

الکتریسته ساکن

دانسته های قبلی

دانش آموزان با بارهای الکتریکی و برهم کنش آن‌ها، قانون پایستگی بار، روش های باردار کردن جسم ها و استفاده از برقما (الکتروسکوپ) آشنا هستند.

هدف های فصل :

- آشنایی با قانون کولن و آزمایش های مربوط به آن
- شناخت میدان الکتریکی و آثار آن و چگونگی نمایش آن با خط ها
- آشنایی با چگالی سطحی بار الکتریکی و چگونگی توزیع بار در سطح رسانا
- شناخت مفاهیم انرژی پتانسیل الکتریکی، پتانسیل الکتریکی و اختلاف پتانسیل الکتریکی
- آشنایی با خازن، تعیین عامل های مؤثر بر ظرفیت خازن های تخت، چگونگی به هم بستن خازن ها و تعیین ظرفیت معادل و انرژی ذخیره شده در آن ها.



شکل بالا یک مولد و آن دو گراف را در موزه علوم پرستون نشان می دهد. این مولد یک تخلیه الکتریکی عظیم ایجاد می کند. اما همان طور که در شکل دیده می شود شخص درون قفس فلزی (اتاناک فارادی) از اثرهای این تخلیه حفاظت شده است.

۴۱

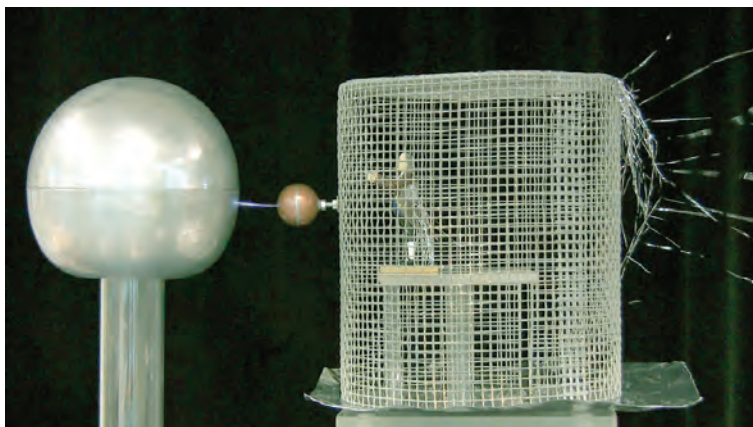


فعالیت ۱

به تصویرهای ابتدای فصل در صفحه ی ۴۱ توجه کنید و نظرها و پرسش های خود را ابتدا در گروه و سپس در کلاس به بحث بگذارید.

پرسش های مرتبط با موضوع را که گروه ها مطرح می کنند روی تخته ی کلاس می نویسیم و در صورت لزوم

پرسش‌هایی مطرح می‌کنیم تا دامنه‌ی بحث و گفت‌وگو گسترده‌تر شود.
پرسش‌ها می‌توانند مانند نمونه‌های زیر باشند :



شکل (۱)

- چگونه چنین جرقه‌هایی تولید می‌شوند؟
- آیا می‌توان زدن برق (جرقه) بین ابرها را نیز پدیده‌ی مربوط به الکتریسته‌ی ساکن دانست.
- چگونه ممکن است جرقه‌ی به این بزرگی آسیبی به شخصی که درون قفس فلزی نشسته است، نرزد؟
- هنگامی که احتمال برخورد آذرخش با بدنه‌ی خودرو وجود دارد بهتر است از آن پیاده شویم و یا داخل آن بمانیم؟



شکل (۲)

توجه : هدف از طرح این پرسش‌ها صرفاً ایجاد انگیزه و آشنایی دانش‌آموزان با موضوع فصل است و لازم نیست به همه‌ی آن‌ها در همین جلسه‌ی درسی پاسخ دهیم بلکه انتظار داریم با مطالعه‌ی فصل به پاسخ‌ها دست یابیم.

۲-۱- قانون کولن

راهنمای تدریس: ابتدا برای ایجاد انگیزه آزمایشی با واندوگراف انجام می‌دهیم. سپس برای آن که دانسته‌های قبلی دانش‌آموزان را محک بزیم چند آزمایش ساده‌ی مربوط به الکتریسیته ساکن انجام می‌دهیم و پرسش‌هایی در زمینه‌ی بارهای الکتریکی و برهم‌کنش آن‌ها، روش‌های باردار کردن اجسام و استفاده از برق‌ما طرح می‌کنیم. سپس با اجرای آزمایش‌هایی قانون کولن را بیان می‌کنیم.

فصل ۲

الکتریسیته‌ی ساکن

در کتاب‌های علوم دوره‌ی راهنمایی و نیز کتاب فیزیک ۱ و آزمایشگاه، با بار الکتریکی و نحوه‌ی باردار کردن اجسام آشنا شدید و آموختید که دو نوع بار الکتریکی وجود دارد. بار الکتریک را بار منفی و بار پروتون را مثبت نام‌گذاری کرده‌اند. علاوه بر این، دیدید که بار الکتریکی به‌وجود نمی‌آید و نیز از بین نمی‌رود و فقط از یک جسم به جسم دیگر منتقل می‌شود. به این بیان، پایداری بار الکتریکی گفته می‌شود. همچنین آموختید اجسام باردار بر یک‌دیگر نیرو وارد می‌کنند. این نیروها ممکن است رهایی یا رانشی باشند. بیش‌تر نیروهای که شما با آن‌ها آشنا هستید و با آنها سروکار دارید، منشأ الکتریکی دارند. به کمک این نیروها می‌توان ساختار اجسام، پیوند بین ذره‌ها و بسیاری از پدیده‌هایی را که در طبیعت رخ می‌دهند، توصیف کرد. دامنه‌ی کاربرد دانش الکتریسیته در فناوری و صنعت به قدری گسترده است که نیازی به بیان ندارد.

در این فصل، ضمن یادآوری مطالبی که قبلاً آموخته‌اید، به تشریح و توصیف دقیق‌تر کمیت‌های الکتریکی و رابطه‌ی بین آن‌ها می‌پردازیم.

۲-۱- قانون کولن

همان‌طور که در فیزیک ۱ و آزمایشگاه خواندید، دو جسم باردار بر یک‌دیگر نیرو وارد می‌کنند. نیروی که دو جسم باردار بر یک‌دیگر وارد می‌کنند، نیروی الکتریکی نام دارد. نیروهای الکتریکی ممکن است رهایی (جاذبه‌ای) یا رانشی (دافعه‌ای) باشند. دیدیم که اگر بارهای الکتریکی دو جسم همدار باشند، یعنی هر دو مثبت یا هر دو منفی باشند، نیروهای بین دو جسم، رانشی است. در حالی که اگر بار الکتریکی یک جسم مثبت و بار الکتریکی دیگری منفی باشد، نیروی الکتریکی بین دو جسم، رهایی خواهد بود.

نیروی الکتریکی بین دو جسم، به چه عامل‌هایی بستگی دارد و اندازه‌ی این نیروها را از چه رابطه‌ای می‌توان محاسبه کرد؟

شارژ کولن، دانشمند فرانسوی، برای اولین بار با انجام آزمون‌های ساده و هوشمندانه‌ای

۴۴

فعالیت ۲



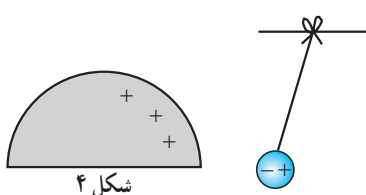
واندوگرافی را که به کلاس برده‌ایم باردار می‌کنیم و بدون نیاز به شرح درباره‌ی آن، دستگاه را مولد الکتریسیته‌ی ساکن معرفی می‌کنیم. آونگ الکتریکی را به کلاهک دستگاه نزدیک می‌کنیم تا رپوده شود و آن را طوری نگه می‌داریم

تا بتواند با کلاهک تماس پیدا کند و سپس رانده شود. از دانش‌آموزان می‌خواهیم آنچه مشاهده کردند را شرح دهند و علت جذب اولیه و رانده‌شدن بعدی را توضیح دهند.

