بسم الله الرحمن الرحیم

فیزیک و آزمایشگاه

شاخه‌ی: متوسطه‌ی فنی و حرفه‌ای

زمینه‌ی: خدمات

گروه تحصیلی: کامپیوتر

شماره‌ی درس: ۴۳۰۳

سرشناسه: خلیلی بروجنی، روح الله

عنوان و نام پدیدآور: فیزیک و آزمایشگاهرشته کامپیوترزمینه‌ی خدمات: شاخه متوسطه فنی و حرفه ای شماره درس۴۳۰۳/مولف روح الله خلیلی بروجنی: برنامه ریزی و نظارت بررسی و تصویب محتوا: کمیسیون برنامه ریزی و تالیف کتابهای درسی رشته‌ی کامپیوتر دفتر برنامه‌ریزی.

مشخصات نشر: تهران، گویش نو: ۱۳۹۱.

مشخصات ظاهری: ۱۶۴ ص.

شابک ۰-۴۵-۵۰۸۴-۶۰۰-۹۷۸

وضعیت فهرست نویسی: فیپا

موضوع: فیزیک-- کتاب های درسی-- راهنمای آموزشی(متوسطه)

موضوع : فیزیک-- آزمایش‌ها--کتا ب‌های درسی-- راهنمای آموزشی (متوسطه)

موضوع: فیزیک-- مسائل، تمرین‌ها و غیره(متوسطه)

موضوع: فیزیک-- آزمایش‌ها-- آزمون‌ها و تمرین‌ها(متوسطه)

شناسه افزوده : ایران. وزارت آموزش و پرورش، دفتر تالیف و برنامه‌ریزی درسی آموزش متوسطه(فنی و حرفه‌ای)

رده‌بندی کنگره:۱۳۹۱ ۹۲ف۸خ/QC۳۲

رده بندی دیویی: ۵۳۰/۰۷۶

شماره کتابشناسی ملی: ۲۲۷۴۵۱۲

۱۳۹۱

جمهوری اسلامی ایران
وزارت آموزش و پرورش
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

همکاران محترم و دانش‌آموزان عزیز:

پیشنهادها و نظرهای خود را درباره‌ی محتوای این کتاب به نشانی تهران ـ صندوق پستی شماره‌ی ۴۸۷۴/۱۵ دفتر برنامه‌ریزی و تألیف آموزش‌های فنی و حرفه‌ای و کاردانش، ارسال فرمایند.

پیام‌نگار (ایمیل) tvoccd@roshd.ir

وب‌گاه (وب‌سایت) www.tvoccd.medu.ir

برنامه‌ریزی محتوا و نظارت بر تالیف: دفتر برنامه‌ریزی و تالیف آموزش‌های فنی و حرفه‌ای و کاردانش
عنوان و کد کتاب: فیزیک و آزمایشگاه/کد ۳۵۹/۷
مجری: انتشارات گویش نو
شماره درس: ۲۳۰۳
مؤلف: روح الله خلیلی بروجنی khalily@gmail.com
ویراستار ادبی: ناصر مقبلی
صفحه آرا (ویرایش اول ۱۳۹۰)**:** مهناز خسروپناه
صفحه آرا (ویرایش دوم ۱۳۹۱)**:** توفیق علایی
طراح جلد: سید علی موسوی
چاپ: **شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران**
(تهران ـ کیلومتر ۱۷ جاده‌ی مخصوص کرج ـ خیابان ۶۱ "دارویخش") تلفن: ۴ ـ ۶۶۰۲۶۲۴۱ ، دورنگار: ۶۶۰۲۶۲۴۰، صندوق پستی: ۱۳۴۴۵/۶۸۴
نظارت بر چاپ و توزیع: **اداره‌ی کل چاپ و توزیع کتاب‌های درسی، سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی**
تهران ـ ایرانشهر شمالی ـ ساختمان شماره‌ی ۴ آموزش و پرورش (شهید موسوی) تلفن: ۹ ـ ۸۸۸۳۱۱۶۱، دورنگار: ۸۸۳۰۹۲۶۶ ، کد پستی: ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹
وب‌سایت www.chap.sch.ir
ناشر: **انتشارات گویش نو**
(تهران: خیابان انقلاب – خیابان فخر رازی – خیابان وحید نظری شرقی – پلاک ۶۱ تلفن: ۵۰ – ۶۶۹۵۶۰۴۹، ۶۶۴۸۴۵۳۴)
وب‌سایت www.bookgno.ir

حق چاپ محفوظ است.

شابک: ۰-۴۵-۵۰۸۴-۶۰۰-۹۷۸ ISBN: 978-600-5084-45-0

از شماست که مردان و زنان بزرگ تربیت می شود. شما ها در تحصیل کوشش کنید که برای فضایل اخلاقی، فضایل اعالی مجهز شوید. شما برای آتیه مملکت ما جوانان نیرومند تربیت کنید. دامان شما یک مدرسه ای است که در آن جوانان بزرگ تربیت بشود. شما فضایل تحصیل کنید تا کودکان شما در دامان شما به فضیلت برسند.

امام خمینی (ره)

فهرست مطالب

سخن اول ۶

فصل ۱ یکاها، کمیت‌های فیزیکی و بردارها

۱-۱ استانداردها و یکاها ۱۳
۱-۲ دستگاه بین‌المللی یکاها ۱۴
۱-۳ پیشوندها و تبدیل یکاها ۱۹
۱-۴ بردارها و جمع‌برداری ۲۴
ارزشیابی فصل ۱ ..... ۲۹

فصل ۲ بار الکتریکی و میدان الکتریکی

۲-۱ بار الکتریکی ۳۶
۲-۲ خواص الکتریکی ماده ۴۰
۲-۳ باردار ساختن ماده ۴۱
۲-۴ قانون کولن ۴۳
۲-۵ میدان الکتریکی ۴۷
۲-۶ انرژی پتانسیل الکتریکی ۵۳
۲-۷ آشنایی با برخی از اثرهای الکتریکی ۵۵
۲-۸ خازن ۵۷
ارزشیابی فصل ۲ ..... ۶۲

فصل ۳ جریان الکتریکی، مقاومت الکتریکی و مدارهای الکتریکی

۳-۱ جریان الکتریکی..... ۶۹
۳-۲ مقاومت و مقاومت ویژه‌ی الکتریکی..... ۷۵
۳-۳ نیروی محرکه الکتریکی ۸۰
۳-۴ مدارهای الکتریکی ۸۴
ارزشیابی فصل ۳..... ۹۴

فصل ۴ مغناطیس و کاربردهای آن

۴-۱ آهنربا و قطب‌های مغناطیسی ۱۰۲
۴-۲ میدان‌های مغناطیسی ۱۰۵
۴-۳ الکترو مغناطیس ۱۰۷
۴-۴ تولید الکتریسیته ۱۱۳
۴-۵ موج‌های الکترومغناطیسی..... ۱۲۱
ارزشیابی فصل ۴ ..... ۱۲۶
سخن آخر ۱۳۱

پیوست الف (مروری کوتاه در ریاضیات) ۱۳۳
پیوست ب (داده‌های فیزیکی) ۱۳۸
پیوست پ (واژه نامه‌ی توصیفی) ۱۴۰
پیوست ت (واژه نامه‌ی فارسی به انگلیسی) ۱۴۹
پیوست ث (نمایه) ۱۵۱
پیوست ج (فهرست منابع) ۱۵۴

خرد هر کجا گنجی آرد پدید　　به نام خدا سازد آن را کلید

سخن اول

الف) با هنرجویان عزیز

پس از فیزیک (۱) و آزمایشگاه، این دومین کتابی است که در آن با برخی دیگر از مفاهیم و کاربردهای فیزیک آشنا می‌شوید. در برنامه‌ریزی و تالیف این کتاب، رشته‌ی تحصیلی، آینده‌ی شغلی و همچنین نیاز شهروندی شما بیش از همه مورد توجه بوده است. به ویژه در ویرایش دوم کتاب تلاش شده است تا کاربردهای بیش‌تری از فیزیک در رایانه آورده شود.

اهمیت فیزیک

مطالعه‌ی فیزیک از آن رو اهمیت دارد که فیزیک یکی از بنیادی‌ترین دانش‌هاست. نظریه‌های فیزیک را مهندسان و دانشمندان همه‌ی رشته‌ها به کار می‌برند. فیزیک شالوده‌ی تمامی مهندسی و فناوری است. هیچ مهندسی نمی‌توانست بدون آن که نخست قانون‌های اساسی فیزیک را درک کند، یک تلویزیون ال ای دی، یک کاوشگر فضایی، یا حتی یک تله موش بهتر طراحی کند.

اگر هرگز به فکر افتاده‌اید که چرا آسمان آبی است، موج‌های رادیویی و تلویزیونی چگونه می‌توانند در فضای تهی و هوا منتشر شوند و به ما برسند، یک ماهواره‌ی مخابراتی چگونه در مدار خاصی می‌ماند و دور زمین می‌چرخد، یا اطلاعات چگونه در هارددیسک یک رایانه ذخیره و بازخوانی می‌شود، می‌توانید با به کار بردن فیزیک بنیادی به پاسخ‌ها دست یابید. بالاتر از همه، در خواهید یافت که دانش فیزیک دستاوردی رفیع از هوشمندی انسان در جستجو برای درک جهان پیرامون است.

ماهیت فیزیک

فیزیک علمی تجربی است. فیزیکدانان پدیده‌های طبیعت را مشاهده می‌کنند و می‌کوشند طرح‌ها و اصولی را که این پدیده‌ها را به هم مربوط می‌کنند بیابند. این طرح‌ها را نظریه‌های فیزیکی می‌خوانند و هنگامی که کاملاً خوب تثبیت شده باشند و کاربرد وسیعی داشته باشند آن‌ها را اصول یا قانون‌های فیزیکی می‌نامند.

گسترش یک نظریه‌ی فیزیکی در همه‌ی مرحله‌ها مستلزم خلاقیت است. فیزیکدان باید پرسیدن سؤال‌های مناسب را فرا بگیرد، با طرح آزمایش‌هایی بکوشد به آن سؤال‌ها پاسخ دهد، و از نتایج استنتاج‌های مناسب را به دست آورد.

گسترش نظریه‌های فیزیکی همواره فرایندی دو سویه است که انجام و سرانجام آن مشاهده یا آزمایش است. فیزیک تنها مجموعه‌ای از واقعیت‌ها و اصول نیست؛ بلکه فرایندی نیز هست که توسط آن به اصول عامی می‌رسیم که چگونگی رفتار جهان فیزیکی را توصیف می‌کنند.

یادگیری را بیاموزیم

هر یک از ما شیوه‌های یادگیری متفاوت و ابزار یادگیری برگزیده‌ی خود را داریم. درک شیوه‌ی یادگیری خودتان به شما کمک می‌کند که روی جنبه‌هایی از فیزیک که می‌توانند برای شما دشوار باشند تمرکز کنید و آن مؤلفه‌هایی را به کار گیرید که شما را در غلبه بر مشکل یاری می‌دهند. روشن است که شما می‌خواهید وقت بیش‌تری را صرف آن جنبه‌هایی کنید که بیش‌ترین زحمت را برای شما فراهم می‌کنند. اگر شما با شنیدن و انجام آزمایش یاد می‌گیرید، حضور فعال در کلاس‌های درس بسیار مهم هستند. اگر با توضیح دادن یاد می‌گیرید، آن‌گاه علاوه بر حضور فعال در کلاس‌های درس، کار کردن با هنرجویان دیگر برای شما بسیار مهم است. اگر مسئله حل کردن برای شما مشکل است وقت بیش‌تری را صرف یادگیری روش حل مسئله‌ها کنید. درک و گسترش شیوه‌های عادتی خوب نیز اهمیت دارد. شاید مهم‌ترین کاری که می‌توانید برای خودتان انجام دهید آن باشد که زمان‌های مطالعه‌ای با برنامه‌ی زمان‌بندی منظم و کافی در محیطی خالی از عامل‌های برهم زننده‌ی تمرکز برای خود در نظر بگیرید.

پرسش‌های زیر را برای خود پاسخ دهید:

- آیا من توانایی به کاربردن مفهوم‌های ریاضی را در فیزیک دارم؟ (اگر پاسخ منفی است به کتاب ریاضیات سال اول خود و همچنین پیوست الف کتاب مراجعه کنید و افزون بر این‌ها از معلم خود نیز راهنمایی‌های لازم را بخواهید.)
- آسان‌ترین فعالیت‌ها در فیزیک برای من کدام‌ها بوده‌اند؟ (نخست این فعالیت‌ها را انجام دهید؛ این کار به ایجاد اعتماد به نفس در شما کمک می‌کند.)
- آیا اگر کتاب را پیش از کلاس خوانده باشم مطلب را بهتر می‌فهمم یا پس از آن؟ (ممکن است شما به این روال بهتر یاد بگیرید که نخست مطلب را با ورق زدن کتاب بخوانید، سپس به کلاس درس بروید و پس از آن به خواندن دقیق موضوع بپردازید.)
- آیا زمانی که صرف مطالعه‌ی فیزیک می‌کنم کافی است؟ (تجربه نشان می‌دهد که به ازای هر یک ساعت کلاس باید به طور متوسط ۲ ساعت خارج از کلاس به آن اختصاص داده شود. به این معنا که در هفته شما باید بین ۴ تا ۶ ساعت به مطالعه‌ی فیزیک بپردازید.)

● برای من بهترین ساعت روز برای مطالعه‌ی فیزیک کدام است؟ (زمان خاصی از روز را برگزینید و آن را تغییر ندهید. همچنین آن ۴ تا ۶ ساعت را در طول هفته پخش کنید!)

● آیا در جای آرامی که بتوانم تمرکز خود را حفظ کنم کار می‌کنم؟ (مزاحمت‌ها روال کار شما را بر هم می‌زند و موجب می‌شود نکته‌های مهم را از قلم بیندازید.)

کارکردن با دیگران

دانشمندان و مهندسان به ندرت در انزوا از یکدیگر کار می‌کنند، بلکه بیش‌تر با یکدیگر همکاری دارند. در آموزش مدرسه‌ای نیز اگر با دیگر دوستانتان کار کنید هم فیزیک بیش‌تر یاد خواهید گرفت و هم از این یادگیری بیش‌تر لذت خواهید برد. امروزه بسیاری از معلمان به این همکاری و مشارکت در یادگیری در کلاس‌های درس رسمیت بخشیده‌اند و افزون بر این زمینه‌ی تشکیل گروه‌های مطالعه را فراهم می‌سازند.

کلاس درس و یادداشت برداری

یک مؤلفه‌ی بسیار مهم در هر درس، حضور در کلاس آن درس است. درخصوص فیزیک کلاس درس اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا معلم فیزیک در فرایند آموزش فعالیت‌هایی را انجام می‌دهد که شما را یاری می‌دهند تا اصل‌های بنیادی فیزیک را بفهمید. در کلاس‌ها حضور فعال داشته باشید و اگر به دلیلی نتوانستید در کلاسی شرکت کنید از یکی از عضوهای گروه مطالعه‌ی خود درخواست کنید که شما را در جریان آن چه گذشته است قرار دهد.

راه حل مسئله‌های فیزیک

تقریباً همه‌ی دانش آموزان و هنرجویان هنگام خواندن درس فیزیک، خود را در این اندیشه می‌یابند که «من مفهوم‌ها را می‌فهمم اما فقط نمی‌توانم مسئله‌ها را حل کنم.» حال آن که در فیزیک درک واقعی یک مفهوم یا اصل، با توانایی در به کار بردن آن اصل درخصوص مسئله‌های مختلف یکی است. فراگیری چگونگی حل مسئله‌ها اهمیت اساسی دارد؛ شما فیزیک نمی‌دانید، مگر آن که بتوانید آن را به کار برید.

حل مسئله‌های فیزیک را چگونه فرا بگیرید؟

برای حل انواع مختلف مسئله‌های فیزیک به روش‌های متفاوتی نیاز داریم. صرف نظر از نوع مسئله‌ای که در دست دارید، گام‌های کلیدی مسلمی وجود دارند که باید همواره آن‌ها را مراعات کنید. (همین گام‌ها در حل مسئله‌های ریاضی، مهندسی، شیمی و بسیاری از زمینه‌های دیگر به همین اندازه سودمندند.)

گام اول: شناسایی مفهوم‌های مرتبط نخست تصمیم بگیرید که چه مفهوم‌های فیزیکی به مسئله مربوط‌اند، اگرچه در این مرحله هیچ محاسبه‌ای وجود ندارد با این وجود گاهی بحث انگیزترین بخش راه حل مسئله همین مرحله است. ولی این مرحله را از قلم نیندازید، زیرا انتخاب رهیافت اشتباه در آغاز، مسئله را از آن چه که هست مشکل‌تر می‌کند و چه بسا به پاسخ نادرست می‌انجامد.

در این مرحله باید متغیر هدف مسئله– یعنی کمیتی را که سعی در یافتن مقدار آن دارید– شناسایی کنید. این کمیت می‌تواند سرعت برخورد یک توپ به زمین، فشار هوا در بالای یک قله‌ی کوه یا اندازه‌ی تصویر حاصل از یک عدسی باشد. متغیر هدف مقصد فرایند حل مسئله است؛ در حین اجرای راه حل این مقصد را از نظر دور ندارید.

گام دوم: آمادگی برای حل مسئله براساس مفهوم‌هایی که در گام اول برگزیده‌اید، معادله‌هایی را که برای حل مسئله نیاز دارید بنویسید و تصمیم بگیرید که آن‌ها را چگونه به کار خواهید برد. اگر لازم می‌دانید طرحی از وضعیتی که توسط مسئله توصیف شده است بکشید.

گام سوم: اجرای راه حل در این مرحله ریاضیات مسئله را انجام دهید. پیش از آن که دست به کار محاسبه‌ها شوید فهرستی از همه‌ی متغیرهای معلوم و مجهول تهیه کنید و به متغیرهای هدف توجه داشته باشید. سپس معادله‌ها را حل کنید و مجهول‌ها را به دست آورید.

گام چهارم: ارزیابی پاسخ شما مقصود از حل مسئله‌ی فیزیک تنها به دست آوردن یک عدد یا یک فرمول نیست؛ مقصود آن است که درک بهتری حاصل شود. به این معنا که باید پاسخ را بیازمایید و دریابید که به شما چه می‌گوید. فراموش نکنید که از خود بپرسید «آیا این پاسخ با معناست؟» اگر متغیر هدف شما شعاع کره‌ی زمین باشد و پاسخ شما ۶/۳۸ سانتی متر شده باشد (یا یک عدد منفی!) باید چیزی در فرایند حل مسئله‌ی شما نادرست باشد. بازگردید و کار خود را امتحان و راه حل را برحسب نیاز اصلاح کنید.

آزمون‌ها

شرکت در آزمون برای هر کس تنش زاست. ولی اگر احساس کنید که به قدر کفایت آمادگی دارید و خوب استراحت کرده باشید تنش شما کاهش خواهد یافت.

آماده شدن برای یک آزمون فرایندی است پیوسته و مداوم که از لحظه‌ای آغاز می‌شود که آزمون قبلی تمام شده است. شما باید بی‌درنگ آن آزمون را مرور کنید و اشتباه‌هایی را که مرتکب شده‌اید بفهمید. اگر در حل مسئله‌ای خطاهای قابل ملاحظه‌ای مرتکب شده‌اید به این شیوه عمل کنید که یک تکه کاغذ بردارید و آن را با خطی از بالا تا پایین کاغذ، از وسط به دو بخش تقسیم کنید. در یک طرف حل درست مسئله را بنویسید. در طرف دیگر کارهایی را که خودتان انجام داده‌اید، و اگر می‌دانید دلیل آن کارها و این که چرا حل شما نادرست است را بنویسید. اگر مطمئن نیستید که چرا این اشتباه‌ها را کرده‌اید یا این که چگونه از انجام دوباره‌ی آن‌ها اجتناب کنید با معلم خود صحبت کنید. فیزیک به طور پیوسته روی ایده‌های بنیادی ساخته می‌شود و این مهم است که هر بدفهمی را بی‌درنگ تصحیح کنیم. اخطار: در آخرین روز و ساعت خود را با عجله برای آزمون آماده کردن ممکن است شما را در آزمون مورد نظر تا حدی موفق گرداند، ولی مفهوم‌هایی را که فرا گرفته‌اید به قدر کفایت برای استفاده در آزمون بعدی به یاد نخواهید داشت.

مسیر آموزش و یادگیری

هنرجویان عزیز! مسیر آموزش و یادگیری، مسیری سرراست و مستقیم نیست که بتوان با تلاشی اندک، هدف‌های آن را تحقق بخشید! ابتدا باید به خود باور و ایمان داشته باشید و یقین بدانید که مفاهیمی را که در هر سال تحصیلی می‌خوانید در سطح درک و فهم شما هستند و برای بهبود و ارتقاء زندگی فردی، اجتماعی و حرفه‌ای شما فراهم آمده‌اند. در فرایند آموزش جدی و پر تلاش باشید و تا جایی که امکان دارد به طور فعال و با انگیزه در فرایند آموزش مشارکت داشته باشید. چرا که اگر امروز نتوانید دانش، مهارت و نگرش خود را و بهبود دهید به طور حتم فردا دیر است! برای تعامل موثر و سازنده با دنیای پر حجم و پر شتاب امروز، راهی جز «کسب خرد» ندارید و این خرد به تدریج و به تبع باور، تلاش و مشارکت شما در فرایند آموزش به دست می‌آید.

خرد رهنما و خرد رهگشای　　خرد دست گیرد به هر دو سرای

ب) با هنرآموزان ارجمند

بریان آرنولد، که تجربه‌ای ممتد در آموزش فیزیک و همچنین تالیف کتاب‌های درسی فیزیک دارد، در مقدمه‌ی کتاب *درک فیزیک با رویکرد تصویری* می‌نویسد: «پس از سال‌ها آموزش به دانش‌آموزانی با قابلیت‌های علمی مختلف، به این نتیجه رسیده‌ام که درک ایده‌های نهفته در پشت بیش تر مفاهیم فیزیک و کاربرد آن‌ها در زندگی برای اغلب دانش آموزان میسر است. آنچه در این راه در میزان موفقیت دانش آموزان موثر است، شیوه‌های آموزش ما در کلاس درس است. این شیوه‌ها می‌توانند درهای درک و فهم مفاهیم فیزیک را برای همه‌ی دانش‌آموزان، بدون توجه به توانایی علمی آنان، باز یا بسته کند.»

همان طور که در مقدمه‌ی بالا نیز اشاره شد شیوه‌های آموزش کارآمد کلید موفقیت نسبی هر برنامه‌ی درسی است. بنابراین انتظار می‌رود همکاران ارجمند با تکیه بر تجربه‌ی خود و به کارگیری شیوه‌های آموزشی موثر، بستر مناسبی برای یادگیری و مشارکت دانش‌آموزان در فرایند آموزش و همچنین شوق انگیزتر شدن فضای کلاس فراهم نمایند. در این راه توجه به موارد زیر در هر فصل می‌تواند راهگشا باشد.

فصل اول: در این فصل پس از نگاهی کوتاه به اندازه‌گیری و یکاهای اصلی، آشنایی مقدماتی با بردارها آمده است. همچنین در برایند بردارها، تنها بردارهای هم راستا یا عمود برهم مورد توجه قرار گرفته است.

فصل دوم: در این فصل الکتریسیته‌ی ساکن و کاربردهای آن مورد بررسی قرار گرفته است. افزون بر آزمایش‌هایی که در CD ضمیمه‌ی کتاب و فعالیت‌های عملی معرفی شده، می‌توانید در صورت لزوم فعالیت‌های ساده‌ی دیگر را نیز برای درک بهتر مفاهیم مطرح کنید.

فصل سوم: در این فصل جریان و مدارهای الکتریکی به همراه مثال‌های فراوانی از فناوری روز و کاربرد آن‌ها در رایانه بررسی شده است. قانون‌های کیرشهف در حد اشاره و آشنایی مطرح شده و تعمیم آن‌ها به مدارهای چند حلقه‌ای مورد توجه نبوده است.

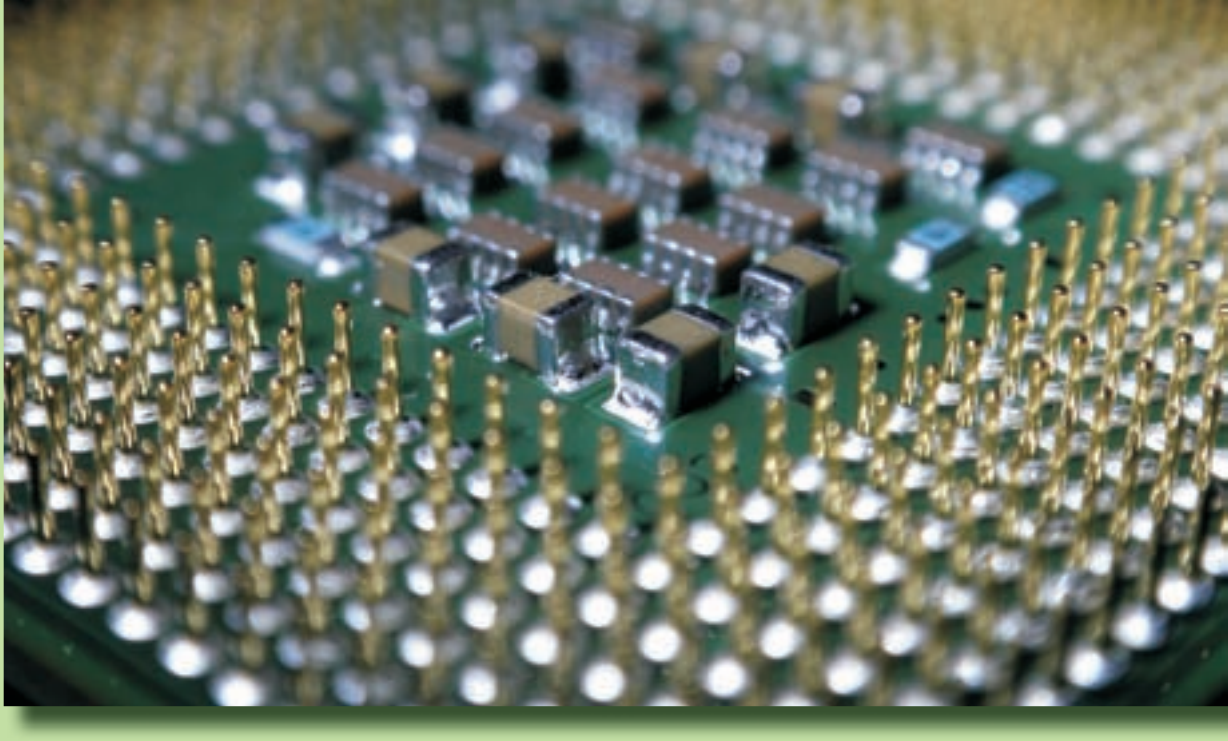
انجام آزمایش‌های ساده در کلاس درس یا آزمایشگاه مدرسه می‌تواند در ساده کردن یادگیری مفاهیم این فصل کمک ارزنده‌ای نماید. افزون بر این‌ها، استفاده از شبیه‌سازی‌ها و به خصوص آزمایشگاه مجازی مدار الکتریکی می‌تواند شرایط مناسبی برای درک عمیق‌تر مفاهیم فراهم نماید.

