

فعالیت ۱۲



خورشید نیز با وجود آن که میلیون‌ها کیلومتر از یکدیگر دورند، بر هم نیروی جاذبه‌ی گرانشی وارد می‌کنند.



شکل ۲۱-۲ دو بار الکتریکی از فاصله‌ی r برهم نیرو وارد می‌کنند.

فعالیت ۲-۲

- ۱- یک آونگ الکتریکی بسازید و آن را از نقطه‌ای بیاویزید.
- ۲- آونگ را به روس‌القای الکتریکی یا تماس با جسم باردار دیگری باردار کنید.
- ۳- به یک میله‌ی پلاستیکی (یا سبته‌ای) به کمک مالش با پارچه پشمی (یا ابریشمی) بار الکتریکی بدهید.
- ۴- میله را بدون تماس با آونگ از جهت‌های مختلف به آونگ نزدیک کنید و نتیجه‌ی آنچه را که مشاهده می‌کنید، به کلاس گزارش دهید.

فرض کنید کروی باردار کوچکی با بار $+q$ مطابق شکل ۲۲-۲ در نقطه‌ی A قرار دارد. اگر ذره‌ای با بار الکتریکی $+q'$ را در نقطه‌ی B قرار دهیم، از طرف بار $+q$ بر آن نیروی F وارد می‌شود (می‌دانید که بار $+q'$ نیز بر بار $+q$ نیرو وارد می‌کند که واکنش نیروی F است اما در شکل نشان داده نشده است).



شکل ۲۲-۲



شکل ۲۳-۲

۶۹

الف) نمونه‌هایی را نام ببرید که در آن دو یا چند جسم بدون تماس با یکدیگر، برهم نیرو وارد کنند.
ب) آیا می‌توانید توضیح دهید که در نمونه‌های نام برده شده، دو جسم بدون تماس چگونه به یکدیگر نیرو وارد می‌کنند؟

پاسخ: الف) نیرویی که دو آهن‌ربا بر یکدیگر وارد می‌کنند، نیرویی که دو جسم به علت جرمشان به یکدیگر وارد می‌کنند مانند نیروی جاذبه‌ی زمین و اجسام دور و برش، نیرویی که دو بار الکتریکی بر یکدیگر وارد می‌کنند و ...

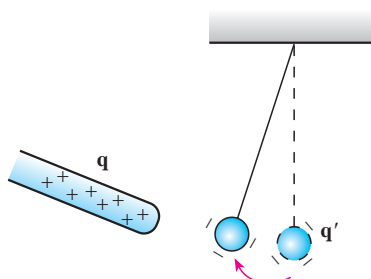
ب) در این قسمت انتظار داریم که برای دانش‌آموزان این سؤال جدی شود که واقعاً چگونه دو جسم بدون تماس بر یکدیگر نیرو وارد می‌کنند؟ و ذهن آن‌ها به طرف مفهوم میدان هدایت شود.

فعالیت ۲-۲

آنچه مشاهده می‌شود؛ میله بدون تماس با آونگ آن را جذب یا دفع می‌کند، یعنی دو جسم باردار بدون تماس به یکدیگر نیرو وارد می‌کنند.

از جلسه‌ی قبل بچه‌ها وسایل فعالیت را آماده کرده‌اند و وقتی به این فعالیت می‌رسند، گروه‌های دانش‌آموزی آن را انجام می‌دهند.

فعالیت ۱۳



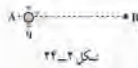
شکل (۱۶)

آونگ باردار چگونه از حضور میله‌ی باردار، مطلع شده است؟
یعنی چگونه بدون تماس میله‌ی باردار و آونگ، میله و آونگ بر یکدیگر نیرو وارد کرده‌اند؟ چگونه این برهم‌کنش از راه دور، بدون هیچ ارتباط قابل مشاهده‌ای بین ذره‌های باردار وجود دارد؟

فعالیت ۱۴



اکنون به این پرسش و نیز پاسخ آن بپردازیم: «اگر کره‌ی باردار q را از نقطه‌ی A برداریم (شکل ۲۳-۲) آیا در نقطه‌ی B بر بار q نیروی الکتریکی وارد می‌شود؟ پاسخ شما چیست؟ آیا قبول دارید که وجود بار q در نقطه‌ی A باعث می‌شود که بر بار q در نقطه‌ی B نیروی الکتریکی وارد شود؟ آیا می‌توانیم بگوییم که وقتی بار q را در نقطه‌ی A قرار می‌دهیم، در نقطه‌ی B خاصیتی ایجاد می‌شود که اگر بار q در A نباشد، این خاصیت نیز در B وجود نخواهد داشت؟ آیا وجود بار q در نقطه‌ی A ، این خاصیت را فقط در نقطه‌ی B ایجاد کرده است یا اگر بار q را در هر نقطه‌ی دیگری در مجاورت نقطه‌ی A قرار دهیم، باز هم بر آن نیروی الکتریکی وارد می‌شود؟ مثلاً در فعالیتی که انجام دادید، اگر آونگ الکتریکی باردار را در هر نقطه‌ای مجاور میله‌ی باردار قرار دهیم، آیا به آن نیروی الکتریکی وارد می‌شود؟



با توجه به آن‌چه گفته شد، یک بار الکتریکی در هر نقطه از فضای اطراف خود، خاصیتی ایجاد می‌کند که به آن میدان الکتریکی می‌گویند. اگر یک بار الکتریکی را در نقطه‌ای از میدان الکتریکی قرار دهیم، از طرف میدان بر آن نیروی الکتریکی وارد می‌شود، میدان الکتریکی به طور کمی در بخش ۳-۲ تعریف شده است.

۳-۲-۱ تعریف کمی میدان الکتریکی

میدان الکتریکی به طور کمی را به کمک نیروی که میدان بر یک بار الکتریکی واقع در میدان وارد می‌کند، به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

نیروی وارد بر یکای بار الکتریکی مثبت را در هر نقطه، میدان الکتریکی در آن نقطه می‌نامیم.

اگر بار الکتریکی نقطه‌ای q ، مطابق شکل ۲۵-۲ در میدان الکتریکی حاصل از بار Q قرار گیرد، از طرف میدان حاصل از بار Q بر آن نیروی F وارد می‌شود. بر اساس تعریف بالا، میدان بار Q در محل قرارگرفتن بار q که آن را با نماد E نشان می‌دهیم، از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{+q} \quad (۹-۲)$$

۶۲

اگر میله بدون بار بود آیا باز هم آونگ را جذب می‌کرد؟ اگر میله‌ی باردار را خیلی دور کنیم، آیا باز هم آونگ به یک سمت منحرف می‌شد؟

آیا آونگ باردار را در هر نقطه‌ای در مجاور میله‌ی باردار قرار دهیم، به آن نیروی الکتریکی وارد می‌شود؟ یعنی در هر نقطه‌ای از فضای اطراف میله‌ی باردار قرار گیرد بر آن نیرو وارد می‌شود؟

آیا می‌توان گفت در فضای اطراف یک جسم باردار خاصیتی ایجاد می‌شود که اگر بار الکتریکی‌ای در آن فضا قرار گیرد، تحت تأثیر آن خاصیت بر آن نیرو وارد می‌شود؟

در این‌جا تعریف میدان الکتریکی را بیان می‌کنیم.

توجه: می‌توانیم اشاره به تعریف میدان در حالت کلی کنیم، یعنی بگوییم در تمام مواردی که دو جسم بدون تماس بر یکدیگر نیرو وارد می‌کنند، موجودی به عنوان واسطه‌ی نیرو عمل می‌کند و نیرو را در ورای مسافتی از یک جسم به جسم دیگر منتقل می‌کند که به آن موجود، میدان گویند و سپس به مفهوم میدان الکتریکی بپردازیم.

۳-۲- تعریف کمی میدان الکتریکی



فعالیت ۱۵

چگونه می‌توانیم بفهمیم که در یک ناحیه، میدان الکتریکی وجود دارد؟

پاسخ: در هر ناحیه‌ای که به بار الکتریکی نیرو وارد شود، در آن ناحیه میدان الکتریکی وجود دارد. این نیرو از حضور بارهای الکتریکی دیگر در این ناحیه ناشی می‌شود.



در هر نقطه از کلاس درس، دما دارای مقدار معینی است. دمای هر نقطه را می‌توان با قرار دادن دماسنج در آن نقطه به دست آورد. این توزیع حاصل از دماها را میدان دما گویند. به همین روش می‌توان فشار هر نقطه را در جو زمین تعیین کرد و توزیع حاصل از فشار را یعنی میدان فشار در جو زمین به دست آورد. به نظر شما چگونه می‌توان میدان الکتریکی را در یک نقطه از فضایی که در آن میدان الکتریکی وجود دارد، به دست آورد؟ آیا می‌توانید با استفاده از نیروی الکتریکی وارد بر بار الکتریکی، میدان الکتریکی در یک نقطه را تعریف کنید؟

پاسخ: ما در این جا انتظار نداریم که دانش‌آموزان بتوانند به سؤالات مطرح شده پاسخ دهند بلکه هدف ما درگیر کردن دانش‌آموزان با این مسئله است که چگونه می‌توان میدان الکتریکی را تعریف کرد (دشواری‌های تعریف یک مفهوم جدید).

پاسخ:

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

اگر بار q_0 مثبت باشد، میدان الکتریکی و نیروی الکتریکی هم جهت هستند و اگر q_0 منفی باشد، جهت میدان در خلاف جهت نیروی الکتریکی است. بنابراین جهت میدان الکتریکی در این نقطه در جهت شرق است.

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

$$E = \frac{1/64 \times 10^{-21} \text{ N}}{1/6 \times 10^{-19} \text{ C}}$$

$$E = 1/0.25 \times 10^{-2} \text{ N/C}$$

توجه: مراقبت شود تا دانش‌آموزان با استفاده از کتاب به پاسخ‌دادن نپردازند زیرا در این صورت پاسخ آن‌ها هیچ ارزش علمی ندارد بلکه پیشنهادهای خودشان را مطرح کنند. بعد از انجام این دو فعالیت، می‌توانیم میدان الکتریکی را تعریف کنیم و یا از بچه‌ها می‌خواهیم مطالب مربوط به صفحه‌های ۶۲ و ۶۳ را مطالعه کنند و سپس آن را توضیح دهند. مثال: در یک نقطه از فضا بر پروتونی نیروی الکتریکی $1/64 \times 10^{-21}$ نیوتون در جهت شرق وارد می‌شود، اندازه و جهت میدان الکتریکی در این نقطه را به دست آورید.

جدول (۱) بزرگی برخی میدان‌های الکتریکی

مقدار (N/C)	مکان یا وضعیت میدان
3×10^{21}	در سطح هسته‌ی اورانیوم
6×10^{11}	در مدار الکترون اتم هیدروژن
5×10^6	در لامپ پرتو X
3×10^6	فروشکست الکتریکی که در هوا رخ می‌دهد
2×10^6	در شتابگر واندوگراف
$\approx 10^4$	در آذرخش
1×10^4	زیر ابر تندری
7×10^3	در نزدیکی فرستنده رادار
1×10^3	در آفتاب مؤثر
$\approx 10^3$	در نزدیکی یک شانه‌ی باردار
1×10^2	در هوای آرام و در سطح پایینی جو زمین
1×10^2	در باریکه‌ی لیزر کوچک
≈ 10	در زیر نورمهبانی
$\approx 10^{-1}$	در موج رادیویی
$\approx 10^{-2}$	داخل سیم مسی مدارهای خانه



میدان الکتریکی

در این دانستنی: در مورد میدان الکتریکی که یکی از صورت‌های ماده است، و دارای انرژی و تکانه است، توضیحاتی آورده شده است، هم‌چنین نقض موقت قانون سوم نیوتون، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۴-۲- میدان الکتریکی حاصل از یک ذره باردار

با انجام فعالیت‌های زیر، به دانش‌آموزان اجازه می‌دهیم تا خودشان میدان الکتریکی حاصل از یک ذره باردار را به دست آورند و به نقش اندازه‌ی یک بار، در ایجاد میدان الکتریکی اطرافش پی ببرند و نقش عکس مجذوری فاصله را درک کنند.



شکل ۲۵-۲

میدان الکتریکی کمیته برداری است و در محاسبات باید به این نکته توجه کرد، یکای میدان الکتریکی، نیوتون بر کولن (N/C) نام دارد.

مثال ۲-۴

بر بار الکتریکی $+1/2 \mu C$ در یک نقطه از میدان بار q نیروی $5 \times 10^{-7} N$ وارد می‌شود، اندازه‌ی میدان الکتریکی را در این نقطه محاسبه کنید.