در حالی که آونگ از کلاهک رانده و دور می‌شود از یکی از دانش‌آموزان می‌خواهیم کف دست خود را طوری به گلوله‌ی آونگ نزدیک کند تا با آن تماس پیدا کند. گلوله بین دست او و کلاهک رفت و برگشت می‌کند که صحنه‌ی جذابی است. از دانش‌آموزان می‌خواهیم همراه با گروه خود علت این رفتار آونگ را بررسی و نتیجه را به کلاس گزارش کنند.



شکل (۳)



پاسخ: در ابتدا در گلوله ی فلزی بدون بار آونگ در مجاورت کلاهک باردار واندوگراف تفکیک بار صورت می گیرد طوری که بارهای ناهمنام با واندوگراف به کلاهک نزدیک باشند. پس نیروی ربایش بارهای کلاهک و بارهای ناهمنام گلوله بیش از رانش بارهای کلاهک و بارهای همنام گلوله است پس گلوله جذب کلاهک می شود، در لحظه ی تماس از کلاهک بار می گیرد و چون با آن بار همنام دارد به شدت رانده می شود. گلوله در تماس با دست دانش آموز بار خود را از دست می دهد و دوباره در اثر تفکیک بار جذب کلاهک می شود و مابرا تکرار می شود.

فعالیت ۳



برقنما، خط کش و پارچه ی پشمی را در اختیار دانش آموزان قرار می دهیم و می خواهیم : الف) برقنما را باردار منفی کنند. ب) برقنما را باردار مثبت کنند.

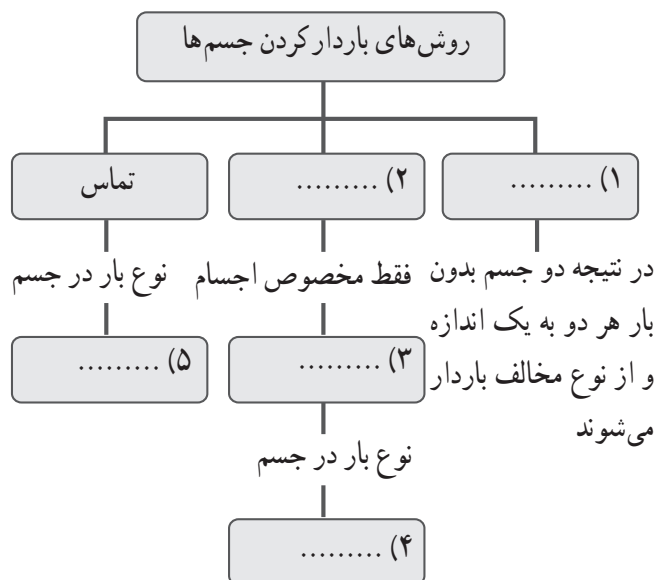
توجه : دانش آموزان معمولاً نکات مربوط به روش القای الکتریکی برای باردار کردن اجسام را فراموش کرده اند.

فعالیت ۴



پس از بحث و تبادل نظر در گروه خود نمودار مفهومی زیر را با استفاده از جعبه ی کلمات کامل کنید.

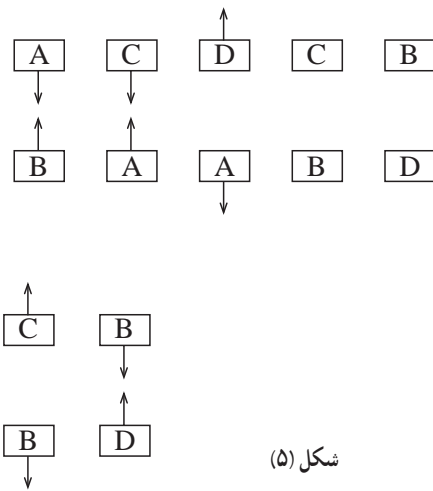
همنام با بار اولیه – مالش – غیر همنام با بار اولیه – القای الکتریکی – رسانا – نارسانا



پاسخ:

۱) مالش ۲) القای الکتریکی ۳) رسانا
۴) غیر همنام با بار اولیه ۵) همنام با بار اولیه

فعالیت ۵



در شکل (۵)، پنج جفت ورقه را در مقابل هم می بینید. ورقه های A، B و D پوشش پلاستیکی و بار الکتریکی نامعلوم دارند. ورقه ی C پوشش فلزی دارد و بدون بار است. نیروهای الکتریکی بین بعضی از آن ها نشان داده شده است. بقیه را کامل کنید :

پاسخ :

شکل (۵)

۲- برای اندازه گیری و مقایسه ی میزان انحراف نخ کافی است یک نقاله را به دیوار نصب کنید و آونگ را در جلوی آن و با کمی فاصله نگه دارید. البته با نزدیک کردن جسم باردار، آونگ منحرف می شود و نوسان می کند که باید در لحظه ی انحراف نخ حدود زاویه را یادداشت کرد.

۳- با انجام این آزمایش با این ابزار ساده فقط می توان وارون بودن نسبت نیرو و فاصله را تحقیق کرد.

توانست عامل هایی را که نیروهای الکتریکی به آن ها بستگی دارند، شناسایی کنند. شما هم می توانید با انجام دادن آزمایش های ساده ای، با این عامل ها آشنا شوید.

آزمایش ۱-۲
وسایلهای آزمایش: میله ی پلاستیکی - بارچمدی شیمی - ورقه ی نازک آلومینیومی و مقداری نخ خشک
شرح آزمایش:

- ۱- گوی ورقه ی آلومینیومی را فشرده کنید و آن را به صورت کره ی کوچکی در آورید. این کره ی کوچک را به کمک یک نخ خشک آویزان کنید. این وسیله را آونگ الکتریکی می نامیم و از آن در آزمایش های الکتریسته ی ساکن استفاده می کنیم.
- ۲- به آونگ الکتریکی به روشی القا یا با تماس به جسمی که بار منفی دارد، بار الکتریکی منفی بدهید.
- ۳- میله را باردار کرده و آن را به آونگ الکتریکی نزدیک کنید. چه اتفاقی می افتد؟
- ۴- میله را در فاصله ی معینی از آونگ و نزدیک آن نگه دارید و زاویه ی انحراف آونگ را از وضع قائم با دقت مشاهده کنید.

شکل ۱-۲

۵- مرحله ی ۴ را تکرار کنید و هر بار فاصله ی میله را از آونگ تغییر دهید. ملاحظه کنید که در مراحل ۴ و ۵، میله با آونگ تماس پیدا نکند. نتیجه ی آزمایش را بنویسید و به کلاس گزارش دهید.

* اجسام باردار را بار حقیقی و یا بار نامی و یا بار مستقیم و یا بار نامی می گویند.

با طرح این پرسش که «جهت و اندازه ی نیروی الکتریکی بین دو جسم باردار به چه عامل هایی بستگی دارد؟» از دانش آموزان می خواهیم شانه یا خط کش پلاستیکی را با مالش باردار و آن را به موهایشان نزدیک کنند و برهم کش خط کش و موها را در فاصله های مختلف خط کش از مو بررسی کنند. سپس با معرفی دستگاه واندوگراف به عنوان منبع تولید الکتریسته ی ساکن، آونگ الکتریکی را با واندوگراف باردار می کنیم و توضیح می دهیم که اساس کار دستگاه در جلسات بعد توضیح داده خواهد شد. از دانش آموزان می خواهیم آزمایش ۱-۲ را انجام دهند.

