

با نام و یاد خدا

کتاب



کلاس یازدهم ریاضی

تهیه شده توسط وبسایت [بتفایل](#)



۱-۱ بار الکتریکی

از آذرخش گرفته (شکل ۱-۱) تا درخشش لامپی کوچک، از آنچه اتم‌ها را به شکل مولکول به هم پیوند می‌دهد، تا پیام‌های عصبی در دستگاه اعصاب (شکل ۲-۱)، و همچنین بسیاری از پدیده‌های دیگر مانند قابلیت چسبیدن نوار سلوفان بر ظروف و حتی بالا رفتن یک مارمولک از دیوار و بسیاری از وسیله‌های اطراف ما، همگی منشأ الکتریکی دارند. مبانی فیزیکی مرتبط با این پدیده‌ها نخستین بار مورد توجه فیلسوفان یونان قدیم قرار گرفت که دریافتند اگر قطعه‌ای از کهربا با پارچهٔ پشمی مالش داده شود و سپس به خرده‌های کاه نزدیک گردد، آن خرده‌ها به سوی کهربا کشیده می‌شوند. امروز می‌دانیم این کشش ناشی از یک نیروی الکتریکی است. در واقع واژهٔ الکتریسیته از واژهٔ یونانی **الکترون** گرفته شده است که به معنای کهرباست.



شکل ۱-۱ توصیف

آذرخش مبتنی بر اصول الکتریسیته است.



شکل ۲-۱ انتقال

پیام‌های عصبی در دستگاه اعصاب به صورت الکتریکی صورت می‌گیرد.

وقتی لباس‌های بافتنی را از تن خارج می‌کنیم، یا پس از اینکه چند قدم بر روی فرش راه می‌رویم، دستگیره فلزی در را با دست بگیریم، عملاً وجود الکتریسیته را به صورت یک شوک الکتریکی حس می‌کنیم.

در این فصل، به مطالعهٔ بارهای ساکن می‌پردازیم که به آن **الکتریسیته ساکن** (الکتروستاتیک) می‌گویند و ضمن یادآوری مطالب الکتریسیتهٔ دورهٔ اوّل متوسطه، به جزئیات دقیق‌تری از چگونگی ایجاد بار الکتریکی در یک جسم، عوامل مؤثر بر نیروی الکتریکی بین دو بار الکتریکی ذره‌ای، میدان الکتریکی، انرژی پتانسیل الکتریکی و اختلاف پتانسیل الکتریکی، توزیع بار در یک جسم رسانا و کاربرد خازن‌ها می‌پردازیم.

در کتاب علوم تجربی پایهٔ هشتم دیدید که معمولاً وقتی دو جسم با یکدیگر مالش داده می‌شوند، هر دوی آنها دارای بار الکتریکی می‌شوند (شکل ۳-۱) و بر یکدیگر نیرو وارد می‌کنند (شکل ۴-۱). از این تجربه‌ها نتیجه گرفتیم که دو نوع بار الکتریکی وجود دارد. این دو نوع بار الکتریکی توسط دانشمند آمریکایی بنیامین فرانکلین، بار

مثبت و بار منفی نام گذاری شد. او می‌توانست آنها را هر چیز دیگری نیز بنامد، اما استفاده از علامت‌های جبری به جای نام‌های دیگر این مزیت را دارد که وقتی در یک جسم از این دو نوع بار به مقدار مساوی وجود داشته باشد، جمع جبری بارهای جسم صفر می‌شود که به معنای خنثی بودن آن جسم است.



شکل ۳-۱ مالش بادکنک به بدن گربه سبب ایجاد بار الکتریکی در آنها و در نتیجه

برافراشته شدن موهای گربه می‌شود.



پ) وقتی میله پلاستیکی مالش داده شده با پارچه پشمی را به میله شیشه‌ای مالش داده شده با پارچه ابریشمی نزدیک کنیم، همدیگر را جذب می‌کنند.



ب) وقتی دو میله پلاستیکی را با پارچه پشمی مالش دهیم، همدیگر را دفع می‌کنند.



الف) وقتی دو میله شیشه‌ای را با پارچه ابریشمی مالش دهیم، همدیگر را دفع می‌کنند.

شکل ۴-۱

نوع باری که دو جسم مختلف بر اثر مالش پیدا می‌کنند، به جنس آنها بستگی دارد. همان‌طور که در کتاب علوم تجربی پایه هشتم خود دیدید باردار بودن یک جسم و نوع بار آن را می‌توانیم با الکتروسکوپ (برق نما) تعیین کنیم (شکل ۵-۱).



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



الف) تصویری از یک الکتروسکوپ درجه بندی شده بدون بار

شکل ۵-۱

یکای بار الکتریکی در SI، کولن (C) است. توجه کنید یک کولن مقدار بار بزرگی است. مثلاً در یک آذرخش نوعی، باری از مرتبه 10^6 C به زمین منتقل می‌شود و از این رو، در این فصل غالباً با بارهایی از مرتبه میکروکولن (μC) و نانو کولن (nC) سرو کار داریم. به عنوان مثال، در مالش شانه پلاستیکی با موهای سر، بارهای منتقل شده از مرتبه نانو کولن (nC) است.



پرسش ۱-۱ (صفحه ۳ کتاب درسی)

چرا وقتی روکش پلاستیکی را روی یک ظرف غذا می‌کشید و آن را در لبه‌های ظرف فشار می‌دهید، روکش در جای خود ثابت باقی می‌ماند؟
با مالش روکش پلاستیکی به بدنه‌ی ظرف در لبه‌ها، بار الکتریکی بین آنها مبادله می‌شود و جاذبه‌ی بین بارهای ناهمنام باعث چسبیدن روکش به لبه‌های ظرف می‌شود.

بنیامین فرانکلین (۱۷۹۰-۱۷۰۶ م)

بنیامین فرانکلین دانشمند، نویسنده و سیاستمدار آمریکایی، در شهر بوستون به دنیا آمد و در شهر فیلادلفیا دیده از جهان فرو بست. فرانکلین در حدود سال ۱۷۴۴ میلادی با مبحث الکتریسیته آشنا شد و عمده کشفیات مهم و بزرگ خویش را در بین سال های ۱۷۳۷ و ۱۷۵۱ به انجام رسانید و به شهرت علمی بی سابقه ای رسید. جالب است که او برخلاف سایر دانشمندان بزرگ، پس از چهل سالگی کارهای علمی اساسی خود را آغاز کرد. مهم ترین اثر فرانکلین، کتاب «در باب الکتریسیته» است که بسیاری آن را با کتاب «اصول ریاضیات» اسحاق نیوتون مقایسه کرده اند. فرانکلین در این کتاب شالوده و بنیاد اصول علم الکتریسیته را بر مبنای تجربیات و مشاهدات علمی خود تشریح کرده است. در واقع تجربیات متعدد و مهم فرانکلین آغازگر دوره ای جدید در مبحث الکتریسیته بوده است و بسیاری از واژگانی که ما امروزه در الکتریسیته به کار می گیریم نخستین بار توسط فرانکلین به کار برده شده است. توانایی و مهارت فرانکلین در انجام آزمایش و بیان واضح وی از مفاهیم فیزیکی و بالاخره کشفیات مهم او موجب ارج و قرب علوم تجربی در قرن هجدهم شد.

۱-۲ پایستگی و کوانتیده بودن بار الکتریکی

در یک اتم خنثی، تعداد الکترون‌ها برابر با تعداد پروتون‌های هسته است. بنابراین، جمع جبری همه بارها (بار خالص) دقیقاً برابر با صفر است. در تجربه‌هایی مانند مالش اجسام به یکدیگر، الکترون‌ها تولید نمی‌شوند و یا از بین نمی‌روند، بلکه صرفاً از جسمی به جسم دیگر منتقل می‌شوند.

