسخ تمرین ۱-۳:** الف)

جهت نیروی برآیند وارد بر  $q_1$  به شکل زیر می‌شود:



ب: جهت نیروی برآیند تغییر کرده اما با توجه به اینکه اندازه و فاصله بارها تغییر نکرده پس مقدار نیروی وارد شده نیز ثابت می‌ماند.

## مثال ۱-۵



بار آزمون نشان داده شده در شکل  $q_1 = +3/0 \times 10^{-8} \text{ C}$  است و از سوی دو گوی و یک میله باردار نیرویی برابر با  $F = 6/0 \times 10^{-5} \text{ N}$  در جهت نشان داده شده بر آن وارد می شود.

الف) میدان الکتریکی در محل بار آزمون را تعیین کنید.

ب) اگر بار  $12 \times 10^{-8} \text{ C}$  را به جای  $q$  قرار دهیم، چه نیرویی به آن وارد می شود؟

پاسخ: الف) بزرگی میدان الکتریکی با استفاده از رابطه ۱-۳ برابر است با

$$E = \frac{F}{q} = \frac{6/0 \times 10^{-5} \text{ N}}{3/0 \times 10^{-8} \text{ C}} = 2/0 \times 10^3 \text{ N/C}$$

که جهت آن در همان سوی نیروی  $\vec{F}$  نشان داده شده در شکل است.

ب) دوباره با استفاده از رابطه ۱-۳ داریم:

$$F = q_2 E = (12 \times 10^{-8} \text{ C})(2/0 \times 10^3 \text{ N/C}) = 24 \times 10^{-5} \text{ N}$$

جهت این نیرو نیز در همان سوی نیروی  $\vec{F}$  نشان داده شده در شکل است.

## مثال ۱-۶



مولد وان دوگراف<sup>۱</sup> وسیله ای است که با استفاده از تسمه ای متحرک، بار الکتریکی را بر روی یک کلاهک توخالی فلزی جمع می کند. فرض کنید کلاهک این مولد، کره ای با شعاع  $0/10 \text{ m}$  است و باری به بزرگی  $1/0 \mu\text{C}$  روی آن جمع می شود. با فرض آنکه همه این بار در مرکز کره قرار داشته باشد، بزرگی میدان الکتریکی این بار را در فاصله های  $0/10 \text{ m}$ ،  $0/20 \text{ m}$ ،  $0/30 \text{ m}$  و  $0/40 \text{ m}$  از مرکز کره به دست آورید و سپس با نقطه یابی، نمودار بزرگی میدان الکتریکی را بر حسب فاصله از مرکز کره رسم کنید.

پاسخ: با استفاده از رابطه ۱-۴ بزرگی میدان را در نقطه های مورد نظر به دست می آوریم:

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

$$E_1 = (9/0 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2) \frac{(1/0 \times 10^{-6} \text{ C})}{(0/10 \text{ m})^2} = 9/0 \times 10^2 \text{ N/C}$$

$$E_2 = (9/0 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2) \frac{(1/0 \times 10^{-6} \text{ C})}{(0/20 \text{ m})^2} = 2/25 \times 10^2 \text{ N/C} \approx 2/3 \times 10^2 \text{ N/C}$$

$$E_3 = (9/0 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2) \frac{(1/0 \times 10^{-6} \text{ C})}{(0/30 \text{ m})^2} = 1/0 \times 10^2 \text{ N/C}$$

$$E_4 = (9/0 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2) \frac{(1/0 \times 10^{-6} \text{ C})}{(0/40 \text{ m})^2} = 0/5625 \times 10^2 \text{ N/C} \approx 0/56 \times 10^2 \text{ N/C}$$

## تمرین ۱-۲

طبق مدل بور برای اتم هیدروژن، در حالت پایه فاصله الکترون از پروتون هسته برابر با  $5/3 \times 10^{-11} \text{ m}$  است.  
الف) اندازه میدان الکتریکی ناشی از پروتون هسته را در این فاصله تعیین کنید.  
ب) در چه فاصله‌ای از پروتون هسته، بزرگی میدان الکتریکی برابر با بزرگی میدان الکتریکی حاصل از مولد وان دوگراف مثال پیش در فاصله  $1/0 \text{ m}$  از مرکز کلاهک آن است؟

## پاسخ تمرین ۱-۲:

الف: اندازه میدان الکتریکی ناشی از ذره باردار در فاصله معین از آن از رابطه زیر بدست می آید:

$$E = k \frac{|q_{\text{پروتون}}|}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{1/6 \times 10^{-19}}{(5/3 \times 10^{-11})^2} = 4/9 \times 10^{12} \text{ N/C}$$

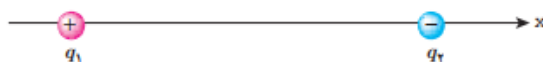
ب: بزرگی میدان در فاصله یک متری از مولد وان دوگراف مثال پیش را مساوی میدان ناشی از پروتون قرار می دهیم و فاصله مورد نظر اطراف پروتون بدست می آید.

$$E_{\text{پروتون}} = E_{\text{واندوگراف}} \rightarrow k \frac{|q_{\text{پروتون}}|}{r_p^2} = 9 \times 10^3 \rightarrow \frac{|1/6 \times 10^{-19}|}{r^2} = 9 \times 10^3$$

$$r^2 = \frac{9 \times 10^3}{1/6 \times 10^{-19}} = 5/625 \times 10^{22} \rightarrow r = \sqrt{5/625 \times 10^{22}} = 2/3 \times 10^{11} \text{ m}$$

## مثال ۱-۷

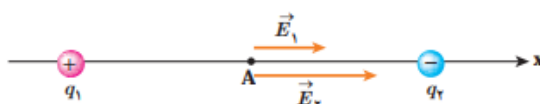
مطابق شکل، دو ذره با بارهای  $q_1 = 4/0 \mu\text{C}$  و  $q_2 = -6/0 \mu\text{C}$  در فاصله  $1/0 \text{ m}$  از یکدیگر ثابت شده‌اند. اندازه میدان الکتریکی خالص را در نقطه‌های زیر بدست آورید:



الف) در وسط خط واصل دو ذره،

ب) در نقطه‌ای روی خط واصل دو ذره به فاصله  $1/0 \text{ m}$  از بار  $q_1$  و  $1/6 \text{ m}$  از بار  $q_2$ .

پاسخ: در غیاب هر یک از دو ذره، میدان حاصل از بار دیگر را محاسبه می‌کنیم. میدان حاصل از مجموعه دو بار، برآیند این دو میدان خواهد بود.



الف) در شکل اگر بار آزمون را در نقطه A واقع در وسط خط واصل دو ذره 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 نقطه A هم‌جهت و به سوی بار  $q_2$  (در سوی مثبت محور x) هستند.

میدان خالص در نقطه A، برآیند میدان‌های  $\vec{E}_1$  و  $\vec{E}_2$  است:

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

مقادیر  $E_1$  و  $E_2$  را با استفاده از رابطه ۱-۴ به دست می آوریم :

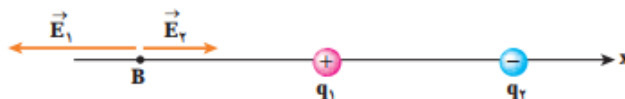
$$E_1 = k \frac{|q_1|}{r_1^2} = (9/0 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2) \frac{(4/0 \times 10^{-6} \text{ C})}{(4/0 \text{ m})^2} = 2/25 \times 10^3 \text{ N/C} \approx 2/3 \times 10^3 \text{ N/C}$$

$$E_2 = k \frac{|q_2|}{r_2^2} = (9/0 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2) \frac{(6/0 \times 10^{-6} \text{ C})}{(4/0 \text{ m})^2} = 3/375 \times 10^3 \text{ N/C} \approx 3/4 \times 10^3 \text{ N/C}$$

بنابراین :

$$\vec{E}_A = (2/3 \times 10^3 \text{ N/C}) \vec{i} + (3/4 \times 10^3 \text{ N/C}) \vec{i} = (5/7 \times 10^3 \text{ N/C}) \vec{i}$$

(ب) اکنون اگر بار آزمون را در نقطه B قرار دهیم شکل میدان های الکتریکی به صورت زیر در می آید :



میدان خالص در نقطه B، برآیند میدان های  $\vec{E}_1$  و  $\vec{E}_2$  است :

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

که در آن  $E_1$  و  $E_2$  برابرند با

$$E_1 = k \frac{|q_1|}{r_1^2} = (9/0 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2) \frac{(4/0 \times 10^{-6} \text{ C})}{(8/0 \text{ m})^2} = 5/625 \times 10^3 \text{ N/C} \approx 5/6 \times 10^3 \text{ N/C}$$

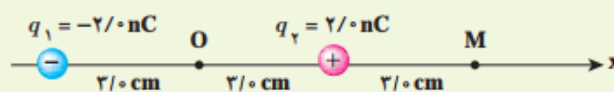
$$E_2 = k \frac{|q_2|}{r_2^2} = (9/0 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2) \frac{(6/0 \times 10^{-6} \text{ C})}{(16 \text{ m})^2} = 2/109 \times 10^3 \text{ N/C} \approx 2/11 \times 10^3 \text{ N/C}$$

بنابراین :

$$\vec{E}_B = (-5/6 \times 10^3 \text{ N/C}) \vec{i} + (2/11 \times 10^3 \text{ N/C}) \vec{i} = (-3/5 \times 10^3 \text{ N/C}) \vec{i}$$

### تمرین ۱-۵

شکل زیر، آرایشی از دو بار الکتریکی هم اندازه و غیر هم نام (دوقطبی الکتریکی) را نشان می دهد که در آن فاصله دو بار از هم  $6/0 \text{ cm}$  است. میدان الکتریکی خالص را در نقطه های O و M به دست آورید.



