



فیزیک (۲)

فصل ۱: الکتريسيته ساكن

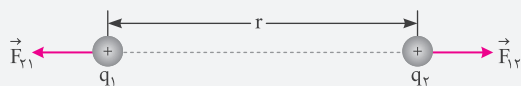
درسنامه

۱. واژه الکتريسيته از واژه يونانی الكترون (elektron) گرفته شده که به معنای کهرباست.
۲. الف) وقتی دو میله پلاستيکی را با پارچه پشمی مالش می‌دهیم، همدیگر را دفع می‌کنند.
ب) وقتی دو میله شیشه‌ای را با پارچه ابریشمی مالش می‌دهیم، همدیگر را دفع می‌کنند.
پ) وقتی میله پلاستيکی مالش داده‌شده با پارچه پشمی را به میله شیشه‌ای مالش داده‌شده با پارچه ابریشمی نزدیک کنیم، همدیگر را جذب می‌کنند.
۳. باردار بودن یک جسم و نوع بار آن را می‌توانیم با الکتروسکوپ (برق‌نما) تعیین کنیم.
۴. در یک اتم خنثی تعداد الكترون‌ها برابر با پروتون‌های هسته است. در هنگام مالش دو جسم، با انتقال تعدادی الكترون از یک جسم به جسمی دیگر، تعادل بارها در اتم خنثی برهم می‌خورد و جسمی که الكترون از دست می‌دهد، تعداد الكترون‌هایش کمتر از تعداد پروتون‌های آن می‌شود و بار الكتريکی خالص آن مثبت می‌شود و برعکس، جسمی که الكترون اضافی دریافت می‌کند، تعداد الكترون‌هایش از پروتون‌های آن بیشتر شده و بار الكتريکی خالص آن منفی می‌شود.
۵. اصل پایستگی بار بیان می‌کند که مجموع جبری همه بارهای الكتريکی در یک دستگاه منزوی ثابت است، یعنی بار می‌تواند از جسمی به جسم دیگر منتقل شود ولی هرگز امکان تولید یا نابودی یک بار خالص وجود ندارد. منظور از دستگاه منزوی در اینجا دستگاهی است که نه از محیط اطراف خود بار بگیرد و نه به آن بار بدهد.
۶. بنا بر اصل کوانتیده بودن بار، بار الكتريکی مشاهده‌شده در یک جسم همواره مضرب درستی از بار بنیادی e است:

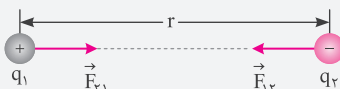
$$q = \pm ne, \quad n = 0, 1, 2, \dots$$
در رابطه فوق q مقدار بار الكتريکی برحسب کولن (C)، n تعداد الكترون‌های جابه‌جاشده و e بار بنیادی و برابر با 1.6×10^{-19} است.
۷. اگر بارهای الكتريکی دو جسم همنام باشند، نیروی بین آنها دافعه است و اگر ناهمنام باشند، این نیرو جاذبه است.
۸. قانون کولن بیان می‌کند: اندازه نیروی الكتريکی (الکتروستاتیکی) بین دو بار نقطه‌ای که در راستای خط مستقیم بین آنها اثر می‌کند با حاصل ضرب بزرگی آنها متناسب است و با مجذور فاصله بین آنها نسبت معکوس دارد؛ بنابراین

$$F = k \frac{|q_1| |q_2|}{r^2}$$
اندازه این نیرو برابر است با:
در این رابطه q_1 و q_2 بارهای الكتريکی دو بار نقطه‌ای برحسب کولن (C)، r فاصله بین دو بار برحسب متر (m) و F بزرگی نیروی الكتريکی وارد بر هر بار برحسب نیوتون (N) است. در این رابطه k ثابت الکتروستاتیکی یا ثابت کولن نام دارد و برابر است با:

$$k \approx 9.0 \times 10^9 \text{ N.m}^2 / \text{C}^2$$



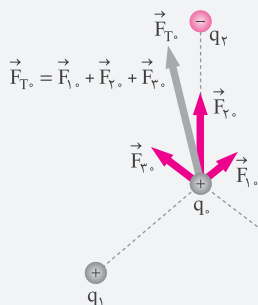
الف) نیروی الکتریکی بین دو بار الکتریکی همنام، دافعه است.



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

۹. در شکل‌های مقابل $\vec{F}_{12}$ نیرویی است که بار نقطه‌ای q_1 به بار نقطه‌ای q_2 وارد می‌کند و $\vec{F}_{21}$ نیرویی است که بار نقطه‌ای q_2 به بار نقطه‌ای q_1 وارد می‌کند. این دو نیروی الکتریکی (بنا بر قانون سوم نیوتون) هم‌اندازه، هم‌راستا و در خلاف جهت همدیگر هستند. به عبارتی:

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



۱۰. اگر به جای دو ذره باردار، تعدادی بار نقطه‌ای داشته باشیم، نیروی الکتریکی وارد بر هر ذره، برابری نیروهایی است که هر یک از ذره‌های دیگر در غیاب سایر ذره‌ها، بر آن وارد می‌کنند. این موضوع را اصل برهم‌نهی نیروهای الکتروستاتیکی می‌گویند.

۱۱. هر بار الکتریکی مانند q_1 خاصیتی در فضای پیرامون خود ایجاد می‌کند که به آن در اصطلاح میدان الکتریکی آن بار گفته می‌شود. اگر بار دیگری به عنوان مثال بار q_2 را در نقطه‌ای از فضای پیرامون بار q_1 قرار دهیم، تحت تأثیر میدان الکتریکی‌ای قرار می‌گیرد که بار q_1 در آن نقطه ایجاد کرده است؛ بنابراین بار q_1 نه با تماس با بار q_2 بلکه به وسیله میدان الکتریکی خودش بر بار q_2 نیرو وارد می‌کند.

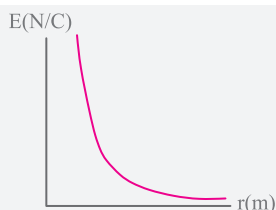
۱۲. میدان الکتریکی در هر نقطه از فضای اطراف یک جسم باردار الکتریکی به این شکل تعیین می‌شود: ابتدا بار کوچک و مثبت q_0 موسوم به بار آزمون را در آن نقطه قرار می‌دهیم و سپس نیروی الکتریکی $\vec{F}$ وارد بر آن را اندازه می‌گیریم. آنگاه میدان الکتریکی $\vec{E}$ ناشی از جسم باردار در آن نقطه به این صورت تعریف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

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$$

در این رابطه یکای میدان الکتریکی ($\vec{E}$) نیوتون بر کولن (N/C) است.

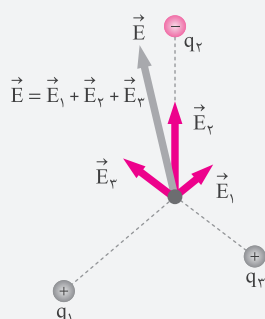
۱۳. بنا به تعریف میدان الکتریکی، میدان الکتریکی کمیتی برداری است که بزرگی آن برابر $E = \frac{F}{q_0}$ و جهت آن همان جهت نیروی وارد بر بار آزمون است.

۱۴. برای محاسبه بزرگی میدان الکتریکی حاصل از یک ذره باردار می‌توان از رابطه $E = k \frac{|q|}{r^2}$ استفاده کرد. در این رابطه، k ثابت کولن، q بار تولیدکننده میدان و r فاصله بار آزمون (q_0) از بار q است.



۱۵. نمودار میدان الکتریکی برحسب فاصله $(E - r)$ برای یک بار تولید کننده میدان به شکل مقابل است.

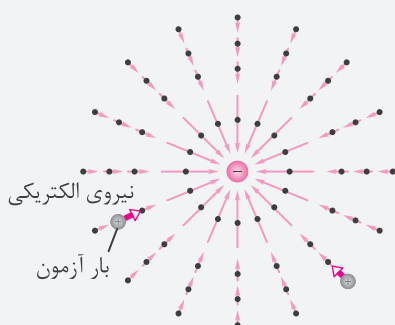
۱۶. هنگامی که دو شمع یکی در فاصله‌ای نزدیک و دیگری در فاصله‌ای دور از کلاهک یک مولد وان دوگراف قرار می‌گیرند، شعله شمع نزدیک‌تر به سمت کلاهک کشیده می‌شود؛ زیرا کلاهک مولد وان دوگراف بار منفی بزرگی دارد که سبب می‌شود یون‌های مثبت درون شعله شمع نزدیک‌تر را به سمت خود بکشد.



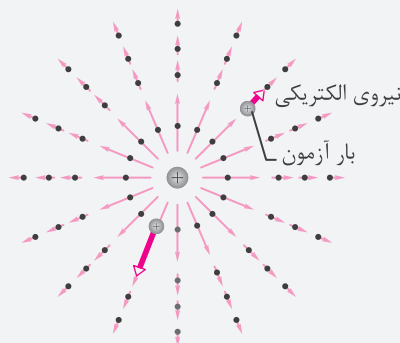
۱۷. اصل برهم‌نهی میدان‌های الکتریکی نشان می‌دهد که میدان الکتریکی ناشی از چند بار الکتریکی در نقطه‌ای از فضا، برابر مجموع میدان‌هایی است که هر بار در نبود سایر بارها در آن نقطه از فضا ایجاد می‌کند. دقت کنید که برای یافتن میدان الکتریکی خالص حاصل از چند ذره باردار $q_1, q_2, \dots$ در نقطه‌ای از فضا باید نخست میدان الکتریکی ناشی از هر ذره را در آن نقطه به دست آورد و سپس این میدان‌ها را به صورت برداری با یکدیگر جمع کرد.

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

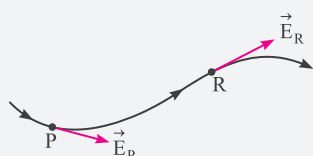
۱۸. اگر یک بار آزمون را در نزدیکی یک ذره باردار مثبت یا منفی قرار دهیم بسته به نوع بار، نیروی الکتریکی در جهت دور شدن از ذره (شکل الف) و یا در جهت نزدیک شدن به آن (شکل ب) وارد می‌شود.



(ب) میدان الکتریکی حاصل از یک ذره باردار منفی ساکن

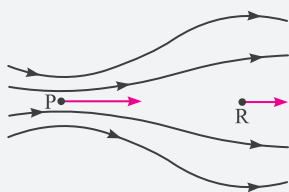


(الف) میدان الکتریکی حاصل از یک ذره باردار مثبت ساکن

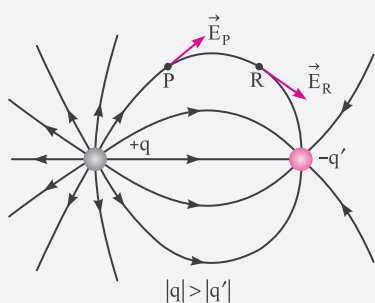


۱۹. قاعده‌های رسم خطوط میدان الکتریکی عبارت‌اند از:

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



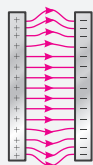
۲- میزان تراکم خطوط میدان در هر ناحیه از فضا نشان‌دهندهٔ بزرگی میدان در آنجاست؛ هر جا خطوط میدان متراکم‌تر باشد، بزرگی میدان بیشتر است. برای مثال در شکل روبه‌رو اطراف نقطهٔ P خطوط میدان متراکم‌تر از اطراف نقطهٔ R است؛ بنابراین بزرگی میدان در نقطهٔ P بیشتر از نقطهٔ R است.



۳- خطوط میدان الکتریکی از بارهای مثبت شروع و به بارهای منفی ختم می‌شوند.

۴- خطوط میدان برآیند هرگز یکدیگر را قطع نمی‌کنند، یعنی از هر نقطهٔ فضا فقط یک خط میدان الکتریکی می‌گذرد.

۲۰. به میدانی که خطوط آن راست، موازی و هم‌فاصله‌اند، میدان الکتریکی یکنواخت گفته می‌شود.



طرحی از خطوط میدان یکنواخت بین دو صفحهٔ رسانای موازی با بارهای هم‌اندازه و ناهمنام

۲۱. در یک میدان الکتریکی جهت نیروی الکتریکی وارد بر بار مثبت، هم‌جهت با میدان الکتریکی و جهت نیروی الکتریکی وارد بر بار منفی در خلاف جهت میدان الکتریکی است.

۲۲. میلیکان با تکرار آزمایش قطره-روغن به دفعات زیاد و با قطره روغن‌های متفاوت دریافت که بار قطره‌ها برابر بار بنیادی e یا مضرب صحیحی از این مقدار است.

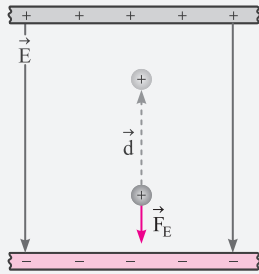
۲۳. کار نیروی الکتریکی وارد بر یک ذرهٔ باردار در میدان الکتریکی یکنواخت $\vec{E}$ در یک جابه‌جایی مشخص برابر با منفی تغییر انرژی الکتریکی در همان جابه‌جایی است؛ یعنی:

$$W_E = -\Delta U_E = |q|Ed \cos \theta$$

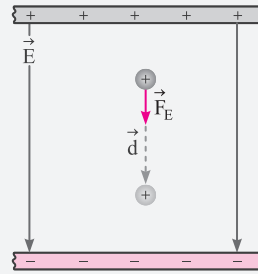
در این رابطه، بار الکتریکی (q) برحسب کولن (C)، بزرگی میدان الکتریکی (E) برحسب نیوتون بر کولن (N/C)، اندازهٔ جابه‌جایی (d) برحسب متر (m) و تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی (ΔU_E) برحسب ژول (J) است. همچنین θ زاویهٔ بین نیروی الکتریکی $\vec{F}$ و جابه‌جایی $\vec{d}$ است.



