بسم الله الرحمن الرحیم

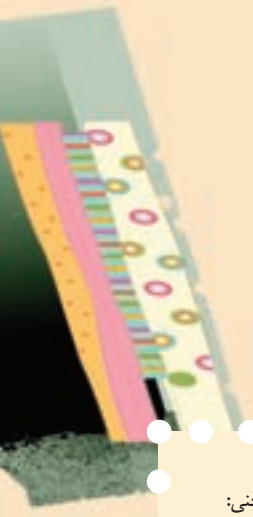
# فیزیک و آزمایشگاه

**شاخه‌ی:** متوسطه‌ی فنی و حرفه‌ای

**زمینه‌ی:** خدمات

**گروه تحصیلی:** کامپیوتر

**شماره‌ی درس: ۴۳۰۳**




سرشناسه: خلیلی بروجنی، روح الله

عنوان و نام پدیدآور: فیزیک و آزمایشگاه(اجرای آزمایشی) رشته 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: ۱۳۹۰.

مشخصات ظاهری: ۱۶۴ ص.

شابک۰-۴۵-۵۰۸۴-۶۰۰-۹۷۸

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:۱۳۹۰ ۹۲ف۸خ/QC۳۲

رده بندی دیویی: ۵۳۰/۰۷۶

شماره کتابشناسی ملی: ۲۲۷۴۵۱۲


**۱۳۹۰**

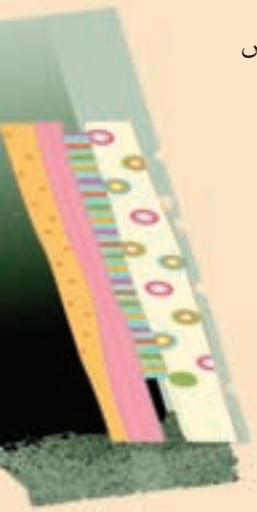
**جمهوری اسلامی ایران**
**وزارت آموزش و پرورش**
**سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی**

**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/ کد۳۵۹/۷
**مجری:** انتشارات گویش نو
**شماره درس:**۲۳۰۳
**مولف:** روح الله خلیلی بروجنی
**ویراستار ادبی:** ناصر مقبلی
**مدیر هنری:** سید علی موسوی
**صفحه آرا:** مهناز خسروپناه
**طراح جلد:** سید علی موسوی
**نوبت و سال چاپ :** دوم ۱۳۹۰
**ناشر:** انتشارات گویش نو
**نشانی ناشر:** تهران: خیابان انقلاب – خیابان فخر رازی – خیابان وحید نظری شرقی – پلاک ۶۱ تلفن: ۵۰ – ۶۶۹۵۶۰۴۹، ۶۶۴۸۴۵۳۴- وب‌سایت www.bookgno.ir
**چاپ:** شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران
(تهران ـ کیلومتر ۱۷ جاده‌ی مخصوص کرج ـ خیابان ۶۱ "داروپخش") تلفن: ۵ ـ ۴۴۹۸۵۱۶۱ ، دورنگار: ۴۴۹۸۵۱۶۰، 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

کلیه حقوق مربوط به تالیف ، نشر و تجدید چاپ این اثر متعلق به سازمان پژوهش و برنامه ریزی آموزشی است.

**حق طبع محفوظ است.**

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

از شماست که مردان و زنان بزرگ تربیت می‌شود. شما‌ها در تحصیل کوشش کنید که برای فضایل اخلاقی، فضایل اعمالی مجهز شوید. شما برای آتیه مملکت ما جوانان نیرومند تربیت کنید. دامان شما یک مدرسه‌ای 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 او ل..... 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..... ۲۰

۱–۴ بردارها و جمع‌برداری..... ۲۵

پرسش‌های فصل ۱..... ۳۱

**فصل ۲ بار الکتریکی و میدان الکتریکی**

۲–۱ بار الکتریکی ..... ۳۸

۲–۲ خواص الکتریکی ماده ..... ۴۳

۲–۳ باردار ساختن ماده ..... ۴۴

۲–۴ قانون کولن ..... ۴۸

۲–۵ میدان الکتریکی ..... ۵۲

۲–۶ انرژی پتانسیل الکتریکی ..... ۵۹

۲–۷ خازن ..... ۶۲

پرسش‌های فصل ۲ ..... ۶۶

## فصل ۳ جریان الکتریکی، مقاومت الکتریکی و مدارهای الکتریکی


۳-۱ جریان الکتریکی ..... ۷۳
۳-۲ مقاومت و مقاومت ویژه‌ی الکتریکی ..... ۸۰
۳-۳ نیروی محرکه الکتریکی ..... ۸۶
۳-۴ مدارهای الکتریکی ..... ۹۲
پرسش‌های فصل ۳ ..... ۱۰۴

## فصل ٤ مغناطیس و کاربردهای آن


۴-۱ آهنربا و قطب‌های مغناطیسی ..... ۱۱۵
۴-۲ میدان‌های مغناطیسی ..... ۱۱۸
۴-۳ الکترو مغناطیس ..... ۱۲۱
۴-۴ تولید الکتریسیته ..... ۱۲۹
پرسش‌های فصل ۴ ..... ۱۳۷
سخن آخر ..... ۱۴۱

پیوست الف (مروری کوتاه در ریاضیات) ..... ۱۴۴
پیوست ب (داده‌های فیزیکی) ..... ۱۴۹
پیوست پ (واژه نامه‌ی توصیفی) ..... ۱۵۱
پیوست ت (واژه نامه‌ی فارسی به انگلیسی) ..... ۱۵۹
پیوست ث (نمایه) ..... ۱۶۲
پیوست ج (فهرست منابع) ..... ۱۶۴

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

## سخن اول

### الف) با دانش آموزان 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.

### 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 دانش آموزان 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 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. 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. گروه مطالعه‌ی شما به هنگام مرور درس‌ها برای آزمون‌ها، پشتوانه‌ی گرانقدری است.

## 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 دوستی یا 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 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

دانش آموزان 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 و اجتماعی 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 معلمان 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 بررسی شده است. قانون‌های کیرشهف در حد اشاره و آشنایی مطرح شده و تعمیم آن‌ها به مدارهای چند حلقه‌ای مورد توجه نبوده است.

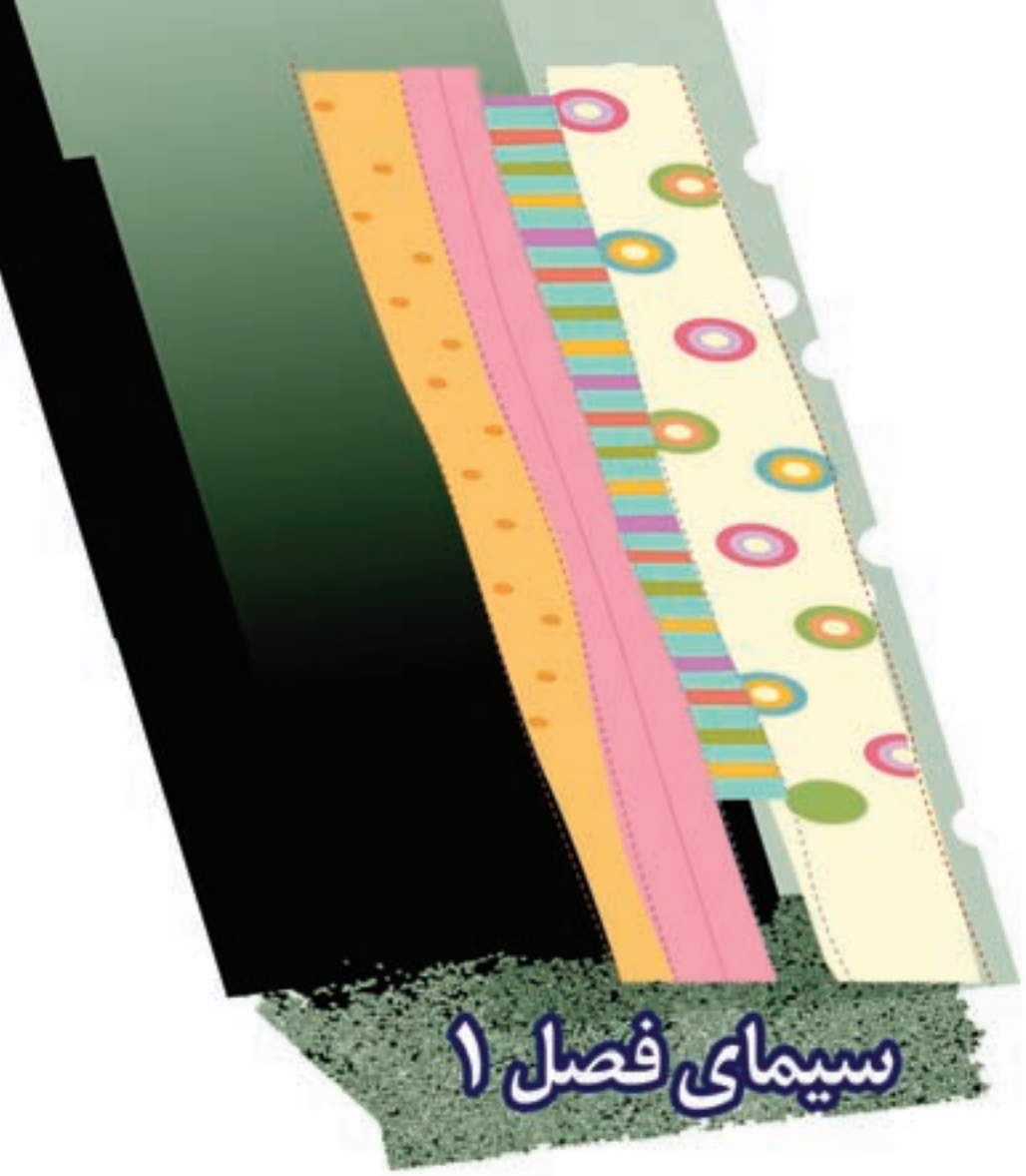
انجام آزمایش‌های ساده در کلاس درس یا آزمایشگاه مدرسه می‌تواند در ساده کردن یادگیری مفاهیم این فصل کمک ارزنده‌ای نماید. افزون بر این‌ها، استفاده از شبیه‌سازی‌ها و به خصوص آزمایشگاه مجازی مدار الکتریکی می‌تواند شرایط مناسبی برای درک عمیق‌تر مفاهیم فراهم نماید.

**فصل چهارم:** در این فصل همه‌ی مطالب مرتبط با مغناطیس، القای الکترومغناطیسی و تولید الکتریسیته (انرژی الکتریکی) به طور کیفی و بدون استفاده از رابطه های کمی مطرح شده است. تنها مورد استثنا در مبحث مبدل‌هاست که در آن رابطه‌ی بین ولتاژها و تعداد دو سیم پیچ آمده است.

# یکاها، کمیت‌های فیزیکی و بردارها

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

# فصل ۱




۱-۱ استانداردها و یکاها
۱-۲ دستگاه بین‌المللی یکاها
۱-۳ پیشوندها و تبدیل یکاها
۱-۴ بردارها و جمع برداری
پرسش‌های فصل ۱

# یکاها، کمیت‌های فیزیکی و بردارها

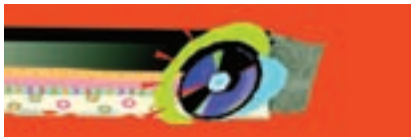
علوم پایه و مهندسی و همچنین درک ما از دنیای فیزیکی براساس اندازه‌گیری است. وقتی چیزی را که از آن صحبت می‌کنیم بتوان اندازه گرفت و برحسب عدد و رقم بیان کرد، شناختی از آن خواهیم داشت؛ اما اگر نتوان آن را با عدد و رقم بیان کرد، شناخت ما از آن ناکافی و غیرقابل قبول خواهد بود. به این ترتیب، برای پی بردن به چگونگی اندازه‌گیری و مقایسه به قاعده هایی نیازمندیم و به آزمایش‌هایی نیاز داریم تا یکاهای مربوط به این اندازه‌گیری‌ها و مقایسه‌ها را مشخص کنیم.

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 به برخی از پیش نیازهای مهم که در تمامی بررسی‌های خود در این کتاب به آن نیاز داریم خواهیم پرداخت. 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



### بیش تر 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

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** 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.

برخی از کمیت‌های فیزیکی آن چنان بنیادی‌اند که فقط می‌توان آن‌ها را با توصیف نحوه‌ی اندازه‌گیری‌شان تعریف کرد. چنین تعریفی **تعریف عملیاتی** خوانده می‌شود. به عنوان دو مثال می‌توان اندازه‌گیری فاصله با استفاده از خط‌کش و اندازه‌گیری بازه‌ی زمانی با استفاده از زمان‌سنج را نام برد. در موردهای دیگر یک کمیت فیزیکی را با توصیف نحوه‌ی محاسبه‌ی آن با استفاده از کمیت‌های دیگری که می‌توانیم آن‌ها را اندازه بگیریم تعریف می‌کنیم. بنابراین می‌توانیم بزرگی سرعت متوسط یک جسم متحرک را به صورت مسافتی که جسم پیموده است (که با خط‌کش اندازه‌گیری می‌شود) تقسیم بر زمان حرکت آن (که با زمان سنج اندازه‌گیری می‌شود) تعریف کنیم.

تعداد کمیت‌های فیزیکی به حدی زیاد است که سازمان دادن به آن ها 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.

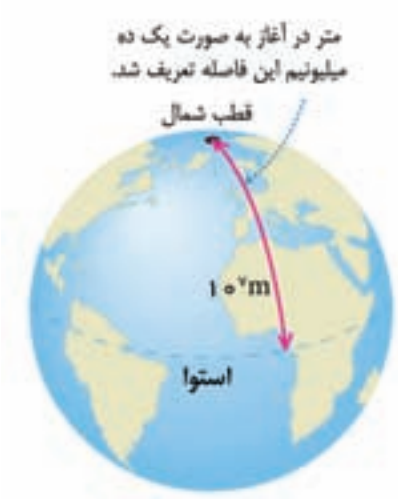
در سال ۱۳۵۰ (هـ‌ش) مجمع عمومی وزن‌ها و مقیاس‌ها هفت کمیت را به عنوان

کمیت‌های اصلی انتخاب کرد که اساس دستگاه بین‌المللی یکاها را تشکیل می دهند.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 |

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.




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

**توجه:** اگر استاندارد طول را به صورت فاصله‌ی نوک بینی تا نوک انگشت اشاره‌ی دست کشیده شده بگیریم، مسلماً استانداردی دسترس پذیر داریم ولی این استاندارد از شخصی به شخصی دیگر فرق می‌کند.

## 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 ۱-۲).

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

شکل ۱-۲ 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.

**بیش تر بدانید**

■ تشکیل فصل‌ها

**بازه‌ی زمانی** می‌نامیم. در جدول ۱-۲ برخی بازه‌های زمانی نشان داده شده است.

جدول ۱-۲ برخی بازه‌های زمانی به طور تقریبی

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

**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 ۱-۳). 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 ۱-۳ 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 | $۲\times۱۰^{۲۶}$ |
| فاصله‌ی منظومه‌ی شمسی تا کهکشان امرأه المسلسله | $۲\times۱۰^{۲۲}$ |
| شعاع کهکشان راه شیری | $۶\times۱۰^{۱۹}$ |
| فاصله‌ی خورشید تا ستاره‌ی همسایه (آلفا قنطورس) | $۴\times۱۰^{۱۶}$ |
| شعاع خورشید | $۷\times۱۰^{۸}$ |
| شعاع زمین | $۶\times۱۰^{۶}$ |
| ارتفاع برج میلاد تهران | $۴\times۱۰^{۲}$ |
| ضخامت هر برگ این کتاب | $۱\times۱۰^{-۴}$ |
| فناوری ساخت ترانزیستورهای اولین پردازنده Intel 4004 | $۱\times۱۰^{-۵}$ |
| اندازه‌ی یک ویروس | $۱\times۱۰^{-۶}$ |
| فناوری ساخت ترانزیستورهای پردازنده‌های Core i7 | $۳\times۱۰^{-۸}$ |
| شعاع اتم هیدروژن | $۵\times۱۰^{-۱۱}$ |
| شعاع پروتون | $۱\times۱۰^{-۱۵}$ |

## 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 ستاره‌ی همسایه (آلفا قنطورس) را برحسب سال نوری بیابید (شکل ۱-۴). سرعت نور در خلأ را $۳/۰\times۱۰^{۸}\ m/s$ بگیرید.

**حل:** با توجه به جدول ۱-۲ هر ۱ سال برابر $۳/۱\times۱۰^{۷}\ s$ است. به این ترتیب مسافتی که نور در ۱ سال می‌پیماید برابر است با:

$$(۳/۰\times۱۰^{۸}\ m/s)\ (۳/۱\times۱۰^{۷}\ s) = ۹/۳\times۱۰^{۱۵}\ m$$

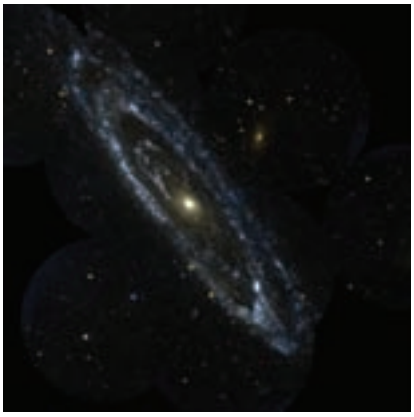
در نتیجه

$$۱ \text{ سال نوری} = ۹/۳\times۱۰^{۱۵}\ m$$

فاصله‌ی خورشید تا ستاره‌ی همسایه برابر است با:

$$(۴\times۱۰^{۱۶}\ m)\times\left(\frac{۱ \text{ سال نوری}}{۹/۳\times۱۰^{۱۵}\ m}\right) \simeq ۴/۲ \text{ سال نوری}$$

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



شکل ۱-۴

## 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 | $۱\times۱۰^{۵۳}$ |
| کهکشان ما (راه شیری) | $۲\times۱۰^{۴۱}$ |
| خورشید | $۲\times۱۰^{۳۰}$ |
| زمین | $۶\times۱۰^{۲۴}$ |
| ماه | $۷\times۱۰^{۲۲}$ |
| فیل | $۵\times۱۰^{۳}$ |
| حبه‌ی انگور | $۳\times۱۰^{-۳}$ |
| ذره‌ی غبار | $۷\times۱۰^{-۱۰}$ |
| اتم اورانیوم | $۴\times۱۰^{-۲۵}$ |
| پروتون | $۲\times۱۰^{-۲۷}$ |
| الکترون | $۹\times۱۰^{-۳۱}$ |

## تمرین ۱-۱

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

### 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.

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

## فعالیت ۱-۲

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

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

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.

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 درSI 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:

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

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

۱کیلومتر = ۱ km = ۱۰۰۰متر = $۱۰^{۳}m$

۱کیلوگرم = ۱ kg = ۱۰۰۰گرم = $۱۰^{۳}g$

$1\ kW = 10^3\ W$ = ۱ کیلووات = $10^3$ وات = ۱

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:

$50\ pm$ = ۵۰ پیکومتر = $50 \times 10^{-12}$ متر = $5 \times 10^{-11}$ متر = شعاع اتم هیدروژن

جدول ۱–۵ پیشوندهای یکاهای SI

| ضریب | پیشوند | نماد | ضریب | پیشوند | نماد |
|---|---|---|---|---|---|
| $10^{24}$ | یوتا | Y | $10^{-1}$ | دِسی | d |
| $10^{21}$ | زِتا | Z | $10^{-2}$ | سانتی | c |
| $10^{18}$ | اِگزا | E | $10^{-3}$ | میلی | m |
| $10^{15}$ | پِتا | P | $10^{-6}$ | میکرو | μ |
| $10^{12}$ | تِرا | T | $10^{-9}$ | نانو | n |
| $10^{9}$ | گیگا (جیگا) | G | $10^{-12}$ | پیکو | p |
| $10^{6}$ | مِگا | M | $10^{-15}$ | فِمتو | f |
| $10^{3}$ | کیلو | k | $10^{-18}$ | اَتو | a |
| $10^{2}$ | هِکتو | h | $10^{-21}$ | زِپتو | z |
| $10^{1}$ | دِکا | da | $10^{-24}$ | یوکتو | y |

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

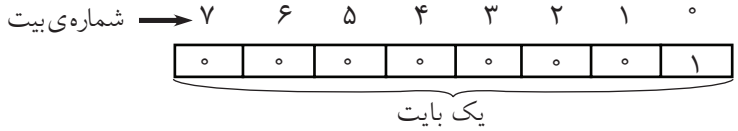
**توجه:** معمولاً در رایانه‌ها و بعضی از ماشین حساب‌ها به جای استفاده از پیشوندهای یکاهای SI، نماد گذاری علمی را مختصرتر نشان می‌دهند. مثلاً می‌نویسند 8.2E5 و 4.31E-11 که در آن‌ها E نشان دهنده‌ی «توان ده» است و برحسب پیشوندهای یکاهای SI به صورت $8/2 \times 10^5$ و $4/31 \times 10^{-11}$ نوشته می‌شوند.