حل: از رابطه‌ی ۲-۴ می‌توان اندازه‌ی میدان الکتریکی را محاسبه کرد.

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

$$E = \frac{5 \times 10^{-7}}{2 \times 10^{-8}}$$

$$E = 2 / 5 \times 10 = 2 \frac{N}{C}$$

۴-۳- میدان الکتریکی حاصل از یک ذره باردار

می‌خواهیم میدان الکتریکی حاصل از بار ذره‌ای q را در نقطه‌ی A که به فاصله‌ی r از بار q است، محاسبه کنیم (شکل ۲۶-۳). برای این محاسبه از رابطه‌ی ۲-۴ استفاده می‌کنیم. اگر بار ذره‌ای $+q$ در نقطه‌ی A قرار گیرد، از طرف بار q به آن نیروی F وارد می‌شود. با استفاده از قانون کولن، بزرگی نیروی F را محاسبه می‌کنیم و با جای‌گذاری در رابطه‌ی ۲-۴، بزرگی میدان الکتریکی بار q را در نقطه‌ی A بدست می‌آوریم.

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q \cdot q}{r^2}$$

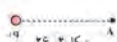
$$E = \frac{F}{q}$$

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2}$$

(۱-۲)

رابطه‌ی ۲-۱ عامل‌های مؤثر بر بزرگی میدان الکتریکی حاصل از بار ذره‌ای q را مشخص

۶۳

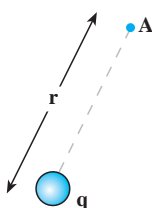


شکل ۲۶-۳

فعالیت ۱۷



با استفاده از تعریف میدان الکتریکی $\vec{E} = \vec{F}/q$ میدان حاصل از ذره باردار q را در نقطه‌ی A که در فاصله‌ی r از بار q قرار دارد به دست آورید (شکل زیر) بهتر است شکل را بر روی تابلو رسم کنیم و به دانش‌آموزان بگوییم که یکای بار مثبت q را در نقطه‌ی A قرار داده و نیروی الکتریکی وارد بر آن را محاسبه و سپس در رابطه‌ی $F = E/q$ قرار دهند تا به رابطه‌ی مورد نظر برسند.



فعالیت ۱۸

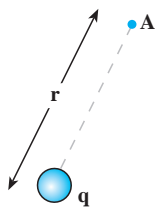


با توجه به فعالیت ۱۷، عامل‌های مؤثر بر میدان الکتریکی حاصل از بار ذره‌ای q را مشخص کنید.

فعالیت ۱۹

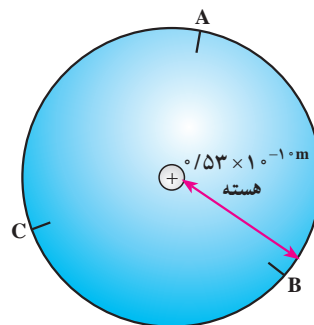


میدان الکتریکی، مانند نیرو، کمیتی برداری است و آن را می‌توان با یک پیکان نشان داد. برای مشخص کردن جهت بردار میدان در یک نقطه، مثلاً نقطه‌ی A در شکل روبه‌رو فرض می‌کنیم بار الکتریکی مثبتی را در آن نقطه قرار داده‌ایم. میدان در آن نقطه در جهت نیروی وارد بر این بار فرضی است. با توجه به توضیح داده شده، جهت میدان الکتریکی را در نقطه‌ی A برای دو حالت $q > 0$ و $q < 0$ رسم کنید.



تمرین: اندازه‌ی میدان الکتریکی بار ذره‌ای $2\mu\text{C}$ را در فاصله‌های $1/5\text{ cm}$ ، 3 cm ، 6 cm و 12 cm به دست آورده و سپس نمودار میدان الکتریکی برحسب فاصله را رسم کنید. از دانش‌آموزان می‌خواهیم مثال ۷-۲ کتاب را حل کنند.

مثال: شعاع اتم هیدروژن $0.53 \times 10^{-10}\text{ m}$ است. بزرگی میدان الکتریکی که هسته‌ی این اتم (یک پروتون) در این شعاع ایجاد می‌کند، چه مقدار و در کدام جهت است؟ جهت میدان را در نقطه‌های A و B و C مشخص نمایید. ($e = 1.6 \times 10^{-19}\text{ C}$)



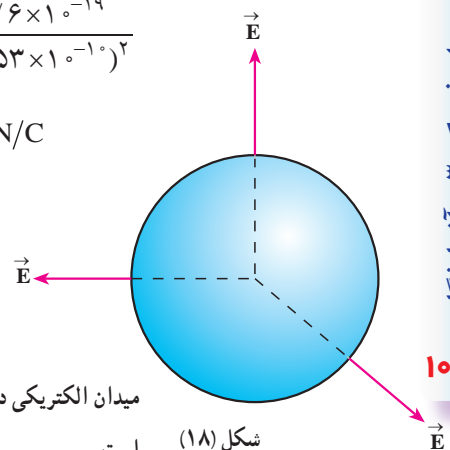
شکل (۱۷)

پاسخ:

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

$$= 9 \times 10^9 \frac{1.6 \times 10^{-19}}{(0.53 \times 10^{-10})^2}$$

$$= 5.1 \times 10^{11} \text{ N/C}$$



شکل (۱۸)

میدان الکتریکی در امتداد شعاع و رو به بیرون است.

می‌کند. بنابراین رابطه میدان با اندازه‌ی بار q مستقیم و با مجذور فاصله از آن نسبت وارون دارد.
برای مشخص کردن جهت بردار میدان در یک نقطه، مثلاً نقطه‌ی A در شکل ۷-۲، فرض می‌کنیم که بار الکتریکی مثبتی را در آن نقطه قرار داده‌ایم. میدان در آن نقطه، در جهت نیروی وارد بر این بار فرضی خواهد بود. بنابراین، میدان الکتریکی ذره نقطه، هم جهت با نیروی وارد بر بار الکتریکی مثبت واقع در آن نقطه است.

مثال ۷-۲

بزرگی میدان الکتریکی بار ذره‌ای $2\mu\text{C}$ را در نقطه‌ی M به فاصله‌ی 6 mm (الف) و 12 cm (ب) از این بار الکتریکی محاسبه کنید و بردار میدان را در این نقطه برای یک حالت رسم کنید.
حل: با استفاده از رابطه‌ی ۷-۲ اندازه‌ی میدان را در نقطه‌های خواسته شده، به دست می‌آوریم:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \quad (\text{الف})$$

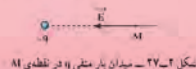
$$E_1 = 9 \times 10^9 \frac{2 \times 10^{-6}}{(6 \times 10^{-3})^2}$$

$$E_1 = 5 \times 10^{11} \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

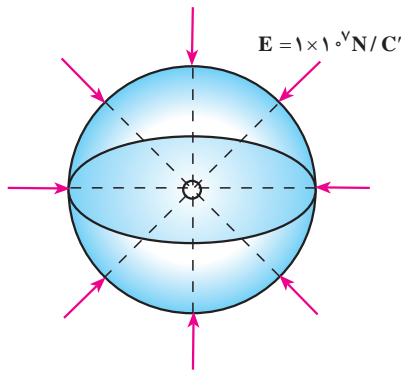
$$E_2 = 9 \times 10^9 \frac{2 \times 10^{-6}}{(12 \times 10^{-2})^2}$$

$$E_2 = 1.25 \times 10^{11} \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

برای نشان دادن میدان، فرض می‌کنیم بار مثبتی در نقطه‌ی M ، در 2 میلی‌متری بار q واقع باشد. چون بار q مثبتی است، بار مثبت فرضی را جذب می‌کند. میدان بار q در جهت نیروی کشش که در شکل ۷-۲ نشان داده شده است.



شکل ۷-۲ - میدان بار مثبتی q در نقطه‌ی M



شکل (۱۹)

و جهت میدان را به کمک نیروی وارد بر بار الکتریکی مثبت فرضی واقع در نقاط مختلف کره تعیین کردیم.

مثال: اگر در یک ناحیه از فضا مانند شکل ۱۹ چند ذره‌ی باردار وجود داشته باشد و بخواهیم میدان الکتریکی ناشی از این ذرات را در یک نقطه (مثلاً نقطه‌ی Q) تعیین کنیم، چگونه عمل می‌کنیم؟ از این مثال چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

مثال: یک ذره‌ی باردار $-4\mu\text{C}$ در مرکز یک کره، به شعاع 3cm قرار دارد. الف) میدان الکتریکی در سطح این کره چه مقدار است؟ ب) جهت میدان الکتریکی بر سطح این کره را مشخص نمایید؟
پاسخ:

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

$$= 9 \times 10^9 \frac{4 \times 10^{-6}}{(3 \times 10^{-2})^2}$$

$$= 1 \times 10^9 \text{ N/C}$$

اگر بار مثبت آزمون را در نقاط مختلف کره قرار دهیم، متوجه می‌شویم که جهت میدان همواره در جهت شعاع کره و رو به داخل است.

توجه: همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، در محاسبه‌ی اندازه‌ی میدان الکتریکی علامت بار الکتریکی q را منظور نکردیم

همان‌طور که مثال‌های ۴-۲ و ۷-۲ نشان می‌دهند در محاسبه‌ی اندازه‌ی میدان الکتریکی، علامت بار را در رابطه‌ی ۴-۲ یا ۷-۲ وارد نمی‌کنیم و جهت میدان در هر نقطه را به کمک جهت نیروی وارد بر بار الکتریکی مثبت فرضی واقع در آن نقطه، تعیین می‌کنیم. میدان الکتریکی حاصل از مجموعه‌ی ذره‌های باردار: اگر در یک ناحیه از فضا چند ذره‌ی باردار قرار داشته باشند، در هر نقطه یک میدان الکتریکی وجود دارد. این میدان، برابری میدان‌هایی است که هر ذره‌ی باردار در غایت سایر بارهای الکتریکی در آن نقطه ایجاد می‌کند.

مثال ۲-۸

دو بار الکتریکی ذره‌ای $q_1 = 4\mu\text{C}$ و $q_2 = 6\mu\text{C}$ در فاصله‌ی 8cm از یک‌دیگر ثابت شده‌اند. بزرگی میدان الکتریکی را در نقطه‌های زیر به دست آورید.

الف - در وسط خط واصل دو ذره‌ی باردار.

ب - در نقطه‌ای به فاصله‌ی 2cm از بار q_1 و 1cm از بار q_2 بر روی خط واصل دوبار.

حل: در غایت هر یک از دو ذره، میدان حاصل از بار دیگر را محاسبه می‌کنیم. میدان حاصل از مجموعه‌ی دوبار، برابری این دو میدان خواهد بود.

الف - اگر بار مثبتی را در نقطه‌ی A قرار دهیم، بار q_1 آن را می‌رانند و بار q_2 آن را می‌رباید. بنابراین، E_1 و E_2 در نقطه‌ی A هم‌جهت و به سوی بار q_2 هستند (شکل ۲۸-۲ الف و ب).

با استفاده از رابطه‌ی ۲-۲ داریم:

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

$$E_1 = 9 \times 10^9 \times \frac{4 \times 10^{-6}}{(16 \times 10^{-2})^2} \text{ N/C}$$

$$E_1 = 2/25 \times 10^9 \text{ N/C}$$

$$E_2 = 9 \times 10^9 \times \frac{6 \times 10^{-6}}{(16 \times 10^{-2})^2} \text{ N/C}$$

$$E_2 = 3/25 \times 10^9 \text{ N/C}$$

شکل ۲۸-۲

الف

ب

چون E_1 و E_2 هم‌جهت‌اند، اندازه‌ی برابری آن‌ها را بر مجموع اندازه‌ی آن‌هاست. توجه داشته باشید که در نقطه‌ی A تنها میدان E_1 وجود دارد.