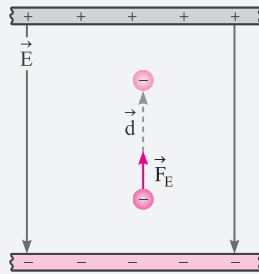
۲۴. هنگامی که یک بار الکتریکی (مثبت یا منفی) درون یک میدان الکتریکی رها می‌شود، همیشه در جهت کاهش انرژی پتانسیل-الکتریکی حرکت می‌کند. مگر اینکه شخص در جهت افزایش انرژی پتانسیل به ذره، نیروی خارجی وارد کند. به شکل‌های زیر دقت کنید:



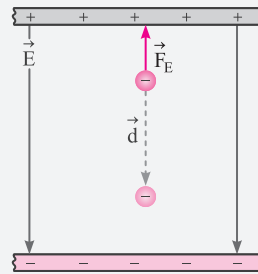
(ب) بار مثبت در خلاف جهت میدان الکتریکی $\vec{E}$ حرکت می‌کند: میدان الکتریکی کار منفی W_E را روی بار انجام می‌دهد. انرژی پتانسیل الکتریکی U_E افزایش می‌یابد.



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



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



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

۲۵. تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی یک ذره باردار به بار الکتریکی آن بستگی دارد؛ مثلاً با دو برابر شدن بار ذره، تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی آن نیز دو برابر می‌شود.

۲۶. نسبت تغییر انرژی پتانسیل به بار ذره، مستقل از نوع و اندازه بار الکتریکی است. به این نسبت، اختلاف پتانسیل الکتریکی دو نقطه‌ای می‌گوییم که ذره میان آنها جابه‌جا شده است و آن را با ΔV نمایش می‌دهیم.

$$\Delta V = V_f - V_i = \frac{\Delta U_E}{q}$$

در این رابطه، یکای اختلاف پتانسیل الکتریکی (ΔV) ژول بر کولن (J/C) است که آن را ولت می‌نامند و با نماد V نمایش می‌دهند. توجه کنید که در این رابطه علامت q باید در نظر گرفته شود.

۲۷. اختلاف پتانسیل الکتریکی مستقل از نوع و اندازه بار جابه‌جا شده بین دو نقطه است.



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

۲۸. پتانسیل الکتریکی در هر نقطه از میدان با رابطه مقابل نیز بیان می‌شود:

۲۹. با حرکت در سوی خطوط میدان الکتریکی یکنواخت، 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.

۳۰. با حرکت در جهت عمود بر خطوط میدان، پتانسیل الکتریکی تغییر نمی‌کند.

۳۱. هنگامی که می‌گوییم اختلاف پتانسیل الکتریکی باتری خودرو ۱۲ ولت است، یعنی پتانسیل پایانه مثبت به اندازه ۱۲ ولت از پتانسیل پایانه منفی آن بیشتر است.

۳۲. اختلاف پتانسیل الکتریکی بین دو نقطه به فاصله d در میدان الکتریکی یکنواخت $\vec{E}$ برابر است با:

$$\Delta U_E = -qEd \xrightarrow{\Delta V = Ed} \Delta U_E = q\Delta V = -W_E \Rightarrow |\Delta V| = Ed$$

از اینجا می‌توان یکای میدان الکتریکی را ولت بر متر (V/m) نیز در نظر گرفت.

۳۳. هنگامی که با اعمال نیرویی، بار q را از نقطه‌ای به نقطه دیگر جابه‌جا می‌کنیم، داریم:

$$\Delta K = W_{\text{خارجی}} + W_E \xrightarrow{W_E = -\Delta U = -q\Delta V} \Delta K = W_{\text{خارجی}} - q\Delta V$$

دقت کنید، در رابطه فوق باید علامت q در نظر گرفته شود.

۳۴. از آزمایش فاراده نتیجه می‌گیریم که بار اضافی یک رسانا روی سطح خارجی آن توزیع می‌شود. در نتیجه وقتی بارها درون یک رسانای کروی قرار می‌گیرند، یکدیگر را می‌رانند و به سرعت به سمت سطح کره شتاب می‌گیرند.

۳۵. به باردار کردن یک جسم رسانا توسط جسمی باردار، بدون تماس با آن «القای بار الکتریکی» می‌گویند. در پدیده القای الکتریکی همواره بار مخالف با جسم باردار، القا می‌شود یعنی اگر جسم القاکنده دارای بار مثبت است بار جسم القاشونده منفی است.

۳۶. مطابق با پدیده القای بار الکتریکی، وقتی یک رسانای خنثی در یک میدان الکتریکی خارجی قرار می‌گیرد، الکترون‌های آزاد رسانا طوری روی سطح خارجی آن توزیع می‌شوند که اثر میدان خارجی را در درون رسانا خنثی کنند؛ به طوری که میدان الکتریکی خالص درون رسانا صفر شود.

۳۷. اگر روی سطح رسانایی که در تعادل الکتروستاتیکی است میدان الکتریکی وجود داشته باشد، این میدان باید عمود بر سطح رسانا باشد.

۳۸. با توجه به صفر بودن میدان درون رسانایی که در تعادل الکتروستاتیکی است و عمود بودن میدان روی سطح رسانا می‌توان نتیجه گرفت که کار نیروی الکتریکی (در جابه‌جایی بار در داخل یا روی سطح رسانا) برابر با صفر است.

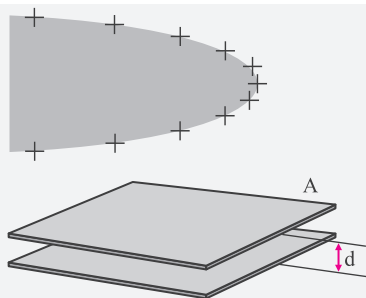
$$\Delta U_E = -W_E = 0 \Rightarrow \Delta V = \frac{\Delta U_E}{q} = 0$$

در نتیجه همه نقاط داخل و روی سطح رسانا، پتانسیل یکسانی دارند.

۳۹. اگر مساحت سطحی که بار روی آن توزیع شده است A و بار الکتریکی موجود در آن سطح برابر Q باشد، چگالی سطحی بار که با نماد σ نشان داده می‌شود از رابطه مقابل به دست می‌آید:

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

در این رابطه یکای چگالی سطحی بار (σ) کولن بر متر مربع (C/m^2) است.



۴۰. در نبود میدان الکتریکی خارجی، چگالی سطحی بار در نقاط تیزتر سطح جسم رسانای باردار از نقاط دیگر آن بیشتر است.

۴۱. خازن وسیله‌ای الکتریکی است که می‌تواند بار الکتریکی و انرژی الکتریکی را در خود ذخیره کند. مثلاً باتری‌های یک دوربین با باردار کردن یک خازن، انرژی را در خازن فلاش دوربین ذخیره می‌کنند. خازن‌ها به طور گسترده‌ای در مدارهای الکترونیکی و وسایلی مانند رادیو، تلویزیون، رایانه و... به کار می‌روند.

دقت کنید که دو رسانا که به طور الکتریکی از یکدیگر و محیط اطراف خود منزوی شده‌اند، تشکیل یک خازن را می‌دهند.

۴۲. بار یک خازن را به صورت q نشان می‌دهند که همان بار صفحه مثبت است.

۴۳. به نسبت بار خازن به اختلاف پتانسیل بین صفحه‌های آن $(\frac{Q}{\Delta V})$ که همواره مقدار ثابتی است و به Q و ΔV بستگی ندارد ظرفیت خازن می‌گویند و آن را با C نشان می‌دهند. $C = \frac{Q}{\Delta V}$ یا $C = \frac{Q}{V}$ در رابطه فوق یکای بار الکتریکی کولن (C)، یکای اختلاف پتانسیل ولت (V) و بنابراین یکای ظرفیت خازن کولن بر ولت (C/V) است که فاراد (F) نامیده می‌شود.

۴۴. اگر فضای میان صفحه‌های یک خازن را با ماده‌ای عایق به نام دی‌الکتریک پر کنیم، ظرفیت خازن افزایش می‌یابد. یعنی اگر ظرفیت خازن بدون دی‌الکتریک را با C_0 نمایش دهیم، ظرفیت خازن با دی‌الکتریک برابر است با $C = \kappa C_0$. در این رابطه κ ثابت دی‌الکتریک ماده عایق بین صفحات خازن است.

۴۵. دی‌الکتریک‌ها دو نوع‌اند: ۱- قطبی مانند آب، NH_3 ، HCl و... ۲- غیرقطبی مانند متان، بنزن و...

۴۶. حضور دی‌الکتریک در فضای بین دو صفحه خازن، میدان اولیه را همواره تضعیف می‌کند، زیرا میدان الکتریکی حاصل از دو قطبی‌ها (دی‌الکتریک قطبی یا غیرقطبی) در خلاف جهت میدان الکتریکی اولیه بین صفحه‌های خازن است. با کاهش میدان اولیه، اختلاف پتانسیل بین دو صفحه خازن کاهش یافته و با توجه به ثابت ماندن بار ظرفیت خازن افزایش می‌یابد.

۴۷. برای محاسبه ظرفیت خازن تخت می‌توان از رابطه $C = \kappa \epsilon_0 \frac{A}{d}$ استفاده کرد. در این رابطه ظرفیت خازن (C) برحسب فاراد (F)، ثابت دی‌الکتریک (κ)، ضریب گذردهی الکتریکی خلأ (ϵ_0) برحسب فاراد بر متر ($\frac{F}{m}$)، فاصله بین دو صفحه خازن (d) برحسب متر (m) و مساحت صفحات خازن (A) برحسب متر مربع (m^2) است.

۴۸. وقتی دی‌الکتریک درون یک خازن قرار می‌گیرد، حداکثر ولتاژ قابل تحمل خازن افزایش می‌یابد. اگر اختلاف پتانسیل دو صفحه خازن را به اندازه کافی زیاد کنیم، تعدادی از الکترون‌های اتم‌های ماده دی‌الکتریک توسط میدان الکتریکی ایجاد شده بین دو صفحه کنده می‌شوند و مسیرهای رسانایی درون دی‌الکتریک ایجاد می‌شود که سبب تخلیه خازن می‌شود. به این پدیده فروریزش الکتریکی ماده دی‌الکتریک گفته می‌شود. فروریزش الکتریکی در عایق بین دو صفحه خازن‌ها معمولاً با ایجاد یک جرقه همراه است و در بیشتر مواقع خازن را می‌سوزاند.



۴۹. وقتی صفحه‌های خازن دارای بار الکتریکی می‌شوند در خازن نیز انرژی ذخیره می‌شود. انرژی پتانسیل الکتریکی ذخیره‌شده در میدان الکتریکی فضای بین صفحات خازن برابر است با:

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

در این رابطه انرژی پتانسیل الکتریکی خازن ($U_{\text{خازن}}$) برحسب ژول (J)، بار خازن (Q) برحسب کولن (C)، اختلاف پتانسیل دو صفحه خازن (V) برحسب ولت (V) و ظرفیت خازن (C) بر حسب فاراد (F) است.

پرسش (۱-۱) صفحه ۳ کتاب درسی

چرا وقتی روکش پلاستیکی را روی یک ظرف غذا می‌کشید و آن را در لبه‌های ظرف فشار می‌دهید، روکش در جای خود ثابت باقی می‌ماند؟ در اثر مالش روکش پلاستیکی به ظرف غذا، تعدادی الکترون از ظرف به روکش منتقل می‌شود؛ بنابراین روکش دارای بار منفی و ظرف دارای بار مثبت می‌شود و یکدیگر را جذب می‌کنند.

تمرین (۱-۱) صفحه ۵ کتاب درسی

عدد اتمی اورانیوم $Z = 92$ است. بار الکتریکی هسته اتم اورانیوم چقدر است؟

به تعداد پروتون‌های موجود در هسته اتم، عدد اتمی گفته می‌شود؛ بنابراین تعداد پروتون‌های موجود در اورانیوم ۹۲ تااست.

با توجه به اینکه بار درون هسته اتم، مثبت است می‌توان نوشت: $q = ne = (92)(1.6 \times 10^{-19}) = 1.472 \times 10^{-17} C$

مجموع بار الکتریکی الکترون‌های اتم اورانیوم (خنثی) چه مقدار است؟

می‌دانیم اتم ذره‌ای خنثی است. در نتیجه تعداد پروتون‌های آن برابر با تعداد الکترون‌هاست؛ بنابراین با توجه به منفی بودن بار الکترون داریم:

$$q = -ne = -(92)(1.6 \times 10^{-19}) = -1.472 \times 10^{-17} C$$

بار الکتریکی اتم اورانیوم (خنثی) چقدر است؟

روش اول: بار الکتریکی هر اتم برابر با مجموع بارهای مثبت و بارهای منفی آن است.

$$q_{\text{اتم}} = q_p + q_e = (1.472 \times 10^{-17}) + (-1.472 \times 10^{-17}) = 0$$

روش دوم: تعداد پروتون‌ها و الکترون‌های هر اتم خنثی با هم برابر است. با توجه به اینکه هر پروتون توسط یک الکترون

خنثی می‌شود، بار الکتریکی اتم خنثی، صفر است.

فعالیت (۲-۱) صفحه ۷ کتاب درسی

شکل روبه‌رو (صفحه ۷ کتاب درسی)، تصویری از مرحله‌های ایجاد یک رونوشت در دستگاه فتوکپی را نشان می‌دهد. در مورد چگونگی کار دستگاه‌های فتوکپی تحقیق کنید.