## 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($1B = 8b$). 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)، تِرابیت (Tb) و غیره است. بر خلاف پیشوندهای یکاهای SI که در آن هر کیلو برابر $10^3$ است در مبنای دوتایی هر کیلوبرابر $2^{10}=1024$ است. به این ترتیب داریم

| | |
|---|---|
| کیلوبیت | $2^{10}$ b = ۱۰۲۴ b = ۱ kb |
| مگا بیت | $2^{20}$ b = ۱۰۲۴ kb = ۱ Mb |
| گیگا بیت | $2^{30}$ b = ۱۰۲۴ Mb = ۱ Gb |
| ترا بیت | $2^{40}$ b = ۱۰۲۴ Gb = ۱ Tb |
| پتا بیت | $2^{50}$ b = ۱۰۲۴ Tb = ۱ Pb |
| اگزا بیت | $2^{60}$ b = ۱۰۲۴ Pb = ۱ Eb |
| زتا بیت | $2^{70}$ b = ۱۰۲۴ Eb = ۱ Zb |
| یوتا بیت | $2^{80}$ b = ۱۰۲۴ Zb = ۱ Yb |

## 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.

**شبیه سازی**

■ تبدیل یکاهای مختلف

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:

$$۵\ \text{min} = (۵\ \text{min})\,(۱) = (۵\ \text{min})\left(\frac{۶۰\ \text{s}}{۱\ \text{min}}\right) = ۳۰۰\ \text{s}$$

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 ۱–۷). این سرعت را برحسب متر بر ثانیه بیان کنید.

شکل ۱–۷

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

پیشوند k به معنای $۱۰^{۳}$ است و همچنین می‌دانیم که ۳۶۰۰s در ۱h وجود دارد. بنابراین در تبدیل‌های زنجیره‌ای، ضرایب تبدیل را به صورت کسری چنان ردیف می‌کنیم که یکاهایی که نمی‌خواهیم حذف شوند.

$$۱۲۲۸\ \text{km/h} = \left(۱۲۲۸\ \frac{\text{km}}{\text{h}}\right)\left(\frac{۱۰^{۳}\ \text{m}}{۱\ \text{km}}\right)\left(\frac{۱\ \text{h}}{۳۶۰۰\ \text{s}}\right) \approx ۳۴۱\ \text{m/s}$$

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 ترانزیستور بسیار کوچک و ظریف است که در یک محفظه‌ی سرامیکی جای گرفته‌اند. شکل ۱–۸ یکی از پردازنده‌های سریع و هوشمند را نشان می‌دهد که با نام تجاری Core i7 -980x در سال ۲۰۱۰ توسط شرکت اینتل به بازار عرضه شد و حدود ۱/۷ میلیارد ترانزیستور در ساخت آن به کار رفته است. این پردازنده قادر است تا ۳/۶ میلیارد دستور را در یک ثانیه انجام دهد. با توجه به این که پهنای هر ترانزیستور به کار رفته در این پردازنده ۳۲ nm است، هر ترانزیستور حداکثر چه سطحی را روی تراشه[۱] اشغال می‌کند؟

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

پاسخ خود را برحسب سانتی‌متر مربع بیان کنید.

شکل ۱-۸ نمای کلی پردازنده‌ی Core i7

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

$$(۳۲nm) \times (۳۲nm)$$

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

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

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 عملی ۱-۱

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:

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

هر کیس رایانه دارای تعدادی جایگاه ۵/۲۵ اینچی برای درایوهای DVD-ROM/ CD-ROM و یک جایگاه برای درایوهای ۳/۵۰ اینچی است (شکل۱-۹). 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 ۱-۹

## فعالیت ۱-۲

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 ۱-۱۰). طول این جزیره را برحسب ذرع و فرسنگ بیان کنید.

شکل ۱-۱۰ تصویر ماهواره ای از جزیره‌ی 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 تک عدد و یک یکا توصیف کرد. ولی بسیاری از کمیت‌های مهم دیگر در فیزیک جهتی وابسته به خود دارند و نمی‌توان آن‌ها را با یک تک 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. یک مثال دیگر نیرو است که در فیزیک به معنای هل دادن یا کشیدن است که بر اجسام وارد می‌شود. توصیف کامل نیرو به این صورت است که هم توصیف کنیم نیرو چقدر جسم را محکم هل می‌دهد یا می‌کشد و جهت این هل دادن یا کشیدن را نیز مشخص کنیم.

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.

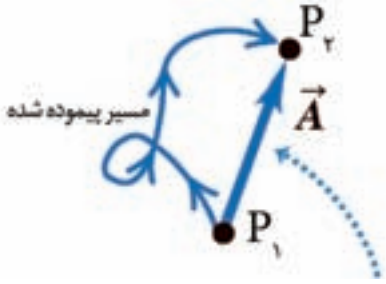
برای درک بهتر بردارها و نحوه‌ی ترکیب آن‌ها با ساده‌ترین کمیت برداری، یعنی **جابه‌جایی** آغاز می‌کنیم. جابه‌جایی به طور ساده برابر است با تغییر در مکان یک نقطه. (این نقطه می‌تواند نشان دهنده‌ی یک ذره یا یک جسم کوچک باشد.) در شکل ۱-۱۱ الف تغییر مکان از نقطه‌ی $P_1$ به نقطه‌ی $P_2$ را با خطی از $P_1$ تا $P_2$ همراه با نوک پیکان در نقطه‌ی $P_2$ که جهت حرکت را نشان می‌دهد نمایش می‌دهیم.

جابه‌جایی یک کمیت برداری است زیرا نه تنها باید بیان کنیم که ذره چقدر حرکت کرده است بلکه جهت این حرکت را نیز باید مشخص کنیم. ۲km قدم زدن به سمت شمال از در خانه، شما را به همان جایی نمی‌رساند که وقتی ۲km به سمت شمال شرقی قدم بزنید می‌رسید، این دو جابه‌جایی دارای بزرگی یکسان ولی جهت‌های متفاوت‌اند.

یک کمیت برداری نظیر جابه‌جایی را به طور معمول با یک تک حرف نظیر $\vec{A}$ در شکل ۱-۱۱ 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

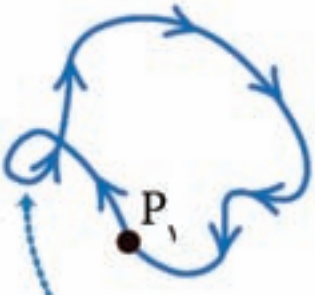
با یک نوک در سر آن رسم می‌کنیم. طول این خط بزرگی بردار و جهت خط، جهت بردار را نشان می‌دهند.جابه‌جایی همواره حتی اگر مسیر واقعی ذره خمیده باشد ،یک پاره خط راست از نقطه‌ی آغازی به نقطه‌ی پایانی است. در شکل ۱-۱۱ ب ذره در طول مسیر خمیده‌ی نشان داده از $P_1$ تا $P_2$ حرکت می‌کند ولی جابه‌جایی کماکان بردار $\vec{A}$ است. توجه کنید که جابه‌جایی ارتباط مستقیمی با مسافت کل پیموده شده ندارد. اگر ذره مسیر خود تا $P_2$ را ادامه دهد و سپس به $P_1$ باز گردد، جابه‌جایی در کل حرکت صفر خواهد بود (شکل ۱-۱۱پ).

(الف)




جابه‌جایی تنها به مکان‌های آغازی و پایانی بستگی دارد
نه به مسیر پیموده شده

(ب)




اگر جسمی یک مسیر رفت و برگشت بسته را بپیماید جابه‌جایی
کل صفر است وبه مسافتی که پیموده شده بستگی ندارد.

(پ)

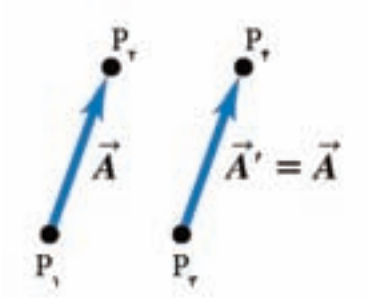
شکل ۱-۱۱ جابه‌جایی به عنوان یک کمیت برداری

## بردارهای موازی و پاد موازی

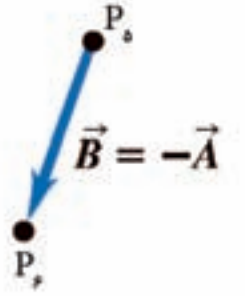
اگر دو بردار در یک جهت باشند با هم **موازی‌اند**. اگر دو بردار دارای یک بزرگی و در یک جهت باشند با هم **برابرند** و این که این بردارها کجا قرار گرفته‌اند نقشی در این موضوع ندارد. بردار $\vec{A}'$ از نقطه‌ی $P_3$ تا نقطه‌ی $P_4$ در شکل ۱-۱۲ الف دارای طول مساوی و هم جهت با بردار $\vec{A}$ از نقطه‌ی $P_1$ تا $P_2$ است. این دو جابه‌جایی با وجود آن که از نقطه‌های متفاوت آغاز شده‌اند با هم برابرند. این رادرشکل ۱-۱۲ 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 ۱-۱۲ 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 $-\vec{A}$ 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.**




(الف)




(ب)

شکل ۱-۱۲

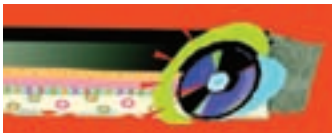
**توجه:** بزرگی یک کمیت برداری (در مورد جابه‌جایی طول آن) را به طور معمول با همان حرفی که برای بردار به کار برده‌ایم نمایش می‌دهیم ولی بدون پیکان در بالای آن.

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« $\vec{A} = 6\,m$ » همان قدر اشتباه است که عبارت‌های «۲ پرتقال =۳ سیب» یا « $8\,s = 2\,kg$ »!

## جمع برداری

فرض کنید که ذره‌ای جابه‌جایی $\vec{A}$ و پس از آن جابه‌جایی دوم $\vec{B}$ را انجام دهد (شکل ۱-۱۳الف). 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



**آزمایشگاه مجازی**

- جمع برداری

$\vec{C}$ را **جمع برداری** یا **برایند** جابه‌جایی‌های $\vec{A}$ و $\vec{B}$ می‌نامیم. این رابطه را به صورت نمادین زیر می‌نویسیم

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

در جمع برداری به طور معمول دم بردار دوم را بر سر یا نوک بردار اول قرار می‌دهیم (شکل ۱-۱۳الف).

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 ۱-۱۳ ب).

بنابراین

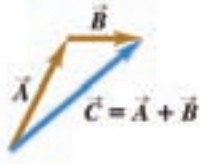
$$\vec{C} = \vec{B} + \vec{A}$$

و

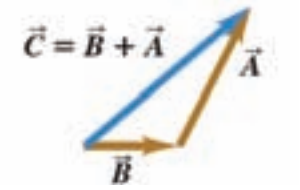
$$\vec{A} + \vec{B} = \vec{B} + \vec{A}$$

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

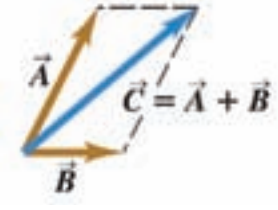
شکل ۱-۱۳ پ روش دیگری برای نمایش جمع برداری را نشان می‌دهد:اگر بردارهای $\vec{A}$ و $\vec{B}$ هر دو به گونه‌ای رسم شوند که دم هر دو بر یک نقطه منطبق باشند، آنگاه بردار $\vec{C}$ قطر متوازی الاضلاعی است که روی $\vec{A}$ و $\vec{B}$ به عنوان دو ضلع مجاور ساخته می‌شود.




(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.



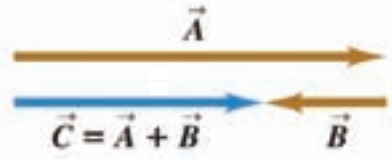

(پ) دو بردار را می‌توانیم با ساختن متوازی الاضلاع جمع کنیم.

شکل ۱-۱۳

در ادامه‌ی بحث جمع برداری را تنها برای دو حالت خاص که بردارها هم راستا یا عمود بر هم باشند محدود می‌کنیم. شکل ۱-۱۴ 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.

شکل ۱-۱۴ جمع دو بردار موازی. در این حالت بزرگی $\vec{C}$ برابر است با $A+B$.

اگر دو بردار پاد موازی باشند جمع برداری آن‌ها مطابق شکل ۱-۱۵ خواهد. در این حالت بزرگی $\vec{C}$ برابر است با اختلاف بین بزرگی‌های $\vec{A}$ و $\vec{B}$.




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

## تمرین ۱-۲

جمع (برایند) بردارهای نشان داده شده در شکل ۱-۱۶ را به طور جداگانه به دست آورید و بردار برایند را در هر حالت رسم کنید.

(ب) (الف)

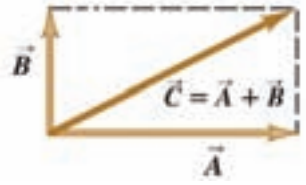
شکل ۱-۱۶

در حالت خاص دیگری که دو بردار $\vec{A}$ و $\vec{B}$ برهم عمود باشند، مطابق شکل ۱-۱۷ برایند آن‌ها $\vec{C}=\vec{A}+\vec{B}$ و بزرگی آن با توجه به قضیه‌ی فیثاغورس برابر است با

$$C^۲ = A^۲ + B^۲$$

یا

$$C = \sqrt{A^۲ + B^۲}$$




شکل ۱-۱۷ جمع دو بردار عمود بر هم. در این حالت بزرگی $\vec{C}$ برابر است با $\sqrt{A^۲+B^۲}$.

## 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 ۱-۱۸ 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

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

شکل ۱-۱۸نمودار برداری مسیر اسکی که به مقیاس رسم شده است.

## تمرین ۱-۳

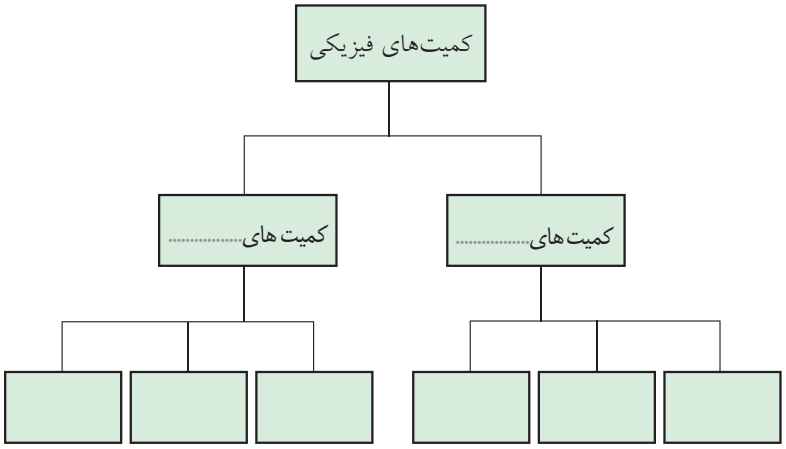
بزرگی برایند دو بردار جابه‌جایی عمود بر هم $\vec{A}$ و $\vec{B}$ برابر ۲۵m است. اگر بزرگی جابه‌جایی $\vec{B}$ چهار برابر بزرگی جابه‌جایی $\vec{A}$ باشد، بزرگی جابه‌جایی $\vec{B}$ چند متر است؟

# پرسش‌های فصل ۱

## پرسش‌های مفهومی

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

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

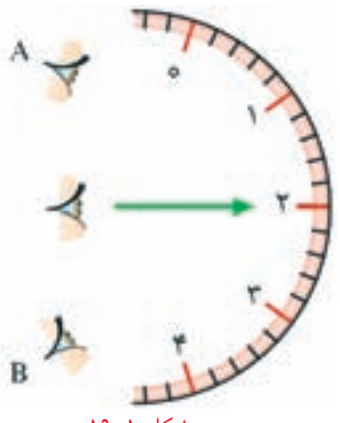



۲- گالیله در برخی از کارهایش از تپش نبض خود به عنوان زمان‌سنج استفاده کرد. شما نیز چند پدیده‌ی تکرار شونده را در طبیعت نام ببرید که می‌توانند به عنوان استانداردهای منطقی زمان به کار روند.

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 ۱-۱۹ نگاه کنید چه اثری روی دقت اندازه‌گیری می‌گذارد؟



شکل ۱-۱۹

## 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 ۱-۲۰). اگر در هر قدم $0/6\ m$ جلو بروید، برای پیمودن طول این پل چند قدم باید بردارید؟

شکل ۱-۲۰

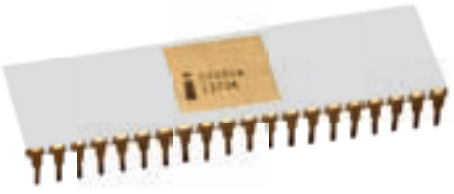
۲- مناسب‌ترین زمان برای هر جلسه‌ی کلاس درس حدود ۵۰ دقیقه است. هر جلسه کلاس درس چند میکرو قرن است؟

۳- یکای مساحت که اغلب برای اندازه‌گیری مساحت زمین به کار می‌رود هکتار است که به صورت $10^4 m^2$ تعریف شده است. مساحت کره‌ی زمین تقریباً چند هکتار است (شکل ۱-۲۱)؟ شعاع زمین را $6400 km$ بگیرید.

شکل ۱-۲۱

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، Intel 8080 بود (شکل ۱-۲۲الف) که در سال ۱۹۷۴ تولید شد و شامل ۴۵۰۰ ترانزیستور بود. در سال ۲۰۰۶ پردازنده‌ی دیگری با نام تجاری Core 2Duo توسط شرکت اینتل تولید شد (شکل ۱-۲۲ب) 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؟

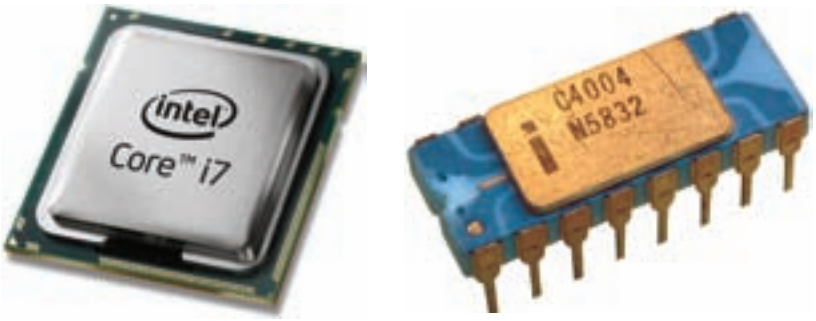


(الف)

(ب)

شکل ۱-۲۲ نمای کلی دو پردازنده

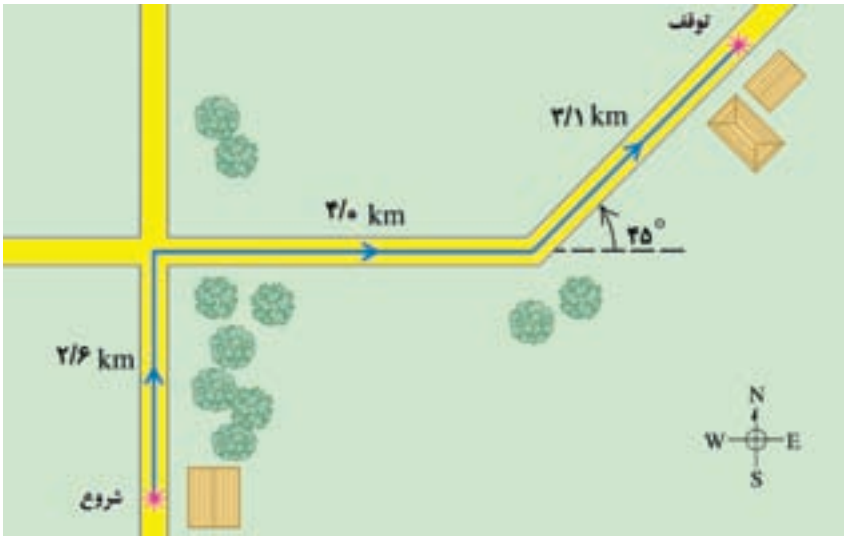
۶- فناوری ساخت ترانزیستورهای اولین پردازنده که در سال ۱۹۷۱ و با نام تجاری Intel 4004 معرفی شد ۱۰ میکرون (شکل ۱-۲۳الف) و فناوری ساخت ترانزیستورهای پردازنده‌ی سریع و هوشمندی که در سال ۲۰۱۰ با نام تجاری Core i7 -980x توسط شرکت اینتل عرضه شد (شکل ۱-۲۳ب) برابر ۳۲ نانومتر است. نسبت ابعاد ترانزیستورهای به کار رفته در این دو پردازنده چقدر است؟




(ب) (الف)

شکل ۱-۲۳

۷- یک مأمور پست، کامیون حمل بسته‌های پستی را در مسیری که در شکل ۱-۲۴ نشان داده شده است می‌راند. با رسم یک نمودار بردار جا به جایی را نشان دهید و بزرگی آن را به کمک خط کش تعیین کنید.