### پاسخ تمرین ۱-۵ :

اندازه میدان الکتریکی ناشی از بار  $q_1$  و  $q_2$  در نقطه O :

$$E_1 = k \frac{|q_1|}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{2 \times 10^{-9}}{(3 \times 10^{-2})^2} = 2 \times 10^4 \text{ N/C}$$

$$E_2 = k \frac{|q_2|}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{2 \times 10^{-9}}{(3 \times 10^{-2})^2} = 2 \times 10^4 \text{ N/C}$$



جهت میدان الکتریکی ناشی از بار های  $q_1$  و  $q_2$  در نقطه  $O$  به سمت چپ است. پس میدان برآیند برابر با جمع این دو مقدار می شود:

$$E_0 = |E_1 + E_2| = |2 \times 10^4 N/C + 2 \times 10^4 N/C| = 4 \times 10^4 N/C$$

اندازه میدان الکتریکی ناشی از بار  $q_1$  و  $q_2$  در نقطه  $M$ :

$$E_1 = k \frac{|q_1|}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{2 \times 10^{-9}}{(9 \times 10^{-2})^2} = 2/2 \times 10^3 N/C$$

$$E_2 = k \frac{|q_2|}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{2 \times 10^{-9}}{(3 \times 10^{-2})^2} = 2 \times 10^4 N/C$$

جهت میدان الکتریکی ناشی از بار  $q_1$  به سمت چپ و جهت میدان الکتریکی ناشی از بار  $q_2$  به سمت راست است، پس میدان برآیند اختلاف این دو میدان خواهد بود:

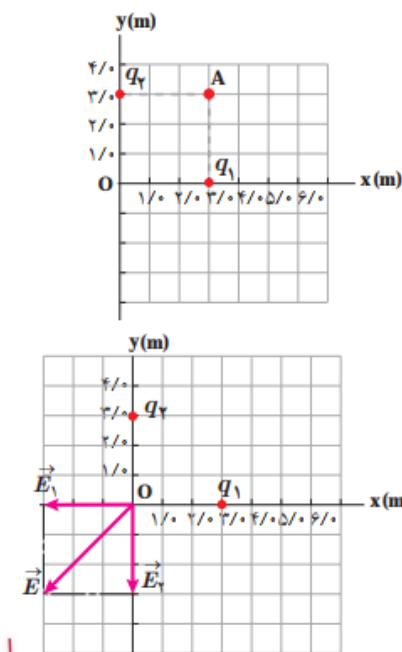
$$E_0 = |E_1 - E_2| = |2/2 \times 10^3 N/C - 2 \times 10^4 N/C| = 1/78 \times 10^4 N/C$$

جهت میدان برآیند به سمت راست است.



**پاسخ پرسش ۱-۴:** وقتی میله بار مثبت را به خرده های کاغذ نزدیک می کنیم، بارهای منفی (الکترون ها) در کاغذ به سمت میله متمایل می شوند و با نزدیک شدن بارهای منفی کاغذ به بارهای مثبت میله، کاغذ به میله جذب می شود.

## مثال ۸-۱



شکل روبه‌رو، دو بار نقطه‌ای  $q_1$  و  $q_2$  را در صفحه  $xy$  نشان می‌دهد. میدان الکتریکی خالص را در نقطه  $O$  (مبدأ مختصات) تعیین کنید. ( $q_1 = q_2 = 5 \times 10^{-6} \text{ C}$ )  
**پاسخ:** در نقطه  $O$  میدان‌های الکتریکی مانند شکل زیر می‌شوند؛ چون بارها با هم برابر و فاصله آنها تا نقطه  $O$  نیز یکسان است، پس اندازه میدان‌ها در این نقطه با هم برابرند:

$$E_1 = E_2 = k \frac{|q|}{r^2} = (9 \times 10^9 \text{ N.m}^2 / \text{C}^2) \frac{(5 \times 10^{-6} \text{ C})}{(3 \text{ m})^2} = 5 \times 10^3 \text{ N/C}$$

$$\vec{E}_1 = (-5 \times 10^3 \text{ N/C}) \vec{i} \quad \text{و} \quad \vec{E}_2 = (-5 \times 10^3 \text{ N/C}) \vec{j}$$

در نتیجه میدان الکتریکی خالص برابر است با

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

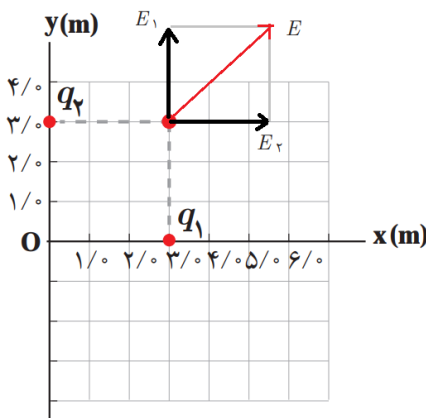
$$\vec{E} = (-5 \times 10^3 \text{ N/C}) \vec{i} + (-5 \times 10^3 \text{ N/C}) \vec{j}$$

و از آنجا اندازه میدان الکتریکی خالص چنین می‌شود:

$$E = \sqrt{(-5 \times 10^3 \text{ N/C})^2 + (-5 \times 10^3 \text{ N/C})^2} \\ = 7.07 \times 10^3 \text{ N/C} \approx 7.1 \times 10^3 \text{ N/C}$$

## تمرین ۶-۱

میدان الکتریکی خالص حاصل از آرایش بار مثال ۸-۱ را در نقطه  $A$  تعیین کنید.



**پاسخ تمرین ۶-۱:** در نقطه  $A$  نیز مانند نقطه  $O$  عمل می‌کنیم، هر دو

بار الکتریکی به فاصله ۳ متر از نقطه  $A$  هستند و میدان‌هایشان در آن نقطه یکسان خواهد بود ولی جهت‌ها متفاوت، که در تصویر مشاهده می‌کنید:

$$E_1 = E_2 = k \frac{|q|}{r^2} = (9 \times 10^9 \text{ N.m}^2 / \text{C}^2) \frac{(5 \times 10^{-6} \text{ C})}{(3 \text{ m})^2} = 5 \times 10^3 \text{ N/C}$$

$$\vec{E}_1 = (+5 \times 10^3 \text{ N/C}) \vec{i} \quad \text{و} \quad \vec{E}_2 = (+5 \times 10^3 \text{ N/C}) \vec{j}$$

در نتیجه میدان الکتریکی خالص برابر است با

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

$$\vec{E} = (+5 \times 10^3 \text{ N/C}) \vec{i} + (+5 \times 10^3 \text{ N/C}) \vec{j}$$

و از آنجا اندازه میدان الکتریکی خالص چنین می‌شود:

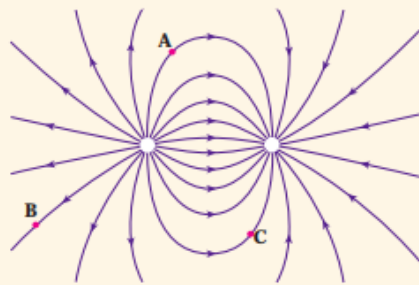
$$E = \sqrt{(+5 \times 10^3 \text{ N/C})^2 + (+5 \times 10^3 \text{ N/C})^2} \\ = 7.07 \times 10^3 \text{ N/C} \approx 7.1 \times 10^3 \text{ N/C}$$

## پرسش ۱-۵

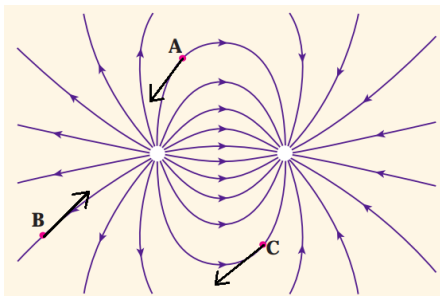
به نظر شما چرا خطوط میدان الکتریکی برآیند هرگز یکدیگر را قطع نمی‌کنند؟

**پاسخ پرسش ۱-۵:** در هر نقطه در فضا مجموعه ای نیرو به ذره باردار بر خورد می‌کند اما ما تنها برآیند آنها را در نظر می‌گیریم و یک نقطه بیش از یک برآیند ندارد پس خطوط میدان نمی‌توانند همدیگر را قطع کنند. چون برای یک نقطه دو خط رسم می‌شود ولی ما تنها بردارهای برآیند را می‌خواهیم.

## پرسش ۱-۶



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.



**پاسخ پرسش ۱-۶:** به یاد داشته باشید که داخل میدان الکتریکی جهت نیروی وارد بر بار الکتریکی منفی خلاف جهت خطوط میدان الکتریکی می‌باشد پس:

## فعالیت ۱-۳



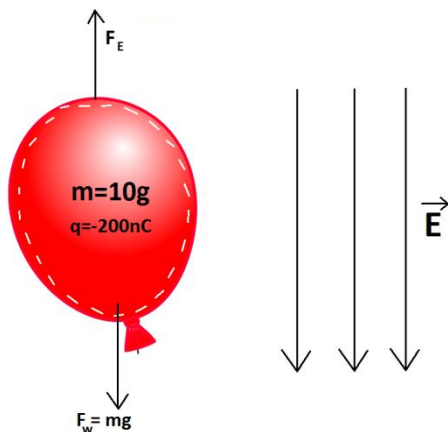
تولیدمثل برخی از گل‌ها به زنبورهای عسل وابسته است. گرده‌ها به واسطه میدان الکتریکی، از یک گل به زنبور و از زنبور به گل دیگر منتقل می‌شوند. در این باره تحقیق کنید.