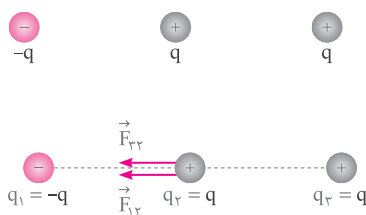
در دستگاه‌های فتوکپی، یک استوانه آلومینیمی که با یک رسانای نوری مثل سلنیم پوشیده شده است به وسیله یک الکترو، باردار مثبت می‌شود. سپس استوانه در معرض تابش نور قرار می‌گیرد و تصویری را از برگه‌ای که می‌خواهیم رونوشت آن را تهیه کنیم روی سطح استوانه ایجاد می‌کند. سلنیم در نبود نور، نارساناست و در حضور نور، رسانا می‌شود، وقتی تصویر برگه مورد نظر روی استوانه می‌افتد، بخش‌هایی از پوشش سلنیمی استوانه که نور می‌گیرد، رسانا می‌شود و با تماس با بدنه آلومینیمی استوانه بار مثبت خود را از دست می‌دهد. به این ترتیب، تصویر برگه به صورت توزیعی از بار مثبت بر سطح استوانه نقش



می‌بندد. پس از این مرحله، استوانه در تماس با پودر سیاه‌رنگی (موسوم به تونر) که دارای بار منفی شده است قرار می‌گیرد. نیروی جاذبه الکتریکی بین پودر باردار منفی و بخش‌هایی از استوانه که دارای بار مثبت سبب می‌شود این پودر بر سطح استوانه بنشیند و تصویری سیاه رنگ از برگه به وسیله تونر بر سطح آن ایجاد شود. اکنون یک برگه سفید که باردار مثبت شده است و بار مثبت آن بیشتر از بار مثبت استوانه است، روی سطح استوانه می‌پیچد و به این ترتیب جاذبه الکتریکی بین پودر باردار منفی که روی سطح استوانه قرار دارد و سطح باردار مثبت کاغذ سفید، موجب انتقال تصویر از استوانه به کاغذ می‌شود. گام آخر، عبور کاغذ (که اینک پودر تونر تصویری بر سطح آن ایجاد کرده است) از میان غلتک‌های داغ است. اکنون تونر بر اثر گرما کاملاً بر سطح کاغذ «تثبیت» می‌شود و بدین ترتیب فرایند فتوکپی به پایان می‌رسد.

پرسش (۲-۱)

صفحه ۸ کتاب درسی



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. می‌دانیم بارهای همان‌بار یکدیگر نیروی دافعه و بارهای ناهمنام به هم نیروی جاذبه وارد می‌کنند؛ بنابراین نیروی وارد بر ذره میانی برابر است.

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

جهت بردارهای $\vec{F}_{12}$ و $\vec{F}_{23}$ به سمت چپ است؛ بنابراین جهت بردار خالص (بردار برآیند) به سمت چپ است.

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

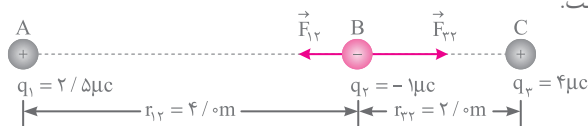
با توجه به اینکه بارها هم‌اندازه و فاصله آنها تا ذره میانی یکسان است، نیروهای $\vec{F}_{12}$ و $\vec{F}_{23}$ هم‌اندازه و غیرهم‌جهت هستند؛ بنابراین نیروی خالص وارد بر ذره میانی برابر با صفر است و نمی‌توان برای آن جهتی فرض کرد.

تمرین (۲-۱)

صفحه ۹ کتاب درسی

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

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



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

$$F_{23} = k \frac{|q_2| |q_3|}{r_{23}^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{(4 \times 10^{-6})(1 \times 10^{-6})}{2^2} = 9 \times 10^{-3} \text{ N}$$



نیروی که بارهای q_3 و q_1 بر بار q_2 وارد می‌کنند، نیروی جاذبه است. مطابق شکل، نیروهای $\vec{F}_{12}$ و $\vec{F}_{32}$ خلاف جهت هم هستند و بزرگی بردار برابری آنها برابر است با:

$$F_{T_y} = |F_{32} - F_{12}| = (9 \times 10^{-3}) - (1/6 \times 10^{-3}) = 7/6 \times 10^{-3} \text{ N}$$

نکته

هنگامی که دو بردار در یک راستا و در خلاف جهت یکدیگرند، بزرگی بردار برابر با قدرمطلق حاصل تفریق بزرگی دو بردار و جهت بردار برابر جهت هم‌جهت بزرگ‌تر است.

اگر بخواهیم جهت نیروی خالص را با بردار یکه بنویسیم، با توجه به اینکه جهت نیروی برابر به سمت راست و در راستای محور افقی است، اگر محور افقی را روی خط واصل هر سه بار و جهت مثبت آن را به سمت راست در نظر بگیریم، می‌توان نوشت:

$$\vec{F}_{T_y} = (7/6 \times 10^{-3} \text{ N}) \hat{i}$$

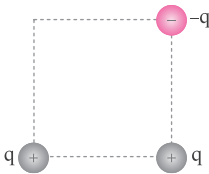
نکته

بردار یکه در جهت مثبت محور x ، $\hat{i}$ و در جهت مثبت محور y ، $\hat{j}$ نامیده می‌شود.

صفحه ۹ کتاب درسی

پرسش (۱-۳)

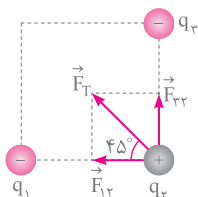
سه ذره باردار مطابق شکل روبه‌رو در سه گوشه یک مربع قرار دارند.



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

بارها را مطابق شکل روبه‌رو q_1 ، q_2 و q_3 نام‌گذاری می‌کنیم. بار q_1 با بار q_2 همنام است و بر آن نیروی دافعه ($\vec{F}_{12}$) وارد می‌کند (نیروی بین دو بار در راستای خط واصل دو بار است). بار q_3 با بار q_2 ناهمنام است و بر آن نیروی جاذبه ($\vec{F}_{32}$) وارد می‌کند. از آنجا که بزرگی بارهای q_1 و q_3 با هم برابر و فاصله آنها تا بار q_2 نیز با هم برابر است؛ بنابراین دو نیروی $\vec{F}_{12}$ و $\vec{F}_{32}$ هم‌اندازه‌اند و جهت بردار برابر بین دو بردار اولیه است.

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؟



اگر q_1 منفی باشد، این ذره بر q_2 نیروی جاذبه وارد می‌کند.

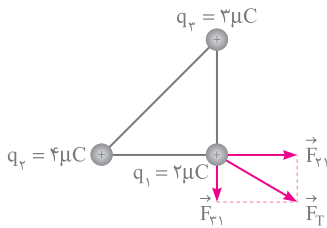


صفحه ۱۰ کتاب درسی

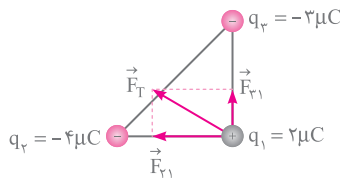
تمرین (۱-۳)

در مثال ۴-۱، الف، اگر علامت بار q_3 تغییر کند جهت نیروی برابند وارد بر بار q_1 چگونه خواهد شد؟

با تغییر علامت بار q_3 ، هر سه بار موجود در سه رأس مثلث قائم الزاویه یکدیگر را می‌رانند. بنابراین داریم:



ب) اگر علامت بار q_3 تغییر کند، جهت نیروی برابند وارد بر بار q_1 چگونه خواهد شد؟



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

با توجه به رابطه قانون کولن و ثابت ماندن بزرگی بارها و فاصله بین آنها، اندازه نیروهای $\vec{F}_{12}$ و $\vec{F}_{13}$ در هر سه حالت ثابت باقی می‌ماند. از آنجا که در هر سه حالت نیروهای $\vec{F}_{12}$ و $\vec{F}_{13}$ بر هم عمود هستند، اندازه نیروی برابند که با رابطه $F_T = \sqrt{F_{12}^2 + F_{13}^2}$ به دست می‌آید، در هر سه حالت مقدار یکسانی خواهد داشت.

صفحه ۱۴ کتاب درسی

تمرین (۱-۴)

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.

$$r = 5/3 \times 10^{-11} \text{ m}, \quad q = +1/6 \times 10^{-19} \text{ C}, \quad k = 9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2}, \quad E_p = ?$$

$$E_p = k \frac{|q|}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{1/6 \times 10^{-19}}{(5/3 \times 10^{-11})^2} \approx 5/1 \times 10^{11} \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

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؟

میدان الکتریکی حاصل از مولد وان دوگراف در فاصله ۱ متری برابر با $9 \times 10^3 \frac{\text{N}}{\text{C}}$ است. برای محاسبه فاصله‌ای که در آن میدان فوق توسط پروتون ایجاد می‌شود می‌توان نوشت:

$$E_p = 9 \times 10^3 \frac{\text{N}}{\text{C}}, \quad q = +1/6 \times 10^{-19} \text{ C}, \quad k = 9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2}, \quad r = ?$$

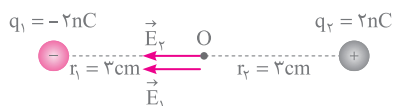
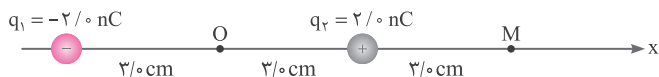
$$E_p = k \frac{|q|}{r^2} \Rightarrow 9 \times 10^3 = 9 \times 10^9 \times \frac{1/6 \times 10^{-19}}{r^2} \Rightarrow r^2 = 1/6 \times 10^{-13} \Rightarrow r = 4 \times 10^{-7} \text{ m} = 0/4 \mu\text{m}$$



تمرین (۱-۵)

صفحه ۱۶ کتاب درسی

شکل زیر، آرایشی از دو بار الکتریکی هم‌اندازه و غیرهمنام (دوقطبی الکتریکی) را نشان می‌دهد که در آن فاصله دو بار از هم $۶/۰\text{ cm}$ است. میدان الکتریکی خالص را در نقطه‌های O و M به دست آورید.

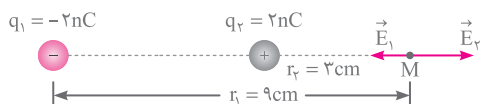


در نقطه O بار آزمون در نظر می‌گیریم. آنگاه داریم:

$$E_1 = k \frac{|q_1|}{r_1^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{2 \times 10^{-9}}{(3 \times 10^{-2})^2} = 2 \times 10^4 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

$$E_2 = k \frac{|q_2|}{r_2^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{2 \times 10^{-9}}{(3 \times 10^{-2})^2} = 2 \times 10^4 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

$$\vec{E}_O = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 = -E_1 \vec{i} - E_2 \vec{i} = -(2 \times 10^4) \vec{i} - (2 \times 10^4) \vec{i} = (-4 \times 10^4 \frac{\text{N}}{\text{C}}) \vec{i}$$



همچنین برای نقطه M داریم:

$$E_1 = k \frac{|q_1|}{r_1^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{2 \times 10^{-9}}{(9 \times 10^{-2})^2} = \frac{2}{9} \times 10^4 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

$$E_2 = k \frac{|q_2|}{r_2^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{2 \times 10^{-9}}{(3 \times 10^{-2})^2} = 2 \times 10^4 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

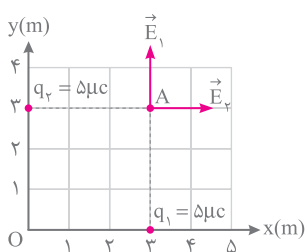
$$\vec{E}_M = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 = -E_1 \vec{i} + E_2 \vec{i} = -(\frac{2}{9} \times 10^4) \vec{i} + (2 \times 10^4) \vec{i} = (\frac{16}{9} \times 10^4 \frac{\text{N}}{\text{C}}) \vec{i}$$

تمرین (۱-۶)

صفحه ۱۷ کتاب درسی

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

ابتدا میدان هر یک از بارها را در غیاب بار دیگر، در نقطه A رسم و سپس برابند میدان‌ها را محاسبه می‌کنیم. برای این کار باید در نقطه A، بار مثبت آزمون در نظر بگیریم. با توجه به اینکه بارها با هم برابر و فاصله آنها تا نقطه A نیز یکسان است، اندازه میدان‌ها در این نقطه با هم برابر است ($E_1 = E_2$).



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

در نتیجه بردار میدان الکتریکی خالص برابر است با:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 = E_1 \vec{j} + E_2 \vec{i} = (5 \times 10^3 \frac{\text{N}}{\text{C}}) \vec{j} + (5 \times 10^3 \frac{\text{N}}{\text{C}}) \vec{i}$$

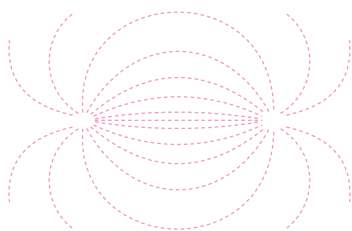
و از آنجا اندازه میدان الکتریکی خالص برابر است با:

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



فعالیت (۱-۳) (کار در کلاس)

صفحه ۱۷ کتاب درسی



درون یک ظرف شیشه‌ای یا پلاستیکی با عمق کم، مقداری پارافین مایع یا روغن کرچک به عمق حدود 5 cm بریزید و داخل آن دو الکترود نقطه‌ای قرار دهید. الکترودها را با سیم به پایانه‌های مثبت و منفی یک مولد ولتاژ بالا، مانند مولد وان‌دوگراف وصل کنید. روی سطح پارافین، مقدار کمی بذر چمن یا خاکشیر بپاشید. مولد را روشن کنید. اکنون به سمت‌گیری دانه‌ها در فضای بین دو الکترود توجه کنید. شکل سمت‌گیری دانه‌ها در این فضا را رسم کنید.

پرسش (۱-۴)

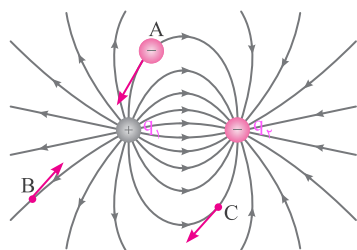
صفحه ۱۹ کتاب درسی

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

اگر دو خط میدان الکتریکی همدیگر را قطع کنند، در یک نقطه دو میدان الکتریکی برابند در جهت‌های مختلف خواهیم داشت. با توجه به اینکه نیروی الکتریکی در راستای خطوط میدان الکتریکی وارد می‌شود، می‌توان نتیجه گرفت که دو مسیر حرکت برای ذره باردار وجود دارد و چنین چیزی امکان ندارد.