شکل ۱-۲۴

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؟

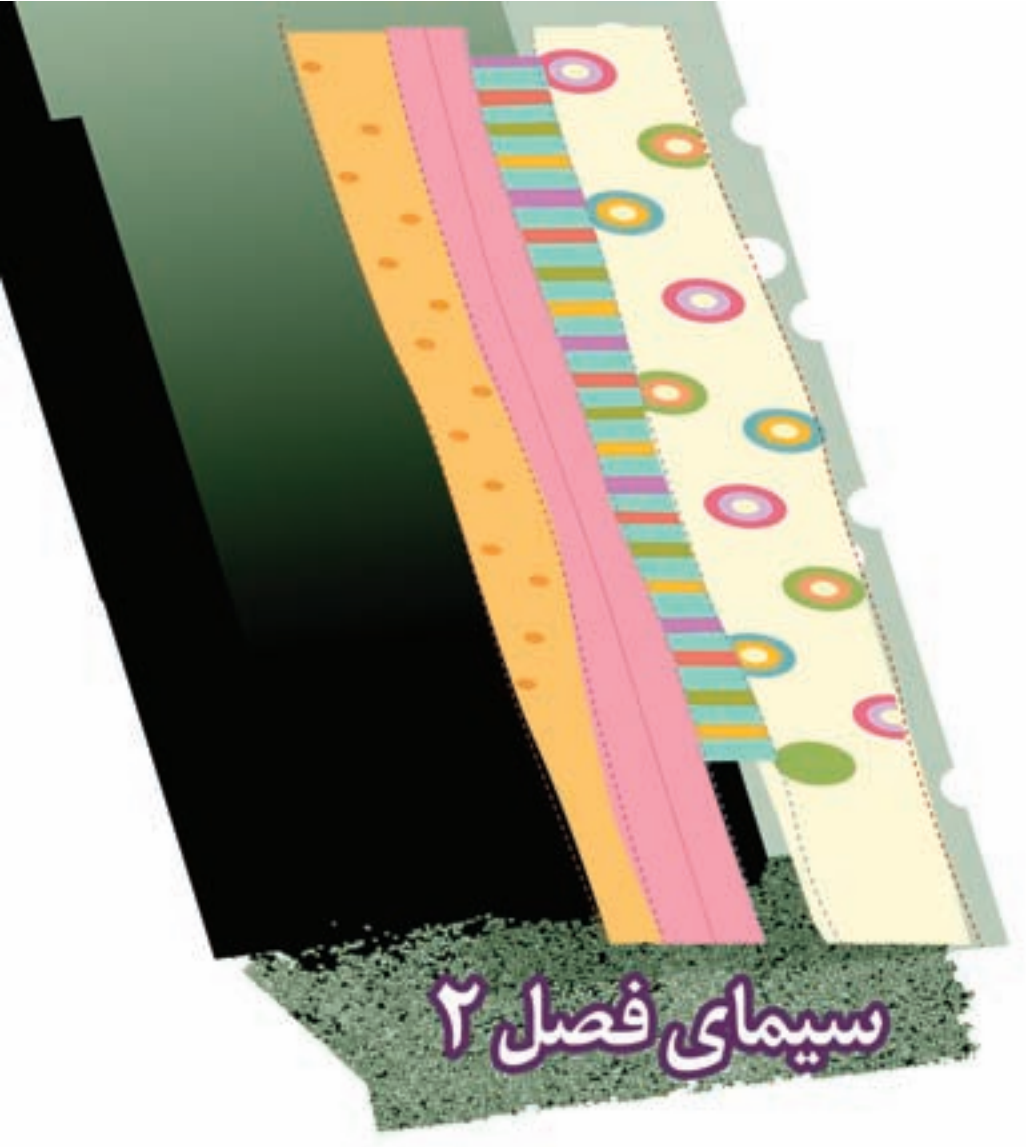
# فصل ۲

# بار الکتریکی و میدان الکتریکی

اعضای تیم‌های جراحی کارهای زیادی می‌کنند تا مبادا بیماران دچار عفونت‌های میکروبی شوند.

همه جا ضدّعفونی می‌شود، ماسک بر دهان می‌گذارند، پیش از آن که دستکش بر دست کنند دست‌هایشان را به دقت می‌شویند، و وسایل جراحی را در دمای بالا و در ظرف‌های الکل ضدّعفونی می‌کنند. با این وجود، هنوز هم چشمه‌هایی از میکروب، مانند آنچه در این تصویر دیده می‌شود، وجود دارد که از چشم‌ها پنهان مانده است.

آیا می‌توانید این چشمه‌ی میکروبی را بیابید؟ پاسخ در همین فصل.



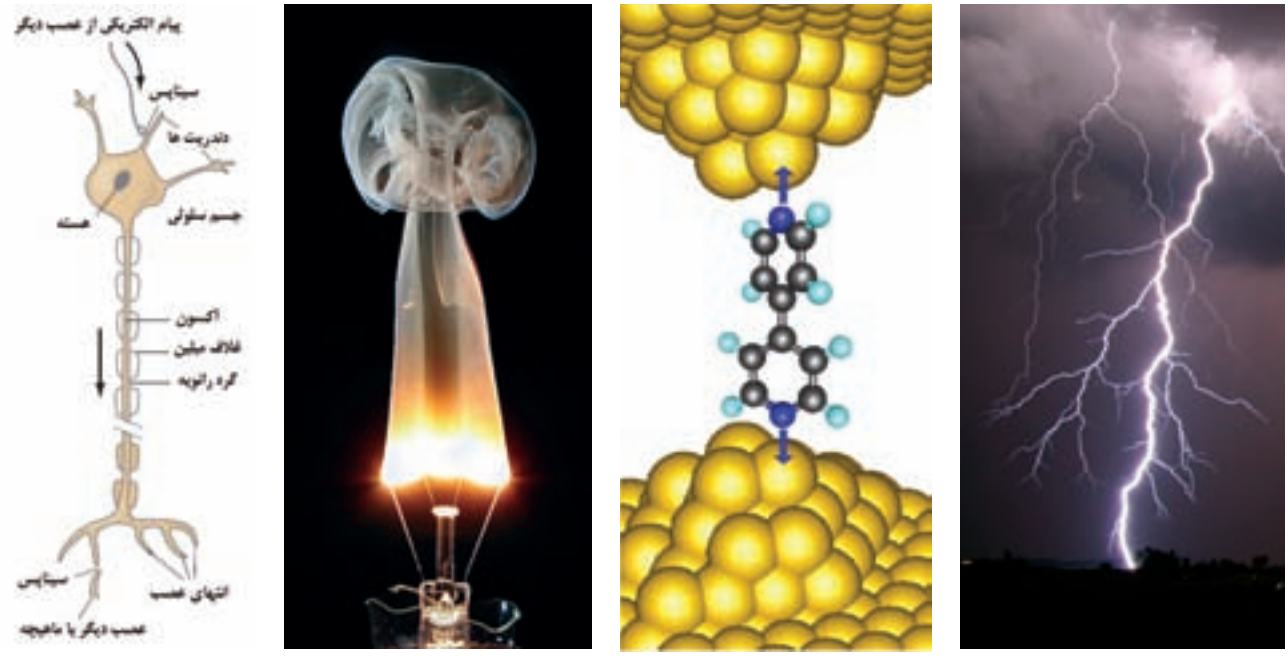

۲-۱ بار الکتریکی
۲-۲ خواص الکتریکی مواد
۲-۳ باردار ساختن ماده
۲-۴ قانون کولن
۲-۵ میدان الکتریکی
۲-۶ انرژی پتانسیل الکتریکی
۲-۷ خازن
پرسش‌های فصل ۲

# 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).

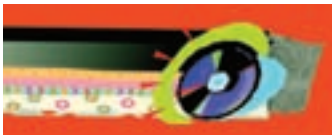
امروزه می‌گوییم که کهربا **بارالکتریکی** خالص به دست می‌آورد یا باردار می‌شود.[۱] شما نیز می‌توانید با مالش یک شانه یا خط‌کش پلاستیکی با تکه‌ای پارچه‌ی پشمی و سپس نزدیک کردن آن به خرده‌های کاغذ این تجربه را انجام دهید (شکل ۲-۳).

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.

**شبیه سازی**

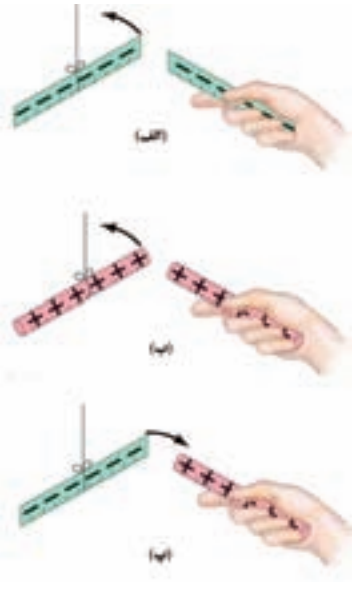
- آذرخش



**بیش تر بدانید**

- بار الکتریکی کوانتیده است.
- آذرخش

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



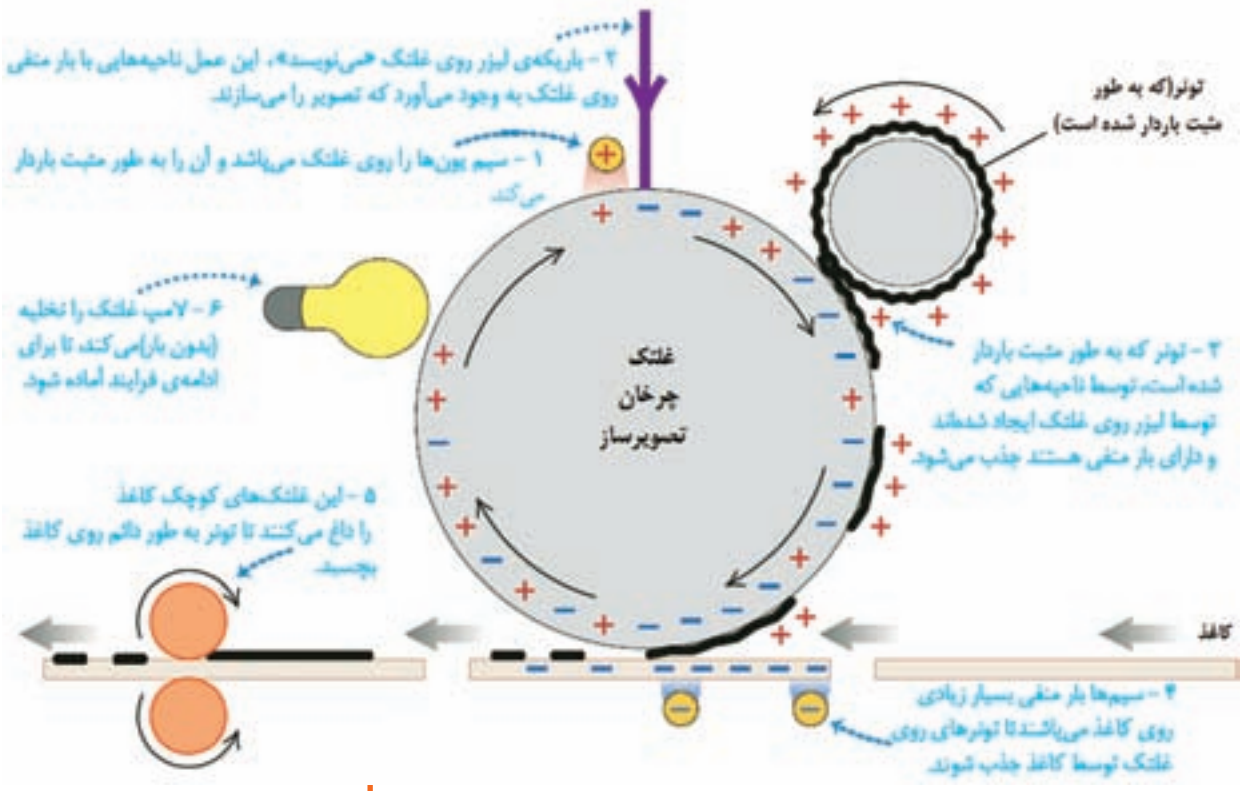
شکل ۲-۴

## 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.

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

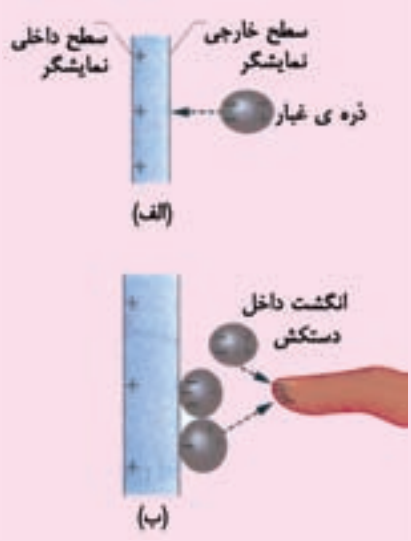
### بار الکتریکی و آلودگی میکروبی

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.

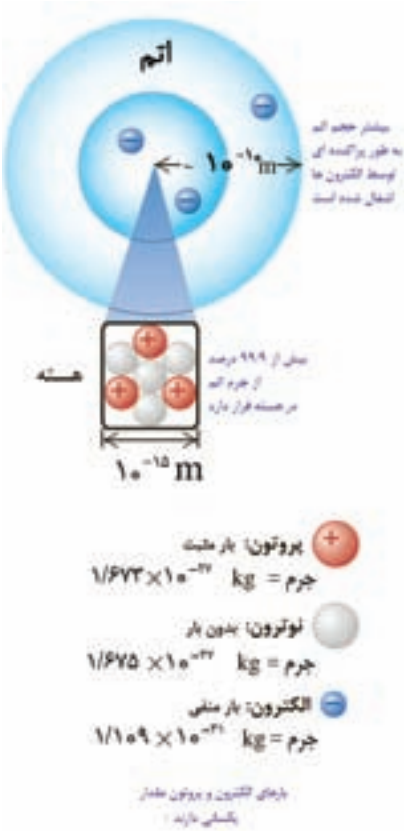
آلودگی مشابهی می‌تواند با پیش‌بندهای پلاستیکی‌ای رخ دهد که معمولاً کارکنان برای مصون داشتن خود از خون بیماران، می‌پوشند. این پیش‌بندها موقع کنده شدن یا موقعی که مدام به لباس‌های زیر یا پوست بدن مالش پیدا می‌کنند، به خصوص در هوای خشک، به میزان زیادی باردار می‌شوند. وقتی یک پیش‌بند باردار می‌شود، می‌تواند 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. **اتم‌ها** از **پروتون‌ها** با بار مثبت، **الکترون‌ها** با بار منفی، و **نوترون‌ها** که از لحاظ الکتریکی خنثی هستند تشکیل شده‌اند. پروتون‌ها و نوترون‌ها در یک **هسته‌ی** مرکزی به طور محکمی تنگ هم قرار گرفته‌اند (شکل ۲-۶). هرگاه هسته را کروی فرض کنیم، قطرآن‌حدود $10^{-15}$ m است.در شکل ۲-۶ ساختار یک اتم، در اینجا اتم لیتیوم نشان داده شده است.




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

خارج از هسته و به فاصله‌ی $10^{-10}$ m از آن، الکترون‌ها قرار دارند. اگر محیط اتم چندین کیلومتر می‌بود، هسته‌ها به اندازه‌ی یک توپ تنیس می‌شدند.

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).

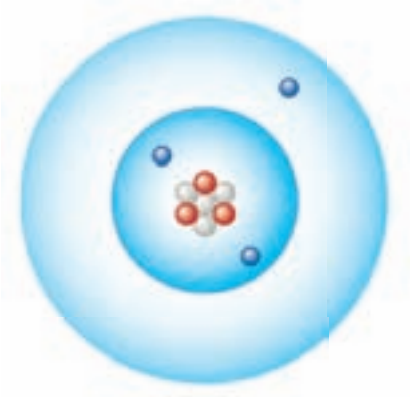
**یون منفی** اتمی است که یک یا چند الکترون اضافی دریافت کرده باشد (شکل ۲-۷ پ). دریافت کردن یا از دست دادن الکترون‌ها توسط اتم را یونش (یونیده شدن) می‌نامند.

### بیش تر بدانید

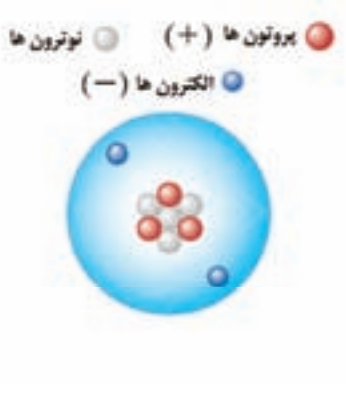
- بنجامین فرانکلین (۱۷۹۰-۱۷۰۶) واژه‌ها و علامت‌های «مثبت» و «منفی» برای بار الکتریکی به طور دلخواه توسط ایشان انتخاب شدند.
- آشنایی با اتم و اجزای سازنده‌ی آن

### شبیه سازی

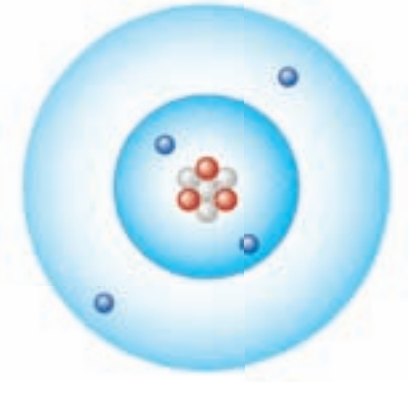
- ساختار ماده



(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

هر جسم مادی شامل تعداد بی‌شماری ذره‌ی باردار است: پروتون‌ها با بار مثبت در هسته‌ی اتم‌ها و الکترون‌ها با بار منفی در خارج از هسته. معمولاً جسم همان تعداد الکترون دارد که پروتون، در نتیجه، به لحاظ الکتریکی خنثی است.

اما اگر اندکی بی توازنی در این تعداد وجود داشته باشد، جسم به لحاظ الکتریکی باردار می‌شود. این بی توازنی دربیش‌تر موارد بر اثر اضافه و کم کردن الکترون به جسم به وجود می‌آید. گرچه الکترون‌ها نزدیک به هسته‌ی اتم، یعنی درونی‌ترین الکترون‌ها، با هسته‌ی اتم که دارای بار مخالف است پیوند محکمی دارند، ولی پیوند الکترون‌های دور از هسته با آن بسیار ضعیف است و به راحتی از جا کنده می‌شوند. انرژی لازم برای جدا کردن الکترون از اتم از ماده‌ای به ماده‌ی دیگر فرق می‌کند. مثلاً، پیوند الکترون‌ها در پارچه‌ی ابریشمی محکم‌تر از پیوند آن‌ها در میله‌ی شیشه‌ای است. بنابراین وقتی میله‌ی شیشه‌ای را با پارچه‌ی ابریشمی مالش می‌دهیم الکترون‌ها از میله‌ی شیشه‌ای به پارچه‌ی ابریشمی منتقل می‌شوند (شکل ۲-۸). 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

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

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. پایستگی بار از شالوده‌های فیزیک و درجه‌ی اهمیت آن در سطح پایستگی انرژی است.

## ۲-۲ خواص الکتریکی مواد

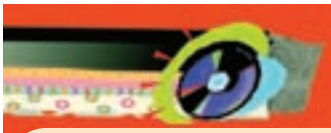
مواد را به طور کلی می‌توانیم بر حسب قابلیت حرکت بار الکتریکی در آن‌ها به چهار رده‌ی **رساناها، عایق‌ها، نیمرساناها و ابررساناها** دسته‌بندی کنیم.

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.



**شبیه سازی**

- بار دار کردن بادکنک به روش مالش
- نزدیک کردن یک میله‌ی باردار به کره‌ی آویزان بدون بار
- باردار کردن یک رسانا

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).

شکل ۲-۱۰ لایه‌های باریک مواد نیمرسانای ساندویچ شده ترانزیستورها را تشکیل می‌دهند. میلیون‌ها ترانزیستور با فناوری ساخت کم‌تر از ۱۰۰ نانومتر روی تراشه‌ی این پردازنده قرار داده شده اند.