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

$$E_A = E_1 + E_2$$

$$E_A = 5/25 \times 10^9 \text{ N/C}$$

ب - اگر بار الکتریکی مثبتی در نقطه‌ی B قرار گیرد، بار q_1 آن را می‌رانند و بار q_2 آن را می‌رباید. در نتیجه، E_1 به طرف بار q_2 و E_2 در خلاف جهت E_1 است (شکل ۲۹-۲ الف و ب).

$$E'_1 = 9 \times 10^9 \times \frac{4 \times 10^{-6}}{(8 \times 10^{-2})^2}$$

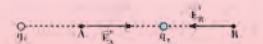
$$E'_1 = 3/6 \times 10^9 \text{ N/C}$$

$$E'_2 = 9 \times 10^9 \times \frac{6 \times 10^{-6}}{(4 \times 10^{-2})^2}$$

$$E'_2 = 135 \times 10^9 \text{ N/C}$$



الف



ب

شکل ۲۹-۲

چون E'_1 و E'_2 در خلاف جهت یک‌دیگرند، برابری آن‌ها را بر تفاضل اندازه‌های E'_1 و E'_2 است.

$$\vec{E}_B = \vec{E}'_1 - \vec{E}'_2$$

$$E_B = E'_1 - E'_2$$

$$E_B = 131/25 \times 10^9 \text{ N/C}$$

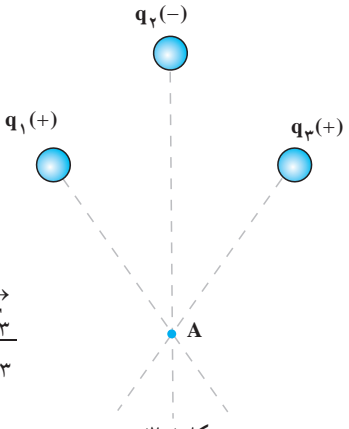
پاسخ: بار مثبت آزمون q_0 را در نقطه‌ی A قرار داده و نیروهایی که هر یک از بارها بر q_0 وارد می‌کنند را تعیین و سپس برآیند آن‌ها را به دست می‌آوریم و سرانجام با استفاده از تعریف میدان $\vec{E} = \vec{F}/q_0$ ، میدان الکتریکی در نقطه‌ی A را محاسبه می‌کنیم.

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

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

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3}{q_0}$$

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_1}{q_0} + \frac{\vec{F}_2}{q_0} + \frac{\vec{F}_3}{q_0}$$

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3$$


نتیجه: در هر نقطه یک میدان الکتریکی وجود دارد که این میدان، برآیند میدان‌هایی است که هر ذره‌ی باردار در غیاب سایر بارهای الکتریکی در آن نقطه ایجاد می‌کند.

مثال ۸-۲: مثال ۸-۲ یا مثال‌های مشابهی را در این‌جا به دانش‌آموزان می‌دهیم تا آن‌ها با محاسبه‌ی میدان چندبارمختلف آشنا شوند.

مثال ۹-۲: این مثال بسیار مهم است. ابتدا بهتر است

مثال ۹-۳

دو بار الکتریکی ذره‌ای $q_1 = q_2 = 5 \times 10^{-6} \text{ C}$ در فاصله‌ی ۸ cm از یکدیگر ثابت شده‌اند. میدان الکتریکی را روی عمود منصف خطی که دو ذره را به یکدیگر وصل می‌کند و به فاصله‌ی ۳ cm از وسط خط واصل دو ذره به دست آورید. به مجموعه‌ی این دو بار الکتریکی، دو قطبی الکتریکی گفته می‌شود. حل: میدان الکتریکی حاصل از این دو بار در نقطه‌ی مذکور هم‌اندازه‌اند (شکل ۳-۲).


$r_1 = r_2 = \sqrt{1^2 + 3^2} = 5 \text{ cm}$

با استفاده از رابطه‌ی ۲-۱ داریم:

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

$E_1 = E_2 = 9 \times 10^9 \times \frac{5 \times 10^{-6}}{(5 \times 10^{-2})^2} = 4 \times 10^6 \text{ N/C}$

$E_1 = 1/8 \times 10^6 \text{ N/C}$



شکل ۳-۲

چون \vec{E}_1 و \vec{E}_2 هم‌اندازه‌اند، با استفاده از رابطه‌ی ۲-۱ داریم:

$E_1 = E_2$

$E_M = E_1 \cos \frac{\alpha}{2} = E_2 \cos \frac{\alpha}{2}$

با استفاده از مثلث قائم‌الزاویه AOM اندازه‌ی $\cos \alpha$ را حساب می‌کنیم:

$\cos \alpha = \frac{OA}{AM} = \frac{3}{5} = 0.6$

توضیح مختصری درمورد دو قطبی الکتریکی و همانندهای طبیعی آن داده شود و سپس از آن‌ها می‌خواهیم مثال ۹-۲ یا مثال‌های مشابهی را حل کنند.

دانشتنی

دو قطبی الکتریکی

در این دانشتنی؛ مولکول‌ها نامتقارن و شرایطی که ما می‌توانیم آن‌ها را به عنوان یک دو قطبی الکتریکی در نظر بگیریم، بررسی می‌شود و علت این که آب حلال مناسبی است، توضیح داده شده است.

تمرین ۴-۲

$AC = 1 \text{ cm}$ و $BC = 9 \text{ cm}$ و $OC = 5 \text{ cm}$ میدانی که

q_1 در C ایجاد می‌کند را E_1 می‌نامیم و می‌توانیم بنویسیم:

$$E_1 = k \frac{q_1}{(AC)^2}$$

$$= 9 \times 10^9 \frac{5 \times 10^{-6}}{(1 \times 10^{-2})^2}$$

$$= 45 \times 10^9 \text{ N/C}$$

رو به بالا

$$E_r = k \frac{q_2}{(BC)^2}$$

$$= 9 \times 10^9 \frac{5 \times 10^{-6}}{(9 \times 10^{-2})^2}$$

$$= \frac{45}{81} \times 10^7 \text{ N/C}$$

رو به پایین

$$E = E_1 - E_2$$

میدان برآیند؛

$$= 45 \times 10^7 - \frac{45}{81} \times 10^7$$

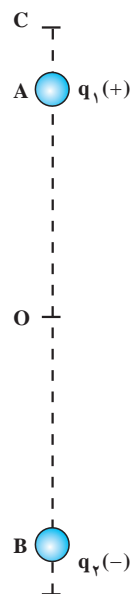
$$= \frac{45 \times 80}{81} \times 10^7$$

$$= \frac{400}{9} \times 10^7 \text{ N/C}$$

رو به بالا

میدانی که q_2 در C ایجاد می کند را E_2 می نامیم و

می توانیم بنویسیم؛



شکل (۲۱)

۵-۲- تجسم میدان الکتریکی

$E_M = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{r^2} \hat{r}$
 $E_N = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{r^2} \hat{r}$

شکل ۲-۳ نشان می دهد که میدان الکتریکی روی عمود منصف دو قطبی، موازی محور دو قطبی (خط واصل دو ذره ی باردار) و در خلاف جهت محور y است؛ یعنی، مؤلفه های E_x و E_y در امتداد محور x یکدیگر را خنثی می کنند.

تمرین ۴-۲

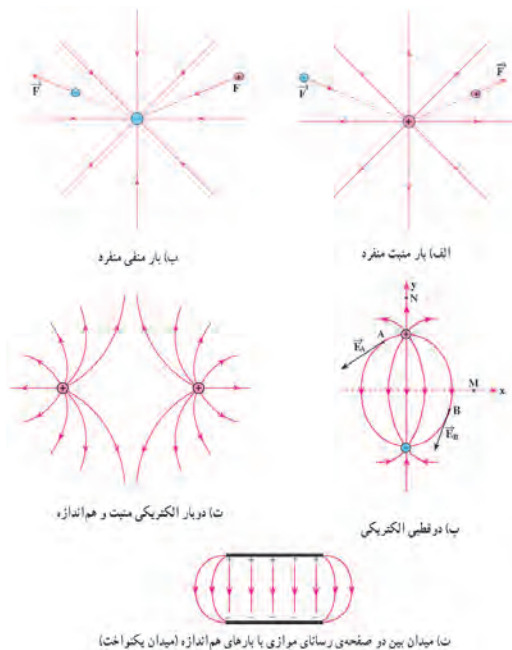
میدان الکتریکی حاصل از دو قطبی را در مثال ۴-۳ در نقطه ای روی محور دو قطبی و به فاصله ی ۵ cm از مرکز دو قطبی (نقطه ی O در شکل ۲-۳) به دست آورید.

۲-۳ تجسم میدان الکتریکی

میدان الکتریکی را در اطراف یک جسم باردار با خط های نشان می دهیم که به آنها خط های میدان الکتریکی می گویند.

این خط ها دارای ویژگی های ذیلند:

- ۱- خط های میدان در هر نقطه، هم جهت با نیروی وارد بر بار مثبت واقع در آن نقطه اند. در نتیجه، جهت این خط ها از بار مثبت رو به خارج و به سوی بار منفی است. (بر بار منفی، نیرو در خلاف جهت میدان وارد می شود.)
- ۲- خط میدان در هر نقطه، جهت میدان را در آن نقطه نشان می دهد و میدان در هر نقطه، برداری است مماس بر خط میدان که از آن نقطه می گذرد و یا آن هم جهت است.
- ۳- در هر ناحیه که میدان قوی تر باشد، خط های میدان به یکدیگر نزدیک تر و فشرده ترند.
- ۴- خط های میدان یکدیگر را قطع نمی کنند، یعنی از هر نقطه فقط یک خط میدان می گذرد. به بیان دیگر، در هر نقطه ی فضا فقط یک میدان الکتریکی وجود دارد که همان میدان الکتریکی برآیند است. در شکل ۲-۳ خط های میدان الکتریکی را در اطراف چند جسم باردار الکتریکی مشاهده می کنید.



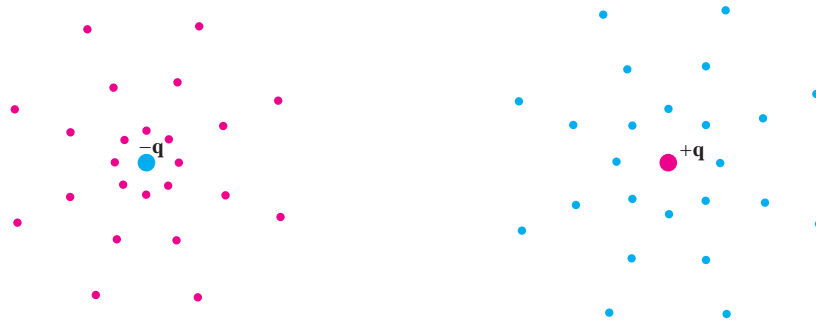
تمرین ۵-۲

میدان الکتریکی حاصل از بارهای مثبت و منفی و برآیند آنها را در نقطه های M و N در شکل ۲-۳ ب رسم کرده و یا نتیجه ی مثال ۴-۲ و تمرین ۴-۲ مقایسه کنید.

فعالیت ۲۰

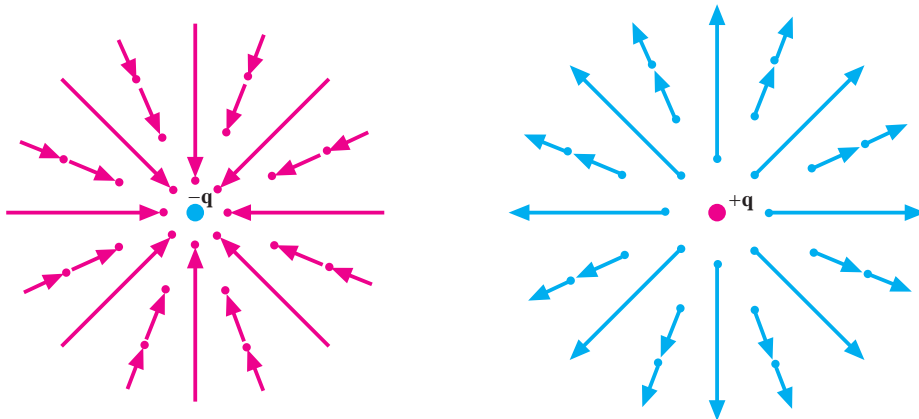


در شکل (۲۲) میدان الکتریکی را در نقطه‌های نشان داده شده در اطراف بار رسم کنید. در رسم میدان اندازه و جهت میدان را به طور نسبی رعایت کنید. از این فعالیت چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟
توجه: با توجه به رابطه‌ی $E = k \frac{q}{r^2}$ هر چه از بار الکتریکی دورتر شویم، اندازه‌ی میدان کوچک‌تر می‌شود.



شکل (۲۲)

پاسخ: ۱- جهت میدان الکتریکی به علامت بار q بستگی دارد. اگر بار الکتریکی مثبت باشد، جهت میدان در امتداد شعاع‌های دایره به بیرون و اگر q منفی باشد، در امتداد شعاع‌ها به طرف داخل است. ۲- هر چه از بار دور شویم اندازه‌ی میدان کاهش می‌یابد.



بردارهای میدان الکتریکی در اطراف یکبار نقطه‌ای منفی.
بردارهای میدان در امتداد شعاع و به طرف بیرون هستند.

