

الکتریسیته ساکن



صفحه‌های لمسی، امروزه کاربردی گسترده در زندگی روزمره پیدا کرده‌اند، از صفحه‌های رایانه گرفته تا گوشی‌های تلفن همراه و ابزارهای پزشکی و صنعتی. این صفحه‌ها به روش‌های مختلفی عمل می‌کنند که یکی از متداول‌ترین آنها مبتنی بر استفاده از فازن‌ها است. با تماس انگشت با یک صفحه لمسی، ظرفیت الکتریکی در آن محل عوض می‌شود که مدارهای الکترونیکی دستگاه می‌توانند آن تغییر را آشکار کنند.

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 ۱-۲)، 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 کهریا^۱ با پارچهٔ پشمی مالش داده شود و سپس به خرده‌های کاه نزدیک گردد، آن خرده‌ها به سوی کهریا کشیده می‌شوند. امروز می‌دانیم این کشش ناشی از یک نیروی الکتریکی است. در واقع واژهٔ الکتریسته از واژهٔ یونانی **الکترون**^۲ گرفته شده است که به معنای کهریاست.



شکل ۱-۱ توصیف آذرخش مبتنی بر اصول الکتریستهٔ ساکن است.

وقتی لباس‌های بافتنی را از تن خارج می‌کنیم، یا پس از اینکه چند قدم بر روی فرش راه می‌رویم، دستگیرهٔ فلزی در را با دست بگیریم، عملاً وجود الکتریسته را به صورت یک شوک الکتریکی حس می‌کنیم. در این فصل، به مطالعهٔ بارهای ساکن می‌پردازیم که به آن **الکتریستهٔ ساکن** (الکتروستاتیک) می‌گویند و ضمن یادآوری مطالب الکتریستهٔ دورهٔ اول 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.



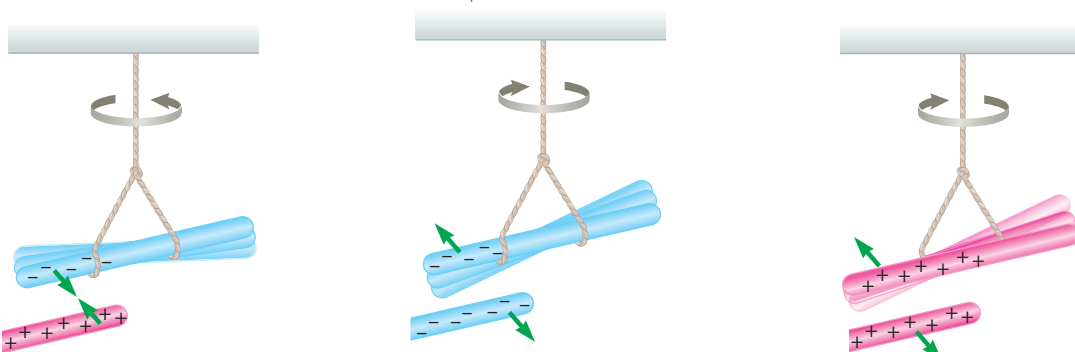
شکل ۱-۲ انتقال پیام‌های عصبی در دستگاه اعصاب به صورت الکتریکی صورت می‌گیرد.

۱-۱ بار الکتریکی

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 ۱-۳) و بر یکدیگر نیرو وارد می‌کنند (شکل ۱-۴). 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 نام‌گذاری 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 ۱-۳ مالش بادکنک به بدن گربه سبب ایجاد بار الکتریکی در آنها و در نتیجه برافراشته شدن موهای گربه می‌شود.



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

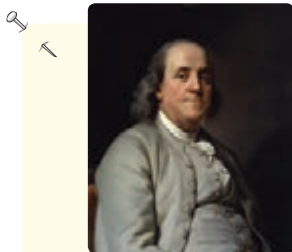
ب) وقتی دو میلهٔ پلاستیکی را با پارچهٔ پشمی مالش دهیم، همدیگر را دفع می‌کنند.