**فعالیت ۱-۳:** خودتان تحقیق کنید:

## تمرین ۱-۷

روی سطح بادکنکی به جرم  $10/g$  بار الکتریکی  $200nC$  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.

**پاسخ تمرین ۱-۷:** نیروی گرانشی از طرف زمین می‌خورد بادکنک را به سمت پایین بکشد، پس نیروی میدان الکتریکی باید به سمت بالا باشد، برای اینکه نیرو به سمت بالا باشد باید میدان الکتریکی به سمت پایین قرار گیرد، (زیرا بار الکتریکی بادکنک منفی است) پس مسئله به شکل مقابل در می‌آید:



برای معلق ماندن باید بزرگی نیروی میدان الکتریکی با بزرگی نیروی وزن یکسان باشد پس:

$$F_E = F_w$$

$$qE = mg$$

$$200 \times 10^{-9} \times E = 10 \times 10^{-3} \times 9/8$$

$$E = \frac{9/8 \times 10^{-2}}{2 \times 10^{-7}} = 4/9 \times 10^5 N/C$$

## فعالیت ۱-۴



رسوب‌دهنده الکتروستاتیکی (ESP) دود و غبار را از گازهای زائدی که از دودکش کارخانه‌ها و نیروگاه‌ها بالا می‌آید جدا می‌سازد. رسوب‌دهنده‌ها انواع مختلفی دارند. در مورد اساس کار این رسوب‌دهنده‌ها تحقیق کنید. شکل‌های روبه‌رو تأثیر رسوب‌دهنده را در کاهش آلودگی هوای ناشی از یک دودکش نشان می‌دهد.

## پاسخ فعالیت ۱-۴: رسوب دهنده الکتروستاتیکی

**پرسش ۱-۷:**

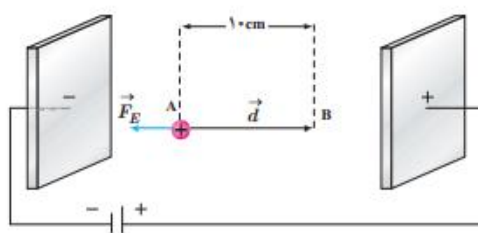
در هر یک از شکل‌های زیر، با توجه به علامت بار ذره جابه‌جا شده، و جهت میدان الکتریکی ( $\vec{E}$ )، جهت نیروی الکتریکی ( $\vec{F}_E$ ) و جهت جابه‌جایی ذره ( $\vec{d}$ )، تعیین کنید که:

الف) کار نیروی الکتریکی ( $W_E$ ) مثبت است یا منفی. ب) انرژی پتانسیل الکتریکی ( $U_E$ ) کاهش یافته است یا افزایش.

**پاسخ پرسش ۱-۷:** الف: اگر جابجایی در جهت نیروی الکتریکی باشد کار مثبت و اگر در خلاف جهت نیروی الکتریکی باشد کار منفی می‌شود. پس در شکل الف کار مثبت در شکل ب کار منفی و در شکل پ کار منفی و در شکل ت کار مثبت است.

ب: اگر کار نیروی الکتریکی مثبت باشد انرژی پتانسیل الکتریکی کاهش می‌یابد و برعکس. پس انرژی پتانسیل الکتریکی در شکل الف کاهش، در شکل ب افزایش، در شکل پ افزایش و در شکل ت کاهش می‌یابد.

## مثال ۱-۹



در یک میدان الکتریکی یکنواخت  $E = 2/0 \times 10^3 \text{ N/C}$ ، پروتون از نقطه A با سرعت  $v$  در خلاف جهت میدان الکتریکی پرتاب شده است. پروتون سرانجام در نقطه B متوقف می‌شود. بار پروتون  $1/6 \times 10^{-19} \text{ C}$  و جرم آن  $1/67 \times 10^{-27} \text{ kg}$  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 رابطه ۱-۸ داریم:

$$\Delta U_E = -W_E = -|q|Ed \cos \theta = -(1/6 \times 10^{-19} \text{ C})(2/0 \times 10^3 \text{ N/C})(10 \times 10^{-2} \text{ m})(\cos 180^\circ) = 3/2 \times 10^{-17} \text{ J}$$

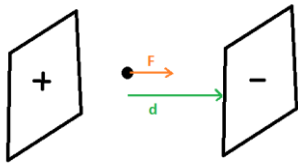
ب) طبق قضیه کار-انرژی جنبشی می‌توان نوشت:

$$W_E = \Delta K \Rightarrow -\Delta U_E = \frac{1}{2}m(0 - v^2)$$

$$-3/2 \times 10^{-17} \text{ J} = \frac{1}{2}(1/67 \times 10^{-27} \text{ kg})(-v^2) \Rightarrow v = 1/96 \times 10^5 \text{ m/s} \approx 2/0 \times 10^5 \text{ m/s}$$

## تمرین ۸-۱

در مثال ۹-۱ اگر جای قطب‌های باتری عوض شود و پروتون را در نقطه A از حالت سکون رها کنیم، پروتون با چه تندی ای به نقطه B می‌رسد؟



**پاسخ تمرین ۸-۱:** اگر جای قطب مثبت و منفی عوض شود، نیرو الکتریکی

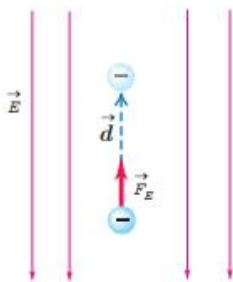
پروتون را به سمت راست می‌راند و داریم:

$$W_E = \Delta K \rightarrow -\Delta U = \frac{1}{2}mv^2 - 0$$

$$|q|Ed \cos \theta = \frac{1}{2}mv^2 - 0 \rightarrow 1/6 \times 10^{-19} \times 2 \times 10^3 \times 0/1 \times \cos 0 = \frac{1}{2} \times 1/67 \times 10^{-27} \times v^2$$

$$v^2 = \frac{3/2 \times 10^{-17}}{1/3 \times 10^{-28}} = 3/8 \times 10^{11} \rightarrow v = 1/9 \times 10^6 \text{ m/s}$$

## مثال ۱۰-۱



در نتیجه برخورد پرتوهای کیهانی با مولکول‌های هوا، الکترون‌هایی از این مولکول‌ها کنده می‌شوند. در نزدیکی سطح زمین، میدان الکتریکی با بزرگی  $150 \text{ N/C}$  و جهت رو به پایین وجود دارد. الف) اگر یکی از این الکترون‌ها، تحت تأثیر این میدان  $500 \text{ m}$  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 رابطه ۸-۱ برای تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی الکترون داریم:

$$\Delta U_E = -W_E = -|q|Ed \cos \theta = -(1/6 \times 10^{-19} \text{ C})(150 \text{ N/C})(500 \text{ m}) \cos 0^\circ = -1/20 \times 10^{-14} \text{ J}$$

ب) با استفاده از رابطه ۹-۱ برای اختلاف پتانسیل داریم:

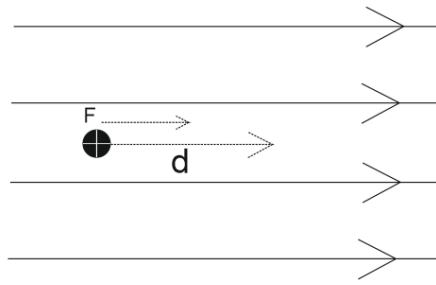
$$\Delta V = \frac{\Delta U_E}{q} = \frac{-1/20 \times 10^{-14} \text{ J}}{-1/6 \times 10^{-19} \text{ C}} = 7/50 \times 10^4 \text{ V} = 75/0 \text{ kV}$$

## تمرین ۹-۱

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.

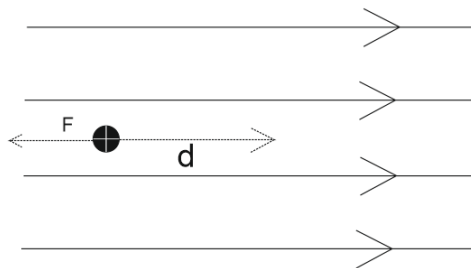
**تمرین ۹-۱:** الف) اگر در جهت میدان الکتریکی حرکت کنیم و اگر بار ما مثبت باشد، جهت نیرو و میدان یکسان

می‌شود مانند شکل زیر:



$$\Delta V = \frac{\Delta U}{q} = \frac{-|q|Ed \cos 0}{q} = -Ed$$

اگر بار الکتریکی منفی باشد جهت نیرو با جهت جابجایی  $180^\circ$  درجه زاویه خواهد داشت :



$$\Delta V = \frac{\Delta U}{q} = \frac{-|-q|Ed \cos 180^\circ}{-q} = -Ed$$

پس می بینیم چه بار منفی باشد و چه مثبت اگر در جهت میدان الکتریکی حرکت کنیم ، پتانسیل الکتریکی کاهش خواهد یافت.

ب: نیروی وارد بر بار الکتریکی همواره در راستای خطوط میدان الکتریکی است و اگر جابجایی در راستای عمود بر جهت میدان الکتریکی انجام گیرد ، تغییر پتانسیل الکتریکی به صورت زیر می باشد:

$$\Delta V = \frac{\Delta U}{q} = \frac{-|q|Ed \cos 90^\circ}{q} = \frac{-|q|Ed \times 0}{q} = 0$$

پس تغییر پتانسیل الکتریکی در راستای عمود بر میدان الکتریکی صفر است.