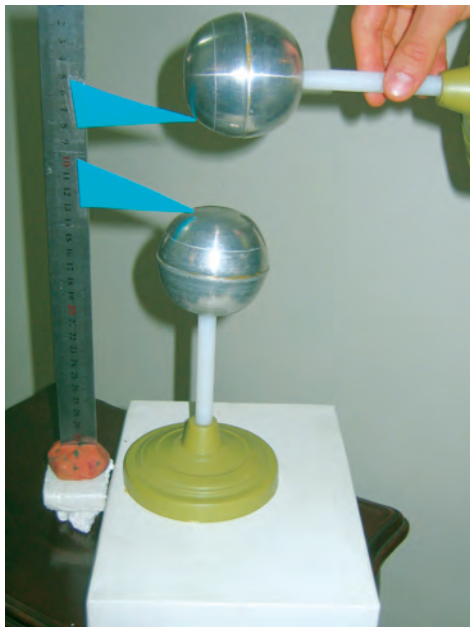


شکل (۶)

توجه :

۱- اگر در آزمایشگاه آونگ الکتریکی موجود نباشد می توان با ورقه ی آلومینیومی گوی کوچکی در حد دانه ی ماش تهیه کرده و یا از دکمه های فلزی لباس که به شکل کره یا نیم کره اند استفاده کرد.

فعالیت ۶



شکل (۷)

وسایل مورد نیاز: دو گلوله‌ی کوچک فلزی مشابه، دسته یا پایه‌های عایق، ترازوی دقیق دیجیتالی، خط‌کش نشانه‌دار، خمیربازی کودکان.

گلوله‌ها را به دسته‌های چوبی وصل کنید. یکی از گلوله‌ها را با پایه‌ی چوبی به کمک مقداری خمیربازی به طور قائم بر صفحه‌ی ترازوی دیجیتالی قرار دهید و ترازو را روی صفر تنظیم کنید. خط‌کش را کنار ترازو قرار دهید و نشانه‌ی آن را بر گلوله منطبق کنید. گلوله‌ی دوم را به آرامی از بالا به گلوله‌ی روی ترازو نزدیک کنید و در فاصله‌های مختلف نیرو را اندازه‌گیری کرده و در جدول ثبت و تحلیل کنید.

توجه:

از دانش‌آموزان می‌خواهیم همراه با گروه خود آزمایش

۲-۲ را انجام دهند.

۱- باید محیط آزمایشگاه کاملاً خشک باشد.

۲- اگر آونگ‌ها را از یک میله‌ی چوبی بیاورید انجام

آزمایش ساده‌تر می‌شود.

۳- باز هم برای برآورد زاویه‌ی ایجاد شده بین نخ‌های

آونگ می‌توان از نصب کردن نقاله به دیوار استفاده کرد.

۴- انجام مراحل ۳ و ۴ به دقت زیادی نیاز دارد و ابعاد

نسبی کره‌ها و گوی آونگ‌ها و میزان بار داده شده به کره نقش

زیادی در انجام آزمایش دارد.

با انجام این آزمایش دانش‌آموزان متوجه نقش مقدار بار

در نیروی بین اجسام باردار می‌شوند.

کولن نیز با انجام دادن آزمایش و اندازه‌گیری‌های دقیق به این نتیجه رسید که: نیروهای الکتریکی بین دو ذره‌ی باردار با مجذور فاصله‌ی آن‌ها از یک‌دیگر نسبت وارون دارد؛ یعنی:

$$F \propto \frac{1}{r^2}$$

برای آن که معلوم شود نیروی الکتریکی به چه عامل یا عامل‌های دیگری بستگی دارد، آزمایش ۲-۴ را انجام دهید.

آزمایش ۲-۲

وسایلهای آزمایش: برای انجام دادن این آزمایش، علاوه بر وسایلهای آزمایش

۲-۴ به دو کره‌ی فلزی کوچک و هم‌اندازه که روی پایه‌های عایق نصب شده باشند، نیاز دارید.

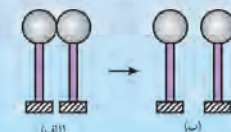
شرح آزمایش:

۱- دو آونگ الکتریکی کاملاً مشابه بسازید و آن‌ها را از یک نقطه آویزان کنید.
۲- یک کره را باردار کنید و آن را هم‌زمان به دو آونگ تماس دهید، سپس آن را از آونگ‌ها دور کنید. چه اتفاقی می‌افتد؟ زاویه‌ی بین دو نخ آونگ‌ها را بعد از دور شدن کره‌ی فلزی اندازه‌گیری کنید.



شکل ۲-۳

۳- کره‌ی دیگر را که بدون بار است به کره‌ی باردار تماس دهید و آن‌ها را از یک‌دیگر جدا کنید. با انجام دادن این عمل، بار الکتریکی به طور مساوی بین دو کره تقسیم می‌شود.



شکل ۲-۴

(الف)

(ب)

فعالیت ۷



آیا این آزمایش را به کمک ترازوی دیجیتالی می‌توان انجام داد؟ چگونگی آن را شرح دهید.

از گروه‌ها می‌خواهیم بگویند از آزمایش‌های ۱-۲ و ۲-۲

چه نتیجه‌ی کلی‌ای می‌گیرند.

از دانش‌آموزان می‌خواهیم بیان قانون کولن را از روی

کتاب بخوانند و با نتیجه‌های خودشان مقایسه کنند.

برای افزایش مهارت رسم نیروهایی که اجسام باردار برهم

وارد می‌کنند چند فعالیت پیشنهاد می‌شود.

۴- ابتدا با تماس دست به آونگ‌ها، بار آن‌ها را تحلیل کنید. سپس یکی از کره‌های باردار را مانند مرحله‌ی ۲ به دو آونگ تماس دهید. این بار نیز زاویه‌ی بین دو آونگ را اندازه‌گیری کنید.
۵- نتیجه‌ی مرحله‌های ۲ و ۴ را با یک‌دیگر مقایسه کنید. نتیجه را بنویسید و به کلاس گزارش دهید.

کولن نیز با انجام دادن آزمایش و اندازه‌گیری‌های دقیق به این نتیجه رسید که:
نیروی الکتریکی با حاصل‌ضرب اندازه‌ی بار دو ذره نسبت مستقیم دارد؛ یعنی:
 $F \propto q_1 \cdot q_2$

کولن، نتیجه‌ی آزمایش‌های خود را که امروزه به نام قانون کولن شناخته شده است، به صورت زیر بیان کرد:

نیروی الکتریکی ریاضی یا رانسی بین دو ذره‌ی باردار q_1 و q_2 که در فاصله‌ی r از یک‌دیگر قرار دارند، با حاصل‌ضرب بار دو ذره نسبت مستقیم و با مجذور فاصله‌ی دو ذره از یک‌دیگر نسبت وارون دارد.

$$F \propto \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$$



ب) نیروی الکتریکی بین دو بار الکتریکی غیرهتاهم ریاضی است.



الف) نیروی الکتریکی بین دو بار الکتریکی هتاهم ریاضی است.

شکل ۲-۴

در شکل ۲-۴ به معنای نیروی است که ذره‌ی اول به ذره‌ی دوم وارد می‌کند و F_{12} نیروی است که ذره‌ی دوم به ذره‌ی اول وارد می‌کند.

