

بار الکتریکی و میدان الکتریکی



در این فصل:

بار الکتریکی

فواص الکتریکی

باردار سافتن ماده

قانون کولن

میدان الکتریکی

انرژی پتانسیل الکتریکی

فازن

آزمون تشریحی

آزمون چند گزینه‌ای



۲-۱ بار الکتریکی

در این بخش

- به طور دقیق دو نوع بار الکتریکی وجود دارد. بنجامین فرانکلین در قرن هجدهم پیشنهاد کرد که این دو نوع بار را مثبت و منفی بنامیم، و این نام گذاری هنوز به کار می‌رود.
- دو بار مثبت یا دو بار منفی یکدیگر را دفع می‌کنند. یک بار مثبت و یک بار منفی یکدیگر را می‌ربایند.
- ساختار اتم را می‌توان برحسب سه ذره توصیف کرد: الکترون با بار منفی، پروتون با بار مثبت و نوترون بدون بار. پروتون‌ها و نوترون‌ها در هسته اتم قرار دارند و الکترون‌ها گرداگرد هسته می‌چرخند.
- اگر یک یا چند الکترون از اتم جدا شود، ساختار به جا مانده با بار مثبت را یون مثبت می‌نامند.
- یون منفی، اتمی است که یک یا چند الکترون اضافی به دست آورده است.
- هنگامی که در یک جسم، شمار کل پروتون‌ها با شمار کل الکترون‌ها برابر باشد، بار کل صفر است و جسم از نظر الکتریکی خنثا است.
- در هر فرایند باردهی، باری خلق یا نابود نمی‌شود؛ بلکه صرفاً از جسمی به جسم دیگر انتقال می‌یابد.
- پایستگی بار الکتریکی یک قانون پایستگی جهانی شناخته می‌شود. هیچ گواه تجربی در خصوص نقض این اصل تاکنون مشاهده نشده است.



شکل ۱-۲

شکل ۱-۲ وضعیت دو بادکنک باردار را نسبت به یکدیگر نشان می‌دهد. در خصوص بار این بادکنک‌ها چه می‌توان گفت؟
پاسخ: چون دو بادکنک به طرف یکدیگر جذب شده‌اند، بار آنها ناهمنام است.

شکل ۲-۲ یک تکه پارچه پشمی و یک میله شیشه‌ای را پس از مالش به یکدیگر نشان می‌دهد. اگر بار الکتریکی میله پلاستیکی پس از مالش ۱۹/۲ میکروکولن شود، چه تعداد الکترون از پارچه پشمی جدا شده است؟

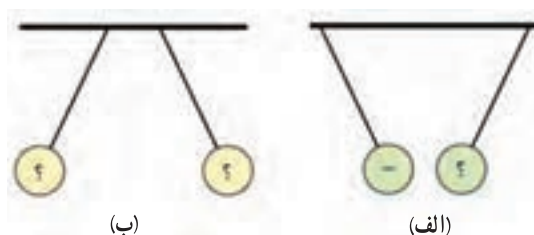
حل: با توجه به قانون پایستگی بار، الکترون‌هایی که از پارچه پشمی در حین مالش با میله پلاستیکی جدا شده‌اند، از بین نرفته‌اند بلکه به میله پلاستیکی منتقل شده‌اند. به این ترتیب با توجه به رابطه $q = ne$ ، تعداد الکترون‌هایی که از پارچه پشمی جدا شده‌اند، برابر است با:



شکل ۲-۲

$$19/2 \times 10^{-6} C = n(1/6 \times 10^{-19} C) \Rightarrow n = 12 \times 10^{13}$$

۱. نوع بار هر یک از کره‌ها را در شکل ۳-۲ تعیین کنید.



شکل ۳-۲

۲. شکل ۴-۲ دو جسم را در حال مالش به یکدیگر نشان می‌دهد. نوع و اندازه بار دو جسم را پس از مالش به یکدیگر با هم مقایسه کنید.



شکل ۴-۲

۳. در پرسش زیر بیش از یک گزینه درست است. گزینه‌های درست را پیدا کنید.
بر اثر مالش دو جسم با یکدیگر می‌توان گفت:

الف) بار منفی خالص یک جسم با بار مثبت خالص جسم دیگر برابر است.

ب) اگر دو جسم را به هم نزدیک کنیم یکدیگر را دفع می‌کنند.

پ) جمع جبری بار دو جسم پس از مالش الزاماً صفر نیست.

ت) بار از جسمی به جسم دیگر منتقل می‌شود.

ث) مقدار باری که یک جسم از دست می‌دهد برابر مقدار باری است که جسم دیگر می‌گیرد.

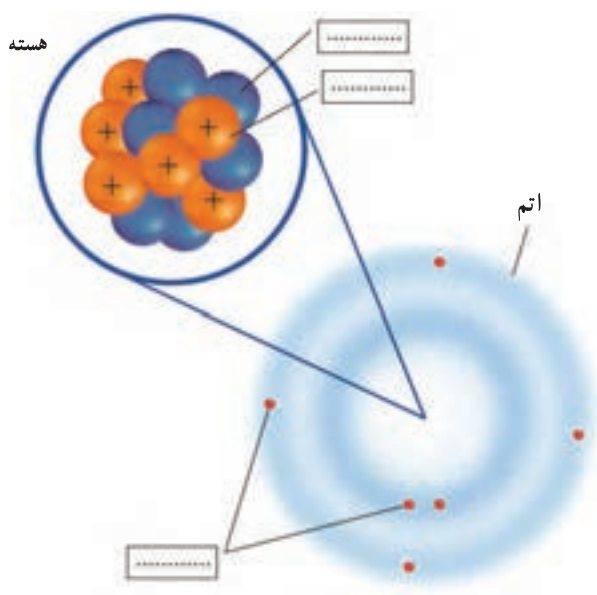
۴. شکل ۲-۵ یک میله شیشه‌ای و پارچه ابریشم را قبل و پس از مالش به یکدیگر نشان می‌دهد. اگر پس از مالش

3×10^{13} الکترون از میله شیشه‌ای جدا شده باشد، بار پارچه ابریشمی پس از مالش چقدر است؟



شکل ۲-۵

۵. شکل ۲-۶ ساختمان یک اتم را نشان می‌دهد. جاهای خالی را در این شکل با واژه‌های مناسب پر کنید.



شکل ۲-۶

۶. جرم تقریبی اجزای سازنده اتم به شرح زیر است:

$$\text{جرم پروتون} = 1/6 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

$$\text{جرم نوترون} = 1/6 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

$$\text{جرم الکترون} = 1/1836 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

با توجه به شکل ۲-۶ و همچنین داده‌های بالا، عبارتهای زیر را کامل کنید.

بیش از ۹۹ درصد جرم اتم در قرار دارد.

بیشتر حجم اتم به‌طور پراکنده‌ای توسط اشغال شده است.

۲-۲ خواص الکتریکی مواد

در این بخش

- تعداد بسیار زیادی الکترون آزاد در هر رسانا وجود دارد که به راحتی درون رسانا حرکت می‌کنند.
- فلزها (مانند مس)، بدن انسان و آب آشامیدنی مثال‌هایی از رسانا هستند.
- نارساناها، که عایق نیز خوانده می‌شوند، موادی هستند که تعداد الکترون‌های آزاد آنها بسیار اندک است و نمی‌توانند در آنها به آزادی حرکت کنند.
- لاستیک، پلاستیک، شیشه و آبی که از لحاظ شیمیایی خالص است مثال‌هایی از عایق هستند.
- ماده‌ای را که بتوان واداشت تا گاهی به صورت عایق رفتار کند و گاهی به صورت رسانا، نیم‌رسانا می‌نامند.
- موادی که در دماهای کم مقاومت الکتریکی آنها از بین می‌رود و مقاومت آنها در برابر عبور جریان صفر می‌شود، ابررسانا نامیده می‌شوند.

مثال حل شده

الکتروسکوپ یا برق‌نما ابزار ساده‌ای متشکل از یک گوی فلزی است که توسط میلهٔ رسانایی به دو برقهٔ فلزی نازک متصل شده است (شکل ۲-۷). این دو برقه برای محافظت از آشفته‌گی‌های هوا در شیشه قرار گرفته‌اند.