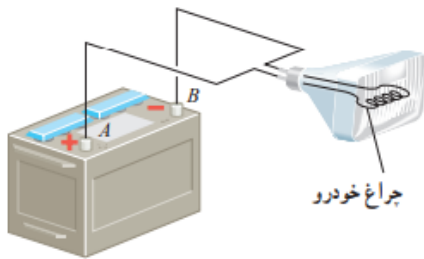
### تمرین ۱۰-۱

اگر پایانه مثبت یک باتری ۱۲ ولتی را مرجع پتانسیل در نظر بگیریم، پتانسیل پایانه منفی آن چند ولت خواهد شد؟

**پاسخ تمرین ۱۰-۱:** اگر پایانه مثبت مرجع باشد، یعنی  $V_+ = 0$  ، خواهیم داشت :

$$V_+ - V_- = 12 \rightarrow 0 - V_- = 12 \rightarrow V_- = -12$$

## مثال ۱۱-۱



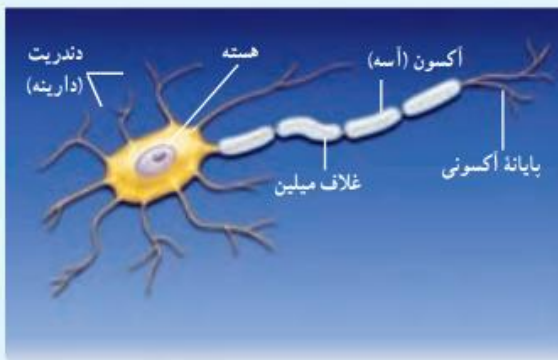
اختلاف پتانسیل الکتریکی پایانه‌های باتری خودروی نشان داده شده در شکل برابر  $12/0\text{V}$  است. اگر بار الکتریکی  $50/0\text{C}$  کولن از پایانه منفی به پایانه مثبت باتری جابه‌جا شود، انرژی پتانسیل الکتریکی آن چقدر تغییر می‌کند؟ پاسخ: با استفاده از رابطه ۹-۱ داریم:

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

$$\Delta U = q\Delta V = q(V_+ - V_-) = (-50/0\text{C})(+12/0\text{V}) = -600\text{J}$$

بنابراین، انرژی پتانسیل الکتریکی این بار به اندازه  $600\text{J}$  کاهش یافته است.

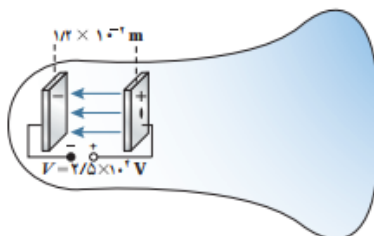
## فعالیت ۵-۱



عمل مغز اساساً بر مبنای کنش‌ها و فعالیت‌های الکتریکی است. سیگنال‌های عصبی چیزی جز عبور جریان‌های الکتریکی نیست. مغز این سیگنال‌ها را دریافت می‌کند و اطلاعات به صورت سیگنال‌های الکتریکی در امتداد اعصاب گوناگون منتقل می‌شوند. هنگام انجام هر عمل خاصی، سیگنال‌های الکتریکی زیادی تولید می‌شوند. این سیگنال‌ها حاصل کنش الکتروشیمیایی در یاخته‌های عصبی موسوم به نورون هستند. درباره چگونگی کار نورون‌ها تحقیق و به کلاس گزارش کنید.

## پاسخ فعالیت ۵-۱: نورون‌ها

## مثال ۱۲-۱



لامپ‌های تصویر تلویزیون‌ها و نمایشگرهای قدیمی، لامپ پرتو-کاندی (CRT) بودند. در این لامپ، الکترون‌ها در میدان الکتریکی یکنواخت بین دو صفحه باردار، مطابق شکل، شتاب می‌گیرند و با صفحه نمایشگر برخورد می‌کنند. اگر صفحه‌ها در فاصله  $1/2 \times 10^{-2}\text{m}$  از یکدیگر باشند و اختلاف پتانسیل بین آنها  $2/5 \times 10^4\text{V}$  باشد، بزرگی میدان الکتریکی بین صفحه‌ها را تعیین کنید.

پاسخ: با استفاده از رابطه ۱۱-۱ داریم:

$$E = \frac{|\Delta V|}{d} = \frac{2/5 \times 10^4\text{V}}{1/2 \times 10^{-2}\text{m}} = 2/08 \times 10^6\text{V/m} = 2/1\text{MV/m}$$



## فعالیت ۱-۶



الف) در شکل شخصی را داخل یک قفس توری فلزی می بینید که نوعی از قفس فاراده است. در مورد قفس فاراده و کاربردهایش تحقیق و به کلاس گزارش کنید.

ب) تحقیق کنید چرا معمولاً شخصی که در داخل اتومبیل یا هواپیماست از خطر آذرخش در امان می ماند.

پ) با اعضای گروه خود آزمایش های دیگری را طراحی و اجرا کنید که نشان دهد بار اضافی داده شده به رسانا، روی سطح خارجی آن قرار می گیرد.

## پاسخ فعالیت ۱-۶: تحقیق کنید

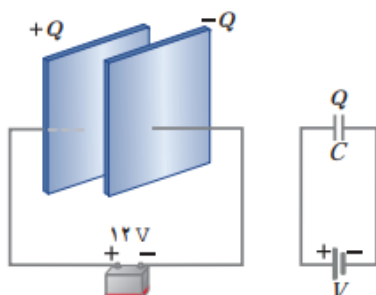
## فعالیت ۱-۷



در مورد برق گیرهای ساختمان تحقیق کنید و بررسی کنید آنها چگونه ساختمان ها را از گزند آذرخش در امان نگه می دارند.

## پاسخ فعالیت ۱-۷: برق گیر ساختمان

## مثال ۱-۱۳



صفحه های خازنی را مطابق شکل به پایانه های یک باتری با اختلاف پتانسیل ۱۲V وصل می کنیم. اگر بار خازن  $24 \mu C$  شود، الف) ظرفیت خازن را محاسبه کنید.

ب) اگر این خازن را به اختلاف پتانسیل ۳۶V وصل کنیم، بار الکتریکی آن چقدر می شود؟

پاسخ:

الف) با استفاده از رابطه ۱-۱۲ داریم:

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{24 \times 10^{-6} C}{12V} = 2/0 \times 10^{-6} F = 2/0 \mu F$$

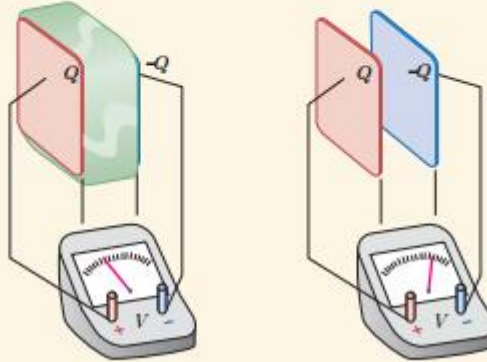
ب) با توجه به اینکه ظرفیت خازن همواره مقدار ثابتی است از ظرفیت به دست آمده در قسمت الف استفاده می کنیم. آنگاه با

استفاده از رابطه ۱-۱۲ می توان نوشت:

$$Q = CV = (2/0 \times 10^{-6} F)(36V) = 72 \times 10^{-6} C = 72 \mu C$$

## پرسش ۸-۱

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).



**پاسخ پرسش ۸-۱:** با اضافه کردن دی‌الکتریک ظرفیت خازن افزایش می‌یابد و با توجه به رابطه  $C = \frac{Q}{V}$  چون بار  $Q$  ثابت است پس باید اختلاف پتانسیل کاهش یابد تا ظرفیت خازن افزایش بیابد.

## مثال ۱-۱۴



(الف)



(ب)

برخی از صفحه کلیدهای رایانه (شکل الف) بر مبنای تغییر ظرفیت خازن عمل می‌کنند. هر کلید این صفحه به یک سر پایه‌ای نصب شده است که سر دیگر آن به یک صفحه فلزی متحرک متصل است. این صفحه فلزی خود توسط یک دی‌الکتریک انعطاف پذیر از صفحه فلزی ثابتی جدا شده است و در واقع این دو صفحه یک خازن تخت را تشکیل می‌دهند (شکل ب). با فشار دادن کلید، صفحه متحرک به صفحه ثابت نزدیک می‌شود و ظرفیت خازن افزایش می‌یابد. این تغییر ظرفیت به صورت سیگنالی الکتریکی توسط مدارهای الکترونیکی رایانه آشکار می‌شود و بدین ترتیب، مشخص می‌شود که کدام کلید فشار داده شده است.