نیروهای الکتریکی که دو ذره‌ی باردار به یک‌دیگر وارد می‌کنند، هم‌اندازه و در جهت‌های مخالف یک‌دیگرند (قانون سوم نیوتون). اگر اندازه‌ی این نیروها را با F نشان دهیم، داریم:

$$F_{12} = F_{21} \Rightarrow F_{12} = F_{21} = F$$

قانون کولن را می‌توان با رابطه‌ی زیر بیان کرد:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \quad (۱-۲)$$

۲۵

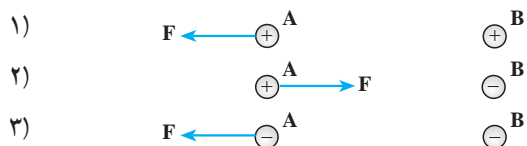
فعالیت ۸



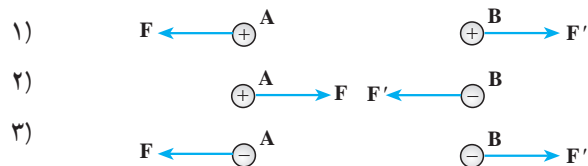
- در فیزیک ۲ و آزمایشگاه رسم نیروهای وارد بر جسم را آموخته‌اید. پس از تبادل نظر با اعضای گروه الف) در هر یک از شکل‌های زیر با نادیده گرفتن جرم ذرات نیروی الکتریکی وارد بر ذره‌ی A را رسم کنید.
- ب) در هر شکل نیروی وارد بر ذره‌ی B را نیز رسم کنید (طول بردارها را با مقیاس درست بکشید).
- پ) آیا می‌توان در هر شکل گفت جفت بردارهای رسم شده نیروهای کنش و واکنش‌اند؟
- ۱) \oplus^A \oplus^B
۲) \oplus^A \ominus^B
۳) \ominus^A \ominus^B

شکل (۸)

پاسخ: الف)



ب)



شکل (۹)

پ) بله

بردارهای نیرو را تدریس می‌کنیم و با دانش‌آموزان چند نمونه تمرین می‌کنیم.
کج‌فهمی: گاهی دانش‌آموزان در رسم نیروها خطا می‌کنند.
پس تذکر می‌دهیم که: مبدأ بردار نیروی وارد بر هر ذره باید خود ذره باشد، راستای آن خط واصل بین دو ذره و جهت آن با توجه به علامت بارها تعیین می‌شود.

توجه: بهتر است ذره‌های A و B را با رنگ‌های متفاوت مشخص کنیم و بردار نیروها را نیز با توجه به رنگ آن‌ها رسم کنیم:

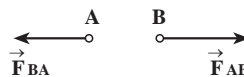


پس از انجام این فعالیت روش نام‌گذاری کتاب برای

فعالیت ۹



در شکل زیر $q_A > q_B$ است، با اعضای گروه خود در مورد درستی شکل بحث و تبادل نظر کنید و نتیجه را به کلاس گزارش دهید.



پاسخ: اندازه‌ی دو بردار نیرو باید برابر باشد. هم به استناد قانون کولن و این که این نیروها کنش و واکنش‌اند.

توجه: برای استفاده از رابطه‌ی قانون کولن، حتماً این تذکر لازم است که رابطه برای محاسبه‌ی اندازه‌ی نیروست. پس در آن باید قدرمطلق بارها در نظر گرفته شود.

در این رابطه، q_1 و q_2 بر حسب کولن، r بر حسب متر و F بر حسب نیوتون است. $\frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ ضریب تناسب است که در آن ضریب k یک ثابت جهانی است و ضریب گذرده‌ی الکتریکی خلا نام دارد.

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$$

برای سادگی در نوشتن، می‌توان ضریب قانون کولن را با k نشان داد.

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

به کمک قانون کولن رابطه‌ی ۱-۲ می‌توان اندازه‌ی نیروی الکتریکی‌ای را که دو ذره‌ی باردار به یکدیگر وارد می‌کنند، محاسبه کرد. در محاسبه‌ها، علامت مثبت یا منفی بارهای الکتریکی را در رابطه‌ی ۱-۲ وارد می‌کنیم و ریاضی یا راستی بودن نیروها را به کمک نوع بارها مشخص می‌کنیم.

مثال ۱-۳

دو ذره با بارهای الکتریکی $q_1 = 5 \mu C$ و $q_2 = 2 \mu C$ در فاصله‌ی $r = 1 \text{ cm}$ از یکدیگر ثابت شده‌اند. اندازه‌ی نیروی که دو ذره به یکدیگر وارد می‌کنند و نوع آن را مشخص کنید.
حل: با استفاده از رابطه‌ی ۱-۲ داریم:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

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

$$F = 1 \text{ N}$$

چون بارهای الکتریکی دو ذره هم‌علامت‌اند، نیروی که دو ذره به یکدیگر وارد می‌کنند، رانشی است.

اگر تعدادی ذره‌ی باردار در یک ناحیه قرار داشته باشند، نیروی الکتریکی وارد بر هر ذره، برآیند نیروهای است که هر یک از ذره‌های دیگر در غیاب سایر ذره‌ها، بر آن ذره وارد می‌کنند.

فعالیت ۱۰



در اتم هیدروژن، الکترون در فاصله‌ی $5/3 \times 10^{-11} \text{ m}$ از هسته به دور آن می‌چرخد و می‌دانیم نیروی گرانشی الکترون و پروتون در این اتم $3/6 \times 10^{-47} \text{ N}$ است.

الف) نیروی الکتریکی بین الکترون و پروتون در هر اتم هیدروژن را محاسبه کنید.

ب) نیروی الکتریکی بین الکترون و پروتون اتم هیدروژن را با نیروی گرانشی بین آن‌ها مقایسه کنید و بررسی کنید که آیا این نسبت به فاصله‌ی بارها از هم بستگی دارد یا خیر؟

پاسخ: الف)

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} = \frac{9 \times 10^9 (1/6 \times 10^{-19})^2}{(5/3 \times 10^{-11})^2} = 8/1 \times 10^{-8} \text{ N}$$

ب)

$$\frac{F_e}{F_g} = 2/3 \times 10^{39}$$

چون هر دو نیروی الکتریکی و گرانشی متناسب با وارون مربع فاصله‌اند. پس این نسبت برای هر فاصله‌ای همین مقدار است.

می‌توانیم به منشأ نیروهای بین الکترون‌های هر اتم و هسته‌ی آن، نیروهای پیوندی اتم‌ها در تشکیل مولکول و نیروهایی که برای

از دانش‌آموزان می‌خواهیم مثال ۱-۲ را بررسی کنند و نیروی بین q_1 و q_2 را با نیروی بین الکترون و پروتون در اتم هیدروژن مقایسه کنند.

مثال:

فرض کنید الکترون‌ها و پروتون‌های یک گرم هیدروژن را جدا کرده و پروتون‌ها را در قطب شمال و الکترون‌ها را در قطب جنوب زمین قرار دهیم. اندازه‌ی نیرویی که این بارها به هم وارد می‌کنند چقدر است؟

پاسخ:

(جرم اتمی هیدروژن): جرم هر اتم هیدروژن

$$\times (1/0.08 \times 1/66 \times 10^{-27} \text{ kg}) = 1/0.08 \times 1/66 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

عدد $H = \frac{1 \times 10^{-3}}{1/67 \times 10^{-27}} = 5/99 \times 10^{23}$

$$q_1 = q_2 = 5/99 \times 10^{23} \times 1/6 \times 10^{-19} \text{ C} = 9/58 \times 10^4$$

$$F = \frac{k q_1 q_2}{r^2} = \frac{9 \times 10^9 (9/58 \times 10^4)^2}{(1/28 \times 10^7)^2}$$

$$= 5/32 \times 10^5 \text{ N}$$

برای توجه دانش‌آموزان به اهمیت نیروهای الکتریکی

مثال ۲-۳

سه ذره با بارهای الکتریکی $q_1 = 2/5 \mu\text{C}$ ، $q_2 = 1 \mu\text{C}$ و $q_3 = 4 \mu\text{C}$ در نقطه‌های A و B و C مطابق شکل ۵-۲ ثابت شده‌اند. نیروی الکتریکی وارد بر q_3 را محاسبه کنید. $BC = 2 \text{ cm}$ و $AC = 9 \text{ cm}$

حل: نیرویی که بر q_3 وارد می‌شود، برآیند دو نیرویی است که از طرف q_1 و q_2 بر آن وارد می‌شوند. برای محاسبه‌ی این نیرو، نیرویی را که هر یک از بارهای q_1 و q_2 در غیاب دیگری، بر q_3 وارد می‌کند، محاسبه می‌کنیم. نیروی الکتریکی وارد بر q_3 برآیند این دو نیروست (شکل ۶-۲). با استفاده از رابطه‌ی ۱-۲ داریم:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_3}{r^2}$$

$$F_{13} = 9 \times 10^9 \times \frac{2/5 \times 4 \times 10^{-12}}{(3 \times 10^{-2})^2}$$

نیرویی که q_1 بر q_3 وارد می‌کند، رانشی است.

$$F_{23} = 9 \times 10^9 \times \frac{1 \times 4 \times 10^{-12}}{4 \times 10^{-4}}$$

نیرویی که q_2 بر q_3 وارد می‌کند، واپشی است.