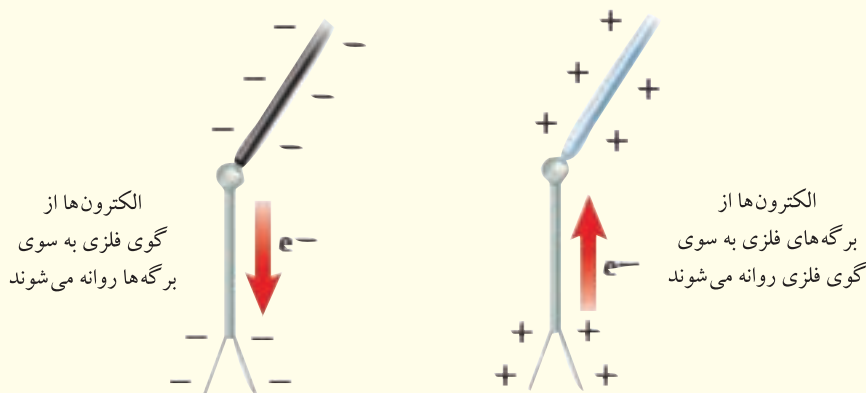


شکل ۲-۷

الف) وقتی جسم بارداری را به گوی فلزی نزدیک کنیم یا تماس دهیم، برگه‌های فلزی که معمولاً آویزان‌اند، از هم دور می‌شوند. چرا؟

ب) الکتروسکوپ‌ها نه تنها آشکارساز بار الکتریکی‌اند، بلکه برای اندازه‌گیری نوع بار نیز به کار می‌روند. توضیح دهید چگونه می‌توان این کار را انجام داد.

پاسخ: الف) شکل ۲-۸ دلیل این موضوع را برای دو جسم باردار مثبت و منفی نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود وقتی جسم باردار مثبتی به گوی فلزی نزدیک می‌شود، الکترون‌ها از برگه‌های فلزی به طرف گوی روانه می‌شوند. در نتیجه برگه‌ها دارای بار مشابه مثبت شده و یکدیگر را می‌رانند.



شکل ۲-۸

ب) اگر جسمی را به گوی فلزی یک الکتروسکوپ نزدیک کنیم و وضعیت برگه‌های فلزی نسبت به یکدیگر تغییر کند، جسم دارای بار الکتریکی است. همچنین اگر الکتروسکوپ بارداری (با نوع بار مشخص) در اختیار داشته باشیم به سادگی می‌توان نوع بار یک جسم را به کمک آن تشخیص داد. برای مثال اگر الکتروسکوپ دارای بار مثبت باشد، در این صورت اگر جسم بارداری را به گوی فلزی نزدیک کنیم و برگه‌ها از یکدیگر دور شوند، نشان می‌دهد که نوع بار جسم مشابه نوع بار الکتروسکوپ، یعنی مثبت است. چنان‌چه برگه‌ها به یکدیگر نزدیک‌تر شوند، نوع بار جسم منفی است.

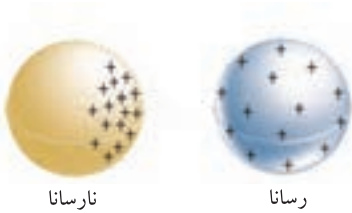


شکل ۲-۹

۷. شکل ۲-۹ بخشی از یک الکتروسکوپ دارای بار منفی را نشان می‌دهد.

الف) اگر یک جسم باردار منفی را به گوی فلزی نزدیک کنیم، چه اتفاقی برای برگه‌های فلزی می‌افتد؟

ب) اگر جسم باردار، دارای بار مثبت باشد، چطور؟



شکل ۲-۱۰

۸. شکل ۲-۱۰ نحوه توزیع بار روی دو جسم رسانا و نارسانا را نشان می‌دهد. توضیح دهید چرا بارهای یک رسانا روی تمام سطح آن توزیع می‌شوند در حالی که در یک نارسانا تنها در بخش باردار شده باقی می‌مانند؟

۲-۳ باردار ساختن ماده

در این بخش

- علاوه بر مالش دو جسم به یکدیگر، به روش تماس نیز می‌توان اجسام را باردار کرد.
- روش دیگر برای باردار ساختن یک جسم، روش القایی است.
- در باردار کردن القایی، نوع بار جسم باردار شده مخالف بار جسم باردار کننده است.
- هرگاه مراکز بارهای مثبت و منفی اتم یا مولکول روی هم منطبق نباشند، اتم یا مولکول قطبیده است.
- اجسام رسانا را به سادگی می‌توان به روش القایی باردار کرد.

مثال حل شده

دو کره فلزی مشابه A و B که روی پایه‌های عایقی قرار دارند به ترتیب دارای بار الکتریکی $+4 \text{ mC}$ و -7 mC هستند. این دو کره را توسط پایه‌های عایق آنها گرفته و با یکدیگر تماس می‌دهیم. پس از تماس بار هر کره چقدر است؟

حل: پس از تماس دو کره با هم، در بار الکتریکی یکدیگر شریک می‌شوند. چون دو کره مشابه‌اند، پس از تماس بار هر دو کره یکسان و برابر است با:

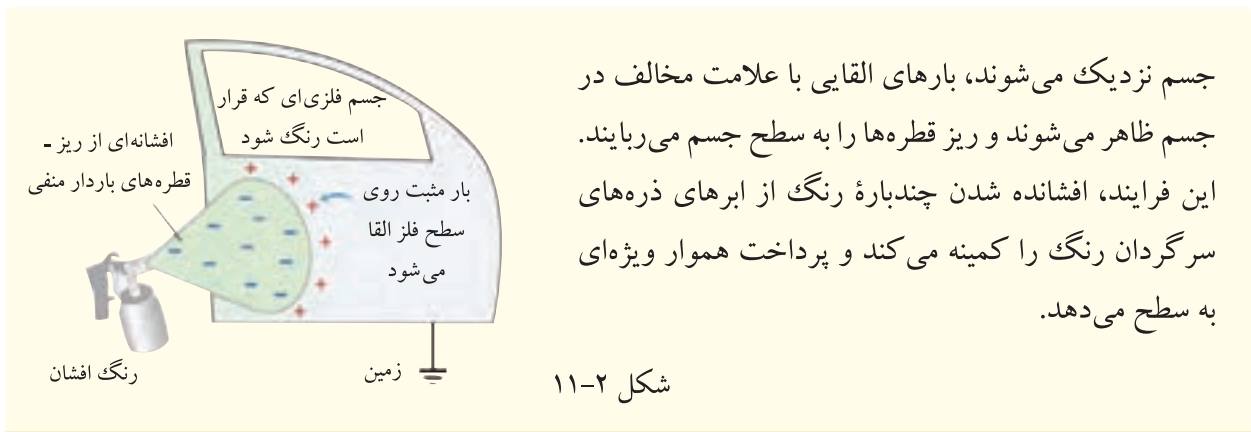
$$q = \frac{(+4 \text{ mC}) + (-7 \text{ mC})}{2} = -1.5 \text{ mC}$$

به عبارت دیگر بار هر کره پس از تماس برابر -1.5 mC خواهد بود.

مثال حل شده

جاذبه بین یک جسم باردار و یک رسانای بدون بار متصل به زمین کاربردهای عملی فراوانی دارد، از آن جمله فرایند نقاشی (رنگ کاری) الکتروستاتیکی که در صنعت به کار می‌رود (شکل ۲-۱۱). به نظر شما این فرایند چگونه کار می‌کند؟

پاسخ: همان‌طور که در شکل نیز دیده می‌شود، جسم فلزی‌ای که قرار است رنگ شود به زمین متصل می‌شود و به ریز قطره‌های رنگ هنگام خروج از ناوک رنگ افشان بار الکتریکی داده می‌شود. در حالی که ریز قطره‌ها به



جسم نزدیک می شوند، بارهای القایی با علامت مخالف در جسم ظاهر می شوند و ریز قطره ها را به سطح جسم می ربایند. این فرایند، افشانه شدن چندباره رنگ از ابرهای ذره های سرگردان رنگ را کمینه می کند و پرداخت هموار ویژه ای به سطح می دهد.