اندازه بار منفی الکترون دقیقاً برابر با اندازه بار مثبت پروتون است. این مقدار را بار بنیادی (با نماد e) می‌گویند که برابر است با

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

در هنگام مالش، با انتقال تعدادی الکترون از یک جسم به جسمی دیگر، تعادل بارها در اتم خنثی بر هم می‌خورد و جسمی که الکترون از دست می‌دهد، تعداد الکترون‌هایش کمتر از تعداد پروتون‌های آن می‌شود و بار الکتریکی خالص آن مثبت می‌گردد و همچنین، جسمی که الکترون اضافی دریافت می‌کند، الکترون‌هایش از پروتون‌های آن فزونی می‌یابد و بار الکتریکی خالص آن منفی می‌شود. به دست آوردن یا از دست دادن الکترون دو جسم در تماس با یکدیگر را می‌توان براساس جدولی موسوم به **سری الکتریسته**

مالشی (تریبو الکتریک؛ TribosTribos در لغت یونانی به معنای مالش است) معلوم کرد (جدول ۱-۱). در این

جدول مواد پایین‌تر، الکترون خواهی بیشتری دارند؛ یعنی اگر دو ماده در این جدول در تماس با یکدیگر قرار گیرند، الکترون‌ها از ماده بالاتر جدول به ماده‌ای که پایین‌تر قرار دارد منتقل می‌شود. مثلاً اگر تفلون با نایلون مالش یابد، الکترون‌ها از نایلون به تفلون منتقل می‌شوند.

در مورد بارهای الکتریکی دو اصل وجود دارد. نخستین آنها **اصل پایستگی بار** است که بیان می‌دارد: مجموع جبری همه بارهای الکتریکی در یک دستگاه منزوی ثابت است؛ یعنی بار می‌تواند از جسمی به جسم دیگر منتقل شود، ولی هرگز امکان تولید یا نابودی یک بار خالص وجود ندارد. تاکنون هیچ آزمایشی این اصل را نقض نکرده است.

دومین اصل، **کوانتیده بودن بار** است. در تجربه‌هایی مانند مالش اجسام به یکدیگر اگر جسم خنثی الکترون به دست آورد یا از دست بدهد، همواره بار الکتریکی مشاهده شده جسم، مضرب درستی از بار بنیادی e است:

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

یک مثال آشنا از کوانتیده بودن یک کمیت، تعداد دانش‌آموزان یک کلاس یا تعداد تخم‌مرغ‌های درون یک ظرف است. برای مثال، ما نمی‌توانیم $3/24$ دانش‌آموز در یک کلاس و یا $4/12$ تخم مرغ در یک ظرف داشته باشیم.

جدول ۱-۱ سری الکتريسيته مالشي (تريبو الكتريك)

انتهای مثبت سری

موی انسان

شیشه

نايلون

پشم

موی گربه

سُرب

ابريشم

آلومينيم

پوست انسان

کاغذ

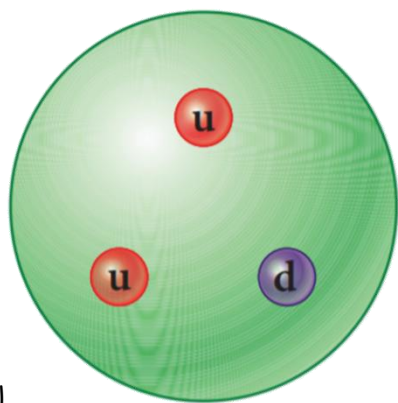
چوب
پارچه کتان
کهربا
برنج، نقره
پلاستیک پلی اتیلن
لاستیک
تفلون
انتهای منفی سری

خوب است بدانید

الکترون یک ذره بنیادی است و زیرساختار ندارد؛ یعنی از اجزای دیگری تشکیل نشده است. اما پروتون و نوترون برخلاف الکترون از ذراتی بنیادی به نام کوارک ساخته شده‌اند. کوارک‌ها بار $\pm \frac{1}{3}e$ یا $\pm \frac{2}{3}e$ دارند،

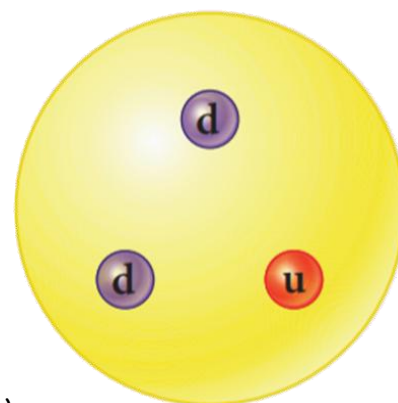
ولی این در تناقض با اصل کوانتیده بودن بار نیست؛ زیرا هیچ کوارک مستقلی مشاهده نشده است؛ یعنی این بارهای کسری نمی‌توانند به طور مستقل دیده شوند. مثلاً یک پروتون از دو کوارک بالا (u)(u) هر یک با بار $\frac{2}{3}e$ و یک کوارک پایین (d)(d) با بار $-\frac{1}{3}e$ ساخته شده است که بار خالص پروتون را برابر $+e$ به دست می‌دهد، یا نوترون از یک کوارک بالا و دو کوارک پایین ساخته شده است که بار خالص

صفر را به دست می‌دهد.



الف) پروتون از دو کوارک

بالا (u)(u) و یک کوارک پایین (d)(d) ساخته شده است.



ب) نوترون از یک کوارک

بالا (u)(u) و دو کوارک پایین (d)(d) ساخته شده است.

مثال ۱-۱

وقتی روی فرش راه می‌روید و بدنتان بار الکتریکی پیدا می‌کند، هنگام دست دادن با دوستان، ممکن است با انتقال باری در حدود $1nC$ به او شوک خفیفی وارد کنید. در این انتقال بار، چند الکترون بین شما و

دوستان منتقل شده است؟

پاسخ: از رابطه ۱-۱ داریم:

$$q = ne \quad q = ne$$

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

تمرین ۱-۱ (صفحه ۵ کتاب درسی)

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

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

هسته‌ی اتم اورانیوم دارای ۹۲ است، بنابراین بار هسته برابر است با:

$$q = +ne = +92 \times 1.6 \times 10^{-19} = 1.472 \times 10^{-17} C \rightarrow q = 1.472 \times 10^{-17} C \quad q = +ne = +92 \times 1.6 \times 10^{-19} = 1.472 \times 10^{-17} C \rightarrow q = 1.472 \times 10^{-17} C$$

اتم اورانیوم دارای ۹۲ الکترون است. پس مجموع بار الکترون‌های اتم اورانیوم برابر است با:

$$q = -ne = -92 \times 1/6 \times 10^{-19} = -147/2 \times 10^{-19} C \rightarrow q = -147/2 \times 10^{-19} C$$

$$q = -ne = -92 \times 1/6 \times 10^{-19} C \rightarrow q = -147/2 \times 10^{-19} C$$

بار الکتریکی اتم اورانیم برابر مجموع بارهای الکترون‌ها و پروتون‌های آن است در نتیجه:

$$q = 0, q = 0$$



۱-۳ قانون کولن

همان طور که می‌دانیم نیروی الکتریکی که دو جسم باردار بر هم وارد می‌کنند می‌تواند جاذبه یا دافعه باشد. اگر بارهای الکتریکی دو جسم همنام باشند، این نیرو دافعه است (شکل ۶-۱). و اگر نا همنام باشند، این نیرو جاذبه است.

شکل ۶-۱ گوی‌های باردار همنام یکدیگر را با نیرویی هم اندازه دفع کرده‌اند.