فاصله بین صفحه‌ها عموماً  $5/00 \times 10^{-3} \text{m}$  است که این فاصله با فشار دادن کلید به  $0/150 \times 10^{-3} \text{m}$  می‌رسد. مساحت صفحه‌ها  $9/50 \times 10^{-5} \text{m}^2$  است و خازن از ماده‌ای با ثابت دی‌الکتریک  $3/50$  پر شده است. تغییر ظرفیتی که با فشار دادن کلید، توسط مدارهای الکترونیکی رایانه آشکار می‌شود چقدر است؟

**پاسخ:** با استفاده از رابطه‌های ۱۳-۱ و ۱۴-۱ ظرفیت خازن پیش از فشار دادن کلید برابر است با

$$C = \kappa \epsilon_0 \frac{A}{d} = 3/50 \cdot (8/85 \times 10^{-12} \text{ F/m}) \frac{(9/50 \times 10^{-5} \text{ m}^2)}{(5/00 \times 10^{-3} \text{ m})}$$

$$= 0/589 \times 10^{-11} \text{ F} = 0/589 \text{ pF}$$

پس از فشردن کلید، فاصله بین صفحه‌ها به  $10^{-2} \text{ m} \times 150$  می‌رسد و با محاسبه‌ای مشابه به  $C = 19/6 \times 10^{-11} \text{ F} = 19/6 \text{ pF}$  می‌رسیم. بنابراین، تغییر ظرفیت خازن که به صورت سیگنالی آشکار می‌شود از تفاضل دو مقدار بالا به دست می‌آید:

$$\Delta C = 19/6 \text{ pF} - 0/589 \text{ pF} = 19/0 \text{ pF}$$

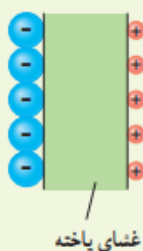
### فعالیت ۸-۱



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

### پاسخ فعالیت ۸-۱: حسگرهای کیسه هوا

### تمرین ۱۱-۱



یک یاختهٔ عصبی (نورون) را می‌توان با یک خازن تخت مدل‌سازی کرد، به طوری که غشای سلول به عنوان دی الکتریک و یون‌های باردار با علامت مخالف که در دو طرف غشا هستند به عنوان بارهای روی صفحه‌های خازن عمل کنند (شکل روبه‌رو). ظرفیت یک سلول عصبی و تعداد یون‌های لازم (بافرض آنکه هر یون یک بار یونیده باشد)، برای آنکه یک اختلاف پتانسیل  $85 \text{ mV}$  ایجاد شود چقدر است؟ فرض کنید غشا دارای ثابت دی الکتریک  $\kappa = 3/0$ ، ضخامت  $10/0 \text{ nm}$  و مساحت سطح  $1/0 \times 10^{-10} \text{ m}^2$  است.

### پاسخ تمرین ۱۱-۱: با استفاده از فرمول ظرفیت خازن داریم:

$$C = \epsilon \kappa \frac{A}{d} = 3 \times 8/85 \times 10^{-12} \times \frac{1 \times 10^{-10}}{10 \times 10^{-9}} = 2/65 \times 10^{-13} \text{ F}$$

مقدار بار موجود در صفحه‌ها از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$C = \frac{Q}{V} \rightarrow Q = CV = 2/65 \times 10^{-13} \times 85 \times 10^{-3} = 2/25 \times 10^{-14} \text{ C}$$

$$\text{تعداد بار} = \frac{Q}{e} = \frac{2/65 \times 10^{-13}}{1/6 \times 10^{-19}} = 1/65 \times 10^6$$

### فعالیت ۹-۱

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

### پاسخ فعالیت ۹-۱: انواع خازن

### مثال ۱۵-۱



مدار یک فلاش عکاسی، انرژی را با ولتاژ  $330\text{ V}$ ، در یک خازن  $660\ \mu\text{F}$ ، ذخیره می‌کند. الف) چه مقدار انرژی الکتریکی در این خازن ذخیره می‌شود؟ ب) اگر تقریباً همهٔ این انرژی در مدت  $1/10\ \text{ms}$  آزاد شود، توان متوسط خروجی فلاش چقدر است؟

پاسخ: با توجه به رابطهٔ ۱۵-۱ داریم

$$U = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} (660 \times 10^{-6} \text{F}) (330 \text{V})^2 = 35/9 \text{ J}$$

با توجه به تعریف توان داریم:

$$P = \frac{U}{t} = \frac{35/9 \text{ J}}{1/10 \times 10^{-3} \text{ s}} = 3/6 \times 10^4 \text{ J/s} = 36 \text{ kW}$$

که این در تأیید گفته‌ای است که در ابتدای بخش ۱-۱۰ در مورد خازن بیان کردیم و گفتیم یک خازن باردار می‌تواند انرژی را با آهنگ بسیار بیشتری از یک باتری برای فلاش دوربین مهیا کند.

**مثال ۱-۱۶: دستگاه رفع لرزش نامنظم قلب (دیفیبریلاتور)**

توانایی خازن برای ذخیره انرژی پتانسیل الکتریکی، اساس کار دستگاه‌های رفع لرزشی است که برای توقف لرزش بطنی افراد دچار حمله قلبی به کار می‌رود. در این بیماری، انقباض و انقباض ناهماهنگ قلب باعث می‌شود خون به درستی به مغز فرستاده نشود. در این دستگاه یک باتری، خازنی را تا اختلاف پتانسیل حدود  $6\text{ kV}$  باردار می‌کند. صفحه‌های رابط (کفشک‌ها) روی قفسه سینه بیمار قرار داده می‌شوند و خازن بخشی از انرژی ذخیره شده خود را از طریق کفشک‌ها به بدن بیمار منتقل می‌کند. هدف از این کار این است که قلب به طور موقت از کار بیفتد و پس از آن با آهنگ منظم و طبیعی خود به کار افتد.

اگر ظرفیت خازن این دستگاه  $11/0\ \mu\text{F}$  باشد و با ولتاژ  $6/0\ \text{kV}$  شارژ شود و سپس تمام انرژی آن از طریق کفشک‌ها به درون بدن بیمار تخلیه شود،

الف) چقدر انرژی در بدن بیمار تخلیه شده است؟ ب) چه مقدار بار الکتریکی از بدن بیمار عبور کرده است؟ ب) اگر تخلیه انرژی تقریباً در مدت  $2/0\ \text{ms}$  صورت پذیرفته باشد این انرژی با چه توان متوسطی در بدن بیمار تخلیه شده است؟  
**پاسخ:** الف) انرژی ذخیره شده در خازن با استفاده از رابطه  $1-15$  به دست می‌آید:

$$U = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} (11/0 \times 10^{-6} \text{ F}) (6/0 \times 10^3 \text{ V})^2 = 198 \text{ J}$$

که با توجه به فرض مسئله این همان انرژی تخلیه شده در بدن بیمار است.

ب) بار اولیه روی صفحات خازن برابر است با

$$Q = CV \Rightarrow Q = (11/0 \times 10^{-6} \text{ F}) (6/0 \times 10^3 \text{ V}) = 6/60 \times 10^{-2} \text{ C}$$

با توجه به فرض مسئله، این همان باری است که از بدن بیمار عبور کرده است.

ب) توان متوسط انرژی تخلیه شده در بدن بیمار برابر است با

$$P = \frac{U}{t} = \frac{198 \text{ J}}{2/0 \times 10^{-3} \text{ s}} = 99/0 \text{ kW}$$

**۱** یک میله پلاستیکی را با پارچه پشمی مالش می‌دهیم. پس از مالش، بار الکتریکی میله پلاستیکی  $12/8 \text{ nC}$  می‌شود. الف) بار الکتریکی ایجاد شده در پارچه پشمی چقدر است؟ ب) تعداد الکترون‌های منتقل شده از پارچه پشمی به میله پلاستیکی را محاسبه کنید.

**پاسخ تمرین ۱:** الف: به همان اندازه و مثبت، یعنی:  $+12/8 \text{ nC}$

ب: تعداد الکترون‌ها به صورت زیر بدست می‌آید:

$$n = \frac{q}{e} = \frac{12/8 \times 10^{-9}}{1/6 \times 10^{-19}} = 8 \times 10^{10}$$

۲ الف) بار الکتریکی اتم و هسته اتم کربن ( ${}^{12}_6\text{C}$ ) چند کولن است؟  
 ب) بار الکتریکی اتم کربن یک بار یونیده ( $\text{C}^+$ ) چقدر است؟

**پاسخ تمرین ۲:** الف) بار الکتریکی خالص اتم کربن صفر بوده و بار هسته به صورت زیر بدست می آید:

$$q = +ne = +6 \times 1/6 \times 10^{-19} = 9/6 \times 10^{-19}$$

ب) بار الکتریکی اتم کربن یک بار یونیده مثبت برابر است با  $+1/6 \times 10^{-19}$

۳ دو گوی رسانا، کوچک و یکسان به بارهای  $q_1 = 4/0 \text{ nC}$  و  $q_2 = -6/0 \text{ nC}$  را با هم تماس می دهیم و سپس تا فاصله  $r = 30 \text{ cm}$  از هم دور می کنیم. نیروی برهم کنش الکتریکی بین دو گوی را محاسبه کنید. این نیرو رانشی است یا ربایشی؟

**پاسخ تمرین ۳:** اگر دو گوی هم اندازه با بارهای مختلف را به هم تماس دهیم بار هر گوی پس از تماس به

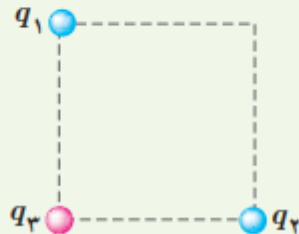
صورت زیر بدست می آید:

$$q = \frac{q_1 + q_2}{2} = \frac{4 + (-6)}{2} = -1 \text{ nC}$$

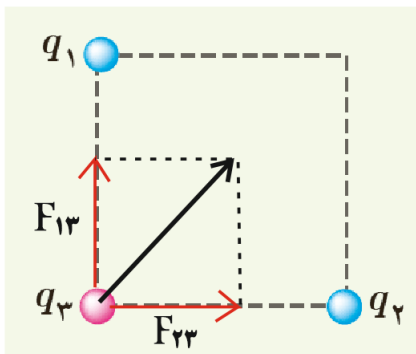
پس بار هر گوی برابر منفی یک کولن می شود که نیروی رانشی به یکدیگر وارد خواهند کرد:

$$F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{|-1 \times 10^{-9}||-1 \times 10^{-9}|}{0.3^2} = 1 \times 10^{-9} \text{ N}$$

۴ سه ذره باردار  $q_1$ ،  $q_2$  و  $q_3$  مطابق شکل در سه رأس مربعی به ضلع  $3\text{m}$  ثابت شده‌اند. اگر  $q_1 = q_2 = -5\mu\text{C}$  و  $q_3 = +2\mu\text{C}$  باشد، نیروی خالص الکتریکی وارد بر بار  $q_3$  را بر حسب بردارهای یکه  $\vec{i}$  و  $\vec{j}$  تعیین کنید.