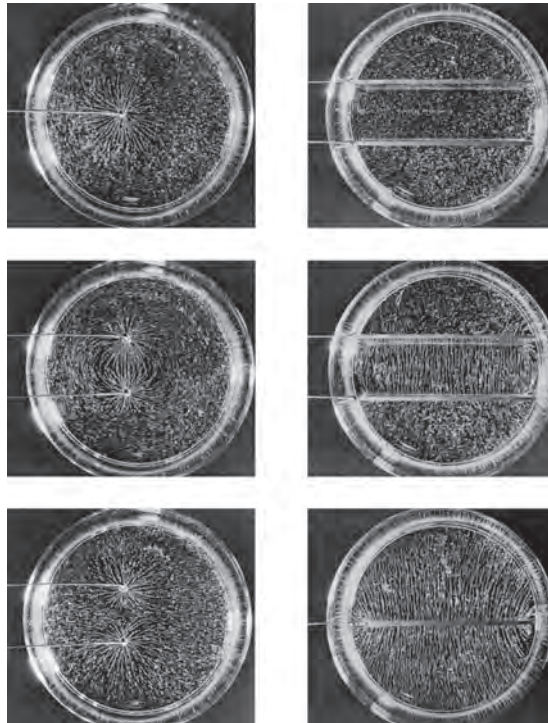
بردارهای میدان الکتریکی در اطراف یک بار نقطه‌ای مثبت.
بردارهای میدان در امتداد شعاع و به طرف بیرون هستند.

شکل (۲۳)

فعالیت ۲۱



کمی روغن مایع را در یک بشقاب پلاستیکی دایره‌ای شکل ریخته و سپس در آن کمی خاکشیر بریزید. یک میله‌ی فلزی یا گلوله‌ی فلزی را توسط یک سیم به کلاهک مولد و اندوگراف وصل کنید و گلوله را وسط بشقاب قرار دهید و مولد و اندوگراف را روشن کنید. آنچه را مشاهده می‌کنید، توضیح دهید. چگونه می‌توانید شکل‌های زیر را توسط آزمایش بالا ایجاد کنید.



شکل (۲۴)

را برای دانش‌آموزان توضیح می‌دهیم و سپس نظر آن‌ها را به شکل‌های خطوط میدان در صفحه‌ی ۶۹ کتاب درسی جلب می‌کنیم و پرسش‌هایی مانند پرسش‌های زیر را می‌پرسیم.

(الف) در کدام شکل فضایی وجود دارد که در آن خطوط میدان موازی و هم فاصله هستند؟

(ب) در کدام شکل منطقه‌ای (نقطه‌ای) وجود دارد که در آن‌جا میدان الکتریکی وجود ندارد یا صفر است؟

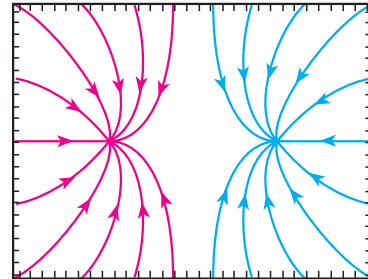
(پ) در دو قطبی الکتریکی، در کدام مناطق میدان قوی‌تر است.

مایکل فارادی (Michael Faraday) کسی که اندیشه‌ی میدان‌های الکتریکی را در قرن نوزدهم میلادی مطرح کرد، بر این باور بود که فضای اطراف یک جسم باردار با خط‌های نیرو پر شده است. اگر چه دیگر برای این خط‌ها که امروزه به نام میدان الکتریکی خوانده می‌شوند، واقعیت زیادی قائل نیستیم، ولی با این حال آن‌ها هنوز هم روش مناسبی برای تجسم نقش‌ها در میدان‌های الکتریکی به شمار می‌آیند. میدان الکتریکی را در اطراف یک جسم باردار با خط‌هایی نشان می‌دهیم که به آن‌ها خط‌های میدان الکتریکی گویند.

در این قسمت ویژگی‌های خط‌های میدان الکتریکی

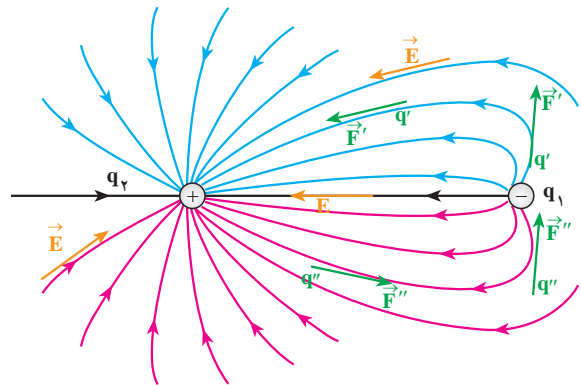
فعالیت ۲-۳

۱- اگر جهت فلش‌ها را در شکل ۲-۳۱ عوض کنیم و علامت بارها را نیز منفی کنیم، شکل مورد نظر به دست می‌آید. (شکل ۲۵)



شکل (۲۵)

۲- اگر اندازه‌ی باری بزرگتر از بار دیگر باشد، تعداد خطوط میدان آن نیز بیشتر است. مثلاً اگر اندازه‌ی باری دو برابر اندازه‌ی بار دیگر باشد تعداد خطوط میدان آن نیز دو برابر دیگری است. زیرا تعداد خطوط متناسب با اندازه‌ی بار است.



شکل (۲۶)

۳- با رنگ آبی نشان داده شده است.

۴- با رنگ سبز نشان داده شده است.

۵- در منطقه‌ای که اندازه‌ی میدان و جهت آن‌ها یکسان

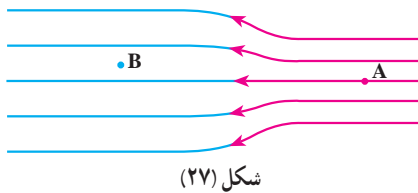
است میدان یکنواخت وجود دارد.

مثال: در شکل زیر فاصله‌ی خطوط میدان در سمت

چپ دو برابر فاصله‌ی خطوط در سمت راست است. الف) اگر اندازه‌ی میدان در نقطه‌ی A، 40 N/C باشد، اندازه‌ی میدان در نقطه‌ی B چه مقدار است.

ب) اگر یک پروتون در نقطه‌ی B قرار گیرد چه نیرویی

بر آن وارد می‌شود و این پروتون تحت تأثیر این نیرو چه شتابی می‌گیرد؟



شکل (۲۷)

$$(q_p = 1/6 \times 10^{-19} \text{ C}, m_p = 1/7 \times 10^{-27} \text{ kg})$$

پاسخ:

الف) با توجه به این که فاصله‌ی خطوط در سمت راست نصف فاصله‌ی خطوط در سمت چپ است یعنی تراکم خطوط دو برابر است پس اندازه‌ی میدان در نقطه‌ی B نصف اندازه‌ی آن در نقطه‌ی A است. یعنی: $E_B = 20 \text{ N/C}$

ب)

$$F = qE$$

$$F = 1/6 \times 10^{-19} \times 20$$

$$F = 3/2 \times 10^{-18} \text{ N}$$

$$a = \frac{F}{m}$$

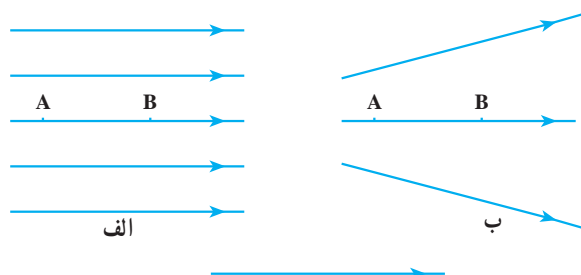
$$a = \frac{3/2 \times 10^{-18}}{1/7 \times 10^{-27}}$$

$$a = 1/9 \times 10^{+9} \text{ m/s}^2$$

مثال: شکل (۲۸) سه ردیف از خطوط میدان الکتریکی را نشان می‌دهد. یک پروتون را از نقطه‌ی A رها می‌کنیم. در کدام حالت؟

۱) نیروی وارد بر پروتون بیشتر است؟

۲) شتاب پروتون بیشتر است؟



الف

ب

پ

شکل (۲۸)

(۳) پروتون با سرعت کمتری به نقطه‌ی B می‌رسد؟

پاسخ: (۱) در شکل الف، فاصله‌ی خطوط در نقطه‌ی A

از بقیه‌ی شکل‌ها کم‌تر است. بنابراین نیروی وارد بر پروتون در این حالت بیش‌تر از بقیه‌ی حالت‌هاست.

(۲) با توجه به رابطه‌ی $\vec{a} = \vec{F}/m$ ، در حالی که نیرو

بیشینه باشد، شتاب نیز بیشینه است.

(۳) حالت پ، زیرا در این حالت نیروی وارد بر پروتون در

مسیر A تا B نسبت به بقیه‌ی حالت‌ها کمتر است.

۲-۶- نیروی وارد بر بار الکتریکی در میدان الکتریکی

راهنمای تدریس: این بخش کاملاً نتیجه‌ی تعریف میدان

است. بنابراین مبحث جدیدی محسوب نمی‌شود.

فعالیت ۳-۲

۱- میدان الکتریکی را در اطراف دو بار الکتریکی منفی و هم‌اندازه رسم کنید.

۲- با توجه به ویژگی‌های خط‌های میدان الکتریکی، خط‌های میدان را از اطراف دو بار الکتریکی نقطه‌ای مثبت (۱) و منفی (۲) با فرض $|q_1| > |q_2|$ رسم کنید.

۳- بردار میدان الکتریکی را در چند نقطه روی شکلی که در مرحله‌ی ۲ رسم کرده‌اید، نشان دهید.

۴- نیروی وارد بر بار الکتریکی مثبت q' و نیز بار منفی q'' را که روی یک خط میدان واقع‌اند روی شکل مرحله‌ی ۲ رسم کنید.

۵- با توجه به تعریف میدان الکتریکی و ویژگی خط‌های میدان و با رجوع به شکل ۳-۱ نت برای میدان الکتریکی بگو: خواص، تعریف بیان کنید.

۲-۶-۱ نیروی وارد بر بار الکتریکی در میدان الکتریکی

اگر بار الکتریکی (۱) در میدان الکتریکی \vec{E} قرار گیرد، از طرف میدان بر آن نیرو وارد می‌شود. این نیرو از رابطه‌ی ۲-۶-۱ بدست می‌آید.

$$\vec{F} = q\vec{E} \quad (۲-۶-۱)$$

اگر (۱) مثبت باشد، \vec{F} و \vec{E} هم‌جهت‌اند اما اگر (۲) منفی باشد، \vec{F} در خلاف جهت \vec{E} خواهد بود.

مثال ۱-۳

ذره‌ای به جرم m و بار الکتریکی q را در میدان الکتریکی خارجی \vec{E} قرار می‌دهیم. شتاب حاصل از نیروی الکتریکی وارد بر این ذره را محاسبه کنید.

حل: با استفاده از رابطه‌ی ۲-۶-۱ داریم:

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


فعالیت ۲۲

قبلاً دیدیم که بارهای الکتریکی در اطراف خود میدان الکتریکی (\vec{E}) ایجاد می‌کند به گونه‌ای که اگر بار الکتریکی دیگری همانند q در آن میدان قرار گیرد، از طرف میدان الکتریکی بر آن نیرو (\vec{F}) وارد می‌شود. این نیرو در کدام جهت است؟ و اندازه‌ی آن از چه رابطه‌ای به دست می‌آید.

پاسخ: براساس تعریف میدان می‌توانیم بنویسیم؛

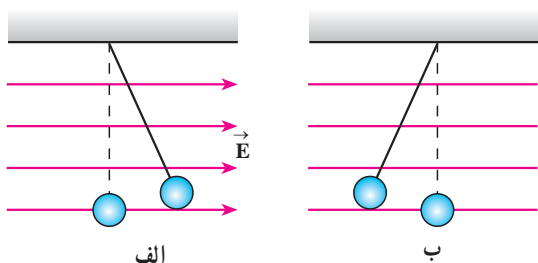
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

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

اگر بار q مثبت باشد ($q > 0$)، نیروی وارد بر بار q با میدان هم‌جهت است و اگر بار q منفی باشد ($q < 0$)،

نیرو در خلاف جهت \vec{E} بر آن وارد می‌شود.

فعالیت ۲۳



شکل (۲۹)

در شکل‌های روبه‌رو، دو آونگ الکتریکی باردار که در میدان الکتریکی یکنواخت قرار گرفته‌اند را نشان می‌دهد. در هر مورد با توجه به انحراف آونگ الکتریکی، نوع بار آونگ را تشخیص دهید.