فعالیت ۱-۱ (کار در کلاس) (صفحه ۵ کتاب درسی)

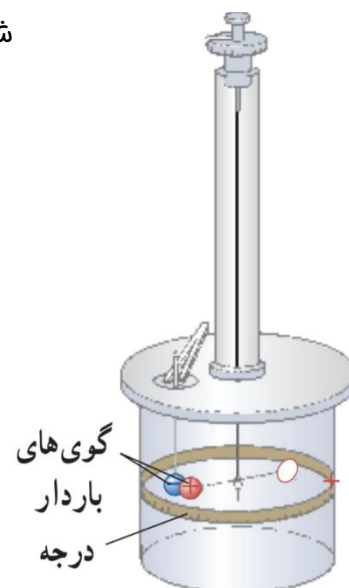
مطابق شکل، دو نی پلاستیکی را از نزدیکی یک انتهای آنها خم کنید و پس از مالش دادن با پارچه‌ای پشمی نزدیک یکدیگر قرار دهید. اگر نی‌ها به خوبی باردار شده باشند، نیروی دافعه آنها را می‌توانید به وضوح بر روی انگشتان خود حس کنید.



نی‌ها در اثر مالش با پارچه‌ی پشمی دارای بارهای همنام (منفی) شده و نیروی دافعه بین بارهای همنام در انگشتان حس می‌شود.

نیروی الکتریکی بین دو جسم باردار، به چه عامل‌هایی بستگی دارد و اندازه این نیروها را از چه رابطه‌ای می‌توان محاسبه کرد؟ شارل آگوستین کوئن، دانشمند فرانسوی برای نخستین بار با انجام آزمایش‌های ساده و هوشمندانه‌ای توانست عامل‌های مؤثر بر نیروی الکتریکی بین دو ذره باردار را که اصطلاحاً بار نقطه‌ای خوانده می‌شود، شناسایی کند. نتیجه آزمایش‌های او امروزه به نام **قانون کولن** خوانده می‌شود. شکل ۷-۱ طرحی از آزمایش کولن را نشان می‌دهد.

شکل ۷-۱ ترازوی پیچشی کولن. در یک سر یک میله نارسانای سبک افقی یک گوی باردار



مثبت کوچک و در سر دیگر آن، یک قرص قرار دارد و میله از وسط توسط یک رشته سیم کشسان و نازک آویخته شده است. یک گوی با بار منفی از حفره‌ای به داخل استوانه شیشه‌ای برده می‌شود. درجه‌هایی بر سطح استوانه حک شده است که زاویه چرخش میله را نشان می‌دهد. نیروی مؤثر بین این بارها از اندازه گیری زاویه چرخش تا رسیدن به حالت تعادل به دست می‌آید.

قانون کولن بیان می‌دارد:

اندازه نیروی الکتریکی (الکتروستاتیکی) بین دو بار نقطه‌ای که در راستای خط واصل آنها اثر می‌کند، با حاصل ضرب بزرگی آنها متناسب است و با مربع فاصله بین آنها نسبت وارون دارد.

بنابراین، اندازه این نیرو برابر است با

$$F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2} \quad (۱-۲)$$

شارل آگوستین کولن (۱۸۰۶ - ۱۷۳۶م)

شارل آگوستین کولن در فرانسه به دنیا آمد. او در دانشگاه مباحث متنوعی از قبیل فلسفه، ریاضیات، نجوم و شیمی را آموخت، و در طی دوازده سال پس از فارغ التحصیلی شغل‌های متنوعی در شاخه‌های مختلف مهندسی داشت و مدتی را نیز خارج از فرانسه گذراند. کولن پس از بازگشت به پاریس در سال ۱۷۸۵ میلادی تقریباً هم‌زمان با بنیامین فرانکلین آزمایش معروف خود را در مورد اینکه نیروی بین دو بار ذره‌ای با مربع فاصله بین آنها نسبت وارون دارد، به چاپ رساند. نتیجه این آزمایش که به قانون کولن معروف شده است از هر آزمون و تجربه‌ای سربلند بیرون آمده است و تاکنون هیچ استثنایی برای آن یافت نشده است. کولن معتقد بود چنین قانونی برای قطب‌های مغناطیسی نیز برقرار است، گرچه هیچ وقت نتوانست به چنین رابطه‌ای برسد. نام کولن یکی از ۷۲ نامی است که روی برج ایفل ثبت شده است.



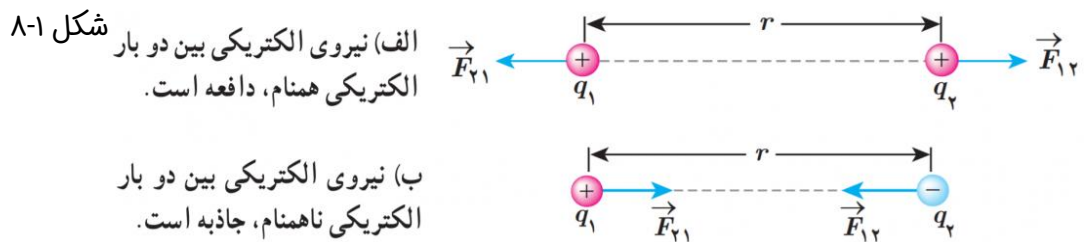
که در آن q_1q_2 و q_1q_1 بارهای الکتریکی دو بار نقطه‌ای بر حسب کولن $(C)(C)$ ، rr فاصله بین دو بار بر حسب متر $(m)(m)$ ، و FF بزرگی نیروی الکتریکی وارد بر هر بار بر حسب نیوتون $(N)(N)$ است. در این رابطه k ثابت الکتروستاتیکی یا ثابت کولن نام دارد و برابر است با

$$k = 8.98755179 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2 \approx 9.0 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$$

در شکل ۸-۱ $F_{۱۲} \rightarrow F_{۲۱}$ نیرویی است که بار الکتریکی نقطه‌ای q_1q_1 به بار نقطه‌ای q_2q_2 وارد می‌کند و $F_{۲۱} \rightarrow F_{۱۲}$ نیرویی است که بار الکتریکی نقطه‌ای q_2q_2 به بار نقطه‌ای q_1q_1 وارد می‌کند. این دو نیروی

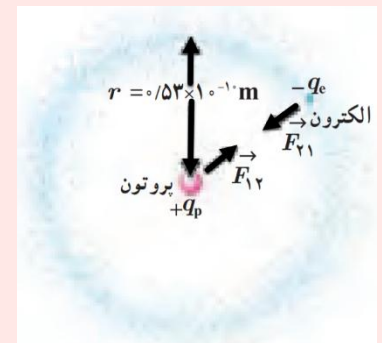
الکتریکی (بنا به قانون سوم نیوتون) هم اندازه، هم راستا، و در خلاف جهت همدیگرند. به عبارتی:

$$\rightarrow F_{۱۲} = - \rightarrow F_{۲۱} \Rightarrow F_{۱۲} = F_{۲۱} = FF \rightarrow ۱۲ = -F \rightarrow ۲۱ \Rightarrow F_{۱۲} = F_{۲۱} = F$$



مثال ۲-۱

الف) در مدل بور برای اتم هیدروژن، فاصله الکترون از پروتون هسته در حالت پایه $5.3 \times 10^{-11} \text{ m}$ است (شکل را ببینید).



اندازه نیروی الکتریکی که پروتون به الکترون وارد می‌کند را محاسبه کنید.
 ب) در هسته اتم هلیوم دو پروتون به فاصله تقریبی $r = 2.0 \times 10^{-15} \text{ m}$ از هم قرار دارند.
 اندازه نیرویی که پروتون‌ها بر هم وارد می‌کنند را محاسبه کنید.