شکل ۲-۱۱

۹. کره فلزی بدون باری توسط یک تکه نخ نایلونی آویزان شده است. هنگامی که یک میله شیشه ای با بار مثبت را به کره فلزی نزدیک می کنیم، کره به طرف میله کشیده می شود. ولی اگر کره با میله تماس یابد به طور ناگهانی از میله دور می شود. توضیح دهید که چرا کره نخست جذب و سپس دفع می شود؟

۱۰. جسمی با بار منفی در اختیار دارید. چگونه می توانید از این جسم برای دادن بار منفی خالص به یک گوی فلزی که روی پایه عایقی قرار دارد استفاده کنید. برای دادن بار مثبت خالص به این گوی چطور؟



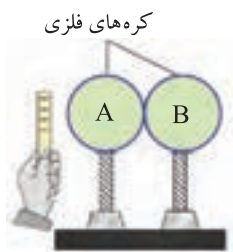
شکل ۲-۱۲

۱۱. وقتی یک میله باردار را به یک تکه کوچک کاغذ بدون بار نزدیک کنیم، به طرف آن جذب می شود (شکل ۲-۱۲). توضیح دهید چرا؟

۱۲. دو کره موازی مشابه A و B که هر یک روی پایه عایقی قرار دارند، با یکدیگر در تماس اند. میله ای پلاستیکی با بار منفی، مطابق شکل ۲-۱۳ نزدیک کره A آورده شده است.

الف) میله باردار چه تأثیری بر الکترون های آزاد کره های A و B دارد؟

ب) اگر هنگامی که میله باردار نزدیک کره A است، کره ها را توسط پایه های عایق آنها از هم جدا کنیم، کره ها چه تفاوتی با هم خواهند داشت؟



شکل ۲-۱۳

پ) چه ترتیبی باید اتخاذ کرد تا کره‌های A و B به طور برابر دارای بار مثبت شوند؟

۲-۴ قانون کولن

در این بخش

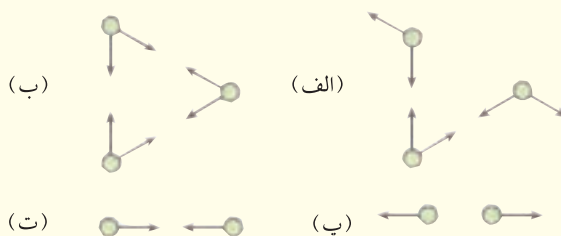
- قانون حاکم بر ربایش و رانش بارهای الکتریکی نقطه‌ای را اولین بار کولن فیزیک‌دان فرانسوی در سال ۱۷۸۴ میلادی پس از آزمایش‌های زیاد به طور کمی به دست آورد.
- بزرگی نیروی وارد بر هر یک از ذره‌های باردار بنا به قانون کولن از رابطه زیر به دست می‌آید:

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

- قانون کولن تنها برای اجسام باردار که اندازه آنها خیلی کوچک‌تر از فاصله میان آنها باشد صادق است. به عبارت دیگر این قانون فقط در مورد بارهای نقطه‌ای و یا حالتی که بیان شد برقرار است.
- جهت نیروهایی که دو بار بر یکدیگر وارد می‌کنند همواره در راستای خطی است که آنها را به هم متصل می‌کند. هنگامی که بارهای q_1 و q_2 هم علامت باشند، یعنی هر دو مثبت یا هر دو منفی باشند نیروها دافعه‌اند؛ هنگامی که بارها علامت مخالف دارند، نیروها جاذبه‌اند.

مثال حل شده

در شکل ۲-۱۴ جهت نیروی بین بارهای الکتریکی نقطه‌ای نشان داده شده است. با توجه به جهت نیروها، آیا می‌توانید نوع هر یک از بارهای نقطه‌ای را تعیین کنید؟ اگر نه توضیح دهید.



شکل ۲-۱۴

پاسخ: در شکل (الف)، دو باری که یکدیگر را می‌رانند دارای بار موافق‌اند (هر دو مثبت یا هر دو منفی). در شکل (ب)، امکان ندارد که بارهای الکتریکی به این صورت به یکدیگر نیرو وارد کنند. در شکل (پ)، بارها دارای علامت موافق‌اند. در شکل (ت) بارها دارای علامت مخالف‌اند.

مثال حل شده

دو بار نقطه‌ای $q_1 = 3\mu\text{C}$ و $q_2 = -4\mu\text{C}$ در فاصله 6cm از یکدیگر واقع‌اند. بزرگی نیرویی که دو ذره به یکدیگر وارد می‌کنند و نوع آن را تعیین کنید.

حل: با توجه به قانون کولن بزرگی نیروی بین دو بار نقطه‌ای برابر است با:

$$F = k \frac{|q_1 q_2|}{r^2} = (9 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2) \frac{|(3 \times 10^{-6} \text{ C})(-4 \times 10^{-6} \text{ C})|}{(6 \times 10^{-2})^2} = 3 \times 10^{-2} \text{ N}$$

چون بارها دارای علامت مخالف‌اند، نیروی بین آنها جاذبه است.

مثال حل شده

بزرگی نیروی الکتریکی بین دو یون مشابه مثبت که به فاصله $5 \times 10^{-10} \text{ m}$ از یکدیگر واقع‌اند، برابر $3/7 \times 10^{-9} \text{ N}$ است.

(الف) بار هر یون چقدر است؟

(ب) هر اتم چند الکترون از دست داده است؟

حل: الف) با توجه به فرض مسئله دو یون مشابه‌اند، بنابراین $q_1 = q_2 = q$ ، در این صورت:

$$F = k \frac{q^2}{r^2} \Rightarrow 3/7 \times 10^{-9} \text{ N} = (9 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2) \frac{q^2}{(5 \times 10^{-10} \text{ m})^2}$$

در نتیجه

$$q^2 = 1/02 \times 10^{-37} \text{ C}^2 \Rightarrow q = 3/2 \times 10^{-19} \text{ C}$$

(ب) با توجه به رابطه $q = ne$ داریم:

$$n = \frac{3/2 \times 10^{-19} \text{ C}}{1/6 \times 10^{-19} \text{ C}} = 2$$

یعنی هر اتم دو الکترون از دست داده است و به یون مثبت تبدیل شده‌اند.

(الف) \ominus \ominus

(ب) \oplus \ominus

(پ) \oplus \oplus

شکل ۱۵-۲

۱۳. برای هر جفت از بارهای الکتریکی نقطه‌ای شکل ۱۵-۲، بردار نیروی وارد به هر بار را که از طرف بار دیگر به آن وارد می‌شود، رسم کنید. طول هر بردار باید متناسب با بزرگی نیرو باشد. نمادهای + و - اندازه بار الکتریکی یکسانی را نشان می‌دهند.

۱۴. بزرگی نیرویی که دو بار نقطه‌ای $+q$ در فاصله r به یکدیگر وارد می‌کنند برابر $F = ۶۴۰ \text{ N}$ است. اگر بار $+۲ \mu\text{C}$ را از یکی کم کرده به دیگری اضافه کنیم، مقدار نیروی جدید در همان فاصله برابر $F' = ۶۰۰ \text{ N}$ است. بار $+q$ چند میکروکولن است؟

۱۵. فاصله دو پروتون در هسته اتم آهن تقریباً $۴ \times ۱۰^{-۱۵} \text{ m}$ است. بزرگی نیروی الکتریکی میان این دو ذره چقدر است؟

۱۶. بار نقطه‌ای $+q$ در مبدأ مختصات، $x=۰$ ، و بار نقطه‌ای $-q$ در نقطه $x=a$ واقع شده است. بزرگی نیرویی که این دو بار به هم وارد می‌کنند F است. اگر بار نقطه‌ای $+q$ دیگری در نقطه $x=-a$ قرار داده شود، برآیند نیروهای وارد شده به باری که در مبدأ قرار دارد، چگونه است؟

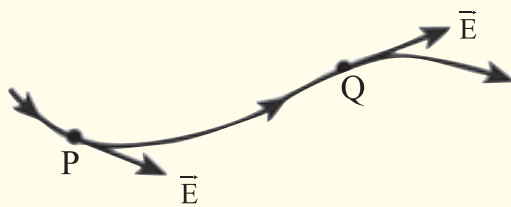
در این بخش ۲-۵ میدان الکتریکی

- هر جسم باردار، یک میدان الکتریکی در تمام نقاط اطراف خود ایجاد می‌کند. این میدان می‌تواند بر هر جسم باردار دیگری که در این فضا قرار می‌گیرد نیروی الکتریکی وارد کند.
- نیروی الکتریکی بر یک جسم باردار توسط میدان الکتریکی‌ای که به وسیله جسم‌های باردار دیگر ایجاد شده است وارد می‌شود.