مثال: کروی زمین دارای یک میدان الکتریکی جوی است. در روزهایی که هوا صاف است، شدت این میدان الکتریکی 10^6 N/C و جهت آن در امتداد قائم و رو به پایین است. با در نظر گرفتن این میدان الکتریکی و نیروی گرانشی، بزرگی و جهت شتاب یک ذره‌ی غبار به جرم $1.0 \times 10^{-18} \text{ kg}$ که حامل یک بار الکترون است، چه مقدار است.

$$F = qE = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C} \times 3.4 \times 10^5 \text{ N/C}$$

$$= 5.44 \times 10^{-14} \text{ N}$$

$$a = \frac{F}{m} = \frac{5.44 \times 10^{-14} \text{ N}}{9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}}$$

$$= 5.97 \times 10^{16} \text{ m/s}^2$$

مثال: در یک لامپ تلویزیون، الکترونی در میدان الکتریکی $3 \times 10^4 \text{ N/C}$ قرار دارد که بر اثر توزیع بارها روی صفحه‌های منحرف کننده‌ی لامپ، تولید شده است. جهت میدان الکتریکی در امتداد قائم و رو به بالاست. شتاب این الکترون چه مقدار است؟

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}, \vec{F} = q\vec{E} = (-e)\vec{E}$$

$$F = 1.6 \times 10^{-19} \times 3 \times 10^4 \text{ N}$$

$$F = 4.8 \times 10^{-15} \text{ N}$$

$$a = \frac{F}{m}$$

$$a = \frac{4.8 \times 10^{-15}}{9.1 \times 10^{-31}}$$

مثال: کروی زمین دارای یک میدان الکتریکی جوی است. در روزهایی که هوا صاف است، شدت این میدان الکتریکی 10^6 N/C و جهت آن در امتداد قائم و رو به پایین است. با در نظر گرفتن این میدان الکتریکی و نیروی گرانشی، بزرگی و جهت شتاب یک ذره‌ی غبار به جرم $1.0 \times 10^{-18} \text{ kg}$ که حامل یک بار الکترون است، چه مقدار است.

$$(g = 10 \text{ m/s}^2, e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C})$$

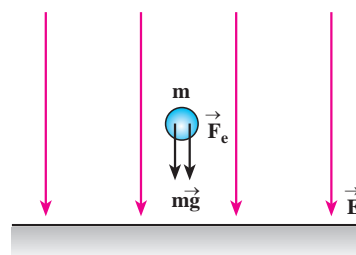
پاسخ:

$$\text{شتاب} = \frac{\text{نیروی برآیند}}{\text{جرم}}$$

$$a = \frac{mg + Fe}{m}$$

$$a = \frac{1.0 \times 10^{-18} \times 10 + 1.6 \times 10^{-19} \times 10^6}{1.0 \times 10^{-18}}$$

$$a = \frac{2.6 \times 10^{-17}}{1.0 \times 10^{-18}} = 26 \text{ m/s}^2$$



شکل (۳۰)

مثال: میدان‌های الکتریکی به بزرگی $3.4 \times 10^5 \text{ N/C}$ را به کمک هواپیماهایی که در ابری تندری پرواز می‌کنند، اندازه گرفته‌اند. نیروی وارد بر الکترونی که در چنین میدانی قرار

فعالیت ۲۴



با توجه به مفهوم میدان الکتریکی، توضیح دهید چرا وقتی یک میله‌ی باردار را به قطعات کوچک چوب پنبه نزدیک می‌کنیم، قطعه‌ها جذب می‌شوند؟

پاسخ: چوب پنبه دارای الکترون‌ها و پروتون‌های ناهمنام است که به‌طور یکنواخت در آن توزیع شده‌اند. در نتیجه بار خالص در هر جای چوب پنبه صفر است. هنگامی که یک جسم باردار مانند میله‌ی پلاستیکی را به چوب پنبه نزدیک می‌کنیم، الکترون‌ها و پروتون‌های چوب پنبه در میدان الکتریکی میله‌ی پلاستیکی قرار می‌گیرند. به پروتون‌ها در جهت میدان و الکترون‌ها، خلاف جهت میدان نیروی الکتریکی وارد می‌شود یعنی بار منفی میله، الکترون‌های چوب پنبه را دفع و پروتون‌های آن را جذب می‌کند و این امر سبب جابه‌جایی الکترون‌ها می‌شود. به این ترتیب قسمتی از چوب پنبه که به میله نزدیک‌تر است دارای بار مثبت و قسمت دورتر از میله دارای بار منفی می‌شود. توجه داریم بر طبق قانون پایستگی بار، بار کل چوب پنبه صفر است. بنابراین بار منفی القا شده با مقدار بار مثبت القا شده برابر است. فرض می‌کنیم میله‌ی پلاستیکی دارای بار q_1 است و به فاصله‌ی r از قسمت جلو چوب پنبه قرار دارد. (شکل ۳۱)

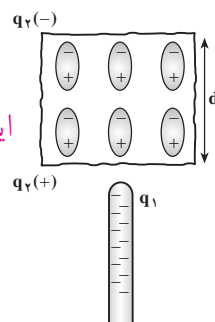
اگر بار القا شده در قسمت جلو $+q_p$ باشد، میله آن را با نیروی $F_e = +k \frac{q_1 q_p}{r^2}$ جذب می‌کند.

در همین لحظه، میله‌ی بار القاء شده $-q_p$ در قسمت عقب چوب پنبه را دفع می‌کند. اگر فاصله‌ی بار q_1 با $-q_p$ برابر $r+d$ باشد. می‌توانیم بنویسیم؛

$$F_e' = k \frac{q_1 q_p}{(r+d)^2}$$

که این نیرو از F_e کمتر است. بزرگی نیرویی که بر چوب پنبه وارد می‌شود، با تفاضل

این دو نیرو برابر است؛



شکل (۳۱)

$$\begin{aligned} F &= F_e + F_e' = k \frac{q_1 q_p}{r^2} - k \frac{q_1 q_p}{(r+d)^2} \\ &= k q_1 q_p \frac{r d + d^2}{r^2 (r+d)^2} \end{aligned}$$

دانستنی

اندازه‌گیری بار الکترون

در این دانستنی؛ در مورد اندازه‌گیری بار بنیادی e توسط میلیکان، توضیح داده شده است.

دانستنی

فرو ریزش الکتریکی و جرقه‌زنی

در این دانستنی؛ در مورد فرو ریزش الکتریکی در هوا، براساس بزرگی میدان الکتریکی توضیح داده می‌شود و علت گسیل نور و تولید صدا در این فرایند، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۷-۲- توزیع بار الکتریکی در یک جسم

وقتی به یک جسم بار الکتریکی داده می‌شود، بسته به این که جسم رسانا یا نارسانا باشد بار به دو شکل متفاوت در آن توزیع می‌شود. حتی در جسم رسانا نیز، نحوه‌ی توزیع بار در نقاط نوک تیز با بقیه نقاط فرق می‌کند. با انجام فعالیت‌های زیر می‌توانیم به توزیع بار در یک جسم پی ببریم.

$$F = r \times 10^{-9} \times 2 \times 10^{-7}$$

$$F = 8 \times 10^{-17} \text{ N}$$

$$a = \frac{F}{m}$$

$$a = \frac{8 \times 10^{-17}}{2 \times 10^{-30}}$$

$$a = 4 \times 10^{13} \text{ m/s}^2$$

مثال‌های حل شده نشان می‌دهند که میدان الکتریکی در یک نقطه، به عامل‌های مختلفی بستگی دارد. اندازه‌ی بار الکتریکی، نحوه‌ی توزیع بار الکتریکی و فاصله‌ی نقطه‌ی مورد نظر از جسم باردار، از جمله‌ی این عامل‌ها هستند.

۷-۲- توزیع بار الکتریکی در یک جسم

الف- جسم نارسانا: وقتی به یک جسم نارسانا بار الکتریکی داده می‌شود، بار در محل داده شده به جسم باقی می‌ماند و در جسم جابه‌جا نمی‌شود.
ب- جسم رسانا: بر خلاف جسم نارسانا، وقتی به یک جسم رسانا بار الکتریکی داده می‌شود، آن بار الکتریکی در محل داده شده ساکن نمی‌ماند و در جسم رسانا توزیع می‌شود. برای بیرون به جگونگی توزیع بار در جسم رسانا، آزمایش ۳-۲ را انجام دهید.

آزمایش ۳-۲

وسایلهای آزمایش: یک ظرف فلزی کوچک دردار (مانند یک قوطی فلزی)، یک آونگ الکتریکی، الکتروسکوپ، وسیله‌ی باردار کردن مانند میله‌ی پلاستیکی و تسترهای و پارچه‌ی پشمی و ابریشمی.
شرح آزمایش:
۱- در وسط در طرفه فلزی سوراخ کوچکی ایجاد کنید؛ به طوری که آونگ الکتریکی از آن عبور کند.
۲- ظرف را روی پایه‌ی عایقی قرار داده و به آن بار الکتریکی بدهید.
۳- آونگ الکتریکی بدون بار را بدون تماس با بدنه‌ی ظرف، از سوراخ دهانه

۷۱

فعالیت ۲۵



قسمتی از یک میله‌ی عایق (مثلاً میله‌ی پلاستیکی) را توسط مالش با یک پارچه باردار می‌کنیم و سپس قسمت‌هایی از میله را که بارداریست به الکتروسکوپ باردار نزدیک می‌کنیم، الکتروسکوپ انحرافی را نشان نمی‌دهد. اما قسمت مالش داده شده را نزدیک کنیم، انحراف، نشان می‌دهد. از این آزمایش چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟
پاسخ: بار در محل داده شده به جسم باقی می‌ماند و در جسم جابه‌جا نمی‌شود.

فعالیت ۲۶



یک کره‌ی فلزی توپُر بدون بار که دارای دسته‌ی عایقی است را توسط یک مازیک یا روان نویس به دو قسمت تقسیم می‌کنیم و سپس یک قسمت آن را به کلاهک مولد و اندوگراف تماس می‌دهیم. قسمتی که با مولد در تماس نبود را به یک الکتروسکوپ باردار نزدیک می‌کنیم. الکتروسکوپ انحراف نشان می‌دهد. قسمت تماس داده شده را به الکتروسکوپ نزدیک می‌کنیم. باز هم الکتروسکوپ انحراف نشان می‌دهد. از این آزمایش چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟
پاسخ: بار داده شده به جسم رسانا در محل داده شده ساکن نمانده است و در جسم توزیع شده است.

را توسط نخ عایق آن خارج کنید.

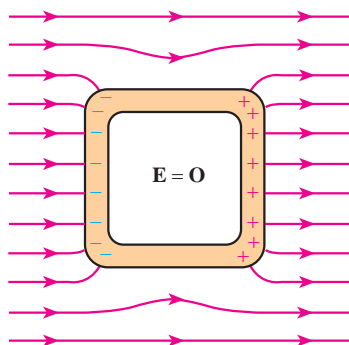
۵- آونگ را روی الکتروسکوپ بدون بار قرارداده و انحراف آن را مشاهده کنید.

از این آزمایش چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

اگر آزمایش با دقت انجام شود در حالت ۳، الکتروسکوپ انحراف نشان می‌دهد یعنی ظرف فلزی باردار شده است و در حالت ۵، الکتروسکوپ انحرافی را نشان نمی‌دهد یعنی آونگ همه‌ی بار خود را به ظرف فلزی داده است.

نتیجه: بار داده شده به ظرف فلزی، در سطح خارجی آن توزیع شده است.

توجه: از این نتیجه برای حفاظت الکتروستاتیکی استفاده می‌شود. فرض کنید یک دستگاه حساس الکترونیکی داریم و می‌خواهیم آن را از میدان الکتریکی مزاحم مانند میدان الکترون‌های سرگردان که ممکن است عامل بروز خطا در اندازه‌گیری شوند، حفظ کنیم. دستگاه را درون یک جعبه‌ی رسانا قرار می‌دهیم، یا با ورقه‌ی نازکی از ماده‌ی رسانایی مانند مس، دیوارها، کف و سقف اتاقی را که دستگاه درون آن قرار دارد می‌پوشانیم. میدان الکتریکی خارجی نحوه‌ی توزیع الکترون در پوشش رسانا را تغییر می‌دهد، در بعضی از جاها فقط بار مثبت و در برخی جاها فقط بار منفی جمع می‌شود.



شکل (۳۲)

این نحوه‌ی توزیع بار یک میدان الکتریکی جدید ایجاد می‌کند به طوری که میدان کل در هر نقطه‌ی درون جعبه یا اتاق حفاظدار صفر شود. توزیع بار در حفاظ، شکل خطوط میدان در مجاورت جعبه را نیز تغییر می‌دهد چنین مجموعه‌ای را قفس فارادی نیز می‌نامند.



آزمایش‌هایی مانند آن که شما انجام دادیم، نشان می‌دهد که بار الکتریکی درون جسم رسانا باقی نمی‌ماند. تمام بار الکتریکی داده شده به جسم رسانا به سطح خارجی آن می‌رود و در آنجا توزیع می‌شود.