پرسش (۵-۱)

صفحه ۱۹ کتاب درسی



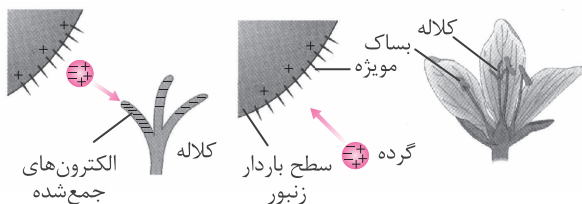
بار $-q$ را در نقطه‌های A، B و C از میدان الکتریکی غیریکنواخت شکل روبه‌رو قرار دهید و جهت نیروی الکتریکی وارد بر این بار منفی را تعیین کنید.

فعالیت (۱-۴)

صفحه ۱۹ کتاب درسی

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.

زنبورهای عسل معمولاً در حین پرواز دارای بار مثبت می‌شوند و وقتی به گرده بدون باری روی بساک یک گل می‌رسند که از لحاظ الکتریکی خنثی است، میدان الکتریکی آنها روی گرده، بارهای مثبت و منفی القا می‌کند، به طوری که سمتی از گرده که به طرف زنبور است دارای بار منفی می‌شود و به این ترتیب گرده به‌سوی زنبور کشیده می‌شود. گرده‌ها روی مویژه‌های ریز زنبور قرار می‌گیرند و سپس وقتی زنبور در اطراف کلاله گل دیگری پرواز می‌کند، بارهای منفی را بر روی کلاله



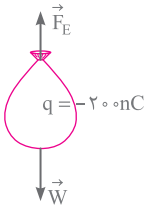
القا می‌کند. هرگاه نیروی الکتریکی واردشده از طرف کلاله بزرگ‌تر از نیروی الکتریکی واردشده از طرف زنبور برگردد باشد، گرده به سمت کلاله گل کشیده می‌شود و گرده‌افشانی صورت می‌پذیرد.



تمرین (۷-۱)

صفحه ۲۱ کتاب درسی

روی سطح بادکنکی به جرم 10^{-3} kg بار الکتریکی 200 nC 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.



برای اینکه یک جسم در فضا معلق بماند باید برآیند نیروهای وارد بر آن همواره برابر با صفر باشد؛ بنابراین $\vec{F}_E$ (نیروی الکتریکی) و $\vec{W}$ (نیروی وزن) باید برابر و در خلاف جهت یکدیگر باشند. می‌دانیم $\vec{W}$ همواره به سمت مرکز زمین (پایین) است، پس $\vec{F}_E$ باید به سمت بالا باشد تا بادکنک بتواند به حالت تعادل درآید.

$$m = 10^{-3} \text{ kg}, \quad q = -200 \text{ nC} = -200 \times 10^{-9} \text{ C}, \quad g = 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}, \quad E = ?$$

$$F_E = W \Rightarrow |q| E = mg \Rightarrow (200 \times 10^{-9}) E = 10^{-3} \times 10 \Rightarrow E = 5 \times 10^5 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

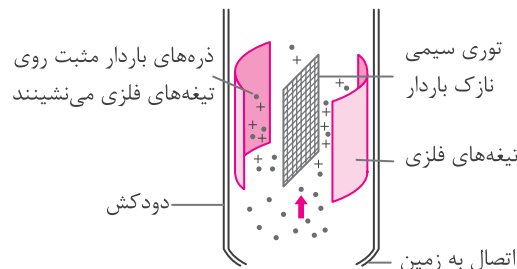
با توجه به اینکه بادکنک دارای بار منفی است و همواره جهت نیروی وارد بر بار منفی، خلاف جهت میدان الکتریکی است، می‌توان نتیجه گرفت که جهت میدان الکتریکی رو به پایین است.

فعالیت (۵-۱)

صفحه ۲۱ کتاب درسی

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 (صفحه ۲۱ کتاب درسی) تأثیر رسوب‌دهنده را در کاهش آلودگی هوای ناشی از یک دودکش نشان می‌دهد.

در نوعی از این رسوب‌دهنده‌ها، یک توری سیمی که به میزان زیادی دارای بار مثبت شده است، بین تیغه‌های فلزی متصل به زمین قرار دارد، به گونه‌ای که تخلیه الکتریکی دائمی بین توری و این تیغه‌ها روی می‌دهد. این تخلیه، جریان پیوسته‌ای از یون‌ها را به همراه دارد که خود را به ذره‌های غبار در گازی که از دودکش بالا می‌رود، متصل می‌کنند. ذره‌های باردار عبوری به سوی تیغه‌های متصل به زمین رانده می‌شوند و در آنجا رسوب می‌کنند. در نتیجه هوایی که از میان رسوب‌دهنده الکتریکی عبور می‌کند بدون آلاینده خواهد بود. پس از مدتی با زدن ضربه، این تیغه‌ها را می‌تکانند و به این ترتیب ذره‌ها را جدا می‌کنند.

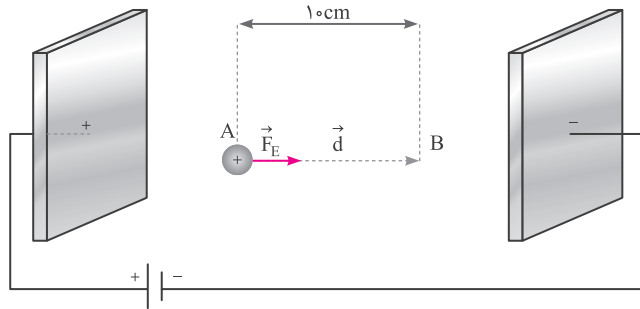




صفحه ۲۳ کتاب درسی

تمرین (۸-۱)

در مثال ۱۰-۱ اگر جای قطب‌های باتری عوض شود و پروتون را در نقطه A از حالت سکون رها کنیم، پروتون با چه تندی از نقطه A به نقطه B می‌رسد؟



با تغییر جهت میدان الکتریکی، جهت $\vec{F}_E$ وارد بر پروتون در نقطه A به سمت راست خواهد بود. در نتیجه با حرکت بار مثبت در جهت میدان الکتریکی $\vec{E}$ ، کار میدان الکتریکی مثبت است؛ بنابراین داریم:

$$W_E = |q|Ed \cos \theta \xrightarrow[\theta=0^\circ]{\text{زاویه بین } \vec{F}_E \text{ و } \vec{d} \text{ است.}} W_E = (1/6 \times 10^{-19})(2 \times 10^3)(10 \times 10^{-2})(\cos 0^\circ) = 3/2 \times 10^{-17} \text{ J}$$

$$\text{قضیه کار-انرژی جنبشی: } W_E = \Delta K \Rightarrow W_E = K_B - K_A \Rightarrow 3/2 \times 10^{-17} = \frac{1}{2}(1/67 \times 10^{-27})(v_B^2)$$

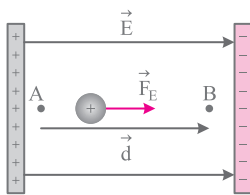
$$\Rightarrow v_B \approx 1/96 \times 10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

فیزیک

صفحه ۲۵ کتاب درسی

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. حالت اول: حرکت در جهت خطوط میدان:



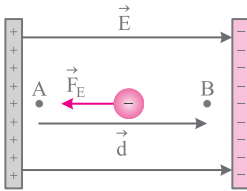
روش اول: در میدان الکتریکی شکل روبه‌رو ذره باردار $+q$ ($q > 0$) از نقطه A تا B حرکت می‌کند؛

$$\Delta V_{AB} = \frac{\Delta U_E}{+q} = \frac{-|q|Ed \cos \theta}{+q} = -Ed \cos \theta \quad \text{بنابراین داریم:}$$

$$\xrightarrow{\theta=0^\circ} \Delta V_{AB} = -Ed \Rightarrow \Delta V_{AB} < 0 \Rightarrow V_B - V_A < 0 \Rightarrow V_B < V_A$$

روش دوم: با توجه به اینکه بار مثبت در جهت میدان الکتریکی حرکت می‌کند، کار نیروی الکتریکی وارد بر آن مثبت است؛ بنابراین:

$$\Delta V_{AB} = \frac{\Delta U_E}{q} = \frac{-W_E}{q} \xrightarrow[q>0]{W_E>0} \Delta V_{AB} < 0 \Rightarrow V_B - V_A < 0 \Rightarrow V_B < V_A$$

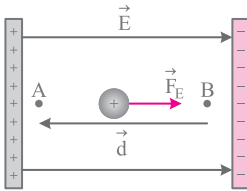


حال اگر ذره باردار $-q$ ($q > 0$) از نقطه A تا B جابه‌جا شود.

$$\Delta V_{AB} = \frac{\Delta U_E}{-q} = \frac{-|-q|Ed \cos \theta}{-q} = Ed \cos \theta$$

$$\xrightarrow{\theta=180^\circ} \Delta V_{AB} = -Ed \Rightarrow \Delta V_{AB} < 0 \Rightarrow V_B - V_A < 0 \Rightarrow V_B < V_A$$

بنابراین با حرکت در سوی خطوط میدان الکتریکی یکنواخت، بدون توجه به نوع بار، پتانسیل الکتریکی کاهش می‌یابد.
حالت دوم: حرکت در خلاف جهت خطوط میدان:



روش اول: حال اگر ذره باردار $+q$ ($q > 0$) از نقطه A تا B حرکت کند، می‌توان نوشت:

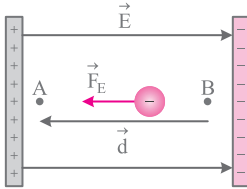
$$\Delta V_{BA} = \frac{\Delta U_E}{+q} = \frac{-|q|Ed \cos \theta}{+q} = -Ed \cos \theta$$

$$\xrightarrow{\theta=0^\circ} \Delta V_{BA} = Ed \Rightarrow \Delta V_{BA} > 0 \Rightarrow V_A - V_B > 0 \Rightarrow V_A > V_B$$

روش دوم: هنگامی که بار مثبت در خلاف جهت میدان الکتریکی حرکت کند، کار نیروی الکتریکی وارد بر آن منفی است:

$$\Delta U_{BA} = \frac{\Delta U_E}{q} = \frac{-W_E}{q} \xrightarrow[q>0]{W_E < 0} \Delta V_{BA} > 0 \Rightarrow V_A - V_B > 0 \Rightarrow V_A > V_B$$

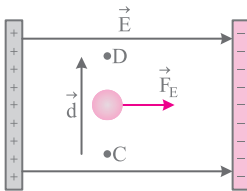
اگر ذره باردار $-q$ ($q > 0$) از نقطه B تا A حرکت کند داریم:



$$\Delta V_{BA} = \frac{\Delta U_E}{-q} = \frac{-|-q|Ed \cos \theta}{-q} = Ed \cos \theta$$

$$\xrightarrow{\theta=0^\circ} \Delta V_{BA} = Ed \Rightarrow \Delta V_{BA} > 0 \Rightarrow V_A - V_B > 0 \Rightarrow V_A > V_B$$

در نتیجه با حرکت در خلاف جهت میدان الکتریکی یکنواخت، 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.
فرض کنید ذره $+q$ از نقطه C تا نقطه D (در جهت عمود بر خطوط میدان حرکت کند).



$$\Delta V_{CD} = \frac{\Delta U_E}{q} = \frac{-|q|Ed \cos \theta}{q} = \pm Ed \cos \theta$$

$$\xrightarrow{\theta=90^\circ} \Delta V_{CD} = 0 \Rightarrow V_C = V_D$$

در نتیجه با حرکت در جهت عمود بر خطوط میدان، پتانسیل الکتریکی تغییر نمی‌کند.

تمرین (۱-۱۰) صفحه ۲۵ کتاب درسی

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

هنگامی که پتانسیل نقطه‌ای را به عنوان مرجع پتانسیل در نظر می‌گیریم، یعنی پتانسیل آن نقطه را برابر با صفر قرار

می‌دهیم؛ بنابراین: $V_+ = 0$ (پتانسیل پایانه مثبت)

$$\Delta V = 12 \Rightarrow (V_+) - (V_-) = 12 \Rightarrow 0 - (V_-) = 12 \Rightarrow V_- = -12V$$



فعالیت (۱-۶)

صفحه ۲۶ کتاب درسی

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. دربارهٔ چگونگی کار نورون‌ها تحقیق و به کلاس گزارش کنید.

نورون، متشکل از یک جسم یاخته‌ای است که پیام‌های الکتریکی را از طریق اتصال‌هایی به نام همایه (سیناپس) که روی دارینه (دندریت)‌ها قرار دارند دریافت یا ارسال می‌کند. اگر محرک به حد کافی قوی باشد، نورون یک سیگنال الکتریکی را در امتداد تار به نام آسه (اکسون) ارسال می‌کند. می‌دانیم در دو طرف سطح یا غشای هر نورون به علت وجود یون‌های منفی بیشتر در داخل غشا نسبت به خارج آن اختلاف پتانسیل وجود دارد و اصطلاحاً به آن نورون قطبیده گفته می‌شود. پتانسیل داخل یاخته عموماً ۶۰ تا ۹۰ میلی‌ولت کمتر از خارج آن است. این اختلاف پتانسیل، پتانسیل استراحت نورون نامیده می‌شود. وقتی نورون تحریک می‌شود، در محل تحریک به دلیل برهم خوردن تعادل یون‌ها در داخل و خارج غشای یاخته تغییر لحظه‌ای بزرگی در پتانسیل استراحت رخ می‌دهد. این تغییر پتانسیل که پتانسیل کنش نام دارد، به صورت سیگنالی در امتداد آسه (اکسون) منتشر می‌شود. تحریک می‌تواند از طریق عواملی از قبیل گرما، سرما، نور، صوت و بو به وجود آید. اگر تحریک، الکتریکی باشد فقط در حدود ۲۰mV در دو طرف غشا لازم است تا پتانسیل کنش را راه بیندازد. پتانسیل کنش با سرعتی حدود ۳۰m/s امتداد آسه (اکسون) منتشر می‌شود و به ماهیچه‌ها و نورون‌های دیگر منتقل می‌شود.