الف) وقتی دو میلهٔ شیشه‌ای را با پارچهٔ ابریشمی مالش دهیم، همدیگر را دفع می‌کنند.

شکل ۱-۴

۱- به صمغ فسیل شده دخت گفته می‌شود که به دلیل رنگ و زیبایی طبیعی، از دیرباز مورد توجه بوده است.

۲- واژه یونانی الکترون به صورت elektron نوشته می‌شود.



بنیامین فرانکلین (۱۷۹۰ - ۱۷۰۶م)

بنیامین فرانکلین دانشمند، نویسنده و سیاستمدار آمریکایی، در شهر بوستون به دنیا آمد و در شهر فیلادلفیا دیده از جهان فروست. فرانکلین در حدود سال ۱۷۴۴ میلادی با مبحث الکتریسته آشنا شد و عمده کشفیات مهم و بزرگ خویش را در بین سال‌های ۱۷۳۷ و ۱۷۵۱ به انجام رسانید و به شهرت علمی بی‌سابقه‌ای رسید. جالب است که او برخلاف سایر دانشمندان بزرگ، پس از چهل سالگی کارهای علمی اساسی خود را آغاز کرد. مهم‌ترین اثر فرانکلین، کتاب «در باب الکتریسته» است که بسیاری آن را با کتاب «اصول ریاضیات» اسحاق نیوتون مقایسه کرده‌اند. فرانکلین در این کتاب شالوده و بنیاد اصول علم الکتریسته را بر مبنای تجربیات و مشاهدات علمی خود تشریح کرده است. در واقع تجربیات متعدد و مهم فرانکلین آغازگر دوره‌ای جدید در مبحث الکتریسته بوده است و بسیاری از واژگانی که ما امروزه در الکتریسته به کار می‌گیریم 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.

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 (برق‌نما) تعیین کنیم (شکل ۱-۵).



ب) جسمی باردار را به کلاهک الکتروسکوپ بدون بار نزدیک کرده یا تماس داده‌ایم.



الف) تصویری از یک الکتروسکوپ درجه‌بندی‌شده بدون بار

شکل ۱-۵

یکای بار الکتریکی در SI، کولُن (C) است. توجه کنید یک کولُن مقدار بار بزرگی است. مثلاً در یک آذرخش نوعی، باری از مرتبه 10^9 به زمین منتقل می‌شود و از این رو، در این فصل غالباً با بارهایی از مرتبه میکروکولُن (μC) و نانو کولُن (nC) سروکار داریم. به عنوان مثال، در مالش شانه پلاستیکی با موهای سر، بارهای منتقل شده از مرتبه نانو کولُن (nC) است.

پرسش ۱-۱

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؟

۱-۲ پایداری 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^۱

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

۱- اندازه‌گیری بار الکترون نخستین بار توسط رابرت میلیکان در سال ۱۹۱۳ میلادی انجام شد. این نتیجه اندازه‌گیری مربوط به سال ۲۰۰۵ میلادی است.