**پاسخ تمرین ۴:** نیروهای وارده را محاسبه می‌کرده در نهایت جمع می‌نماییم:



نیرویی که بار ۱ به بار ۳ وارد می‌کند:

$$F_{13} = k \frac{|q_1||q_3|}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{|-5 \times 10^{-6}||+2 \times 10^{-6}|}{3^2} = 1 \times 10^{-2} \text{N } \vec{j}$$

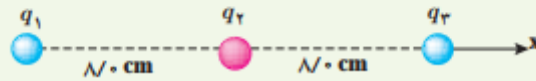
نیرویی که بار ۲ به بار ۳ وارد می‌کند:

$$F_{23} = k \frac{|q_2||q_3|}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{|-5 \times 10^{-6}||+2 \times 10^{-6}|}{3^2} = 1 \times 10^{-2} \text{N } \vec{i}$$

$$F = (1 \times 10^{-2} \vec{i} + 1 \times 10^{-2} \vec{j}) \text{N}$$

برایند نیروهای برابر است با:

۵ بارهای الکتریکی نقطه‌ای  $q_1 = +5.0 \text{ nC}$ ،  $q_2 = -4.0 \text{ nC}$  و  $q_3 = -4.0 \text{ nC}$  مطابق شکل، در جای خود ثابت شده‌اند. نیروی خالص الکتریکی وارد بر هر یک از بارهای  $q_1$  و  $q_2$  را محاسبه کنید.



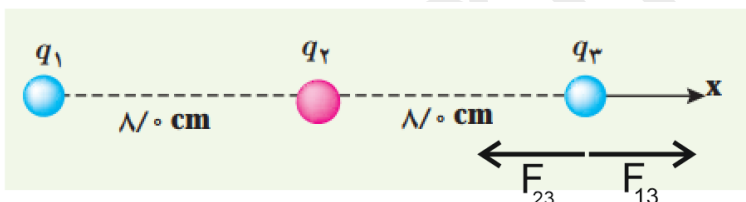
**پاسخ تمرین ۵:** نیروی خالص وارد بر بار  $q_2$  صفر است زیرا وسط خط واصل دو بار هم اندازه قرار دارد.

برای پیدا کردن نیروی خالص وارد بر بار  $q_3$  نیروهایی که از طرف بارهای  $q_1$  و  $q_2$  بر این بار وارد می‌شود را بدست می‌آوریم:

$$F_{13} = k \frac{|q_1||q_3|}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{|-4 \times 10^{-9}||-4 \times 10^{-9}|}{0.16^2} = 5/62 \times 10^{-6} \text{ N}$$

$$F_{23} = k \frac{|q_2||q_3|}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{|+5 \times 10^{-9}||-4 \times 10^{-9}|}{0.08^2} = 2/81 \times 10^{-6} \text{ N}$$

جهت نیروها به شکل زیر هستند:



$$F = F_{13} + F_{23} = 5/62 \times 10^{-6} \vec{i} - 2/81 \times 10^{-6} \vec{i} = -22/481 \times 10^{-6} \text{ N } \vec{i}$$

۶ در شکل روبه‌رو، دو گوی مشابه به جرم  $2/5 \text{ g}$  و بار یکسان مثبت  $q$  در فاصله  $1.0 \text{ cm}$  از هم قرار دارند، به طوری که گوی بالایی به حالت معلق مانده است. الف) اندازه بار  $q$  را بدست آورید. ب) تعداد الکترون‌های کنده‌شده از هر گوی چقدر است؟



**پاسخ تمرین ۶:** الف: برای اینکه گوی معلق بماند باید نیروی وزن و نیروی الکتریکی یکسان باشد:



$$F_E = F_w$$

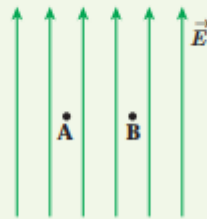
$$k \frac{|q||q|}{r^2} = mg \rightarrow \frac{9 \times 10^9 \times q^2}{(10^{-2})^2} = \frac{2}{5} \times 10^{-3} \times \frac{9}{8}$$

$$q = \sqrt{\frac{\frac{24}{5} \times 10^{-7}}{9 \times 10^9}} = \sqrt{\frac{2}{72} \times 10^{-16}} = \frac{1}{6} \times 10^{-8} C$$

ب: تعداد الکترون کنده شده:

$$n = \frac{q}{e} = \frac{\frac{1}{6} \times 10^{-8} C}{\frac{1}{6} \times 10^{-19} C} = 10^{11}$$

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



**پاسخ تمرین ۷:** با توجه به رابطه  $F = qE$  نیروی الکتریکی در هر دو نقطه یکسان است.

۸ هسته آهن شعاعی در حدود  $4.0 \times 10^{-15} m$  دارد و تعداد پروتون‌های آن ۲۶ عدد است. الف) بزرگی نیروی دافعه بین دو پروتون این هسته که به فاصله  $4.0 \times 10^{-15} m$  از هم قرار دارند چقدر است؟ ب) اندازه میدان الکتریکی ناشی از هسته در فاصله  $1.0 \times 10^{-10} m$  از مرکز هسته چقدر است؟

**پاسخ تمرین ۸:**

الف: بزرگی نیروی دو پروتون از رابطه زیر بدست می‌آید:

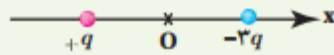
$$F = k \frac{|q_P||q_P|}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{|\frac{1}{6} \times 10^{-19}| |\frac{1}{6} \times 10^{-19}|}{(4 \times 10^{-15})^2} = 14/4 N$$

ب: ۲۶ پروتون داخل هسته است پس بار هسته برابر است با:  $q = ne = 26 \times \frac{1}{6} \times 10^{-19} C$

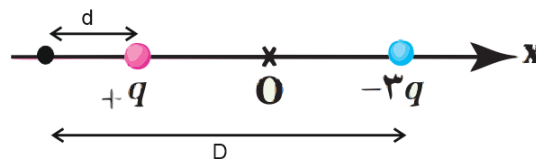
$$E = k \frac{|q|}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{41/6 \times 10^{-19}}{(1 \times 10^{-10})^2} = 3/74 \times 10^{12} \text{ N/C}$$

۹ شکل زیر، دو ذره باردار را نشان می‌دهد که در جای خود روی محور x ثابت شده‌اند. بارها در فاصله یکسان a از مبدأ مختصات (نقطه O) قرار دارند.

(الف) در کجای این محور (غیر از بی‌نهایت) نقطه‌ای وجود دارد که در آنجا میدان الکتریکی برابر با صفر است؟ (ب) بزرگی و جهت میدان الکتریکی برآیند در مبدأ مختصات را بیابید.



**پاسخ تمرین ۹:** میدان زمانی صفر است که میدان ناشی از هر دو بار در آن نقطه مساوی و خلاف جهت هم باشند. اگر دو بار الکتریکی مخالف کنار هم قرار گیرند میدان الکتریکی در روی خط واصل دو بار و نزدیک بار کوچکتر صفر می‌شود.



$$E_{+q} = E_{-3q}$$

$$k \frac{|+q|}{d^2} = k \frac{|-3q|}{D^2} \rightarrow \frac{1}{d^2} = \frac{3}{(2a+d)^2} \rightarrow 3d^2 = (2a+d)^2$$

$$\sqrt{3}d = 2a + d \rightarrow d = \frac{2a}{\sqrt{3}-1}$$

ب :

$$E_{+q} = k \frac{|q|}{a^2} \text{ در جهت } +i \text{ (راست)}$$

$$E_{-3q} = k \frac{|-3q|}{a^2} \text{ در جهت } +i \text{ (راست)}$$

میدان کل در نقطه O :

$$E = E_{+q} \vec{i} + E_{-3q} \vec{i} = \epsilon k \frac{q}{a^2} \vec{i}$$

۱۰ در یک میدان الکتریکی یکنواخت به بزرگی  $5/0 \times 10^5 \text{ N/C}$  که جهت آن قائم و رو به پایین است، ذره بار داری به جرم  $2/0 \text{ g}$  معلق و به حال سکون قرار دارد. اگر  $g = 10 \text{ N/kg}$  باشد، اندازه و نوع بار الکتریکی ذره را مشخص کنید.