- میدان الکتریکی در یک نقطه معین برابر است با نیروی الکتریکی به ازای واحد بار، یعنی: $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$
- یکای میدان الکتریکی در SI، نیوتون بر کولن (N/C) است.

- بزرگی میدان الکتریکی حاصل از یک بار نقطه‌ای q در فاصله r از آن، از رابطه $E = k \frac{|q|}{r^2}$ به دست می‌آید.
- بنا به تعریف جهت میدان الکتریکی یک بار نقطه‌ای همواره به دور از یک بار مثبت و به سوی یک بار منفی است.
- بزرگی و جهت میدان الکتریکی در بعضی وضعیت‌ها در همه جای درون یک ناحیه معین دارای یک مقدارند. در این صورت می‌گوییم میدان الکتریکی در این ناحیه یکنواخت است.
- یک روش مفید توصیف میدان الکتریکی استفاده از مفهوم خط‌های میدان است. در جایی که خط‌های میدان نزدیک یکدیگرند، بزرگی میدان بیشتر و در جایی که دور از هم هستند بزرگی میدان کمتر است.

مثال حل شده

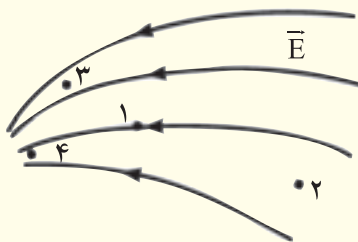


شکل ۱۶-۲

شکل ۱۶-۲ کدام یک از ویژگی‌های خط‌های میدان الکتریکی را نشان می‌دهد؟

پاسخ: مماس بر خط میدان در هر نقطه، در جهت بردار میدان الکتریکی در آن نقطه است.

مثال حل شده



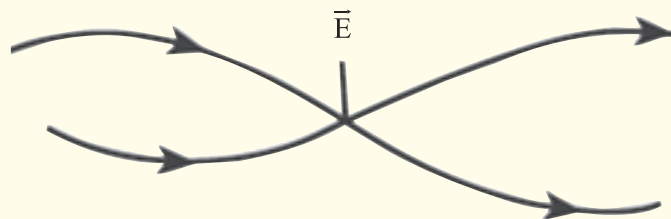
شکل ۱۷-۲

بزرگی میدان الکتریکی را در هر یک از نقطه‌های ۱ تا ۴ با هم مقایسه کنید.

پاسخ: میدان الکتریکی در نقطه ۴ بیشترین و در نقطه ۲ کم‌ترین بزرگی را دارد. همچنین بزرگی میدان در نقطه ۳ از نقطه ۱ بیشتر است.

مثال حل شده

شکل ۱۸-۲ به کدام یک از ویژگی‌های خط‌های میدان الکتریکی اشاره دارد؟ این موضوع چه ارتباطی با « $\vec{E} = ?$ » که روی شکل آمده است، دارد؟ توضیح دهید.



شکل ۱۸-۲

پاسخ: این شکل به این موضوع اشاره دارد که خط‌های میدان الکتریکی یکدیگر را قطع نمی‌کنند، زیرا در این صورت بار نقطه‌ای q که در محل تقاطع دو خط میدان قرار می‌گیرد، مشخص نیست که باید در جهت کدام یک از خط‌های میدان به آن نیرو وارد شود و حرکت کند و نوشتن « $\vec{E} = ?$ » روی شکل نیز به همین موضوع اشاره دارد.

مثال حل شده

در فاصله 1 mm از یک بار نقطه‌ای، بزرگی میدان الکتریکی 45000 N/C است. مقدار بار الکتریکی چقدر است؟

حل: با توجه به رابطه $E = k \frac{|q|}{r^2}$ داریم:

$$45000\text{ N/C} = (9 \times 10^9\text{ N.m}^2/\text{C}^2) \frac{|q|}{(0.001\text{ m})^2}$$

در نتیجه بزرگی بار برابر است با: $|q| = 5 \times 10^{-12}\text{ C}$

مثال حل شده

بزرگی میدان الکتریکی ناشی از بار q در محلی که بار الکتریکی نقطه‌ای $8\text{ }\mu\text{C}$ قرار دارد، برابر $5 \times 10^4\text{ N/C}$ است. بزرگی نیرویی که از طرف این میدان بر بار $8\text{ }\mu\text{C}$ وارد می‌شود، چقدر است؟

حل: با توجه به رابطه $E = \frac{F}{q_0}$ داریم:

$$F = q_0 E = (8 \times 10^{-6}\text{ C})(5 \times 10^4\text{ N/C}) = 0.4\text{ N}$$

مثال حل شده

ذره‌ای دارای بار الکتریکی -3 nC است.

الف) بزرگی و جهت میدان الکتریکی ناشی از این ذره را در نقطه‌ای که 25 m بالای آن قرار دارد، بیابید.

ب) میدان الکتریکی این ذره در چه فاصله‌ای از آن دارای بزرگی 12 N/C است؟

حل: الف) بزرگی میدان الکتریکی برابر است با:

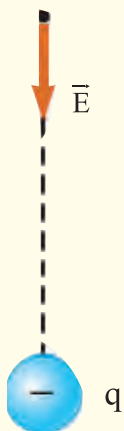
$$E = k \frac{|q|}{r^2} = (9 \times 10^9\text{ N.m}^2/\text{C}^2) \frac{|-3 \times 10^{-9}\text{ C}|}{(0.25\text{ m})^2} = 432\text{ N/C}$$

جهت میدان مطابق شکل ۱۹-۲ به طرف بار منفی است.

ب) دوباره با توجه به رابطه $E = k \frac{|q|}{r^2}$ داریم:

$$12\text{ N/C} = (9 \times 10^9\text{ N.m}^2/\text{C}^2) \frac{3 \times 10^{-9}\text{ C}}{r^2}$$

$$r^2 = \frac{4}{9}\text{ m}^2 \Rightarrow r = \frac{2}{3}\text{ m}$$

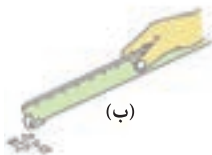


شکل ۱۹-۲



(الف)

۱۷. یک خط کش پلاستیکی را با پارچهٔ پشمی مالش دهید (شکل ۲-۲۰ الف) و آن را به خرده‌های کاغذ نزدیک کنید (شکل ۲-۲۰ ب).



(ب)

آنچه را که با انجام این فعالیت ساده مشاهده می‌کنید، با توجه به مفهوم میدان الکتریکی شرح دهید.

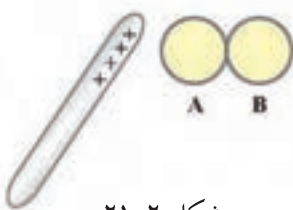
.....

.....

.....

شکل ۲-۲۰

۱۸. کره‌های فلزی A و B مشابه و در ابتدا بدون بار و با یکدیگر در تماس اند. با نزدیک کردن میلهٔ باردار مثبت (بدون تماس) به کرهٔ A مطابق (شکل ۲-۲۱)



شکل ۲-۲۱

(الف) توزیع بار الکتریکی روی هر کره را رسم کنید و نوع بار هر کره را نام ببرید.