فصل چهارم: در این فصل همه‌ی مطالب مرتبط با مغناطیس، القای الکترومغناطیسی، تولید الکتریسیته (انرژی الکتریکی) و موج‌های الکترومغناطیسی به طور کیفی و با حداقل استفاده از رابطه های کمی مطرح شده است. تنها در مبحث مبدل‌ها رابطه‌ی بین ولتاژها و تعداد دو سیم پیچ و همچنین در مبحث پایانی کتاب رابطه‌ی بین سرعت موج، طول‌موج و بسامد آمده است.

روح الله خلیلی بروجنی

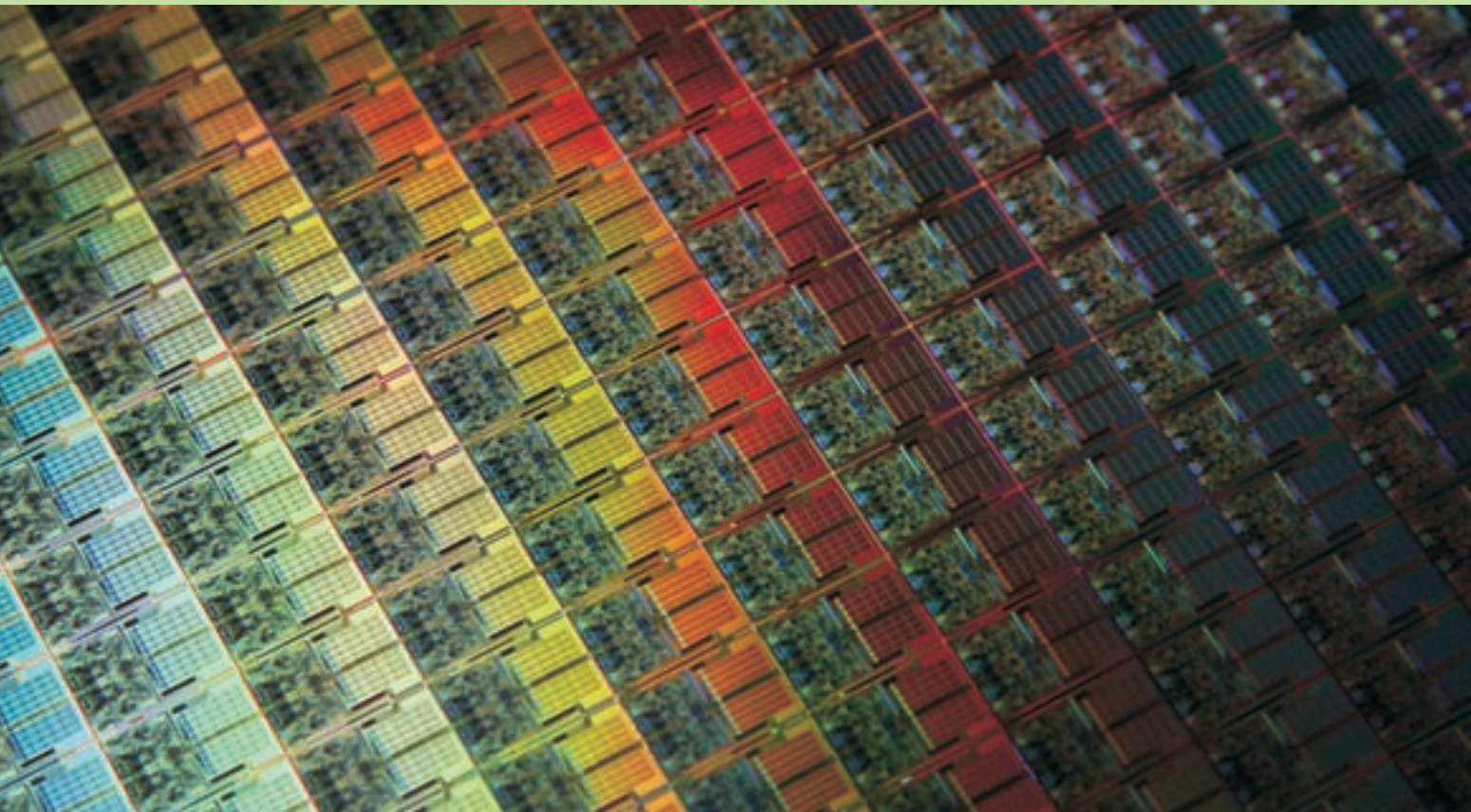
فروردین ۱۳۹۱

۱



یکاها، کمیت‌های فیزیکی و بردارها

آیا می‌دانید فناوری ساخت ترانزیستورهای تعبیه شده روی تراشه‌ی پردازنده‌های نسل جدید به چند نانومتر رسیده است؟ پاسخ در همین فصل.



سیمای فصل ۱

۱-۱ استانداردها و یکاها

۱-۲ دستگاه بین‌المللی یکاها

۱-۳ پیشوندها و تبدیل یکاها

۱-۴ بردارها و جمع برداری

ارزشیابی فصل ۱

یکاها، کمیت‌های فیزیکی و بردارها

علوم پایه و مهندسی و همچنین درک ما از دنیای فیزیکی براساس اندازه‌گیری است. وقتی چیزی را که از آن صحبت می‌کنیم بتوان اندازه گرفت و برحسب عدد و رقم بیان کرد، شناختی از آن خواهیم داشت؛ اما اگر نتوان آن را با عدد و رقم بیان کرد، شناخت ما از آن ناکافی و غیرقابل قبول خواهد بود.

فیزیک را با یادگیری روش‌های اندازه‌گیری کمیت‌هایی که در فیزیک نقش دارند، می‌فهمیم. از جمله‌ی این کمیت‌ها می‌توانیم زمان، طول، جرم، دما و جریان الکتریکی را نام ببریم.

در این فصل آغازین دستگاه‌های یکاهایی را که برای توصیف کمیت‌های فیزیکی به کار می‌روند معرفی خواهیم کرد و سرانجام چندین جنبه‌ی ساده از بردارها و جبربرداری را مطالعه خواهیم کرد.

۱-۱ استانداردها و یکاها

فیزیک علمی تجربی است. در تجربه به اندازه‌گیری نیاز داریم و برای توصیف نتیجه‌ی اندازه‌گیری‌ها به طور معمول از عددها استفاده می‌کنیم. هر عددی که برای توصیف کمی یک پدیده‌ی فیزیکی به کار می‌رود **کمیت فیزیکی** خوانده می‌شود. برای مثال دو کمیت فیزیکی که شما را توصیف می‌کنند عبارت اند از وزن و قد شما. هر کمیت فیزیکی را با یکاهای مخصوص خودش و از راه مقایسه با یک **استاندارد**

بیش‌تر بدانید

اندازه‌گیری‌های علمی چیز جدیدی نیست، بلکه به دوران باستان بر می‌گردد. مثلاً در قرن سوم پیش از میلاد، اندازه‌ی زمین، ماه، و خورشید و نیز فاصله‌ی بین آن‌ها تقریباً دقیق اندازه‌گیری شده بود.

- اندازه‌ی قطر زمین
- اندازه‌ی قطر ماه
- فاصله‌ی زمین تا خورشید
- اندازه‌ی قطر خورشید

اندازه‌گیری می‌کنیم. **یکا** نام مخصوصی است که به پیمانه و معیار آن کمیت اطلاق می‌کنیم. مثلاً، ثانیه (s) یکایی است که آن را برای کمیت زمان به کار می‌بریم.

> **توجه:** وقتی از یک عدد برای توصیف یک کمیت فیزیکی استفاده می‌کنیم، همیشه باید یکایی را که به کار برده‌ایم مشخص کنیم؛ توصیف یک کمیت بدون یکا معنایی ندارد.

تعداد کمیت‌های فیزیکی به حدی زیاد است که سازمان دادن به آن‌ها کاری دشوار است. خوش‌بختانه، همان‌طور که در مورد سرعت نیز دیدیم همه‌ی آن‌ها مستقل از یکدیگر نیستند.

بنابراین مجموعه‌ی کوچک‌تری از کمیت‌های فیزیکی، مثلاً زمان، طول و جرم را – با توافق بین‌المللی – انتخاب می‌کنیم و فقط برای آن‌ها استاندارد تعیین می‌کنیم. این کمیت‌ها، **کمیت‌های اصلی** نامیده می‌شوند. سپس همه‌ی کمیت‌های فیزیکی دیگر را برحسب این کمیت‌های اصلی و استانداردهای مربوط به آن‌ها بیان می‌کنیم. این کمیت‌ها، **کمیت‌های فرعی** نامیده می‌شوند.

۱-۲ دستگاه بین‌المللی یکاها

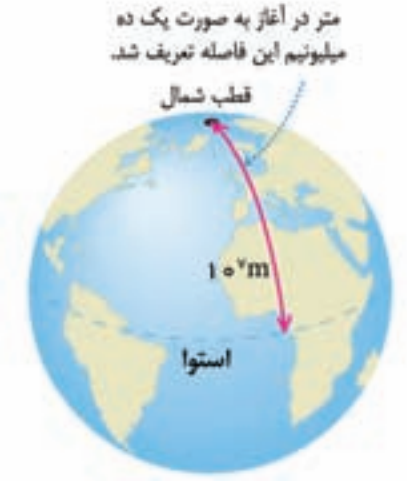
برای انجام اندازه‌گیری‌های درست و قابل اطمینان به یکاهای اندازه‌گیری‌ای نیاز داریم که تغییر نکنند و دارای قابلیت باز تولید در مکان‌های مختلف باشند.

دستگاه یکاهایی که دانشمندان علوم و مهندسان در سراسر جهان به کار می‌برند را به طور متداول **دستگاه متریک** می‌نامند، ولی این دستگاه از سال ۱۹۶۰میلادی به طور رسمی با نام **دستگاه بین‌المللی** یا SI خوانده شده است.

در سال ۱۳۵۰ (هـ‌ش) مجمع عمومی وزن‌ها و مقیاس‌ها هفت کمیت را به عنوان کمیت‌های اصلی انتخاب کرد که اساس دستگاه بین‌المللی یکاها را تشکیل می‌دهند. جدول ۱-۱ یکاهای سه کمیت اصلی زمان، طول و جرم را نشان می‌دهد که در ادامه بررسی خواهیم کرد.

جدول ۱-۱ سه کمیت اصلی SI و یکاهای آن‌ها

کمیت	نام یکا	نماد یکا
زمان	ثانیه	s
طول	متر	m
جرم	کیلوگرم	kg



شکل ۱-۱ در سال ۱۷۹۱ میلادی فاصله‌ی بین قطب شمال تا استوا به طور دقیق برابر 10^7m تعریف شد. این فاصله با استفاده از تعریف جدید متر تنها حدود ۰/۰۲ درصد بیش‌تر از 10^7m است.

تعریف یکاهای اساسی دستگاه متریک در طول سال‌ها تحول یافته است. هنگامی که دستگاه متریک در سال ۱۷۹۱ میلادی توسط آکادمی علوم فرانسه تثبیت شد، متر برابر با یک ده میلیونیم فاصله‌ی بین قطب شمال تا استوا تعریف شده بود (شکل ۱-۱). همچنین ثانیه برابر با زمان لازم برای حرکت آونگی به طول یک متر از یک طرف به طرف دیگر

تعریف شده بود. با این تعریف‌ها باز تولید دقیق یکاها، پر دردسر و سخت بود و با توافق بین‌المللی، تعریف‌های مناسب‌تری جای آن‌ها را گرفتند.

پرسش ۱–۱

اگر استاندارد طول را به صورت فاصله‌ی نوک بینی تا نوک انگشت اشاره‌ی دست کشیده شده بگیریم (شکل ۱–۲)، چه مزایا و چه معایبی دارد؟

شکل ۱–۲

زمان

معمولاً برای کارهای روزمره و برخی مقاصد علمی، می‌خواهیم از زمان آگاه باشیم تا توالی رخدادها را تنظیم کنیم. در بیش‌تر کارهای علمی می‌خواهیم بدانیم هر رویدادی چقدر طول می‌کشد. بنابراین هر استانداردی برای زمان باید بتواند به دو پرسش پاسخ دهد: «**کِی** یا **چه وقتی** رخ داد؟» و «چه **مدت** به درازا کشید؟»

در طول سال‌های ۱۸۸۹ تا ۱۹۶۷ میلادی یکای زمان به صورت کسر معینی از روز میانگین خورشیدی، یعنی زمان متوسط بین رسیدن‌های پیاپی خورشید به بالاترین نقطه در آسمان تعریف می‌شد. استاندارد کنونی زمان که در سال ۱۹۶۷ به کار گرفته شد بسیار دقیق‌تر است. این استاندارد براساس ساعت‌های اتمی است که در کتاب‌های پیشرفته فیزیک می‌توان با آن آشنا شد (شکل ۱–۳).

در بسیاری موارد به جای دانستن لحظه‌ی شروع یا لحظه‌ی پایان یک رویداد، نیاز به اندازه‌گیری مدت زمان آن رویداد داریم. مدت زمان بین شروع و پایان یک رویداد را **بازه‌ی زمانی** می‌نامیم. در جدول ۱–۲ برخی بازه‌های زمانی نشان داده شده است.

شکل ۱–۳ به منظور برآوردن نیاز به استاندارد زمان دقیق‌تر، ساعت‌های اتمی ساخته شده‌اند. شکل بالا ساعت اتمی موجود در مؤسسه ملی استانداردها و فناوری (NIST) را در آمریکا نشان می‌دهد. این ساعت دقت بسیار بسیار زیادی دارد به طوری که پس از یک میلیون سال تنها یک ثانیه جلو یا عقب می‌افتد.

جدول ۱–۲ برخی بازه‌های زمانی به طور تقریبی

اندازه	بازه‌ی زمانی (s)
سن کیهان	۵×۱۰^{۱۷}
سن زمین	$۱/۴\times۱۰^{۱۷}$
طول عمر متوسط انسان‌ها	۲×۱۰^{۹}
یک سال	$۳/۱\times۱۰^{۷}$
یک شبانه روز	$۸/۴\times۱۰^{۴}$
زمان متوسط بین دو تپش قلب انسان	۸×۱۰^{-۱}
زمان اجرای یک دستور توسط اولین پردازنده Intel 4004	$۱/۳\times۱۰^{-۶}$
زمان اجرای یک دستور توسط پردازنده‌های Core i7	۳×۱۰^{-۹}
طول عمر ناپایدارترین ذره	۱×۱۰^{-۲۳}

مثال ۱-۱

با توجه به جدول ۱-۲ سن تقریبی زمین را برحسب سال بیان کنید.

حل: با توجه به این که سن تقریبی زمین $۱/۴\times۱۰^{۱۷}$ ثانیه و هر سال $۳/۱\times۱۰^{۷}$ ثانیه است، داریم:

$$\text{سن تقریبی زمین برحسب سال} = \frac{۱/۴\times۱۰^{۱۷}}{۳/۱\times۱۰^{۷}} \Rightarrow ۴/۵\times۱۰^{۹} = ۴/۵ \text{ میلیارد سال}$$

طول

اولین استاندارد بین‌المللی طول میله‌ای از جنس پلاتین- ایریدیوم به نام **متر استاندارد** بود که در دفتر بین‌المللی وزن‌ها و مقیاس‌ها در نزدیکی پاریس نگه‌داری می‌شود (شکل ۱-۴). فاصله‌ی میان دو خط نازک حک شده در نزدیکی دو سر میله، وقتی میله در دمای $۰^{\circ}C$ قرار داشت، برابر یک متر تعریف شده بود. به لحاظ تاریخی، متر یک ده میلیونیم فاصله‌ی قطب شمال تا استوا در امتداد نصف‌النهاری بود که از پاریس می‌گذشت (شکل ۱-۱).

بنابر آخرین تعریف مجمع عمومی وزن‌ها و مقیاس‌ها در سال ۱۹۸۳، یک متر برابر فاصله‌ای است که نور در بازه‌ی زمانی $\frac{۱}{۲۹۹\,۷۹۲\,۴۵۸}$ ثانیه، در خلأ می‌پیماید. این تعریف تخصصی است (که لازم نیست آن را از بر کنید!) و برای اندازه‌گیری‌های بسیار دقیق به کار می‌رود.

جدول ۱-۳ گستره‌ی وسیعی از طول‌ها، از اندازه‌ی کیهان گرفته تا اندازه‌ی جسم‌های بسیار ریزی مانند شعاع پروتون را نشان می‌دهد.

شکل ۱-۴ میله‌ی استاندارد طول از جنس پلاتین-ایریدیوم که در موزه‌ای نزدیک پاریس نگه‌داری می‌شود.

جدول ۱-۳ گستره‌ی برخی طول‌ها به طور تقریبی

اندازه	طول (m)
اندازه‌ی کیهان	۲×۱۰^{۲۶}
فاصله‌ی منظومه‌ی شمسی تا کهکشان امرأه المسلسله	۲×۱۰^{۲۲}
شعاع کهکشان راه شیری	۶×۱۰^{۱۹}
فاصله‌ی خورشید تا ستاره‌ی همسایه (آلفا قنطورس)	۴×۱۰^{۱۶}
شعاع خورشید	۷×۱۰^{۸}
شعاع زمین	۶×۱۰^{۶}
ارتفاع برج میلاد تهران	۴×۱۰^{۲}
ضخامت هر برگ این کتاب	۱×۱۰^{-۴}
فناوری ساخت ترانزیستورهای اولین پردازنده Intel 4004	۱×۱۰^{-۵}
اندازه‌ی یک ویروس	۱×۱۰^{-۶}
فناوری ساخت ترانزیستورهای پردازنده‌های Core i7	۳×۱۰^{-۸}
شعاع اتم هیدروژن	۵×۱۰^{-۱۱}
شعاع پروتون	۱×۱۰^{-۱۵}

بیش‌تر بدانید

- تشکیل فصل‌ها

مثال ۱–۲

یک سال نوری معیاری از طول (نه زمان) و برابر با فاصله‌ای است که نور در یک سال می‌پیماید. عامل تبدیل سال نوری و متر را محاسبه کنید و فاصله‌ی خورشید تا نزدیک‌ترین ستاره (آلفا قنطورس) را برحسب سال نوری بیابید. سرعت نور در خلأ را $3/0\times10^{8}\ m/s$ بگیرید.

حل: با توجه به جدول ۱–۲ هر ۱ سال برابر $3/1\times10^{7}\ s$ است. به این ترتیب مسافتی که نور در ۱ سال می‌پیماید برابر است با:

$$(3/0\times10^{8}\ m/s)\ (3/1\times10^{7}\ s) = 9/3\times10^{15}\ m$$

در نتیجه

$$1 \text{ سال نوری} = 9/3\times10^{15}\ m$$

فاصله‌ی خورشید تا ستاره‌ی همسایه برابر است با:

$$(4\times10^{16}\ m)\times\left(\frac{1\text{سال نوری}}{9/3\times10^{15}\ m}\right) \simeq 4/2 \text{ سال نوری}$$

یعنی ۴/۲ سال طول می‌کشد تا نور از نزدیک‌ترین ستاره به خورشید به زمین برسد!

جرم

استاندارد SI برای جرم، استوانه‌ای از جنس پلاتین– ایریدیوم است (شکل ۱–۵) که در دفتر بین‌المللی وزن‌ها و مقیاس‌ها در نزدیکی پاریس نگه‌داری می‌شود و بنا بر توافق بین‌المللی، جرم ۱ کیلوگرم به آن نسبت داده شده است. نسخه‌ی بدل‌های دقیقی از آن به آزمایشگاه‌های مؤسسه‌های استاندارد در کشورهای دیگر فرستاده شده‌اند و جرم اجسام دیگر را با مقایسه با این نسخه‌های بدل و به کمک ترازو می‌توان تعیین کرد. جدول ۱–۴ جرم برخی از اجسام را به کیلوگرم نشان می‌دهد.

شکل ۱–۵ استاندارد بین‌المللی کیلوگرم جرم، استوانه‌ای از جنس پلاتین– ایریدیوم به ارتفاع و قطر ۳/۹cm است.

جدول ۱–۴ بعضی جرم‌های تقریبی

جسم	جرم (kg)
کیهان شناخته شده	1×10^{53}
کهکشان ما (راه شیری)	2×10^{41}
خورشید	2×10^{30}
زمین	6×10^{24}
ماه	7×10^{22}
فیل	5×10^{3}
حبه‌ی انگور	3×10^{-3}
ذره‌ی غبار	7×10^{-10}
اتم اورانیوم	4×10^{-25}
پروتون	2×10^{-27}
الکترون	9×10^{-31}

تمرین ۱-۱

با توجه به جدول ۱-۴ جرم خورشید به ترتیب چند مرتبه از جرم زمین و ماه بزرگ‌تر است (شکل۱-۶)؟

شکل ۱-۶ منظره‌ی خورشید، زمین و ماه در فضا

فعالیت ۱-۱

خروار، من تبریز، سیر، مثقال، نخود و گندم از جمله یکاهای قدیمی ایرانی هستند که برای اندازه‌گیری جرم به کار می‌رفته است. این یکاها به صورت زیر با یکدیگر مرتبط‌اند.

۱ خروار = ۱۰۰ من تبریز

۱ من تبریز = ۴۰ سیر = ۶۴۰ مثقال

۱ مثقال = ۲۴ نخود = ۹۶ گندم

با توجه به این که هر مثقال معادل ۴/۸۶ گرم است، هر کدام از این یکاها را برحسب گرم و کیلوگرم بیان کنید.

این فعالیت را در خانه و به کمک دیگر اعضای خانواده‌ی خود انجام دهید و گزارشی از آن تهیه کنید و به کلاس درس ارائه دهید.

مطالعه‌ی آزاد[1]

عدم قطعیت (خطا) و رقم‌های با معنا

در اندازه‌گیری‌ها همواره عدم قطعیت وجود دارد. اگر شما کلفتی جلد کتابی را با یک خط‌کش معمولی اندازه بگیرید، اندازه‌گیری شما فقط تا نزدیک‌ترین میلی‌متر قابل اعتماد است و نتیجه‌ی کار ۳mm خواهد بود. اگر این نتیجه را به صورت ۳/۰۰mm بیان کنید اشتباه است زیرا با در نظر گرفتن محدودیت‌های اسباب اندازه‌گیری، شما نمی‌توانید بگویید که ضخامت واقعی کدام یک از مقدارهای ۳/۰۰mm ، ۲/۸۵mm یا ۳/۱۱mm است. اما اگر از یک ریز سنج که می‌تواند فاصله را با اطمینان تا نزدیک‌ترین ۰/۰۱ mm اندازه بگیرد استفاده کنید نتیجه ۲/۹۱ mm خواهد بود. تمایز بین این دو اندازه‌گیری در **عدم قطعیت** آن‌هاست. اندازه‌گیری با ریزسنج عدم قطعیت کم‌تری داردو به عبارتی اندازه‌گیری دقیق‌تری است. عدم قطعیت را **خطا** نیز می‌نامند.

اغلب **درستی** یک مقدار اندازه‌گیری شده، یعنی این که چقدر ممکن است به مقدار واقعی نزدیک باشد، با نوشتن عدد، نماد t و یک عدد دیگر که نشان دهنده ی عدم قطعیت اندازه‌گیری است مشخص می‌شود. اگر قطر یک میله‌ی فولادی ۰/۰۲mm ± ۵۲/۲۳ داده شود به آن معناست که مقدار واقعی نمی‌تواند کم‌تر ازیا ۵۲/۲۱mm بیش‌تر از ۵۲/۲۵mm باشد.

۱- این قسمت‌ها برای مطالعه‌ی بیش‌تر دانش‌آموزان است و نباید مورد ارزشیابی قرار گیرند.

در بسیاری از موارد عدم قطعیت یک عدد به روشنی بیان نمی‌شود. در عوض عدم قطعیت با تعداد رقم‌های معنادار یا **رقم‌های بامعنا** در مقدار اندازه‌گیری شده مشخص می‌شود. کلفتی جلد کتابی ۲/۹۱mm داده شده که دارای سه رقم با معناست. مفهوم این عبارت آن است که می‌دانیم اولین دو رقم درست‌اند ولی رقم سوم قطعیت ندارد. آخرین رقم در مکان صدم‌هاست. بنابراین عدم قطعیت حدود ۰/۰۱ mm است. دو مقدار با تعداد رقم‌های با معنای یکسان ممکن است عدم قطعیت‌های متفاوت داشته باشند. برای مثال فاصله‌ای که با عدد ۱۲۴km داده شده است نیز سه رقم با معنا دارد ولی عدم قطعیت آن حدود ۱km است.

۱-۳ پیشوندها و تبدیل یکاها

اینک که با برخی از یکاهای اصلی در SI آشنا شدیم به سادگی می‌توانیم یکاهای بزرگ‌تر و کوچک‌تر را برای همان کمیت‌های فیزیکی معرفی کنیم. در SI این یکاهای دیگر با مضرب‌های ۱۰ یا $\frac{۱}{۱۰}$ به یکاهای اصلی مربوط می‌شوند. به این ترتیب یک کیلومتر (۱km) برابر ۱۰۰۰ متر و یک سانتی‌متر(۱cm) برابر $\frac{۱}{۱۰۰}$ متر است. معمولاً مضرب‌های ۱۰ یا $\frac{۱}{۱۰}$ را به صورت نمایی بیان می‌کنیم.

برای مثال:

$$۱۰۰۰ = ۱۰^{۳} \quad \text{و} \quad \frac{۱}{۱۰۰۰} = ۱۰^{-۳}$$

با این نمادگذاری $۱km = ۱۰^{۳}m$ و $۱cm = ۱۰^{-۲}m$.