تمرین (۱-۱۱)

صفحه ۲۷ کتاب درسی

در شکل ۱-۲۷ الف) با فرض آنکه بار $+q$ در ابتدا و انتهای جابه‌جایی ساکن باشد، آیا کار نیروی دست، مثبت است یا منفی؟ با توجه به اینکه بار $+q$ در ابتدا و انتهای جابه‌جایی ساکن است داریم:

$$\Delta K = K_1 = K_2 = 0$$

مطابق با قضیه کار-انرژی جنبشی می‌توان نوشت:

$$\Delta K = W_{\text{خارجی}} + W_E \Rightarrow 0 = W_{\text{خارجی}} + W_E \xrightarrow{W_E = -q\Delta V} W_{\text{خارجی}} = -W_E = +q\Delta V$$

ب) آیا بار $+q$ به نقطه‌ای با پتانسیل بیشتر حرکت کرده است یا به نقطه‌ای با پتانسیل کمتر؟ توضیح دهید.

با حرکت در خلاف جهت میدان الکتریکی پتانسیل الکتریکی افزایش می‌یابد؛ بنابراین بار $+q$ به نقطه‌ای با پتانسیل بیشتر حرکت کرده است.

فعالیت (۱-۷)

صفحه ۲۹ کتاب درسی

الف) در شکل (صفحه ۲۹ کتاب درسی) شخصی را داخل یک قفس توری فلزی می‌بینید که نوعی از قفس فاراده است. در مورد قفس فاراده و کاربردهایش تحقیق و به کلاس گزارش کنید.

قفس فاراده در واقع به انواع مجموعه‌هایی گفته می‌شود که بر مبنای آزمایش فاراده موجب حفاظت الکتروستاتیکی می‌شوند. می‌دانیم اگر یک رسانای خنثی را در یک میدان الکتریکی خارجی قرار دهیم، الکترون‌های آزاد رسانا طوری روی سطح خارجی آن توزیع می‌شوند که میدان ناشی از آنها اثر میدان خارجی درون رسانا را خنثی و میدان خالص درون رسانا را صفر



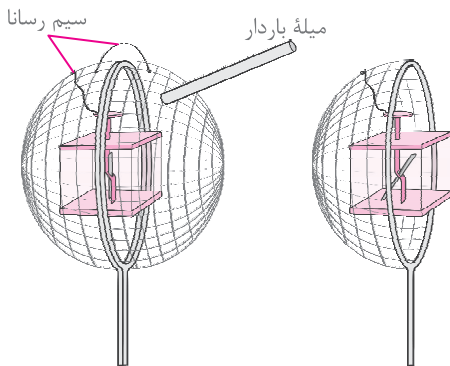
می‌کند. همچنین بار خارجی روی جسم رسانا طوری روی آن توزیع می‌شود که میدان الکتریکی داخل آن صفر شود. برای این اساس مهم‌ترین کاربرد قفس فاراده ساختن محافظ‌های الکتروستاتیکی است. به این صورت که دستگاهی که قرار است مورد محافظت قرار بگیرد را در جعبه‌ای فلزی قرار می‌دهند یا آن را با لایه‌ای از جنس ماده‌ای رسانا می‌پوشانند.

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

هنگامی که جسم رسانا (اتومبیل یا هواپیما) باردار می‌شود، بلافاصله بار ایجادشده به خارجی‌ترین سطح ممکن جسم منتقل می‌شود؛ بنابراین شخص از خطر آذرخش در امان می‌ماند.

پ) با اعضای گروه خود آزمایش‌های دیگری را طراحی و اجرا کنید که نشان دهد بار اضافی داده‌شده به رسانا، روی سطح خارجی آن قرار می‌گیرد.

می‌توان آزمایش به این شکل انجام داد:



یک الکتروسکوپ را مطابق شکل درون دوتوری فلزی قرار می‌دهیم. کلاهک الکتروسکوپ را به یکی از توری‌ها وصل می‌کنیم. سپس با استفاده از سیم رسانای دیگری توری‌ها را نیز به هم می‌چسبانیم تا یک قفس رسانا تشکیل شود. سپس جسمی فلزی را باردار کرده و به توری‌ها متصل می‌کنیم. مشاهده می‌کنیم که عقربه‌های الکتروسکوپ بدون تغییر در جای خود ثابت می‌مانند. حال اگر با استفاده از جسمی عایق یکی از توری‌ها را برداریم، مشاهده می‌شود که عقربه‌های الکتروسکوپ از هم فاصله می‌گیرند.

فیزیک

فصل ۱

فعالیت (۱-۸) صفحه ۳۰ کتاب درسی

دو قطعه ورقه آلومینیومی نازک به ابعاد $4\text{ cm} \times 3\text{ cm}$ را محاله کنید و به سرهای دو تکه نخ هم‌اندازه به طول 30 cm وصل کنید. پس از آنکه جسم فلزی دوکی‌شکل را با مولد وان دوگراف باردار کردید، یکی از آونگ‌ها را مقابل نوک تیز و دیگری را مقابل بخش پهن دوک بیاویزید. چه مشاهده می‌کنید؟ مشاهده خود را توجیه کنید.

ابتدا گلوله‌ها به علت القای بار الکتریکی به سمت کلاهک جذب می‌شوند و پس از آنکه بار آنها با بار کلاهک همنام شد، به علت نیروی دافعه الکتریکی از کلاهک دور می‌شوند. پس از مدتی گلوله‌ها در فاصله معینی از دو طرف دوک می‌ایستند به طوری که گلوله‌ای که با نوک تیز تماس پیدا کرده است در زاویه بیشتری نسبت به امتداد قائم قرار می‌گیرد که نشان‌دهنده قوی‌تر بودن میدان الکتریکی در نقاط نوک‌تیز است. به عبارتی چگالی سطحی بیشتر بارها در نقاط نوک‌تیز به میدان الکتریکی بیشتری منجر می‌شود.

**فعالیت (۱-۹)**

صفحه ۳۱ کتاب درسی

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

برق‌گیر جسمی نوک‌تیز است که در بالاترین نقطه ساختمان نصب می‌شود و اولین نقطه اصابت آذرخش است. یکی از مهم‌ترین قسمت‌های برق‌گیر، سیم اتصال به زمین است که به آن سیم ارت گفته می‌شود. با نزدیک شدن ابرها به میله برق‌گیر، مقداری بار غیرهمنام با بار ابر در ساختمان و میله برق‌گیر القا می‌شود. با توجه به نوک‌تیز بودن میله برق‌گیر، چگالی بار در نوک میله برق‌گیر بیشتر از ساختمان است؛ بنابراین میدان الکتریکی قوی‌تری در اطراف میله ایجاد، و بارها در این نقطه تخلیه و از طریق سیم به میله اتصال به زمین هدایت می‌شوند. بدین ترتیب انرژی آذرخش به زمین انتقال یافته و ساختمان از خطر اصابت آذرخش در امان می‌ماند.

پرسش (۱-۶)

صفحه ۳۶ کتاب درسی

در شکل زیر (صفحه ۳۶ کتاب درسی) 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.)

وقتی دی‌الکتریک قطبی در میدان الکتریکی بین دو صفحه خازن قرار می‌گیرد، مولکول‌های دوقطبی آن در جهت میدان الکتریکی هم‌ردیف می‌شوند و وقتی یک دی‌الکتریک غیرقطبی در این میدان قرار گیرد، مولکول‌های آن در راستای میدان قطبیده می‌شوند. میدان الکتریکی ناشی از بارهای قطبیده در خلاف جهت میدان الکتریکی خارجی است. به عبارتی حضور دی‌الکتریک در فضای بین دو صفحه خازن، میدان الکتریکی اولیه را تضعیف می‌کند؛ بنابراین وقتی خازن به باتری وصل نیست، میدان اولیه بین صفحه‌ها کاهش می‌یابد و در نتیجه اختلاف پتانسیل بین صفحه‌ها نیز کاهش پیدا می‌کند.

فعالیت (۱-۱۰)

صفحه ۳۷ کتاب درسی

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.

در این نوع کیسه‌های هوا برای تشخیص تغییر سرعت‌های ناگهانی از نوعی خازن استفاده می‌شود. حسگر این نوع کیسه‌های هوا شامل خازنی است که از دو صفحه رسانا تشکیل شده که یکی از این صفحه‌ها سبک است و به سادگی حرکت می‌کند. هنگام توقف ناگهانی خودرو صفحه عقبی که سبک‌تر است به طرف صفحه سنگین جلویی حرکت می‌کند و بر اثر این حرکت ظرفیت خازن تغییر می‌کند و در نتیجه آن اختلاف پتانسیل دو سر خازن نیز تغییر می‌کند. یک مدار الکتریکی این تغییر را آشکارسازی کرده و کیسه‌های هوا را به کار می‌اندازد.



تمرین (۱-۱۲)

صفحه ۳۸ کتاب درسی

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

$$V = 85 \times 10^{-3} \text{ V}, \quad \kappa = 3, \quad d = 10 \times 10^{-9} \text{ m}, \quad A = 1 \times 10^{-10} \text{ m}^2, \quad C = ?, \quad n = ?$$

برای محاسبه ظرفیت یک یاخته عصبی (خازن مدل‌سازی شده) می‌توان نوشت:

$$C = \kappa \epsilon_0 \frac{A}{d} = 3 \times 8.85 \times 10^{-12} \times \frac{1 \times 10^{-10}}{10 \times 10^{-9}} = 2.655 \times 10^{-13} \text{ F} = 0.2655 \text{ pF}$$

همچنین برای محاسبه مقدار بار موجود در یاخته عصبی داریم:

$$Q = CV = (2.655 \times 10^{-13})(85 \times 10^{-3}) \approx 2.26 \times 10^{-14} \text{ C}$$

اکنون می‌توانیم تعداد یون‌های لازم را محاسبه کنیم.

$$Q = ne \Rightarrow 2.26 \times 10^{-14} = n \times 1.6 \times 10^{-19} \Rightarrow n \approx 1.41 \times 10^5$$

فعالیت (۱-۱۱)

صفحه ۳۸ کتاب درسی

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

۱- خازن‌های ورقه‌ای: در خازن‌های ورقه‌ای از کاغذ و مواد پلاستیکی به سبب انعطاف‌پذیری آنها، برای دی‌الکتریک استفاده می‌شود. ظرفیت این نوع خازن‌ها از 1 nF تا $1 \mu\text{F}$ است. این گروه از خازن‌ها به دو صورت ساخته می‌شوند: (۱) خازن‌های کاغذی: دی‌الکتریک این نوع خازن از یک صفحه نازک کاغذ متخلخل تشکیل شده که یک دی‌الکتریک مناسب درون آن تزریق می‌شود تا مانع از جذب رطوبت شود. خازن‌های کاغذی به علت کوچک بودن ثابت دی‌الکتریک عایق آنها دارای ابعاد فیزیکی بزرگ هستند و در ولتاژها و جریان‌های زیاد می‌توان از آنها استفاده کرد.

(۲) خازن‌های پلاستیکی: دی‌الکتریک موجود در این خازن‌ها از ورقه‌های نازک پلاستیک است. ورقه‌های پلاستیکی همراه با ورقه‌های نازک فلزی آلومینیم به صورت لوله، در درون قاب پلاستیکی بسته‌بندی می‌شوند. این خازن‌ها نسبت به تغییرات دما حساسیت زیادی ندارند، به همین سبب از آنها در مدارهایی که در آنها در دماهای متفاوت به خازنی با ظرفیت ثابت نیاز است، استفاده می‌کنند.

۲- خازن‌های میکا: در این نوع خازن از ورقه‌های نازک میکا در بین صفحات خازن (ورقه‌های فلزی آلومینیم) استفاده می‌شود و در پایان، مجموعه در یک محفظه قرار داده می‌شود تا از اثر رطوبت بر آن جلوگیری شود. ظرفیت خازن‌های میکا تقریباً بین 50 تا 500 پیکوفاراد است. این خازن‌ها دارای ولتاژ کار بالا و عمر طولانی هستند.



۳- خازن‌های سرامیکی: معمول‌ترین خازن غیرالکتrolیتی است که در آن دی‌الکتریک به‌کاررفته از جنس سرامیک است. ثابت دی‌الکتریک سرامیک بالا و در حدود ۱۰۰۰ است، از این رو امکان ساخت خازن‌های با ظرفیت زیاد در اندازه کوچک را فراهم می‌آورد. ظرفیت خازن‌های سرامیکی از مرتبه چند ده نانوفاراد است.

۴- خازن‌های الکتrolیتی: این خازن‌ها از یک صفحه فلزی اندودشده با اکسید آلومینیم تشکیل شده‌اند، به طوری که صفحه فلزی، قطب مثبت خازن و لایه اکسید، دی‌الکتریک آن باشد. الکتrolیت جامد یا مایع (که غالباً کاغذی آغشته به مایع الکتrolیت است) به عنوان قطب منفی خازن عمل می‌کند. ظرفیت این خازن‌ها بالاست و تا حدود 10^5 F می‌رسد.

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

۶- آبر خازن: این نوع خازن‌ها از موادی مانند زغال فعال پر شده‌اند که خود درون نوعی الکتrolیت قرار گرفته‌اند. زغال‌ها پس از قرار گرفتن در دو سوی خازن که توسط غشای عایق و نفوذپذیری به نام جداکننده از هم جدا شده‌اند بارهایی با علامت مخالف می‌گیرند. با توجه به نفوذپذیری جداکننده، یون‌های موجود در الکتrolیت از غشای جداکننده عبور می‌کنند به طوری که یون‌های منفی در سمت زغال‌های باردار مثبت و یون‌های مثبت در سمت زغال‌های باردار منفی قرار می‌گیرند. هر یک از جفت بارهای مثبت و منفی زغال-یون به مثابه خازنی با فاصله جدایی d است که میلیون‌ها بار کوچک‌تر از فاصله جدایی صفحه‌های یک خازن معمولی است. از طرفی ساختار میکروسکوپی زغال‌های فعال، اسفنجی شکل است به طوری که در مقیاس نانو، سطح تماس بسیار بزرگی با یون‌ها دارند و به این ترتیب مساحت A صفحه‌های این خازن نیز به مراتب بزرگ‌تر از مساحت سطح یک خازن معمولی است؛ بنابراین این خازن‌ها ظرفیت‌های بسیار بزرگی از مرتبه کیلوفاراد دارند که میلیون‌ها برابر ظرفیت خازن‌های معمولی است. یکی از ویژگی‌های این خازن‌ها آن است که خیلی سریع‌تر از باتری‌های شارژشدنی، شارژ می‌شوند و می‌توان آنها را به دفعاتی تا هزاران بار بیشتر از باتری‌ها شارژ کرد. همین ویژگی است که باعث استفاده از این خازن‌ها در وسایل نقلیه الکتریکی می‌شود.

پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۱ صفحه ۴۱ تا ۴۴ کتاب درسی

۱) چگونه توسط یک الکتروسکوپ می‌توانیم تشخیص دهیم که:

الف) یک میله باردار است یا نه؟ میله را به کلاهک الکتروسکوپ خنثی نزدیک می‌کنیم. اگر تغییری در وضعیت ورقه‌ها مشاهده شود میله باردار است.

ب) میله رساناست یا عایق؟ برای تعیین رسانا یا نارسانا بودن یک جسم توسط الکتروسکوپ، باید جسم یا الکتروسکوپ دارای بار الکتریکی باشد و به دو صورت زیر می‌توان عمل کرد:

۱) اگر جسم رسانا باردار باشد: در این صورت با تماس جسم به کلاهک الکتروسکوپ بدون بار، بار الکتریکی به الکتروسکوپ منتقل شده و ورقه‌ها از هم دور می‌شوند و با جدا کردن جسم، ورقه‌ها همچنان به همان حالت خواهند ماند؛ ولی اگر



جسم نارسانا باشد، با تماس جسم به کلاهک الکتروسکوپ و دور کردن آن، ابتدا ورقه‌ها از هم دور می‌شوند و سپس به همان حالت قبلی برمی‌گردند.

۲) اگر الکتروسکوپ دارای بار باشد: در این حالت ورقه‌های الکتروسکوپ از هم فاصله دارند و با تماس جسم به کلاهک الکتروسکوپ در یک نقطه و دور کردن آن، اگر زاویه بین ورقه‌ها تغییر کرد، آن جسم رسانی و اگر زاویه تغییر نکرد، آن جسم نارسانا است.

پ) نوع بار میله باردار چیست؟ برای تعیین نوع بار یک جسم توسط الکتروسکوپ، باید الکتروسکوپ از قبل دارای بار الکتریکی مشخص (مثبت یا منفی) باشد. در این صورت با نزدیک کردن جسم مورد نظر به کلاهک الکتروسکوپ، اگر ورقه‌ها از هم دورتر شوند، نوع بار جسم همانم با بار الکتروسکوپ است و اگر ورقه‌ها به هم نزدیک‌تر شوند، بار جسم مخالف بار الکتروسکوپ است.

۲) یک میله پلاستیکی را با پارچه پشمی مالش می‌دهیم. پس از مالش، بار الکتریکی میله پلاستیکی $-12 / \text{AnC}$ می‌شود.

الف) بار الکتریکی ایجادشده در پارچه پشمی چقدر است؟

بر اثر مالش دو جسم به هم، تعدادی الکترون از یک جسم خارج شده و وارد جسم دیگر می‌شود؛ بنابراین اندازه بار الکتریکی پارچه پشمی برابر با اندازه بار الکتریکی میله پلاستیکی است. زیرا به همان میزان که میله پلاستیکی الکترون گرفته است، پارچه پشمی الکترون از دست داده است.

ب) تعداد الکترون‌های منتقل‌شده از پارچه پشمی به میله پلاستیکی را محاسبه کنید.

$$q = 12 / \text{AnC} = 12 / 8 \times 10^{-9} \text{C} , e = 1 / 6 \times 10^{-19} \text{C} , n = ?$$

$$q = ne \Rightarrow 12 / 8 \times 10^{-9} = n(1 / 6 \times 10^{-19}) \Rightarrow n = 8 \times 10^{10} \text{ الکترون}$$

۳) الف) بار الکتریکی اتم و هسته اتم کربن (^{12}C) چند کولن است؟

بار الکتریکی اتم کربن برابر با صفر است، زیرا به تعداد بار منفی (الکترون) موجود در اطراف هسته، بار مثبت (پروتون) در درون هسته وجود دارد. در هسته اتم کربن ^{12}C ، ۶ عدد پروتون و ۶ عدد نوترون داریم. نوترون ذره‌ای خنثی است؛ بنابراین باری ندارد. در نتیجه بار هسته اتم کربن به تعداد پروتون‌های آن وابسته است.

$$n = 6 , q_p = e = 1 / 6 \times 10^{-19} \text{C} , q = ?$$

$$q = ne = 6(1 / 6 \times 10^{-19}) = 9 / 6 \times 10^{-19} \text{C}$$

ب) بار الکتریکی اتم کربن یک بار یونیده (C^+) چقدر است؟

$$q = ne = 1(1 / 6 \times 10^{-19}) = 1 / 6 \times 10^{-19} \text{C} : \text{بنابراین داریم:}$$

۴) دو گوی رسانی، کوچک و یکسان به بارهای $q_1 = 4 / 0 \text{nC}$ و $q_2 = -6 / 0 \text{nC}$ را با هم تماس می‌دهیم و سپس تا فاصله

$r = 3 \text{cm}$ از هم دور می‌کنیم. نیروی برهم‌کنش الکتریکی بین دو گوی را محاسبه کنید. این نیرو رانشی است یا ریابیسی؟

طبق قانون پایستگی بار الکتریکی، مجموع بار دو گوی قبل از تماس و پس از تماس با هم برابر است. هنگامی که دو گوی رسانی با اندازه‌های یکسان و بارهای متفاوت را به هم تماس می‌دهیم و از هم دور می‌کنیم بار هریک از دو گوی پس از دور کردن با هم برابر و از طریق رابطه $q_1' = q_2' = \frac{q_1 + q_2}{2}$ قابل محاسبه است. (q_1' و q_2' بار دو گوی پس از تماس هستند).

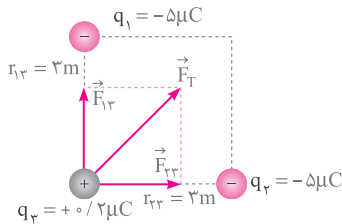


$$q_1 = 4 \text{ nC} \quad , \quad q_2 = -6 \text{ nC} \quad , \quad r = 3 \text{ cm} = 3 \times 10^{-2} \text{ m} \quad , \quad k = 9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2} \quad , \quad F = ?$$

$$q'_1 = q'_2 = \frac{q_1 + q_2}{2} = \frac{4 + (-6)}{2} = -1 \text{ nC}$$

$$F = k \frac{|q'_1||q'_2|}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{(1 \times 10^{-9})(1 \times 10^{-9})}{(3 \times 10^{-2})^2} = 10^{-7} \text{ N}$$

نیروی فوق رانشی است، زیرا هر دو گوی پس از تماس دارای بار منفی هستند.



۵ سه ذره باردار q_1 ، q_2 و q_3 مطابق شکل در سه رأس مربعی به ضلع ۳ m ثابت

شده‌اند. اگر $q_1 = q_2 = -5 \mu\text{C}$ و $q_3 = +0.2 \mu\text{C}$ باشد، نیروی خالص الکتریکی

وارد بر بار q_3 را بر حسب بردارهای یکه $\vec{i}$ و $\vec{j}$ تعیین کنید.

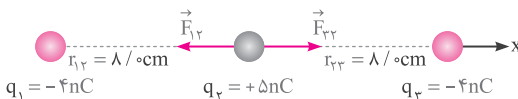
$$F_{12} = k \frac{|q_1||q_2|}{r_{12}^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{(\Delta \times 10^{-6})(\Delta \times 10^{-6})}{3^2} = 10^{-3} \text{ N}$$

$$F_{23} = k \frac{|q_2||q_3|}{r_{23}^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{(\Delta \times 10^{-6})(0.2 \times 10^{-6})}{3^2} = 10^{-3} \text{ N}$$

$$\vec{F}_T = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{13} = F_{23} \vec{i} + F_{12} \vec{j} = \vec{F} = (10^{-3} \text{ N}) \vec{i} + (10^{-3} \text{ N}) \vec{j}$$

۶ بارهای الکتریکی نقطه‌ای $q_1 = -4 \text{ nC}$ ، $q_2 = +5 \text{ nC}$ و $q_3 = -4 \text{ nC}$ مطابق شکل، در جای خود ثابت شده‌اند.

نیروی خالص الکتریکی وارد بر هر یک از بارهای q_1 و q_2 را محاسبه کنید.



بارهای q_1 و q_3 بر بار q_2 نیرو وارد می‌کنند. از

آنجا که $q_1 = q_3$ و فاصله آنها تا q_2 یکسان است

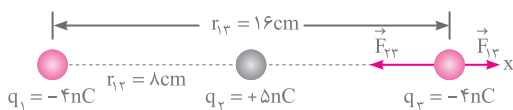
و نیروهای آنها خلاف جهت است می‌توان نتیجه

گرفت نیروی خالص وارد بر بار q_2 مساوی صفر است.

$$F_{12} = k \frac{|q_1||q_2|}{r_{12}^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{(4 \times 10^{-9})(5 \times 10^{-9})}{(1 \times 10^{-2})^2} = \frac{45}{16} \times 10^{-5} \text{ N}$$

$$F_{23} = k \frac{|q_2||q_3|}{r_{23}^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{(5 \times 10^{-9})(4 \times 10^{-9})}{(1 \times 10^{-2})^2} = \frac{45}{16} \times 10^{-5} \text{ N}$$

$$\vec{F}_{T2} = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{23} = -F_{12} \vec{i} + F_{23} \vec{i} = -\left(\frac{45}{16} \times 10^{-5}\right) \vec{i} + \left(\frac{45}{16} \times 10^{-5}\right) \vec{i} = 0$$



برای محاسبه نیروی خالص وارد بر بار q_3 داریم:

بار q_2 نیروی ربایشی بر بار q_3 وارد می‌کند و بار q_1

نیروی رانشی بر q_3 وارد می‌کند.

$$F_{13} = k \frac{|q_1||q_3|}{r_{13}^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{(4 \times 10^{-9})(4 \times 10^{-9})}{(16 \times 10^{-2})^2} = \frac{9}{16} \times 10^{-5} \text{ N}$$



$$F_{rr} = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{(\Delta \times 10^{-9})(4 \times 10^{-9})}{(\Delta \times 10^{-2})^2} = \frac{45}{16} \times 10^{-5} \text{ N}$$

$$\vec{F}_T = \vec{F}_{1r} + \vec{F}_{rr} = F_{1r} \vec{i} - F_{rr} \vec{i} = \left(\frac{9}{16} \times 10^{-5}\right) \vec{i} - \left(\frac{45}{16} \times 10^{-5}\right) \vec{i} = -\left(\frac{36}{16} \times 10^{-5}\right) \vec{i} = -(2/25 \times 10^{-5} \text{ N}) \vec{i}$$

✓ 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 به دست آورید.

هنگامی گوی بالایی معلق می‌ماند که نیروی الکتریکی وارد بر آن ($\vec{F}_E$) هم‌اندازه و در خلاف جهت نیروی وزن گوی ($\vec{W}$) باشد؛ بنابراین:

$$W = F_E \Rightarrow mg = k \frac{|q||q|}{r^2} \Rightarrow (2/5 \times 10^{-2}) \times 10 = 9 \times 10^9 \times \frac{q^2}{(10^{-2})^2} \Rightarrow q^2 = \frac{2/5 \times 10^{-2}}{9 \times 10^{13}} = \frac{25}{9} \times 10^{-16}$$

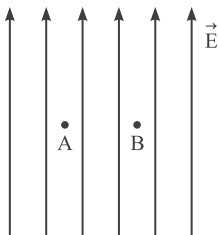
$$\Rightarrow q = \frac{5}{3} \times 10^{-8} \approx 1/6 \times 10^{-8} \text{ C}$$

ب) تعداد الکترون‌های کنده‌شده از هر گوی چقدر است؟

برای محاسبه تعداد الکترون‌های کنده‌شده از هر گوی می‌توان نوشت:

$$q = ne \Rightarrow 1/6 \times 10^{-8} = n(1/6 \times 10^{-19}) \Rightarrow n = 10^{11} \text{ الکترون}$$

۸) 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.



میدان نشان داده‌شده یک میدان الکتریکی یکنواخت است زیرا خطوط میدان موازی و فاصله بین آنها یکسان است. برای محاسبه نیروی وارد از طرف میدان الکتریکی بر ذره باردار از رابطه $\vec{F} = Eq$ استفاده می‌کنیم. با توجه به یکسان بودن میدان الکتریکی در نقطه A و B می‌توان نتیجه گرفت که نیروی یکسانی در دو نقطه A و B بر ذره وارد می‌شود.

۹) هسته اتم آهن شعاعی در حدود $4/0 \times 10^{-15} \text{ m}$ دارد و تعداد پروتون‌های آن ۲۶ عدد است.

الف) بزرگی نیروی دافعه بین دو پروتون این هسته که به فاصله $4/0 \times 10^{-15} \text{ m}$ از هم قرار دارند چقدر است؟

$$q_p = e = 1/6 \times 10^{-19} \text{ C}, \quad r = 4 \times 10^{-15} \text{ m}, \quad k = 9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2}, \quad F = ?$$

$$F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{(1/6 \times 10^{-19})(1/6 \times 10^{-19})}{(4 \times 10^{-15})^2} = 14/4 \text{ N}$$

ب) اندازه میدان الکتریکی ناشی از هسته در فاصله $1/0 \times 10^{-10} \text{ m}$ از مرکز هسته چقدر است؟

$$r = 1 \times 10^{-10} \text{ m}, \quad n = 26, \quad e = 1/6 \times 10^{-19} \text{ C}, \quad k = 9 \times 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2}, \quad E = ?$$

$$q = ne = (26)(1/6 \times 10^{-19}) = 41/6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

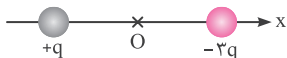
ابتدا میزان بار هسته را حساب می‌کنیم:

برای محاسبه میدان الکتریکی ناشی از هسته در فاصله r داریم:

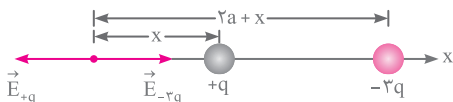
$$E = k \frac{|q|}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{41/6 \times 10^{-19}}{(1 \times 10^{-10})^2} = 374/4 \times 10^{10} \text{ N/C}$$



۱۰) 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.