### 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 بر قرار کنید.

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

برخی از مواد در دماهای بسیار کم ویژگی شگفت انگیزی 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 $-۲۷۰\ ^{\circ}C$) در سال ۱۹۱۱ کشف شد. در سال۱۹۸۷، ابر رسانایی در دمای «بالا» (بالاتر از $-۱۷۰^{\circ}C$) 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 $-۳۰\ ^{\circ}C$ هستند. [۱]

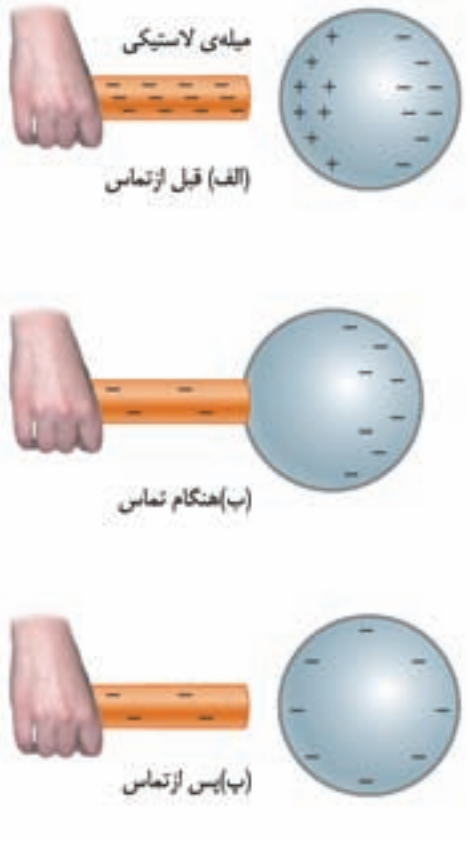
## ۲-۳ باردار ساختن ماده

همان طور که گفته شد می‌توان با انتقال الکترون از محلی به محل دیگر اجسام

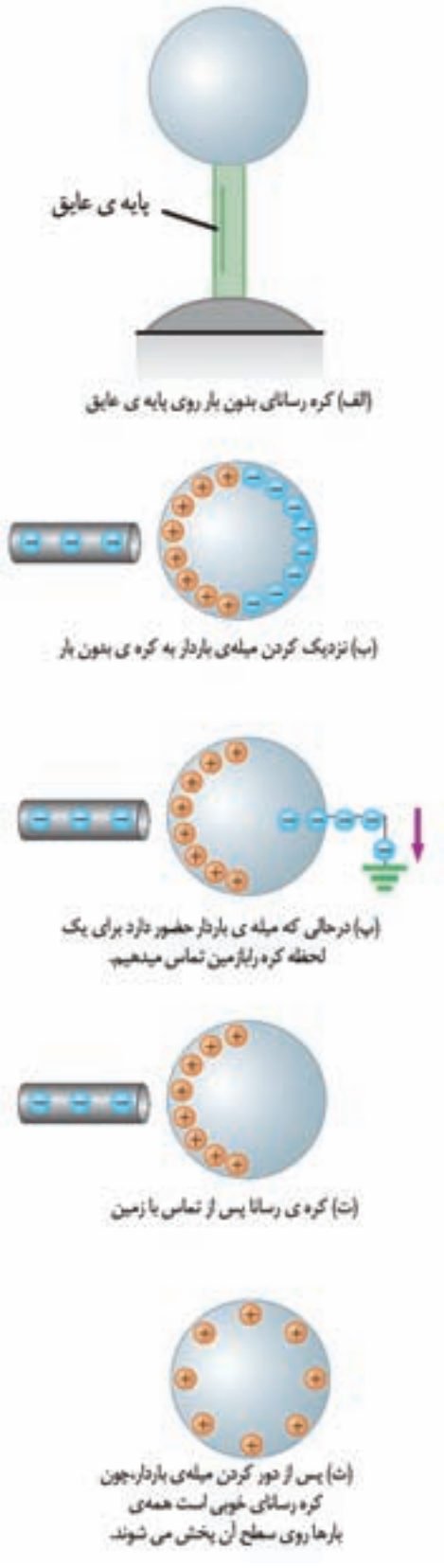
۱- برای دنبال کردن این موضوع می‌توانید به آدرس www.superconductors.org/news.htm بروید.

را باردار کرد. 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.

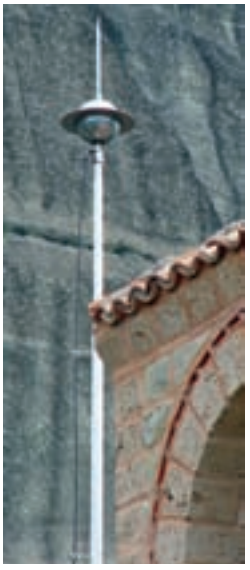
افزون بر باردار کردن اجسام با مالش و تماس، به روش القایی نیز می‌توان یک جسم را باردار کرد. شکل ۲–۱۲ کره‌ی رسانای بدون باری را نشان می‌دهد که توسط یک میله‌ی پلاستیکی باردار، در پنج مرحله باردار شده است. توجه کنید که در باردار کردن القایی، میله‌ی باردار هرگز کره‌ی فلزی را لمس نکرده است و میله بار اولیه‌ی خود را حفظ می‌کند.




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.




شکل ۲–۱۲



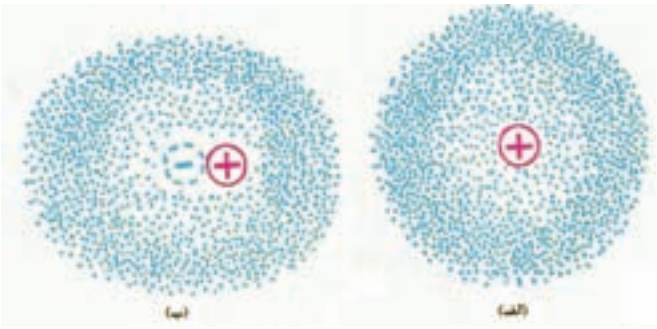
شکل ۲-۱۳ میله‌ی برق‌گیر به سیم مقاومی متصل است و می‌تواند در صورت برخورد آذرخش به آن جریان زیادی را به زمین هدایت کند.

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).

## قطبش بارهای الکتریکی

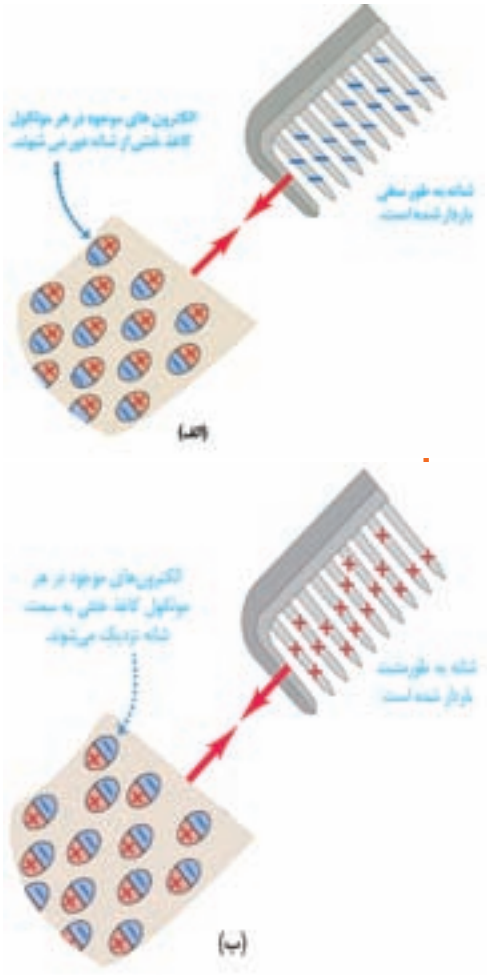
ممکن است تاکنون این پرسش برایتان مطرح شده باشد که: «چرا شانه‌ی پلاستیکی باردار، تکه‌های کاغذ بدون بار را به طرف خود می‌کشد؟(شکل ۲-۱۴).» برای پاسخ به این پرسش باید توجه کنیم که باردار کردن القایی تنها به رساناها محدود نمی‌شود. وقتی میله‌ای باردار به عایقی نزدیک شود، چون الکترون آزادی وجود ندارد تا در 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؟



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.

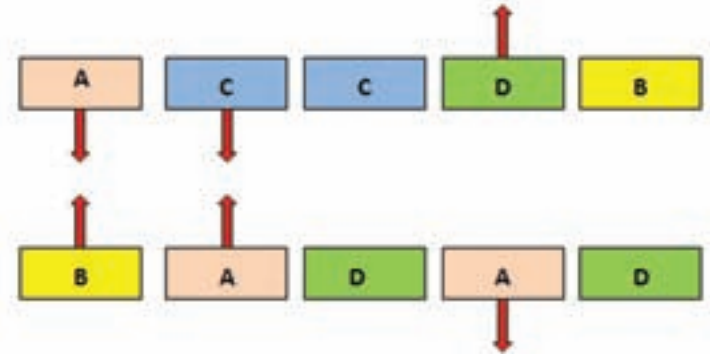
شکل ۲-۱۶ جذب تکه‌های کاغذ را، که به لحاظ الکتریکی خنثی هستند، توسط شانه‌ای که به طور منفی (یا مثبت) باردار شده است نشان می‌دهد. گاهی برخی از تکه‌های کاغذ پس از چسبیدن به شانه، ناگهان به سرعت از آن جدا می‌شوند. این دافعه از آن رو به وجود می‌آید که تکه‌های کاغذ بر اثر تماس با شانه دارای باری با همان علامت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



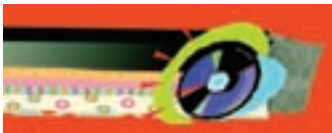
شکل ۲-۱۶ (الف) شانه‌ای که به طور منفی باردار شده است و (ب) شانه‌ای که به طور مثبت باردار شده است تکه‌های کاغذ بدون بار را جذب می‌کند، زیرا نیروی جاذبه‌ی بار نزدیک به آن بزرگ‌تر از نیروی دافعه‌ی بار دورتر است.

## 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

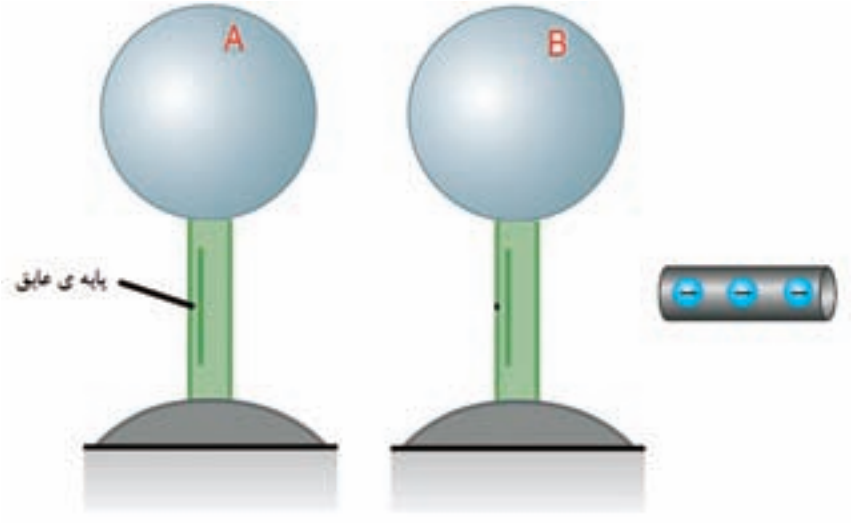


**آزمایشگاه مجازی**

- قانون کولن
- نیروی جاذبه‌ی الکتریکی
- نیروی دافعه‌ی الکتریکی

## فعالیت عملی 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

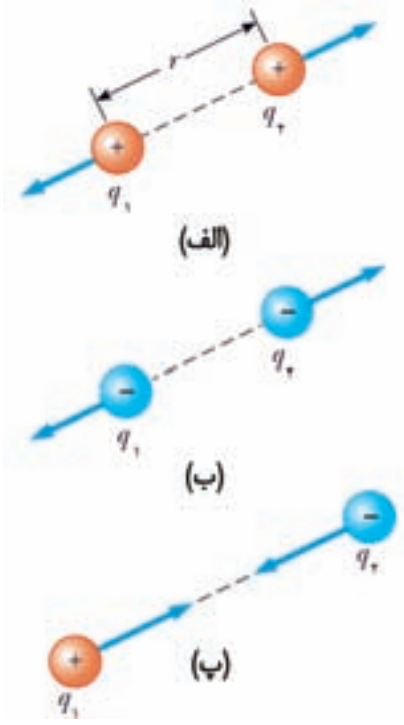
## ۲-۴ قانون کولن

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.

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

که در آن $k$ ثابت تناسب یا ثابت الکتروستاتیکی خوانده می‌شود و مقدار آن تقریباً




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.

برابر است با

$$k = ۹\times۱۰^{۹}\ \mathrm{N.m^{۲}/C^{۲}}$$

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

**توجه:** در رابطه‌ی $F = k\dfrac{|q_۱q_۲|}{r^{۲}}$ ، نیروی $F$ ، بزرگی نیرویی است که یکی از ذره‌ها به ذره‌ی دیگر وارد می‌کند. همچنین $|q_۱q_۲|$ بزرگی حاصل ضرب بار ذره‌هاست.

### 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

$$q_۱ = q_۲ = ۱\ \mathrm{C} \quad , \quad r = ۱\ \mathrm{m}$$

به این ترتیب با توجه به قانون کولن خواهیم داشت

$$F = k\frac{|q_۱q_۲|}{r^{۲}}$$

$$= (۹\times۱۰^{۹}\ \mathrm{N.m^{۲}/C^{۲}})\frac{|(۱\mathrm{C})(۱\mathrm{C})|}{(۱\mathrm{m})^{۲}}$$

$$= ۹\times۱۰^{۹}\mathrm{N}$$

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 $۱/۶\times۱۰^{-۱۹}\mathrm{C}$ است.

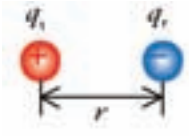
### مثال ۲–۲

## نیروی بین دو بار نقطه‌ای

دو ذره‌ی باردار، $q_۱ = +۲۵\mathrm{nC}$ و $q_۲ = -۷۵\mathrm{nC}$ به فاصله‌ی $۳\mathrm{cm}$ از یکدیگر قرار دارند (شکل ۲–۲۰). مطلوب است بزرگی و جهت نیرویی که

(الف) بار $q_۱$ به $q_۲$ وارد می‌کند.

(ب) بار $q_۲$ به $q_۱$ وارد می‌کند.




شکل ۲–۲۰ دو ذره‌ی باردار

**بیش تر بدانید**

شارل آگوستین کولن

(۱۷۳۶–۱۸۰۶)

فیزیکدان فرانسوی که با اختراع ترازوی پیچشی رابطه‌ی بین ذره‌های باردار را کشف کرد.

ترازوی پیچشی کولن

**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

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

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

$$F_{12} = k\frac{|q_1 q_2|}{r^2}$$
$$= (9\times10^9\ \text{N.m}^2/\text{C}^2)\frac{|(25\times10^{-9}\ \text{C})(-75\times10^{-9}\ \text{C})|}{(3\times10^{-2}\ \text{m})^2}$$
$$= 0/019\text{N}$$

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

(ب) به طور مشابه می‌توان نشان داد که بزرگی نیرویی را که $q_2$ به $q_1$ وارد می‌کند، $F_{21}$، برابر $0/019\text{N}$ 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.

(الف) نمودار نیروی وارد به بار $q_2$ (ب) نمودار نیروی وارد به بار $q_1$

شکل ۲-۲۱

## مثال مفهومی ۲-۳

دو بار نقطه‌ای $-q$ و $+4q$ مطابق شکل ۲-۲۲ 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 ۲-۲۲ الف

**پاسخ:** چون بار الکترون منفی است، نیرویی که بار $q-$ بر آن وارد می‌کند دافعه و نیرویی که بار $۴q+$ بر آن وارد می‌کند جاذبه است.

**حالت اول:** اگر الکترون در سمت چپ بار $۴q+$ 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 $۴q+$ 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.

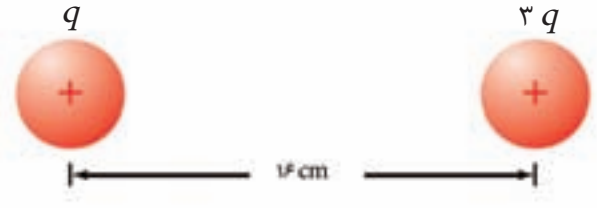
**حالت سوم:** اگر الکترون در طرف راست بار $q-$ قرار گیرد، نیروی الکتریکی ناشی از بار $۴q+$ به طرف چپ (جاذبه) و نیروی ناشی از بار $q-$ به طرف راست (دافعه) است.

در شکل ۲-۲۲ب 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 ۲-۲۲ ب

## تمرین ۲-۱

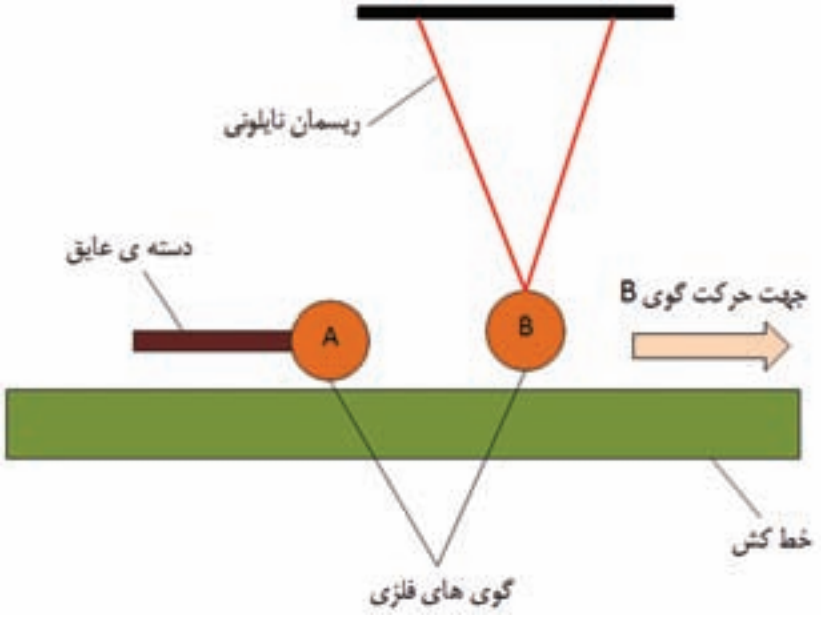
دو ذره‌ی باردار مثبت $q$ و $۳q$ به فاصله‌ی ۱۶cm از یکدیگر قرار دارند (شکل ۲-۲۳). بزرگی نیروی دافعه‌ای که هر ذره به ذره‌ی دیگر وارد می‌کند ۰/۲۸N است. بار هر ذره چقدر است؟




شکل ۲-۲۳

## فعالیت عملی 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

## ۲-۵ میدان الکتریکی

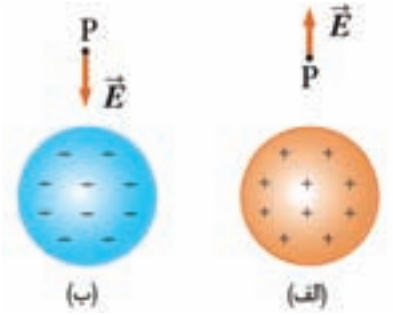
برای بیان مفهوم میدان الکتریکی، نیروی دافعه‌ی موجود بین دو جسم باردار A و B را در نظر بگیرید (شکل ۲-۲۶ الف). به نیروی وارد بر B که در شکل با $\vec{F}_e$ نشان داده شده است توجه کنید. اکنون پرسش‌هایی مطرح می‌شود که: چطور جسم A می‌تواند بر جسم B نیرو وارد کند با وجود این که این دو جسم با یکدیگر در تماس 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؟

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

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 $q_0$، 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

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_0}{q_0} \qquad (۲-۲)$$

به این ترتیب بزرگی میدان الکتریکی $\vec{E}$ در نقطه‌ی P برابر با $E = F_0/q_0$ و جهت $\vec{E}$ در همان جهتی است که نیروی $\vec{F}_0$ 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.

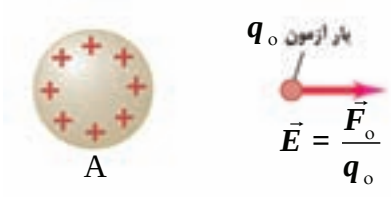
یکای میدان الکتریکی در SI، نیوتون بر کولن(N/C)است. جدول ۲-۱ بزرگی میدان‌های الکتریکی‌ای را نشان می‌دهد که در چند وضعیت فیزیکی ظاهر می‌شوند.

جدول ۲-۱ بزرگی میدان‌های الکتریکی در چند وضعیت فیزیکی

| محل | مقدار (N/C) |
|---|---|
| فضای بین سیاره‌ای | $10^{-3}$ تا $10^{-2}$ |
| جو نزدیک به سطح زمین (در هوای پاک) | ۱۰۰ تا ۲۰۰ |
| در نزدیکی غلتک یک چاپگر لیزری | $10^5$ |
| فرو شکست الکتریکی در هوای خشک | $3\times10^6$ |
| درون اتم در مدارهای الکترونی | $10^9$ |
| روی سطح هسته‌ی اورانیوم | $3\times10^{21}$ |

(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

**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 نقطه ی 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

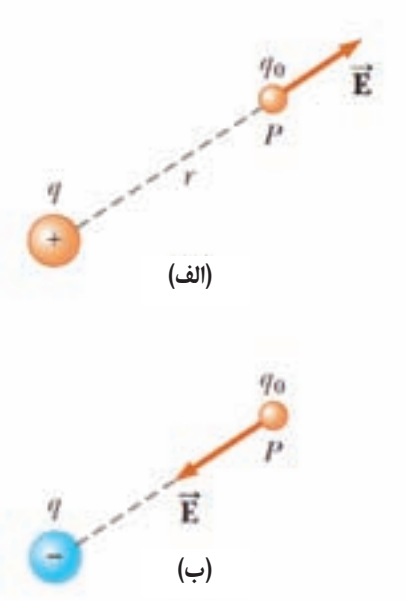
برای یافتن میدان الکتریکی حاصل از بار نقطه‌ای (یا ذره‌ی باردار) $q$ در هر نقطه‌ای به فاصله‌ی $r$ از آن بار نقطه‌ای، یک بار آزمون $q_0$ را در آن نقطه قرار می‌دهیم. با استفاده از قانون کولن، بزرگی نیروی الکتریکی وارد بر $q_0$ چنین می‌شود

$$F = k\frac{|q\,q_0|}{r^2}$$

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:

$$E = \frac{F}{q_0} = k\frac{|q|}{r^2} \qquad (۲-۳)$$




شکل ۲-۲۸ بار آزمون $q_0$ 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.