(ب) کدام ویژگی میلهٔ باردار سبب این وضعیت شده است؟

(پ) اگر میلهٔ باردار را از سمت راست به کرهٔ B نزدیک کنیم، پرسش الف را دوباره پاسخ

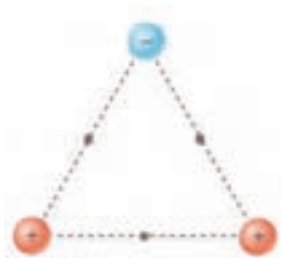
دهید.

.....

.....

.....

۱۹. بردار میدان الکتریکی برآیند ناشی از بارهای نقطه‌ای را در هر یک از نقطه‌های مشخص شده در شکل ۲-۲۲ رسم کنید. توجه کنید طول هر بردار باید نشان دهندهٔ بزرگی میدان برآیند باشد.



شکل ۲-۲۲

.....

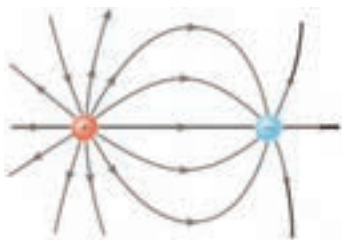
.....

.....

۲۰. شکل ۲-۲۳ خط‌های میدان الکتریکی را در ناحیه‌ای از فضا نشان می‌دهد. بردار میدان الکتریکی را در هر یک از نقطه‌های روی شکل رسم کنید.



شکل ۲-۲۳



شکل ۲-۲۴

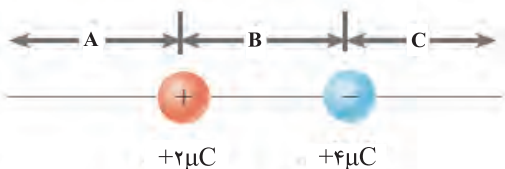
۲۱. در شکل ۲-۲۴ خط‌های میدان الکتریکی برای دو بار نقطه‌ای نامساوی نشان داده شده است. توضیح دهید آیا بار مثبت بزرگ‌تر است یا بار منفی؟

.....

.....

.....

۲۲. در شکل ۲-۲۵ سه ناحیه مشخص شده است. میدان الکتریکی برآیند ناشی از دو بار نقطه‌ای در کدام ناحیه‌ها ممکن است صفر باشد؟ به طور کیفی توضیح دهید.



شکل ۲-۲۵

.....

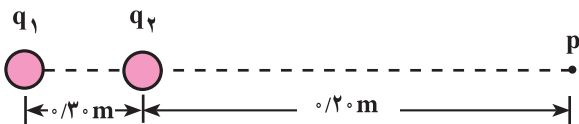
.....

.....

۲۳. میدان الکتریکی حاصل از بار نقطه‌ای q در فاصله 25 cm از آن 200 N/C است. اگر 25 cm دیگر از بار q دور شویم، بزرگی میدان الکتریکی چقدر خواهد شد؟

.....

۲۴. بزرگی و جهت میدان الکتریکی برآیند ناشی از بارهای نقطه‌ای $q_1 = +40\text{ nC}$ و $q_2 = +10\text{ nC}$ را در نقطه p تعیین کنید. (شکل ۲-۲۶)



شکل ۲-۲۶

۲-۶ انرژی پتانسیل الکتریکی

در این بخش

- انرژی‌ای که هر جسم باردار به واسطه مکانش نسبت به یک جسم باردار دیگر به دست می‌آورد، انرژی پتانسیل الکتریکی نامیده می‌شود.
- انرژی پتانسیل الکتریکی به ازای واحد بار را پتانسیل الکتریکی می‌نامند و از رابطه $V = U/q$ به دست می‌آید.
- اختلاف پتانسیل یا ولتاژ دو نقطه نسبت به یکدیگر از رابطه $\Delta V = \Delta U/q$ به دست می‌آید و یکای آن ژول بر کولن است که ولت نامیده می‌شود.
- اگر از جسم باردار مثبتی دور شویم پتانسیل الکتریکی کاهش می‌یابد و اگر به آن نزدیک شویم پتانسیل الکتریکی افزایش می‌یابد. این موضوع برای جسم باردار منفی برعکس است.
- به‌طور کلی اگر در جهت خط‌های میدان الکتریکی حرکت کنیم پتانسیل الکتریکی کاهش و اگر بر خلاف جهت خط‌های میدان حرکت کنیم، پتانسیل الکتریکی افزایش می‌یابد.

مثال حل شده

بار الکتریکی $q = +2\mu\text{C}$ از نقطه‌ای با پتانسیل الکتریکی $V_1 = 10\text{ V}$ به نقطه‌ای با پتانسیل الکتریکی $V_2 = -40\text{ V}$ جابه‌جا می‌شود. انرژی پتانسیل الکتریکی این بار چند ژول است و چگونه تغییر می‌کند؟
حل: با توجه به رابطه $\Delta V = \Delta U / q$ داریم:

$$(-40\text{ V}) - (10\text{ V}) = \frac{\Delta U}{2 \times 10^{-6}\text{ C}} \Rightarrow \Delta U = -10^{-4}\text{ J}$$

چون پتانسیل الکتریکی نقطه ۲ نسبت به نقطه ۱ کاهش یافته است، ذره باردار در جهت خط‌های میدان حرکت کرده است.

مثال حل شده

پایانه مثبت باتری ۲۴ ولتی یک کامیون را به زمین وصل کرده‌ایم. پتانسیل الکتریکی پایانه منفی آن در هر یک از دو حالت زیر چند ولت می‌شود؟
 الف) پتانسیل الکتریکی زمین صفر فرض شود.
 ب) پتانسیل الکتریکی زمین $+1000\text{ V}$ فرض شود.

$$\Delta V = V_+ - V_- \Rightarrow 24\text{ V} = 0 - V_- \Rightarrow V_- = -24\text{ V} \quad \text{(الف: حل)}$$

$$\Delta V = V_+ - V_- \Rightarrow 24\text{ V} = 1000 - V_- \Rightarrow V_- = -976\text{ V} \quad \text{(ب)}$$

مثال حل شده

بار الکتریکی $+q$ سه مسیر متفاوت را روی خط راست درون میدان الکتریکی یکنواخت طی می‌کند (شکل ۲-۲۷).

مسیر اول: از ۲ به ۳ به ۴

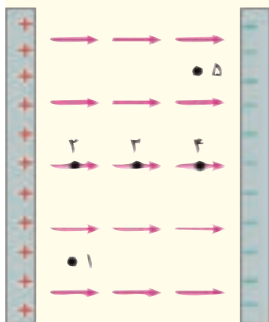
مسیر دوم: از ۱ به ۲ به ۳ به ۴ به ۵

مسیر سوم: از ۱ به ۳ به ۵

برای هر مسیر به‌طور جداگانه پتانسیل الکتریکی را در نقطه‌هایی که بار $+q$ از آنها می‌گذرد با یکدیگر مقایسه کنید.

پاسخ: در مسیر اول با حرکت بار $+q$ از نقطه ۲ به ۳ و سپس به ۵ پتانسیل الکتریکی همواره رو به کاهش است.

در مسیر دوم با حرکت بار از نقطه ۱ به ۲ پتانسیل الکتریکی تغییری نمی‌کند ولی با



شکل ۲-۲۷

حرکت از ۲ به ۳ به ۴ پتانسیل رو به کاهش و ۴ به ۵ پتانسیل تغییری نمی کند. در مسیر سوم از نقطه ۱ به ۳ و سپس از ۳ به ۵ پتانسیل الکتریکی دائماً رو به کاهش است.

مثال حل شده

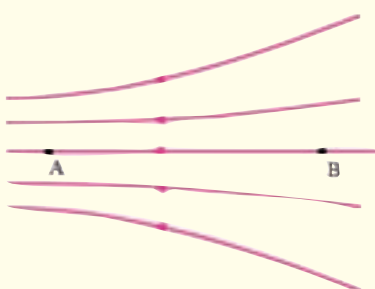
در یک باتری اتومبیل با ولتاژ ۱۲V، هرگاه بار الکتریکی $q = -2C$ از پایانه منفی تا پایانه مثبت جابه جا شود، انرژی پتانسیل الکتریکی آن چه اندازه و چگونه تغییر می کند؟

حل: با توجه به رابطه $\Delta V = \Delta U / q$ داریم:

$$\Delta U = q\Delta V = (-2C)(12V) = -24J$$

به عبارت دیگر با جابه جا شدن بار $-2C$ از پایانه منفی به طرف پایانه مثبت انرژی آن به اندازه ۲۴ ژول کاهش یافته است.