مطابق شکل ۶-۲، نیروهای F_{13} و F_{23} در جهت‌های مخالف یکدیگرند. اندازه‌ی برآیند آن‌ها، F_{13} ، برابر تفاضل اندازه‌های آن‌ها و در جهت نیروی بزرگ‌تر (در جهت F_{23}) است.

$$\vec{F}_1 = \vec{F}_{13} + \vec{F}_{23}$$

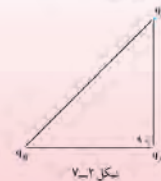
$$F_1 = F_{23} - F_{13} = 6.5 \text{ N}$$

تمرین ۱-۲

در مثال ۲-۲، نیروی دایره بر q_1 را به دست آورید.

مثال ۳-۲

سه ذره ی باردار مطابق شکل ۳-۲ در سه رأس مثلث قائم الزاویه ی ثابت ABC هستند. بزرگی نیروی الکتریکی وارد بر ذره ی باردار واقع در رأس زاویه ی قائمه را محاسبه کنید؛ در صورتی که $q_B = q_C = q_A = 4 \text{ nC}$ باشد. $AC = 2\sqrt{2} \text{ cm}$ و $AB = 3 \text{ cm}$



حل: نیروی بین q_B و q_A را F_{BA} و q_C و q_A را F_{CA} می نامیم. با استفاده از رابطه ی ۱-۲ داریم:

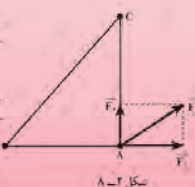
$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

$$F_{BA} = F_1 = 9 \times 10^9 \times \frac{4 \times 4 \times 10^{-18}}{3^2 \times 10^{-6}}$$

$$F_1 = 4 \text{ N}$$

$$F_{CA} = F_2 = 9 \times 10^9 \times \frac{4 \times 4 \times 10^{-18}}{(2\sqrt{2})^2 \times 10^{-6}}$$

$$F_2 = 9 \text{ N}$$



شکل ۳-۲

۲۸

تشکیل جامدها و مایع ها، اتم ها یا مولکول ها را به هم پیوند می دهند اشاره کنیم. در این زمینه مقاله ای با عنوان «مولکول ها، اتم ها و ساختار داخلی اتم ها» در شماره ی ۷۲ مجله ی رشد آموزش فیزیک وجود دارد که اطلاعات خوبی به دانش آموزان می دهد و متوجه می شوند که در طبیعت هر ذره ی باردار می تواند با بیش از یک ذره ی باردار دیگر برهم کنش الکتریکی داشته باشد.

توجه: برای آن که نیروی الکتریکی اعمال شود، حداقل لازم است دو ذره ی باردار برهم کنش داشته باشند. وقتی نیروی الکتریکی بین دو ذره را بررسی می کنیم مهم نیست پیرسیم نیرویی که کدام یک بر دیگری وارد می کند مورد محاسبه قرار گرفته زیرا دو نیرو با هم اندازه اند. اما اگر تعداد بارها بیشتر از دو تا باشد نیروی برآیند وارد بر هر یک می تواند با بقیه متفاوت باشد. از دانش آموزان می خواهیم مثال ۲-۲ را بررسی کنند و در آن به رسم بردارها و محاسبات برداری توجه کنند.

پاسخ تمرین ۱-۲: ابتدا بردار نیروهای وارد بر q_1 را رسم می کنیم:



$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

$$F_{q1} = 9 \times 10^9 \frac{2 \times 10^{-6} \times 1 \times 10^{-6}}{36 \times 10^{-4}} = 6/25 \text{ N}$$

$$F_{q1} = F_{q3} = 25 \text{ N}$$

$$\vec{F}_T = \vec{F}_{q1} + \vec{F}_{q3}$$

$$F_T = F_{q1} - F_{q3} = 18/25 \text{ N}$$

با این توضیح که ذره های باردار الزامی ندارد همواره در امتداد خط راست قرار داشته باشند و سه ذره ی باردار اگر در امتداد خط راست نباشند بر گوشه های مثلث واقع می شوند، از دانش آموزان می خواهیم به حل و بحث مثال ۳-۲ بپردازند. برای اطمینان از مهارت یابی دانش آموزان در حل این مثال ها می توانیم مسئله های مشابهی را به عنوان فعالیت کلاسی به آن ها بدهیم.

نیروهای F_1 و F_2 در شکل ۸-۲ نشان داده شده اند. این دو نیرو بر یک دیگر

عمودند و F_2 برآیند آن هاست. داریم:

$$\vec{F}_R = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$$

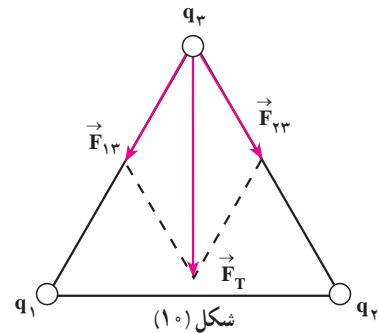
$$F_R^2 = F_1^2 + F_2^2$$

$$F_R^2 = (18)^2 + (6)^2$$

$$F_R = 18 \text{ N}$$

پس از مرور محاسبات ریاضی لازم برای حل مسئله‌های مربوط به نیروهای الکتریکی یک فعالیت ساده‌تر از مثال ۴-۲ طرح می‌کنیم.

مثال: سه ذره ی باردار $q_1 = q_2 = 2\mu\text{C}$ و $q_3 = -2\mu\text{C}$ در سه رأس مثلث متساوی‌الاضلاعی به ضلع 3cm مطابق شکل زیر قرار دارند. نیروی برآیند وارد بر q_3 را محاسبه کنید.



پاسخ: ابتدا نیروهای وارد بر q_3 را رسم می‌کنیم چون بارهای q_1 و q_2 با هم برابرند و فاصله‌ی آن‌ها تا q_3 نیز یکسان است می‌توانیم بنویسیم:

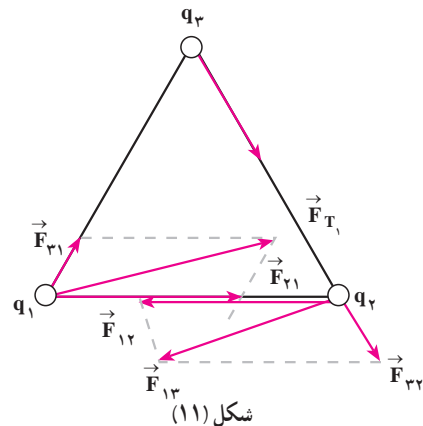
$$F_{13} = F_{23} = 9 \times 10^9 \frac{(2 \times 10^{-6})^2}{9 \times 10^{-4}} = 40\text{N}$$

دو بردار نیروی هم اندازه با زاویه‌ی بین 60° داریم که برای محاسبه برآیند آن‌ها از رابطه‌ی $F_T = 2F_1 \cos \frac{\alpha}{2}$ استفاده می‌کنیم:

$$F_T = 2 \times 40 \cos \frac{60^\circ}{2} = 40\sqrt{3}\text{N}$$

از دانش‌آموزان می‌خواهیم به حل و بحث مثال ۴-۲ بپردازند.