### 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:

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

$$= (۹\times۱۰^۹\ \text{N.m}^2/\text{C}^2)\frac{|۴\times۱۰^{-۹}\text{C}|}{(۲\,\text{m})^2}$$

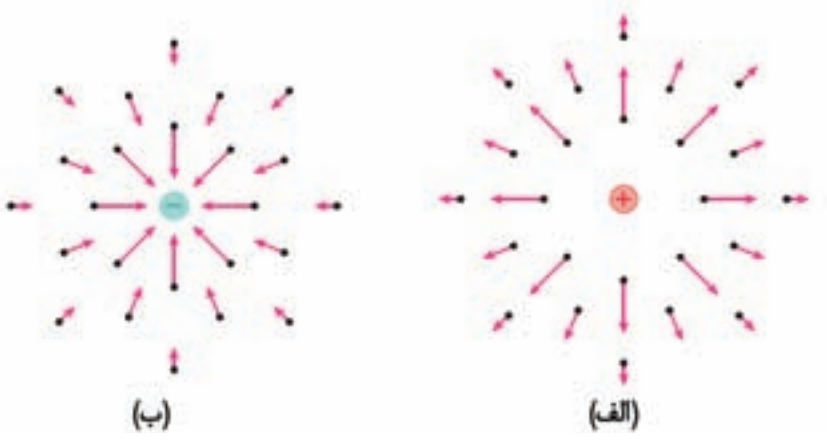
$$= ۹\,\text{N/C}$$

### مثال مفهومی ۲-۵

بنا بر رابطه‌ی (۲-۳)، بزرگی میدان الکتریکی در اطراف یک بار نقطه‌ای مثبت یا منفی، با عکس مجذور فاصله $\frac{۱}{r^2}$ 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.



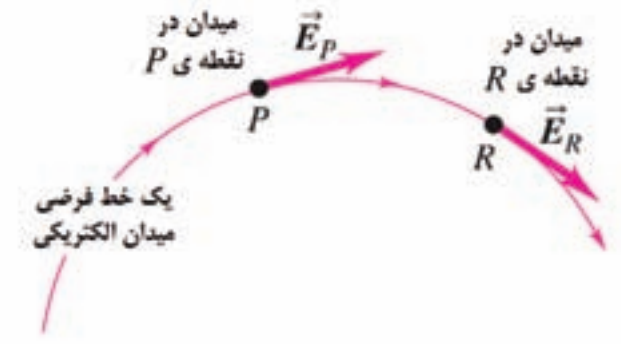

شکل ۲-۲۹

## تمرین ۲-۲

در چه فاصله‌ای از بار نقطه‌ای $-۶\,\mu C$، بزرگی میدان الکتریکی $۶N$ 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.

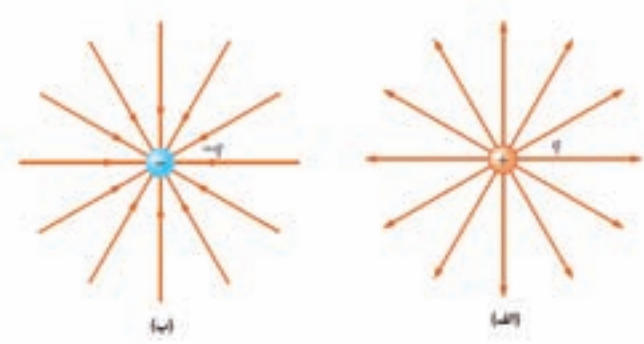



شکل ۲-۳۰ جهت میدان الکتریکی در هر نقطه بر خط میدانی که از نقطه می‌گذرد مماس است.

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.

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



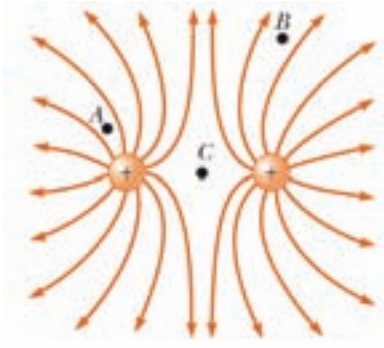
شکل ۲-۳۱ رسم خط‌های میدان الکتریکی (الف) اطراف بار نقطه $+q$ (ب) در اطراف بار نقطه‌ای $+q$.

نشان می‌دهیم که از بار مثبت سرچشمه می‌گیرند و به بار منفی ختم می‌شوند. شکل ۲-۳۲ خط 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.

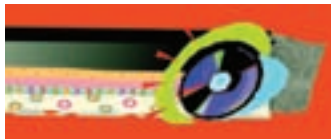
### مثال مفهومی ۲-۶

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.



### آزمایشگاه مجازی و شبیه‌سازی

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

## مطالعه‌ی آزاد

## فروریزش الکتریکی و تخلیه‌ی جرقه‌ای

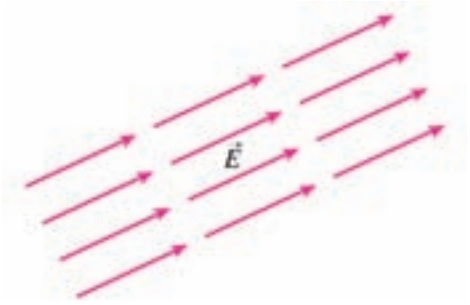
اگر بزرگی میدان الکتریکی در هوا از یک مقدار حدّی معین $E_C$ فراتر رود، هوا دستخوش **فروریزش الکتریکی** می‌شود، فرایندی که بر اثر آن میدان الکتریکی، الکترون‌ها را از اتم‌های موجود در هوا جدا می‌کند. پس از آن است که هوا شروع به رسانش جریان الکتریکی می‌کند، زیرا این الکترون‌های آزاد شده توسط میدان الکتریکی 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

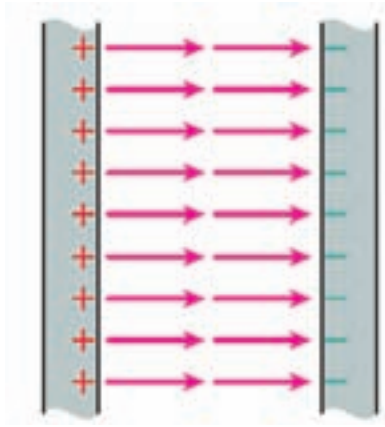
شکل ۲-۳۴ میدان الکتریکی‌ای را نشان می‌دهد که بزرگی و جهت آن در هر نقطه یکسان است. این میدان، **میدان الکتریکی یکنواخت** خوانده می‌شود.

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




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

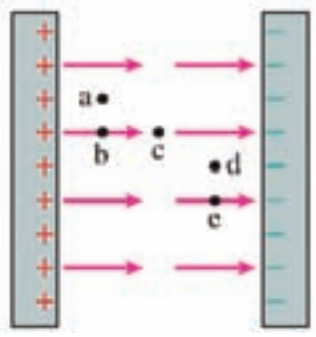
ساده‌ترین راه برای ایجاد میدان الکتریکی یکنواخت، استفاده از دو ورقه‌ی موازی باردار است که بار آن‌ها مساوی و مخالف یکدیگرند (شکل ۲-۳۵).



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

### مثال مفهومی ۲-۷

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.




شکل ۲-۳۶

**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.

### شبیه سازی

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.

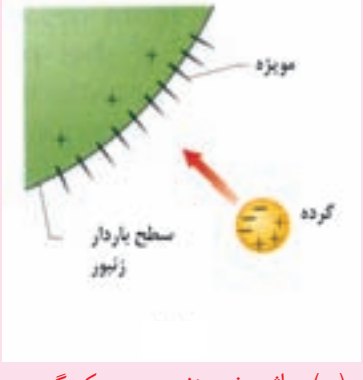
## مطالعه‌ی آزاد

### 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.

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.

(الف) اجزای بساک و کلاله‌ی یک گل



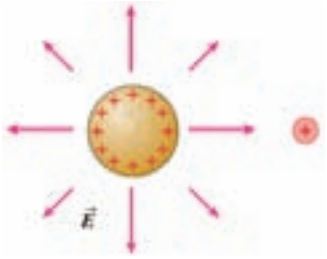

(ب) بر اثر حضور زنبور، روی یک گرده در نزدیکی بساک، بار القا شده است.

(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.



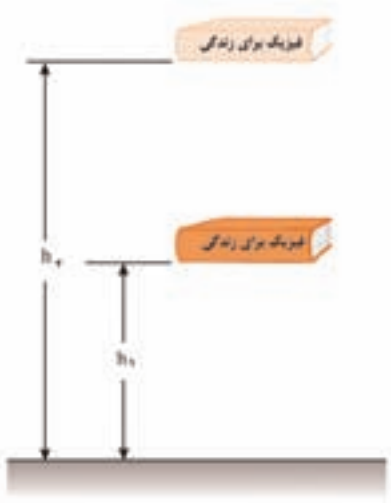

(ب)

(الف)

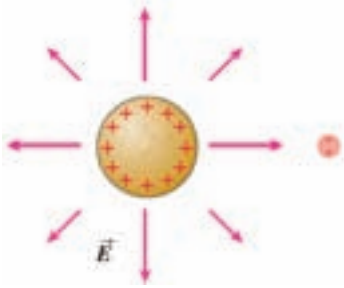
شکل ۲-۳۸ (الف) ذره‌ای با بار الکتریکی کوچک در نزدیکی کره‌ای با بار مثبت و (ب) برای حرکت ذره‌ی باردار در خلاف جهت میدان الکتریکی کره، باید انرژی مصرف شود. انرژی مصرف شده به صورت انرژی پتانسیل الکتریکی در ذره ذخیره می‌شود. (توجه کنید که، میدان الکتریکی ذره‌ی باردار نسبت به میدان الکتریکی کره‌ی باردار بسیار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

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




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.




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.

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

$$V = \frac{U}{q} \qquad (۴-۲)$$

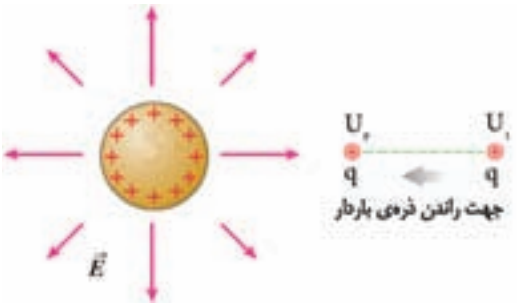
اگر ذره‌ی باردار $q$ را با صرف انرژی از نقطه‌ی (۱) به نقطه‌ی (۲) هُل دهیم (شکل ۲-۴۰)، انرژی پتانسیل الکتریکی آن از مقدار $U_1$ به مقدار $U_2$ و در نتیجه پتانسیل الکتریکی آن از $V_1$ به $V_2$ تغییر می‌یابد. بنابراین می‌توان نوشت:

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

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

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

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




شکل ۲-۴۰ هنگام هُل دادن ذره‌ی باردار $q$ برخلاف میدان الکتریکی کره‌ی با بار مثبت، انرژی پتانسیل الکتریکی آن از مقدار $U_1$ به $U_2$ مقدار 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؟

### بیش تر بدانید

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

### 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.

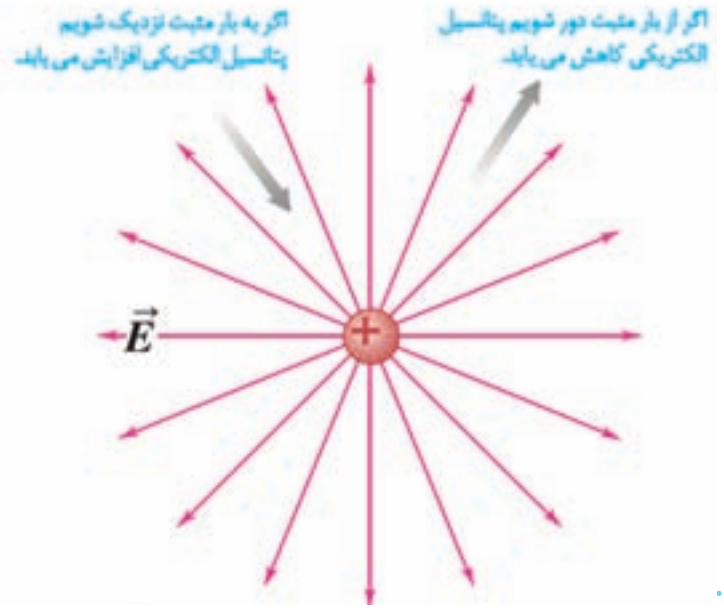
- آشنایی با وان دوگراف
- آزمایش با وان دوگراف

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

**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 $1\mu C$ 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. بین انرژی پتانسیل الکتریکی و پتانسیل الکتریکی تفاوت مهمی وجود دارد.

## 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 $5000V$ 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 خازن

انرژی الکتریکی را می‌توان در وسیله‌هایی موسوم به **خازن** ذخیره کرد، که تقریباً در تمام مدارهای الکترونیکی وجود دارند (شکل ۲-۴۳). 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.

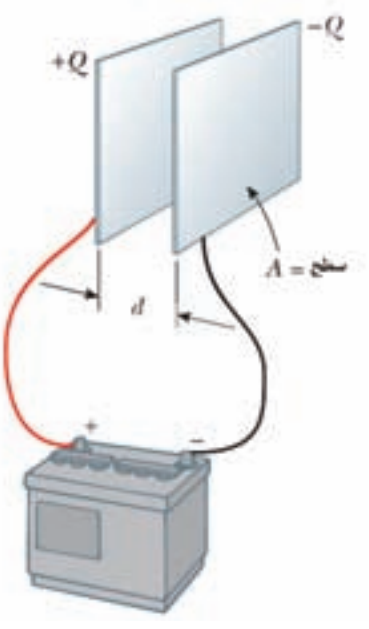
شکل ۲-۴۳ خازن‌ها یکی از مهم‌ترین اجزای مدارهای الکتریکی و الکترونیکی هستند که آن‌ها را به شکل‌ها و اندازه‌های مختلفی می‌سازند.

### 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 ۲-۴۴، 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




شکل ۲-۴۴ 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.

آن صورت می‌گیرد. در واقع، این الکترون‌ها از طریق باتری و پایانه‌ی منفی آن به صفحه‌ی مقابل آن پمپ شده‌اند.

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.

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 $\Delta V$ 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.

### 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 خازن

خازن شارژ شده هنگامی تخلیه می‌شود که مسیر رسانایی بین دو صفحه‌ی آن وجود داشته باشد (شکل ۲-۴۵). تخلیه‌ی خازن، در صورتی که در مسیر جریان حاصل از آن قرار بگیرید، ممکن است تجربه‌ای تکان دهنده باشد. انتقال انرژی حاصل در صورت

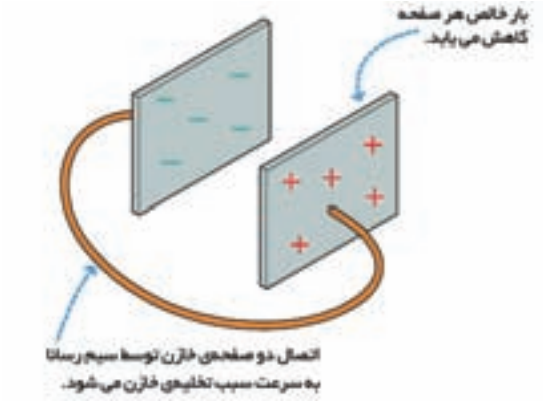
وقتی یکی از کلیدهای صفحه کلید رایانه‌ای فشرده می‌شود، در واقع فاصله‌ی بین صفحه‌های یک خازن تخت کاهش می‌یابد. این امر سبب افزایش ظرفیت خازن و در نتیجه منجر به کشیدن جریان الکتریکی لحظه‌ای از منبع تغذیه برای شارژ کامل می‌شود. مقدار این جریان لحظه‌ای برای هر کلید به گونه‌ای هماهنگ شده است که سبب ارسال پیام درج شده روی کلید مورد نظر به پردازنده می‌شود.

### آزمایش کنید

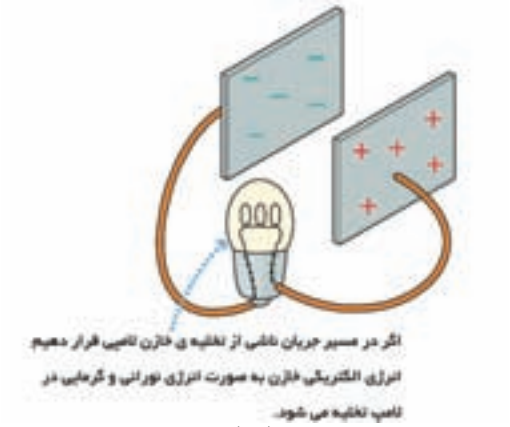
ابتدا با مشاهده‌ی آزمایش‌های زیر از روی CD ضمیمه، وسیله‌های مورد نیاز هر آزمایش را فراهم کنید و آن‌ها را به طور گروهی در کلاس انجام دهید. بین مشاهده‌های خود و مفاهیمی که فرا گرفته‌اید، ارتباط برقرار کنید.

- ساخت خازن تخت
- باردار کردن و تخلیه‌ی خازن

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 ۲-۴۵ (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.

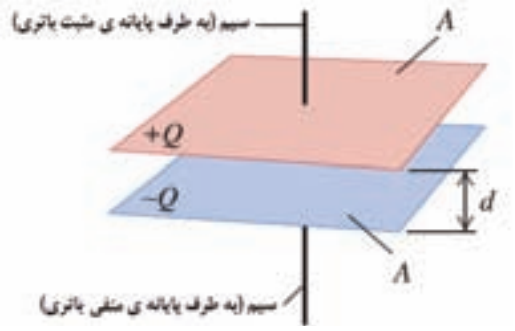
## ظرفیت خازن تخت

شکل ۲-۴۶ خازن تختی را نشان می‌دهد که در فضای بین صفحه‌های آن هوا (یا خلأ) قرار دارد. ظرفیت این خازن تنها به عامل‌های هندسی، یعنی مساحت $A$ هر صفحه و فاصله‌ی جدایی صفحه‌ها $d$، بستگی دارد و از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

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

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 ۲-۴۶ 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.

**بیش تر بدانید**

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

## مثال ۲-۱۱

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

الف) ظرفیت خازن چقدر خواهد شد؟

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

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

$$C=\varepsilon_o\frac{A}{d}$$

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

$$=۱/۷۷\times۱۰^{-۱۲}F=۱/۷۷pF$$

ب) از رابطه‌ی (۲-۶) می‌توان نوشت:

$$Q=C\Delta V$$

$$=(۱/۷۷\times۱۰^{-۱۲}\ F)(۳V)$$

$$=۵/۳۱\times۱۰^{-۱۲}C\ =۵/۳۱pC$$

# پرسش‌های فصل ۲

## پرسش‌های مفهومی

۱- شانه یا میله‌ای پلاستیکی را به موهایتان یا یک لباس پشمی مالش دهید و آن را به جریان آب مختصر و همواری نزدیک کنید (شکل ۲-۴۷).چرا جریان آب منحرف می‌شود؟

شکل ۲-۴۷

۲- 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.

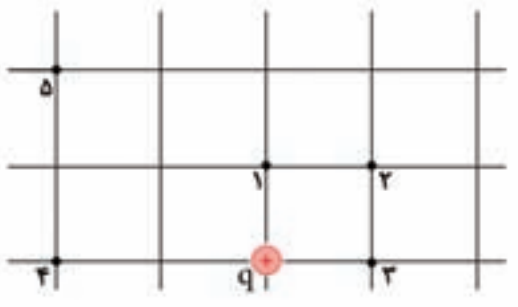
۳- چرا وقتی CD با پارچه‌ی خشک یا دستمال کاغذی تمیز می‌شود گرد و خاک جذب می‌کند؟

۴- دوبار نقطه‌ای $+q$ و $+4q$ روی محور x قرار دارند (شکل ۲-۴۸). 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 ۲-۴۸

۵- در هر یک از نقطه‌های ۱ تا ۵ روی شکل ۲-۴۹، 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.