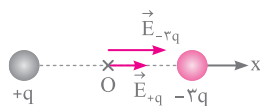
الف) در کجای این محور (غیر از بی‌نهایت) نقطه‌ای وجود دارد که در آنجا میدان الکتریکی برابر با صفر است؟ چون دو بار غیرهمنام هستند، میدان الکتریکی در نقطه‌ای خارج از خط واصل دو بار (محور) و نزدیک به بار کوچک‌تر صفر می‌شود. مطابق شکل زیر فاصله نقطه مورد نظر تا بار نقطه‌ای $+q$ را x در نظر می‌گیریم و میدان‌های ناشی از بارهای q و $-3q$ را در آن نقطه محاسبه می‌کنیم.



$$E_{+q} = E_{-3q} \Rightarrow k \frac{q}{x^2} = k \frac{3q}{(x+a)^2} \Rightarrow 3x^2 = (x+a)^2 \Rightarrow x^2 = \frac{(x+a)^2}{3} \Rightarrow \sqrt{3}x = x+a$$

$$\Rightarrow x(\sqrt{3}-1) = a \xrightarrow[\text{در } (\sqrt{3}+1)]{\text{ضرب دو طرف معادله}} 2x = a(\sqrt{3}+1) \Rightarrow x = a(\sqrt{3}+1)$$

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



در نقطه O ، بار مثبت آزمون قرار می‌دهیم و میدان‌های ناشی از بارهای $+q$ و $-3q$ را در آن نقطه بررسی می‌کنیم:

$$E_{+q} = k \frac{|q|}{r^2} = k \frac{q}{a^2} \quad E_{-3q} = k \frac{|q|}{r^2} = k \frac{(3q)}{a^2}$$

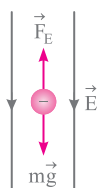
$$\vec{E}_T = E_{+q} \vec{i} + E_{-3q} \vec{i} = \frac{kq}{a^2} \vec{i} + \frac{3kq}{a^2} \vec{i} = \frac{4kq}{a^2} \vec{i}$$

$$\vec{E}_T = \frac{4kq}{a^2} \vec{i}$$

بزرگی میدان در نقطه O برابر است با:

۱۱) در یک میدان الکتریکی یکنواخت به بزرگی $5 \times 10^5 \text{ N/C}$ که جهت آن قائم و رو به پایین است، ذره بارداری 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.



هنگامی که گفته می‌شود ذره معلق و به حالت سکون قرار دارد، یعنی برابند نیروهای وارد بر آن صفر است. به عبارت دیگر نیروی الکتریکی و وزن ذره باید هم‌اندازه و در خلاف جهت هم باشند؛ بنابراین نیروی الکتریکی رو به بالا بر ذره وارد می‌شود. با توجه به اینکه جهت نیروی الکتریکی در خلاف جهت میدان الکتریکی است، ذره دارای بار منفی است.

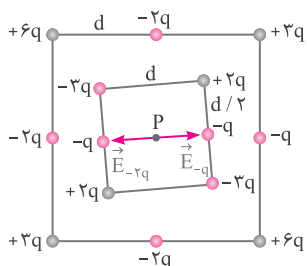
$$m = 2 \times 10^{-3} \text{ kg} \quad , \quad E = 5 \times 10^5 \text{ N/C} \quad , \quad g = 10 \text{ N/kg}$$

$$F_E = mg \Rightarrow E|q| = mg \Rightarrow 5 \times 10^5 |q| = 2 \times 10^{-3} \times 10 \Rightarrow |q| = 4 \times 10^{-7} \xrightarrow{\text{بار منفی است}} q = -4 \times 10^{-7} \text{ C}$$



۱۲) شکل زیر دو آرایه مربعی از ذرات باردار را نشان می‌دهد. مربع‌ها که در نقطه P هم‌مرکزند، هم‌ردیف نیستند. ذره‌ها روی

محیط مربع به فاصله d یا d/۲ از هم قرار گرفته‌اند. بزرگی و جهت میدان الکتریکی بر ایند در نقطه P چیست؟



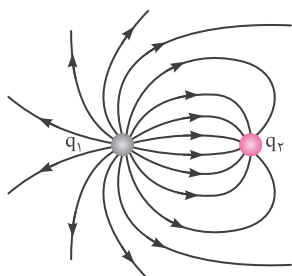
با توجه به متقارن بودن شکل می‌توان نتیجه گرفت که میدان‌های حاصل از بارهایی که نسبت به نقطه P متقارن هستند، دوه‌دو یکدیگر را خنثی می‌کنند به جز دو بار -q و -۲q که روی ضلع مربع بزرگ‌تر قرار دارند؛ بنابراین خواهیم داشت:

$$\vec{E}_P = \vec{E}_{-q} - \vec{E}_{-2q} = k \frac{q}{d^2} \vec{i} - 2k \frac{q}{d^2} \vec{i} = -k \frac{q}{d^2} \vec{i}$$

۱۳) خطوط میدان الکتریکی برای دو کره رسانای باردار کوچک در شکل روبه‌رو

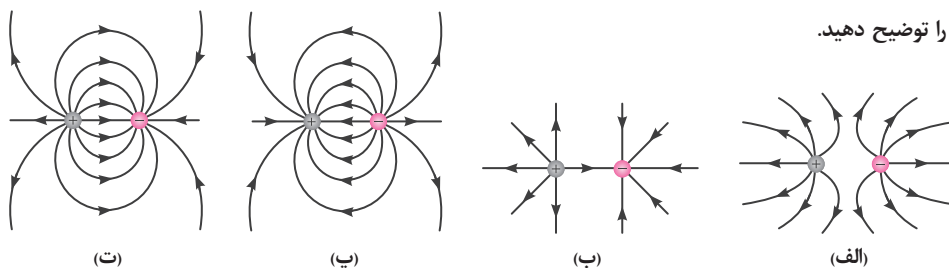
نشان داده شده است. نوع بار هر کره را تعیین کرده و اندازه آنها را مقایسه کنید.

خطوط میدان الکتریکی از بار مثبت خارج و به بار منفی وارد می‌شوند؛ بنابراین q_1 مثبت و q_2 منفی است. با توجه به تراکم بیشتر خطوط در اطراف بار q_1 می‌توان نتیجه گرفت که $|q_1| > |q_2|$ است.



۱۴) در شکل‌های زیر، اندازه دو بار، یکسان ولی علامت آنها مخالف هم است. کدام آرایش‌های خطوط میدان نادرست است؟

دلیل آن را توضیح دهید.



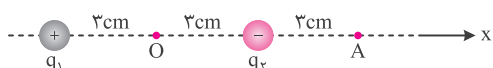
الف) نادرست، زیرا خطوط میدان الکتریکی باید به بار منفی وارد شوند.

ب) نادرست، زیرا تراکم خطوط میدان در فضای بین دو بار الکتریکی ناهمنام باید از تراکم این خطوط در نقاط دیگر بیشتر باشد.

پ) نادرست، زیرا خطوط میدان الکتریکی باید از بار مثبت خارج و به بار منفی وارد شوند.

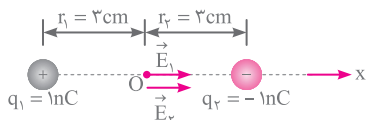
ت) درست

۱۵) دو بار الکتریکی نقطه‌ای غیرهمنام $q_1 = +1 \text{ nC}$ و $q_2 = -1 \text{ nC}$ مطابق شکل زیر به فاصله ۶ cm از یکدیگر قرار دارند.



الف) جهت و اندازه میدان الکتریکی را در نقطه‌های O و A به دست آورید.

برای نقطه O داریم:



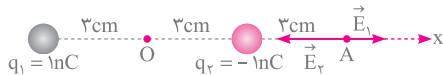


$$E_1 = k \frac{|q_1|}{r_1^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{1 \times 10^{-9}}{(3 \times 10^{-2})^2} = 10^4 \text{ N/C}$$

$$E_2 = k \frac{|q_2|}{r_2^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{1 \times 10^{-9}}{(3 \times 10^{-2})^2} = 10^4 \text{ N/C}$$

$$\vec{E}_O = E_1 \vec{i} + E_2 \vec{i} = +10^4 \vec{i} + 10^4 \vec{i} = (2 \times 10^4 \text{ N/C}) \vec{i}$$

همچنین برای نقطه A داریم:



$$E_1 = k \frac{|q_1|}{r_1^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{1 \times 10^{-9}}{(9 \times 10^{-2})^2} = \frac{1}{9} \times 10^4 \text{ N/C}$$

$$E_2 = k \frac{|q_2|}{r_2^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{1 \times 10^{-9}}{(3 \times 10^{-2})^2} = 10^4 \text{ N/C}$$

$$\vec{E}_A = E_1 \vec{i} - E_2 \vec{i} = (\frac{1}{9} \times 10^4) \vec{i} - 10^4 \vec{i} = -(\frac{8}{9} \times 10^4 \text{ N/C}) \vec{i}$$

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

خیر، برای صفر شدن میدان خالص باید $E_1 = E_2$ و در خلاف جهت هم است؛ با توجه به اینکه دو بار ناهمنام هستند، میدان در نقطه‌ای خارج از خط واصل دو بار باید صفر شود. اگر فاصله این نقطه تا بارهای q_1 و q_2 به ترتیب r_1 و r_2 باشد، داریم:

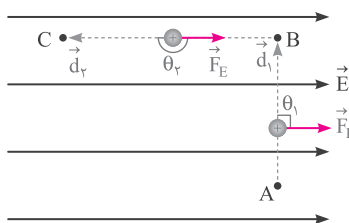
$$E_1 = E_2 \Rightarrow k \frac{|q_1|}{r_1^2} = k \frac{|q_2|}{r_2^2} \Rightarrow r_1 = r_2$$

برای همه نقاط روی محور و خارج از خط واصل بین دو بار $r_1 \neq r_2$ است؛ بنابراین در هیچ نقطه‌ای روی محور اندازه E_1 با E_2 برابر نخواهد شد.

۱۶) 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 $AB = 0.2 \text{ m}$ و $BC = 0.4 \text{ m}$ باشد، مطلوب است:

الف) نیروی الکتریکی وارد بر بار q .



$$q = 5.0 \text{ nC} = 5.0 \times 10^{-9} \text{ C}, \quad E = 8.0 \times 10^5 \text{ N/C}$$

$$d_1 = AB = 0.2 \text{ m}, \quad d_2 = BC = 0.4 \text{ m}$$

$$\theta_1 = 90^\circ, \quad \theta_2 = 180^\circ, \quad F = ?$$

$$F = Eq = (8.0 \times 10^5)(5.0 \times 10^{-9}) = 4.0 \times 10^{-2} \text{ N}$$

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

$$W_{E_1} = Fd_1 \cos \theta_1 = Fd_1 \cos 90^\circ = 0$$

$$W_{E_2} = Fd_2 \cos \theta_2 = (4.0 \times 10^{-2})(0.4)(\cos 180^\circ) = -1.6 \times 10^{-2} \text{ J}$$

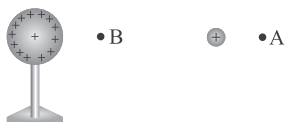
$$W_E = W_{E_1} + W_{E_2} = -(1.6 \times 10^{-2} \text{ J}) = -1.6 \times 10^{-2} \text{ J}$$

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

$$\Delta U_E = -W = 1.6 \times 10^{-2} \text{ J}$$



۱۷) در شکل زیر ذره باردار مثبت و کوچکی را از حالت سکون، 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؟

در جابه‌جایی از نقطه A تا B، نیروی الکتریکی وارد بر بار در خلاف جهت جابه‌جایی است؛ بنابراین کار نیروی الکتریکی منفی است.

ب) کاری که ما در این جابه‌جایی انجام می‌دهیم مثبت است یا منفی؟

کار نیروی خارجی در این جابه‌جایی مثبت است.

$$\Delta K = W_{\text{خارجی}} + W_E \xrightarrow[\text{ساکن است.}]{\text{ذره در نقاط A و B}} W_{\text{خارجی}} = -W_E \xrightarrow{W_E < 0} W_{\text{خارجی}} > 0$$

پ) انرژی پتانسیل ذره باردار در این جابه‌جایی چگونه تغییر می‌کند؟

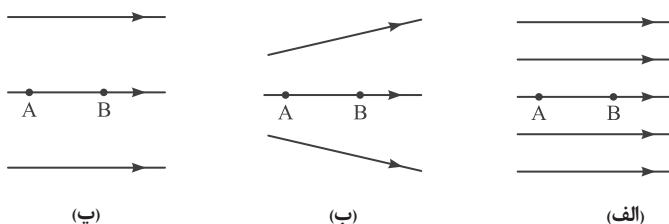
$$\Delta U_E = -W_E \xrightarrow{W_E < 0} \Delta U_E > 0$$

انرژی پتانسیل افزایش می‌یابد.

ت) پتانسیل نقطه‌های A و B را با هم مقایسه کنید.

$$\Delta V_{AB} = \frac{\Delta U_E}{q} \xrightarrow[q > 0]{\Delta U_E > 0} \Delta V_{AB} > 0 \Rightarrow V_B - V_A > 0 \Rightarrow V_B > V_A$$

۱۸) 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.



(پ)

(ب)

(الف)

شکل الف؛ هرچه خطوط میدان متراکم‌تر باشد، میدان قوی‌تر است و به پروتون نیروی بیشتری وارد شده و شتاب حرکت و تغییرات سرعت آن بیشتر است.