پاسخ تمرین ۲-۲: ابعاد نیروهای وارد بر هر بار را



اکنون به مثال‌های دیگری از نیروهای الکتریکی توجه کنید.

مثال ۴-۲

سه ذره ی باردار، مطابق شکل ۱۶-۲ در سه رأس مثلث متساوی‌الاضلاعی به ضلع 9cm ثابت شده‌اند. بزرگی نیروی الکتریکی وارد بر بار q_3 را محاسبه کنید. حل: نیروهای وارد بر بار q_3 و برآیند این نیروها در شکل ۱۷-۲ نشان داده شده است. با استفاده از رابطه‌ی ۱۵-۲ داریم:

$$F_{13} = 9 \times 10^9 \times \frac{2/5 \times 10^{-6} \times 4 \times 10^{-6}}{36 \times 10^{-4}} = 20\text{N}$$

رابطه‌ی

$$F_{23} = 9 \times 10^9 \times \frac{2/5 \times 10^{-6} \times 4 \times 10^{-6}}{36 \times 10^{-4}} = 20\text{N}$$

رابطه‌ی

$$\vec{F}_T = \vec{F}_{13} + \vec{F}_{23}$$

$$F_T^2 = F_{13}^2 + F_{23}^2 + 2F_{13}F_{23}\cos 60^\circ$$

$$\text{or } 181 - 60 = 121$$

$$F_T^2 = 20^2 + 20^2 + 2 \times 20 \times 20 \times \cos 60^\circ$$

$$F_T^2 = 49 \Rightarrow F_T = 7\text{N}$$

شکل ۱۷-۲

تمرین ۴-۲

نیروهای وارد بر بارهای الکتریکی q_1 و q_2 را در مثال ۴-۲ محاسبه کنید.

۵۸

رسم می‌کنیم و سپس به محاسبه‌ی بزرگی نیروی برآیند وارد بر هر یک می‌پردازیم.

$$F_{31} = F_{32} = 5\text{N}$$

$$F_{11} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1q_2}{r^2}$$

$$F_{11} = 9 \times 10^9 \frac{2/5 \times 10^{-6} \times 4 \times 10^{-6}}{36 \times 10^{-4}} = 20\text{N}$$

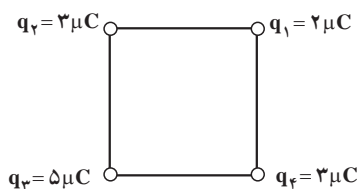
$$\vec{F}_T = \vec{F}_{31} + \vec{F}_{32}$$

$$F_T^2 = F_{31}^2 + F_{32}^2 + 2F_{31}F_{32}\cos 60^\circ$$

$$F_T^2 = 20^2 + 20^2 + 2 \times 20 \times 20 \times \left(\frac{1}{2}\right) = 775$$

$$F_T = 27.7\text{N}$$

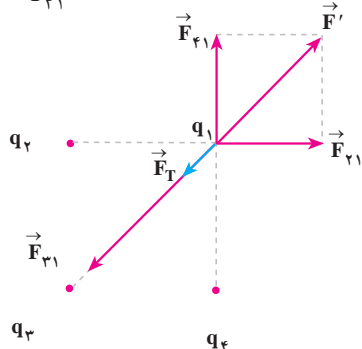
$$F_{31} = F_{32} = 5\text{N}$$



شکل (۱۲)

پاسخ: ابتدا بردار نیروهای وارد بر q_1 را رسم می‌کنیم: چون $q_4 = q_2$ و فاصله‌ی آن‌ها q_1 نیز برابر است. پس داریم:

$$F_{21} = F_{41}$$



شکل (۱۳)

و برآیند آن‌ها (F') در امتداد قطر مربع خواهد بود و محاسبه‌ی نیروی برآیند کل ساده است.

$$F_{21} = F_{41} = 9 \times 10^9 \frac{3 \times 10^{-6} \times 2 \times 10^{-6}}{9 \times 10^{-4}} = 60 \text{ N}$$

$$F' = 2F_{21} \cos 45^\circ = 60\sqrt{2} \text{ N}$$

فاصله‌ی q_4 تا q_1 برابر قطر مربع است:

$$r = 3\sqrt{2} \text{ cm}$$

$$F_{31} = 9 \times 10^9 \frac{5 \times 10^{-6} \times 2 \times 10^{-6}}{18 \times 10^{-2}} = 50 \text{ N}$$

$$\vec{F}_T = \vec{F} + \vec{F}_{31}$$

$$F_T = F_{31} - F' = 10 \text{ N}$$

با بیان این توضیح که در مثال ۵-۲، چون q_4 و q_2 برابر نیستند، نمی‌توانیم از شیوه‌ی محاسبه‌ی فعالیت پیشنهادی قبل استفاده کنیم. از دانش‌آموزان می‌خواهیم در گروه‌های خود به حل و بحث مثال ۵-۲ بپردازند.

مثال ۵-۲

مطابق شکل ۱۸-۲ چهار بار الکتریکی در رأس‌های مربعی به ضلع ۳ cm قرار دارند. نیروی الکتریکی وارد بر بار الکتریکی q_1 را محاسبه کنید. حله: با استفاده از رابطه‌ی ۱-۲ داریم:

$$F_{21} = 9 \times 10^9 \times \frac{3 \times 2 \times 10^{-6}}{3^2 \times 10^{-4}} = 60 \text{ N}$$

رابطه‌ی ۱-۲

$$F_{41} = 9 \times 10^9 \times \frac{3 \times 2 \times 10^{-6}}{3^2 \times 10^{-4}} = 60 \text{ N}$$

رابطه‌ی ۱-۲

$$F_{31} = 9 \times 10^9 \times \frac{5 \times 2 \times 10^{-6}}{3^2 \times 10^{-4}} = 100 \text{ N}$$

رابطه‌ی ۱-۲

شکل ۱۸-۲

با انتخاب محورهای مختصات مطابق شکل ۱۹-۲ و استفاده از رابطه‌های ۲-۲ و ۳-۲ داریم:

$$\vec{F}_{21} = 60 \hat{i}$$

$$\vec{F}_{41} = (60 \cos 45^\circ)(\hat{i} + \hat{j})$$

$$\vec{F}_{31} = 100(\hat{i} + \hat{j})$$

$$\vec{F}_{11} = 50 \hat{j}$$

$$\vec{F}_T = \vec{F}_{21} + \vec{F}_{41} + \vec{F}_{31}$$

$$\vec{F}_T = (-30 + 42)\hat{i} + (42 + 50)\hat{j}$$

$$\vec{F}_T = 12\hat{i} + 92\hat{j}$$

$$F_T = \sqrt{12^2 + 92^2} = 94.7 \text{ N}$$

شکل ۱۹-۲

۵۹

$$F_{21} = F_{41} = 25 \text{ N}$$

$$F_{T_y}^2 = F_{21}^2 + F_{41}^2 + 2F_{21}F_{41} \cos 120^\circ$$

$$F_{T_y}^2 = 64 + 625 + 400 \left(-\frac{1}{2}\right) = 489$$

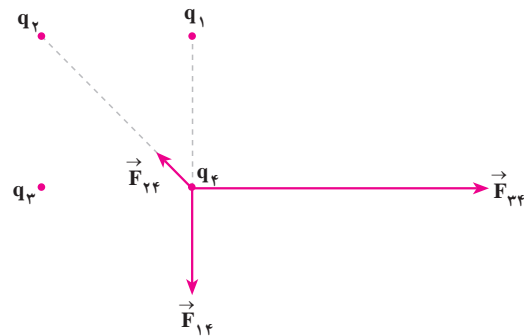
$$F_{T_y} = 22.11 \text{ N}$$

وقتی تعداد ذره‌های باردار چهار تا باشد بر گوشه‌های یک چهارضلعی واقع می‌شوند و ساده‌ترین نمونه‌ی آن‌ها وقتی است که بارها بر گوشه‌های مربع قرار می‌گیرند. مثال ۵-۲ به گونه‌ای طراحی شده است که برای حل آن محاسبات با استفاده از بردارهای یک‌ه انجام شود می‌توانیم ابتدا تمرین ساده‌تری در کلاس حل کنیم.