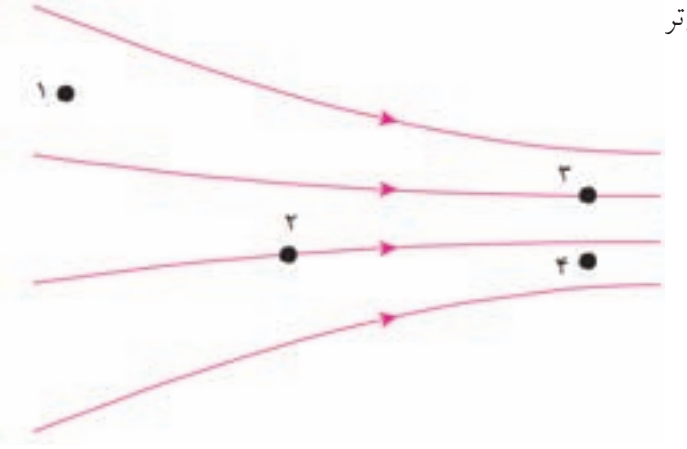



شکل ۲-۴۹

۶- سه بار نقطه‌ای مطابق شکل در رأس یک مثلث متساوی‌الاضلاع قرار دارند (شکل ۲-۵۰). بردار میدان الکتریکی برایند ناشی از سه بار را در نقطه‌ی P (میان خط واصل دوبار) رسم کنید.

شکل ۲-۵۰

۷- بزرگی میدان الکتریکی را در هر یک از نقطه‌های ۱ تا ۴ شکل (۲-۵۱)، به ترتیب از بیش‌تر



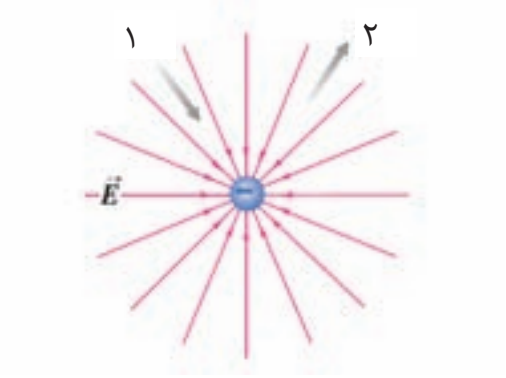

شکل ۲-۵۱

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

الف) بار $Q$ روی آن دو برابر شود.

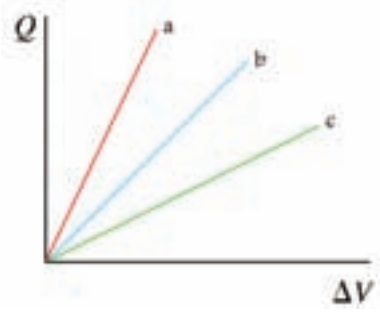
ب) ولتاژ دو سر آن سه برابر شود.
پ) فاصله‌ی بین صفحه‌های آن کاهش یابد.

۹- شکل ۲-۵۲ 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 ۲-۵۲

۱۰- شکل ۲-۵۳ 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؟




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

## مسئله‌ها

۱- ذره‌های $\alpha$ (آلفا) از جنس هسته‌ی اتم هلیوم هستند و از دو پروتون و دو نوترون تشکیل شده‌اند. به این ترتیب بار هر ذره‌ی $\alpha$ برابر $2e$ یا $3/2\times10^{-19}\,C$ است. اگر فاصله‌ی دو ذره‌ی $\alpha$ از یکدیگر برابر $10^{-10}\,m$ باشد، بزرگی نیروی الکتریکی وارد بر هر ذره چقدر است؟

۲- بار دو گلوله‌ی کوچک پلاستیکی مثبت است. اگر فاصله‌ی بین آن‌ها $5cm$ باشد، بزرگی نیروی دافعه‌ی وارد بر هر بار برابر $0/1N$ 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 $3\times10^{2}\,N/C$ است. هرگاه غباری باردار با بار الکتریکی $0/2nC$ از نزدیکی سیم برق خانه بگذرد، نیروی الکتریکی وارد بر آن چقدر است؟

۴- در فاصله‌ی $0/1m$ از یک بار نقطه‌ای، بزرگی میدان الکتریکی $5000N/C$ است. اندازه‌ی بار الکتریکی چقدر است؟

۵- بار الکتریکی $q=-4\mu C$ از نقطه‌ای با پتانسیل الکتریکی $V_1=-50V$ به نقطه‌ای با پتانسیل الکتریکی $V_2=-20V$ جابه‌جا می‌شود. تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی این بار چقدر است؟

۶- هر قطره جوهر در جوهرافشان چاپگرهای صنعتی حامل بار $1/6\times10^{-10}\,C$ است و با نیروی $3/2\times10^{-4}\,N$ 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 $2C$ از ابر به زمین بفرستد، تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی ابر چقدر است؟

۸- یک خازن تخت دارای صفحه‌های دایره‌ای به شعاع $8/2cm$ و فاصله‌ی صفحه‌های $1/3mm$ است.

الف) ظرفیت این خازن را محاسبه کنید.

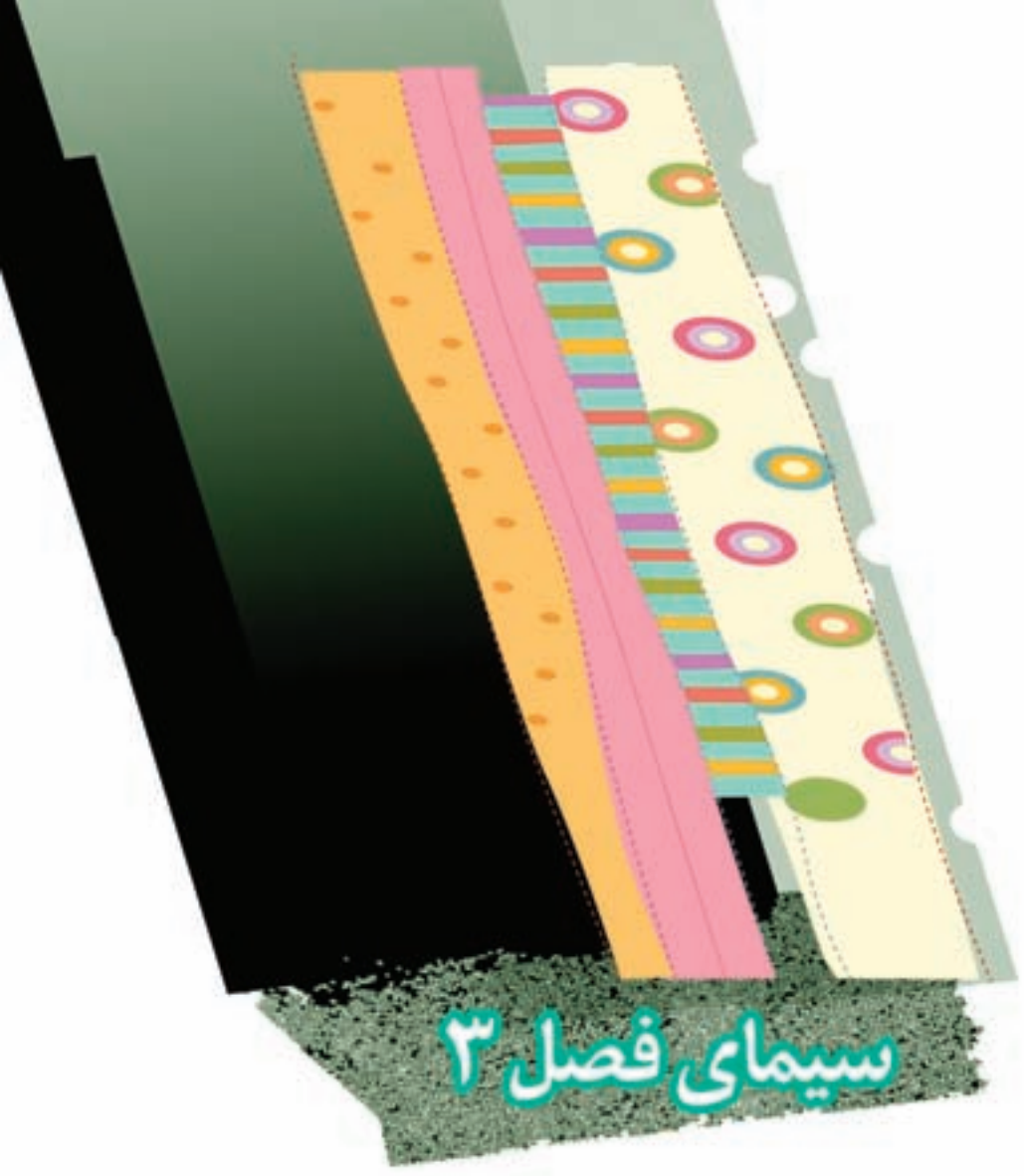
ب) اگر ولتاژ $120V$ به صفحه‌های این خازن اعمال شود، چقدر بار روی صفحه‌ها ظاهر می‌شود؟

۹- فلاش یک دوربین عکاسی با تخلیه‌ی خازنی به ظرفیت $10mF$ روشن می‌شود. اگر این خازن توسط یک باتری ۹ ولتی شارژ شده باشد، بار آن چقدر است؟

# فصل ۳

# جریان الکتریکی، مقاومت الکتریکی و مدارهای الکتریکی

امروزه مدارهای یکپارچه مهم‌ترین بخش از ابزارهای الکترونیکی نوین به حساب می‌آیند. اجزای مختلفی از قبیل ترانزیستور، دیود، خازن، مقاومت و سیم‌های با رسانش بسیار بالا در فضای کوچکی در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند و مدارهای یکپارچه را می‌سازند. فکر می‌کنید مهم‌ترین نکته برای این که این مدارها بدون کوچک‌ترین اشکالی کار کنند در چیست؟ پاسخ در همین فصل.




۳-۱ جریان الکتریکی
۳-۲ مقاومت و مقاومت ویژه‌ی الکتریکی
۳-۳ نیروی محرکه‌ی الکتریکی
۳-۴ مدارهای الکتریکی
پرسش‌های فصل ۳

# جریان الکتریکی، مقاومت الکتریکی و مدارهای الکتریکی

در فصل پیش درباره‌ی الکتریسیته‌ی ساکن، یا همان فیزیک بارهای ساکن، بحث کردیم. در آغاز این فصل به بررسی جریان‌های الکتریکی، یا بارهای در حال حرکت، خواهیم پرداخت. سپس با مقاومت و نقش آن در مدارهای الکتریکی هنگام عبور جریان آشنا خواهیم شد.

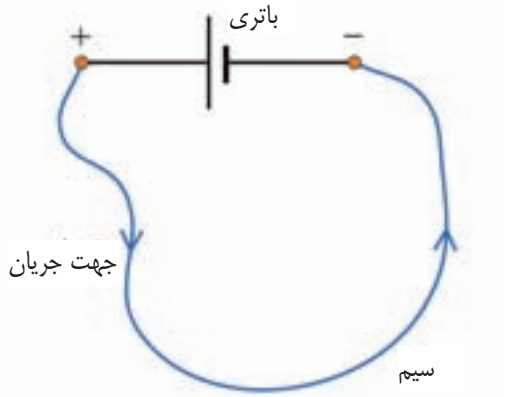
مثال‌های جریان‌های الکتریکی فراوان است وحرفه‌های زیادی با آن سروکار دارند. زیست‌شناسان، فیزیولوژیست‌ها و مهندسانی که در فناوری پزشکی کار می‌کنند با جریان‌های عصبی‌ای که ماهیچه‌ها را کنترل می‌کنند سروکار دارند. مهندسان برق با دستگاه‌های الکتریکی بی‌شماری، از قبیل دستگاه‌های مولد برق، دستگاه‌های محافظ آذرخش و دستگاه‌های توزیع برق سروکار دارند. مهندسان فضایی و مخابرات جریان ذرات باردار حاصل از خورشید را مطالعه می‌کنند، چرا که این جریان می‌تواند دستگاه‌های مخابراتی در مدار زمین یا حتی دستگاه‌های انتقال برق در زمین را مختل کند.

مهندسان رایانه در شاخه‌ی سخت‌افزار، با مدارهای یکپارچه و چگونگی کنترل جریان در اجزای این مدارها، ارتقای سرعت و کیفیت ذخیره‌سازی و بازخوانی اطلاعات و بسیاری دیگر از کارهای مرتبط با رایانه سروکار دارند.

## ۳-۱ جریان الکتریکی

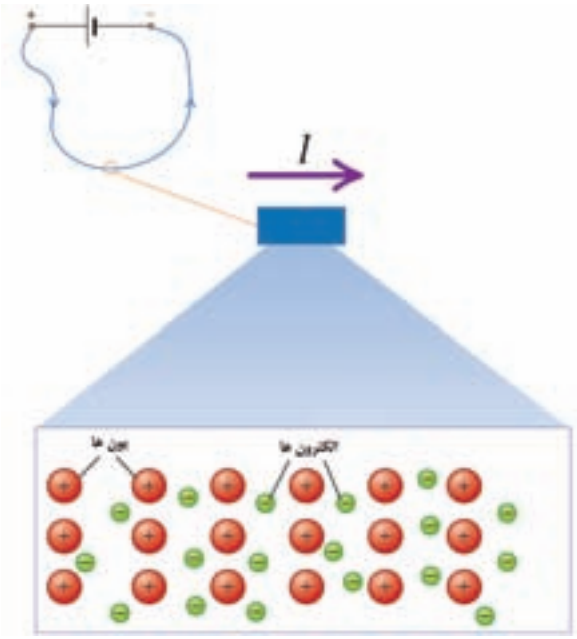
درست همان طور که جریان آب روان شدن مولکول‌های $H_2O$ است، **جریان الکتریکی** هم صرفاً روان شدن بار الکتریکی است. مثلاً، وقتی دو سر یک باتری را به

کمک سیم رسانایی به هم وصل می‌کنید جریانی در سیم برقرار می‌شود (شکل ۳–۱). جهت قراردادی جریان از پایانه‌ی مثبت باتری به طرف پایانه‌ی منفی است.

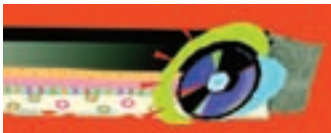



شکل ۳–۱ وقتی دو سر باتری توسط سیم رسانایی به هم وصل می‌شود جریان برقرار می‌گردد.

اما، این پرسش مطرح است که چه اتفاقی درون سیم رخ می‌دهد که سبب ایجاد جریان می‌شود؟ برای پاسخ به این پرسش به شکل ۳–۲ توجه کنید که بخش بسیار کوچکی از سیم رسانای فلزی مدار را در مقیاس اتمی نشان می‌دهد. در این گونه سیم‌های فلزی، بارهای روان الکترون‌ها هستند. زیرا در سیم‌های رسانایی از جنس مس یا نقره، یک الکترون هر اتم می‌تواند آزادانه در شبکه‌ی اتمی حرکت کند. این حاملان بار را **الکترون‌های رسانش** یا **الکترون‌های آزاد** می‌نامند. از سوی دیگر یون‌های مثبت حرکت نمی‌کنند؛ زیرا در مکان خود تقریباً به طور ثابت قفل شده‌اند.



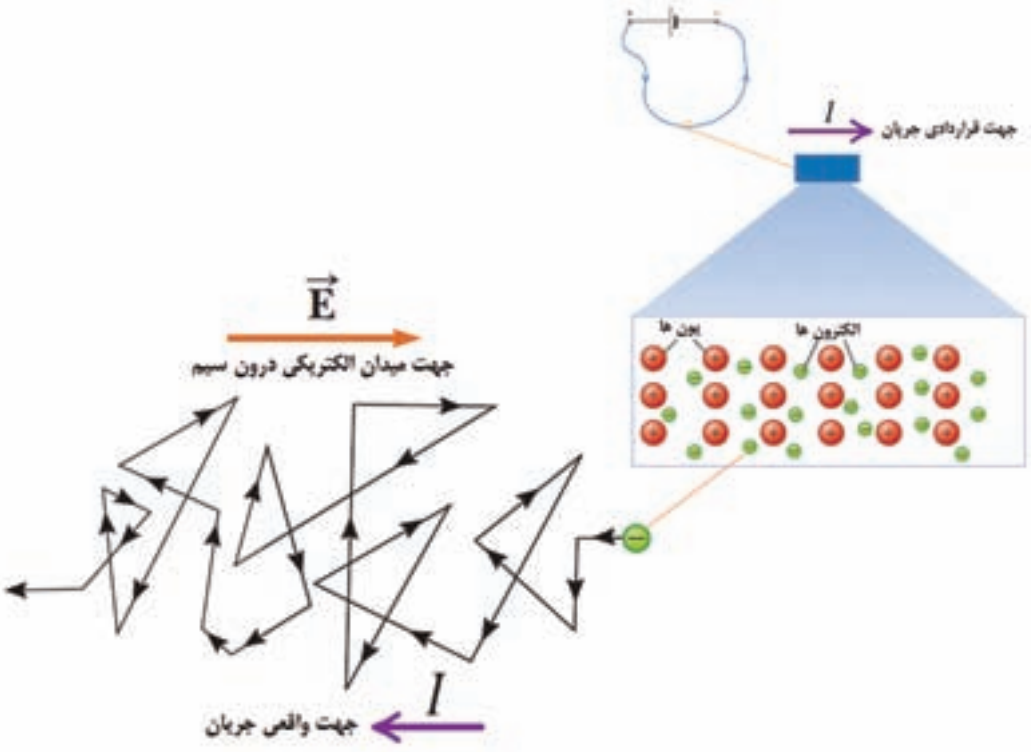

شکل ۳–۲ جریان $I$ در یک مدار به دلیل حرکت الکترون‌های رسانش در مدار به وجود می‌آید. یون‌های مثبت در مکان خود تقریباً به طور ثابت قفل شده‌اند.



**شبیه سازی**

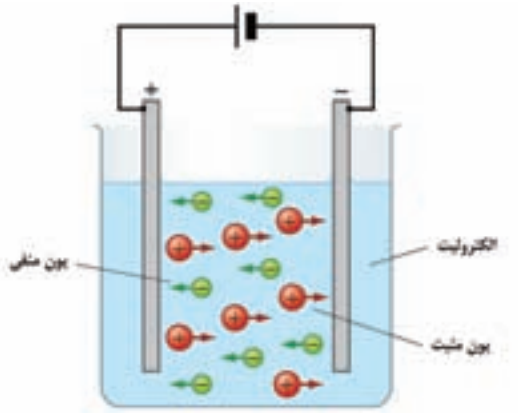
■ حرکت کاتوره ای الکترون‌های رسانش در یک تیغه‌ی فلزی

وقتی دو سر یک باتری توسط قطعه سیم رسانایی به یکدیگر وصل می‌شود، میدان الکتریکی‌ای درون سیم به وجود می‌آید. این میدان به الکترون‌های آزاد درون سیم نیرو وارد می‌کند و آن‌ها را در خلاف جهت میدان به حرکت وا می‌دارد (شکل ۳-۳). از آنجا که الکترون‌های آزاد هنگام حرکت به طرف پایانه‌ی مثبت باتری (برخلاف جهت $\vec{E}$) به الکترون‌های آزاد دیگر و هم چنین یون‌های مثبت برخورد می‌کنند جهت حرکت آن‌ها زیگزاگی یا اصطلاحاً کاتوره‌ای است. اما جهت حرکت خالص آن‌ها برخلاف جهت میدان $\vec{E}$ و به طرف پایانه‌ی مثبت باتری است. به این جهت حرکت الکترون‌های آزاد، جهت واقعی جریان گفته می‌شود.




شکل ۳-۳ چون الکترون‌ها دارای بار منفی‌اند، برخلاف جهت میدان الکتریکی درون سیم و از پایانه‌ی منفی باتری به طرف پایانه‌ی مثبت آن حرکت می‌کنند. این جهت واقعی جریان و برخلاف جهت قراردادی جریان است. به دلایل تاریخی، جهت قراردادی جریان را در یک مدار در نظر می‌گیریم.

**توجه:** الکترون‌ها حامل‌های بار در فلزها هستند. در حالی که در محلول‌های یونی یا نیمرساناها، حامل‌های بار متفاوت‌اند. مثلاً در محلول‌های یونی که **الکترولیت** نامیده می‌شوند یون‌های منفی و مثبت حامل‌های بار هستند (شکل ۳-۴). در این فصل تنها به فلزها که نقش مهمی در مدارهای الکتریکی دارند و در نتیجه الکترون‌های رسانش یا آزاد توجه خواهیم داشت. با این وجود به یاد داشته باشید که حاملان بار همواره الکترون‌ها نیستند.




شکل ۳-۴ در یک محلول یونی (الکترولیت)، هر دوی بارهای مثبت و منفی می‌توانند حرکت کنند و جریان الکتریکی را به وجود آورند.

## جریان و بار

اگر در بازه‌ی زمانی $\Delta t$، بار خالص $\Delta Q$ از یک مقطع فرضی سیم مدار، مانند سطح $A$ در شکل ۳-۵ ، عبور کند جریان الکتریکی متوسط به صورت زیر تعریف می‌شود

$$\bar{I} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \qquad (۱-۳)$$

اگر آهنگ و جهت شارش بار از هر مقطع رسانا، در هر لحظه‌ی زمان ثابت بماند، جریان الکتریکی را مستقیم می‌نامند و آن را به اختصار با نماد dc نمایش می‌دهند. در این حالت همان طور که در فیزیک (۱) و آزمایشگاه دیدیم، جریان از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$I = \frac{Q}{t} \qquad (۲-۳)$$

یکای SI جریان، **آمپر** است. یک آمپر به صورت یک کولن بر ثانیه ($1A = 1C/s$) تعریف می‌شود. این نام به افتخار آندره ماری آمپر دانشمند فرانسوی انتخاب شده است. در جدول ۳-۱ مقدارهای تقریبی جریان در برخی از پدیده‌ها و دستگاه‌های مختلف آمده است.