**پاسخ تمرین ۱۰:** میدان رو به پایین است برای معلق ماندن نیرو رو به بالاست پس بار الکتریکی منفی می باشد. و نیروی وزن و میدان یکسان است پس:

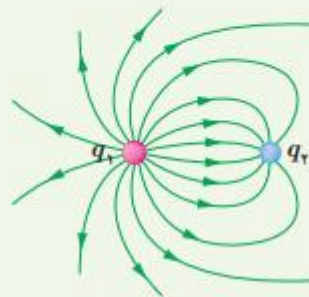
$$F_E = F_w$$

$$qE = mg$$

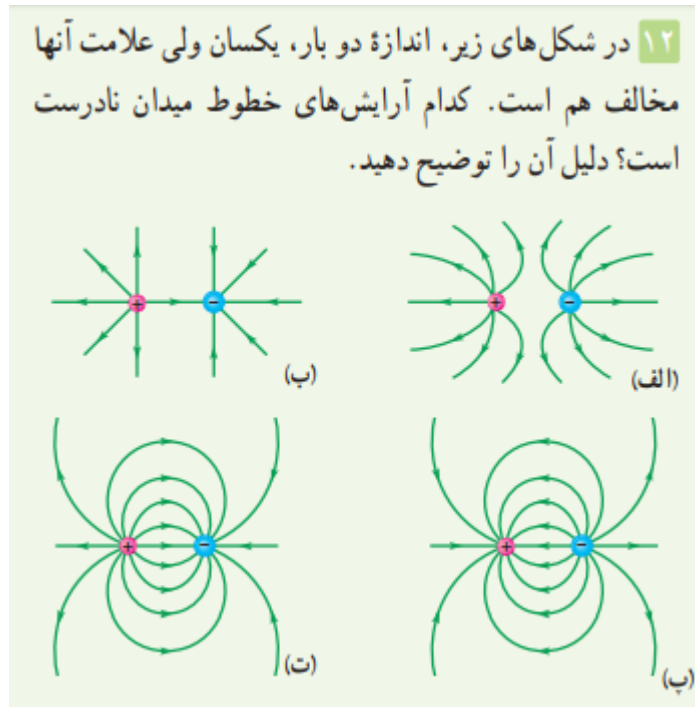
$$q \times 5 \times 10^5 = 2 \times 10^{-3} \times 10$$

$$q = \frac{2 \times 10^{-2}}{5 \times 10^5} = 4 \times 10^{-8} \text{ C}$$

۱۱ خطوط میدان الکتریکی برای دو کره رسانای باردار کوچک در شکل زیر نشان داده شده است. نوع بار هر کره را تعیین کرده و اندازه آنها را مقایسه کنید.



**پاسخ تمرین ۱۱:** بار  $q_1$  مثبت است و بار  $q_2$  منفی است. اندازه بار  $q_1$  بیشتر است زیرا خطوط میدان بیشتری در اطراف آن قرار دارد.

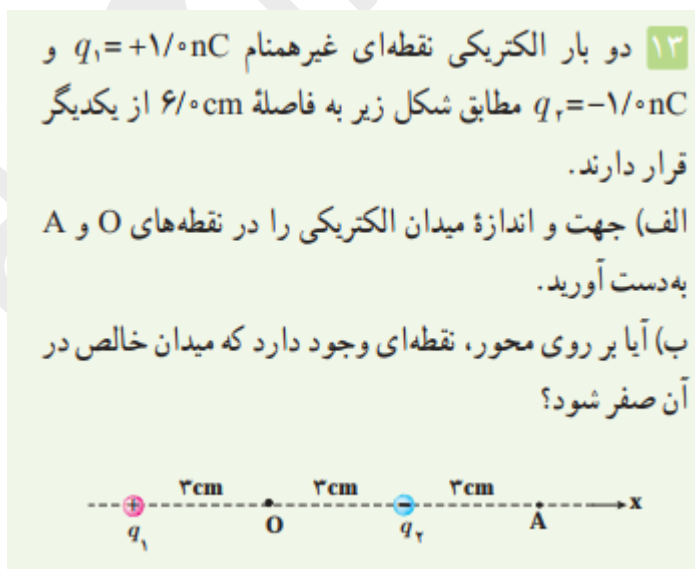


**پاسخ سوال ۱۲:** الف: نادرست است خطوط میدان به سمت داخل بار منفی می‌شود.

ب: جهت خطوط درست است اما خطوط بین دو بار به طور کامل رسم نشده است.

پ: نادرست، جهت خطوط درست رسم نشده است.

پ: صحیح است.



**پاسخ تمرین ۱۳:** الف: در نقطه O میدانی که هر دو بار ایجاد می‌کنند هم اندازه و هم جهت (به سمت راست) می

باشد پس میدان خالص جمع میدان‌های ناشی از این دو بار است:

$$E_1 = k \frac{|q_1|}{r^2} \vec{i} = 9 \times 10^9 \times \frac{1 \times 10^{-9}}{(3 \times 10^{-2})^2} \vec{i} = 1 \times 10^4 \text{ N/C } \vec{i}$$

$$E_2 = k \frac{|q_2|}{r^2} \vec{i} = 9 \times 10^9 \times \frac{1 \times 10^{-9}}{(3 \times 10^{-2})^2} \vec{i} = 1 \times 10^4 \text{ N/C } \vec{i}$$

$$E_{\text{کل}} = E_1 + E_2 = 2 \times 10^4 \text{ N/C } \vec{i}$$

در نقطه A جهت میدان الکتریکی بار  $q_1$  به سمت راست و جهت میدان بار  $q_2$  به سمت چپ می باشد پس داریم :

$$E_1 = k \frac{|q_1|}{r^2} \vec{i} = 9 \times 10^9 \times \frac{1 \times 10^{-9}}{(9 \times 10^{-2})^2} \vec{i} = 1/1 \times 10^3 \text{ N/C } \vec{i}$$

$$E_2 = -k \frac{|q_2|}{r^2} \vec{i} = -9 \times 10^9 \times \frac{1 \times 10^{-9}}{(3 \times 10^{-2})^2} \vec{i} = -1 \times 10^4 \text{ N/C } \vec{i}$$

$$E_{\text{کل}} = E_1 + E_2 = 1/1 \times 10^3 \text{ N/C } \vec{i} - 1 \times 10^4 \text{ N/C } \vec{i} = -8/9 \times 10^3 \text{ N/C } \vec{i}$$

ب: زمانی میدان خالص صفر می شود که اندازه میدان ناشی از هر دو بار هم اندازه و خلاف جهت هم باشند که فقط در وسط دو بار هم اندازه هستند اما در این نقطه هم جهت می باشند پس در هیچ کجای خط واصل دو بار میدان الکتریکی خالص صفر نمی شود.



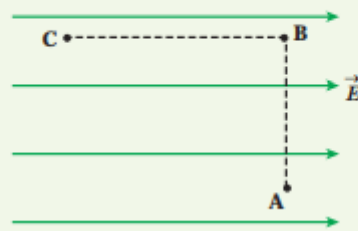
**پاسخ تمرین ۱۴:** در پدیده القا مولکول های آب قطبیده شده و جذب بادکنک می شوند.

۱۵ مطابق شکل زیر، بار  $q = +5.0 \text{ nC}$  را در میدان الکتریکی یکنواخت  $8.0 \times 10^5 \text{ N/C}$  نخست از نقطه A تا نقطه B و سپس تا نقطه C جابه‌جا می‌کنیم. اگر  $AB = 0.20 \text{ m}$  و  $BC = 0.40 \text{ m}$  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.



**پاسخ تمرین ۱۰:** الف: نیروی الکتریکی در میدان یکنواخت در تمام نقاط یکسان است:

$$F = qE = 5 \times 10^{-9} \times 8 \times 10^5 = 4 \times 10^{-3} \text{ N}$$

ب: در دو مرحله جابه‌جایی صورت می‌گیرد که کار در جابه‌جایی  $AB$  به دلیل اینکه عمود بر راستای میدان الکتریکی است صفر می‌باشد. پس فقط کار میدان الکتریکی در جابه‌جایی  $BC$  را بدست می‌آوریم:

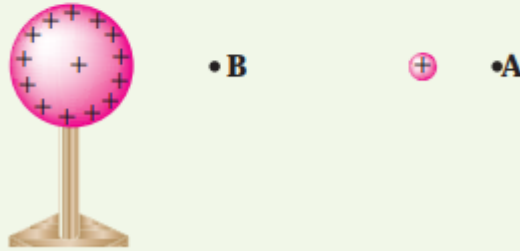
$$W_{AB} = 0$$

$$W_{BC} = qEd \cos \theta = 4 \times 10^{-3} \times 0.4 \times \cos 180^\circ = -1.6 \times 10^{-3} \text{ J}$$

پ: تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی برابر با منفی کار انجام شده است پس:

$$\Delta U = W_{BC} = 1.6 \times 10^{-3} \text{ J}$$

۱۶ در شکل زیر ذره باردار مثبت و کوچکی را از نقطه A به سمت کره باردار که روی پایه عایقی قرار دارد، نزدیک می‌کنیم و در نقطه B قرار می‌دهیم. (الف) در این جابه‌جایی، کار نیروی الکتریکی مثبت است یا منفی؟ (ب) انرژی پتانسیل ذره باردار در این جابه‌جایی چگونه تغییر می‌کند؟ (پ) پتانسیل نقطه‌های A و B را با هم مقایسه کنید.

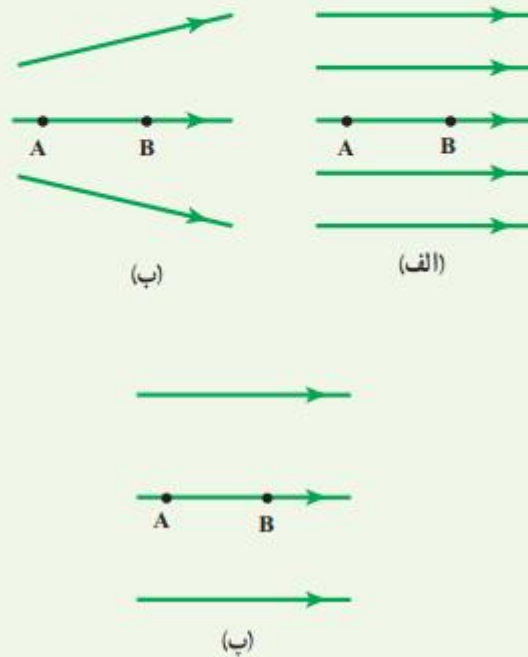


**پاسخ تمرین ۱۶:** کار نیروی الکتریکی منفی است زیرا نیروی وارد بر بار مثبت به سمت راست است اما جابجایی برعکس.

ب: تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی برابر با منفی کار نیروی الکتریکی است از آنجایی که کار منفی است پس انرژی پتانسیل الکتریکی افزایش می‌یابد.