پاسخ:

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

$$F = k|q_1||q_2|/r^2 = k|q_e||q_p|/r^2 = (9.0 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2)(1.6 \times 10^{-19} \text{ C})^2/(5.3 \times 10^{-11} \text{ m})^2 = 8.2 \times 10^{-8} \text{ N}$$

$$|q_2|/r^2 = k|q_e||q_p|/r^2 = (9.0 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2)(1.6 \times 10^{-19} \text{ C})^2/(5.3 \times 10^{-11} \text{ m})^2 = 8.2 \times 10^{-8} \text{ N}$$

ب) با استفاده از قانون کولن داریم:

$$F = k|q_p||q_p|/r^2 = (9.0 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2)(1.6 \times 10^{-19} \text{ C})^2/(2.0 \times 10^{-15} \text{ m})^2 = 6.0 \text{ N}$$

$$F = k|q_p||q_p|/r^2 = (9.0 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2)(1.6 \times 10^{-19} \text{ C})^2/(2.0 \times 10^{-15} \text{ m})^2 = 6.0 \text{ N}$$

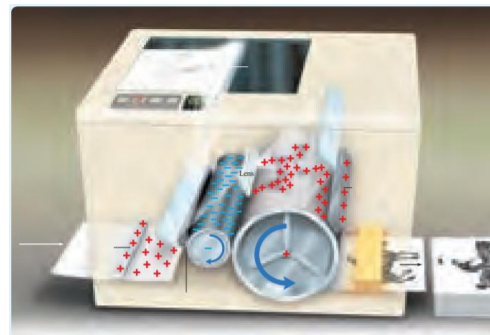
که این به مراتب بزرگ‌تر از نیروی محاسبه شده در قسمت الف است. این نیروی بزرگ، از جنس دافعه است. بنابراین، هسته اتم باید فرو بپاشد. از اینجا نتیجه می‌گیریم که باید نیروی دیگری وجود داشته باشد که مانع فروپاشی هسته شود. به این نیرو، نیروی هسته‌ای گفته می‌شود.

خوب است بدانید

تمامی اجسام به علت جرمشان بر یکدیگر نیروی گرانشی نیز وارد می‌کنند که همواره از نوع جاذبه است. بزرگی این نیرو برای الکترون و پروتون اتم هیدروژن از مرتبه 10^{-47}N - 10^{-67}N است. بنابراین، در حدود 10^{40} - 10^{60} بار کوچک‌تر از نیروی الکتریکی بین این دو ذره است و این نشان می‌دهد نیروی گرانشی به مراتب ضعیف‌تر از نیروی الکتریکی است.

فعالیت ۲-۱ (صفحه ۷ کتاب درسی)

شکل زیر تصویری از مرحله‌های ایجاد یک رونوشت در دستگاه فتوکپی را نشان می‌دهد. در مورد چگونگی کار دستگاه‌های فتوکپی تحقیق کنید.



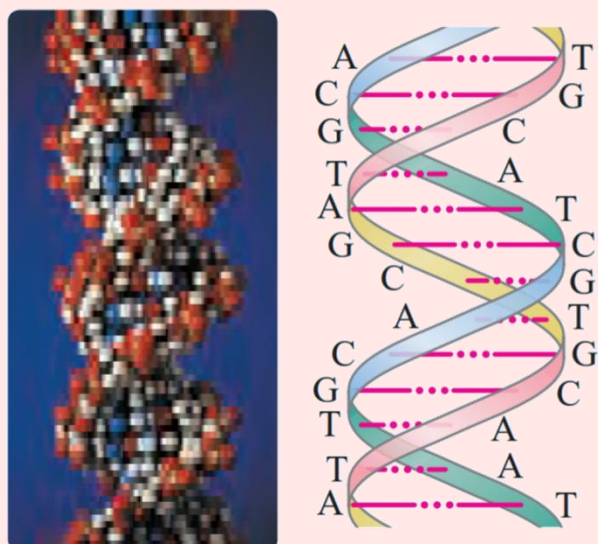
در ابتدا غلتک نواری که درام نامیده می‌شود با ولتاژی در حدود ۶۰۰ تا ۷۰۰ ولت دارای بار مثبت می‌شود. پس از قرار دادن کاغذ یا نوشته بر روی صفحه‌ی شیشه‌ای دستگاه کپی، باریکه نور شدیدی به آن تابیده و قسمت‌های تیره‌ی کاغذ، نور را جذب و قسمت‌های سفید، نور را به سطح درام منعکس می‌کنند. نور در برخورد به سطح باردار درام آن را خنثی و نواحی با بار مثبت که نمایانگر تصویر یا نوشته‌های کاغذ هستند بر روی درام باقی می‌ماند. پودر سیاه رنگی که تونر نامیده می‌شود و با بار منفی شارژ شده در تماس با درام به بخش‌های مثبت آن می‌چسبد. سطح کاغذهای ورودی به دستگاه نیز با بار مثبت شارژ شده و در اثر تماس با درام ذرات باردار منفی تونر را جذب می‌کنند. این ذرات با استفاده از حرارت به کاغذ چسبیده و کپی ایجاد می‌شود.

خوب است بدانید: DNA

اطلاعات ژنتیکی در مولکول‌های خاصی به نام دنا (DNA) وجود دارد. در واقع دنا دارای اطلاعات و

دستورهایی برای تعیین و ایجاد صفات ارثی ما و همه جانداران است. در مولکول‌های دنا چهار نوع باز به نام‌های آدنین (A)، سیتوزین (C)، گوانین (G) و تیمین (T) وجود دارد. دنا مولکولی دو رشته‌ای است که به صورت مارپیچ دوگانه پیچیده شده است. همان‌طور که در شکل نشان داده شده است این دو رشته توسط نیروهای الکتریکی به یکدیگر پیوند خورده‌اند. مثلاً در شکل می‌بینیم که همواره آدنین و تیمین در دو طرف رشته و مقابل هم قرار دارند. به همین ترتیب GG و CC نیز در دو طرف رشته و مقابل هم قرار دارند.

بارهای مثبت در یک طرف رشته و بارهای منفی در طرف دیگر، دو رشته را به هم زیپ می‌کنند. این جاذبه آن قدر هست که رشته‌ها از هم نگسلند، اما به حد کافی ضعیف نیز هست تا در فرایند رونویسی از هم گسیخته گردد.



برهم نهی نیروهای الکتروستاتیکی: اگر به جای دو ذره باردار، تعدادی بار نقطه‌ای داشته باشیم، نیروی الکتریکی وارد بر هر ذره باردار چگونه تعیین می‌شود؟ تجربه نشان می‌دهد که در این وضعیت، نیروی الکتریکی وارد بر هر ذره، برآیند نیروهایی است که هر یک از ذره‌های دیگر در غیاب سایر ذره‌ها، بر آن ذره وارد می‌کند. این موضوع که از آزمایش نتیجه شده است را **اصل برهم نهی** نیروهای الکتروستاتیکی می‌گویند.

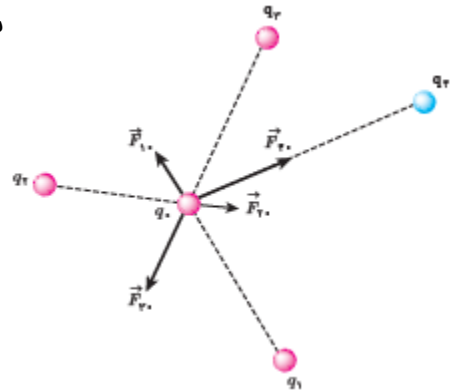
فرض کنید nn ذره باردار داشته باشیم که در نزدیکی بار نقطه‌ای $q^o q^o$ قرار دارند. آن گاه نیروی خالص (برآیند) وارد بر بار نقطه‌ای $q^o q^o$ با جمع برداری زیر داده می‌شود:

$$\vec{F}^T = \vec{F}^1 + \vec{F}^2 + \dots + \vec{F}^n \quad F \rightarrow T = F \rightarrow 1 + F \rightarrow 2 + \dots + F \rightarrow n$$

شکل ۹-۱ نیروی وارد بر بار q از سوی چهار بار دیگر را نشان می‌دهد.