جدول ۱-۱ سری الکتريسيته
مالشی (تریوالکتریک)^۱

انتهای مثبت سری

موی انسان

شیشه

نایلون

پشم

موی گربه

سُرب

ابریشم

آلومینیم

پوست انسان

کاغذ

چوب

پارچه کتان

کهرابا

برنج، نقره

پلاستیک، پلی اتیلن

لاستیک

تفلون

انتهای منفی سری

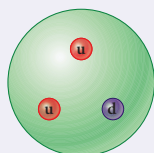
در هنگام مالش، با انتقال تعدادی الکترون از یک جسم به جسمی دیگر، تعادل بارها در اتم خنثی بر هم می خورد و جسمی که الکترون از دست می دهد، تعداد الکترون هایش کمتر از تعداد پروتون های آن می شود و بار الکتریکی خالص آن مثبت می گردد و همچنین، جسمی که الکترون اضافی دریافت می کند، الکترون هایش از پروتون های آن فزونی می یابد و بار الکتریکی خالص آن منفی می شود. به دست آوردن یا از دست دادن الکترون دو جسم در تماس با یکدیگر را می توان براساس جدولی موسوم به **سری الکتريسيته مالشی** (تریوالکتریک؛ Tribo در زبان یونانی به معنای مالش است) معلوم کرد (جدول ۱-۱). در این جدول مواد پایین تر، الکترون خواهی بیشتری دارند؛ یعنی اگر دو ماده در این جدول در تماس با یکدیگر قرار گیرند، الکترون ها از ماده بالاتر جدول به ماده ای که پایین تر قرار دارد منتقل می شود. مثلاً اگر تفلون با نایلون مالش یابد، الکترون ها از نایلون به تفلون منتقل می شوند. در مورد بارهای الکتریکی دو اصل وجود دارد. نخستین آنها **اصل پایستگی بار** است که بیان می دارد: مجموع جبری همه بارهای الکتریکی در یک دستگاه منزوی^۲ ثابت است؛ یعنی بار می تواند 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 تجربه هایی 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:

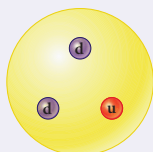
$$q = \pm ne \quad , \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (1-1)$$

یک مثال آشنا از کوانتیده بودن یک کمیت، تعداد دانش آموزان یک کلاس یا تعداد تخم مرغ های درون یک ظرف است. برای مثال، ما نمی توانیم $24/3$ دانش آموز در یک کلاس و یا $12/4$ تخم مرغ در یک ظرف داشته باشیم.

خوب است بدانید



الف) پروتون از دو کوارک بالا (u) و یک کوارک پایین (d) ساخته شده است.



ب) نوترون از یک کوارک بالا (u) و دو کوارک پایین (d) ساخته شده است.

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^۳ ساخته شده اند. کوارک ها بار $e/3$ یا $-e/3$ دارند، ولی این در تناقض با اصل کوانتیده بودن بار نیست؛ زیرا هیچ کوارک مستقلی مشاهده نشده است؛ یعنی این بارهای کسری نمی توانند به طور مستقل دیده شوند. مثلاً یک پروتون از دو کوارک بالا^۴ (u) هر یک با بار $+e/3$ و یک کوارک پایین^۵ (d) با بار $-e/3$ ساخته شده است که بار خالص پروتون را برابر $+e$ به دست می دهد، یا نوترون از یک کوارک بالا و دو کوارک پایین ساخته شده است که بار خالص صفر را به دست می دهد.

۱- نیازی به حفظ این جدول نیست.

۲- منظور از دستگاه منزوی در اینجا دستگاهی است که نه از محیط اطراف خود بار بگیرد و نه به آن بار بدهد.

۳- up

۴- down

۵- Quark

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 1 nC به او شوک خفیفی وارد کنید. در این انتقال بار، حدود چند الکترون بین شما و دوستان منتقل شده است؟
پاسخ: از رابطه ۱-۱ داریم:

$$q = ne$$

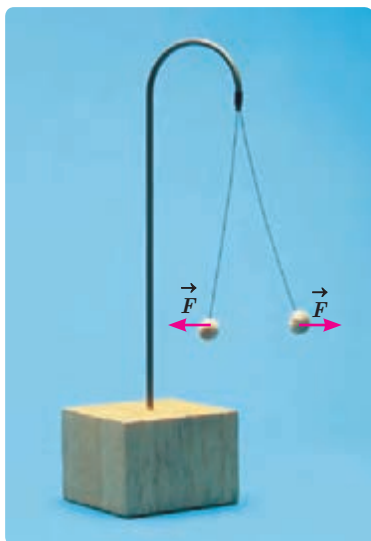
$$n = \frac{q}{e} = \frac{1 \times 10^{-9} \text{ C}}{1.6 \times 10^{-19} \text{ C}} = 6 \times 10^9 \text{ الکترون}$$

تمرین ۱-۱

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؟

۳-۱ قانون کوئن

همان‌طور که می‌دانیم نیروی الکتریکی که دو جسم باردار برهم وارد می‌کنند می‌تواند جاذبه یا دافعه باشد. اگر بارهای الکتریکی دو جسم همنام باشند، این نیرو دافعه است (شکل ۱-۶). و اگر ناهمنام باشند، این نیرو جاذبه است.