پ: پتانسیل نقطه B بیشتر است زیرا به کره با بار مثبت نزدیک تر است.

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



**پاسخ تمرین ۱۷:** در قسمت الف بیشتر می‌شود زیرا نیروی الکتریکی وارد بر ذره توسط میدان بیشتر و قوی‌تر است.

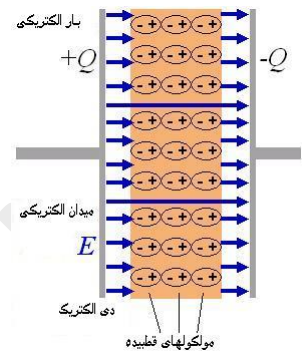
**۱۸** دو صفحه رسانا با فاصله  $2/00 \text{ cm}$  را موازی یکدیگر قرار می‌دهیم و آنها را به اختلاف پتانسیل  $100 \text{ V}$  وصل می‌کنیم. در نتیجه، یکی از صفحه‌ها به‌طور منفی و دیگری به‌طور مثبت باردار می‌شوند و میان دو صفحه میدان الکتریکی یکنواختی به‌وجود می‌آید. اندازه این میدان الکتریکی را حساب کنید و با توجه به جهت خطوط میدان الکتریکی در فضای بین دو صفحه توضیح دهید که کدام یک از دو صفحه پتانسیل الکتریکی بیشتری دارند.

**پاسخ تمرین ۱۸:** میدان الکتریکی دو صفحه رسانا (خازن) از رابطه زیر بدست می‌آید:



$$E = \frac{V}{d} = \frac{100\text{v}}{0.02\text{m}} = 5000\text{ N/C}$$

با توجه به خطوط میدان (هرچه در جهت حرکت کنیم پتانسیل کم می شود) صفحه بار مثبت دارای پتانسیل الکتریکی بیشتری است.



**۱۹** بار الکتریکی  $q = -40\text{ nC}$  از نقطه‌ای با پتانسیل الکتریکی  $V_1 = -40\text{ V}$  تا نقطه‌ای با پتانسیل  $V_2 = -10\text{ V}$  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.

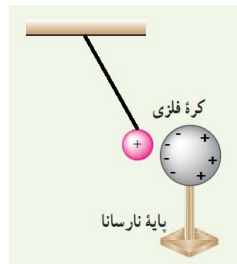
**پاسخ تمرین ۱۹:** الف: کاهش می‌یابد

$$\Delta V = V_2 - V_1 = \frac{\Delta U_E}{q} \rightarrow \Delta U_E = q\Delta V = -40 \times 10^{-9}(-10 - (-40)) = -1/200 \times 10^{-6}\text{ J}$$

ب: در اینجا انرژی پتانسیل ذخیره شده در بار الکتریکی به انرژی جنبشی تبدیل می‌شود و سرعت می‌گیرد.

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

**پاسخ تمرین ۲۰:** در اثر نزدیک شدن به آونگ بار مثبت، بارهای منفی به سمت آونگ متمایل می شوند (مانند شکل زیر) و چون بارهای نا هم نام به هم نزدیک میشوند آونگ جذب کره می گردد:



**۲۱** اگر ساختمان یک خازن را تغییر ندهیم، در هر یک از شرایط زیر ظرفیت خازن چگونه تغییر می کند؟  
الف) بار آن دو برابر شود.  
ب) اختلاف پتانسیل میان صفحه های آن سه برابر شود.

**پاسخ تمرین ۲۱:** ظرفیت خازن فقط وابسته به ساختمان آن می باشد پس در هر دو حالت الف و ب ظرفیت خازن تغییری نمی کند.

**۲۲** اختلاف پتانسیل بین دو صفحه یک خازن را از ۲۸ ولت به ۴۰ ولت افزایش می دهیم. اگر با این کار ۱۵ میکروکولن بار ذخیره شده در خازن افزوده شود، ظرفیت خازن را حساب کنید.

**پاسخ تمرین ۲۲:** در حالت اول ظرفیت خازن  $C_1$  اختلاف پتانسیل  $V_1 = 28$  و بار اولیه  $Q_1$  می باشد، با تغییر بار و ولتار، میزان ظرفیت خازن تغییر نمی کند:

$$C_1 = C_2$$

$$\frac{Q_1}{V_1} = \frac{Q_2}{V_2} \rightarrow \frac{Q_1}{28} = \frac{Q_1 + 15 \times 10^{-6}}{40} \rightarrow Q_1 = 35 \times 10^{-6} C$$

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{35 \times 10^{-6} C}{28 V} = 1/25 \times 10^{-6} F$$

۲۳ ظرفیت یک خازن تخت با فاصله صفحات  $1/0 \text{ mm}$  که بین صفحه‌های آن هوا قرار دارد، برابر  $1/0 \text{ F}$  است. مساحت صفحه‌های این خازن چقدر است؟ از این مسئله چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

**پاسخ تمرین ۲۳:** با استفاده از رابطه ظرفیت خازن :

$$C = \epsilon \cdot \frac{A}{d} \rightarrow A = \frac{Cd}{\epsilon} = \frac{1 \times 1 \times 10^{-3}}{8/85 \times 10^{-12}} = 1/12 \times 10^8 \text{ m}^2$$

می‌بینیم که برای تهیه خازنی با ظرفیت یک فاراد باید صفحه‌هایی به مساحت صد میلیون متر مربع فراهم کرد، در نتیجه در می‌یابیم که یک فاراد (ظرفیت خازن) واحد بسیار بزرگی است.

۲۴ یک خازن تخت به یک باتری بسته شده است تا باردار شود. پس از مدتی، درحالی‌که باتری همچنان به خازن متصل است، فاصله بین صفحه‌های خازن را دو برابر می‌کنیم. کدام یک از موارد زیر درست است؟  
 الف) میدان الکتریکی میان صفحه‌ها نصف می‌شود.  
 ب) اختلاف پتانسیل میان صفحه‌ها نصف می‌شود.  
 پ) ظرفیت خازن دو برابر می‌شود.  
 ت) بار روی صفحه‌ها تغییر نمی‌کند.

**پاسخ تمرین ۲۴:** الف: با توجه به رابطه  $E = \frac{V}{d}$  چون ولتاژ خازن به باتری متصل است و ولتاژ ثابت است و با دو برابر شده فاصله، میدان نصف می‌شود.

ب: اختلاف پتانسیل میان صفحه‌ها تغییر نمی‌کند زیرا همچنان به باتری متصل است و اختلاف پتانسیل خازن همان اختلاف پتانسیل باتری می‌باشد.

پ: با توجه به رابطه  $C = \epsilon \cdot \frac{A}{d}$  با دو برابر شدن  $d$  ظرفیت خازن نصف می‌شود.

ت: با توجه به رابطه  $C = \frac{Q}{V}$  چون  $C$  نصف شده و  $V$  ثابت است پس  $Q$  باید نصف شود تا رابطه درست باشد.

**۲۵** مساحت هریک از صفحه‌های خازن تختی،  $1/00 \text{ m}^2$  و فاصله دو صفحه از هم،  $5/00 \text{ mm}$  است. عایقی با ثابت دی‌الکتریک  $4/9$  بین دو صفحه قرار داده شده است. ظرفیت خازن را تعیین کنید.

**پاسخ تمرین ۲۵:** ظرفیت خازن به صورت زیر بدست می‌آید:

$$C = \kappa \epsilon_0 \frac{A}{d} = 4/9 \times 8/85 \times 10^{-12} \times \frac{1}{5 \times 10^{-4}} = 8/67 \times 10^{-8} \text{ F}$$

**۲۶** دو صفحه خازن تخت بارداری را به هم وصل می‌کنیم. در نتیجه جرقه‌ای زده می‌شود. حال اگر دوباره صفحات را به همان اندازه باردار کنیم ولی فاصله آنها را دو برابر کنیم و سپس

دو صفحه را به هم وصل کنیم، آیا جرقه حاصل بزرگ‌تر از قبل می‌شود، یا کوچک‌تر و یا تغییری نمی‌کند؟ توضیح دهید.

**پاسخ تمرین ۲۶:** فرقی نمی‌کند همان اندازه بار تخلیه می‌شود.

**۲۷** ظرفیت خازن تختی  $20 \text{ nF}$  و بار الکتریکی آن  $180 \text{ nC}$  است.

الف) انرژی ذخیره‌شده در این خازن چقدر است؟  
ب) بین صفحات خازن هواست. خازن را از باتری جدا و فاصله بین صفحه‌های آن را دو برابر می‌کنیم. انرژی ذخیره‌شده در خازن چقدر افزایش می‌یابد؟

**پاسخ تمرین ۲۷:** الف: انرژی ذخیره شده در خازن:

$$U_{\text{خازن}} = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2} \times \frac{(180 \times 10^{-9})^2}{20 \times 10^{-9}} = 8/1 \times 10^{-9} \text{ J}$$

ب: بار خازن تغییر نمی‌کند زیرا از باتری جداست، اما ظرفیت خازن نصف می‌شود و با توجه به رابطه

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

دو خازن دو برابر می‌شود.

پایان

**پی نوشت:** بی شک این جزوه درسی عاری از اشکال نگارشی و محاسباتی و همچنین غلط های املائی نیست. از شما خوانندگان گرامی تقاضا دارم نقد های خود را برای هر چه بهتر شدن این جزوه و همچنین جزوات بعدی برایمان ارسال فرمایید.

راههای ارتباطی :

سایت : [www.garmroudi.ir](http://www.garmroudi.ir)تلگرام: <https://telegram.me/grmrd>

توجه: هر گونه استفاده از مطالب جزوه بدون ذکر منبع و نام نویسنده حرام بوده و پیگرد قانونی دارد..