در این کتاب، مثال‌هایی را بررسی می‌کنیم که در آنها نیروهای الکتریکی وارد بر یک ذره باردار در یک راستا قرار دارند یا عمود بر یکدیگرند.

شکل ۹-۱ نیروی برآیند وارد بر بار q در اینجا برابر است با



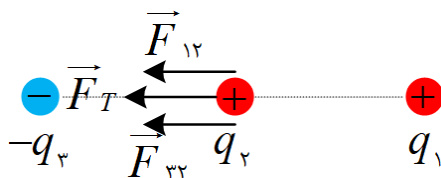
$$\vec{F}^T = \vec{F}^1 + \vec{F}^2 + \vec{F}^3 + \vec{F}^4 \quad F \rightarrow T = F \rightarrow 1 + F \rightarrow 2 + F \rightarrow 3 + F \rightarrow 4$$

پرسش ۲-۱ (صفحه ۸ کتاب درسی)

سه ذره باردار مانند شکل زیر، روی یک خط راست قرار دارند و فاصله بارهای سمت راست و چپ از بار میانی برابر است.

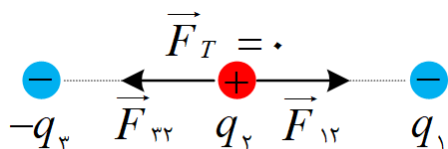


الف) جهت نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار الکتریکی میانی را تعیین کنید.



$$q_1 = qq_2 = qq_3 = -q \quad \{ q_1 = qq_2 = qq_3 = -q$$

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



$$q_1 = -q \quad q_2 = q \quad q_3 = -q \quad \{ q_1 = -q \quad q_2 = q \quad q_3 = -q$$

چون بارها هم اندازه و در فاصله‌ی یکسانی از هم قرار دارند، دو نیروی هم اندازه، در یک راستا و در خلاف جهت هم به بار میانی وارد و نیروی خالص صفر می‌شود.

مثال ۳-۱

سه ذره با

بارهای $q_1 = +2/5 \mu C$ ، $q_2 = -1/5 \mu C$ و $q_3 = +4/5 \mu C$ در نقاط A، B و C مطابق شکل زیر ثابت شده‌اند. نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار q_3 را محاسبه کنید.



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

فاصله بین بارهای q_1 و q_3 را با r_{13} و فاصله بین بارهای q_2 و q_3 را با r_{23} نشان می‌دهیم. با استفاده از رابطه ۲-۱ داریم:

$$F_{13} = k|q_1||q_3|/r_{13}^2 = (9/5 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2)(2/5 \times 10^{-6} \text{ C})(4/5 \times 10^{-6} \text{ C})/(6/5 \text{ m})^2 = 2/5 \times 10^{-3} \text{ N}$$

$$q_3/r_{13}^2 = (9/5 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2)(2/5 \times 10^{-6} \text{ C})(4/5 \times 10^{-6} \text{ C})/(6/5 \text{ m})^2 = 2/5 \times 10^{-3} \text{ N}$$

$$F_{23} = k|q_2||q_3|/r_{23}^2 = (9/5 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2)(1/5 \times 10^{-6} \text{ C})(4/5 \times 10^{-6} \text{ C})/(2/5 \text{ m})^2 = 9/5 \times 10^{-3} \text{ N}$$

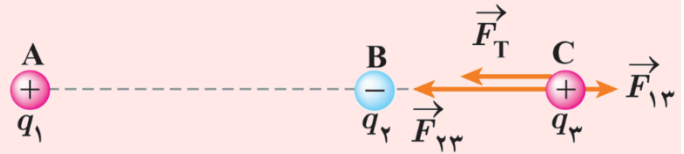
$$|q_3|/r_{23}^2 = (9/5 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2)(1/5 \times 10^{-6} \text{ C})(4/5 \times 10^{-6} \text{ C})/(2/5 \text{ m})^2 = 9/5 \times 10^{-3} \text{ N}$$

نیرویی که بار q_1 بر بار q_3 وارد می‌کند، دافعه و نیرویی که بار q_2 بر بار q_3 وارد می‌کند جاذبه

است.

مطابق شکل، نیروهای $\vec{F}_{13} \rightarrow 13$ و $\vec{F}_{23} \rightarrow 23$ در جهت‌های مخالف یکدیگرند و برآیند آنها برابر است با

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



بنابراین، اندازه نیروی برآیند برابر با تفاضل اندازه آنهاست:

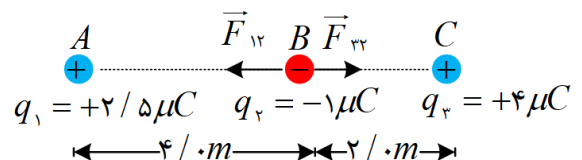
$$F_T = F_{23} - F_{13} = 1/5 \times 10^{-3} \text{ N} \quad F_T = F_{23} - F_{13} = 1/5 \times 10^{-3} \text{ N}$$

و جهت آن در جهت نیروی بزرگ‌تر $(\vec{F}_{23})$ ، یعنی از سمت راست به طرف چپ، است. اگر محور xx را روی خط واصل سه بار و جهت مثبت آن را به سمت راست در نظر بگیریم و بردار یکه محور xx را، $\vec{i}$ بنامیم، داریم:

$$\vec{F}_T = (-1/5 \times 10^{-3} \text{ N}) \vec{i} \quad F \rightarrow T = (-1/5 \times 10^{-3} \text{ N}) \vec{i}$$

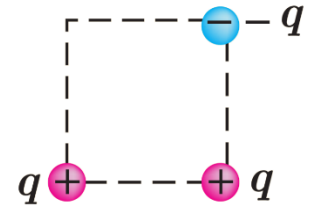
تمرین ۲-۱ (صفحه ۹ کتاب درسی)

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

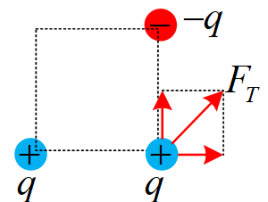


$$\begin{aligned} F_{12} &= k|q_1||q_2|/r_{12}^2 = 9 \times 10^9 \times 2/5 \times 10^{-6} \times 10^{-6} / 16 \approx 1/8 \times 10^{-3} \text{ N} \rightarrow F_{12} = -(1/8 \times 10^{-3} \text{ N}) \vec{i} \\ F_{23} &= k|q_2||q_3|/r_{23}^2 = 9 \times 10^9 \times 2/5 \times 10^{-6} \times 10^{-6} / 16 \approx 1/8 \times 10^{-3} \text{ N} \rightarrow F_{23} = -(1/8 \times 10^{-3} \text{ N}) \vec{i} \\ F_{32} &= k|q_3||q_2|/r_{32}^2 = 9 \times 10^9 \times 4 \times 10^{-6} \times 10^{-6} / 16 = 9 \times 10^{-3} \text{ N} \rightarrow F_{32} = +(9 \times 10^{-3} \text{ N}) \vec{i} \\ F_{23} &= k|q_2||q_3|/r_{23}^2 = 9 \times 10^9 \times 4 \times 10^{-6} \times 10^{-6} / 16 = 9 \times 10^{-3} \text{ N} \rightarrow F_{23} = +(9 \times 10^{-3} \text{ N}) \vec{i} \\ \vec{F}_T &= \vec{F}_{12} + \vec{F}_{32} = (9 \times 10^{-3} \text{ N}) \vec{i} - (1/8 \times 10^{-3} \text{ N}) \vec{i} = (7/6 \times 10^{-3} \text{ N}) \vec{i} \rightarrow F_T = (7/6 \times 10^{-3} \text{ N}) \vec{i} \\ F_T &= 7/6 \times 10^{-3} \text{ N} \quad F \rightarrow T = F \rightarrow 12 + F \rightarrow 32 = (9 \times 10^{-3} \text{ N}) \vec{i} - (1/8 \times 10^{-3} \text{ N}) \vec{i} = (7/6 \times 10^{-3} \text{ N}) \vec{i} \rightarrow F \rightarrow T = (7/6 \times 10^{-3} \text{ N}) \vec{i} \end{aligned}$$