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

فعالیت ۱-۱ (کار در کلاس)



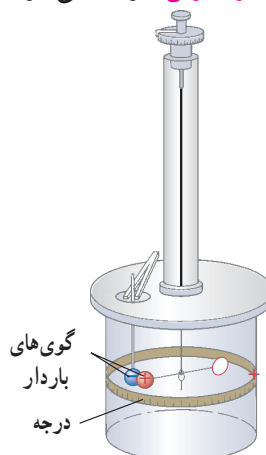
مطابق شکل، دو نی پلاستیکی را از نزدیکی یک انتهای آنها خم کنید و پس از مالش دادن با پارچه‌ای پشمی نزدیک یکدیگر قرار دهید. اگر نی‌ها به خوبی باردار شده باشند، نیروی دافعه آنها را می‌توانید به وضوح بر روی انگشتان خود حس کنید.

نیروی الکتریکی بین دو جسم باردار، به چه عامل‌هایی بستگی دارد و اندازه این نیروها را از چه رابطه‌ای می‌توان محاسبه کرد؟ شارل آگوستین کولن، 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 ۱-۷ طرحی از آزمایش کولن را نشان می‌دهد.



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 فارغ‌التحصیلی 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 هیچ‌وقت نتوانست به چنین رابطه‌ای برسد. نام کولن یکی از ۷۲ نامی است که روی برج ایفل ثبت شده است.



قانون کولن بیان می‌دارد:

اندازه نیروی الکتریکی (الکتروستاتیکی) بین دو بار نقطه‌ای^۱ 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

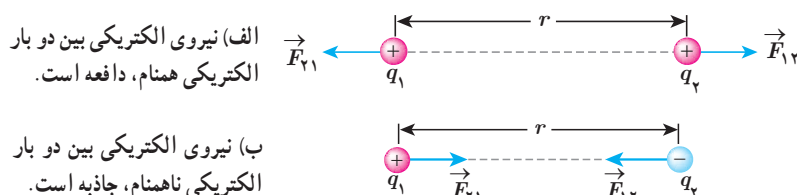
$$F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2} \quad (۲-۱)$$

که در آن q_1 و q_2 بارهای الکتریکی دو بار نقطه‌ای برحسب کولن (C)، r فاصله بین دو بار برحسب متر (m)، و F بزرگی نیروی الکتریکی وارد بر هر بار برحسب نیوتون (N) است. در این رابطه k ثابت الکتروستاتیکی یا ثابت کولن نام دارد و برابر است با^۲

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

در شکل ۱-۸، نیرویی است که بار نقطه‌ای q_1 به بار نقطه‌ای q_2 وارد می‌کند و F_{12} نیرویی است که بار نقطه‌ای q_2 به بار نقطه‌ای q_1 وارد می‌کند. این دو نیروی الکتریکی (بنا به قانون سوم نیوتون) هم‌اندازه، هم‌راستا، و در خلاف جهت همدیگرند. به عبارتی:

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

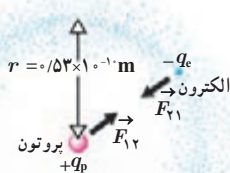


شکل ۱-۸

۱- در این بخش با نیروهای بین ذره‌های باردار (بارهای نقطه‌ای) سر و کار داریم. البته اگر فاصله یک جسم باردار با جسم باردار دیگر چنان زیاد باشد که بتوان از ابعاد هریک از دو جسم در مقایسه با فاصله بین آنها چشم‌پوشی کرد، می‌توان دو جسم را به صورت ذره‌های باردار در نظر گرفت.

۲- به ذهن سپردن این اعداد لازم نیست.