مثال: مطابق شکل (۱۲) چهار ذره‌ی باردار الکتریکی بر چهار رأس مربعی به ضلع ۳ cm قرار گرفته‌اند. نیروی الکتریکی برآیند وارد بر q_1 را محاسبه کنید.

پاسخ تمرین ۲-۳ : ابتدا بردار نیروهای وارد بر q_4 را

رسم می کنیم :



شکل (۱۴)

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

$$F_{14} = F_{41} = 5^\circ N \quad \text{رانشی}$$

$$F_{24} = 9 \times 10^9 \frac{3 \times 10^{-6} \times 5 \times 10^{-6}}{72 \times 10^{-4}} = 18/75 N \quad \text{ربایشی}$$

$$F_{34} = 9 \times 10^9 \frac{12 \times 10^{-6} \times 5 \times 10^{-6}}{36 \times 10^{-4}} = 15^\circ N \quad \text{رانشی}$$

سپس هر بردار نیرو را با استفاده از بردارهای یکه و

مؤلفه هایش می نویسیم :

$$\vec{F}_{14} = -5^\circ \vec{j}$$

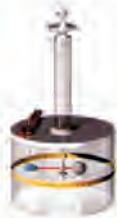
$$\vec{F}_{24} = -13/26 \vec{i} + 13/26 \vec{j}$$

تمرین ۳-۲ نیروی الکتریکی وارد بر q_4 را در مثال ۵-۳ محاسبه کنید.

رابطه ی ۱-۴ برای محاسبه ی نیروی الکتریکی بین دو ذره ی باردار به کار می رود. محاسبه ی نیروی الکتریکی بین دو جسم باردار به جگونگی آرایش (یا توزیع) بار در دو جسم بستگی دارد و محاسبه ی آن نیازمند ریاضیات پیشرفته تری است. در این کتاب، همواره نیروهای بین دو ذره ی باردار را محاسبه می کنیم. روشن است که اگر فاصله ی جسم باردار از ذره ی باردار (یا جسم باردار دیگر) آنقدر زیاد باشد که ابعاد جسم در مقابل فاصله ی بین آنها قابل چشم پوشی باشد، می توان جسم را مانند یک ذره ی باردار در نظر گرفت و از رابطه ی ۱-۴ برای محاسبه ی نیروی الکتریکی استفاده کرد.

فعالیت ۱-۳

اکنون که با قانون کولن و محاسبه ی نیروی الکتریکی آشنا شده اید، شایسته است آزمایش های کولن و جگونگی کار او را بیی تر بشناسید. در سال ۱۷۸۰ میلادی شارل کولن، دانشمند فرانسوی، با استفاده از وسیله ای که «ترازوی بیچسنی» نام دارد، آزمایش هایی انجام داد. نتیجه ی آن ها به بیان قانون کولن منجر شد. در مورد آزمایش های کولن تحقیق کنید و شرح آزمایش ها و نتیجه گیری های او را به کلاس گزارش دهید.



شکل ۲-۴- ترازوی بیچسنی کولن

۲-۴ میدان الکتریکی

در بخش ۱-۴ دیدید که دو بار الکتریکی q_1 و q_2 که در فاصله ی r از یک دیگر واقع اند (شکل ۱-۴)، بر هم نیروی الکتریکی وارد می کنند. اگر دو آهن ربا در فاصله ی کمی از یک دیگر قرار گیرند، بر هم نیرو وارد می کنند، زمین و

بزرگی دو مؤلفه ی \vec{F}_{24} برابر $\frac{18/75\sqrt{2}}{2}$ است.

$$\vec{F}_{24} = -15^\circ \vec{i}$$

$$\vec{F}_T = \vec{F}_{14} + \vec{F}_{24} + \vec{F}_{34}$$

$$\vec{F}_T = 136/74 \vec{i} - 36/74 \vec{j}$$

$$F_T = 141/6 N$$

با طرح یک فعالیت به نقطه ای بودن بارها در قانون کولن

اشاره می کنیم.

فعالیت ۱۱



دو کره ی رسانای مشابه به شعاع $R=5\text{cm}$ به فاصله ی 3°cm از هم قرار دارند، اندازه ی بار کره ی اول $2\mu\text{C}$ و دومی $5\mu\text{C}$ است. با حل و بحث در گروه های خود الف) تعیین کنید کدام گزینه در مورد نیروی الکتریکی بین دو کره درست است؟

۱- $1 N$

۲- بیش تر از $1 N$

۳- کم تر از $1 N$

ب) توضیح دهید در چه حالتی نیرو دقیقاً $1 N$ می شود؟

پاسخ:



الف) چون کره‌ها بزرگ‌اند، بارها روی سطح آن‌ها پخش می‌شوند و هر نقطه از یک کره با تمام نقاط باردار کره‌ی دیگر برهم‌کش خواهد داشت و در اثر دافعه‌ی الکتریکی بین بارها، توزیع یکنواخت بار روی

کره‌های فلزی به هم می‌خورد. اگر بار به‌طور یکنواخت روی کره‌ها توزیع شده بود، می‌توانستیم بار هر کره را در مرکز آن فرض کنیم، اما در وضعیت جدید فاصله‌ی مرکز بارها از 30° سانتی‌متر بیشتر است و نیرویی که به هم وارد می‌کنند از $1N$ کمتر می‌شود.

ب) در حالتی کره‌ها بسیار کوچک و نقطه‌ای باشند و یا فاصله‌ی آن‌ها از هم در مقایسه با شعاعشان آن‌قدر بزرگ باشد که بتوان آن‌ها را نقطه فرض کرد.

پاسخ فعالیت ۲-۱: می‌توان مراجعی چون را به‌دانش‌آموزان معرفی کرد.

دانش‌تنی

تاریخ علم (منشأ تفکر $F_e \propto \frac{1}{r^2}$)

نخستین سر‌نخ درباره‌ی سرشت «قانون نیروی الکتریکی» به صورت غیرمستقیم به دست آمده است. در حدود سال ۱۷۷۵ میلادی بنیامین فرانکلین دریافت که اگر چوب پنبه‌ای کوچک در نزدیک قوطی فلزی بارداری خارج از قوطی آویزان باشد، به شدت جذب آن می‌شود. اما وقتی که به وسیله‌ی ریسمان در داخل قوطی آویزان شود، چوب پنبه در هر جای داخل قوطی باشد، نیرویی بر آن وارد نخواهد شد.

فرانکلین نفهمید که چرا دیواره‌های قوطی چوب پنبه را هنگامی که داخل قوطی است نمی‌ربایند، ولی وقتی که خارج قوطی است می‌ربایند.

جوزف پرستلی کشیش و دانشمند انگلیسی به علت هواخواهی از انقلاب فرانسه خانه‌اش به غارت رفت. او به امریکا گریخت و به خانه‌ی فرانکلین پناه برد. در آن‌جا تحت تأثیر فرانکلین در علم علاقه‌مند شد. فرانکلین از او خواست تا آزمایش را تکرار کند.