اسم یکاهای اضافی با افزودن یک پیشوند به اسم یکای اصلی به دست می‌آید.

برای مثال پیشوند «کیلو» با کوتاه نوشت k همواره یکایی ۱۰۰۰ برابر بزرگ‌تر را نشان می‌دهد. بنابراین:

$$۱ \text{ کیلومتر} = ۱۰^{۳} \text{ متر} = ۱ km = ۱۰^{۳}m$$

$$۱ \text{ کیلوگرم} = ۱۰^{۳} \text{ گرم} = ۱ kg = ۱۰^{۳}g$$

$$۱ \text{ کیلووات} = ۱۰^{۳} \text{ وات} = ۱ kW = ۱۰^{۳} W$$

برای راحتی کار، وقتی با اندازه‌های بسیار بزرگ یا بسیار کوچک سر و کار داریم، از پیشوندهایی که در جدول ۱-۵ آمده است استفاده می‌کنیم. همان‌طور که می‌بینید، هر پیشوند نشانه‌ی توان مشخصی از ۱۰ است که به عنوان ضریب به کار برده می‌شود. استفاده از هر پیشوند برای یکای SI به منزله‌ی ضرب کردن آن یکا در ضریب مربوط به آن پیشوند است. پس با توجه به جدول‌های ۱-۳ و ۱-۵، شعاع اتم هیدروژن را می‌توان به این صورت بیان کرد:

$$\text{شعاع اتم هیدروژن} = ۵\times۱۰^{-۱۱} \text{ متر} = ۵۰\times۱۰^{-۱۲} \text{ پیکومتر} = ۵۰ pm$$

ترازوی حکمت

ترازوی حکمت یکی از جالب‌ترین وسایل ساخته شده به وسیله‌ی دانشمندان اسلامی به شمار می‌رود. شواهد نشان می‌دهند که این ترازو در اواخر قرن پنجم یا اوایل قرن ششم هجری قمری توسط عبدالرحمان خازنی ساخته شده است. برخلاف شناخت امروزین ما از ترازو که با شنیدن نام آن، وسیله‌ای با یک یا دو کفه را مجسم می‌کنیم، ترازوی حکمت (میزان الحکمه) از هفت کفه تشکیل شده بوده است. این کفه‌ها با وجود آن که پیچیدگی بسیاری به این وسیله می‌دادند، باعث می‌شوند دقت وسیله در سنجش وزن‌ها بالا رود به طوری که امروز ثابت شده است با ترازوی حکمت می‌توان جرم اجسام را تا دقت یک دهم گرم تعیین کرد.

جدول ۱–۵ پیشوندهای یکاهای SI

ضریب	پیشوند	نماد	ضریب	پیشوند	نماد
$۱۰^{۲۴}$	یوتا	Y	$۱۰^{-۱}$	دِسی	d
$۱۰^{۲۱}$	زِتا	Z	$۱۰^{-۲}$	سانتی	c
$۱۰^{۱۸}$	اِگزا	E	$۱۰^{-۳}$	میلی	m
$۱۰^{۱۵}$	پِتا	P	$۱۰^{-۶}$	میکرو	μ
$۱۰^{۱۲}$	تِرا	T	$۱۰^{-۹}$	نانو	n
$۱۰^{۹}$	گیگا (جیگا)	G	$۱۰^{-۱۲}$	پیکو	p
$۱۰^{۶}$	مِگا	M	$۱۰^{-۱۵}$	فِمتو	f
$۱۰^{۳}$	کیلو	k	$۱۰^{-۱۸}$	اَتو	a
$۱۰^{۲}$	هِکتو	h	$۱۰^{-۲۱}$	زِپتو	z
$۱۰^{۱}$	دِکا	da	$۱۰^{-۲۴}$	یوکتو	y

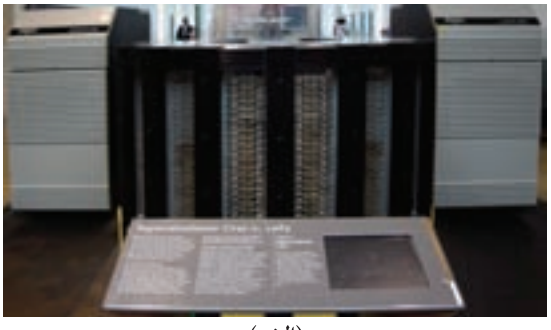
پیشوندهای که کاربرد بیش‌تری دارند و بهتر است آن‌ها را بخاطر بسپارید با رنگ قرمز نشان داده شده‌اند.

توجه: معمولاً در رایانه‌ها و بعضی از ماشین حساب‌ها به جای استفاده از پیشوندهای یکاهای SI، نماد گذاری علمی را مختصرتر نشان می‌دهند. مثلاً می‌نویسند 8.2E5 و 4.31E-11 که در آن‌ها E نشان دهنده‌ی «توان ده» است و برحسب پیشوندهای یکاهای SI به صورت $۸/۲\times۱۰^{۵}$ و $۴/۳۱\times۱۰^{-۱۱}$ نوشته می‌شوند.

فعالیت ۱–۲

سریع‌ترین ابررایانهٔ (Supercomputer) جهان بین سال‌های ۱۹۸۵ تا ۱۹۹۰ میلادی در اختیار سازمان فضایی آمریکا (NASA) قرار داشت و دارای ۸ پردازنده (CPU) با کارایی ۱/۹ گیلافلاپس[۱] بود (شکل ۱–۷ الف).

حال آن که در سال ۲۰۱۱ میلادی سریع‌ترین ابررایانه‌ی جهان با مجموع ۸۸۱۲۸ پردازنده با کارایی ۱۰/۵۱ پتافلاپس توسط شرکت فوجیتسو ساخته شده و در مؤسسه‌ی پژوهشی علوم طبیعی واقع در شهر کوبه ژاپن مورد بهره برداری قرار گرفت (شکل ۱–۷ ب). با توجه به جدول ۱–۵ نسبت کارایی پردازنده‌ی این دو ابر رایانه را با هم مقایسه کنید.



(الف)

(ب)

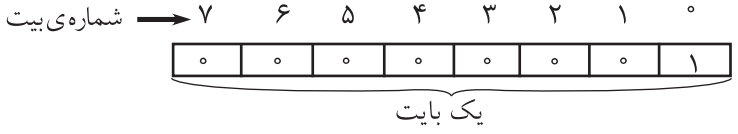
شکل ۱–۷

۱– فلاپس به انگلیسی FLOPS مخفف عبارت (Floating Point Operation Per Second) به معنی عملیات شناور هر نقطه در ثانیه، مقیاسی برای سنجش کارایی رایانه‌هاست.

یکای بنیادی اطلاعات (داده)

بیت، یکای پایه یا بنیادی اطلاعات در رایانه و ارتباطات است. هر بیت برابر با مقدار اطلاعات یا داده‌ای است که می‌تواند توسط یک ابزار یا دستگاه فیزیکی که به طور طبیعی فقط در دو حالت متمایز وجود دارد ذخیره شود. همچنین در رایانه‌ها بیت به صورت یک متغیر یا کمیت رایانه‌ای که تنها دارای دو مقدار ممکن ۰ و ۱ است تعریف می‌شود. این دو مقدار همچنین می‌توانند به صورت مقدارهای منطقی (درست/ نادرست، آری/ نه) علائم جبری (+/ −) یا حالت‌های راه‌اندازی (روشن/ خاموش) تفسیر شوند.

به دسته‌های ۸ تایی از بیت‌ها، **بایت** می‌گویند(۸b=۱B). یک بایت می‌تواند نشان دهنده‌ی یک **کاراکتر** (یک حرف، یک رقم، یا یک علامت نشانه‌گذاری و غیره) باشد. برای مثال کد حرف A به صورت زیر است:



با کمی دقت متوجه خواهید شد که هر بایت می‌تواند ۲۵۶ ترکیب ۸ تایی از صفرها و یک‌ها به صورت زیر بسازد:

۰ = ۰۰۰۰۰۰۰۰

۱ = ۰۰۰۰۰۰۰۱

۲ = ۰۰۰۰۰۰۱۰

⋮

۲۵۴ = ۱۱۱۱۱۱۱۰

۲۵۵ = ۱۱۱۱۱۱۱۱

پیشوندهای بزرگ‌تر یکای بنیادی اطلاعات به صورت کیلو بیت (kb)، مگابیت (Mb)، گیگابیت (Gb)، ترابیت (Tb) و غیره است. بر خلاف پیشوندهای یکاهای SI که در آن هر کیلو برابر $۱۰^{۳}$ است در مبنای دوتایی هر کیلوبرابر۱۰۲۴=$۲^{۱۰}$ است. به این ترتیب داریم

کیلوبیت	$۲^{۱۰}$ b = ۱۰۲۴ b =۱ kb
مگا بیت	$۲^{۲۰}$ b = ۱۰۲۴ kb =۱ Mb
گیگا بیت	$۲^{۳۰}$ b = ۱۰۲۴ Mb =۱ Gb
ترا بیت	$۲^{۴۰}$ b = ۱۰۲۴ Gb =۱ Tb
پتا بیت	$۲^{۵۰}$ b = ۱۰۲۴ Tb =۱ Pb
اگزا بیت	$۲^{۶۰}$ b = ۱۰۲۴ Pb =۱ Eb
زتا بیت	$۲^{۷۰}$ b = ۱۰۲۴ Eb =۱ Zb
یوتا بیت	$۲^{۸۰}$ b = ۱۰۲۴ Zb =۱ Yb

شبیه‌سازی

■ تبدیل یکاهای مختلف

تبدیل یکاها

اغلب لازم می‌شود که یکایی را که بیان کننده‌ی کمیتی فیزیکی است، به یکای دیگر تبدیل کنیم. این کار را با روشی به نام **تبدیل زنجیره‌ای** انجام می‌دهیم. در این روش، اندازه‌ی اولیه را در یک **ضریب تبدیل** ضرب می‌کنیم. برای مثال، چون ۱ min (یک دقیقه) و ۶۰ s (شصت ثانیه) بازه‌های زمانی یکسانی هستند، داریم:

$$\frac{1\,\text{min}}{60\,\text{s}} = 1 \quad , \quad \frac{60\,\text{s}}{1\,\text{min}} = 1$$

بنابراین هر دو کسر بالا را که برابر واحد هستند می‌توان به عنوان ضرایب تبدیل به کار برد.

از آن‌جا که ضرب کردن هر کمیت در واحد،تغییری در آن کمیت به وجود نمی‌آورد، هرگاه که ضریب تبدیلی را سودمند بیابیم می‌توانیم از آن بهره بگیریم. مثلاً برای تبدیل ۵ min به کمیتی با یکای ثانیه، داریم:

$$5\,\text{min} = (5\,\text{min})(1) = (5\,\cancel{\text{min}})\left(\frac{60\,\text{s}}{1\,\cancel{\text{min}}}\right) = 300\,\text{s}$$

اگر تبدیل یکاها را درست انجام دهید یکاهای ناخواسته به گونه‌ی مثال بالا حذف خواهند شد. برای آن که مطمئن شوید که یکاها را درست تبدیل کرده‌اید باید در تمام مرحله‌های محاسبه یکاها را بنویسید. در پایان ببینید آیا جواب شما منطقی است. آیا نتیجه‌ی ۵ min = ۳۰۰ s منطقی است؟ جواب مثبت است، ثانیه یکای کوچک‌تری از دقیقه است، بنابراین در یک بازه‌ی زمانی تعداد بیش‌تری ثانیه وجود دارد تا دقیقه.

مثال ۱-۳

رکورد رسمی جهانی سرعت روی زمین ۱۲۲۸ km/h است که در سال ۱۹۹۷ میلادی توسط اندی گرین با اتومبیلی مجهز به موتور جت به دست آمد (شکل ۱-۸). این سرعت را برحسب متر بر ثانیه بیان کنید.

شکل ۱-۸

حل: می‌خواهیم یکای سرعت را از km/h به m/s تبدیل کنیم.

پیشوند k به معنای 10^3 است و همچنین می‌دانیم که ۳۶۰۰ s در ۱ h وجود دارد. بنابراین در تبدیل‌های زنجیره‌ای، ضرایب تبدیل را به صورت کسری چنان ردیف می‌کنیم که یکاهایی که نمی‌خواهیم حذف شوند.

$$1228\,\text{km/h} = \left(1228\,\frac{\text{km}}{\text{h}}\right)\left(\frac{10^3\,\text{m}}{1\,\text{km}}\right)\left(\frac{1\,\text{h}}{3600\,\text{s}}\right) \approx 341\,\text{m/s}$$

آیا جواب شما منطقی است؟یادآوری این نکته مفید است که سرعت متوسط قدم زدن یک شخص نسبتاً قد بلند حدود ۱ m/s است. در مقایسه، ۳۴۱ m/s به واقع سریع است!

مثال ۱-۴

پردازنده یا واحد پردازش مرکزی (CPU) ، تراشه‌ای متشکل از صدها میلیون تا چندین میلیارد ترانزیستور بسیار کوچک و ظریف است که در یک محفظه‌ی سرامیکی جای گرفته‌اند. شکل ۱-۹ یکی از پردازنده‌های سریع و هوشمند را نشان می‌دهد که با نام تجاری Core i7 – 3960X در سال ۲۰۱۱ توسط شرکت اینتل معرفی و در سال ۲۰۱۲ به بازار عرضه شد و حدود ۲/۲۷ میلیارد ترانزیستور در ساخت آن به کار رفته است. این پردازنده قادر است در سریع‌ترین وضعیت تا ۳/۹ میلیارد دستور را در یک ثانیه انجام دهد. با توجه به این که پهنای هر ترانزیستور به کار رفته در این پردازنده ۳۲ نانومتر است، هر ترانزیستور حداکثر چه سطحی را روی تراشه[1] اشغال می‌کند؟

پاسخ خود را برحسب سانتی‌متر مربع بیان کنید.

شکل ۱-۹ نمای کلی پردازنده‌ی Core i7

حل: با توجه به این که پهنای هر ترانزیستور ۳۲ nm است، مساحت سطح آن برابر است با:

$$(۳۲\text{nm}) \times (۳۲\text{nm})$$

از طرفی هر نانومتر برابر $۱۰^{-۷}\text{cm}$ است، بنابراین:

$$(۳۲\times۱۰^{-۷}\text{cm}) \times (۳۲\times۱۰^{-۷}\text{cm}) = ۱۰۲۴\times۱۰^{-۱۴}\text{cm}^۲ \simeq ۱۰^{-۱۱}\text{cm}^۲$$

این عدد به واقع بسیار کوچک است و به این معناست که بیش از یک میلیارد ترانزیستور را به کمک فناوری‌های جدید می‌توان روی تراشه‌ای به ابعاد یک یا چند سانتی‌متر مربع قرار داد.

فعالیت ۱-۳

دستگاه بریتانیایی یکاها، دستگاهی است که در آمریکا، انگلستان و چند کشور دیگر استفاده می‌شود. یکای طول در این دستگاه فوت است به طوری که هر فوت بر حسب یکای کوچک‌تر طول در این دستگاه، به نام اینچ، برابر است با:

$$۱\text{ft} = ۱۲\text{in} \quad \text{یا} \quad ۱\text{فوت} = ۱۲\text{ اینچ}$$

هر کیس رایانه دارای تعدادی جایگاه ۵/۲۵ اینچی برای درایوهای CD-ROM /DVD-ROM و یک جایگاه برای درایوهای ۳/۵۰ اینچی است که امروزه دیگر منسوخ شده‌اند (شکل ۱-۱۰). به کمک خط‌کش ابعاد این جایگاه‌ها را بر حسب سانتی‌متر پیدا کنید و از آنجا به دست آورید هر اینچ معادل چند سانتی‌متر است.

شکل ۱-۱۰

۱- تراشه (chip) قطعه‌ای از جنس سیلیکون است که روی آن مدارهای مجتمع قرار داده می‌شود.

فعالیت ۱-۴

ذرع و فرسنگ از جمله یکاهای قدیمی ایرانی برای طول است. هر ذرع ۱۰۴cm و هر فرسنگ ۶۰۰۰ ذرع است. طول بزرگ‌ترین جزیره‌ی خلیج فارس، قشم، که مساحت آن از بیش از ۲۰ کشور جهان نیز بزرگ‌تر است حدود ۱۲۰km برآورد شده است (شکل ۱-۱۱). طول این جزیره را برحسب ذرع و فرسنگ بیان کنید.

شکل ۱-۱۱ تصویر ماهواره ای از جزیره‌ی زیبای قشم در خلیج فارس

۱-۴ بردارها و جمع‌برداری

برخی از کمیت‌های فیزیکی نظیر زمان، جرم، دما، توان و چگالی را می‌توان به طور کامل توسط یک عدد و یکای مربوط به آن توصیف کرد. ولی بسیاری از کمیت‌های مهم دیگر در فیزیک جهتی وابسته به خود دارند و نمی‌توان آن‌ها را تنها با یک عدد توصیف کرد. یک مثال ساده حرکت هواپیماست. برای توصیف کامل این حرکت نه تنها باید بدانیم که هواپیما چقدر سریع حرکت می‌کند بلکه باید جهت حرکت را نیز بدانیم. یک هواپیما برای پرواز از تهران به جزیره‌ی ابو موسی باید به سمت جنوب برود نه شرق. مقدار سرعت هواپیما همراه با جهت حرکت آن کمیتی فیزیکی به نام سرعت را می‌سازند.

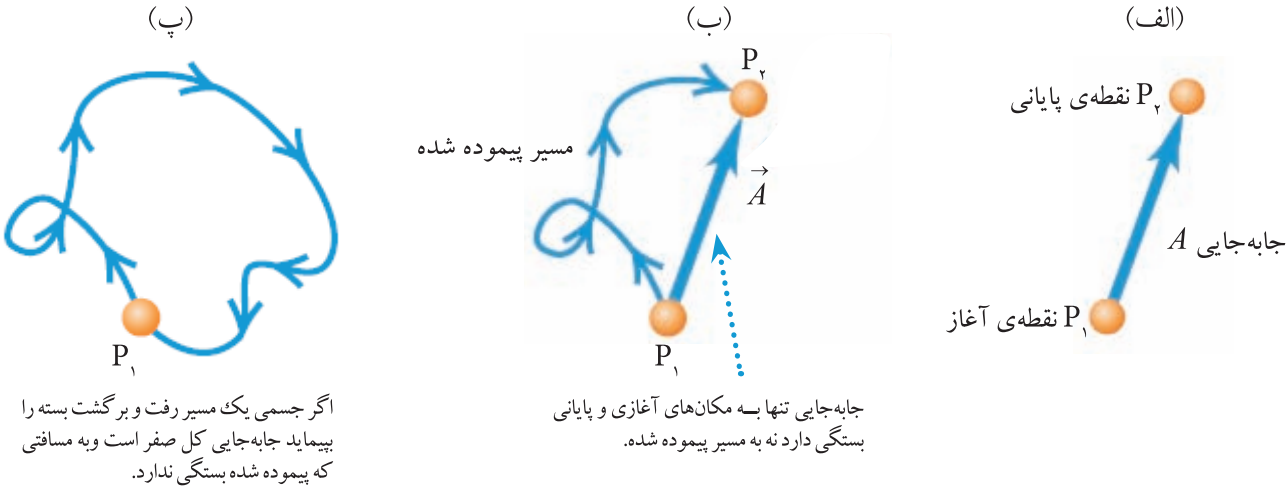
هنگامی که یک کمیت فیزیکی با یک تک عدد توصیف می‌شود آن را یک **کمیت نرده‌ای** می‌خوانیم. در مقابل، **کمیت برداری** هم **بزرگی** دارد (یعنی این که «چقدر زیاد» یا «چقدر بزرگ» است) و هم یک **جهت** در فضا.

در محاسبه‌هایی که در آن‌ها کمیت‌های نرده‌ای با هم ترکیب می‌شوند از جبر معمولی استفاده می‌کنیم. برای مثال $5kg+2kg=7kg$ ،یا $8s-2s=6s$ ولی ترکیب بردارها به مجموعه‌ی متفاوتی از عملیات نیاز دارد.

برای درک بهتر بردارها و نحوه‌ی ترکیب آن‌ها با ساده‌ترین کمیت برداری، یعنی **جابه‌جایی** آغاز می‌کنیم. جابه‌جایی به طور ساده برابر است با تغییر در مکان یک نقطه. (این نقطه می‌تواند نشان دهنده‌ی یک ذره یا یک جسم کوچک باشد.) در شکل ۱-۱۲ الف تغییر مکان از نقطه‌ی P_1 به نقطه‌ی P_2 را با خطی از P_1 تا P_2 همراه با نوک پیکان در نقطه‌ی P_2 که جهت حرکت را نشان می‌دهد نمایش می‌دهیم.

یک کمیت برداری نظیر جابه‌جایی را به طور معمول با یک تک حرف نظیر $\vec{A}$ در شکل ۱-۱۲ الف نمایش می‌دهیم. در این کتاب همواره نمادهای برداری را با یک پیکان در بالای آن‌ها می‌نویسیم. این کار را به این منظور انجام می‌دهیم تا خاطر نشان کنیم که کمیت‌های برداری ویژگی‌های متفاوتی از کمیت‌های نرده‌ای دارند؛

پیکان یادآور آن است که بردارها جهت دارند. هنگامی که نمادی را برای یک بردار می‌نویسید همواره یک پیکان بالای آن قرار دهید. یک بردار را همواره به صورت خطی با یک نوک در سر آن رسم می‌کنیم. طول این خط بزرگی بردار و جهت خط، جهت بردار را نشان می‌دهند.جابه‌جایی همواره حتی اگر مسیر واقعی ذره خمیده باشد ،یک پاره خط راست از نقطه‌ی آغازی به نقطه‌ی پایانی است. در شکل ۱-۱۲ ب ذره در طول مسیر خمیده‌ی نشان داده از حرکت می‌کند ولی جابه‌جایی کماکان بردار $\vec{A}$ است. توجه کنید که جابه‌جایی ارتباط مستقیمی با مسافت کل پیموده شده ندارد. اگر ذره مسیر خود تا را ادامه دهد و سپس به نقطهٔ آغازین باز گردد، جابه‌جایی در کل حرکت صفر خواهد بود (شکل ۱-۱۲پ).



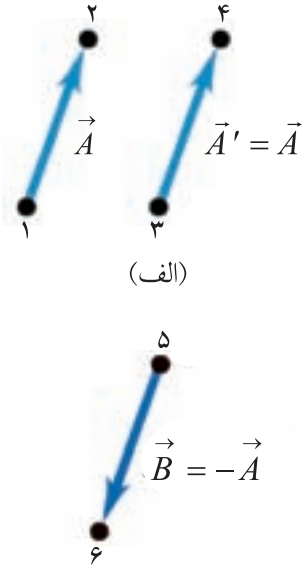
شکل ۱-۱۲ جابه‌جایی به عنوان یک کمیت برداری

بردارهای موازی و پاد موازی

اگر دو بردار در یک جهت باشند با هم **موازی‌اند**. اگر دو بردار دارای یک بزرگی و در یک جهت باشند با هم **برابرند** و این که این بردارها کجا قرار گرفته‌اند نقشی در این موضوع ندارد. بردار $\vec{A}'$ از نقطه‌ی ۳ تا نقطه‌ی ۴ در شکل ۱-۱۳ الف دارای طول مساوی و هم جهت با بردار $\vec{A}$ از نقطه‌ی ۱ تا ۲ است. این دو جابه‌جایی با وجود آن که از نقطه‌های متفاوت آغاز شده‌اند با هم برابرند. این رادرشکل ۱-۱۳ الف به صورت $\vec{A} = \vec{A}'$ می‌نویسیم؛ علاومت تساوی در اینجا صرفاً به معنای برابری دو کمیت برداری است.

توجه: دو کمیت برداری تنها وقتی با هم برابرند که دارای یک بزرگی و در یک جهت باشند.

ولی بردار $\vec{B}$ در شکل ۱-۱۳ ب برابر $\vec{A}$ نیست زیرا جهت آن در خلاف جهت $\vec{A}$ است. **منفی یک بردار** را به صورت برداری که دارای همان بزرگی بردار اصلی ولی در جهت مخالف آن است تعریف می‌کنیم. منفی کمیت برداری $\vec{A}$ را به صورت



شکل ۱-۱۳

$-\vec{A}$ نمایش می‌دهیم. اگر $\vec{A}$، ۵۲m به سوی شرق باشد $-\vec{A}$، ۵۲m به سوی غرب است. بنابراین می‌توانیم رابطه‌ی بین $\vec{A}$ و $\vec{B}$ در شکل ۱-۱۲ را به صورت $\vec{A} = -\vec{B}$ یا $\vec{B} = -\vec{A}$ بنویسیم. هنگامی که بردارهای $\vec{A}$ و $\vec{B}$ در جهت‌های مخالف باشند، چه بزرگی آن‌ها با هم برابر باشد چه نباشد، آن‌ها با هم **پاد موازی‌اند.**

توجه: بزرگی یک کمیت برداری (در مورد جابه‌جایی طول آن) را به طور معمول با همان حرفی که برای بردار به کار برده‌ایم نمایش می‌دهیم ولی بدون پیکان در بالای آن.

بزرگی یک بردار بنابر تعریف یک کمیت نرده‌ای (یک عدد) و همواره مثبت است. همچنین خاطر نشان می‌کنیم که یک بردار هرگز نمی‌تواند با یک نرده‌ای برابر باشد، زیرا کمیت‌های متفاوتی هستند.

عبارت« $\vec{A} = ۶\,\mathrm{m}$» همان قدر اشتباه است که عبارت‌های «۲ پرتقال =۳ سیب» یا «$۸\,\mathrm{s} = ۲\,\mathrm{kg}$»!

جمع برداری

فرض کنید که ذره‌ای جابه‌جایی $\vec{A}$ و پس از آن جابه‌جایی دوم $\vec{B}$ را انجام دهد (شکل ۱-۱۴الف). همان گونه که نشان داده شده است نتیجه‌ی پایانی همانند آن است که ذره از همان نقطه‌ی آغازی شروع کند و تنها یک جابه‌جایی $\vec{C}$ را انجام دهد. جابه‌جایی $\vec{C}$ را **جمع برداری** یا **برایند** جابه‌جایی‌های $\vec{A}$ و $\vec{B}$ می‌نامیم. این رابطه را به صورت نمادین زیر می‌نویسیم

$$\vec{C} = \vec{B} + \vec{A}$$

در جمع برداری به طور معمول دم بردار دوم را بر سر یا نوک بردار اول قرار می‌دهیم (شکل ۱-۱۴الف).