جدول ۳-۱ برخی مقدارهای تقریبی جریان الکتریکی

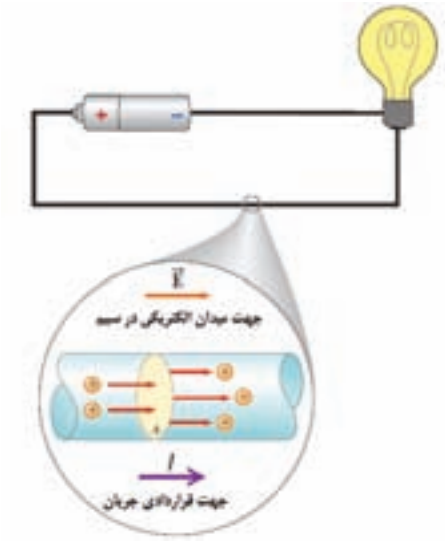
| پدیده یا دستگاه | مقدار (A) |
|---|---|
| آذرخش | $10^{4}$ |
| خط انتقال فشار قوی | $10^{3}$ |
| در لحظه‌ی استارت موتور اتومبیل | ۱۰۰ – ۲۰۰ |
| چراغ قوه ی روشن | ۰/۵ – ۱ |
| مدارهای رادیو و تلویزیون | $10^{-3}$ – $10^{-6}$ |
| مدارهای رایانه | $10^{-9}$ – $10^{-12}$ |

**بیش‌تر بدانید**

- پیل الکتریکی

**آزمایش کنید**

ابتدا با مشاهده‌ی آزمایش«ساخت باتری میوه‌ای» از روی CD ضمیمه، وسیله‌های مورد نیاز آزمایش را فراهم کنید و آن را به طور گروهی در کلاس انجام دهید.



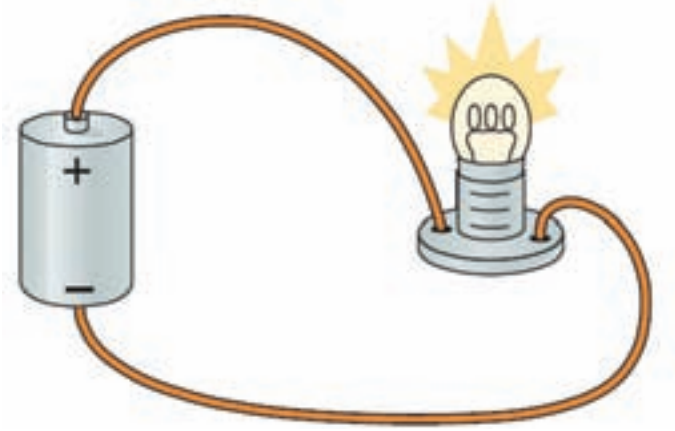
شکل ۳-۵ بارهای در حال حرکت از یک سطح $A$. آهنگ شارش بار از این سطح به صورت جریان $I$ تعریف می‌شود. جهت قراردادی جریان، در جهت حرکت بارهای مثبت است.

## مثال ۳-۱

جریان عبوری از رشته‌ی سیم لامپ مدار شکل ۳-۶ برابر ۰/۵A است.

الف) در یک ثانیه چند کولن بار از یک مقطع فرضی رشته‌ی سیم این لامپ می‌گذرد؟

ب) این مقدار بار برابر بار چه تعداد الکترون است؟

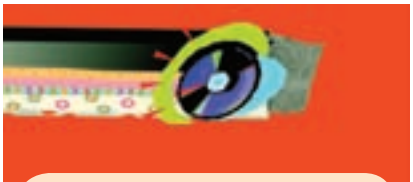


شکل ۳-۶ یک مدار الکتریکی ساده

**حل:** الف) با استفاده از رابطه‌ی (۳-۲) داریم

$$Q = I\,t = (۰/۵\ \mathrm{A})\,(۱\mathrm{s}) = ۰/۵\ \mathrm{C}$$

ب) با استفاده از رابطه‌ی $Q = \mathrm{n}\,e$، تعداد الکترون‌هایی که این مقدار بار را ایجاد



**شبیه سازی**

- جریان الکتریکی و انرژی الکتریکی

آندره ماری آمپر (۱۷۷۵-۱۸۳۶) دانشمند فرانسوی در دهکده‌ای نزدیک شهر لیون به دنیا آمد. چون در آن دهکده مدرسه‌ای نبود، آمپر به خودآموزی پرداخت. پدر او به هنگام انقلاب فرانسه محکوم به اعدام شد و این امر زندگی شخصی آمپر را عمیقاً تحت تأثیر قرار دارد. آمپر بعدها استاد ریاضیات در دانشگاه پاریس شد و در تکامل علوم فیزیک، ریاضیات و فلسفه سهم به سزایی ایفا کرد. آمپر پس از آزمایش‌های بسیار متوجه شد که دو سیم موازی حامل جریان به یکدیگر نیرو وارد می‌کنند.

می‌کنند، برابر است با:

$$n = \frac{Q}{e} = \frac{۰/۵\,C}{۱/۶\times۱۰^{-۱۹}\,C} = ۳/۱۲۵\times۱۰^{۱۸}$$

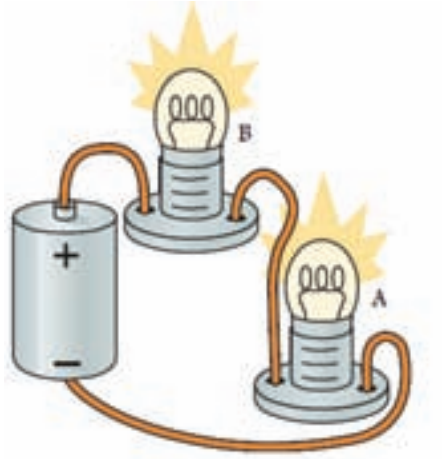
همان طور که دیده می‌شود در هر ثانیه بیش از هزار میلیون هزار میلیون الکترون از یک مقطع فرضی رشته‌ی سیم لامپ می‌گذرد.

## پایستگی جریان

شکل ۳-۷ مداری شامل دو لامپ مشابه و یک باتری را نشان می‌دهد. فکر می‌کنید روشنایی دو لامپ در مقایسه با یکدیگر چگونه است؟ آیا هر دو لامپ روشنایی یکسانی دارند یا روشنایی یکی از لامپ‌ها بیش‌تر از دیگری است؟ پیش از انجام فعالیت زیر سعی کنید پاسخی قانع کننده برای پیش‌بینی خود ارائه دهید.

### فعالیت عملی ۳-۱

به کمک دو لامپ مشابه، یک باتری و سیم‌های رابط مداری مطابق شکل ۳-۷ بسازید و روشنایی لامپ‌ها را با یکدیگر مقایسه کنید.

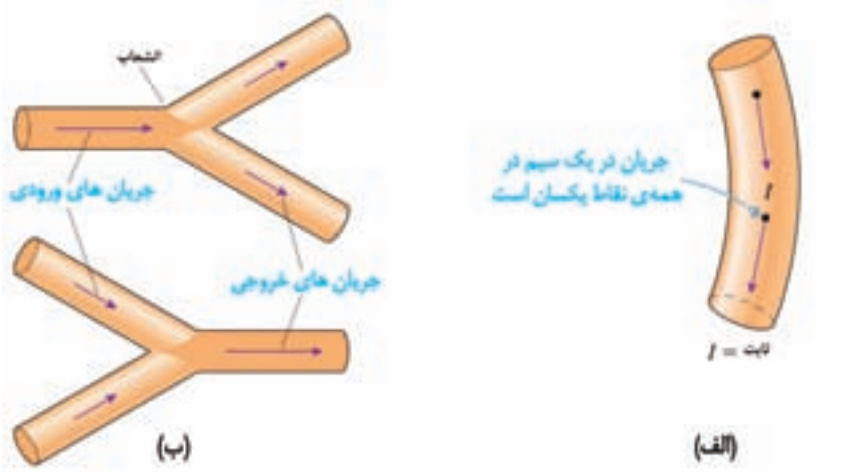



شکل ۳-۷ مداری شامل دو لامپ مشابه و باتری

همان طور که از فعالیت۳-۱ نیز دیدید روشنایی دو لامپ یکسان است، زیرا جریان یکسانی از دو لامپ مشابه گذشته است. این آزمایش ساده نشان می‌دهد که هر چند ابتدا جریان وارد لامپ $B$ و سپس لامپ $A$ شده است، ولی هیچ تغییری در مقدار آن به وجود نیامده است. به عبارت دیگر، آهنگ الکترون‌هایی که وارد لامپ (یا هر وسیله‌ی دیگری) می‌شوند درست برابر با آهنگ الکترون‌هایی است که از آن خارج می‌شوند، پس به عنوان یک نتیجه‌ی مهم می‌توان گفت: جریان در همه‌ی نقاط یک سیم حامل جریان یکسان

است و مقدار آن تغییرنمی‌کند. به این بیان، **قانون پایستگی جریان** نیز گفته می‌شود. قانون پایستگی جریان در واقع کاربرد عملی قانون پایستگی بار الکتریکی است.

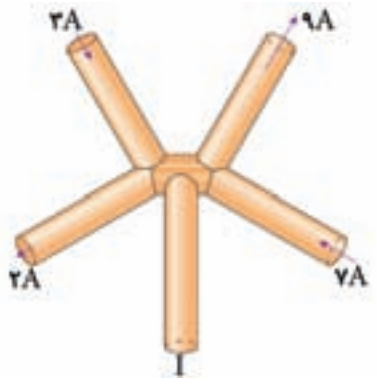
شکل ۳–۸الف قانون پایستگی جریان را برای یک رشته سیم بیان می‌کند. اما وقتی یک رشته سیم به دو یا چند شاخه تقسیم می‌شود یا این که دو یا چند شاخه سیم به یکدیگر می‌رسند و یک رشته سیم را تشکیل می‌دهند (شکل ۳–۸ ب)، آیا باز هم قانون پایستگی جریان برقرار است؟ باید گفته شود در این حالت نیز قانون پایستگی جریان برقرار است به طوری که در قالب یک قاعده‌ی کلی می‌توان گفت: مجموع جریان‌های ورودی به هر انشعاب باید برابر با مجموع جریان‌هایی باشد که آن انشعاب را ترک می‌کند. این قاعده اغلب **قاعده‌ی انشعاب کیرشهف** (یا **قانون جریان کیرشهف**) خوانده می‌شود.



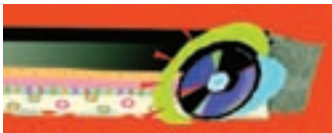

شکل ۳–۸ (الف) جریان در همه‌ی نقاط یک رشته سیم یکسان است. (ب) جمع جریان‌هایی که به یک انشعاب وارد می‌شوند باید برابر با جمع جریان‌هایی باشند که آن انشعاب را ترک می‌کنند.

## تمرین ۳–۱

شکل ۳–۹ بخشی از یک مدار را نشان می‌دهد. بزرگی و جهت جریان $I$ در سیم پایینی چیست؟




شکل ۳–۹ بخشی از یک مدار



**بیش‌تر بدانید**

- آمپر سنج
- ولت سنج
- مقاومت سنج

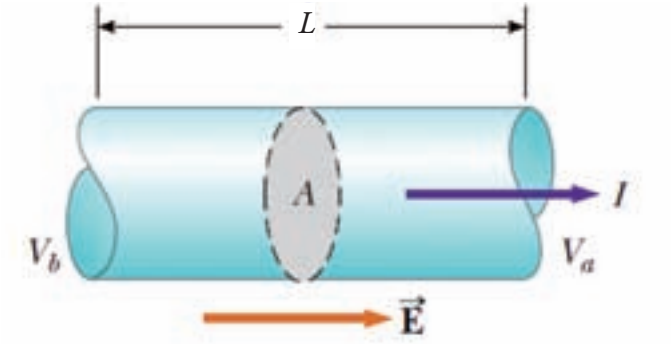
## ۳-۲ مقاومت و مقاومت ویژه‌ی الکتریکی

اگر ولتاژ یکسانی را به دو سر دو میله‌ی مسی و شیشه‌ای که شکل هندسی یکسانی دارند اعمال کنیم، جریان‌های بسیار متفاوتی حاصل می‌شود. آن مشخصه‌ای از جسم که در اینجا نقش بازی می‌کند، **مقاومت الکتریکی** است.

مقاومت بین هردو نقطه‌ای از رسانا را با اعمال اختلاف پتانسیل $\Delta V$ بین آن دو نقطه و اندازه‌گیری جریان $I$ ی حاصل از آن، تعیین می‌کنیم (شکل ۳-۱۰). آنگاه مقاومت $R$ چنین تعریف می‌شود:

$$R = \frac{\Delta V}{I} \qquad (۳-۳)$$

یکای مقاومت در SI ولت بر آمپر $(\mathrm{V/A})$ است که آن را اهم (با نماد $\Omega$) می‌نامیم.



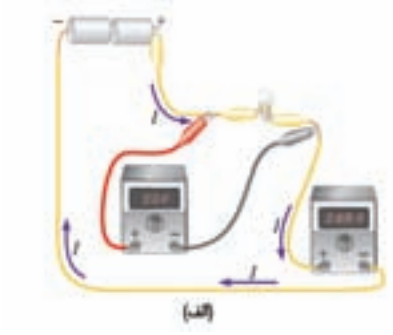

شکل ۳-۱۰ رسانایی یکنواخت به طول $L$ و سطح مقطع $A$ که به دو سر آن ولتاژ $\Delta V = V_b - V_a$ اعمال شده است. جریان عبوری از این رسانا، با ولتاژ دو سر آن متناسب است.

مقاومت یک رسانا را با دستگاهی به نام **اهم‌سنج** اندازه می‌گیرند. بعضی از دستگاه‌های اندازه‌گیری علاوه بر اهم‌سنج، شامل ولت‌سنج و آمپرسنج نیز هستند.

به این دستگاه‌های اندازه‌گیری چندکاره، **اوومتر** یا **چند سنجشی** گفته می‌شود (شکل ۳-۱۱).

(پ)

(ب)



(الف)

شکل ۳-۱۱ (الف) نموداری از یک مدار واقعی و نحوه‌ی بستن آمپرسنج و ولت‌سنج در مدار، (ب) نموداری طرحوار از یک مدار الکتریکی. (پ) چند سنجشی دیجیتال قادر به اندازه‌گیری ولتاژ، جریان و مقاومت است.

## تمرین ۳-۲

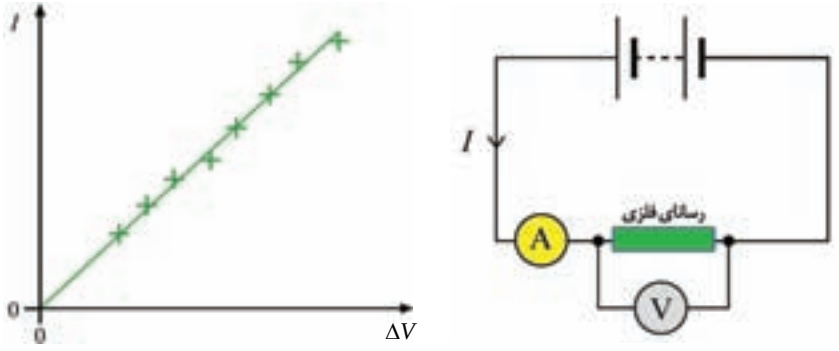
مقاومت لامپ جلوی اتومبیلی $36\Omega$ است. وقتی به دو سر این لامپ ولتاژ $12V$ اعمال می‌شود، چه جریانی از آن می‌گذرد؟

## قانون اهم

در فیزیک (۱) و آزمایشگاه با قانون اهم آشنا شدیم. بنا به این قانون، برای یک رسانای فلزی در دمای ثابت، جریان عبوری از رسانا با ولتاژ دو سر آن متناسب است.

**توجه:** بیان قانون اهم بسیار دقیق است و نباید آن را با معادله‌ی «$\Delta V = IR$» اشتباه بگیرید! اغلب ادعا می‌شود که $\Delta V = IR$ بیانی از قانون اهم است. این درست نیست. این معادله تعریفی از مقاومت است و برای هر وسیله‌ی رسانایی به کار می‌رود، چه آن وسیله از قانون اهم پیروی کند و چه نکند.

برای بررسی قانون اهم می‌توان از مداری مطابق شکل ۳-۱۲ الف استفاده کرد. چنانچه در دمای ثابت، نمودار جریان عبوری از رسانا برحسب ولتاژ دو سر آن به صورت شکل۳-۱۲ب شد، گفته می‌شود که این رسانا از قانون اهم پیروی می‌کند. رساناهایی که از قانون اهم پیروی کنند، رساناهای اهمی خوانده می‌شوند.




شکل ۳-۱۲ (الف) مداری شامل باتری یا منبع تغذیه که می‌تواند ولتاژهای متفاوتی را به دو سر رسانای فلزی اعمال کند. (ب) نمودار $I-V$ یک رسانای فلزی اهمی

## مثال مفهومی ۳-۲

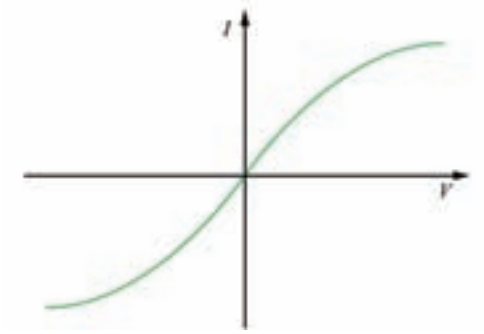
آیا به نظر شما یک لامپ رشته‌ای از قانون اهم پیروی می‌کند(شکل ۳-۱۳).

شکل ۳-۱۳

### شبیه سازی

- بررسی رابطه‌ی $\Delta V = IR$
- بررسی قانون اهم

پاسخ: از آنجا که دمای رشته‌ی لامپ هنگام روشن شدن و همچنین پس از آن تغییر می‌کند، آزمایش نشان می‌دهد که نمودار $I-V$ آن به صورت شکل ۳-۱۴ است و از قانون اهم پیروی نمی‌کند.




شکل ۳-۱۴ نمودار $I-V$ رشته‌ی یک لامپ

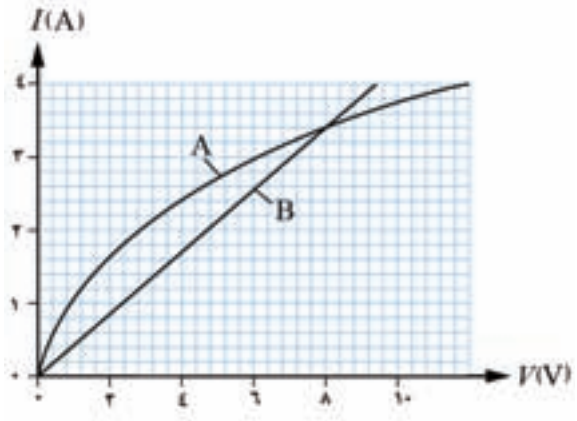
## تمرین ۳-۳

شکل ۳-۱۵ نمودار $I-V$ مربوط به یک رشته‌ی لامپ و یک رسانای فلزی را نشان می‌دهد.

الف) نمودار مربوط به هر کدام را مشخص کنید.

ب) به ازای چه ولتاژی هر دو دارای مقاومت یکسانی هستند؟

پ) مقدار مقاومت را به ازای ولتاژ قسمت (ب) پیدا کنید.




شکل ۳-۱۵ نمودار $I-V$ مربوط به دو عنصر الکتریکی متفاوت

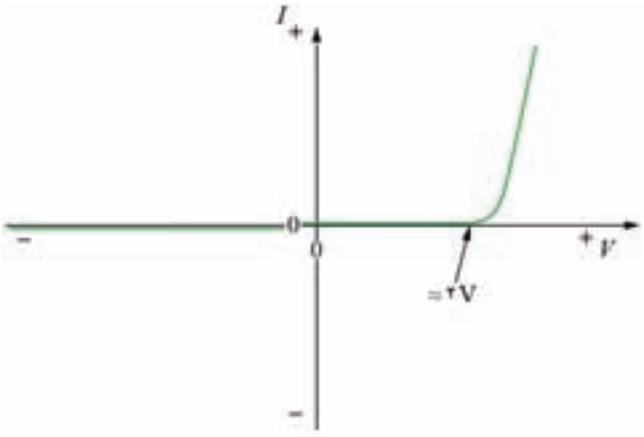
## دیودها

میکروالکترونیک و نانوالکترونیک امروزی تقریباً به طور کامل به وسیله‌هایی بستگی دارد که از قانون اهم پیروی نمی‌کنند. مثلاً گوشی تلفن همراه شما، پر از چنین وسیله‌هایی است. یکی از این وسیله‌ها، که نقش مهمی در هر مدار ایفا می‌کند، **دیود** است.