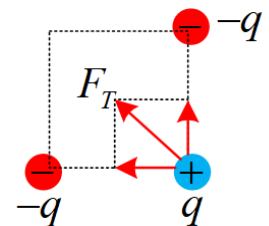
سه ذره باردار مطابق شکل زیر، در سه گوشه یک مربع قرار دارند.



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

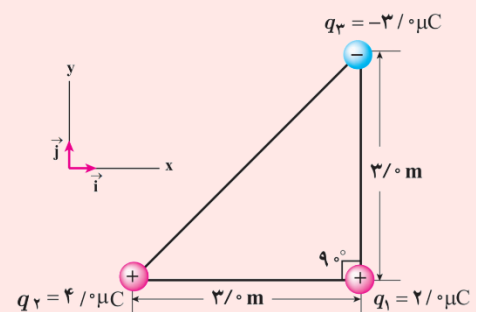


ب) اگر ذره سمت چپ پایینی به جای q ، بار $-q$ داشته باشد، جهت نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار سمت راست پایینی چگونه خواهد بود؟



مثال ۴-۱

سه ذره باردار مطابق شکل زیر در سه رأس مثلث قائم الزاویه ای ثابت شده اند. نیروی الکتریکی خالص وارد بر ذره واقع در رأس قائمه را به دست آورده و اندازه این نیرو را محاسبه کنید.



پاسخ: نیروی الکتریکی بین بارهای q_1q_2 و q_1q_3 دفعه و نیروی بین بارهای q_2q_3 و q_1q_2 جاذبه است. با

استفاده از رابطه ۲-۱ داریم:

$$F_{21} = k|q_2||q_1|r_{21}^{-2} = (9/0 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2)(4/0 \times 10^{-6} \text{ C})(2/0 \times 10^{-6} \text{ C})(3/0 \text{ m})^{-2} = 8/0 \times 10^{-3} \text{ N}$$

$$q_1|r_{21}^{-2} = (9/0 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2)(4/0 \times 10^{-6} \text{ C})(2/0 \times 10^{-6} \text{ C})(3/0 \text{ m})^{-2} = 8/0 \times 10^{-3} \text{ N}$$

با توجه به دستگاه مختصات داده شده، $\vec{F}_{21} \rightarrow \vec{F}_{21} \rightarrow \vec{F}_{21}$ در جهت مثبت محور xx است.

بنابراین، $\vec{F}_{21} = (8/0 \times 10^{-3} \text{ N}) \rightarrow i \vec{F}_{21} \rightarrow \vec{F}_{21} = (8/0 \times 10^{-3} \text{ N}) i \rightarrow$ می‌شود. به همین ترتیب، برای

نیروی بین بارهای q_1q_3 و q_2q_3 داریم:

$$F_{31} = k|q_3||q_1|r_{31}^{-2} = (9/0 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2)(3/0 \times 10^{-6} \text{ C})(2/0 \times 10^{-6} \text{ C})(3/0 \text{ m})^{-2} = 6/0 \times 10^{-3} \text{ N}$$

$$|q_1|r_{31}^{-2} = (9/0 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2)(3/0 \times 10^{-6} \text{ C})(2/0 \times 10^{-6} \text{ C})(3/0 \text{ m})^{-2} = 6/0 \times 10^{-3} \text{ N}$$

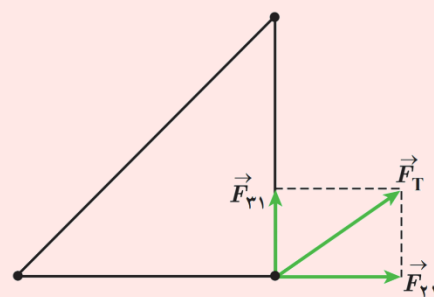
با توجه به دستگاه مختصات داده شده، $\vec{F}_{31} \rightarrow \vec{F}_{31} \rightarrow \vec{F}_{31}$ در جهت مثبت محور yy است.

بنابراین، $\vec{F}_{31} = (6/0 \times 10^{-3} \text{ N}) \rightarrow j \vec{F}_{31} \rightarrow \vec{F}_{31} = (6/0 \times 10^{-3} \text{ N}) j \rightarrow$ می‌شود. پس برایندهای

الکتریکی وارد بر بار q_1q_1 برابر است با

$$\vec{F}_T = \vec{F}_{21} + \vec{F}_{31} = (8/0 \times 10^{-3} \text{ N}) \rightarrow i + (6/0 \times 10^{-3} \text{ N}) \rightarrow j \vec{F}_T \rightarrow \vec{F}_T = \vec{F}_{21} + \vec{F}_{31} = (8/0 \times 10^{-3} \text{ N}) i \rightarrow + (6/0 \times 10^{-3} \text{ N}) j \rightarrow$$

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

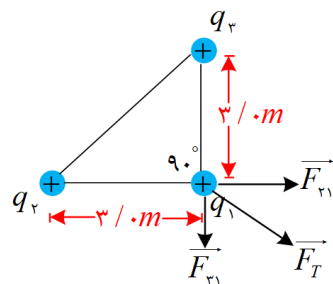


$$F_T = \sqrt{F_{21}^2 + F_{31}^2} = \sqrt{(8/0 \times 10^{-3} \text{ N})^2 + (6/0 \times 10^{-3} \text{ N})^2} = 1/0 \times 10^{-2} \text{ N}$$

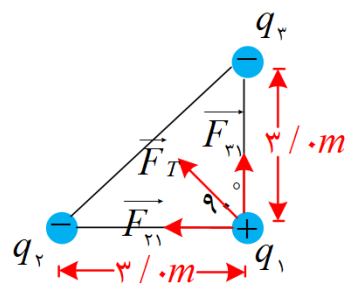
$$F_T^2 = F_{21}^2 + F_{31}^2 = (8/0 \times 10^{-3} \text{ N})^2 + (6/0 \times 10^{-3} \text{ N})^2 = 1/0 \times 10^{-2} \text{ N}$$

تمرین ۳-۱ (صفحه ۱۰ کتاب درسی)

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



ب) اگر علامت بار q_2 تغییر کند، جهت نیروی برآیند وارد بر بار q_1 چگونه خواهد شد؟



پ) آیا اندازهٔ نیروی برآیند وارد بر بار q_1 در قسمت‌های الف و ب با مقدار به دست آمده در مثال ۴-۱ متفاوت

است؟

خیر، چون اندازه، زاویه و فاصله‌ی بین بارها تغییر نکرده، بزرگی نیروی برآیند وارد بر بار q_1 نیز تغییر نمی‌کند.