پرستلی نتیجه‌های فرانکلین را بررسی کرد و از آن‌ها به نتیجه‌ای درخشان دست یافت. او به یاد آورد که بنا بر آن‌چه در کتاب «اصول نیوتون» مطرح شده است، نیروهای گرانشی نیز به همین ترتیب رفتار می‌کنند. در داخل سیاره‌ای تو خالی، نیروی گرانشی مؤثر بر یک جسم (مجموع همه‌ی نیروهایی که از همه‌ی اجزای سیاره وارد می‌شوند) دقیقاً صفر خواهد بود. همین‌طور می‌توان این نتیجه را به‌طور ریاضی از قانونی به دست آورد که براساس آن نیروی گرانشی بین هر دو تکه‌ی منفرد ماده با مجذور فاصله‌ی بین آن‌ها نسبت عکس دارد.

بنابراین پرستلی اظهار نظر کرد که نیروهایی که بارها به هم وارد می‌کنند درست مانند نیروهای میان دو جسم جرم‌دار با مجذور فاصله‌ی آن‌ها نسبت عکس دارد. درست همان‌طور که نیروی میان اجسام جرم‌دار نیروی «گرانشی» نامیده شده، نیروی میان دو جسم باردار نیز نیروی «الکتریکی» می‌نامند.

پیشنهاد پرستلی مبتنی بر استدلال از راه قیاس بود، یعنی با استدلال به کمک حالتی کاملاً ثابت شده و شبیه به آن این استدلال به تنهایی نمی‌توانست ثابت کند که نیروهای الکتریکی با عکس مجذور فاصله‌ی میان بارها متناسبند، اما فیزیکدانان دیگر را تشویق کرد که فرضیه‌ی پرستلی را با آزمایش بررسی کنند.

مقدار ثابت در قانون کولن

اگر بتوان دو کره را باردار کرد و آن‌ها را بین دو صفحه‌ی باردار قرار داد و بارهای q_1 و q_2 را اندازه گرفت می‌توان با ثابت نگه داشتن یک کره و متصل کردن کروی دیگر به یک ترازوی فنری نیروی بین آن‌ها را در فاصله‌ی ثابت r اندازه گرفت و عدد k را محاسبه کرد.

اما برای انجام این کار یک اشکال فنی وجود دارد. نیروهای بین دو کره‌ی کوچک که در آزمایش مربوط به اندازه‌گیری بار آن‌ها استفاده کردیم، بسیار کوچک‌تر از آن هستند که بتوان آن‌ها را اندازه گرفت. این کره‌ها بار کافی بر خود نگه نمی‌دارند. کره‌های بزرگتر هم نمی‌توانند بین دو صفحه بیش از چند میلی‌متر از هم فاصله بگیرند. برای قابل اجرا شدن آزمایش ابتدا باید فاصله‌ی صفحه‌ها از هم را زیاد کرد که برای ثابت ماندن اندازه‌ی میدان یکنواخت بین آن‌ها کافی است اختلاف پتانسیل اعمال شده به صفحه‌ها را نیز بزرگ کرد ($E = \frac{V}{d}$). طوری که نسبت اختلاف پتانسیل به فاصله‌ی صفحه‌ها ثابت بماند. اگر کره‌ها را بزرگ کنیم باید، بار آن‌ها نیز بیشتر باشد.

$$F' = q'E$$

$$\frac{F'}{F} = \frac{q'E}{qE} = \frac{q'}{q} \Rightarrow q' = q \frac{F'}{F}$$

در آزمایش با کره‌های بسیار کوچک، وقتی کره در میدان به حالت سکون درمی‌آمد، فاصله‌ی صفحه‌ها از هم $3 \times 10^{-3} \text{ m}$ و اختلاف پتانسیل اعمال شده 270° ولت بود و نیروی وارد بر کره $2 \times 10^{-14} \text{ N}$ به دست آمد و معلوم شد هر کره دارای 2 بار بنیادی بوده است.

اگر یک کره‌ی فلزی با قطر چند سانتی‌متر را باردار کنیم و به کره‌ای کاملاً مشابه خودش تماس دهیم تا هر دو بار یکسان داشته باشند، با استفاده از ترازوی فنری، نیروی بین دو کره وقتی از هم 15 m فاصله دارند، $6 \times 10^{-4} \text{ N}$ اندازه‌گیری می‌شود. سپس یکی از کره‌ها را در میدان یکنواختی به اندازه‌ی میدان مربوط به کره‌های کوچک قرار داده و نیروی وارد بر آن را $3 \times 10^{-3} \text{ N}$ به دست آورده‌اند. پس بار هر کره‌ی فلزی بزرگ به دست می‌آید:

$$q' = q \frac{F'}{F} = 2e \frac{3 \times 10^{-3}}{2 \times 10^{-14}} = 2 \times 10^{11} e$$

و با معلوم بودن فاصله‌ی کره‌ها از هم و نیروی برهم‌کنش آن‌ها، مقدار k محاسبه می‌شود:

$$6 \times 10^{-4} = \frac{k(2 \times 10^{11} e)^2}{(0.15)^2} \Rightarrow ke^2 = 2 \times 10^{-28} \text{ Nm}^2$$

دقیقترین مقدار ke^2 براساس آزمایش‌های متعدد $2 \times 10^{-28} \text{ Nm}^2$ به دست آمده است.

۲-۲- میدان الکتریکی

ایجاد انگیزه : نیاز به چاپ کردن با کیفیت بالا و سرعت زیاد سبب شده است تا تلاش‌های زیادی جهت جایگزینی چاپگرهای جدید به جای ماشین‌های تحریر متداول صورت گیرد. یکی از روش‌های جایگزین، ثبت حروف با پاشاندن قطره‌های جوهر روی کاغذ است. به چاپگرهایی که براساس این روش کار می‌کنند. چاپگرهای جوهرافشان گویند. آیا می‌دانید در این چاپگرها برای تنظیم محل برخورد قطرات جوهر، چگونه عمل می‌شود. شما در پایان درس میدان الکتریکی قادر می‌شوید تا پاسخ این سؤال را بیابید و یا آن را بفهمید.

ایجاد انگیزه : خلبان‌هایی که شب هنگام در نزدیکی یک توفان تندری پرواز می‌کردند، گهگاه از مشاهده‌ی درخشش‌های بزرگی بر فراز دور دست ابرهای تندری، درست پس از دیدن آذرخشی زیر آن‌ها، خبر می‌دادند. البته این درخشش‌ها در ارتفاع زیاد، بسیار کم مدت و بسیار کم‌نور بودند، به گونه‌ای که اغلب خلبان‌ها تصور می‌کردند که دچار توهم شده‌اند. تا این که در دهه

۱۹۹۰، این درخشش‌ها روی یک نمایشگر ویدئویی ثبت شدند و به آن‌ها نام اشباح (sprites) داده شد. اگر اشباح به آذرخشی که میان زمین و ابرها رخ می‌دهد وابسته‌اند پس چرا آن‌ها فقط در ارتفاعی بسیار زیاد از ابرها و نه در نزدیکی بالای آن‌ها ظاهر می‌شوند؟ با مطالعه‌ی بخش میدان الکتریکی و پدیده‌ی فروشکست، قادر خواهید بود تا پاسخ آن را درک کنید یا به پاسخ قانع‌کننده‌ای برسید.



شکل (۱۵)

دانستنی



چاپگرهای جوهرافشان

در این دانستنی؛ اساس کار یک چاپگر جوهرافشان بررسی می‌شود و در مورد چگونگی استفاده از میدان الکتریکی، جهت تنظیم نقطه‌ی برخورد قطره‌ی جوهر باردار، توضیح داده می‌شود.

دانستنی



اشباح

در این دانستنی؛ در مورد اشباحی که خلبان‌ها شب هنگام در نزدیکی یک توفان تندری به شکل درخشش‌های بزرگی بر فراز آن مشاهده کردند، توضیح داده شده است و علت آن را براساس میدان الکتریکی بیان کرده است.