فعالیت ۴-۳
در جسم رسانا، الکترون‌های آزاد می‌توانند جابه‌جا شوند، یا بحت در گروه خود برای پرسش زیر، پاسخ مناسبی تهیه کنید و آن را به کلاس گزارش دهید.
با توجه به این که در جسم جامد بارهای الکتریکی مثبت جابه‌جا نمی‌شوند، در این باره توضیح دهید؛ وقتی به یک جسم رسانا بار الکتریکی مثبت یا منفی داده می‌شود، این بارهای الکتریکی چگونه در جسم جابه‌جا شده و به سطح خارجی آن می‌روند؟

۷۲

برای پی‌بردن به چگونگی توزیع بار در جسم رسانا از گروه‌ها می‌خواهیم آزمایش ۲-۳ یا آزمایش‌های معادل را انجام دهند.

آزمایش معادل

وسایل موردنیاز؛ ظرف فلزی دردار مثلاً قوطی روغن نباتی کوچک، آونگ الکتریکی، الکتروسکوپ، پارچه و میله.
۱- آونگ الکتریکی را باردار کنید (توسط پارچه و میله یا مولد واندوگراف) و از باردار شدن آن توسط الکتروسکوپ مطمئن شوید.

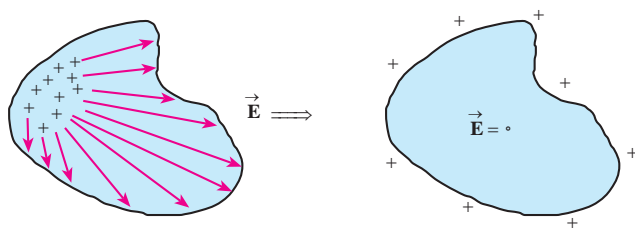
۲- ظرف فلزی را روی الکتروسکوپ بدون بار قرار دهید و سپس درب آن را توسط یک جسم عایق بردارید.

۳- آونگ الکتریکی را درون ظرف فلزی قرار داده و سپس درب آن را بگذارید و به انحراف ورقه‌های الکتروسکوپ توجه کنید.

۴- درب فلزی را توسط یک جسم عایق برداشته و آونگ

فعالیت ۲-۴

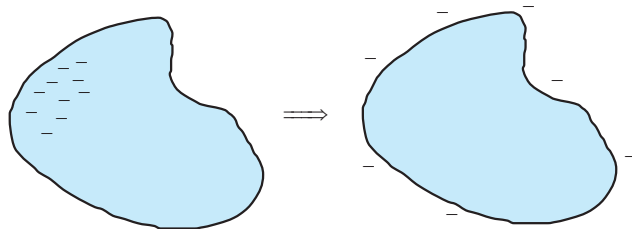
در جسم، جابه‌جا نمی‌شوند. در همین حال این بارهای مثبت، بارهای منفی را نیز جذب می‌کنند و این بارها به طرف آن‌ها حرکت می‌کنند.



شکل (۳۴)

یعنی میدانی که بارهای مثبت ایجاد کرده‌اند، سبب وارد شدن نیروی الکتریکی به الکترون و جابه‌جایی آن می‌شود. این جابه‌جایی آن قدر ادامه می‌یابد تا میدان الکتریکی درون رسانا صفر شود. در این حالت یک توزیع بار مثبت در سطح خارجی جسم رسانا داریم.

وقتی به یک جسم رسانا بار الکتریکی منفی (الکترون‌های اضافی) داده می‌شود این بارها در اثر نیروی دافعه‌ی الکتریکی، یکدیگر را دفع می‌کنند و تقریباً در دورترین فاصله از یکدیگر قرار می‌گیرند (در سطح خارجی جسم رسانا). لازم به یادآوری است این بارهای منفی بارهای + را نیز جذب می‌کنند اما به علت وابستگی و مقید بودن این بارها، آن‌ها جابه‌جا نمی‌شوند.



شکل (۳۳)

وقتی یک جسم رسانا بار الکتریکی مثبت پیدا می‌کند (کمبود الکترون در یک منطقه از جسم). این بارها در اثر نیروی دافعه الکتریکی، یکدیگر را دفع می‌کنند، اما به علت مقید بودن

دانشتنی



رساناها و عایق‌ها

در این دانشتنی؛ رساناها، نارساناها، نیم‌رساناها و ابررساناها براساس الکترون‌های رسانش، بررسی می‌شوند.

دانشتنی



آلودگی میکروبی حین جراحی درون بینی (آندوسکوپی)

در این دانشتنی؛ آلودگی صفحه‌های نمایش یک نمایشگر ویدئویی، براساس جاذبه‌ی الکتریکی و سپس انتقال آن به انگشتان جراح، توضیح داده می‌شود.

مولد و اندوگراف

راهنمای تدریس: ابتدا مولد و اندوگراف را به عنوان

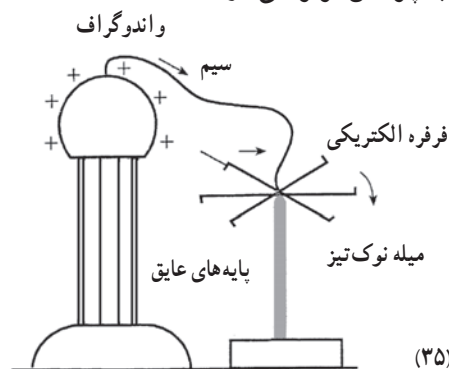
دستگاه مولد بار الکتریکی معرفی می‌کنیم و دستگاه و اندوگراف را در اختیار دانش‌آموزان قرار می‌دهیم تا با آن آشنا شوند و نحوه کار آن را ببینند. سپس از آن‌ها می‌خواهیم تا نحوه باردار شدن دستگاه را از روی کتاب بخوانند و در گروه بحث کنند. بعد از انجام این مرحله، از بعضی از گروه‌ها می‌خواهیم تا نحوه باردار شدن دستگاه را برای کلاس توضیح دهند. بعد از انجام مراحل فوق، چند آزمایش توسط و اندوگراف انجام می‌دهیم و دلایل آن‌چه مشاهده می‌شود را از دانش‌آموزان می‌خواهیم.

توجه: در مبحث و اندوگراف بیشتر معرفی این دستگاه به عنوان مولد الکتریسیته و استفاده‌ی آن در آزمایش‌های الکتریسیته است. از درگیر کردن بیش از حد دانش‌آموز با خود دستگاه و جزئیات آن پرهیز نمایید.

آزمایش‌های پیشنهادی

الف) مطابق شکل (۳۵) فرفره فلزی را روی سوزن نوک تیز قرار داده و توسط سیم به مرکز فرفره را به کلاهک و اندوگراف وصل می‌کنیم. با روشن کردن و اندوگراف، فرفره شروع به چرخش می‌کند و در جهت نشان داده شده می‌چرخد. علت را توضیح دهید.

پاسخ: مولکول‌های هوا وقتی به نوک تیز فرفره که تراکم بار در آن‌جا زیاد است، برخورد می‌کند، یونیزه می‌شود و نوک فرفره این مولکول‌های یونیزه را به عقب می‌راند. طبق قانون سوم نیوتون مولکول نیز به فرفره نیرویی در خلاف جهت، وارد می‌کند که سبب چرخش فرفره می‌شود.



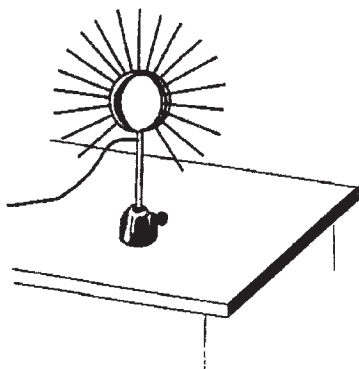
شکل (۳۵)



شکل (۳۶)

ب) سر چند نخ را در یک فیش فلزی مخصوص محکم می‌کنیم و یا نخ‌ها را دور حلقه‌ی فلزی وصل می‌کنیم و سپس آن را به کلاهک و اندوگراف وصل کرده و دستگاه را روشن می‌کنیم. در این حالت نخ‌ها از هم باز شده و به صورت شعاعی در می‌آیند. علت را توضیح دهید.

پ) وسایل مورد نیاز: استوانه‌ی شفاف، گلوله‌های سبک رسانا، استوانه‌ی شفاف دارای دو قاعده‌ی رسانا. گلوله‌ها را درون استوانه قرار می‌دهیم. وقتی استوانه به کلاهک دستگاه وصل می‌شود، گلوله‌ها شروع به حرکت رفت و برگشت به بالا و پایین می‌کنند. پس از مدتی گلوله‌ها به حالت معلق در می‌آیند. علت را توضیح دهید.

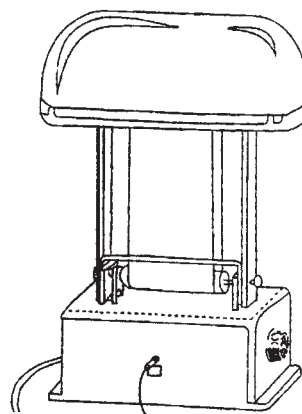
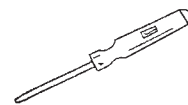


پاسخ: وقتی استوانه به کلاهک وصل می‌شود، قاعده‌ی پایینی و گلوله‌ها دارای بار الکتریکی همانم می‌شوند، در نتیجه گلوله به طرف بالا پرتاب می‌شوند. با برخورد به قاعده‌ی بالایی، بار خود را به قاعده‌ی بالایی داده می‌افتند و دوباره باردار شده و به بالا پرتاب می‌شوند. این عمل آن قدر ادامه پیدا می‌کند تا دو صفحه هم پتانسیل شوند در این حالت گلوله‌ها به حالت معلق در استوانه در می‌آیند.



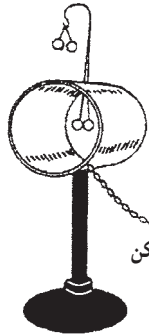
شکل (۳۷)

ت) وسایل: لامپ مهتابی یا فازمتر
اگر یک لامپ نئون (مهتابی) یا فازمتر را به کلاهک واندوگراف روشن که به اندازه‌ی کافی بار در آن جمع شده باشد، نزدیک کنیم، لامپ یک لحظه روشن می‌شود و سپس خاموش می‌گردد و این عمل تکرار می‌شود [یک سیم رابط را از واندوگراف به یک سر لامپ وصل کرده و سر دیگر لامپ را به کمک سیم رابط به زمین متصل می‌کنیم. با روشن کردن واندوگراف یا چرخاندن آن لامپ روشن می‌شود].
ث) اگر استوانه‌ی فارادی را به کلاهک واندوگراف وصل



شکل (۳۸)

کنیم و سپس واندوگراف را روشن کنیم، آونگ دوگانه‌ی درون استوانه (گلوله‌های سبک) هیچ حرکتی پیدا نمی‌کنند. اما در سطح خارجی آن، آونگ دوگانه از هم فاصله پیدا می‌کنند. علت را توضیح دهید از این آزمایش چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟



به طرف ماشین مولد الکتریسیته ساکن

استوانه فارادی با زوج آونگ‌های داخلی و خارجی

شکل (۳۹)

پاسخ: این آزمایش نشان می‌دهد بار الکتریکی داده شده به استوانه در سطح خارجی آن توزیع شده است و به همین دلیل آونگ داخلی از هم باز نشده است. البته می‌توان این نتیجه را توسط صفحه‌ی آزمون تأیید کرد.
چه اصولی را باید رعایت کنیم تا بار مولد واندوگراف بیشینه باشد

۱- جاروبک‌ها هنگام چرخش دستگاه با سطح بیرونی تسمه مالش خیلی جزئی داشته باشند.
۲- تسمه علاوه بر غلتش روی غلتک‌ها، اندکی لغزش هم داشته باشد (تسمه نه زیاد شل و نه زیاد محکم باشد).
۳- تسمه و غلتک‌ها باید کاملاً تمیز باشند (می‌توان با الکل آن‌ها را پاک کرد).

۴- پهنای تسمه با پهنای غلتک‌ها یکسان باشد.
۵- تسمه نباید سیاه رنگ باشد زیرا امکان دارد دارای کربن باشد. واجسام با ترکیب‌های کربنی می‌توانند رسانا باشند.
۶- سرعت چرخش موتور حداکثر زیادتر باشد.
۷- در روزهای گرم و مکان‌های با رطوبت زیاد نتیجه‌ی کار دستگاه (مثل سایر آزمایش‌های الکتریسیته ساکن) مناسب نمی‌تواند باشد.