۱-۴ میدان الکتریکی

در بخش ۱-۱ دیدیم که دو بار الکتریکی q_1q_1 و q_2q_2 که در فاصله‌ای از یکدیگر قرار دارند، برهم نیروی الکتریکی وارد می‌کنند. ولی این پرسش مطرح می‌شود که بارهای q_1q_1 و q_2q_2 چطور حضور یکدیگر را حس می‌کنند؟

به عبارت دیگر، این دو بار الکتریکی که در تماس با هم نیستند، چگونه می‌توانند بر یکدیگر نیرو وارد کنند؟ در فیزیک پاسخ این پرسش این‌گونه است که بار q_1q_1 خاصیتی در فضای پیرامون خود ایجاد می‌کند که به آن اصطلاحاً **میدان الکتریکی** بار q_1q_1 گفته می‌شود. وقتی بار q_2q_2 را در نقطه‌ای از فضای پیرامون بار q_1q_1 قرار دهیم، تحت تأثیر میدان الکتریکی‌ای قرار می‌گیرد که بار q_1q_1 پیش‌تر در آن نقطه ایجاد کرده است. بنابراین، بار q_1q_1 ، نه با تماس با بار q_2q_2 بلکه به وسیله میدان الکتریکی خودش بر بار q_2q_2 نیرو وارد می‌کند.

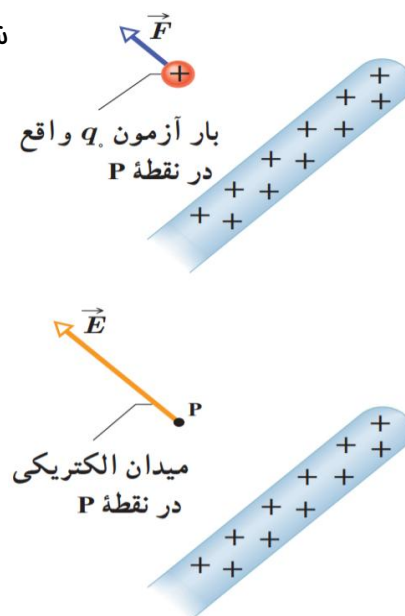
میدان الکتریکی در هر نقطه از فضای اطراف یک جسم باردار الکتریکی به‌صورت زیر تعیین می‌شود: نخست بار کوچک و مثبت q^0 موسوم به **بار آزمون** را در آن نقطه قرار می‌دهیم و سپس نیروی الکتریکی $\rightarrow FF \rightarrow$ وارد بر آن را اندازه می‌گیریم. آنگاه میدان الکتریکی $\rightarrow EE \rightarrow$ ناشی از جسم باردار در آن

نقطه به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\vec{E} = \vec{F}q^0 \quad \vec{E} \rightarrow = \vec{F} \rightarrow q^0 \quad (۱-۳)$$

بنا به تعریف میدان الکتریکی (رابطه ۱-۳)، میدان الکتریکی کمیتی برداری است که اندازه آن برابر $E = Fq^0$ و جهت آن همان جهت نیروی وارد بر بار آزمون است. مثلاً شکل ۱۰-۱ قسمتی از میله باردار را نشان می‌دهد که بر بار آزمون واقع در نقطه PP نیرو وارد می‌کند. پس میدان در این نقطه، بر اساس این نیرو تعریف می‌شود.

شکل ۱۰-۱ میلهٔ باردار میدانی الکتریکی ایجاد می‌کند و به وسیلهٔ این میدان بر



بار آزمون نیرو وارد می‌کند.

در رابطهٔ ۳-۱ یکای میدان الکتریکی $(E \rightarrow)(\rightarrow E)$ ، نیوتون بر کولن $(N/C)(N/C)$ است. بزرگی برخی از

میدان‌های الکتریکی در جدول ۲-۱ داده شده است.

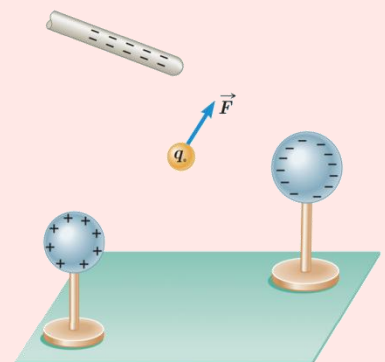
جدول ۲-۱ بزرگی برخی از مقادیر میدان‌های الکتریکی			
بزرگی میدان $(N/C)(N/C)$	چشمه	بزرگی میدان $(N/C)(N/C)$	چشمه
$\approx 10^3 \sim 10^3$	در نزدیکی شانهٔ بار	$10^{-2} - 10^{-1}$	سیم‌کشی‌های داخل منزل
$7 \times 10^3 \sim 7 \times 10^3$	در نزدیکی فرستندهٔ رادار	$10^{-1} \sim 10^{-1}$	امواج رادیویی
$10^4 \sim 10^4$	جو (توفان تندری)	$35 - 50 \sim 35 - 50$	گوشی همراه

جدول ۲-۱ بزرگی برخی از مقادیر میدان‌های الکتریکی

چشمه	بزرگی میدان (N/C)	چشمه	بزرگی میدان (N/C)
۳۰ سانتی متری از یک دستگاه پخش صوت	۹۰۹۰	در نزدیکی سطح کلاhek مولد وان دوگراف	2×10^6
جو (هوای آرام)	≈ 150	فرو ریزش الکتریکی در هوا	3×10^6
آفتاب (متوسط)	10^3	در سطح هسته اورانیم	2×10^{21}

مثال ۵-۱

بار آزمون نشان داده شده در شکل $q = +3.0 \times 10^{-8} \text{ C}$ است و از سوی دو گوی و یک میله باردار نیرویی برابر با $F = 6.0 \times 10^{-5} \text{ N}$ در جهت نشان داده شده بر آن وارد می‌شود.



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

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

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

$$E = Fq^\circ = \frac{1/0 \times 10^{-5} \text{N}}{3/0 \times 10^{-8} \text{C}} = 2/0 \times 10^3 \text{N/C} \quad E = Fq^\circ = \frac{1/0 \times 10^{-5} \text{N}}{3/0 \times 10^{-8} \text{C}} = 2/0 \times 10^3 \text{N/C}$$

که جهت آن در همان سوی نیروی $\rightarrow FF \rightarrow$ نشان داده شده در شکل است.

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

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

جهت این نیرو نیز در همان سوی نیروی $\rightarrow FF \rightarrow$ نشان داده شده در شکل است.

خوب است بدانید: میدان الکتریکی مخازن نفت کش‌ها

وقتی آب به سطحی برخورد کند و از آن بپاشد، قطره‌های آب باردار می‌شوند. معمولاً قطره‌های بزرگ‌تر، دارای بار مثبت و قطره‌های کوچک‌تر، دارای بار منفی می‌شوند. قطره‌های بزرگ‌تر نسبتاً سریع فرو می‌افتند و قطره‌های کوچک‌تر که دارای بار منفی‌اند بیشتر در هوا می‌مانند. اگر تهویه هوا کم باشد، تعداد قطره‌های موجود در هوا به طور چشمگیری افزایش می‌یابد و بدین ترتیب یک میدان الکتریکی بزرگ (حدود 800N/C تا 800N/C) ایجاد

می‌شود؛ این وضعیتی است که معمولاً در حمام رخ می‌دهد. به همین ترتیب، در حین تمیزکردن مخازن کشتی‌های نفت کش، وقتی قطره‌های آب به صورت افشانه از شیلنگ خارج شده و بر کف مخزن یا دیواره‌های آن می‌پاشند، باردار می‌شوند و در نتیجه مخزن پر از بخار آب باردار می‌شود. ممکن است این ذرات باردار با نوک فلزی آب فشان شیلنگ جرقه بزنند. اگر مخزن محتوای بخار نفت خام باشد، این جرقه‌ها می‌توانند بخار را مشتعل کنند و باعث انفجار مخزن گردند. برای رفع این خطر، پیش از تمیزکردن مخزن، یک گاز بی اثر به درون آن پمپ می‌شود تا اکسیژن موجود به اندازه‌ای کاهش یابد که از بروز انفجار جلوگیری کند.