اگر جابه‌جایی‌های $\vec{A}$ و $\vec{B}$ را به ترتیب عکس انجام دهیم، یعنی $\vec{B}$ را نخست و $\vec{A}$ را دوم، نتیجه همان خواهد بود (شکل ۱-۱۴ ب).

بنابراین

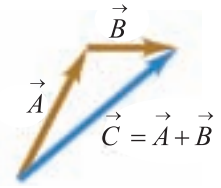
$$\vec{C} = \vec{B} + \vec{A}$$

و

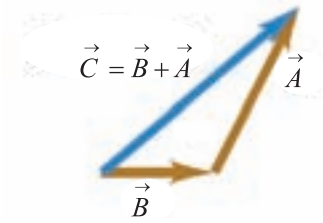
$$\vec{A} + \vec{B} = \vec{B} + \vec{A}$$

این نشان می‌دهد که ترتیب جمله‌ها در جمع برداری اهمیتی ندارد. به بیان دیگر جمع برداری از قانون تعویض پذیری پیروی می‌کند.

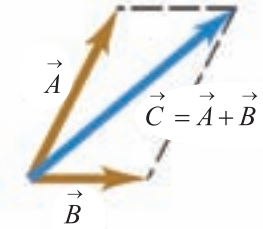
شکل ۱-۱۴پ روش دیگری برای نمایش جمع برداری را نشان می‌دهد:اگر بردارهای $\vec{A}$ و $\vec{B}$ هر دو به گونه‌ای رسم شوند که دم هر دو بر یک نقطه منطبق باشند، آنگاه بردار $\vec{C}$ قطر متوازی الاضلاعی است که روی $\vec{A}$ و $\vec{B}$ به عنوان دو ضلع مجاور ساخته می‌شود.



(الف) دو بردار را می‌توانیم با قرار دادن سر یکی روی دم دیگری جمع کنیم.



(ب) جمع دو بردار با ترتیب عکس همان نتیجه را می‌دهد.



(پ) دو بردار را می‌توانیم با ساختن متوازی الاضلاع جمع کنیم.

شکل ۱-۱۴

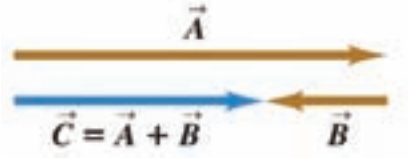
آزمایشگاه مجازی

■ جمع برداری

در ادامه‌ی بحث جمع برداری را تنها برای دو حالت خاص که بردارها هم راستا یا عمود بر هم باشند محدود می‌کنیم. شکل ۱-۱۵ جمع دو بردار موازی $\vec{A}$ و $\vec{B}$ را نشان می‌دهد. بزرگی بردار $\vec{C}$ در این حالت برابر جمع بزرگی دو بردار $\vec{A}$ و $\vec{B}$ خواهد بود.

اگر دو بردار پاد موازی باشند جمع برداری آن‌ها مطابق شکل ۱-۱۶ خواهد. در این حالت بزرگی $\vec{C}$ برابر است با اختلاف بین بزرگی‌های $\vec{A}$ و $\vec{B}$.

شکل ۱-۱۵ جمع دو بردار موازی. در این حالت بزرگی $\vec{C}$ برابر است با $A+B$.



شکل ۱-۱۶ جمع دو بردار پاد موازی. در این حالت بزرگی $\vec{C}$ برابر است با $A-B$.

تمرین ۱-۱

جمع (برایند) بردارهای نشان داده شده در شکل ۱-۱۷ را به طور جداگانه به دست آورید و بردار برایند را در هر حالت رسم کنید.

(الف) (ب)

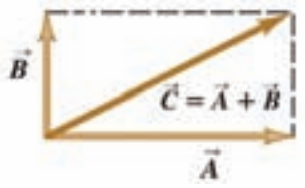
شکل ۱-۱۷

در حالت خاص دیگری که دو بردار $\vec{A}$ و $\vec{B}$ برهم عمود باشند، مطابق شکل ۱-۱۸ برایند آن‌ها $\vec{C}=\vec{A}+\vec{B}$ و بزرگی آن با توجه به قضیه‌ی فیثاغورس برابر است با

$$C^2=A^2+B^2$$

یا

$$C=\sqrt{A^2+B^2}$$



شکل ۱-۱۸ جمع دو بردار عمود بر هم. در این حالت بزرگی $\vec{C}$ برابر است با $\sqrt{A^2+B^2}$.

مثال ۱-۴

اسکی بازی در یک زمین برفی افقی ۱۰۰۰m به سوی شمال و سپس ۲۰۰۰m به سوی شرق اسکی می‌کند. او چقدر از نقطه‌ی آغاز خود فاصله گرفته است؟

حل: این مسئله شامل ترکیب دو جابه‌جایی عمود بر هم است (چرا؟)، در نتیجه می‌توانیم آن را با استفاده از جمع برداری حل کنیم. شکل ۱-۱۹ نمودار مقیاس‌دار جابه‌جایی اسکی باز است. بردارهایی که در نمودار هستند یک مثلث راستگوشه می‌سازند؛ فاصله از نقطه‌ی آغاز تا نقطه‌ی پایان برابر است با طول وتر. این طول را با استفاده از قضیه‌ی فیثاغورس به دست می‌آوریم:

$$d = \sqrt{(۱۰۰۰\text{m})^۲ + (۲۰۰۰\text{m})^۲} = ۲۲۴۰\text{m}$$

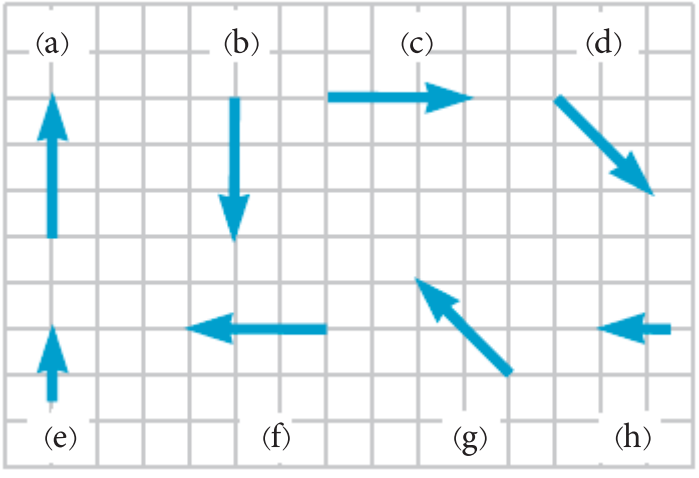
شکل ۱-۱۹ نمودار برداری مسیر اسکی‌باز که به مقیاس رسم شده است.

تمرین ۱-۳

بزرگی برایند دو بردار جابه‌جایی عمود بر هم $\vec{A}$ و $\vec{B}$ برابر ۲۵m است. اگر بزرگی جابه‌جایی $\vec{B}$ چهار برابر بزرگی جابه‌جایی $\vec{A}$ باشد، بزرگی جابه‌جایی $\vec{B}$ چند متر است؟

تمرین ۱-۴

بزرگی کدام یک از بردارها در شکل ۱-۲۰ با یکدیگر برابر است؟

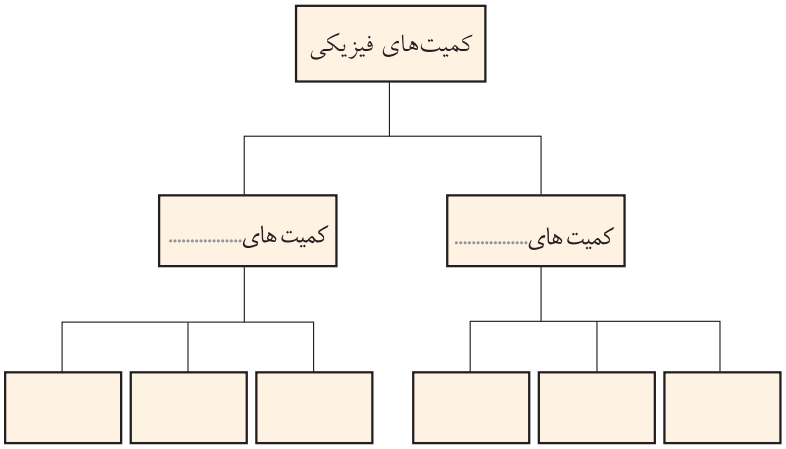


شکل ۱-۲۰

پرسش‌های مفهومی

۱– با استفاده از جعبه‌ی کلمه‌ها، نقشه‌ی مفهومی زیر را کامل کنید.

اصلی،فرعی،زمان،انرژی،طول،سرعت،جرم،نیرو

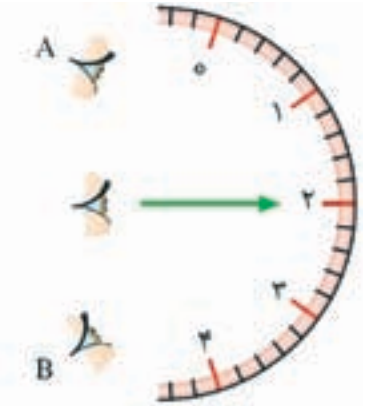


۲– گالیله در برخی از کارهایش از تپش نبض خود به عنوان زمان‌سنج استفاده کرد. شما نیز چند پدیده‌ی تکرار شونده را در طبیعت نام ببرید که می‌توانند به عنوان استانداردهای منطقی زمان به کار روند.

۳– سعی کنید به کمک چشم، طول برخی از اجسامی را که در محیط اطرافتان هستند برحسب سانتی‌متر یا متر تخمین بزنید. سپس آن‌ها را با خط‌کش یا متر اندازه بگیرید. تخمین‌های شما تا چه حد درست بوده‌اند؟

۴– ساعت‌های مکانیکی (با آونگ) تا قرن هفدهم میلادی هنوز اختراع نشده بودند. تحقیق کنید ایرانی‌ها در زمان‌های قدیم از چه نوع ساعتی برای تعیین زمان استفاده می‌کردند؟

۵– در صورتی که از نقطه‌های A و B به عقربه‌ی سنجه‌ی شکل ۱–۲۱ نگاه کنید چه اثری روی دقت اندازه‌گیری می‌گذارد؟



شکل ۱–۲۱

مسئله‌ها

۱– طول پل سی‌وسه پل (الله وردی‌خان) که بر روی رودخانه‌ی زاینده رود اصفهان در دوره‌ی سلطنت شاه عباس اول در سال ۱۰۱۱ هجری قمری شروع به ساختمان گردید حدود ۲۹۵ متر است(شکل ۱–۲۲). اگر در هر قدم $0/6\ m$ جلو بروید، برای پیمودن طول این پل چند قدم باید بردارید؟

شکل ۱–۲۲

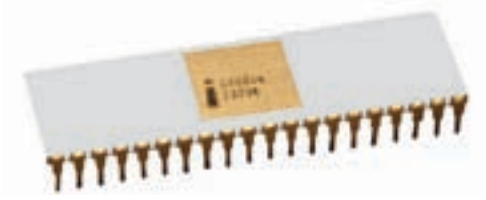
۲– مناسب‌ترین زمان برای هر جلسه‌ی کلاس درس حدود ۵۰ دقیقه است. هر جلسه کلاس درس چند میکروقرن است؟

۳– یکای مساحت که اغلب برای اندازه‌گیری مساحت زمین به کار می‌رود هکتار است که به صورت $1\ hm^2 = 10^4\ m^2$ تعریف شده است. مساحت کره‌ی زمین تقریباً چند هکتار است (شکل ۱–۲۳)؟ شعاع زمین را $6400\ km$ بگیرید.

شکل ۱–۲۳

۴- دریای نور به جرم ۱۸۲ قیراط، یکی از بزرگ ترین الماس‌های شناخته شده در ایران است. این الماس به رنگ بسیار کمیاب صورتی شفاف است و در سال ۱۱۱۸ هجری شمسی توسط نادرشاه افشار به همراه کوه نور و جواهرات بسیار دیگر از هند به ایران آورده شد و هم اکنون در خزانه‌ی جواهرات ملی نگه‌داری می‌شود. کوه نور نیز یکی دیگر از الماس‌های مشهور جهان است که جرمی حدود ۱۰۸ قیراط دارد و هم اکنون در برج لندن نگه‌داری می‌شود. با توجه به این که هر قیراط معادل ۲۰۰ میلی گرم است، جرم دریای نور و کوه نور بر حسب گرم چقدر است؟

۵- اولین پردازنده‌ای که روی یک رایانه‌ی خانگی نصب شد، Intel8080 بود (شکل ۱-۲۴الف) که در سال ۱۹۷۴ تولید شد و شامل ۴۵۰۰ ترانزیستور بود. در سال ۲۰۰۶ پردازنده‌ی دیگری با نام تجاری Core2Duo توسط شرکت اینتل تولید شد (شکل ۱-۲۴ب) که از ۵۹۱ میلیون ترانزیستور تشکیل شده است. در بازه‌ی زمانی ذکر شده در هر سال تعداد ترانزیستورهای هر پردازنده به طور متوسط با چه آهنگی افزایش یافته است؟

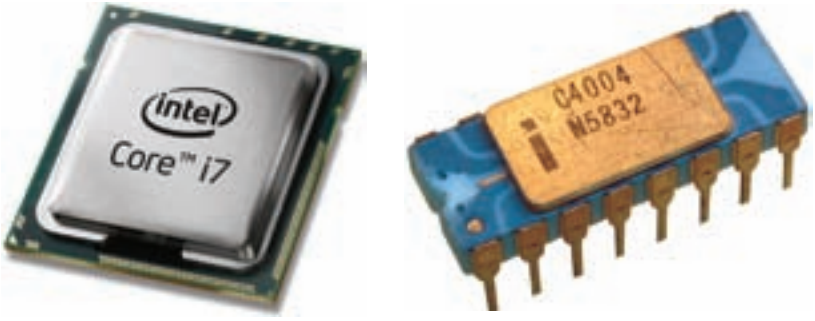


(الف)

(ب)

شکل ۱-۲۴ نمای کلی دو پردازنده

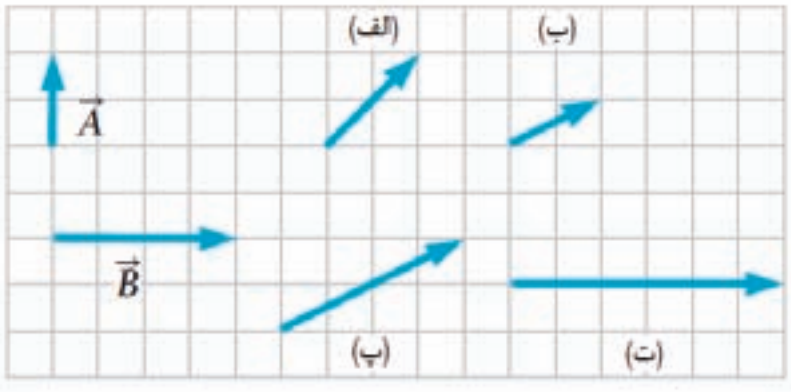
۶- فناوری ساخت ترانزیستورهای اولین پردازنده که در سال ۱۹۷۱ و با نام تجاری Intel4004 معرفی شد ۱۰ میکرون (شکل ۱-۲۵الف) و فناوری ساخت ترانزیستورهای پردازنده‌ی سریع و هوشمندی که در سال ۲۰۱۰ با نام تجاری Core i7 -980x توسط شرکت اینتل عرضه شد (شکل ۱-۲۵ب) برابر ۳۲ نانومتر است. نسبت ابعاد ترانزیستورهای به کار رفته در این دو پردازنده چقدر است؟



(ب) (الف)

شکل ۱-۲۵

۷- کدام یک از بردارها در شکل ۱-۲۶ برابر $\vec{A}+\vec{B}$ است؟



شکل ۱-۲۶

۸- شخصی به این صورت قدم می‌زند: ۲/۲ km به طرف شمال، سپس ۱/۶ km به طرف غرب، و سرانجام ۳/۴ km به طرف جنوب، نمودار برداری جابه‌جایی این شخص را رسم کنید.

۹- بزرگی برایند دو بردار جابه‌جایی عمود بر هم $\vec{A}$ و $\vec{B}$ برابر ۲۰m است. اگر نسبت بزرگی‌های $\vec{A}$ و $\vec{B}$ برابر $\frac{۳}{۴}$ باشد، بزرگی بردار $\vec{A}$ چند متر است؟

۲

بار الکتریکی و میدان الکتریکی

آیـا می‌دانید که صفحه‌های نمایش لمسـی تلفن‌های همراه، تبلت‌ها و دسـتگاه‌های MP4 و MP3 بر اساس کدام یک از مفهوم‌های فیزیکی کار می کنند؟ پاسخ در همین فصل.

سیمای فصل ۲

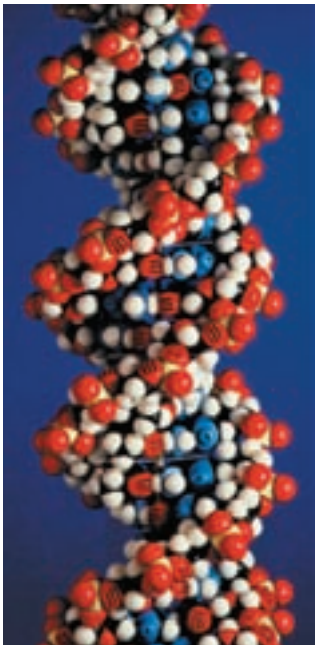
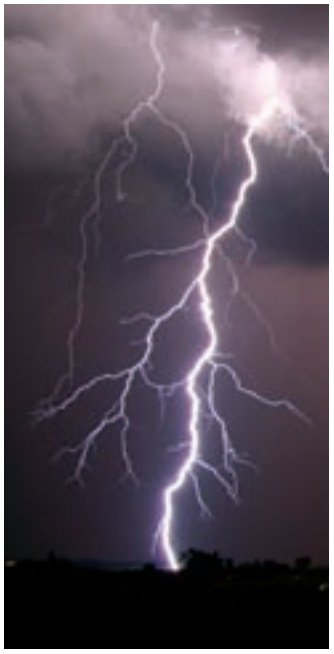
۲-۱ بار الکتریکی
۲-۲ خواص الکتریکی ماده
۲-۳ باردار ساختن ماده
۲-۴ قانون کولن
۲-۵ میدان الکتریکی
۲-۶ انرژی پتانسیل الکتریکی
۲-۷ آشنایی با برخی از اثرهای الکتریکی
۲-۸ خازن
پرسش‌های فصل ۲

بار الکتریکی و میدان الکتریکی

از آذرخش در آسمان گرفته تا درخشش لامپ، از آنچه اتم‌ها را به شکل مولکول به هم می‌پیوندد تا ضربه‌های عصبی که در دستگاه اعصاب بدن ما حرکت می‌کنند همگی منشاء الکتریکی دارند (شکل ۲–۱). در دنیای امروز، شناخت مبانیِ الکتریسیته و همچنین چگونگی به کارگیری طرح‌هایی بنیادی برای حفظ و بهبود آسایش، ایمنی و رفاه زندگی بشر اهمیت بسیاری دارد.

در فیزیک (۱) و آزمایشگاه با برخی از مفاهیم الکتریسیته آشنا شدیم. در این فصل افزون بر مرور برخی از این مفاهیم، با قانون حاکم بر نیروی بین بارهای الکتریکی، میدان الکتریکی و همچنین پتانسیل الکتریکی و ذخیره سازی انرژی الکتریکی آشنا خواهیم شد.

بررسی و شناخت الکتریسیته به رهیافتی گام به گام نیاز دارد، زیرا هر مفهوم اساس مفهوم بعدی را تشکیل می‌دهد. بنابراین، اگر مفاهیم مطرح شده در فصل ۳ فیزیک (۱) و آزمایشگاه را به خوبی درک نکرده یا فراموش کرده‌اید دوباره آن فصل را به دقت بخوانید تا درک و کاربرد مفاهیم این فصل برایتان لذت بخش شود.

شکل ۲-۱ اساس عملکرد بسیاری از پدیده‌های الکتریکی به شکل‌های مختلف، موضوع بخشی از فیزیک است که الکتریسیته نامیده می‌شود.

۲-۱ بار الکتریکی

یونانیان باستان در حدود ۲۶۰۰ سال پیش از این به تجربه دریافته بودند که هرگاه کهربا را با پشم مالش دهند خاصیت جذب چیزهای سبک را پیدا می‌کند (شکل ۲-۲).

امروزه می‌گوییم که کهربا **بارالکتریکی** خالص به دست می‌آورد یا باردار می‌شود.[۱] شما نیز می‌توانید با مالش یک شانه یا خط‌کش پلاستیکی با تکه‌ای پارچه‌ی پشمی و سپس نزدیک کردن آن به خرده‌های کاغذ این تجربه را انجام دهید (شکل ۲-۳).

شکل ۲-۲ کهربا پس از مالش با پارچه‌ی پشمی چیزهای سبک را می‌رباید.

شکل ۲-۳ (الف) یک خط‌کش پلاستیکی را با پارچه‌ی پشمی مالش دهید و (ب) آن را به خرده‌های کاغذ نزدیک کنید.

شبیه‌سازی

- آذرخش

بیش‌تر بدانید

- بار الکتریکی کوانتیده است.
- آذرخش

۱- واژه‌ی «الکتریکی» از واژه‌ی یونانی ***الکترون*** به معنای کهربا گرفته شده است.

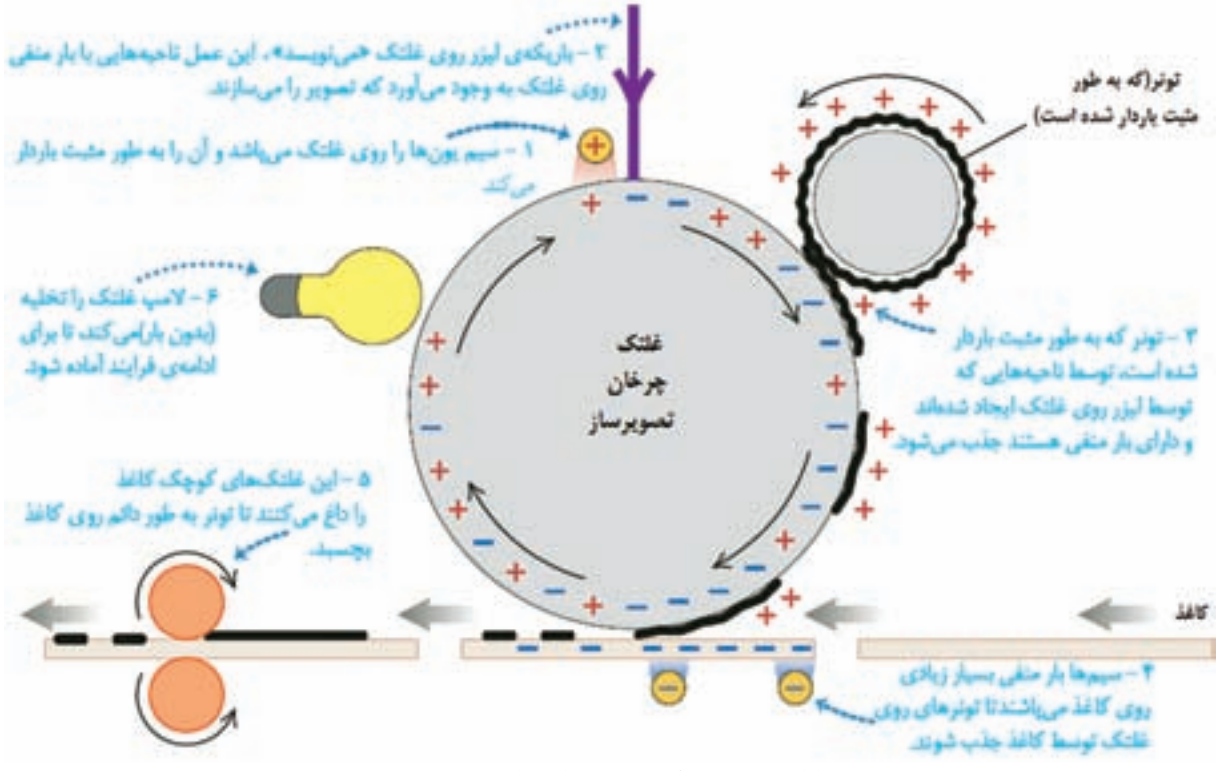
فعالیت ۲-۱

در فیزیک (۱) و آزمایشگاه با اثر بارهای الکتریکی مثبت و منفی بر یکدیگر آشنا شدیم. شکل ۲-۴ این تأثیر را به طور طرحوار نشان می‌دهد. دریافت خود را از این شکل و آنچه تاکنون در این خصوص فرا گرفته‌اید به صورت یک عبارت کلی بیان کنید.

شکل ۲-۴

جذب و دفع جسم‌های باردار، در فناوری و صنعت کاربردهای بسیاری دارد. رنگ افشانی، جمع‌آوری خاکستر دودکش، چاپ جوهرافشان غیر ضربه‌ای و فتوکپی کردن از آن جمله‌اند. شکل ۲-۵ نحوه‌ی عملکرد یک چاپگر لیزری را به طور طرحوار نشان می‌دهد که در آن از نیروهای بین جسم‌های باردار استفاده می‌شود. در ابتدا غلتک چرخانِ تصویرساز به طور مثبت باردار می‌شود. همچنان که غلتک می‌چرخد، یک باریکه‌ی لیزر روی ناحیه‌های انتخاب شده‌ای از غلتک فرود می‌آید و این ناحیه‌ها را به طور منفی باردار می‌کند.

ذره‌های تونر که دارای بار مثبت هستند به این ناحیه‌ها که توسط لیزر «درج شده‌اند» می‌چسبند. وقتی یک تکه‌ی کاغذ در تماس با غلتک قرار گیرد، ذره‌های تونر به آن می‌چسبند و تصویر مورد نظر روی آن تشکیل می‌شود.