مثال ۱-۲



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 $r = 2/4 \times 10^{-15} \text{ m}$ 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:

$$F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2} = k \frac{|q_e||q_p|}{r^2} = (9/0 \times 10^9 \text{ N.m}^2 / \text{C}^2) \frac{(1/60 \times 10^{-19} \text{ C})^2}{(5/3 \times 10^{-11} \text{ m})^2} = 8/2 \times 10^{-8} \text{ N}$$

ب) با استفاده از قانون کولن داریم:

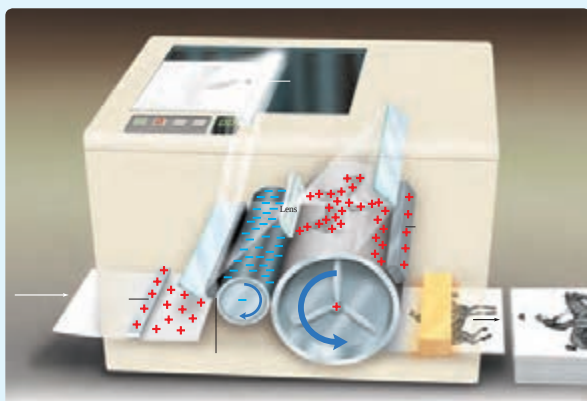
$$F = k \frac{|q_p||q_p|}{r^2} = (9/0 \times 10^9 \text{ N.m}^2 / \text{C}^2) \frac{(1/60 \times 10^{-19} \text{ C})^2}{(2/4 \times 10^{-15} \text{ m})^2} = 40 \text{ N}$$

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

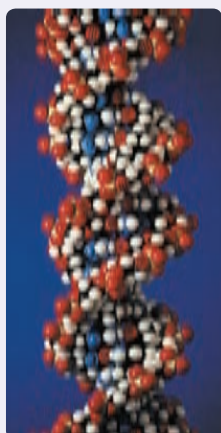
تمامی اجسام به علت جرمشان بر یکدیگر نیروی گرانشی نیز وارد می‌کنند که همواره از نوع جاذبه است. بزرگی این نیرو برای الکترون و پروتون اتم هیدروژن از مرتبه 10^{-47} N است. بنابراین، در حدود 10^4 بار کوچک‌تر از نیروی الکتریکی بین این دو ذره است و این نشان می‌دهد نیروی گرانشی به مراتب ضعیف‌تر از نیروی الکتریکی است.

فعالیت ۱-۲



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

خوب است بدانید: DNA



اطلاعات ژنتیکی در مولکول‌های خاصی به نام دِنا (DNA) وجود دارد. در واقع دِنا دارای اطلاعات و دستورهای برای تعیین و ایجاد صفات ارثی ما و همهٔ جانداران است. در مولکول‌های دِنا چهار نوع باز به نام‌های آدنین (A)، سیتوزین (C)، گوانین (G) و تیمین (T) وجود دارد. دِنا مولکولی دورشته‌ای 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 G و C 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 آن‌قدر هست که رشته‌ها از هم نگسلند، اما به حد کافی ضعیف نیز هست تا در فرایند رونویسی از هم گسیخته گردد.

برهم‌نهی نیروهای الکتروستاتیکی: اگر به جای دو ذرهٔ باردار، تعدادی بار نقطه‌ای داشته

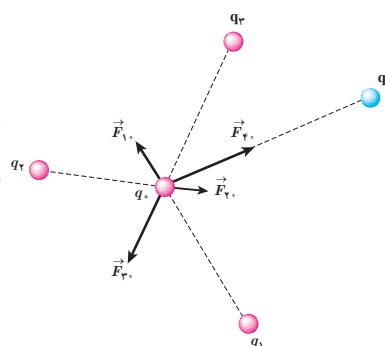
باشیم، نیروی الکتریکی وارد بر هر ذرهٔ باردار چگونه تعیین می‌شود؟ تجربه نشان می‌دهد که در این وضعیت، نیروی الکتریکی وارد بر هر ذره، برآیند نیروهایی است که هر یک از ذره‌های دیگر در غیاب سایر ذره‌ها، بر آن ذره وارد می‌کند. این موضوع که از آزمایش نتیجه شده است را **اصل برهم‌نهی** نیروهای الکتروستاتیکی می‌گویند.