مثال حل شده



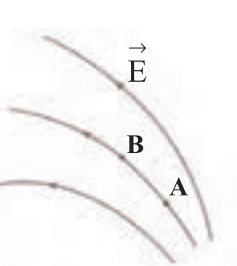
شکل ۲-۲۸

شکل ۲-۲۸ خطهای میدان الکتریکی را در ناحیه ای از فضا نشان می دهد. پتانسیل الکتریکی و بزرگی میدان الکتریکی در نقطه های A و B را با هم مقایسه کنید.

پاسخ: پتانسیل الکتریکی نقطه A بیشتر از نقطه B است. همچنین بزرگی میدان الکتریکی در نقطه A بزرگ تر از نقطه B است، زیرا خطهای میدان در نقطه A به یکدیگر نزدیک ترند.

۲۵. الکترونی بین دو نقطه که اختلاف پتانسیل آنها یک ولت است، جابه جا می شود. تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی الکترون را حساب کنید.

.....



شکل ۲-۲۹

۲۶. هرگاه بار نقطه $+q$ از نقطه A به نقطه B در میدان نایکنواخت \vec{E} حرکت کند (شکل ۲-۲۹)، انرژی پتانسیل الکتریکی آن چگونه تغییر می کند؟

.....

.....

.....

۲۷. میدان الکتریکی یکنواخت \vec{E} در جهت مثبت محور x وجود دارد. نقطه a را به فاصله $m/8$ و نقطه b را به فاصله $m/2$ از مبدأ در نظر بگیرید. ولتاژ بین این دو نقطه 600 V است.

الف) پتانسیل الکتریکی کدام یک از نقطه‌ها بیشتر است؟

ب) بار الکتریکی $2\text{ }\mu\text{C}$ از a به b حرکت می‌کند. تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی بار را پیدا کنید.

۲۸. باتری ۱۲ ولتی اتومبیلی می‌تواند از طریق یک مدار، بار کل 84 A.h (آمپر ساعت) را از پایانه‌ای به پایانه دیگر بفرستد.

الف) این بار معادل چند کولن است؟

ب) اگر تمام بار تحت ولتاژ 12 V باشد، چه مقدار انرژی کسب می‌کند؟

نکته‌ها و توصیه‌های معلم

- خازن‌ها وسیله‌هایی برای ذخیره انرژی الکتریکی هستند و می‌توانند انرژی ذخیره شده را در مدت کوتاهی در اختیار مدار قرار دهند.
- ساده‌ترین نوع خازن، خازن با صفحه‌های موازی است که به آن خازن تخت یا مسطح گفته می‌شود. این صفحه‌ها، رسانا و در فاصله اندکی از یکدیگر قرار گرفته‌اند، اما با هم تماس ندارند.
- صفحه‌های خازن هنگام باردار شدن یا شارژ شدن دارای بار مساوی و با علامت مخالف‌اند. صفحه مثبت به پایانه مثبت و صفحه منفی به پایه منفی باتری وصل است.
- فرایند شارژ شدن یک خازن وقتی تکمیل می‌شود که ولتاژ دو صفحه خازن با ولتاژ پایانه‌های باتری برابر شود.
- هر خازن دارای ظرفیت معینی است که تنها به شکل هندسی صفحه‌های آن و ماده دی‌الکتریکی که بین صفحه‌های آن قرار می‌گیرد بستگی دارد.
- ظرفیت یک خازن C با رابطه $C=Q/\Delta V$ به کمیت‌های ΔV و Q مرتبط می‌شود.
- یکای ظرفیت خازن کولن بر ولت است که فاراد (F) نامیده می‌شود. فاراد یکای بزرگی است به طوری که ظرفیت بیشتر خازن‌ها از مرتبه میکروفاراد و نانوفاراد است.
- خازن شارژ شده هنگامی تخلیه (دشارژ) می‌شود که دو صفحه رسانای آن توسط یک سیم رسانا به یکدیگر وصل شوند.
- ظرفیت یک خازن تخت که مساحت هر صفحه آن A و به فاصله d از یکدیگر واقع‌اند از رابطه $C = \epsilon_0 A / d$ به دست می‌آید که در آن ϵ_0 ، ثابت گذر دهی خلأ نامیده می‌شود.

مثال حل شده

به دو سر یک خازن $100 \mu C$ اختلاف پتانسیل $24 V$ توسط یک باتری اعمال می‌کنیم. بار ذخیره شده در خازن چقدر است؟
 حل: با استفاده از رابطه $C=Q/\Delta V$ داریم:

$$Q = C\Delta V = (100 \times 10^{-6} F)(24 V) = 24 \times 10^{-4} C$$

مثال حل شده

بار ذخیره شده در خازنی که توسط یک باتری 12 ولتی باردار شده است $14 \mu C$ است. پس از مدتی حدود $4 \mu C$ بار خازن به دلیل نشت، کاهش می‌یابد و بار آن به $10 \mu C$ می‌رسد. ولتاژ خازن در این حالت چقدر است؟

حل: با توجه به رابطه $C=Q/\Delta V$ ظرفیت خازن را که همواره مقداری ثابت و مستقل از بار و ولتاژ است به دست می آوریم.

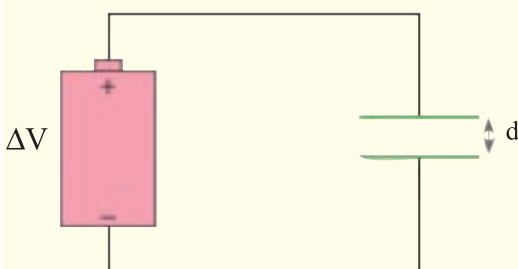
$$C = \frac{14 \times 10^{-6} \text{ C}}{12 \text{ V}} = \frac{7}{6} \times 10^{-6} \text{ F}$$

ولتاژ دو سر خازن پس از کاهش بار برابر است با:

$$C = \frac{Q'}{\Delta V'} \Rightarrow \Delta V' = \frac{10 \times 10^{-6} \text{ C}}{\frac{7}{6} \times 10^{-6} \text{ F}} = \frac{60}{7} \text{ V} = 8.57 \text{ V}$$

مثال حل شده

دو سر خازن تختی را که فاصله صفحه‌های آن d است مطابق شکل ۲-۳ به باتری با ولتاژ ΔV وصل می کنیم. بدون قطع کردن هرگونه اتصالی، فاصله صفحه‌های خازن را به $2d$ می رسانیم. هر یک از موارد زیر را بررسی کنید و ببینید چه تغییری می کند.



شکل ۲-۳

(الف) ولتاژ دو سر خازن

(ب) ظرفیت خازن

(پ) بار ذخیره شده در خازن

پاسخ: الف) چون ولتاژ دو سر باتری تغییری نکرده است لذا

ولتاژ دو سر خازن نیز ثابت مانده و همان مقدار ΔV است.

(ب) ظرفیت خازن کاهش یافته است. زیرا با توجه به رابطه

$C = \epsilon_0 A / d$ ، فاصله صفحه‌های آن افزایش و در نتیجه ظرفیت کاهش یافته است. به عبارت دیگر، ظرفیت

خازن نصف مقدار اولیه شده است.

(پ) با توجه به رابطه $C=Q=\Delta V$ ، چون ΔV ثابت، و ظرفیت خازن کاهش یافته، نتیجه می شود بار ذخیره

شده در آن نیز کاهش یافته است.