شکل ۲-۵ طرحی از نحوه‌ی عملکرد یک چاپگر لیزری

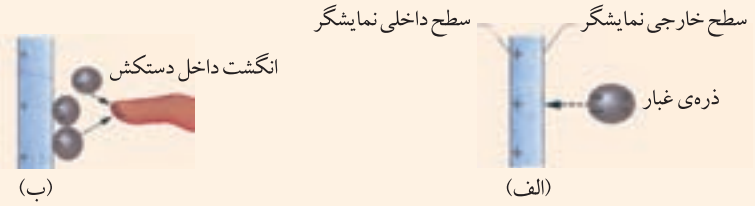
مطالعه‌ی آزاد
بار الکتریکی و آلودگی میکروبی

تأثیر بارهای الکتریکی روی یکدیگر می‌تواند نقش پنهانی در آلودگی میکروبی یک بیمارستان، مثلاً در حین عمل درون بینی (اندوسکوپی)، داشته باشد. در عمل اندوسکوپی، یک جراح درون بدن بیمار را روی صفحه‌ی نمایش یک نمایشگر مشاهده می‌کند. در نمایشگرهای لامپی (نه در نمایشگرهای LCD)، تصویر توسط الکترون‌هایی ایجاد می‌شود که مستقیماً به سمت صفحه‌ای حرکت می‌کنند که به طور مثبت باردار شده است. این صفحه‌ی باردار، همچنین ذره‌های معلق در هوا، از قبیل ضایعات پنبه، گرد و غبار، و سلول‌های پوست را که در اطراف اتاق جراحی شناورند، به خود جذب می‌کند. اگر یک ذره‌ی معلق در هوا دارای بار منفی باشد، به طرف سطح خارجی این نمایشگر کشیده می‌شود. ولی اگر ذره از لحاظ الکتریکی خنثی باشد، برخی از الکترون‌های آن می‌توانند به سمتی کشیده شوند که در نزدیک‌ترین فاصله با صفحه قرار دارد، و بدین ترتیب در آن ذره، بار القا می‌شود (شکل الف). آنگاه چنین ذره‌ای به سمت سطح خارجی کشیده می‌شود.

چون بسیاری از ذره‌هایی که روی سطح خارجی نمایشگر جمع شده‌اند حامل میکروب هستند، صفحه‌ی نمایشگر با میکروب‌ها آلوده می‌شود. فرض کنید انگشت دست جراحی که دستکش به دست کرده است، برای اشاره به بخش خاصی از تصویر، به چند سانتی‌متری صفحه‌ی نمایش برسد. صفحه‌ی نمایشگر که باردار مثبت است، الکترون‌ها را از داخل انگشت به سمت نوک آن می‌کشد (شکل ب). آنگاه نوک انگشتان که به طور منفی باردار شده است موجب جمع شدن ذره‌ها (ذره‌های معلق در هوا یا روی صفحه) روی نوک انگشت دستکش می‌شوند.

وقتی در پی این کار، جراح با دستکش آلوده به بیمار دست می‌زند، میکروب‌ها روی بدن (یا بدتر از آن) داخل بدن بیمار وارد می‌شوند. امروزه برای پرهیز از این خطر، جراحان آگاه شده‌اند که نباید انگشتان خود را نزدیک صفحه‌ی نمایشگر ببرند.

آلودگی مشابهی می‌تواند با پیش‌بندهای پلاستیکی‌ای رخ دهد که معمولاً کارکنان برای مصون داشتن خود از خون بیماران، می‌پوشند. این پیش‌بندها موقع کنده شدن یا موقعی که مدام به لباس‌های زیر یا پوست بدن مالش پیدا می‌کنند، به خصوص در هوای خشک، به میزان زیادی باردار می‌شوند. وقتی یک پیش‌بند باردار می‌شود، می‌تواند میکروب‌ها و غبارهای آلوده‌ی هوا را به خود جذب کند. چون کارکنان بیمارستان هر از گاهی دست‌شان به پیش‌بند می‌خورد، میکروب‌ها ممکن است در حین یک آزمایش یا عمل جراحی به راحتی به بدن بیمار منتقل شوند.



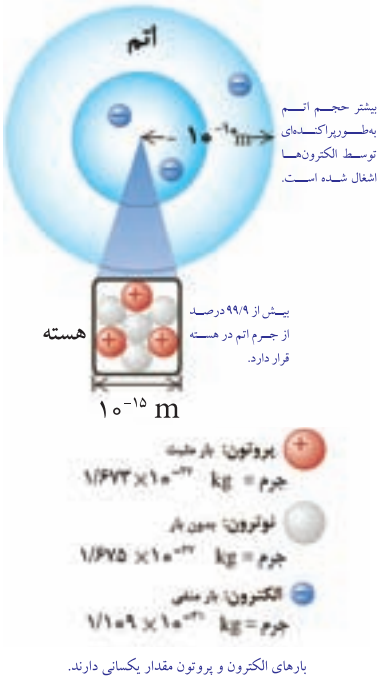
(الف) مقطع یک نمایشگر لامپی. صفحه که به طور مثبت باردار شده است، در طرف نزدیک ذره‌ی غبار خنثی، بار القا می‌کند. (ب) انگشت داخل دستکش که به نزدیکی صفحه‌ی نمایشگر آمده است دارای بار القایی است و می‌تواند غبار را از هوا و صفحه‌ی نمایشگر جذب کند.

بار الکتریکی و ساختار ماده

وقتی یک میله‌ی پلاستیکی پس از مالش با پارچه‌ی پشمی باردار می‌شود تغییر مشهودی در ظاهر میله به وجود نمی‌آید. پس در واقع وقتی میله باردار می‌شود چه اتفاقی می‌افتد؟ برای پاسخ به این پرسش، باید نگاه دقیق‌تری به ساختار و ویژگی‌های الکتریکی اتم‌ها، که اجزای سازنده‌ی ماده هستند، بیاندازیم. (شکل ۲-۶)

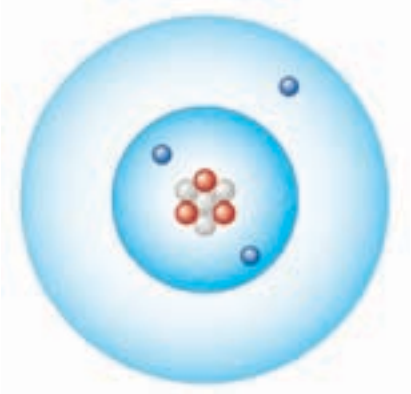
در یک اتم خنثی تعداد الکترون‌ها با تعداد پروتون‌های موجود در هسته برابر است (شکل ۲-۷ الف). لذا بار کل چنین اتمی صفر است. هرگاه از اتمی یک یا چند الکترون جدا شود، آنچه را که باقی می‌ماند و دارای بار مثبت است، **یون مثبت** می‌نامند (شکل ۲-۷ ب).

یون منفی اتمی است که یک یا چند الکترون اضافی دریافت کرده باشد (شکل ۲-۷ پ). دریافت کردن یا از دست دادن الکترون‌ها توسط اتم را یونش (یونیده شدن) می‌نامند.

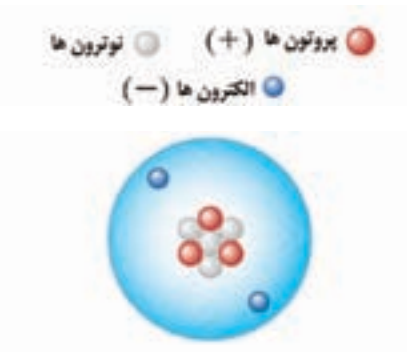


بارهای الکترون و پروتون مقدار یکسانی دارند.

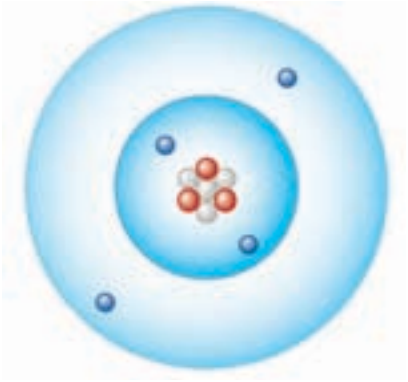
شکل ۲-۶ ساختار یک اتم، در اینجا اتم لیتیوم نشان داده شده است.



(الف) اتم لیتیوم خنثی (Li):
۳ پروتون (+۳)
۴ نوترون
۳ الکترون (−۳)
الکترون‌ها مساوی پروتون‌ها:
بار خالص صفر



(ب) یون لیتیوم مثبت (Li^{+}):
۳ پروتون (+۳)
۴ نوترون
۲ الکترون (−۲)
الکترون‌ها کم‌تر از پروتون‌ها:
بار خالص مثبت



(پ) یون لیتیوم منفی (Li^{-}):
۳ پروتون (+۳)
۴ نوترون
۴ الکترون (−۴)
الکترون‌ها بیش‌تر از پروتون‌ها:
بار خالص منفی

شکل ۲-۷

پایستگی بار الکتریکی

وقتی یک میله‌ی شیشه‌ای را با پارچه‌ی ابریشمی مالش می‌دهیم الکترون‌ها از میله‌ی شیشه‌ای به پارچه‌ی ابریشمی منتقل می‌شوند (شکل۲-۸). در این صورت

پارچه‌ی ابریشمی دارای الکترون اضافی می‌شود و می‌گویند دارای بار منفی شده است. میله‌ای شیشه‌ای نیز که خود کمبود الکترون پیدا کرده است دارای بار مثبت می‌شود.

بنابراین می‌بینیم جسمی که تعداد الکترون‌ها و پروتون‌هایش مساوی نباشد دارای بار الکتریکی است. اگر تعداد الکترون‌هایش بیش‌تر از پروتون‌هایش باشد دارای بار منفی است و اگر تعداد الکترون‌هایش کم‌تر از پروتون‌ها باشد، دارای بار مثبت است. مهم است توجه کنیم که وقتی جسمی را باردار می‌کنیم هیچ الکترونی خلق یا نابود نمی‌شود. الکترون‌ها صرفاً از ماده‌ای به ماده‌ی دیگر منتقل می‌شوند. بار پایسته است.

در هر رویداد چه در سطح بزرگ مقیاس و چه در سطح اتمی و هسته‌ای، **اصل پایستگی بار** همواره صادق است. اصل پایستگی بار از شالوده‌های فیزیک و درجه‌ی اهمیت آن در سطح اصل پایستگی انرژی است.

شکل ۲-۸ بر اثر مالش الکترون‌ها از میله شیشه‌ای به پارچه‌ی ابریشمی منتقل می‌شوند.

۲-۲ خواص الکتریکی مواد

مواد را به طور کلی می‌توانیم بر حسب قابلیت حرکت بار الکتریکی در آن‌ها به چهار رده‌ی **رساناها، عایق‌ها، نیمرساناها و ابررساناها** دسته‌بندی کنیم.

رساناها موادی هستند که بار می‌تواند در آن‌ها نسبتاً به آزادی حرکت کند.

فلزها (مانند مس)، بدن انسان و آب آشامیدنی مثال‌هایی از این دست هستند.

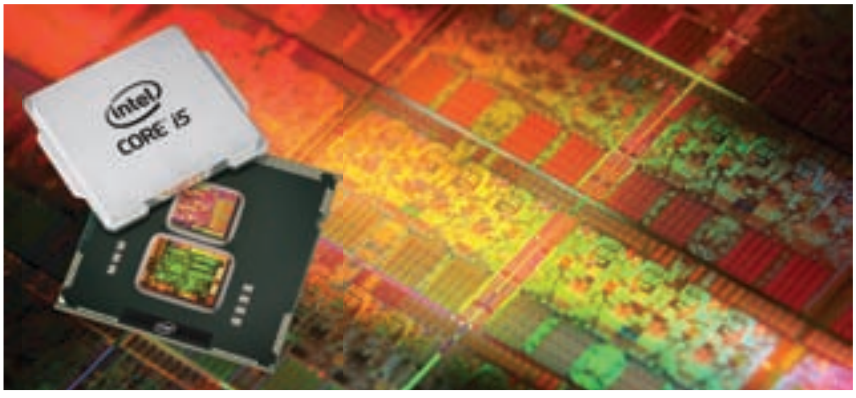
عایق‌ها، که نارسانا نیز خوانده می‌شوند، موادی هستند که بار نمی‌تواند در آن‌ها به آزادی حرکت کند. لاستیک (مانند عایق روی سیم‌های معمولی)، پلاستیک، شیشه، و آبی که از لحاظ شیمیایی خالص است مثال‌هایی از این دست هستند (شکل ۲-۹).

شکل ۲-۹ برقراری جریان الکتریکی در صدها کیلومتر سیم فلزی از چند سانتی‌متر ماده‌ی عایق راحت‌تر است.

بعضی مواد مانند ژرمانیوم یا سیلیسیوم نه رسانای خوبی هستند و نه عایقی خوب. این مواد که در میانه‌ی گستره‌ی مقاومت الکتریکی قرار می‌گیرند، وقتی به صورت بلور خالص باشند عایق‌هایی خوب‌اند و هنگامی که حتی به جای یکی از هر ۱۰ میلیون اتم آن‌ها یک ناخالصی قرار بگیرد و الکترونی را به ساختار بلور اضافه یا از آن کم کند، رساناهایی عالی می‌شوند. ماده‌ای را که بتوان واداشت تا گاهی به صورت عایق رفتار کند و گاهی به صورت رسانا، نیمرسانا می‌نامند. (شکل ۲-۱۰).

شبیه‌سازی

- بار دار کردن بادکنک به روش مالش
- نزدیک کردن یک میله‌ی باردار به کره‌ی آویزان بدون بار
- باردار کردن یک رسانا
- ساختار ماده
- آشنایی با اتم و اجزای سازنده‌ی آن



شکل ۲-۱۰ لایه‌های باریک مواد نیمرسانای ساندویچ شده ترانزیستورها را تشکیل می‌دهند. میلیون‌ها ترانزیستور با فناوری ساخت کم‌تر از ۵۰ نانومتر روی تراشه‌ی این پردازنده قرار داده شده اند.

برخی از مواد در دماهای بسیار کم ویژگی شگفت‌انگیزی از خود نشان می‌دهند و مقاومت الکتریکی آن‌ها از بین می‌رود. این مواد در برابر عبور جریان دارای مقاومت صفر (رسانندگی بی‌نهایت) می‌شوند. این مواد را اَبَررسانا می‌نامند. وقتی جریان الکتریکی در ابررسانا برقرار شود، حرکت الکترون‌ها به صورت نامحدود تداوم می‌یابد. بدون مقاومت الکتریکی، جریان بدون اتلاف انرژی از ابررسانا می‌گذرد. ابررسانایی در فلزها در دماهای بسیار پایین (حدود $-270\ ^{\circ}C$) در سال ۱۹۱۱ کشف شد. در سال ۱۹۸۷، ابر رسانایی در دمای «بالا» (بالاتر از $-170^{\circ}C$) در ترکیب‌های غیر فلزی کشف شد. امروزه پژوهش‌های بسیار گسترده‌ای در زمینه‌ی ابررسانایی در دماهای بالا صورت می‌گیرد به طوری که برخی از پژوهش‌های انجام شده در سال ۲۰۰۹ مدعی کشف ابر رسانایی در دمای حدود $-30\ ^{\circ}C$ هستند.[1]

۲-۳ باردار ساختن ماده

علاوه بر مالش دو جسم به یکدیگر برای باردار ساختن آن‌ها (شکل ۲-۸)، به روش تماس نیز می‌توان اجسام را باردار کرد. شکل ۲-۱۱ نحوه‌ی باردار کردن یک کره‌ی سبک فلزی بدون بار را که توسط یک نخ نایلونی از نقطه‌ای آویزان شده است توسط یک میله‌ی پلاستیکی باردار به روش تماس مستقیم نشان می‌دهد.

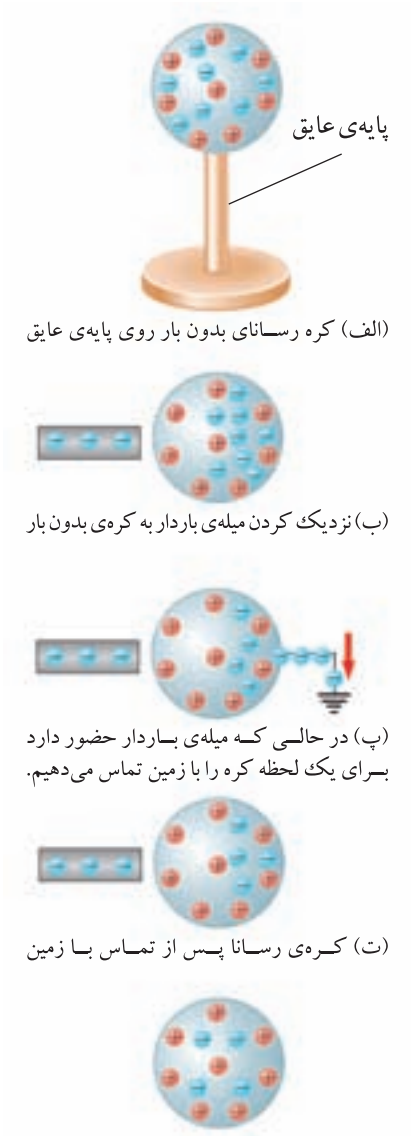
افزون بر باردار کردن اجسام با مالش و تماس، به روش القایی نیز می‌توان یک جسم را باردار کرد. (شکل ۲-۱۲)

(الف) قبل از تماس

(ب) هنگام تماس

(پ) پس از تماس

شکل ۲-۱۱ باردار کردن با تماس. وقتی میله‌ی باردار در تماس با جسم بدون بار قرار گیرد، الکترون‌هایی وارد جسم خنثی می‌شوند. چون کره‌ی فلزی رسانای خوبی است پس از تماس، الکترون‌ها در تمام قسمت‌های سطح آن پخش می‌شوند.



(الف) کره رسانای بدون بار روی پایه‌ی عایق

(ب) نزدیک کردن میله‌ی باردار به کره‌ی بدون بار

(پ) در حالی که میله‌ی باردار حضور دارد برای یک لحظه کره را با زمین تماس می‌دهیم.

(ت) کره‌ی رسانا پس از تماس با زمین

(ث) پس از دور کردن میله‌ی باردار، چون کره رسانای خوبی است همه‌ی بارها روی سطح آن پخش می‌شوند.

شکل ۲-۱۲ در باردار کردن القایی، میله‌ی باردار هرگز کره‌ی فلزی را لمس نکرده است و میله بار اولیه‌ی خود را حفظ می‌کند.

۱- برای دنبال کردن این موضوع می‌توانید به آدرس www.superconductors.org/news.htm بروید.

باردار شدن القایی هنگام توفان‌های تندری نیز صورت می‌گیرد. قسمت زیر ابرها که بار منفی دارند بار مثبتی را در سطح زمین زیر خود القا می‌کنند. به همین جهت در ساختمان‌های بلند میله‌ای را در بالای ساختمان نصب و آن را به زمین وصل می‌کنند.

نوک تیز میله الکترون‌ها را از هوا جمع می‌کند و مانع از آن می‌شود که بار مثبت بر اثر القا روی ساختمان انباشته شود.

این «نشت» مداوم بار مانع از انباشتی می‌شود که، در غیر این صورت، باعث تخلیه‌ی ناگهانی بین ابر و ساختمان می‌شد.

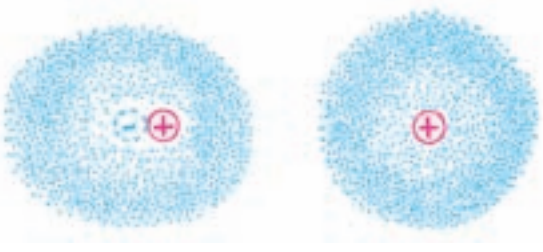
پس هدف اصلی این میله‌ی برق‌گیر جلوگیری از وقوع تخلیه‌ی الکتریکی بین آذرخش و ساختمان است که می‌تواند سبب آتش‌سوزی ساختمان شود (شکل ۲-۱۳).

شکل ۲-۱۳ میله‌ی برق‌گیر به سیم مقاومی متصل است و می‌تواند در صورت برخورد آذرخش به آن جریان زیادی را به زمین هدایت کند.

قطبش بارهای الکتریکی

ممکن است تاکنون این پرسش برایتان مطرح شده باشد که: «چرا شانه‌ی پلاستیکی باردار، تکه‌های کاغذ بدون بار را به طرف خود می‌کشد؟(شکل ۲-۱۴).» برای پاسخ به این پرسش باید توجه کنیم که باردار کردن القایی تنها به رساناها محدود نمی‌شود. وقتی میله‌ای باردار به عایقی نزدیک شود، چون الکترون آزادی وجود ندارد تا در ماده‌ی عایق حرکت کند، بنابراین باز آرایی بار در خود اتم‌ها و مولکول‌ها صورت می‌گیرد (شکل ۲-۱۵). گرچه اتم‌ها از مکان‌های نسبتاً ثابت خود جابه‌جا نمی‌شوند، اما «مراکز بارها» جابه‌جا می‌شوند. یک طرف اتم یا مولکول منفی‌تر (یا مثبت‌تر) از طرف دیگر می‌شود. می‌گویند اتم یا مولکول به صورت الکتریکی **قطبیده** است. اگر میله، مثلاً دارای بار منفی باشد، بخش مثبت اتم یا مولکول به طرف میله کشیده می‌شود و بخش منفی اتم یا مولکول از میله دور می‌شود. بخش‌های مثبت و منفی اتم‌ها و مولکول‌ها ردیف می‌شوند. آن‌ها به لحاظ الکتریکی قطبیده‌اند.

شکل ۲-۱۴ چرا تکه‌های کاغذِ بدون بار جذب شانه‌ای پلاستیکی که از موهای شما عبور کرده است، می‌شوند؟



(ب) (الف)

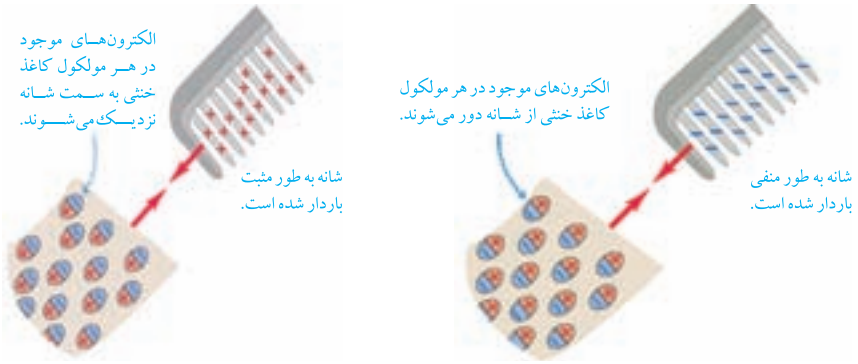
شکل ۲-۱۵ الکترون‌هایی که به سرعت دور هسته می‌چرخند یک ابر الکترونی تشکیل می‌دهند. (الف) مرکز این ابر منفی بر هسته‌ی مثبت منطبق است. (ب) وقتی میله‌ی باردار منفی از سمت راست به آن نزدیک می‌شود، ابر الکترونی واپیچیده می‌شود به طوری که مرکزهای بار منفی و مثبت دیگر بر هم منطبق نیستند. اکنون اتم به لحاظ الکتریکی قطبیده است.

آزمایش کنید

ابتدا با مشاهده‌ی آزمایش‌های زیر از روی CD ضمیمه، وسیله‌های مورد نیاز هر آزمایش را فراهم کنید و آن‌ها را به طور گروهی در کلاس انجام دهید. بین مشاهده‌های خود و مفاهیمی که فرا گرفته‌اید، ارتباط برقرار کنید.

- جاذبه‌ی الکتریکی
- بر هم کنش بین بارهای الکتریکی
- آشنایی با الکتروسکوپ (برق‌نما)
- ساخت الکتروسکوپ و انجام آزمایش با آن

شکل ۲-۱۶ جذب تکه‌های کاغذ را، که به لحاظ الکتریکی خنثی هستند، توسط شانه‌ای که به طور منفی (یا مثبت) باردار شده است نشان می‌دهد. گاهی برخی از تکه‌های کاغذ پس از چسبیدن به شانه، ناگهان به سرعت از آن جدا می‌شوند. این دافعه از آن رو به وجود می‌آید که تکه‌های کاغذ بر اثر تماس با شانه دارای باری با همان علامت می‌شوند.



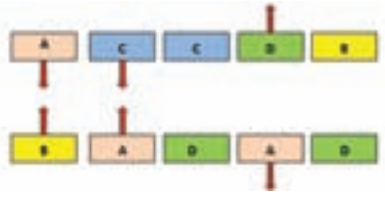
شکل ۲-۱۶ (الف) شانه‌ای که به طور منفی باردار شده است و (ب) شانه‌ای که به طور مثبت باردار شده است تکه‌های کاغذ بدون بار را جذب می‌کند، زیرا نیروی جاذبه‌ی بار نزدیک به آن بزرگ‌تر از نیروی دافعه‌ی بار دورتر است.

زندگینامه

■ بنجامین فرانکلین (۱۷۹۰-۱۷۰۶) واژه‌ها و علامت‌های «مثبت» و «منفی» برای بار الکتریکی به طور دلخواه توسط ایشان انتخاب شدند.

پرسش ۲-۱

شکل ۲-۱۷، پنج جفت صفحه را نشان می‌دهند: A، B و D صفحه‌های پلاستیکی بارداری هستند و C یک صفحه‌ی مسی است که از لحاظ الکتریکی خنثی است. نیروهای الکتریکی بین این جفت صفحه‌ها برای سه تا از این جفت‌ها نشان داده شده است. برای دو جفت باقی مانده، آیا صفحه‌ها همدیگر را دفع می‌کنند یا جذب؟



شکل ۲-۱۷

فعالیت ۲-۲

دو کره‌ی رسانای بدون بار A و B روی پایه‌های عایقی قرار دارند (شکل ۲-۱۸). آزمایشی طراحی کرده و انجام دهید که به کمک یک میله‌ی باردار (مثلاً منفی) بتوان این دو کره را به روش القایی باردار کرد.

شکل ۲-۱۸

۲-۴ قانون کولن

آزمایشگاه مجازی

■ قانون کولن
■ نیروی جاذبه‌ی الکتریکی
■ نیروی دافعه‌ی الکتریکی

اگر دو ذره‌ی باردار نزدیک یکدیگر آورده شوند، هر کدام بر دیگری نیرو وارد می‌کنند. اگر علامت بار ذره‌ها یکسان باشد، آن‌ها یکدیگر را دفع می‌کنند (شکل‌های ۲-۱۹ الف و ب). یعنی، نیروی وارد بر هر ذره در جهت دور شدن از ذره‌ی دیگر است و اگر ذره‌ها بتوانند حرکت کنند، آن‌ها از یکدیگر دور می‌شوند. چنانچه علامت بار ذره‌ها

مخالف هم باشد، آن‌ها یکدیگر را جذب می‌کنند (شکل ۲-۱۹ پ) و اگر بتوانند حرکت کنند، به یکدیگر نزدیک می‌شوند.