فرض کنید n ذرهٔ باردار داشته باشیم که در نزدیکی بار نقطه‌ای q قرار دارند. آن‌گاه نیروی خالص (برآیند) وارد بر بار نقطه‌ای q با جمع برداری زیر داده می‌شود:

$$\vec{F}_{T_q} = \vec{F}_{1_q} + \vec{F}_{2_q} + \dots + \vec{F}_{n_q}$$

شکل ۱-۹ 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 ذرهٔ باردار در یک راستا قرار دارند یا عمود بر یکدیگرند.^۱



شکل ۱-۹ نیروی برآیند وارد بر بار q .

در اینجا برابر است با

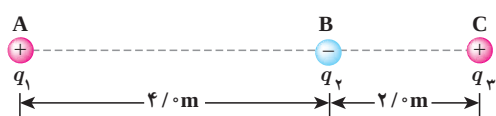
$$\vec{F}_{T_q} = \vec{F}_{1_q} + \vec{F}_{2_q} + \vec{F}_{3_q} + \vec{F}_{4_q}$$

پرسش ۱-۲

سه ذرهٔ باردار مانند شکل روبه‌رو، روی یک خط راست قرار دارند و فاصلهٔ بارهای سمت راست و چپ از بار میانی برابر است. الف) جهت نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار الکتریکی میانی را تعیین کنید. ب) اگر ذرهٔ سمت راست به جای q ، بار $-q$ داشته باشد، جهت نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار میانی چگونه خواهد بود؟



۱- بررسی حالت‌هایی که نیروها هم راستا و یا عمود برهم نیستند، خارج از برنامهٔ درسی این کتاب بوده و نباید مورد ارزشیابی قرار گیرد.



سه ذره با بارهای $q_1 = +2/5 \mu\text{C}$ ، $q_2 = -1/5 \mu\text{C}$ و $q_3 = +4/5 \mu\text{C}$ در نقطه‌های A، B و C مطابق شکل روبه‌رو ثابت شده‌اند. نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار q_2 را محاسبه کنید.

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

فاصله بین بارهای q_1 و q_2 را با r_{12} و فاصله بین بارهای q_2 و q_3 را با r_{23} نشان می‌دهیم. با استفاده از رابطه ۲-۱ داریم:

$$F_{12} = k \frac{|q_1||q_2|}{r_{12}^2} = (9/5 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2) \frac{(2/5 \times 10^{-6} \text{ C})(1/5 \times 10^{-6} \text{ C})}{(4/0 \text{ m})^2}$$

$$= 2/5 \times 10^{-3} \text{ N}$$

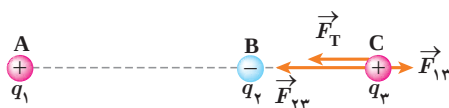
$$F_{23} = k \frac{|q_2||q_3|}{r_{23}^2} = (9/5 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2) \frac{(1/5 \times 10^{-6} \text{ C})(4/5 \times 10^{-6} \text{ C})}{(2/0 \text{ m})^2}$$

$$= 9/5 \times 10^{-3} \text{ N}$$

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

مطابق شکل، نیروهای $\vec{F}_{12}$ و $\vec{F}_{23}$ در جهت‌های مخالف یکدیگرند و برآیند آنها برابر است با