رسوب دهنده‌ی الکتروستاتیکی

دانش‌آموزان در سال سوم راهنمایی با رسوب دهنده‌ی الکتروستاتیکی آشنا شده‌اند. به نظر می‌رسد با طرح فعالیت ۲۷ می‌توانیم دانش‌آموزان را به سمت طراحی وسایلی هدایت کنیم که آلودگی هوا را با استفاده از مفاهیم الکتروسیسته، کاهش دهد.

مطالعه‌ی آزاد

رسوب دهنده‌ی الکتروستاتیکی

رسوب دهنده‌ی الکتروستاتیکی، دود و غبار را از گازهای زیادی که از دودکش کارخانه‌ها و نیروگاه‌ها بالا می‌رود، جدا می‌سازد. شکل زیر چگونگی کار یک رسوب دهنده را نشان می‌دهد. توری سیمی را به مقدار زیاد باردار می‌کنند، به گونه‌ای که تخلیه‌ی الکتریکی پیوسته‌ای بین توری و تیغه‌های فلزی متصل به زمین روی دهد. 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.

سین ذره‌های باردار غبار از تور سیمی دفع شده و به سوی تیغه‌های متصل به زمین رانده می‌شوند و در آنجا رسوب می‌کنند. پس از مدتی این تیغه‌ها را با زمین ضربه می‌تکانند تا ذره‌های غبار و دود از دودکش باین پرزده و در آنجا این ذره‌ها را جمع می‌کنند.

دودکش این کارخانه در هر دو عکس مورد بهره‌برداری است ولی در عکس پایین دستگاه رسوب دهنده‌ی الکتروستاتیکی کار می‌کند.

شکل ۳-۳۴

فعالیت ۲۷



سوختن زغال سنگ، نفت، گاز و ... در کارخانه‌ها و نیروگاه‌ها مقدار زیادی خاکستر و دود و غبار تولید می‌کند که موجب مشکلات زیست محیطی می‌شود. چگونه می‌توانید با استفاده از مفاهیم الکتروسیسته‌ی ساکن، دستگاهی را طراحی کنید تا دود و غبار را از گازهای زاید کارخانه‌ای جدا کنند؟

سنگ یا ... است اشاره کنند.

(ب) چرا ذره‌های باردار غبار به سمت صفحه‌های متصل به زمین جذب می‌شوند؟

(پ) چگونه می‌توان گازهای زائد را نیز حذف کرد؟

بعد از انجام این فعالیت و ارائه گزارش گروه‌های منتصب

از گروه‌ها می‌خواهیم تا رسوب دهنده‌ی الکتروستاتیکی را مطالعه کنند و از یکی دو گروه می‌خواهیم تا نحوه‌ی عملکرد آن را برای کلاس توضیح دهند و به سؤال زیر پاسخ دهند؛

(الف) به چند مشکل زیست محیطی که پیامد سوختن زغال

چگالی سطحی بار الکتریکی

وقتی به یک جسم فلزی (رسانا) بار الکتریکی داده می‌شود، بار الکتریکی بر روی سطح آن توزیع می‌گردد. اگر این جسم به شکل متقارن نباشد (همانند اغلب اجسام فلزی)، توزیع بار الکتریکی بر روی آن نیز، یکنواخت نخواهد بود. با معرفی کمیت «چگالی سطحی بار»، نحوه‌ی توزیع بار بر روی فلزات را بررسی می‌کنیم.

چگالی سطحی بار الکتریکی: دسیم که بار الکتریکی داده شده به یک جسم رسانا، در سطح خارجی آن توزیع می‌شود. بنا به تعریف، بار الکتریکی موجود در واحد سطح جسم را چگالی سطحی بار الکتریکی می‌نامند.
اگر بار الکتریکی جسم برابر Q و مساحت سطحی که بار روی آن توزیع شده A باشد، چگالی سطحی بار - که با نماد σ (سیگما) نشان داده می‌شود - از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$\sigma = \frac{Q}{A} \quad (۱۴-۲)$$

در S.I. بار الکتریکی بر حسب کولن و مساحت بر حسب مترمربع است. در نتیجه، یکای چگالی سطحی بار، کولن بر مترمربع خواهد بود.

مثال ۱۱-۲

الف - به یک کره‌ی رسانا به قطر 2 cm بار الکتریکی $125\text{ }\mu\text{C}$ داده شده است. چگالی سطحی بار کره را حساب کنید.

ب - اگر همین بار به کره‌ای به قطر 2 m داده شود، چگالی سطحی بار آن چه قدر می‌شود؟

حل:

الف - مساحت سطح خارجی کره‌ای به شعاع R از رابطه‌ی $A = 4\pi R^2$ بدست می‌آید:

$$A = 4\pi R^2$$

$$R = \frac{d}{2} = 1\text{ cm} = 10^{-2}\text{ m}$$

$$A = 4\pi (10^{-2})^2 = 1.256 \times 10^{-3}\text{ m}^2$$

با استفاده از رابطه‌ی ۱۴-۲ داریم:

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

$$\sigma = \frac{125 \times 10^{-6}}{1.256 \times 10^{-3}} = 9.95 \times 10^{-2} \frac{\text{C}}{\text{m}^2} = 99.5 \frac{\mu\text{C}}{\text{m}^2}$$

$$\frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{A_1}{A_2} = \left(\frac{R_1}{R_2}\right)^2$$

$$\frac{\sigma_2}{99.5} = \left(\frac{1}{100}\right)^2$$

$$\sigma = 1 \frac{\mu\text{C}}{\text{m}^2}$$

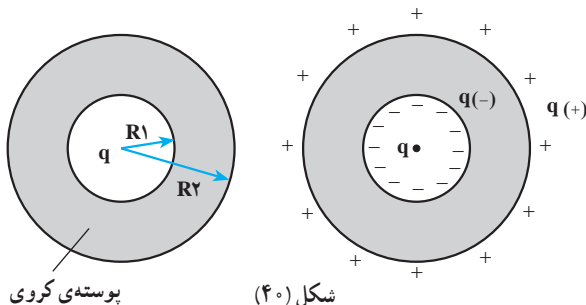
فعالیت ۲۸



آزمایش نشان می‌دهد در بسیاری از موارد، بار داده شده به یک جسم در سطح آن توزیع می‌شود. برای به دست آوردن اطلاعات دقیق‌تر از چگونگی توزیع بار در سطح یک جسم، چگالی سطحی بار الکتریکی را تعریف می‌کنیم. آیا می‌توانید با توجه به تعریف چگالی که در سال دوم خوانده‌اید، تعریفی برای چگالی سطحی بار الکتریکی ارائه کنید؟ در این تعریف به دو کمیت بار الکتریکی و سطح توجه کنید.

پاسخ: انتظار نداریم که گروه‌ها بتوانند پاسخی از تعریف چگالی سطحی بار الکتریکی ارائه کنند. هدف درگیر کردن دانش‌آموزان و سعی کردن آن‌ها برای تعریف یک کمیت جدید است.

است. اگر شعاع داخلی این پوسته 4 cm و خارجی آن 8 cm است. چگالی سطحی بار الکتریکی را در سطح داخلی و خارجی محاسبه کنید.



بعد از انجام فعالیت ۲۸، و ارائه‌ی گزارش گروه‌های منتخب، تعریف چگالی سطحی بار الکتریکی ارائه شده و چند مثال برای آن می‌آوریم.

بعد از انجام چند مثال ساده، مثال زیر را پیشنهاد می‌کنیم.

مثال: بار $q = +8\text{ }\mu\text{C}$ در مرکز یک پوسته‌ی کروی فلزی قرار دارد در اثر القا بار الکتریکی غیرهمنام در سطح داخلی و همنام در سطح خارجی ظاهر می‌شود که اندازه‌ی آن‌ها نیز $8\text{ }\mu\text{C}$

پاسخ: بر روی پوسته‌ی داخلی بار منفی و بر روی پوسته‌ی خارجی بار مثبت القا شده است با توجه به تعریف چگالی سطحی بار الکتریکی می‌توانیم بنویسیم:

$$\sigma_{\text{خارجی}} = \frac{q_{\text{خارجی}}}{\text{مساحت سطح خارج}} = \frac{+8 \times 10^{-6}}{4\pi \times (8 \times 10^{-2})^2} = 9/9 \times 10^{-5} \text{ C/m}^2$$

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، با این که بار القاء شده بر روی هر دو سطح یکسان است. اما اندازه‌ی چگالی بار الکتریکی در سطح داخلی چهار برابر سطح خارجی است.

$$\sigma_{\text{داخلی}} = \frac{q_{\text{داخلی}}}{\text{مساحت سطح داخلی}} = \frac{-8 \times 10^{-6}}{4\pi \times (4 \times 10^{-2})^2} = 3/9 \times 10^{-4} \text{ C/m}^2$$

فعالیت ۲۹



قسمتی از یک میله‌ی عایق را توسط مالش با یک پارچه، باردار می‌کنیم و سپس قسمت‌هایی از میله را که مالش داده شده، به الکتروسکوپ باردار نزدیک می‌کنیم. الکتروسکوپ انحرافی را نشان نمی‌دهد. اما اگر قسمت مالش داده شده را نزدیک کنیم، انحراف نشان می‌دهد. از این آزمایش چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

پاسخ: این آزمایش نشان می‌دهد که بار ایجاد شده در عایق، در محل ایجاد بار باقی می‌ماند یعنی چگالی بار در یک منطقه بسیار زیاد و در بقیه‌ی مناطق تقریباً صفر است. از فعالیت‌های اخیر نتیجه می‌گیریم، در اجسام نارسانا بارهای الکتریکی قادر به حرکت نیستند و در مکان اولیه‌ی خود می‌مانند، اما در اجسام رسانا همواره بارهای الکتریکی بر سطح خارجی آن پخش می‌شود.

آزمایش ۴-۲

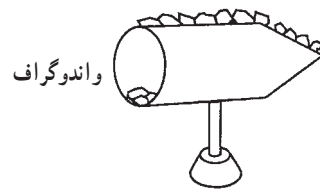
در جسمی مانند کره‌ی فلزی که سطح خارجی آن متقارن است، چگالی سطحی بار در همه جای آن یکسان است، اما در جسم‌هایی که سطح خارجی متقارن ندارند چگالی سطحی بار در همه جای سطح خارجی یکسان نیست. آزمایش ۴-۲ یا آزمایش‌های معادل آن را انجام دهید تا به چگونگی توزیع بار در اجسام رسانا پی ببرید.

آزمایش معادل ۴-۲

وسایل: مخروط فلزی تو خالی (مانند شکل)، براده‌های کاغذ، مولد و اندوگراف
مولد و اندوگراف: تکه‌های کاغذ سبک را داخل و بیرون مخروط فلزی قرار دهید و آن را به مولد و اندوگراف وصل کنید. تکه‌های کاغذ در کدام قسمت از بقیه‌ی قسمت‌ها بیشتر پرتاب می‌شوند؟ تکه‌های کاغذ در کدام قسمت، پرتاب نمی‌شوند؟ از این آزمایش چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟



با انجام آزمایش ۲-۴ یا معادل آن دانش‌آموزان نتیجه می‌گیرند که «جگالی سطحی بار در نقاط نوک تیز یا برجسته از سایر مکان‌ها بیشتر است».



شکل (۴۱)

۸-۲- انرژی پتانسیل الکتریکی

ایجاد انگیزه: احتمالاً دانش‌آموزان با دستگاه الکتروکاردیوگرام که توسط آن نوار قلبی تهیه می‌شود آشنا هستند. این دستگاه اطلاعات را به شکل نمودار از طرحی که دائماً در هر ضربان قلب تکرار می‌شود، روی کاغذ رسم می‌کند. آیا می‌دانید این نمودارها تغییرات پتانسیل بین الکترودهای وصل شده به بدن بر حسب زمان هستند. یعنی این دستگاه دائماً اختلاف پتانسیل الکتریکی بین نقاط خاص از بدن را اندازه‌گیری و ثبت می‌کند. پس شناسایی عمیق کمیت اختلاف پتانسیل الکتریکی از اهمیت خاصی برخوردار است و برای رسیدن به این درک ابتدا از مطالعه‌ی انرژی پتانسیل الکتریکی شروع می‌کنیم.

فعالیت ۳۰

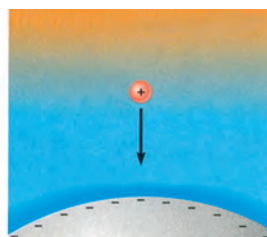


به شکل‌های (۴۲- الف و ب) توجه کنید. شکل (۴۲-۴۲)

الف) مربوط به شخص چتربازی است که با سرعت ثابت سقوط می‌کند. شکل ب مربوط به ذره‌ی باردار مثبتی با جرم ناچیز است که با سرعت ثابت در میدان الکتریکی یکنواختی رو به پایین حرکت می‌کند.