این نیروی دافعه یا جاذبه که ناشی از باردار شدن ذره‌هاست، **نیروی الکتروستاتیکی** خوانده می‌شود. معادله‌ای که نیرو را برای ذره‌های باردار به دست می‌دهد، به افتخار آگوستین کولن، که آزمایش‌هایش در سال ۱۷۸۴ به این نتیجه انجامید، **قانون کولن** نامیده می‌شود. برای ذره‌های شکل ۲-۱۹ بزرگی نیروی وارد بر هر یک از ذره‌ها چنین است.

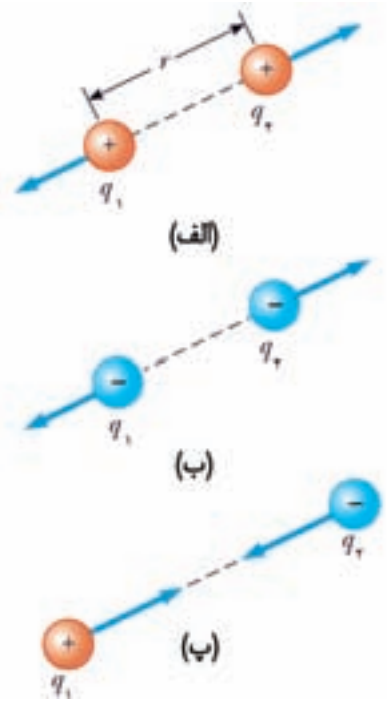
$$F = k\frac{|q_1 q_2|}{r^2} \qquad \text{(قانون کولن)} \qquad (۲-۱)$$

که در آن k ثابت تناسب یا ثابت الکتروستاتیکی خوانده می‌شود و مقدار آن تقریباً برابر است با

$$k = ۹\times۱۰^۹ \ \text{N.m}^2/\text{C}^2$$

توجه کنید یکاهای بار الکتریکی و نیرو در SI به ترتیب عبارت‌اند از: کولن و نیوتون.

توجه: در رابطه‌ی $F = k\frac{|q_1 q_2|}{r^2}$ ، نیروی F ، بزرگی نیرویی است که یکی از ذره‌ها به ذره‌ی دیگر وارد می‌کند. همچنین $|q_1 q_2|$ بزرگی حاصل ضرب بار ذره‌هاست.



شکل ۲-۱۹ دو ذره‌ی باردار همدیگر را دفع می‌کنند اگر بار مشابه‌ای داشته باشند، یا (الف) هر دو مثبت یا (ب) هر دو منفی باشند. (پ) آن‌ها همدیگر را جذب می‌کنند اگر علامت بار آن‌ها مخالف هم باشد.

مثال ۲-۱

یک جفت بار همنام هر یک به اندازه‌ی ۱ کولن در فاصله‌ی ۱ متری از هم قرار دارند. بزرگی نیروی دافعه‌ی بین این دو ذره‌ی باردار چقدر است؟

حل: با توجه به فرض‌های مسئله داریم

$$q_1 = q_2 = ۱\ \text{C} \quad , \quad r = ۱\ \text{m}$$

به این ترتیب با توجه به قانون کولن خواهیم داشت

$$F = k\frac{|q_1 q_2|}{r^2}$$
$$= (۹\times۱۰^۹\ \text{N.m}^2/\text{C}^2)\frac{|(۱\text{C})(۱\text{C})|}{(۱\text{m})^2} = ۹\times۱۰^۹\ \text{N}$$

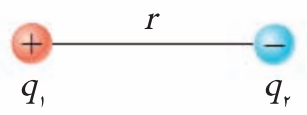
این نیرو به واقع بسیار بزرگ است (۹ میلیارد نیوتون) و بیش از ۱۰ برابر وزن یک ناو جنگی است. بدیهی است که این مقدار نیروی الکتریکی در محیط روزمره‌ی ما وجود ندارد. همچنین می‌توان نتیجه گرفت که ۱ کولن بار، عدد بسیار بزرگی است! توجه کنید که بزرگی بار هر الکترون یا پروتون $۱/۶\times۱۰^{-۱۹}\text{C}$ است.

مثال ۲-۲

دو ذره‌ی باردار، $q_1 = +25nC$ و $q_2 = -75nC$ به فاصله‌ی $3cm$ از یکدیگر قرار دارند (شکل ۲-۲۰). مطلوب است بزرگی و جهت نیرویی که

(الف) بار q_1 به q_2 وارد می‌کند.

(ب) بار q_2 به q_1 وارد می‌کند.



شکل ۲-۲۰ دو ذره‌ی باردار

حل: در این مسئله می‌خواهیم بزرگی و جهت نیروی الکتریکی بین دو ذره‌ی باردار را پیدا کنیم. بنابراین به قانون کولن نیاز داریم. ابتدا بار ذره‌ها را بر حسب کولن و فاصله‌ی بین آن‌ها را بر حسب متر می‌نویسیم

$$q_1 = +25\ nC = +25\times10^{-9}\ C$$
$$q_2 = -75\ nC = -75\times10^{-9}\ C$$
$$r = 3cm = 3\times10^{-2}\ m$$

(الف) اگر بزرگی نیرویی را که q_1 به q_2 وارد می‌کند با F_{12} نشان دهیم، داریم

$$F_{12} = k\frac{|q_1 q_2|}{r^2}$$

$$= (9\times10^9\ N.m^2/C^2)\frac{|(25\times10^{-9}\ C)(-75\times10^{-9}\ C)|}{(3\times10^{-2}\ m)^2} = 0/019\ N$$

چون دو ذره دارای بار مخالف یکدیگر هستند، نیروی بین آن‌ها جاذبه است (شکل ۲-۲۱ الف).

(الف) نمودار نیروی وارد به بار q_2

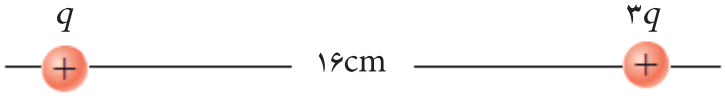
(ب) نمودار نیروی وارد به بار q_2

شکل ۲-۲۱

(ب) به طور مشابه می‌توان نشان داد که بزرگی نیرویی را که q_2 به q_1 وارد می‌کند، F_{21}، برابر $0/019N$ خواهد بود و جهت آن نیز مطابق شکل ۲-۲۱ ب است. این موضوع را از قانون سوم نیوتون، که در دوره‌ی راهنمایی با آن آشنا شدید، نیز می‌توان نتیجه گرفت. بنابر قانون سوم نیوتون، بزرگی نیرویی که یک جسم به جسم دیگر وارد می‌کند برابر است با بزرگی نیرویی که جسم دوم به جسم اول وارد می‌کند. همچنین این قانون بیان می‌دارد که جهت این دو نیرو مخالف یکدیگر است.

تمرین ۲-۱

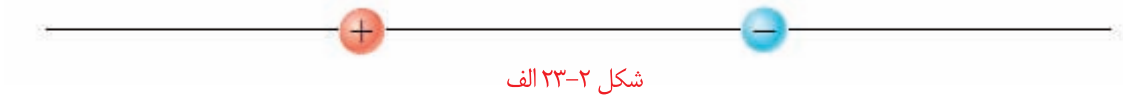
دو ذره‌ی باردار مثبت q و $3q$ به فاصله‌ی $16cm$ از یکدیگر قرار دارند (شکل ۲-۲۲). بزرگی نیروی دافعه‌ای که هر ذره به ذره‌ی دیگر وارد می‌کند $0/28N$ است. بار هر ذره چقدر است؟



شکل ۲-۲۲

مثال مفهومی ۲-۳

دو بار نقطه‌ای $q-$ و $4q+$ مطابق شکل ۲-۲۳ الف در امتداد محور x قرار دارند. نقطه یا نقطه‌هایی را روی شکل مشخص کنید که برایند نیروهای الکتریکی وارد بر یک الکترون صفر است.



شکل ۲-۲۳ الف

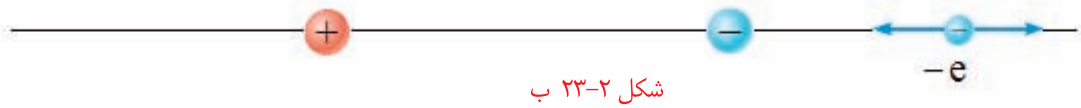
پاسخ: چون بار الکترون منفی است، نیرویی که بار $q-$ بر آن وارد می‌کند دافعه و نیرویی که بار $4q+$ بر آن وارد می‌کند جاذبه است.

حالت اول: اگر الکترون در سمت چپ بار $4q+$ باشد، چون نیروی جاذبه همواره از نیروی دافعه بزرگ‌تر است (چرا؟)، هیچ نقطه‌ای را روی این قسمت از محور x نمی‌توان یافت که برایند نیروهای الکتریکی وارد بر الکترون صفر باشد.

حالت دوم: اگر الکترون در بین دو بار $q-$ و $4q+$ قرار گیرد، نیروی جاذبه و نیروی دافعه در یک جهت هستند و هیچ نقطه‌ای را روی این قسمت از محور x نمی‌توان یافت که برایند نیروهای الکتریکی وارد بر الکترون صفر باشد.

حالت سوم: اگر الکترون در طرف راست بار $q-$ قرار گیرد، نیروی الکتریکی ناشی از بار $4q+$ به طرف چپ (جاذبه) و نیروی ناشی از بار $q-$ به طرف راست (دافعه) است.

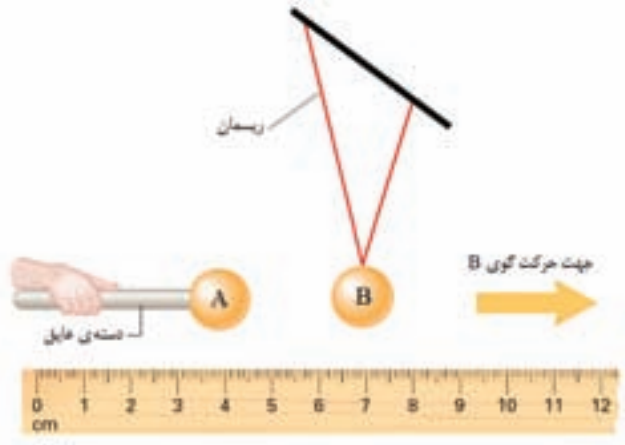
در شکل ۲-۲۳ب مکان الکترون مشخص شده است که در آن برایند نیروهای الکتریکی وارد بر آن صفر است. مکان دقیق را می‌توان به کمک قانون کولن تعیین کرد که نحوه‌ی محاسبه‌ی آن در هدف های برنامه‌ی درسی این کتاب نیست.



شکل ۲-۲۳ ب

فعالیت ۲-۳

شکل ۲-۲۴ شیوه‌ی انجام آزمایش ساده‌ای را نشان می‌دهد که به کمک آن می‌توان قانون کولن را بررسی کرد. توجه کنید که هر دو گوی فلزی دارای بار مشابهی هستند و با گرفتن گوی A در فاصله‌های مختلف نسبت به گوی B می‌توان به کمک خط‌کش میزان حرکت گوی B را اندازه گرفت. با انجام این فعالیت بستگی نیروی الکتریکی بین دو جسم باردار را به فاصله‌ی آن‌ها از یکدیگر و همچنین مقدار بار آن‌ها بررسی کنید.



شکل ۲-۲۴ آزمایشی ساده برای بررسی قانون کولن

(اندازه‌ها در این شکل واقعی نیست)

۲-۵ میدان الکتریکی

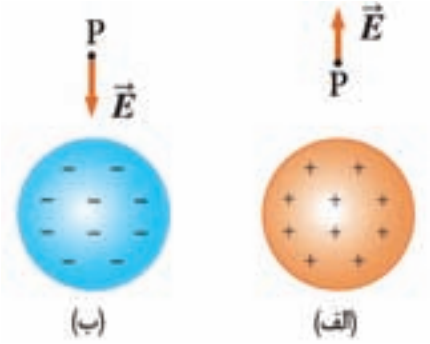
برای بیان مفهوم میدان الکتریکی، نیروی دافعه‌ی موجود بین دو جسم باردار A و B را در نظر بگیرید (شکل ۲-۲۶ الف). به نیروی وارد بر B که در شکل با $\vec{F}_{\circ}$ نشان داده شده است توجه کنید. اکنون پرسش‌هایی مطرح می‌شود که: چطور جسم A می‌تواند بر جسم B نیرو وارد کند با وجود این که این دو جسم با یکدیگر در تماس نیستند؟ آیا این نیرو از راه دور اثر می‌کند و از فضای خالی بین دو جسم باردار نیز عبور کرده است؟ آیا اگر جسم B را برداشته و مکان آن را با P نشان دهیم (شکل ۲-۲۶ ب)، همچنان آثار الکتریکی جسم A در این مکان وجود دارد؟

به این پرسش‌ها این طور می‌توان پاسخ گفت که هر جسم باردار مانند A، یک **میدان الکتریکی** در فضای اطراف خود ایجاد می‌کند. اگر هر جسم باردار دیگری مانند B را در این فضا قرار دهیم بر آن نیرو وارد می‌شود. اصولاً می‌توانیم میدان الکتریکی را در هر نقطه‌ای نزدیک به یک جسم باردار، مانند نقطه‌ی P در شکل ۲-۲۶ ب، به این ترتیب تعریف کنیم: نخست بار مثبت $q_{\circ}$، موسوم به **بار آزمون**، را در آن نقطه قرار می‌دهیم (شکل ۲-۲۶ پ).

سپس نیروی الکتروستاتیکی $\vec{F}$ وارد بر آن بار آزمون را اندازه می‌گیریم. سرانجام میدان الکتریکی $\vec{E}$ ناشی از ذره‌ی باردار در نقطه‌ی P را چنین تعریف می‌کنیم

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_{\circ}}{q_{\circ}} \qquad (۲-۲)$$

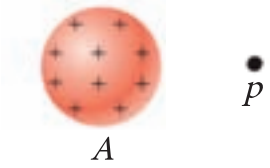
به این ترتیب بزرگی میدان الکتریکی $\vec{E}$ در نقطه‌ی P برابر با $E = F_{\circ} / q_{\circ}$ و جهت $\vec{E}$ در همان جهتی است که نیروی $\vec{F}_{\circ}$ به بار آزمون **مثبت** اثر می‌کند. شکل ۲-۲۷ جهت میدان الکتریکی ناشی از یک جسم باردار مثبت و منفی را در نقطه‌ی دلخواه P در فضای اطراف آن‌ها نشان می‌دهد.



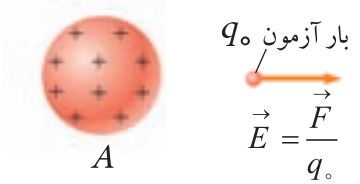
شکل ۲-۲۷ مقایسه‌ی جهت میدان الکتریکی ناشی از یک جسم باردار (الف) مثبت و (ب) منفی.

شکل ۲-۲۵ بلورهای مایع این نمایشگر (LCD) توسط میدان الکتریکی در یک امتداد قرار می‌گیرند.

(الف) A و B هر کدام به دیگری نیروی الکتریکی وارد می‌کنند.



(ب) جسم B را برداشته و مکان آن را با P نشان می‌دهیم.



(پ) بردار میدان الکتریکی $\vec{E}$ در محل بار آزمون مثبت. نیروی الکتریکی به یک جسم باردار از طریق میدان الکتریکی‌ای که توسط جسم (های) باردار دیگر تولید شده وارد می‌شود.

شکل ۲-۲۶

یکای میدان الکتریکی در SI، نیوتون بر کولن (N/C) است. جدول ۲-۱ بزرگی میدان‌های الکتریکی‌ای را نشان می‌دهد که در چند وضعیت فیزیکی ظاهر می‌شوند.

جدول ۲-۱ بزرگی میدان‌های الکتریکی در چند وضعیت فیزیکی

محل	مقدار (N/C)
فضای بین سیاره‌ای	$۱۰^{-۳}$ تا $۱۰^{-۲}$
جو نزدیک به سطح زمین (در هوای پاک)	۱۰۰ تا ۲۰۰
در نزدیکی غلتک یک چاپگر لیزری	$۱۰^{۵}$
فرو شکست الکتریکی در هوای خشک	۳×۱۰^{۶}
درون اتم در مدارهای الکترونی	$۱۰^{۹}$
روی سطح هسته‌ی اورانیوم	۳×۱۰^{۲۱}

توجه: گرچه برای تعریف میدان الکتریکی یک جسم باردار از بار آزمون مثبت استفاده می‌کنیم، ولی وجود این میدان مستقل از بار آزمون است. میدان الکتریکی در نقطه‌ی P در شکل (۲-۲۶ب)، هم پیش از قرار دادن بار آزمون شکل (۲-۲۶ پ) وجود دارد.

میدان الکتریکی حاصل از یک بار نقطه‌ای

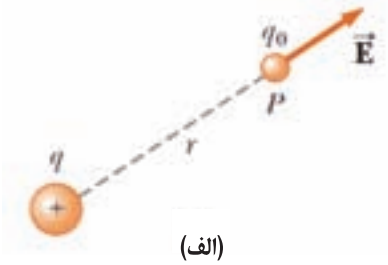
برای یافتن میدان الکتریکی حاصل از بار نقطه‌ای (یا ذره‌ی باردار) q در هر نقطه‌ای به فاصله‌ی r از آن بار نقطه‌ای، یک بار آزمون $q_{\circ}$ را در آن نقطه قرار می‌دهیم. با استفاده از قانون کولن، بزرگی نیروی الکتریکی وارد بر $q_{\circ}$ چنین می‌شود

$$F = k\frac{|q\,q_o|}{r^{۲}}$$

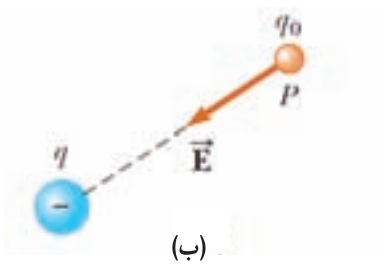
جهت نیروی $\vec{F}$ اگر q مثبت باشد، مستقیماً در جهت دور شدن از بار نقطه‌ای (شکل ۲-۲۸ الف)، و اگر q منفی باشد، مستقیماً در سوی نزدیک شدن به بار نقطه‌ای است (شکل ۲-۲۸ ب).

به این ترتیب با توجه به تعریف میدان الکتریکی، بزرگی میدان الکتریکی حاصل از یک بار نقطه‌ای چنین می‌شود:

$$E = \frac{F}{q_o} = k\frac{|q|}{r^{۲}} \qquad (۲-۳)$$



(الف)



(ب)

شکل ۲-۲۸ بار آزمون $q_{\circ}$ در فاصله‌ی r از بار نقطه‌ای q. (الف) اگر q مثبت باشد، میدان الکتریکی در نقطه‌ی P مستقیماً در سوی دور شدن از بار نقطه‌ای است و (ب) اگر q منفی باشد، میدان الکتریکی در نقطه P مستقیماً در سوی نزدیک شدن به بار نقطه‌ای است.

زندگینامه

شارل آگوستین کولن
(۱۷۳۶-۱۸۰۶)
فیزیکدان فرانسوی که با اختراع ترازوی پیچشی رابطه‌ی بین ذره‌های باردار را کشف کرد.

ترازوی پیچشی کولن

مثال ۲-۴

بزرگی میدان الکتریکی ناشی از بار نقطه‌ای $q = ۴\text{nC}$ در فاصله‌ی ۲ متری از آن چقدر است؟

حل: چون بار نقطه‌ای است، میدان الکتریکی حاصل از آن را در هر فاصله‌ی دلخواه می‌توان به کمک رابطه‌ی ۲-۳ به دست آورد. به این ترتیب داریم:

$$E = k\frac{|q|}{r^۲}$$

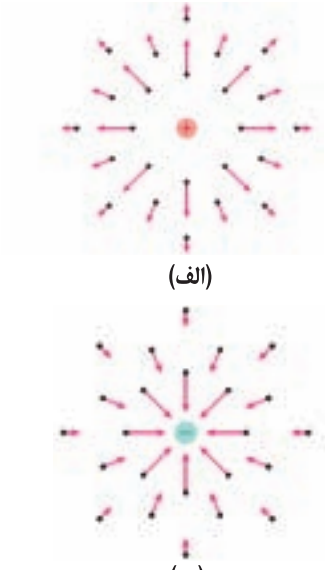
$$= (۹\times۱۰^۹\ \text{N.m}^۲/\text{C}^۲)\frac{|۴\times۱۰^{-۹}\text{C}|}{(۲\text{m})^۲} = ۹\ \text{N/C}$$

مثال مفهومی ۲-۵

بنا بر رابطه‌ی (۲-۳)، بزرگی میدان الکتریکی در اطراف یک بار نقطه‌ای مثبت یا منفی، با عکس مجذور فاصله $\frac{۱}{r^۲}$ کاهش می‌یابد. این موضوع را به طور کیفی با نشان دادن بردارهای میدان الکتریکی در چند نقطه‌ی مختلف در اطراف یک بار نقطه‌ای مثبت و همچنین یک بار نقطه‌ای منفی نشان دهید.

پاسخ: همان طور که در فصل اول نیز اشاره کردیم، طول بردار نشانه‌ی بزرگی آن بردار است. هر چه طول برداری بزرگ‌تر رسم شود منظور این است که بزرگی آن بیش‌تر است.

چون میدان الکتریکی نیز یک کمیت برداری است، هر چه طول بردار میدان $\vec{E}$ را در یک نقطه بزرگ‌تر رسم کنیم به معنای بیش‌تر بودن بزرگی میدان در آن نقطه است. شکل ۲-۲۹ بردارهای میدان الکتریکی را در چند نقطه‌ی مختلف در اطراف دو بار نقطه‌ای $+q$ و $-q$ به طور جداگانه نشان می‌دهد.



(الف)

(ب)

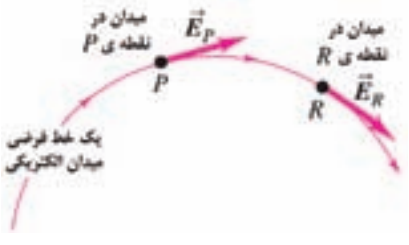
شکل ۲-۲۹

تمرین ۲-۲

در چه فاصله‌ای از بار نقطه‌ای $-۶\ \mu\text{C}$، بزرگی میدان الکتریکی $۶\ \text{N/C}$ است؟

خط‌های میدان الکتریکی

یک راه مفید توصیف میدان الکتریکی استفاده از خط‌های میدان الکتریکی است. این خط‌ها تصویری واضح از مفهوم میدان الکتریکی در ذهن ایجاد می‌کنند. خط‌های میدان الکتریکی، خط‌هایی فرضی هستند که در همه‌ی نقاط خود بر امتداد بردار میدان الکتریکی مماس‌اند (شکل ۲-۳۰). مفهوم خط‌های میدان را اولین بار مایکل فارادی در قرن نوزدهم میلادی ارائه داد. او آن‌ها را خط‌های نیرو نامید ولی امروزه از عبارت خط‌های میدان استفاده می‌شود.

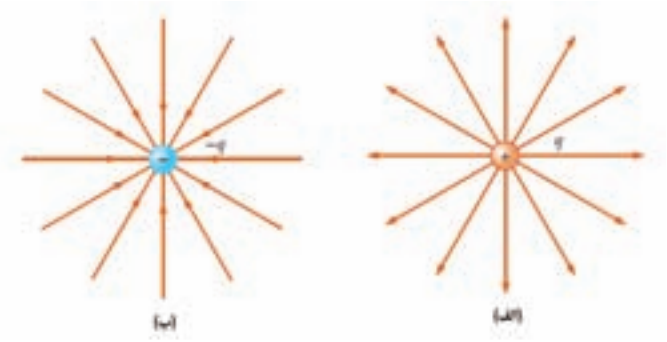


شکل ۲-۳۰ جهت میدان الکتریکی در هر نقطه بر خط میدانی که از نقطه می‌گذرد مماس است.

آزمایشگاه مجازی و شبیه‌سازی

- آزمایشگاه مجازی میدان الکتریکی
- میدان الکتریکی بار نقطه‌ای مثبت ومنفی (به صورت سه بعدی)
- رسم خط‌های میدان الکتریکی

شکل ۲-۳۱ خط‌های میدان الکتریکی را در اطراف دوبار نقطه‌ای $+q$ و $-q$ نشان می‌دهد. در رسم این خط‌ها باید به این نکته توجه شود که هر چه به بار نزدیک‌تر می‌شویم تراکم خط‌ها باید بیش‌تر و هر چه از بار دور می‌شویم تراکم خط‌ها باید کم‌تر باشد.



شکل ۲-۳۱ رسم خط‌های میدان الکتریکی
(الف) اطراف بار نقطه $+q$ (ب) در اطراف بار نقطه‌ای $-q$

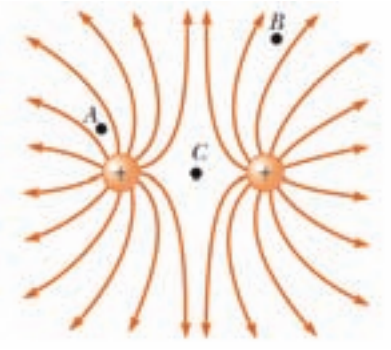
بنابراین در جایی که خط‌های میدان نزدیک یکدیگرند، E بزرگ و در جایی که دور از هم‌اند E کوچک است.

برای دو بار الکتریکی ناهمنام، میدان الکتریکی را با خط‌هایی نشان می‌دهیم که از بار مثبت سرچشمه می‌گیرند و به بار منفی ختم می‌شوند. شکل ۲-۳۲ خط‌های میدان الکتریکی را برای دو بار نقطه‌ی $+q$ و $-q$ نشان می‌دهد.

شکل ۲-۳۲ خط‌های میدان برای یک جفت ذره با بار مساوی و با علامت مخالف. توجه کنید که خط‌ها از ذره‌ی مثبت سرچشمه می‌گیرند و به ذره‌ی منفی ختم می‌شوند.

مثال مفهومی ۲-۶

در شکل ۲-۳۳ خط‌های میدان الکتریکی برای دو ذره‌ی با بار مساوی و مثبت رسم شده است. بزرگی میدان را در هر یک از نقطه‌های A، B و C با یکدیگر مقایسه کنید.