۱-۵ میدان الکتریکی حاصل از یک ذره باردار

می‌خواهیم میدان الکتریکی ناشی از ذره‌ای با بار qq را در نقطه AA که به فاصله rr از بار qq قرار دارد (شکل ۱۱-۱)، محاسبه کنیم. برای این محاسبه از رابطه ۳-۱ استفاده می‌کنیم. اگر بار آزمون $q^{\circ}q^{\circ}$ در نقطه AA قرار گیرد، بار qq به آن نیروی $\rightarrow FF \rightarrow$ وارد می‌کند. با استفاده از قانون کولن، بزرگی نیروی $\rightarrow FF \rightarrow$ را محاسبه می‌کنیم و با جای گذاری در رابطه $E=F/q^{\circ}E=F/q^{\circ}$ ، بزرگی میدان الکتریکی بار qq را در نقطه AA به دست می‌آوریم:

شکل ۱۱-۱ می‌خواهیم میدان حاصل از ذره باردار qq را در نقطه AA محاسبه کنیم.

$$F=k|q|q^{\circ}r^2 \quad \text{و} \quad E=Fq^{\circ} \quad E=Fq^{\circ}$$

در نتیجه:

$$E=k|q|r^2 \quad E=k|q|r^2 \quad (۱-۴)$$

رابطه ۴-۱ عامل‌های مؤثر بر بزرگی میدان الکتریکی حاصل از ذره‌ای با بار qq را مشخص می‌کند. طبق این رابطه، میدان با اندازه بار qq ، نسبت مستقیم و با مربع فاصله از آن، نسبت وارون دارد. همان طور که پیش‌تر دیدیم جهت بردار میدان الکتریکی $\rightarrow EE \rightarrow$ در نقطه AA ، همان جهت نیروی وارد بر بار آزمونی است که به طور فرضی در نقطه AA می‌گذاریم.

مثال ۶-۱

مولد وان دوگراف وسیله‌ای است که با استفاده از تسمه‌ای متحرک، بار الکتریکی را بر روی یک کلاهک تو خالی فلزی جمع می‌کند. فرض کنید کلاهک این مولد، کره‌ای با شعاع $۰/۱۰m۰/۱۰m$ است و باری به بزرگی $۱/۰\mu C۱/۰\mu C$ روی آن جمع می‌شود. با فرض آنکه همه این بار در مرکز کره قرار داشته باشد، بزرگی میدان الکتریکی این بار را در فاصله‌های $۱/۰m۱/۰m$ ، $۲/۰m۲/۰m$ ، $۳/۰m۳/۰m$ و $۴/۰m۴/۰m$ ، از مرکز کره به دست آورید و سپس با نقطه‌یابی، نمودار بزرگی میدان الکتریکی را بر حسب فاصله از مرکز کره رسم کنید.



پاسخ: با استفاده از رابطه ۴-۱ بزرگی میدان را در نقطه‌های مورد نظر به دست می‌آوریم:

$$E = k|q|/r^2 \quad E = k|q|/r^2$$

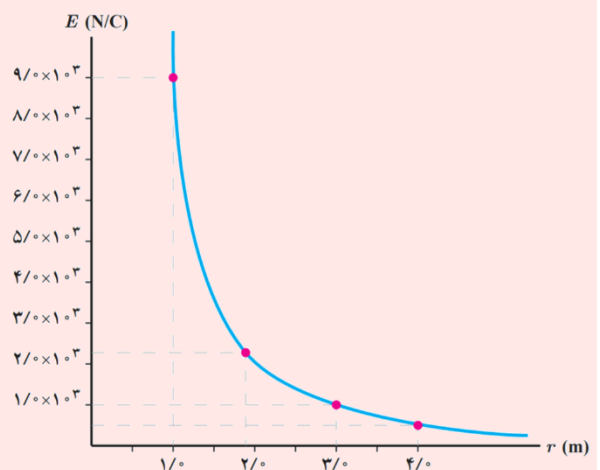
$$E^1 = (9/0 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2)(1/0 \times 10^{-6} \text{ C})(1/0 \text{ m})^2 = 9/0 \times 10^3 \text{ N/C} \quad E^1 = (9/0 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2)(1/0 \times 10^{-6} \text{ C})(1/0 \text{ m})^2 = 9/0 \times 10^3 \text{ N/C}$$

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

$$E^3 = (9/0 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2)(1/0 \times 10^{-6} \text{ C})(3/0 \text{ m})^2 = 1/0 \times 10^3 \text{ N/C} \quad E^3 = (9/0 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2)(1/0 \times 10^{-6} \text{ C})(3/0 \text{ m})^2 = 1/0 \times 10^3 \text{ N/C}$$

$$E^4 = (9/0 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2)(1/0 \times 10^{-6} \text{ C})(4/0 \text{ m})^2 = 0/5625 \times 10^3 \text{ N/C} \approx 0/56 \times 10^3 \text{ N/C} \quad E^4 = (9/0 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2)(1/0 \times 10^{-6} \text{ C})(4/0 \text{ m})^2 = 0/5625 \times 10^3 \text{ N/C} \approx 0/56 \times 10^3 \text{ N/C}$$

با استفاده از این نتایج نمودار E بر حسب r ، مانند نمودار زیر خواهد شد.



برای مشاهده تجربی نتایج مثال ۶-۱ می‌توان به آزمایش شکل زیر توجه کرد. در این شکل، دو شمع یکی در فاصله‌ای نزدیک و دیگری در فاصله‌ای دور از کلاهک یک مولد وان دوگراف قرار گرفته‌اند. همان طور که مشاهده می‌کنید شعله شمع نزدیک‌تر به سمت کلاهک کشیده شده است، در حالی که شعله شمع دورتر تغییر چندانی نکرده است. دلیل آن است که کلاهک مولد وان دوگراف بار منفی بزرگی دارد که یون‌های مثبت درون شعله شمع نزدیک‌تر را به سمت خود می‌کشد، در حالی که شمع دیگر در فاصله دوری از کلاهک قرار گرفته است که تحت تأثیر میدان الکتریکی ضعیف‌تری قرار می‌گیرد.



تمرین ۴-۱ (صفحه ۱۴ کتاب درسی)

طبق مدل بور برای اتم هیدروژن، در حالت پایه فاصله الکترون از پروتون هسته برابر با $5.3 \times 10^{-11} \text{ m}$ است.

الف) اندازه میدان الکتریکی ناشی از پروتون هسته را در این فاصله تعیین کنید.

$$|q| = e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}, K \approx 9 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2, r = 5.3 \times 10^{-11} \text{ m}$$

$$C|q| = e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$E = k|q|/r^2 = 9 \times 10^9 \times 1.6 \times 10^{-19} / (5.3 \times 10^{-11})^2 \approx 5 \times 10^{11} \text{ NC} \rightarrow E \approx 5 \times 10^{11} \text{ NC}$$

$$\times 10^{-19} / (5.3 \times 10^{-11})^2 \approx 5 \times 10^{11} \text{ NC} \rightarrow E \approx 5 \times 10^{11} \text{ NC}$$

ب) در چه فاصله‌ای از پروتون هسته، بزرگی میدان الکتریکی برابر با بزرگی میدان الکتریکی حاصل از مولد وان دوگراف مثال پیش در فاصله $1/0 \text{ m}$ از مرکز کلاهک آن است؟

$$|q| = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}, k = 9 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2, E = 9 \times 10^3 \text{ NC}$$

$$0 - 19 \text{ C}$$