الف



ب

شکل (۴۲)

الف) در مورد نوع حرکت و تغییرات انرژی پتانسیل گرانشی و جنبشی جسمی به جرم m که در شرایط خلأ در مجاورت زمین سقوط می‌کند بحث کنید.

ب) نیروهای وارد بر چتر باز را رسم کنید.

پ) وقتی چتر باز h متر سقوط می‌کند آیا انرژی پتانسیل گرانشی او کاهش می‌یابد؟

ت) وقتی چتر باز h متر سقوط می‌کند آیا انرژی جنبشی او افزایش می‌یابد؟

ث) آیا می‌توان گفت کاهش انرژی پتانسیل گرانشی چتر باز با افزایش انرژی درونی خودش و هوای اطراف

برابر است؟

۸-۲- انرژی پتانسیل الکتریکی

در کتاب فیزیک ۲ و آزمایشگاه با انرژی پتانسیل گرانشی آشنا شدید و دیدید که با صرف انرژی و انجام کار، می‌توان جسمی به جرم m را از سطح زمین تا ارتفاع h بالا برد. انرژی‌ای که صرف بالا بردن جسم (با سرعت ثابت) شده است، به صورت انرژی پتانسیل گرانشی ($U = mgh$) در آن ذخیره می‌شود. با انرژی پتانسیل گرانشی آشنا شدید و دیدید که وقتی قتری را به آرامی فشرده می‌کنیم یا می‌کشیم، کار انجام شده به صورت انرژی پتانسیل کشسانی در فنر ذخیره می‌شود. در این جا می‌خواهیم با انرژی پتانسیل الکتریکی پیش‌تر آشنا شویم.

در بخش ۱-۲ دیدید که دو ذره‌ی باردار بر یکدیگر نیرو وارد می‌کنند. همان‌طور که در کتاب فیزیک ۲ و آزمایشگاه دیدیم، وقتی دو ذره‌ی باردار را که بار هم‌نام دارند با سرعت ثابت به یکدیگر نزدیک می‌کنیم، برای غلبه بر نیروی رانشی آن‌ها باید کار انجام دهیم و یا اگر بخواهیم دو ذره‌ی باردار را که بار غیر هم‌نام دارند با سرعت ثابت از هم دور کنیم، باز هم باید کار انجام دهیم. کار انجام شده به صورت انرژی پتانسیل الکتریکی در بارهای الکتریکی ذخیره می‌شود.

مثال ۱۲-۲

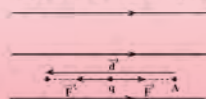
ذره‌ای با بار الکتریکی مثبت q را با سرعت ثابت در میدان الکتریکی یکنواخت (یعنی میدانی که بردار میدان در همه‌جای آن یکسان است) E ، در خلاف جهت میدان و به موازات خط‌های میدان به اندازه‌ی d جابه‌جا می‌کنیم. برای این جابه‌جایی، چه مقدار کار باید انجام دهیم؟

حل: میدان الکتریکی برابر مثبت q ، نیروی برابر $F = qE$ و در جهت میدان وارد می‌کند. برای آن که ذره‌ی q را با سرعت ثابت در خلاف جهت میدان جابه‌جا کنیم، باید به آن نیروی برابر $F' = qE$ و در خلاف جهت میدان - یعنی در جهت جابه‌جایی - وارد کنیم (شکل ۳۷-۲). بنابراین، زاویه بین نیروی که ما وارد می‌کنیم (یعنی نیروی F') و جابه‌جایی (d) برابر صفر است. کاری که ما انجام می‌دهیم، برابر است با:

$$W = F' \cdot d \cdot \cos \alpha$$

$$W = q \cdot E \cdot d \cdot \cos(\pi)$$

$$W = -q \cdot E \cdot d$$



شکل ۳۷-۲

(ج) آیا می‌توان گفت کار نیرویی که چتر باز را با سرعت ثابت تا ارتفاع h متری زمین برده برابر با انرژی پتانسیل گرانشی چتر باز در ارتفاع h متری است؟

(چ) اگر یک ذره‌ی باردار مثبت در یک میدان الکتریکی یکنواخت رها شود چه نوع حرکتی خواهد داشت؟

(ح) نیروهای وارد بر ذره‌ی باردار در شکل (ب) را رسم کنید و بزرگی هریک را مشخص کنید.

(خ) اگر ذره‌ی باردار با همین شرایط و با سرعت ثابت ولی رو به بالا (یعنی در خلاف جهت میدان) جابه‌جا شود

آیا می‌توان گفت نیروی رو به بالای وارد بر ذره کار انجام داده است؟

(د) کار انجام شده توسط این نیرو با کدام انرژی برابر است؟

پاسخ:

الف) حرکت آن تندشونده و با شتاب ثابت است. پس لحظه به لحظه به سرعت و در نتیجه انرژی جنبشی آن

افزوده می‌شود و چون از ارتفاع آن کاسته می‌شود پس انرژی پتانسیل گرانشی آن کم می‌شود و چون حرکت جسم در

خلأ است افزایش انرژی جنبشی آن دقیقاً با کاهش انرژی پتانسیل گرانشی‌اش برابر است.

(ب)

(پ) بله

(ت) خیر

(ث) بله و به عبارتی با کار نیروی مقاومت هوا برابر است.

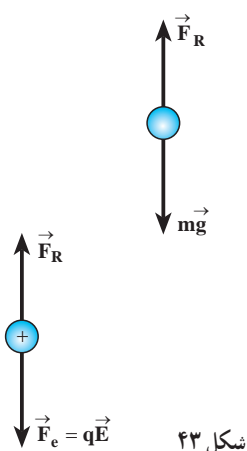
(ج) بله

(چ) حرکت آن تندشونده با شتاب ثابت است.

$$\left. \begin{array}{l} F_e = qE \\ F_R = F_e \end{array} \right\} \Rightarrow F_R = qE$$

(خ) بله

(د) انرژی پتانسیل الکتریکی



شکل ۴۳

سپس نیروی وارد از طرف میدان را رسم کنند.

از دانش‌آموزان می‌خواهیم بزرگی F' را طوری تعیین

کنند تا ذره با سرعت ثابت حرکت کند. می‌توانیم وضعیت حرکت

ذره را با یادآوری قانون اول نیوتن توضیح دهیم. سپس از

دانش‌آموزان می‌خواهیم کارنیروی F' را در جابه‌جایی d متری

ذره محاسبه و آن را با کار نیرویی که جسمی به جرم m را h متر

در راستای قائم بالا می‌برد مقایسه کنند.

از دانش‌آموزان می‌خواهیم متن بالای صفحه را همراه با

گروه خود مطالعه کنند.

تعمیم مثال ۲-۱۲: از دانش‌آموزان می‌خواهیم یک

میدان الکتریکی یکنواخت رسم کنند و در آن نقطه‌ای را به عنوان

یک ذره‌ی باردار مثبت در نظر بگیرند. سپس نیرویی که از طرف

توجه: مثال ۲-۱۲ دارای موضوع مهم درسی است و

بهتر است در حل و بحث آن خودمان به صورت گام به گام شرکت

داشته باشیم.

– قبل از پرداختن به این مثال لازم است قانون‌های اول و

دوم نیوتن یادآوری شوند و گروه‌ها شرایط حرکت با سرعت ثابت

را بررسی کنند.

مثال ۲-۱۲: از دانش‌آموزان می‌خواهیم یک میدان

الکتریکی یکنواخت رسم کنند و درون آن یک نقطه به عنوان بار

مثبت مشخص کنند.

از دانش‌آموزان می‌خواهیم بر ذره باردار نیرو را طوری

رسم کنند تا ذره بتواند در خلاف جهت میدان جابه‌جا شود و نام

آن نیرو را F' بنامند.

میدان بر ذره وارد می‌شود و یک بردار جابه‌جایی هم‌جهت با آن رسم کنند.

نیروی F' را چنان بر ذره رسم کنند تا حرکت ذره با سرعت ثابت باشد و در این شرایط کار نیروی F' را محاسبه و در مورد تغییرات انرژی پتانسیل الکتریکی ذره بحث کنند و نتیجه بگیرند که «ذره‌ی باردار مثبت با سرعت ثابت در جهت میدان الکتریکی جابه‌جا شده و کار نیروی F' منفی است و انرژی پتانسیل الکتریکی ذره کاهش یافته است».

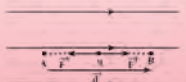
از دانش‌آموزان می‌خواهیم همراه با گروه‌های خود مثال ۱۳-۲ را مطالعه و بررسی کنند و برای تعمیم آن می‌خواهیم مثال را در حالتی که جهت بردار جابه‌جایی در خلاف جهت میدان باشد، حل کنند و متن پایین صفحه‌ی ۷۸ کتاب درسی را مطالعه کنند.

در این جا، کاری که ما انجام می‌دهیم مثبت است و انرژی مصرفی ما به‌صورت انرژی پتانسیل الکتریکی، در بار الکتریکی ذخیره می‌شود. هرچه اندازه‌ی جابه‌جایی بیش‌تر باشد، کار و انرژی مصرفی ما بیش‌تر می‌شود و در نتیجه، افزایش انرژی پتانسیل الکتریکی بار q ، بیش‌تر می‌شود، درست مانند وقتی که یک جسم را روی زمین، از یک نقطه به نقطه‌ی بالاتری می‌بریم و انرژی پتانسیل گرانشی آن افزایش می‌یابد. اگر بار الکتریکی q را در نقطه‌ی B (شکل ۳۸-۲) رها کنیم، در جهت خط‌های میدان به حرکت درمی‌آید و انرژی پتانسیل الکتریکی آن به انرژی جنبشی تبدیل می‌شود. مانند وقتی که یک جسم را از نقطه‌ی بالای زمین رها می‌کنیم و جسم به پایین حرکت می‌کند. در این حالت، انرژی پتانسیل گرانشی آن کاهش می‌یابد و به انرژی جنبشی تبدیل می‌شود.

مثال ۱۳-۲

بار الکتریکی منفی q را در میدان الکتریکی یکنواختی به بزرگی E با سرعت ثابت و در جهت میدان به اندازه‌ی d جابه‌جا می‌کنیم. کاری را که در این جابه‌جایی انجام می‌شود، محاسبه کنید.

حل: میدان الکتریکی، نیرویی به اندازه‌ی $F = q \cdot E$ در خلاف جهت میدان به بار الکتریکی منفی وارد می‌کند. در نتیجه، برای جابه‌جایی بار q با سرعت ثابت باید نیروی $F' = q \cdot E$ در جهت میدان، یعنی در جهت جابه‌جایی، به آن وارد کنیم (شکل ۳۸-۲). کار انجام شده توسط ما در این جابه‌جایی برابر است با:

$$W = F' \cdot d \cdot \cos \alpha \quad W = q \cdot E \cdot d$$


شکل ۳۸-۲

در این مثال نیز کار انجام شده توسط ما مثبت است و انرژی مصرفی به‌صورت انرژی پتانسیل الکتریکی در بار q ذخیره می‌شود. اگر بار q را رها کنیم، در خلاف جهت میدان نیروی به حرکت می‌کند. در این حال، انرژی پتانسیل الکتریکی آن کاهش می‌یابد و به انرژی جنبشی تبدیل می‌شود. از مثال‌های ۱۴-۲ و ۱۳-۲ چنین نتیجه می‌گیریم که تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی یک بار الکتریکی وقتی آن را در یک میدان الکتریکی جابه‌جا می‌کنیم، برابر انرژی‌ای است که برای جابه‌جایی

۷۸

فعالیت ۳۱



با توجه به مثال‌های ۱۲-۲ و ۱۳-۲ بگویید آیا ممکن است ذره‌ی باردار در میدان الکتریکی جابه‌جا شود و تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی آن صفر باشد؟

پاسخ: باید کار نیروی ما در جابه‌جایی انجام شده صفر باشد و این در شرایطی امکان‌پذیر است که نیرو بر جابه‌جایی عمود باشد و در این مثال‌ها هرگاه ذره عمود بر راستای میدان جابه‌جا شود، کار انجام شده و در نتیجه تغییر انرژی پتانسیل صفر می‌شود.

فعالیت ۳۲



همراه با گروه خود سؤالی طرح کنید که در آن راستای جابه‌جایی ذره نه در امتداد میدان و نه در راستای عمود بر میدان باشد.

توجه: نمونه‌ی کلی این نوع مسئله در تمرین‌های پایان فصل وجود دارد. پس کافی است دانش‌آموزان به طور کیفی به

این نوع مسئله اشاره کنند.