شکل ۲-۳۳

پاسخ: درست در فضای بین دو بار همنام، نقطه‌ی C در شکل ۲-۳۳، میدان الکتریکی برایند ناشی از دو بار صفر است (چرا؟). بنابراین با توجه به این که نقطه‌ی B در فاصله دورتری قرار دارد، بزرگی میدان الکتریکی در نقطه‌ی A نسبت به نقطه‌ی B بیش‌تر است.

مطالعه‌ی آزاد
فروریزش الکتریکی و تخلیه‌ی جرقه‌ای

اگر بزرگی میدان الکتریکی در هوا از یک مقدار حدّی معین E_C فراتر رود، هوا دستخوش **فروریزش الکتریکی** می‌شود، فرایندی که بر اثر آن میدان الکتریکی، الکترون‌ها را از اتم‌های موجود در هوا جدا می‌کند. پس از آن است که هوا شروع به رسانش جریان الکتریکی می‌کند، زیرا این الکترون‌های آزاد شده توسط میدان الکتریکی به حرکت در می‌آیند. به هنگام حرکت این الکترون‌ها، آن‌ها با هر اتمی در مسیر حرکت خود برخورد می‌کنند و بدین ترتیب موجب گسیل نور از آن اتم‌ها می‌شوند. به دلیل همین نور گسیل شده است که می‌توانیم مسیر حرکت الکترون‌ها را، که غالباً جرقه خوانده می‌شود، مشاهده کنیم. شکل مقابل جرقه‌های بالای سیم‌های فلزی بارداری را نشان می‌دهد که در آنجا میدان‌ها الکتریکی حاصل از سیم‌ها موجب فرو ریزش الکتریکی هوا شده‌اند.

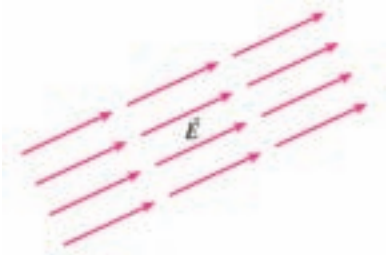
سیم‌های نازک فلزی به حدّی باردار شده‌اند که میدان‌های الکتریکی حاصل از آن‌ها در فضای اطراف موجب فرو ریزش الکتریکی در آنجا شده است.

میدان الکتریکی یکنواخت

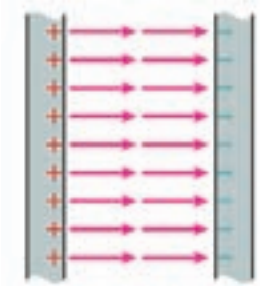
شکل ۲-۳۴ میدان الکتریکی‌ای را نشان می‌دهد که بزرگی و جهت آن در هر نقطه یکسان است. این میدان، **میدان الکتریکی یکنواخت** خوانده می‌شود.

به این ترتیب چنانچه در ناحیه‌ای از فضا، بزرگی و جهت میدان تغییر نکند، در آن ناحیه از فضا میدان الکتریکی یکنواخت است.

ساده‌ترین راه برای ایجاد میدان الکتریکی یکنواخت، استفاده از دو ورقه‌ی موازی باردار است که بار آن‌ها مساوی و مخالف یکدیگرند (شکل ۲-۳۵).



شکل ۲-۳۴ میدان الکتریکی یکنواخت در ناحیه‌ای از فضا. بزرگی و جهت میدان در این ناحیه همواره یکسان است.



شکل ۲-۳۵ میدان الکتریکی یکنواخت در فضای بین دو ورقه‌ی رسانای باردار، با بار مساوی و مخالف. خط‌های میدان از بارهای مثبت سرچشمه می‌گیرند و به بارهای منفی ختم می‌شوند. (این تصویر از لبه نشان داده شده است).

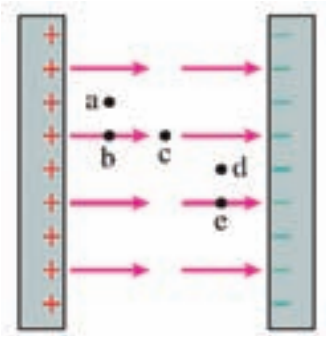
شبیه‌سازی

آیا می‌دانید در فرِهای ریز موج (میکروویو) از میدان الکتریکی برای پختن غذا استفاده می‌شود؟

اثر میدان الکتریکی را بر مولکول‌های آب (که بیش‌تر حجم هر ماده‌ی غذایی را تشکیل می‌دهد) در فرهای ریز موج می‌توانید به طور شبیه‌سازی در CD ضمیمه ببینید.

پروتونی در فضای بین دو ورقه‌ی فلزی موازی باردار، با بار مساوی و مخالف، حرکت می‌کند. با توجه به شکل ۲-۳۶ بزرگی و جهت نیروی الکتریکی وارد بر پروتون را در هر یک از نقطه‌های نشان داده شده با هم مقایسه کنید.

پاسخ: چون میدان الکتریکی در فضای بین دو ورقه یکنواخت است، پس بزرگی و جهت میدان در همه‌ی نقاط بین دو ورقه یکسان است. با توجه به رابطه‌ی $\vec{F} = q\vec{E}$، نتیجه می‌شود بزرگی و جهت نیروی الکتریکی وارد بر پروتون در همه‌ی نقاط با یکدیگر برابرند.



شکل ۲-۳۶

مطالعه‌ی آزاد

گرده افشانی و الکتریسیته‌ی ساکن

تولید مثل بسیاری از گل‌ها وابسته به حشراتی است که گرده‌ها را از گلی به گل دیگر منتقل می‌کنند. زنبورهای عسل غالباً این وظیفه را هنگامی انجام می‌دهند که برای جمع‌آوری شهد سراغ گل‌ها می‌روند. توانایی زنبورهای عسل در انتقال گرده‌ها از گلی به گل دیگر به دو چیز بستگی دارد. ابتدا این که زنبورهای عسل در حین پرواز در هوا باردار می‌شوند. دوم این که بساک یک گل (شکل الف) از لحاظ الکتریکی نسبت به زمین منزوی است، ولی کُلاله به طور الکتریکی به زمین متصل شده است. وقتی یک زنبور عسل در اطراف بساک پرواز می‌کند، میدان الکتریکی حاصل از بارِ زنبور روی گرده‌ی خنثی، بار القا می‌کند و بدین ترتیب طرف نزدیک‌تر آن قدری منفی‌تر از طرف دورتر آن می‌شود (شکل ب). هر چند تعداد بارهای روی دو طرف گرده با هم برابرند، ولی فاصله‌ی آن‌ها از زنبور برابر نیست و بنابراین نیروی جاذبه‌ی وارد بر طرف نزدیک‌تر گرده قدری بزرگ‌تر از نیروی دافعه‌ی وارد بر طرف دورتر آن است. در نتیجه، گرده به سمت زنبور کشیده می‌شود و تا زمانی که زنبور به سوی گل دیگری پرواز کند به مویژه‌های آن چسبیده است.

(الف) اجزای بساک و کلاله‌ی یک گل

(ب) بر اثر حضور زنبور، روی یک گرده در نزدیکی بساک، بار القا شده است.

وقتی زنبور به کلاله‌ی بعدی نزدیک می‌شود، بار روی زنبور و بار شده روی گرده، الکترون‌های رسانش را تا نوک کلاله بالا می‌آورند (شکل پ)، زیرا کلاله به طور الکتریکی به زمین متصل شده است. این الکترون‌ها، طرف نزدیک‌تر گرده را جذب و طرف دورتر آن را دفع می‌کنند. اگر گرده به حدّ کافی به کلاله نزدیک باشد، نیروی خالص وارد بر گرده موجب جهیدن آن به سمت کلاله شد و بدین ترتیب لقاح گل آغاز می‌شود. امروزه مهندسان کشاورزی این فرایند را با افشاندن گرده‌های باردار روی گیاهان شبیه‌سازی می‌کنند، تا گرده‌ها به جای آن که بی استفاده روی زمین بیفتند، روی کلاله جمع شوند.

(پ) الکترون‌هایی که در نوک کلاله جمع شده‌اند، گرده را جذب می‌کنند.

۲-۶ انرژی پتانسیل الکتریکی

در فصل اول فیزیک (۱) و آزمایشگاه دیدیم که هر جسم به واسطه‌ی مکانش نسبت به زمین دارای انرژی پتانسیل گرانشی می‌شود. به طوری که هر چه جسم نسبت به زمین در ارتفاع بالاتری باشد، انرژی پتانسیل گرانشی آن نیز بیش‌تر است (شکل ۲-۳۷).

به همین ترتیب هر جسم باردار به واسطه‌ی مکانش در میدان الکتریکی دارای انرژی پتانسیل الکتریکی می‌شود. برای بررسی این موضوع ذره‌ای با اندکی بار مثبت را در نظر بگیرید که در فاصله‌ای از کره‌ای با بار مثبت قرار دارد (شکل ۲-۳۸ الف). اگر ذره را به کره نزدیک‌تر کنید، برای غلبه بر دافعه‌ی الکتریکی باید انرژی مصرف کنید؛ یعنی برای هُل دادن ذره‌ی باردار مثبت در خلاف جهت میدان الکتریکی کره باید انرژی مصرف کنید (شکل ۲-۳۸ب). انرژی مصرف شده که سبب راندن ذره به مکان جدیدش شده است، بنا بر قانون پایستگی انرژی از بین نمی‌رود بلکه به نوع دیگری از انرژی تبدیل می‌شود. این انرژی جدید را، که ذره‌ی باردار به واسطه‌ی مکانش نسبت به یک جسم باردار دیگر به دست می‌آورد، **انرژی پتانسیل الکتریکی** می‌نامیم. اگر ذره‌ی باردار رها شود، در جهت دور شدن از کره به حرکت در می‌آید و انرژی پتانسیل الکتریکی آن به انرژی جنبشی تبدیل می‌شود.

(الف) (ب)

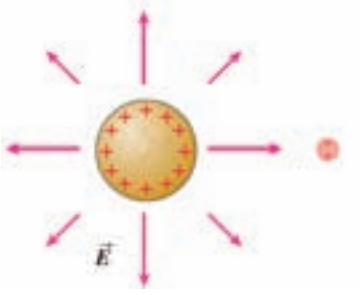
شکل ۲-۳۸ (الف) ذره‌ای با بار الکتریکی کوچک در نزدیکی کره‌ای با بار مثبت و (ب) برای حرکت ذره‌ی باردار در خلاف جهت میدان الکتریکی کره، باید انرژی مصرف شود. انرژی مصرف شده به صورت انرژی پتانسیل الکتریکی در ذره ذخیره می‌شود. (توجه کنید که، میدان الکتریکی ذره‌ی باردار نسبت به میدان الکتریکی کره‌ی باردار بسیار ناچیز است.)

اگر بخواهیم ذره‌ای با بار دو برابر را جابه‌جا کنیم (شکل ۲-۳۹) باید دو برابر انرژی مصرف کنیم، بنابراین ذره‌ی با بار دو برابر در همان محل دارای دو برابر انرژی پتانسیل الکتریکی قبل از آن می‌شود. ذره‌ی با بار سه برابر دارای انرژی پتانسیل الکتریکی سه برابر است، بار ده برابر، ده برابر انرژی پتانسیل الکتریکی دارد و به همین ترتیب تا آخر. به جای پرداختن به انرژی پتانسیل الکتریکی یک جسم باردار، ساده‌تر آن است که هنگام کار با ذره‌های باردار واقع در میدان الکتریکی انرژی پتانسیل الکتریکی را به *ازای واحد بار* در نظر بگیریم.

شکل ۲-۳۷ هرگاه کتاب در ارتفاع h_2 قرار گیرد، انرژی پتانسیل گرانشی آن نسبت به حالتی که در ارتفاع h_1 ($h_1<h_2$) است، بیش‌تر است.

بیش‌تر بدانید

- مولد وان دوگراف وسیله‌ی آزمایشگاهی متداولی برای تولید ولتاژهای بسیار زیاد است.
- پتانسیل سنج



شکل ۲-۳۹ برای راندن ذره‌ای با بار دو برابر در خلاف جهت میدان الکتریکی کره، باید دو برابر انرژی مصرف کنیم. ذره‌ای با بار دو برابر در همان محل دارای انرژی پتانسیل الکتریکی دو برابر است.

در هر مورد فقط مقدار انرژی پتانسیل الکتریکی را صرفاً بر مقدار بار تقسیم می‌کنیم. مثلاً، ذره‌ای با بار دو برابر ذره‌ای دیگر در همان مکان دارای انرژی پتانسیل الکتریکی دو برابر است؛ اما با وجود بار دو برابر، انرژی پتانسیل الکتریکی به ازای واحد بار آن یکسان است. مفهوم انرژی پتانسیل الکتریکی به ازای واحد بار را **پتانسیل الکتریکی** می‌نامند. به این ترتیب به طور نمادین

$$V = \frac{U}{q} \qquad (۴-۲)$$

اگر ذره‌ی باردار q را با صرف انرژی از نقطه‌ی (۱) به نقطه‌ی (۲) هُل دهیم (شکل ۲-۴۰)، انرژی پتانسیل الکتریکی آن از مقدار U_1 به مقدار U_2 و در نتیجه پتانسیل الکتریکی آن از V_1 به V_2 تغییر می‌یابد. بنابراین می‌توان نوشت:

$$V_2 - V_1 = \frac{U_2 - U_1}{q} \quad \text{یا} \quad \Delta V = \frac{\Delta U}{q} \qquad (۵-۲)$$

یکای اندازه‌گیری پتانسیل یا اختلاف پتانسیل الکتریکی در SI ولت است، بنابراین اختلاف پتانسیل الکتریکی را اغلب ولتاژ می‌نامند. همچنین U برحسب ژول و q برحسب کولن است. به این ترتیب

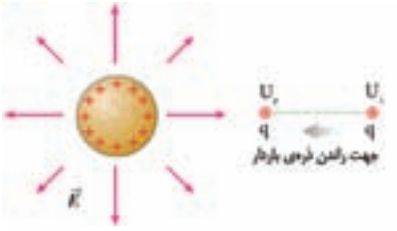
$$۱\ \text{V} = ۱\frac{\text{J}}{\text{C}} \quad \text{یا} \quad \text{۱ولت} = \frac{\text{۱ژول}}{\text{۱کولن}}$$

بنابراین، یک باتری ۱/۵ ولتی به هر ۱ کولن باری که از باتری عبور کند انرژی معادل ۱/۵ ژول می‌دهد.

آزمایش کنید

ابتدا با مشاهده‌ی آزمایش‌های زیر از روی CD ضمیمه، وسیله‌های مورد نیاز هر آزمایش را فراهم کنید و آن‌ها را به طور گروهی در کلاس انجام دهید. بین مشاهده‌های خود و مفاهیمی که فرا گرفته‌اید، ارتباط برقرار کنید.

- آشنایی با وان دوگراف
- آزمایش با وان دوگراف



شکل ۲-۴۰ هنگام هُل دادن بار $q+$ برخلاف جهت میدان الکتریکی کره‌ی باردار، انرژی پتانسیل الکتریکی آن از U_1 به U_2 افزایش می‌یابد.

مثال مفهومی ۲-۸

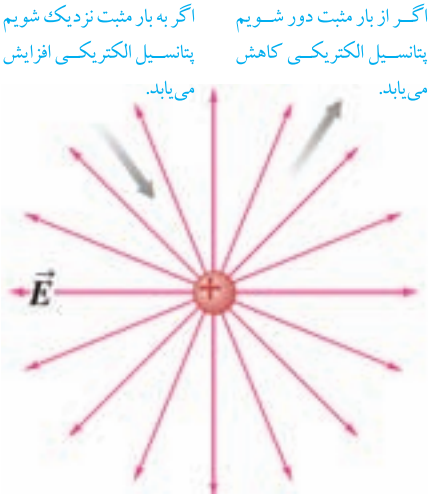
اگر بادکنکی را به موهایتان بمالید، بادکنک دارای بار منفی می‌شود و ولتاژ آن شاید به اندازه‌ی چند هزار ولت نیز برسد (شکل ۲-۴۱). درخصوص انرژی پتانسیل الکتریکی بادکنک چه می‌توان گفت؟

پاسخ: برای پاسخ به این پرسش از رابطه‌ی (۲-۵) استفاده می‌کنیم. با توجه به این رابطه اگر بار روی بادکنک پس از مالش با موی سر به 1C برسد، در این صورت انرژی پتانسیل الکتریکی آن به چند هزار ژول خواهد رسید! اما واقعیت آن است که بار روی بادکنکی که به موی شما مالیده شده باشد نوعاً بسیار کم‌تر از $1\mu\text{C}$ است. در نتیجه انرژی بادکنک باردار بسیار کم است. ولتاژ زیاد در صورتی به معنای انرژی پتانسیل الکتریکی زیاد است که بار دخیل در آن زیاد باشد. این تجربه‌ی ساده نشان می‌دهد که بین انرژی پتانسیل الکتریکی و پتانسیل الکتریکی تفاوت مهمی وجود دارد!

شکل ۲-۴۱ مالش بادکنک با موی سر، ولتاژ آن را ممکن است تا چندین هزار ولت افزایش دهد.

پرسش ۲-۱

با توجه به آنچه تاکنون درباره‌ی انرژی پتانسیل الکتریکی و پتانسیل الکتریکی بیان کردیم، سعی کنید دریافت خود را از شکل ۲-۴۲ توضیح دهید و آن را به صورت دو عبارت کلی برای هر حالت (حرکت در جهت میدان الکتریکی و حرکت در خلاف جهت میدان الکتریکی) بیان کنید.



شکل ۲-۴۲

مطالعه‌ی آزاد

وقتی بدنتان دارای بار الکتریکی می‌شود مراقب باشید!

بدن شما یک رسانای الکتریکی نسبتاً خوب است و اگر به اطراف حرکت کنید یا لباستان را عوض کنید، بدنتان به آسانی می‌تواند باردار شود. چنین عملی نقاط تماس بسیار زیادی بین لباس و پوست شما ایجاد می‌کند. مثلاً، وقتی پلوور خود را در می‌آورید، ممکن است الکترون شارش پیدا کند. اگر رطوبت هوا زیاد باشد، این الکترون‌ها به سرعت از طریق قطره‌های آب موجود در هوا از بدن شما خارج می‌شوند. ولی اگر رطوبت هوا کم باشد، ممکن است به قدری بار اضافی پیدا کنید که اختلاف پتانسیل میان شما و محیط اطراف ۵۰۰۰V یا بیش‌تر شود. اگر وقتی به این ترتیب باردار شده‌اید به صفحه کلید یک رایانه دست بزنید، بار اضافی روی بدنتان می‌تواند از طریق تراشه‌های مدار رایانه شارش پیدا کند و بدین ترتیب موجب اضافه بار و خرابی آن‌ها شود.

۲-۷ آشنایی با برخی از اثرهای الکتریکی

الف) اثر تریبوالکتریک

بر اثر مالش دو جسم متفاوت به یکدیگر، انرژی گرمایی لازم برای جداشدن الکترون‌ها از اتم‌های یک جسم و انتقال آن‌ها به جسم دیگر فراهم می‌شود (شکل ۲-۴۳).

به این پدیده، اثر تریبوالکتریک (الکتریسیته‌ی مالشی) گفته می‌شود.

شکل ۲-۴۳ گرمای حاصل از مالش دو جسم به یکدیگر، الکترون‌ها را از اتم‌های یک جسم جدا و به جسم دیگر منتقل می‌کند.

آزمایش کنید

■ اثر ترموالکتریک

ب) اثر ترموالکتریک

هرگاه محل تماسی دو رسانای متفاوت در معرض گرما قرار گیرد این گرما منجر به اختلاف دما بین دو رسانا می‌شود، در این صورت اختلاف پتانسیلی بین دو سر تماس رساناها به وجود می‌آید (شکل ۲–۴۴).

مهمترین کاربرد این اثر را در ساخت ترموکوپل می‌بینیم که برای اندازه‌گیری دما در کوره‌ها استفاده می‌شوند.

شکل ۲–۴۴ گرما سبب اختلاف پتانسیل دو سر تماس رساناها شده و در نتیجه الکترون‌ها از یک رسانا به رسانای دیگر شارش می‌کنند.

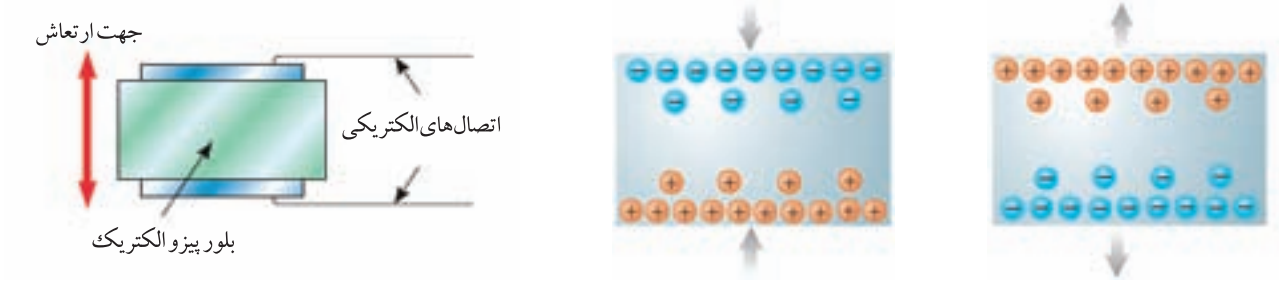
شبیه‌سازی

■ اثر پیزوالکتریک

پ) اثر پیزوالکتریک

اثر پیزوالکتریک، قابلیت بعضی مواد برای تبدیل انرژی مکانیکی به انرژی الکتریکی است یا بر عکس. این اثر در اواخر قرن نوزدهم کشف شد و موادی نظیر کوارتز که این پدیده را از خود بروز می‌دهند مواد پیزوالکتریک می‌نامند.

وقتی ماده‌ای پیزوالکتریک تحت فشار مکانیکی (به صورت انبساط یا انقباض) قرار می‌گیرد، مقداری بار الکتریکی در سطح آن ظاهر می‌شود (شکل ۲–۴۵ الف و ب). این بار الکتریکی منجر به تولید میدان الکتریکی و پتانسیل الکتریکی متناظر با آن می‌شود. بر عکس، با اعمال میدان الکتریکی روی یک ماده‌ی پیزوالکتریک، انرژی الکتریکی به انرژی مکانیکی (مثلاً ارتعاش جسم) تبدیل می‌شود (شکل ۲–۴۵ پ). اثر اول به اثر مستقیم و اثر دوم به اثر معکوس موسوم است.



(الف) انبساط بر اثر کشش (ب) انقباض بر اثر تراکم (پ)

شکل ۲–۴۵ (الف) و (ب) تولید الکتریسیته با فشار مکانیکی و (پ) ایجاد انرژی مکانیکی به وسیله‌ی انرژی الکتریکی در یک بلور پیزو الکتریک

۲-۸ خازن

انرژی الکتریکی را می‌توان در وسیله‌هایی موسوم به **خازن** ذخیره کرد، که تقریباً در تمام مدارهای الکترونیکی وجود دارند (شکل ۲-۴۶). خازن به عنوان انبار انرژی الکتریکی عمل می‌کند. مثلاً باتری یک دوربین با باردار کردن یک خازن، انرژی را در فلاش آن ذخیره می‌کند. این انرژی ذخیره شده در مدت بسیار کوتاهی به صورت فوران نوری درخشان در هنگام فلاش زدن دوربین آزاد می‌شود.

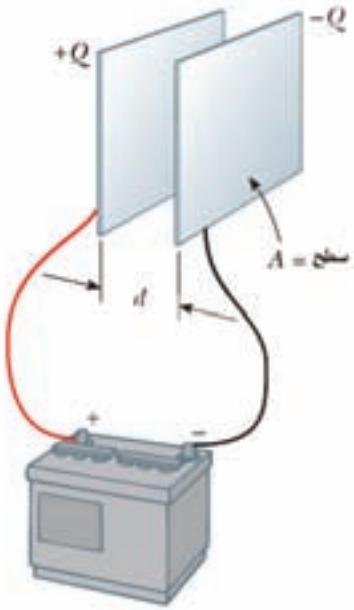
شکل ۲-۴۶ خازن‌ها یکی از مهم‌ترین اجزای مدارهای الکتریکی و الکترونیکی هستند که آن‌ها را به شکل‌ها و اندازه‌های مختلفی می‌سازند.

مثال مفهومی ۲-۹

باتری‌ها و خازن‌ها هر دو می‌توانند برای سایر اجزای یک مدار الکتریکی یا الکترونیکی انرژی فراهم کنند. به نظر شما چه تفاوت مهمی بین عملکرد یک خازن و یک باتری وجود دارد؟

پاسخ: یکی از مهم‌ترین تفاوت‌های باتری‌ها و خازن‌ها این است که باتری‌ها می‌توانند انرژی الکتریکی را فقط با آهنگ نسبتاً کمی فراهم کنند، که مثلاً برای گسیل حتی یک جرقه‌ی نور از فلاش عکاسی ناچیز است. ولی، وقتی یک خازن باردار می‌شود، انرژی را می‌تواند با آهنگ بسیار زیادی در اختیار سایر اجزای مدار قرار دهد. آزاد شدن سریع انرژی در مدت کوتاه فلاش عکاسی دلیلی بر همین موضوع است.

رایج ترین و ساده‌ترین خازن، که به آن **خازن تخت** نیز گفته می‌شود، یک جفت صفحه‌ی رساناست که در فاصله‌ی اندکی از یکدیگر قرار گرفته‌اند، اما با هم تماس ندارند. وقتی صفحه‌های خازن را به دستگاه شارژکننده، مانند باتری شکل ۲-۴۷، متصل کنیم، الکترون‌ها توسط باتری از یک صفحه به صفحه‌ی دیگر منتقل می‌شوند. این کار با کشیده شدن الکترون‌های صفحه‌ی متصل به پایانه‌ی مثبت باتری به طرف آن صورت می‌گیرد. در واقع، این الکترون‌ها از طریق باتری و پایانه‌ی منفی آن به صفحه‌ی مقابل آن پمپ شده‌اند.



شکل ۲-۴۷ ساده‌ترین نوع خازن، موسوم به خازن تخت، از دو صفحه‌ی فلزی موازی نزدیک به هم تشکیل شده است. وقتی صفحه‌ها به باتری متصل می‌شوند، دارای بار مساوی و با علامت مخالف می‌شوند (Q+ و Q-). در این صورت ولتاژ بین صفحه‌های خازن برابر با ولتاژ بین پایانه‌های باتری می‌شود. نمادی که در مدارهای الکتریکی برای نشان دادن یک خازن به کار می‌بریم مبتنی بر ساختار یک خازن تخت است، ولی از آن برای نمایش خازن با هر شکل هندسی‌ای استفاده می‌شود.