۱۹) دو صفحه رسانا با فاصله ۲/۰۰ cm را موازی یکدیگر قرار می‌دهیم و آنها را به اختلاف پتانسیل ۱۰۰ V وصل می‌کنیم. در نتیجه، یکی از صفحه‌ها به طور منفی و دیگری به طور مثبت باردار می‌شوند و میان دو صفحه میدان الکتریکی یکنواختی به وجود 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.

$$E = \frac{|\Delta V|}{d} = \frac{100}{2 \times 10^{-2}} = 5 \times 10^3 \text{ N/C}$$

در حرکت از صفحه با بار مثبت به سمت صفحه با بار منفی، حرکت با خطوط میدان هم جهت است؛ بنابراین پتانسیل الکتریکی کاهش می‌یابد. در نتیجه پتانسیل صفحه با بار مثبت بیشتر از پتانسیل صفحه با بار منفی است.



۲۵) بار الکتریکی $q = -4.0 \text{ nC}$ 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؟

$$q = -4.0 \text{ nC} = -4.0 \times 10^{-9} \text{ C}, \quad V_1 = -40 \text{ V}, \quad V_2 = -10 \text{ V}, \quad \Delta U = ?$$

$$\Delta U_E = q\Delta V = (-4.0 \times 10^{-9})(-10 - (-40)) = -1/2 \times 10^{-6}$$

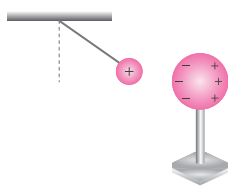
علامت منفی نشان می‌دهد که انرژی پتانسیل الکتریکی در این جابه‌جایی کاهش یافته است. (انرژی پتانسیل الکتریکی بار منفی با حرکت از پتانسیل کم به پتانسیل بیشتر، کاهش می‌یابد.)

ب) با توجه به قانون پایستگی انرژی، در مورد چگونگی تبدیل انرژی بار q در این جابه‌جایی توضیح دهید.

مطابق با قانون پایستگی انرژی، مجموع انرژی پتانسیل و جنبشی پایسته (ثابت) است. با کاهش انرژی پتانسیل الکتریکی، انرژی جنبشی ذره افزایش می‌یابد.

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

وقتی یک رسانای خنثی در میدان الکتریکی خارجی قرار می‌گیرد، بارهای الکتریکی روی سطح رسانا به گونه‌ای القا می‌شوند که میدان الکتریکی خالص درون رسانا صفر شود.



بنابراین با نزدیک کردن کره به آونگ باردار، روی کره بارهای مثبت و منفی مشابه شکل القا می‌شود، به طوری که سطح نزدیک به آن دارای بار منفی و سطح دور از آن دارای بار مثبت می‌شود. اما توجه کنید بارهای منفی به آونگ نزدیک‌ترند، پس نیروی جاذبه وارد به آونگ بیشتر از نیروی دافعه وارد بر آن می‌شود و کره، آونگ را جذب می‌کند.

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

این پدیده بر اثر القا صورت می‌گیرد. براده‌های ریز آلومینیمی بدون بار مثل یک رسانای خنثی هستند که در میدان الکتریکی حاصل از صفحه پلاستیکی باردار قرار گرفته‌اند.

بسته به اینکه بار صفحه پلاستیکی، مثبت یا منفی باشد، در سطح مقابل آن در براده‌ها، بار منفی یا مثبت القا می‌شود و این بارهای القایی به صورتی در سطح براده‌های آلومینیمی قرار می‌گیرند که میدان الکتریکی درون براده‌ها صفر شود؛ بنابراین قسمتی از براده‌ها که نزدیک به صفحه پلاستیکی است دارای باری غیرهمنام با صفحه می‌شود. با توجه به این توضیح بار و فاصله کمتر بارهای غیرهمنام براده‌ها با صفحه نسبت به بارهای همنام، نیروی جاذبه قوی‌تری از نیروی دافعه بوده و موجب جذب براده‌ها به صفحه پلاستیکی می‌شوند.



(۲۳) وقتی ماهواره‌ای به دور زمین می‌چرخد بر اثر عبور از فضای اطراف زمین باردار می‌شود. این بارها ممکن است موجب آسیب رساندن به قطعات الکترونیکی ماهواره شود. فرض کنید ماهواره‌ای در اثر عبور از یکی از لایه‌های جو دارای بار الکتریکی $Q = 2/0 \times 10^{-9} \text{ C}$ شود. این ماهواره، مکعبی به ضلع 40 cm است. چگالی سطحی بار الکتریکی روی سطح این ماهواره را محاسبه کنید. (از تجمع بار بر روی لبه‌ها چشم‌پوشی شود).

ابتدا مساحت یک وجه از مکعب را محاسبه و سپس در عدد ۶ ضرب می‌کنیم تا مساحت سطح مکعب به دست آید.

$$A_0 = (0/4)^2 = 0/16 \text{ m}^2 \xrightarrow{\text{مساحت سطح مکعب}} A = 6 \times 0/16 = 0/96 \text{ m}^2$$

$$\sigma = \frac{Q}{A} = \frac{2 \times 10^{-9}}{0/96} = 2/083 \times 10^{-9} \text{ C/m}^2$$

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

الف) بار آن دو برابر شود.

ظرفیت یک خازن به مشخصات ساختمانی خازن بستگی دارد و با دو برابر کردن بار خازن، ظرفیت آن تغییر نمی‌کند.

ب) اختلاف پتانسیل میان صفحه‌های آن سه برابر شود.

با سه برابر کردن اختلاف پتانسیل میان صفحات، تغییری در ظرفیت خازن به وجود نمی‌آید. مطابق با رابطه $C = \frac{Q}{V}$ ، اگر Q تغییر کند، V نیز به گونه‌ای تغییر می‌کند که C ثابت بماند و برعکس.

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

$$V_1 = 28 \text{ V}, V_2 = 40 \text{ V}, \Delta Q = Q_2 - Q_1 = 15 \mu\text{C}, C = ?$$

می‌دانیم ظرفیت یک خازن با تغییر Q و V تغییر نمی‌کند و ثابت می‌ماند؛ بنابراین می‌توان نوشت:

$$C_1 = C_2 \Rightarrow \frac{Q_1}{V_1} = \frac{Q_2}{V_2} \Rightarrow \frac{Q_1}{28} = \frac{Q_1 + 15}{40} \Rightarrow 40Q_1 + 105 = 10Q_1 \Rightarrow 3Q_1 = 105 \Rightarrow Q_1 = 35 \mu\text{C}$$

حال با قرار دادن Q_1 در یکی از روابط مربوط به C می‌توان ظرفیت خازن را محاسبه کرد.

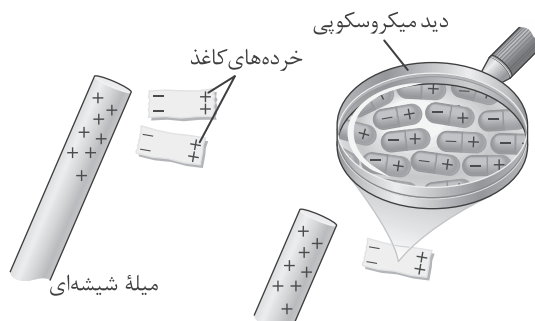
$$C = \frac{Q_1}{V_1} = \frac{35 \times 10^{-6}}{28} = 1/25 \times 10^{-6} \text{ F} = 1/25 \mu\text{F}$$

(۲۶) بادکنک باردار شکل زیر را به آب نزدیک کرده‌ایم. توضیح دهید چرا آب به جای اینکه به طور قائم فرو ریزد، خمیده می‌شود؟

وقتی آب در میدان الکتریکی خارجی قرار می‌گیرد، مولکول‌های دوقطبی آن با میدان هم‌سو می‌شوند. برای مثال اگر بادکنک بار منفی پیدا کرده باشد، سر مثبت مولکول‌های دوقطبی در برابر آن قرار می‌گیرد. بادکنک منفی، سر مثبت هر مولکول را جذب و سر منفی همان مولکول را دفع می‌کند. با توجه به فاصله کمتر سرهای مثبت هر مولکول تا بادکنک نسبت به سرهای منفی، نیروی جاذبه قوی‌تر از نیروی دافعه خواهد بود و این باعث جذب باریکه آب به طرف بادکنک می‌شود.



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



ذرات خرده‌های کاغذ تحت اثر میدان الکتریکی میله شیشه‌ای دوقطبی شده و بارهای مثبت و منفی آنها از هم جدا می‌شوند. اکنون قطب‌های ناهمنام میله شیشه‌ای و کاغذ یکدیگر را جذب می‌کنند.

در بررسی دقیق‌تر، بین میله شیشه‌ای و خرده‌های کاغذ دو نوع نیروی جاذبه و دافعه ایجاد می‌شود. با توجه به اینکه فاصله بارهای مثبت خرده‌های کاغذ تا

میله شیشه‌ای بیشتر از فاصله بارهای منفی آن است، می‌توان نتیجه گرفت نیروی جاذبه بیشتر از نیروی دافعه است و برآیند نیروها به سمت میله شیشه‌ای است.

۲۸) 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؟

$$d = 1\text{ mm} = 1 \times 10^{-3}\text{ m}, \quad C = 1\text{ F}, \quad \kappa = 1, \quad A = ?$$

$$C = \kappa \epsilon_0 \frac{A}{d} \Rightarrow 1 = \frac{1 \times 8.85 \times 10^{-12} \times A}{1 \times 10^{-3}} \Rightarrow A = 113 \times 10^6\text{ m}^2$$

نتیجه: ظرفیت 1 F ، ظرفیت بسیار زیادی برای یک خازن بدون دی‌الکتریک است.

۲۹) یک خازن تخت به یک باتری بسته شده است تا باردار شود. پس از مدتی، در حالی که 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.

با توجه به اینکه خازن به باتری متصل است اختلاف پتانسیل دو سر آن ثابت است؛ بنابراین مورد (ب) نادرست است. طبق رابطه $E = \frac{V}{d}$ با دو برابر شدن فاصله بین صفحات، میدان الکتریکی میان صفحات نصف می‌شود؛ بنابراین مورد (الف) درست است.

طبق رابطه $C = \kappa \epsilon_0 \frac{A}{d}$ با دو برابر شدن فاصله بین صفحات، ظرفیت نصف می‌شود؛ بنابراین مورد (پ) نادرست است.

طبق رابطه $C = \frac{Q}{V}$ با نصف شدن ظرفیت خازن و ثابت ماندن اختلاف پتانسیل بین صفحات خازن بار ذخیره شده روی صفحات نصف می‌شود؛ بنابراین مورد (ت) هم نادرست است.



(۳۰) مساحت هر یک از صفحه‌های خازن تختی، $1/00\text{m}^2$ و فاصله دو صفحه از هم، $0/500\text{mm}$ است. عایقی با ثابت دی‌الکتریک $4/9$ بین دو صفحه قرار داده شده است. ظرفیت خازن را تعیین کنید.

$$A = 1\text{m}^2, \quad d = 0/5\text{mm} = 5 \times 10^{-4}\text{m}, \quad \kappa = 4/9, \quad C = ?$$

$$C = \kappa \epsilon_0 \frac{A}{d} = 4/9 \times (8/85 \times 10^{-12}) \times \frac{1}{5 \times 10^{-4}} = 8/673 \times 10^{-8}\text{F}$$

(۳۱) 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.

با توجه به روابط انرژی ذخیره‌شده در خازن پرشده و ظرفیت خازن داریم:

$$U = \frac{Q^2}{2C} \xrightarrow{C = \kappa \epsilon_0 \frac{A}{d}} U = \frac{Q^2 d}{2 \kappa \epsilon_0 A}$$

به عبارتی انرژی ذخیره‌شده در خازن با بار خازن (Q) و فاصله صفحات خازن از هم (d) رابطه مستقیم و با مساحت صفحات خازن (A) رابطه عکس دارد. با توجه به دو برابر شدن فاصله بین صفحات خازن، انرژی خازن در حالت دوم، دو برابر حالت اول است؛ بنابراین جرقه حاصل از تخلیه الکتریکی در حالت دوم بزرگ‌تر از حالت اول است.

(۳۲) ظرفیت خازنی ۱۲ میکروفاراد و بار الکتریکی آن q است. اگر $+3/0\text{mC}$ بار الکتریکی را از صفحه منفی جدا کرده و به صفحه مثبت منتقل کنیم، انرژی ذخیره‌شده در خازن به اندازه $8/0\text{J}$ زیاد می‌شود. q را محاسبه کنید.

$$C = 12\mu\text{F} = 12 \times 10^{-6}\text{F}, \quad \Delta q = +3\text{mC} = 3 \times 10^{-3}\text{C}, \quad \Delta U = +8\text{J}, \quad q = ?$$

هنگامی که بار مثبت از صفحه منفی جدا شده و به صفحه مثبت منتقل می‌شود بار خالص صفحات خازن افزایش

می‌یابد. مطابق رابطه $U = \frac{Q^2}{2C}$ ، با افزایش Q ، U افزایش می‌یابد ($\Delta U = +8\text{J}$).

$$\Delta U = U_2 - U_1 \xrightarrow{U = \frac{Q^2}{2C}} \Delta U = \frac{(q + \Delta q)^2}{2C} - \frac{q^2}{2C} \Rightarrow 8 = \frac{1}{2C} [(q + \Delta q)^2 - q^2]$$

$$\Rightarrow 8 = \frac{1}{2 \times 12 \times 10^{-6}} (q^2 + (\Delta q)^2 + 2q\Delta q - q^2) \Rightarrow 192 \times 10^{-6} = (\Delta q)^2 + 2q(\Delta q)$$

$$\Rightarrow 192 \times 10^{-6} = (3 \times 10^{-3})^2 + 6 \times 10^{-3} q \Rightarrow 192 \times 10^{-6} = 9 \times 10^{-6} + 6 \times 10^{-3} q \Rightarrow q = 0/0305\text{C} = 30/5\text{mC}$$