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



بنابراین، اندازه نیروی برآیند برابر با تفاضل اندازه آنهاست:

$$F_T = F_{23} - F_{12} = 6/5 \times 10^{-3} \text{ N}$$

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

$$\vec{F}_T = (-6/5 \times 10^{-3} \text{ N}) \vec{i}$$

تمرین ۲-۱

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

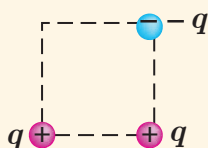
پرسش ۳-۱

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

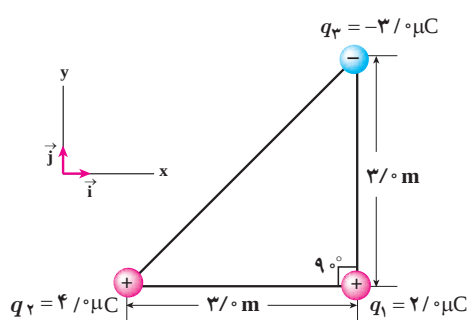
الف) جهت نیروی الکتریکی خالص وارد بر بار سمت راست پایینی را تعیین کنید.

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 ۱-۴



سه ذره باردار مطابق شکل روبه‌رو در سه رأس مثلث قائم‌الزاویه‌ای ثابت شده‌اند. 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_1 و q_2 دافعه و نیروی بین بارهای q_1 و q_3 ، جاذبه است. با استفاده از رابطه ۱-۲ داریم:

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

با توجه به دستگاه مختصات داده شده، $\vec{F}_{21}$ در جهت مثبت محور x است. بنابراین، $\vec{F}_{21} = (8 \times 10^{-3} \text{ N}) \vec{i}$ می‌شود. به همین ترتیب، برای نیروی بین بارهای q_1 و q_3 داریم:

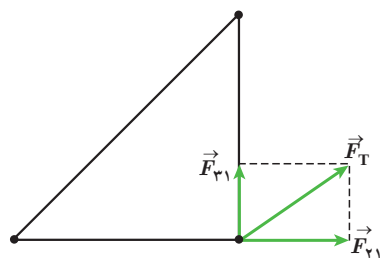
$$F_{31} = k \frac{|q_3||q_1|}{r_{31}^2} = (9 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2) \frac{(3 \times 10^{-6} \text{ C})(2 \times 10^{-6} \text{ C})}{(3 \text{ m})^2} = 6 \times 10^{-3} \text{ N}$$

با توجه به دستگاه مختصات داده شده، $\vec{F}_{31}$ در جهت مثبت محور y است. بنابراین، $\vec{F}_{31} = (6 \times 10^{-3} \text{ N}) \vec{j}$ می‌شود. پس برابند نیروهای الکتریکی وارد بر بار q_1 برابر است با

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

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

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



تمرین ۱-۳

- در مثال ۱-۴؛ الف) اگر علامت بار q_3 تغییر کند جهت نیروی برابند وارد بر بار q_1 چگونه خواهد شد؟
 ب) اگر علامت بار q_1 تغییر کند، جهت نیروی برابند وارد بر بار q_1 چگونه خواهد شد؟
 پ) آیا اندازه نیروی برابند وارد بر بار q_1 در قسمت‌های الف و ب با مقدار به دست آمده در مثال ۱-۴ متفاوت است؟

۱-۴ میدان الکتریکی

در بخش ۱-۱ دیدیم که دو بار الکتریکی q_1 و q_2 که در فاصله‌ای از یکدیگر قرار دارند، برهم نیروی الکتریکی وارد می‌کنند. ولی این پرسش مطرح می‌شود که بارهای q_1 و q_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 این گونه است که بار q_1 خاصیتی در فضای پیرامون خود ایجاد می‌کند که به آن اصطلاحاً **میدان الکتریکی** بار q_1 گفته می‌شود. وقتی بار q_2 را در نقطه‌ای از فضای پیرامون بار q_1 قرار دهیم، تحت تأثیر میدان الکتریکی‌ای قرار می‌گیرد که بار q_1 پیش‌تر در آن نقطه ایجاد کرده است. بنابراین، بار q_1 ، نه با تماس با بار q_2 بلکه به وسیله میدان الکتریکی خودش بر بار q_2 نیرو وارد می‌کند.