باردار کردن (شارژ) خازن

صفحه‌های خازن دارای بار مساوی و با علامت مخالف‌اند. صفحه‌ی مثبت به پایانه‌ی مثبت باتری و صفحه‌ی منفی به پایانه‌ی منفی آن متصل است. فرایند شارژ شدن یک خازن وقتی تکمیل می‌شود که اختلاف پتانسیل یا ولتاژ دو صفحه‌ی خازن با ولتاژ پایانه‌های باتری برابر شود. هر چه ولتاژ باتری بیش‌تر، صفحه‌های خازن بزرگ‌تر و به هم نزدیک باشند، باری که می‌توان در آن ذخیره کرد بیش‌تر می‌شود.

ظرفیت خازن

همان طور که گفته شد خازن به عنوان انبار انرژی عمل می‌کند. بنابراین هر خازن دارای **ظرفیت** معینی است که به شکل هندسی صفحه‌های آن بستگی دارد. ظرفیت C یک خازن برابر است با نسبت بزرگی بار روی رسانا (صفحه) به بزرگی اختلاف پتانسیل یا ولتاژ بین رساناها (صفحه‌ها). یعنی:

$$C = \frac{Q}{\Delta V} \qquad (۶-۲)$$

یکای ظرفیت در SI، کولن بر ولت (C/V) است که آن را فاراد (F) نیز می‌نامند.

توجه: کمیت‌های Q و ΔV در رابطه‌ی (۶-۲) همواره باید به طور مثبت قرار داده شوند. همچنین وقتی گفته می‌شود بار خازنی Q است به معنی این است که صفحه‌ای که پتانسیل الکتریکی آن بیش‌تر است (یعنی به پایانه مثبت باتری وصل شده است) بار $+Q$ و صفحه‌ای که پتانسیل الکتریکی آن کم‌تر است بار $-Q$ دارد.

آزمایش کنید

ابتدا با مشاهده‌ی آزمایش‌های زیر از روی CD ضمیمه، وسیله‌های مورد نیاز هر آزمایش را فراهم کنید و آن‌ها را به طور گروهی در کلاس انجام دهید. بین مشاهده‌های خود و مفاهیمی که فرا گرفته‌اید، ارتباط برقرار کنید.

- ساخت خازن تخت
- باردار کردن و تخلیه‌ی خازن

آزمایش کنید

- آشنایی با بطری لیدن (نوعی خازن قدیمی)
- ساختمان خازن‌های مختلف

مثال ۲-۱۰

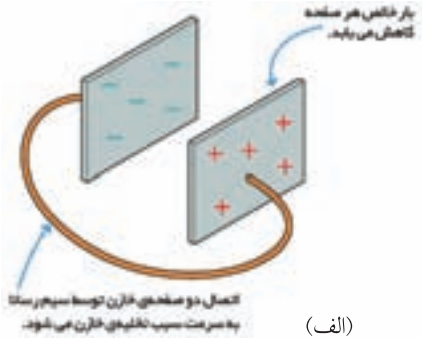
دو سر خازنی با ظرفیت $۳\,\mu F$ به پایانه‌های یک باتری ۱۲ ولتی وصل شده است. بار ذخیره شده در خازن (پس از تکمیل فرایند شارژ شدن) چقدر است؟

حل: از رابطه‌ی (۶-۲) داریم:

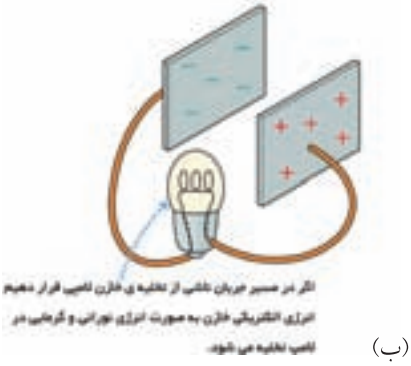
$$Q = C\,\Delta V = (۳\times ۱۰^{-۶}\,F)(۱۲V) = ۳۶\times ۱۰^{-۶}\,C = ۳۶\,\mu C$$

تخلیه‌ی (دِشارژ) خازن

خازن شارژ شده هنگامی تخلیه می‌شود که مسیر رسانایی بین دو صفحه‌ی آن وجود داشته باشد (شکل ۲-۴۸). تخلیه‌ی خازن، در صورتی که در مسیر جریان حاصل از آن قرار بگیرید، ممکن است تجربه‌ای تکان دهنده باشد. انتقال انرژی حاصل در صورت زیاد بودن ولتاژ، مانند مورد منبع تغذیه‌ی دستگاه‌های نمایشگر یا تلویزیون، حتی پس از خاموش کردن دستگاه می‌تواند مهلک باشد. این دلیل اصلی علامت‌های هشدار دهنده روی این وسیله‌هاست.



(الف)



(ب)

شکل ۲-۴۸ (الف) هرگاه دو صفحه‌ی خازن توسط سیم رسانایی به هم متصل شوند، خازن تخلیه می‌شود. (ب) اگر در مسیر جریان یک مصرف کننده قرار بگیرد، انرژی الکتریکی خازن در آن تخلیه می‌شود.

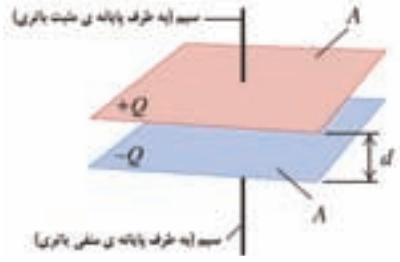
ظرفیت خازن تخت

شـکل ۲-۴۹ خازن تختی را نشـان می‌دهد که در فضای بیـن صفحه‌های آن هوا (یا خلأ) قرار دارد. ظرفیت این خازن تنها به عامل‌های هندسـی، یعنی مساحت A هر صفحه و فاصله‌ی جدایی صفحه‌ها d، بستگی دارد و از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

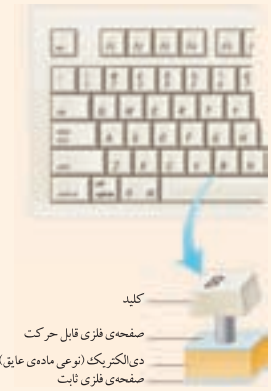
$$C = \varepsilon_{\circ} \frac{A}{d} \qquad (۲-۷)$$

که در آن $\varepsilon_{\circ}$، ثابت گذردهی الکتریکی خلأ نامیده می‌شود و مقدار آن برحسب یکاهای SI برابر ۸/۸۵ پیکو فاراد بر متر است:

$$\varepsilon_{\circ} = ۸/۸۵ \times ۱۰^{-۱۲}\ \mathrm{F/m} = ۸/۸۵\ \mathrm{pF/m}$$



شکل ۲-۴۹ ظرفیت خازن تختی که در بین صفحه‌های آن هوا (یا خلأ) قرار دارد فقط به عامل‌های هندسی بستگی دارد. توجه کنید که با افزایش A یا کاهش d ، ظرفیت خازن افزایش می‌یابد.



وقتی یکی از کلیدهـای صفحه کلید رایانه‌ای فشرده می‌شود، در واقع فاصله‌ی بین صفحه‌های یک خـازن تخت کاهش می‌یابـد. ایـن امر سـبب افزایش ظرفیت خازن و در نتیجه منجر به کشـیدن جریان الکتریکی لحظه‌ای از منبع تغذیه برای شارژ کامل می‌شـود. مقدار این جریان لحظه‌ای بـرای هر کلید به گونه‌ای هماهنگ شـده اسـت که سبب ارسال پیام درج شده روی کلید مورد نظر به پردازنده می‌شود.

مثال ۲-۱۱

می‌خواهید با دو صفحه‌ی فلزی تخت، هر یک به مساحت $A = ۲\times۱۰^{-۴}\ \mathrm{m^۲}$ ، یک خازن تخت بسازید. اگر فاصله‌ی بین دو صفحه را $۱\ \mathrm{mm}$ اختیار کنید،

الف) ظرفیت خازن چقدر خواهد شد؟

ب) اگر دو سر این خازن را به پایانه‌های یک باتری با ولتاژ $۳\ \mathrm{V}$ وصل کنید، چقدر بار روی آن ذخیره می‌شود؟

حل: الف) با توجه به رابطه‌ی (۲-۷) داریم:

$$C = \varepsilon_{\circ} \frac{A}{d}$$

$$= (۸/۸۵ \times ۱۰^{-۱۲}\ \mathrm{F/m}) \left(\frac{۲\times۱۰^{-۴}\ \mathrm{m^۲}}{۱\times۱۰^{-۳}\ \mathrm{m}} \right)$$

$$= ۱/۷۷ \times ۱۰^{-۱۲}\ \mathrm{F} = ۱/۷۷\ \mathrm{pF}$$

ب) از رابطه‌ی (۲-۶) می‌توان نوشت:

$$Q = C\,\Delta V$$

$$= (۱/۷۷ \times ۱۰^{-۱۲}\ \mathrm{pF})(۳\mathrm{V})$$

$$= ۵/۳۱ \times ۱۰^{-۱۲}\ \mathrm{C} = ۵/۳۱\ \mathrm{pC}$$

تمرین ۲-۳

شکل ۲-۵۰ خازنی به ظرفیت ۲۲۰۰ میکروفاراد را نشان می‌دهد که تا ۱۶V می‌توان به دو سر آن ولتاژ اعمال کرد. در این شرایط چقدر بار خازن ذخیره می‌شود؟

شکل ۲-۵۰

مطالعه‌ی آزاد

صفحه‌های نمایش لمسی

در صفحه‌ی نمایش لمسی یک تلفن همراه، یک دستگاه MP3 و MP4 یا یک ابزار پزشکی از فیزیک خازن‌ها استفاده می‌شود. دو لایه‌ی موازی از نوارهای نازک رسانای شفاف نظیر اکسیدانیوم قلع پشت صفحه قرار دارند. ولتاژی بین این دو لایه برقرار می‌شود. نوارهای موجود در یک لایه به طور عمود بر نوارهای لایه‌ی دیگر سمت‌دهی شده‌اند. نقطه‌هایی که در آن‌ها این نوارها همپوشانی دارند به صورت شبکه‌ای از خازن‌ها عمل می‌کنند. هنگامی که انگشت خود را (که رساناست) به یکی از نقطه‌های روی صفحه نزدیک می‌کنید، انگشت شما و لایه‌ی رسانای جلویی مانند خازن دومی عمل می‌کند که در آن نقطه به صورت متوالی بسته شده است. مدار متصل به لایه‌های رسانا مکان تغییر ظرفیت و در نتیجه جایی را که شما صفحه را لمس کرده‌اید تشخیص می‌دهد.

موس‌های خازنی

در سال ۲۰۱۲ نوع جدید از موس‌های بی‌سیم به بازار عرضه شد که بی‌نیاز از باتری هستند. برای تأمین انرژی مورد نیاز در این موس‌ها، از یک خازن طلا استفاده شده است. برای شارژ خازن این موس کافی است که به کمک یک کابل USB، موس را به مدت ۳ دقیقه به رایانه وصل کنیم و پس از آن به مدت طولانی از موس استفاده کنیم.

ستون‌یاب الکتریکی

بعضی از ابزارهای عملی از شیوه‌ی پاسخ‌گویی خازن به تغییرات ثابت دی‌الکتریک بهره می‌گیرند. ستون‌یاب الکتریکی که توسط تعمیرکاران ساختمانی برای یافتن مکان ستون‌های فلزی مخفی درون دیوار به کار می‌رود نمونه‌ای از این ابزارهاست. این ابزار شامل یک صفحه‌ی فلزی همراه با مدارهای وابسته به آن است. این صفحه به عنوان نیمی از یک خازن و دیوار به عنوان نیم دیگر آن عمل می‌کند. اگر دستگاه ستون‌یاب از روی ستون فلزی عبور کند، ثابت دی‌الکتریک تغییر می‌کند و ظرفیت خازن را تغییر می‌دهد و یک سیگنال (نشانک) فرستاده می‌شود.

دی‌الکتریک‌ها

بیش‌تر خازن‌ها بین صفحه‌های رسانای خود دارای ماده‌ای عایق یا **دی‌الکتریک** هستند. در یک نوع خازن متداول از نوارهای درازی از برگه‌های آلومینیومی استفاده می‌شود که توسط نوارهایی از ورقه‌ی پلاستیکی از هم جدا شده‌اند. ساندویچی از این ماده‌ها به دور خود پیچیده شده و قطعه‌ای ساخته می‌شود که می‌تواند در یک بسته‌بندی کوچک، ظرفیتی برابر چند میکروفاراد فراهم کند (شکل ۲–۵۱).

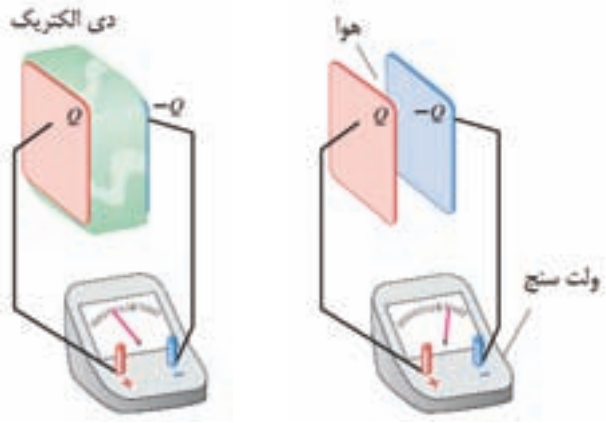
شکل ۲–۱۵ در یک نوع خازن متداول از ورقه‌های دی‌الکتریک برای جدا نگه‌داشتن رساناها استفاده می‌شود. هر ورقه‌ی رسانا از طریق یک اتصال فلزی به بیرون مرتبط می‌شود. معمولاً اتصال مثبت را بزرگ‌تر می‌گیرند.

قرار دادن دی‌الکتریک بین صفحه‌های خازن محاسن مهمی دارد. یکی آن‌که مشکل مکانیکی نگه‌داشتن دو ورقه‌ی فلزی بزرگ در فاصله‌ی بسیار کم از هم را بدون آن‌که تماس الکتریکی بین آن‌ها برقرار شود حل می‌کند. دیگر آن که ظرفیت خازن را افزایش می‌دهد و در نتیجه مقدار بیش‌تری بار و انرژی الکتریکی انبار می‌کند.

مثال مفهومی ۲–۱۰

شکل ۲–۵۲ اثر وارد کردن دی‌الکتریک بین صفحه‌های موازی یک خازن تخت را نشان می‌دهد. توضیح دهید چرا ولتاژ در وضعیت (ب) نسبت به وضعیت (الف) کاهش یافته است.

پاسخ: با ورود دی‌الکتریک بین صفحه‌های خازن، ظرفیت آن افزایش می‌یابد. در این مثال چون بار خازن‌ها در هر دو حالت یکسان و برابر Q است، با توجه به رابطه‌ی $Q = C\,\Delta V$، ولتاژ ΔV در وضعیت (ب) باید کاهش یابد.



(الف) (ب)

شکل ۲–۵۲

پرسش‌های مفهومی

۱- عبارت زیر را کامل کنید.

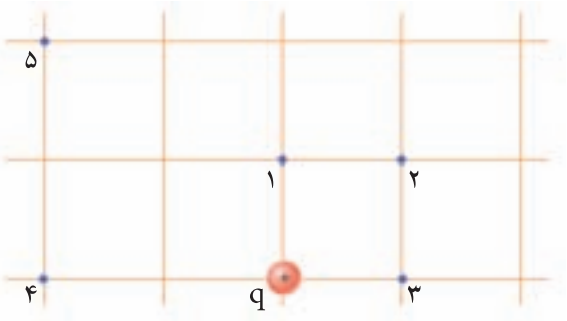
اگر بر اثر مالش دو جسم به یکدیگر، تعداد n الکترون از جسمی به جسم دیگر برود، بار جسمی که n الکترون از دست داده برابر ..... و بار جسمی که n الکترون گرفته است برابر ..... خواهد بود.

۲- چرا وقتی یک CD یا DVD با پارچه‌ی خشک یا دستمال کاغذی تمیز می‌شود گرد و غبار جذب می‌کند؟

۳- دوبار نقطه‌ای $+q$ و $+4q$ روی محور x قرار دارند (شکل ۲-۵۳). یک پروتون را در کدام قسمت از محورx قرار دهیم تا برایند نیروهای الکتریکی وارد بر آن صفر باشد؟ (به طور کیفی استدلال کنید نیازی به محاسبه نیست.)

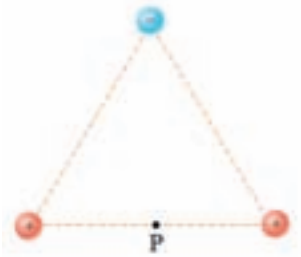
شکل ۲-۵۳

۴- در هر یک از نقطه‌های ۱ تا ۵ روی شکل ۲-۵۴، با دقت کافی برداری رسم کنید که نشان دهنده‌ی جهت و بزرگی بردار میدان الکتریکی ناشی از بار نقطه‌ای مثبت q در آن نقطه باشد.



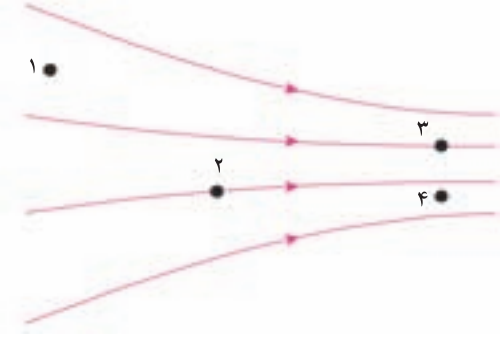
شکل ۲-۵۴

۵- سه بار نقطه‌ای مطابق شکل در رأس یک مثلث متساوی‌الاضلاع قرار دارند (شکل ۲-۵۵). بردار میدان الکتریکی برایند ناشی از سه بار را در نقطه‌ی P (میان خط واصل دوبار) رسم کنید.



شکل ۲-۵۵

۶- بزرگی میدان الکتریکی را در هر یک از نقطه‌های ۱ تا ۴ شکل (۲-۵۶)، به ترتیب از بیش‌ترین تا کم‌ترین بنویسید.



شکل ۲-۵۶

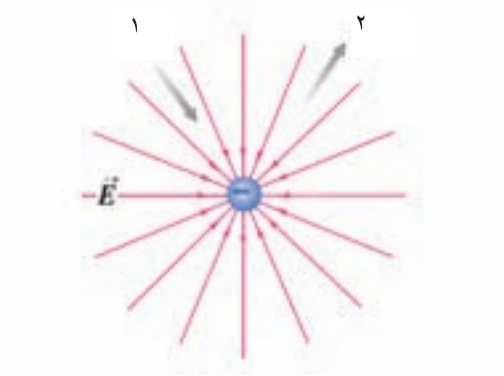
۷- ظرفیت یک خازن تخت در هر یک از موارد زیر چه تغییری می‌کند؟

الف) بار Q روی آن دو برابر شود.

ب) ولتاژ دو سر آن سه برابر شود.

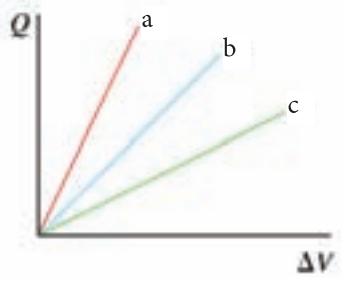
پ) فاصله‌ی بین صفحه‌های آن کاهش یابد.

۸- شکل ۲-۵۷ میدان الکتریکی اطراف یک بار نقطه‌ای منفی را نشان می‌دهد. هنگام حرکت در هر یک از جهت‌های ۱ و ۲، پتانسیل الکتریکی چگونه تغییر می‌کند؟ (کافی است با استدلال توضیح دهید آیا هنگام حرکت در جهت یا در خلاف جهت میدان الکتریکی بار نقطه‌ای منفی پتانسیل الکتریکی افزایش یا کاهش می‌یابد.)



شکل ۲-۵۷

۹- شکل ۲-۵۸ نمودارهای بار برحسب ولتاژ را برای سه خازن تخت نشان می‌دهد که مساحت صفحه‌ها و فاصله‌ی جدایی آن‌ها در جدول زیر داده شده است. کدام نمودار مربوط به کدام خازن است؟



شکل ۲-۵۸

خازن	مساحت	فاصله‌ی جدایی
۱	A	d
۲	$۲A$	d
۳	A	$۲d$

مسئله‌ها

۱- ذره‌های α (آلفا) از جنس هسته‌ی اتم هلیوم هستند و از دو پروتون و دو نوترون تشکیل شده‌اند. به این ترتیب بار هر ذره‌ی α برابر $۲e$ یا $۳/۲\times۱۰^{-۱۹}\,C$ است. اگر فاصله‌ی دو ذره‌ی α از یکدیگر برابر $۱۰^{-۱۰}m$ باشد، بزرگی نیروی الکتریکی وارد بر هر ذره چقدر است؟

۲- بار دو گلوله‌ی کوچک پلاستیکی مثبت است. اگر فاصله‌ی بین آن‌ها $۵cm$ باشد، بزرگی نیروی دافعه‌ی وارد بر هر بار برابر $۰/۱N$ است. بار هر یک از گلوله‌ها چقدر است اگر

الف) دو بار با هم مساوی باشند؟

ب) بار یکی از آن‌ها چهار برابر دیگری باشد؟

۳- بزرگی میدان الکتریکی در اطراف سیم‌های برق خانه حدود $۳\times۱۰^{-۲}\,N/C$ است. هرگاه غباری باردار با بار الکتریکی $۰/۲nC$ از نزدیکی سیم برق خانه بگذرد، نیروی الکتریکی وارد بر آن چقدر است؟

۴- در فاصله‌ی $۰/۱m$ از یک بار نقطه‌ای، بزرگی میدان الکتریکی $۵۰۰۰N/C$ است. اندازه‌ی بار الکتریکی چقدر است؟

۵- بار الکتریکی $q = -۴\mu C$ از نقطه‌ای با پتانسیل الکتریکی $V_۱ = -۵۰V$ به نقطه‌ای با پتانسیل الکتریکی $V_۲ = -۲۰V$ جابه‌جا می‌شود. تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی این بار چقدر است؟

۶- هر قطره جوهر در جوهرافشان چاپگرهای صنعتی حامل بار $۱/۶\times۱۰^{-۱۰}\,C$ است و با نیروی $۳/۲\times۱۰^{-۴}\,N$ به طرف کاغذ منحرف می‌شود. بزرگی میدان الکتریکی تولید کننده‌ی این نیرو را به دست آورید.

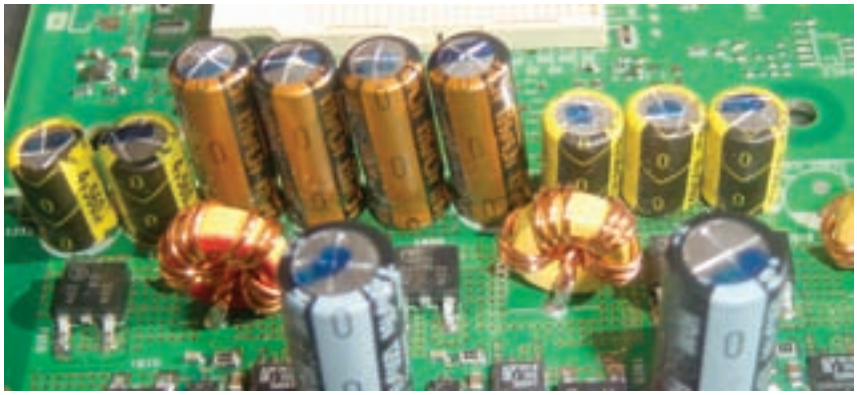
۷- اختلاف پتانسیل بین یک ابر توفانزا و زمین ۱۰۰ میلیون ولت است. اگر آذرخشی بار $۲C$ از ابر به زمین بفرستد، تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی ابر چقدر است؟

۸- یک خازن تخت دارای صفحه‌های دایره‌ای به شعاع $۸/۲cm$ و فاصله‌ی صفحه‌های $۱/۳mm$ است.

الف) ظرفیت این خازن را محاسبه کنید.

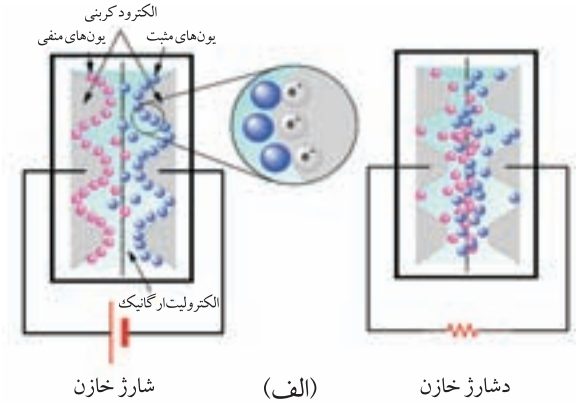
ب) اگر ولتاژ $۱۲۰V$ به صفحه‌های این خازن اعمال شود، چقدر بار روی صفحه‌ها ظاهر می‌شود؟

۹- شـــکل ۲-۵۹ خازن‌های تعبیه شده روی بخشـــی از مادربرد یک رایانه را نشان می‌دهد. بار ذخیره شـــده روی خازن‌های (۵۶۰μF و ۴V) و (۸۲۰μF و ۶/۳V) را پیدا کنید.



شکل ۲-۵۹

۱۰- شکل ۲-۶۰ الف ساختمان داخلی یک خازن طلا را به طور طرحوار نشان می‌دهد. این خازن‌ها افزون بر این که ظرفیت بالایی دارند در مدت کوتاهی نیز شارژ می‌شوند (حدود چند دقیقه). به همین دلیل پیش‌بینی می‌شود که به زودی در بسیاری از دستگاه‌های الکترونیکی جای باتری‌ها را خواهند گرفت. شکل ۲-۶۰ ب یک خازن طلا را نشان می‌دهد که با نام تجاری TS12-R شناخته می‌شود. ظرفیت این خازن ۱۰F و حداکثر با ولتاژ ۲/۵ V می‌تواند شارژ شود. این خازن حداکثر چه مقدار بار می‌تواند ذخیره کند؟



(ب)

شکل ۲-۶۰