مثال حل شده

مساحت هر یک از صفحه‌های خازن تختی 18 cm^2 است. اگر فاصله بین صفحه‌های خازن 2 mm و بین صفحه‌ها هوا باشد، ظرفیت خازن چقدر است؟

حل: با توجه به رابطه $C = \epsilon_0 A / d$ داریم:

$$C = (8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}) \frac{(18 \times 10^{-4} \text{ m}^2)}{(2 \times 10^{-3} \text{ m})} = 7.965 \times 10^{-11} \text{ F} = 79.65 \text{ pF}$$

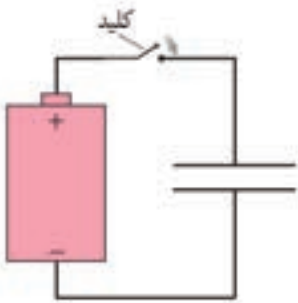
مساحت یک ابر باران زا که در ارتفاع ۱ km از سطح زمین قرار دارد $2 \times 10^4 \text{ m}^2$ و اختلاف پتانسیل میان ابر و زمین ۱۵۰ kV است. اگر ابر و سطحی از زمین را که زیر آن قرار دارد به صورت دو صفحه موازی یک خازن فرض کنیم، ظرفیت و بار ذخیره شده در آن چقدر است؟

حل: با استفاده از رابطه $C = \epsilon_0 A/d$ داریم

$$C = (8.85 \times 10^{-12} \text{ F/M}) \frac{(18 \times 10^4 \text{ m}^2)}{(10^3 \text{ m})} = 17.7 \times 10^{-11} \text{ F}$$

بار ذخیره شده در این خازن برابر است با

$$Q = C\Delta V = (17.7 \times 10^{-11} \text{ F})(15 \times 10^3 \text{ V}) = 2.7 \times 10^{-5} \text{ C} = 27 \mu\text{C}$$



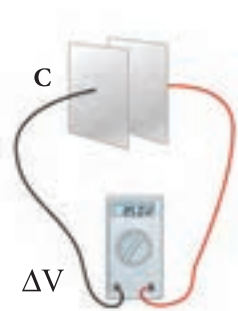
شکل ۲-۳۱

۲۹. خازن شکل ۲-۳۱ دارای ظرفیت $25 \mu\text{F}$ و در ابتدا بدون بار است. باتری، اختلاف پتانسیل ۱۲۰ V را فراهم می کند. پس از آنکه کلید بسته شود، چقدر بار از آن خواهد گذشت؟

.....

.....

.....



شکل ۲-۳۲

۳۰. ولت سنج اختلاف پتانسیل دو سر یک خازن باردار را ۸۵ ولت نشان می دهد (شکل ۲-۳۲). اگر بار ذخیره شده در خازن $5 \mu\text{C}$ باشد، ظرفیت خازن چقدر است؟

.....

.....

.....

۳۱. در نظر داریم با دو صفحه فلزی تخت، هر یک به مساحت 1 m^2 ، یک خازن تخت بسازیم. الف) برای آنکه ظرفیت این خازن ۱F شود، فاصله بین صفحه‌های آن باید چقدر باشد؟ ب) آیا در عمل، این خازن را می توان ساخت؟

.....

.....

۳۲. خازن‌ها در شکل ۲-۳۳ را به ترتیب از بیشترین تا کمترین بار ذخیره شده در آنها مرتب کنید.



(ب)



(الف)



(ت)

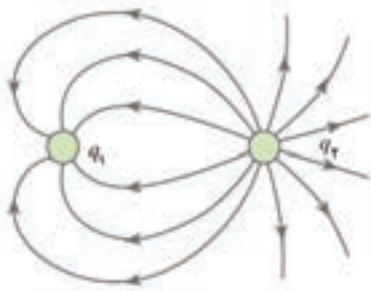


(پ)

شکل ۲-۳۳

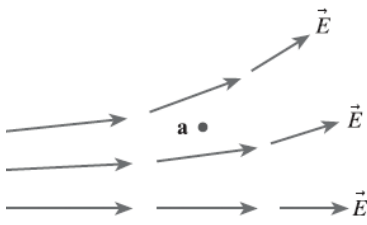
نکته‌ها و توصیه‌های معلم

آزمون تشریحی فصل ۲



شکل مقابل خط‌های میدان الکتریکی دو بار نقطه‌ای را نشان می‌دهد. علامت هر یک از بارهای q_1 و q_2 را تعیین کنید و با استدلال قانع کننده بزرگی بارهای q_1 و q_2 را با هم مقایسه کنید.

۱



شکل مقابل خط‌های میدان الکتریکی را در ناحیه‌ای از فضا نشان می‌دهد. آیا در نقطه a میدان الکتریکی وجود دارد؟ اگر بله، با رسم یک بردار، میدان الکتریکی \vec{E} را در این نقطه مشخص کنید و اگر نه، توضیح دهید برای ایجاد میدان الکتریکی در این نقطه به چه چیزی نیاز داریم؟

۲

عبارت‌های درست و نادرست را تعیین و عبارت‌های نادرست را تصحیح کنید.

الف) اختلاف پتانسیل الکتریکی دو نقطه، برابر تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی یکای بار الکتریکی مثبت است وقتی که بین این دو نقطه جابه‌جا شود. (درست ، نادرست)

ب) هرگاه بار مثبت در جهت میدان الکتریکی جابه‌جا شود، از پتانسیل الکتریکی کمتر به پتانسیل الکتریکی بیشتر رفته است. (درست ، نادرست)

پ) کمیتی که از لحاظ فیزیکی اهمیت دارد، پتانسیل الکتریکی بین دو نقطه است نه پتانسیل الکتریکی هر نقطه. (درست ، نادرست)

جمله‌های زیر را به کمک جعبه کلمه‌ها کامل کنید.

۳

کمتر ، بیشتر ، بزرگی ، کوچکی ، دارند ، ندارند ،
 $\Delta V/Q$ ، $Q/\Delta V$ ، $1V/1C$ ، $1C/1V$

الف) هر خازن از دو رسانا که به یکدیگر اتصال الکتریکی تشکیل شده است.

ب) با افزایش ولتاژ دو سر یک خازن، بار ذخیره شده در آن می‌شود.

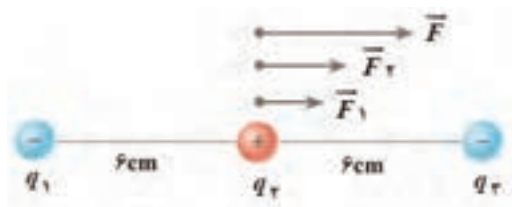
پ) ظرفیت خازن از رابطه به دست می‌آید.

ت) یک فاراد یکای و برابر است.

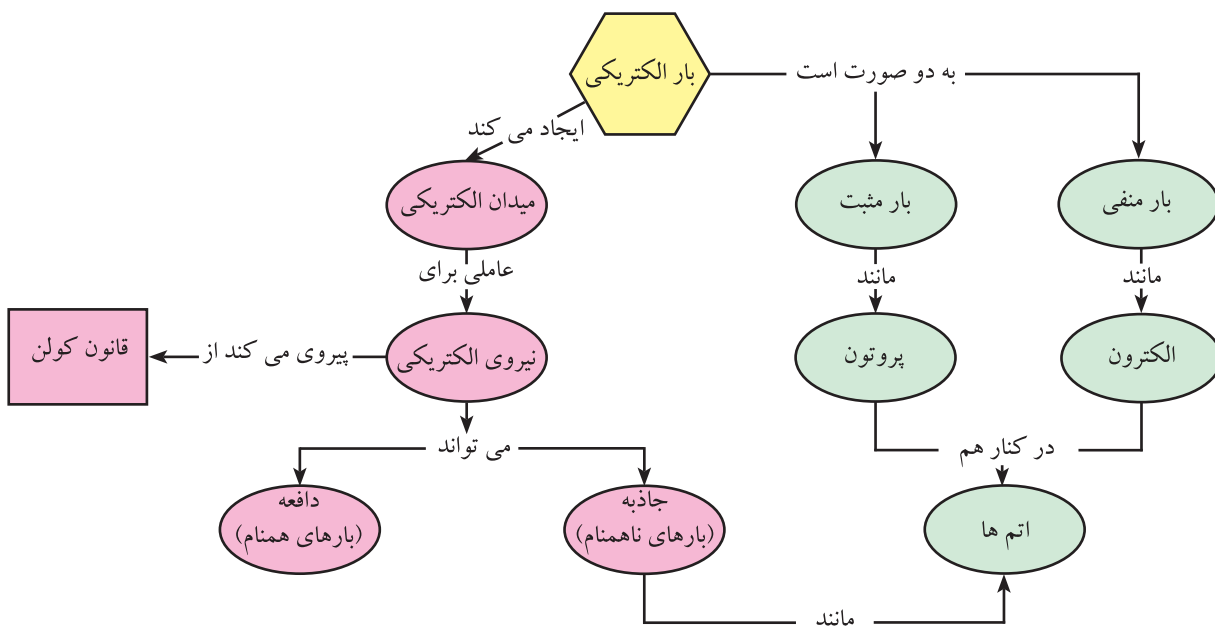
سه بار نقطه‌ای $q_1 = 8\mu\text{C}$ ، $q_2 = 12\mu\text{C}$ و $q_3 = 4\mu\text{C}$ مطابق شکل زیر در امتداد محور واقع‌اند.

الف) هر یک از نیروهای \vec{F}_1 ، \vec{F}_2 و \vec{F} نماینده چه نیرویی هستند؟

ب) بزرگی برآیند نیروهای الکتریکی وارد بر بار نقطه‌ای q_3 را پیدا کنید.



نقشه مفهومی زیر را به صورت یک متن بنویسید.



در شکل زیر نقطه یا نقطه‌هایی را مشخص کنید که در آن نقطه یا نقطه‌ها برآیند میدان الکتریکی صفر است.



بزرگی میدان الکتریکی در فاصله 10 cm از یک ذره باردار 10 nC چقدر است؟

.....

.....

.....

بزرگی یک بار نقطه‌ای که میدان الکتریکی 1 N/C را در نقاطی به فاصله 1 m از آن ایجاد می‌کند، چقدر است؟

.....

.....

.....

الف) اگر ولتاژ دو سر خازنی را نصف کنیم، بار و ظرفیت آن چه تغییری می‌کنند؟
 ب) خازنی با ظرفیت 10 pF را به کمک یک باتری که ولتاژ دو سر آن 12 V است، باردار می‌کنیم. بار ذخیره شده در خازن چقدر است؟

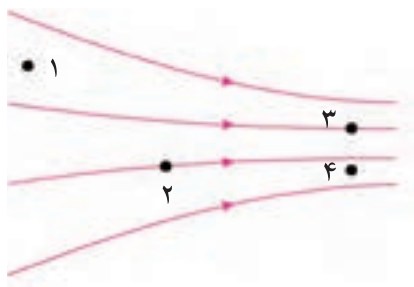
.....

.....

.....

آزمون چند گزینه‌ای فصل ۲

۱ بار نقطه‌ای $1 \mu\text{C}$ را در کدام نقطه از میدان الکتریکی شکل زیر قرار دهیم تا بزرگی نیروی الکتریکی وارد بر آن کمترین مقدار باشد؟

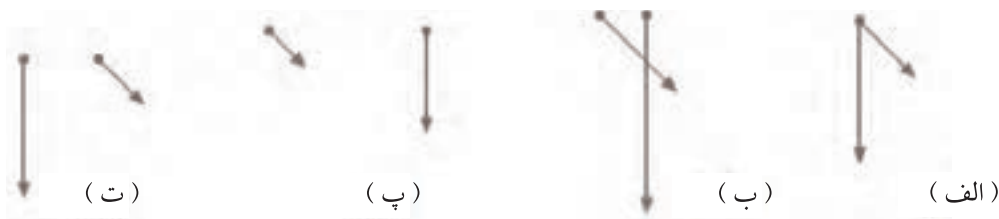


الف) ۱ ب) ۲ پ) ۳ ت) ۴

۲ بار الکتریکی دو کره رسانای مشابه A و B برابر q است. این دو کره در فاصله نسبتاً دوری (در مقایسه با شعاع آنها) از یکدیگر واقع‌اند و نیروی الکتریکی به بزرگی F به هم وارد می‌کنند. کره رسانای مشابه دیگری که آن را C می‌نامیم، در ابتدا از نظر الکتریکی خنثی و در فاصله دوری از دو کره دیگر واقع است. کره C را ابتدا به کره A و سپس با کره B تماس می‌دهیم و سرانجام آن را از محل دور می‌کنیم. بزرگی نیروی الکتریکی دو کره A و B به یکدیگر در حالت اخیر کدام است؟

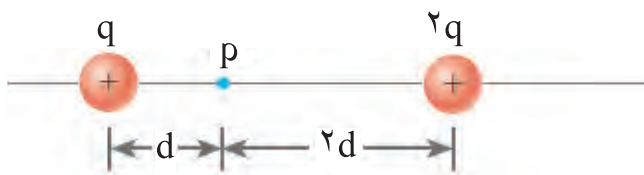
الف) $\frac{3}{8}F$ ب) $\frac{1}{2}F$ پ) $\frac{1}{4}F$ ت) $\frac{1}{16}F$

۳ در هر گزینه دو بردار نشان داده شده است. کدام یک از گزینه‌ها جهت میدان الکتریکی ناشی از یک بار نقطه‌ای مثبت را در فضای اطراف خود درست نشان می‌دهد؟



۴ با توجه به شکل زیر در چه ناحیه‌هایی میدان الکتریکی برآیند ناشی از دو بار نقطه‌ای q و $2q$ صفر است؟

الف) سمت راست بار $2q$ ب) بین بار $2q$ و نقطه P
پ) بین نقطه P و بار q ت) هر دو گزینه الف و پ
ث) هر دو گزینه ب و ت

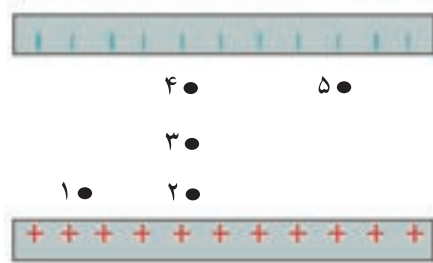


۵

اگر ولتاژ دو سر خازنی سه برابر شود، بار الکتریکی ذخیره شده در خازن چند برابر می شود؟

- الف) ۱ ب) ۳ پ) ۹ ت) $\frac{1}{3}$

در فضای بین صفحه‌های خازن تختی، ۵ نقطه مطابق شکل زیر مشخص شده است. کدام گزینه پتانسیل الکتریکی این نقطه‌ها را با یکدیگر به درستی مقایسه کرده است؟



الف) $V_1 = V_2 < V_3$

ب) $V_2 = V_3 = V_4$

پ) $V_1 = V_2 > V_5$

ت) $V_1 < V_4 = V_5$

ث) $V_1 = V_5 > V_3$

۶

۷

خازن تختی را پس از شارژ شدن، از باتری جدا می کنیم. اگر بدون اتصال صفحه‌های آن، دو صفحه را از هم دور کنیم، ظرفیت و ولتاژ بین صفحه‌ها به ترتیب (از راست به چپ) چگونه تغییر می کند؟

الف) افزایش - افزایش

ب) کاهش - کاهش

پ) کاهش - افزایش

ت) افزایش - کاهش

۸

اگر فاصله صفحه‌های خازن تختی را نصف و ولتاژ بین دو صفحه را دو برابر کنیم، بار ذخیره شده در خازن چند برابر می شود؟

- الف) $\frac{1}{4}$ ب) ۱ پ) ۲ ت) ۴

۹

در ابتدا کره A دارای باری برابر با $-5e$ و کره B دارای باری برابر با $+2e$ است. کره‌ها از ماده رسانایی ساخته شده‌اند و اندازه آنها یکسان است. اگر کره‌ها را با هم تماس دهیم، بار نهایی روی کره A چقدر است؟

- الف) $-3e$ ب) $-15e$ پ) $-4e$ ت) $-2e$

۱۰

بار الکتریکی مثبت ۲ نانوکولنی از نقطه‌ای با پتانسیل الکتریکی $20V$ به نقطه‌ای با پتانسیل الکتریکی $30V$ جابه‌جا می شود. تغییر انرژی پتانسیل این بار چند میکرو ژول است؟

- الف) $+0/1$ ب) $-0/1$ پ) $+10$ ت) -10