دیودها را در مدارهای الکتریکی با نماد نشان می‌دهند و ویژگی مهم آن‌ها این است که جریان را فقط در یک جهت از خود عبور می‌دهند. یکی از انواع آن‌ها، **دیود نورگسیل** یا LED است که وقتی از آن جریان می‌گذرد از خود نورگسیل می‌کند (شکل ۳-۱۶).

شکل ۳-۱۶

شکل ۳-۱۷ نمودار $I-V$ یک LED را نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود تنها به ازای یک ولتاژ آستانه (حدود ۲V ) از LED جریان می‌گذرد و شروع به گسیل نور می‌کند. امروزه LED ها کاربرد بسیاری پیدا کرده‌اند و علاوه بر کاربردهای متداول، در ساخت صفحه‌های نمایش گوشی‌های همراه، نمایشگرهای رایانه و تلویزیون از آن‌ها استفاده می‌شود.




شکل ۳-۱۷ نمودار $I-V$ برای یک دیود نورگسیل (LED). نمودار به صورت یک خط راست نیست، زیرا LED ها از قانون اهم پیروی نمی‌کنند.

## مطالعه‌ی آزاد

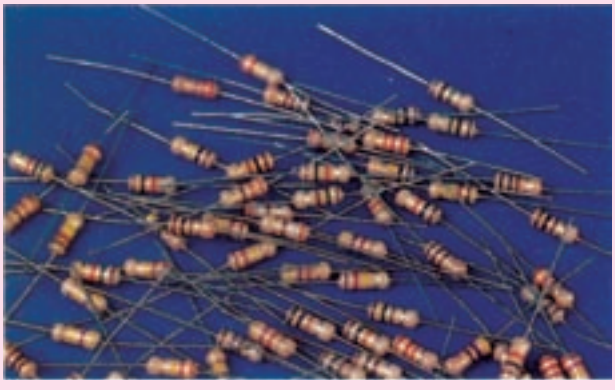
### کدگذاری مقاومت‌ها

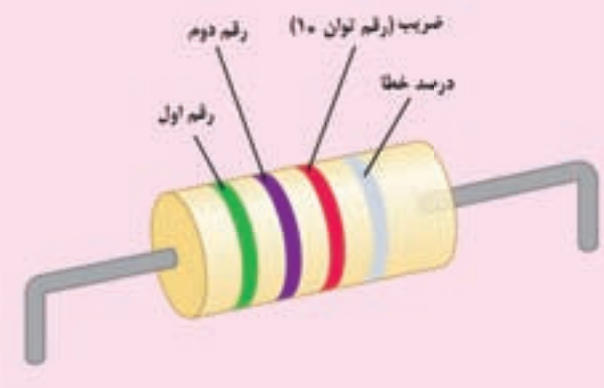
مقاومت‌های کربنی، یکی از انواع مقاومت‌هایی هستند که تقریباً در همه‌ی مدارهای الکتریکی به کار می‌روند (شکل ۳-۱۸ الف). هنگام ساخت این مقاومت‌ها، سه یا چهار

نوارِرنگی روی هر مقاومت چاپ می‌شود تا بتوان مقدار آن مقاومت را بدون استفاده از اهم‌سنج تعیین کرد (شکل ۳-۱۸ ب). هر رنگ نشان دهنده‌ی عدد خاصی است که در جدول ۳-۲ آمده است و نوار چهارم در صورت وجود، درصد خطا را نشان می‌دهد. اگر رنگ نوار چهارم طلایی باشد خطای تعیین مقدار مقاومت ۵ ± درصد و اگر نقره‌ای باشد ۱۰ ± درصد و اگر بدون رنگ باشد ۲۰ ± درصد است. مثلاً مقدار مقاومت شکل ۳-۱۸ ب، که از چپ به راست دارای سه رنگ سبز، بنفش و قرمز است با توجه به جدول ۳-۲ برابر $۵۷\times۱۰^{۲}\Omega$ است. از طرفی چون نوار چهارم آن به رنگ نقره‌ای است، مقدار مقاومت با ۱۰ ± درصد خطا برابر $(۵۷۰۰ \pm ۵۷۰)\Omega$ خواهد بود.

جدول ۳-۲ کدهای رنگ مقاومت‌ها

| رنگ | مقدار رقم | مقدار ضریب |
|---|---|---|
| سیاه | ۰ | ۱ |
| قهوه‌ای | ۱ | ۱۰ |
| قرمز | ۲ | $۱۰^{۲}$ |
| نارنجی | ۳ | $۱۰^{۳}$ |
| زرد | ۴ | $۱۰^{۴}$ |
| سبز | ۵ | $۱۰^{۵}$ |
| آبی | ۶ | $۱۰^{۶}$ |
| بنفش | ۷ | $۱۰^{۷}$ |
| خاکستری | ۸ | $۱۰^{۸}$ |
| سفید | ۹ | $۱۰^{۹}$ |






شکل ۳-۱۸ (الف) با چاپ ۳ یا ۴ نوار رنگی روی هر مقاومت کربنی به راحتی می‌توان مقدار مقاومت آن را تعیین کرد. (ب) مقاومت‌های کربنی تقریباً در همه‌ی مدارهای الکتریکی کاربرد دارند.

## مقاومت ویژه‌ی الکتریکی

آزمایش نشان می‌دهد که مقاومت یک رسانا به اندازه، شکل و جنس آن بستگی دارد. به طوری که مطابق شکل ۳-۱۹ برای یک سیم فلزی به طول $L$ و سطح مقطع $A$ داریم

$$R = \rho \frac{L}{A} \qquad (۳-۳)$$

که در آن $\rho$ به جنس سیم و پاره‌ای از عامل‌های فیزیکی مانند دما بستگی دارد و **مقاومت ویژه‌ی رسانا** خوانده می‌شود. یکای $\rho$ در SI با توجه به رابطه‌ی (۳-۳) اهم متر $(\Omega.m)$ است.

شکل ۳-۱۹ سیمی رسانا به طول $L$ و سطح مقطع $A$

مقدار مقاومت ویژه‌ی چند ماده‌ی مختلف در جدول ۳-۳ داده شده است. توجه کنید که این مقدارها به ازای دمای $20^\circ C$ به دست آمده‌اند.

جدول ۳-۳ مقاومت ویژه‌ی برخی از مواد در دمای اتاق$(20^\circ C)$

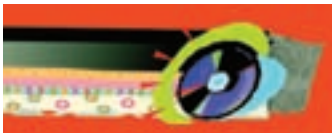
| ماده | مقاومت ویژه $(\Omega.m)$ |
|---|---|
| نقره | $1/60\times10^{-8}$ |
| مس | $1/69\times10^{-8}$ |
| نیکروم[1] | $1/30\times10^{-8}$ |
| آلومینیوم | $3/21\times10^{-8}$ |
| جیوه | $69/0\times10^{-8}$ |
| گرافیت | $800\times10^{-8}$ |
| شیشه | $10^{10}-10^{14}$ |
| کوارتز | $5\times10^{16}$ |

۱- نیکروم، آلیاژی از نیکل، کروم و آهن است که در المنت‌های بخاری‌های برقی به کار می‌رود و تا دمای ۱۰۰۰ درجه‌ی سلسیوس اکسید نمی‌شود.

### مثال ۳-۳

سیمی از جنس نیکروم دارای طول $1m$ و سطح مقطع $1mm^2$ است.

جرج سیمون اهم (۱۷۸۷-۱۸۵۴) دانشمند آلمانی، در خانواده‌ای متوسط زندگی می‌کرد. پدر او قفل‌ساز بود و علاقه‌ی زیادی به مطالعه‌ی کتاب‌های علمی داشت و پسر را نیز تشویق به این کار می‌کرد. اهم در ۱۸ سالگی معلم ریاضی شد و پس از گرفتن دکترای ریاضی، استاد دانشگاه شهر کلن شد. در این زمان بود که با استفاده از تشابهی که میان انتقال گرما و الکتریسیته کشف کرد به اندازه‌گیری جریان الکتریکی از رساناهای مختلف پرداخت و قانونی را ارائه داد که امروزه به نام قانون اهم معروف است. یکای مقاومت الکتریکی در *SI*، به افتخار او اهم نامیده می‌شود.



شبیه‌سازی

■ مقاومت ویژه‌ی الکتریکی

مقاومت این قطعه سیم در دمای اتاق چقدر است؟

**حل:** طول سیم $L = ۱m$ و سطح مقطع آن برابر است با

$$A = ۱mm^۲ = ۱۰^{-۶} m^۲$$

با توجه به جدول ۳-۳، مقاومت ویژه‌ی نیکروم برابر است با

$$\rho = ۱/۳۰ \times ۱۰^{-۸}\ \Omega.m$$

با جای گذاری مقادیر بالا در رابطه‌ی ۳-۳ داریم

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

$$= \left(۱/۳۰ \times ۱۰^{-۸} \Omega.m\right) \frac{۱ m}{۱۰^{-۶} m^۲}$$

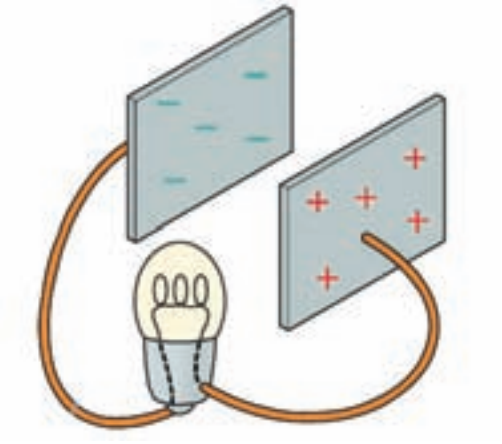
$$= ۱/۳ \times ۱۰^{-۲}\ \Omega$$

## تمرین ۳-۴

مقاومت ویژه‌ی سیمی به قطر ۱mm، طول ۲m و مقاومت ۵۰ میلی اهم چقدر است؟

## ۳-۳ نیروی محرکه‌ی الکتریکی

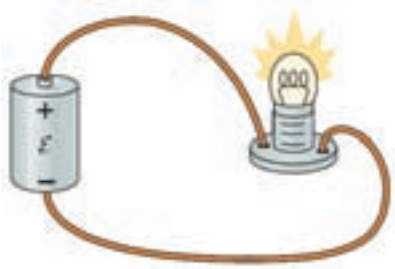
اگر بخواهیم الکترون‌ها را درون یک لامپ یا مقاومت الکتریکی جاری کنیم، باید دو سر این وسیله یک اختلاف پتانسیل مناسب برقرار کنیم. یک راه برای انجام این کار، اتصال هر یک از سرهای این وسیله به یک صفحه‌ی خازن باردار است (شکل ۳-۲۰). مشکل این روش این است که شارش بارها موجب تخلیه‌ی خازن می‌شود و صفحه‌ها به سرعت هم پتانسیل می‌شوند. در این صورت، دیگر هیچ میدان الکتریکی‌ای در وسیله وجود نخواهد داشت و در نتیجه شارش بار یا جریان الکتریکی متوقف خواهد شد.



شکل ۳-۲۰ با اتصال دو سر لامپ به هر یک از صفحه‌های یک خازن باردار، خازن تخلیه شده و برای یک لحظه‌ی کوتاه جریانی در مدار برقرار می‌شود که سبب روشن شدن لامپ می‌شود.

برای ایجاد یک جریان پیوسته و مداوم از بارهای الکتریکی، به یک «پمپ بار» نیاز داریم پمپ بار، وسیله‌ای است که با دادن انرژی به حامل‌های بار، اختلاف پتانسیل بین دو پایانه را ثابت نگه می‌دارد. چنین وسیله‌ای را **مولد نیروی محرکه‌ی الکتریکی** یا به اختصار emf می‌نامند و گفته می‌شود این وسیله نیروی محرکه‌ی الکتریکی‌ای برابر $\varepsilon$ را مهیا می‌کند (شکل ۳-۲۱).

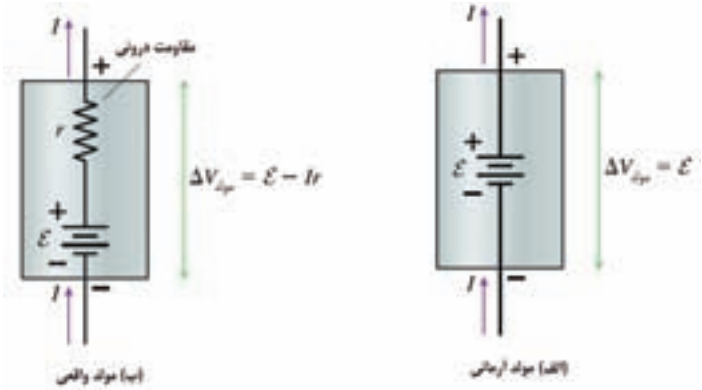
عبارت نیروی محرکه‌ی الکتریکی مربوط به زمانی است که دانشمندان هنوز به خوبی نحوه‌ی کار یک وسیله‌ی emf را درک نکرده بودند. امروزه می‌دانیم که یک وسیله‌ی emf، علاوه بر ثابت نگه داشتن ولتاژ دو سر پایانه‌ها، به حامل‌های بار انرژی می‌دهد تا در مدار شارش کنند و به همین جهت یکای آن ژول بر کولن (J/C) یا ولت (V) است.



شکل ۳-۲۱ مولد با مهیا ساختن نیروی محرکه‌ی $\varepsilon$، جریان مداومی از حامل‌های بار در مدار برقرار می‌سازد.

## ولتاژ، انرژی و توان مولد

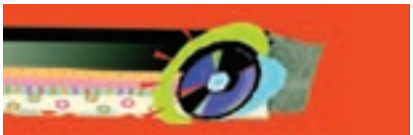
شکل ۳-۲۲ الف یک باتری یا مولد آرمانی را نشان می‌دهد که بدون هیچ اتلافی، انرژی لازم را برای شارش حامل‌های بار در مدار به آن‌ها می‌دهد. در مولدهای آرمانی، اختلاف پتانسیل دو سر پایانه‌ها، درست برابر نیروی محرکه‌ی مولد است. شکل ۳-۲۲ ب یک باتری یا مولد واقعی را نشان می‌دهد. هر مولد واقعی دارای مقاومتی است که آن را با نماد $r$ نشان می‌دهیم و آن را مقاومت درونی مولد می‌نامیم. وجود مقاومت درونی، سبب می‌شود که همه‌ی انرژی مولد در اختیار حامل‌های بار قرار نگیرد و بخشی از آن درون مولد به صورت گرما تلف شود. به همین جهت اختلاف پتانسیل دو سر پایانه‌های مولدهای واقعی کم‌تر از نیروی محرکه‌ی مولد و برابر $\Delta V_{\text{مولد}} = \varepsilon - I r$ است.




شکل ۳-۲۲ (الف) در یک مولد آرمانی ولتاژ دو سر پایانه‌ها درست برابر نیروی محرکه‌ی مولد است، در حالی که در یک مولد واقعی (ب) ولتاژ دو سر پایانه‌ها کم‌تر از نیروی محرکه‌ی مولد است.

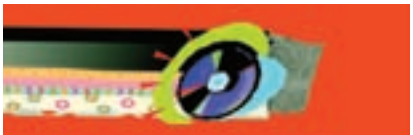
اگر انرژی‌ای را که مولد به بار الکتریکی $Q$ می‌دهد تا در مداری مطابق شکل ۳-۲۳ شارش کند با $\Delta U$ نشان دهیم، با توجه به آنچه در فصل پیش دیدیم، می‌توان نوشت:

$$\varepsilon = \frac{\Delta U}{Q} \qquad (۳-۴)$$



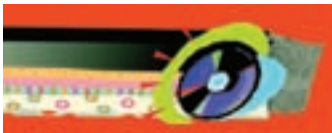
**بیش تر بدانید**

آشنایی با مولدهای مختلف و اندازه‌گیری ولتاژ آن‌ها



**آزمایش کنید**

ابتدا با مشاهده‌ی آزمایش «ساخت مدار الکتریکی ساده» از روی CD ضمیمه، وسیله‌های مورد نیاز آزمایش را فراهم کنید و آن را به طور گروهی در کلاس انجام دهید.



**شبیه سازی**

- مقایسه‌ی مولد و رفتار آب در یک مخزن

همچنین اگر مولد این مقدار انرژی $(\Delta U)$را درمدت $t$ به بار $Q$ بدهد توان آن برابر است با :

$$P_{1}=\frac{\Delta U}{t} \qquad (۳-۵)$$

با استخراج $(\Delta U)$از رابطه‌ی (۳-۴) و قراردادن آن در رابطه‌ی (۳-۵) داریم:

$$P_{1}=\left(\frac{Q}{t}\right)\varepsilon$$

از طرفی بنا به رابطه‌ی (۳-۲) می‌توان نوشت:

$$P_{1}=I\varepsilon \qquad (۳-۶)$$

در هر یک از رابطه‌های (۳-۵) یا (۳-۶) که معادل یکدیگرند، $P_{1}$ را **توان تولیدی** مولد می‌نامند. از آنجا که در مولدهای واقعی بخشی از این توان، درون خود مولد به مصرف می‌رسد، **توان مفید** یا **توان خروجی** یک مولد از این مقدار کم‌تر و برابر است با:

$$P_{2}=\varepsilon I-I^{2}r \qquad (۳-۷)$$

که در آن $I^{2}r$، توان تلف شده توسط مقاومت درونی مولد است.

**مثال ۳-۴**

در مدار شکل ۳-۲۳ اگر مقاومت درونی مولد ناچیز باشد، توان تولیدی آن چقدر است؟

شکل ۳-۲۳

**حل:** چون مقاومت درونی مولد ناچیز فرض شده است، بنابراین مولد، آرمانی است و ولتاژ دو سر آن با نیروی محرکه‌ی $\varepsilon$ برابر است. به این ترتیب با توجه به رابطه‌ی (۳-۳) ، جریان عبوری از مدار برابر است با:

$$I=\frac{\Delta V}{R}=\frac{\varepsilon}{R}=\frac{۶\,\mathrm{V}}{۳\,\Omega}=۲\,\mathrm{A}$$

پس توان تولیدی مولد با توجه به رابطه‌ی (۳-۶) برابر است با:

$$P_{1}=\varepsilon I=(۶\mathrm{V})(۲\mathrm{A})=۱۲\,\mathrm{W}$$

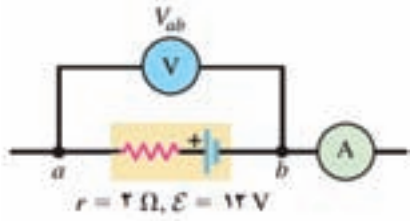
**مثال ۳-۵**

شکل ۳-۲۴ بخشی از یک مدار الکتریکی را نشان می‌دهد. اگر ولت‌سنج عدد ۱۰ ولت را بخواند مطلوب است

الف) عددی که آمپرسنج نشان می‌دهد.

ب) توان تولیدی مولد.

پ) توان مفید مولد.




شکل ۳-۲۴ بخشی از یک مدار الکتریکی

**حل:** الف) چون مولد دارای مقاومت درونی است، ولتاژ دو سر آن $\Delta V_{\text{مولد}} = V_a - V_b$ است که می‌توان آن را به صورت $V_{ab}$ نمایش داد. بنابراین:

$$V_{ab} = \varepsilon - I r$$

$$۱۰\,V = ۱۲\,V - ۲I \Rightarrow I = ۱\,A$$

پس عددی که آمپرسنج می‌خواند برابر ۱A است.

ب) توان تولیدی مولد برابر است با:

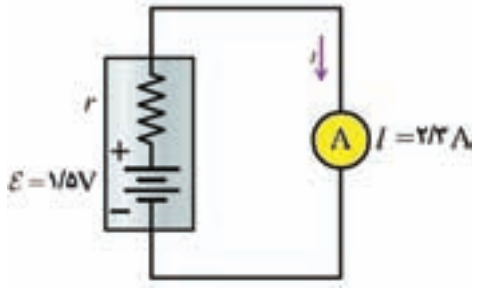
$$P_{۱} = \varepsilon I = (۱۲\,V)(۱\,A) = ۱۲\,W$$

پ) توان مفید یا توان خروجی مولد برابر است با:

$$P_{۲} = \varepsilon I - I^{۲} r = (۱۲\,V)(۱\,A) - (۱\,A)^{۲}(۲\,\Omega) = ۱۰\,W$$

## مثال ۳-۶

هرگاه دو سر یک قطعه‌ی الکتریکی مانند مقاومت، خازن یا مولد را توسط سیم بدون مقاومتی به هم وصل کنیم، گفته می‌شود که دو سر قطعه **اتصال کوتاه** شده است. شکل ۳-۲۵ مولدی با نیروی محرکه‌ی ۱/۵V و مقاومت درونی $r$ را نشان می‌دهد که توسط سیم بدون مقاومتی اتصال کوتاه شده است. برای اندازه‌گیری جریان از آمپرسنج استفاده شده که عدد را ۲/۳A می‌خواند. مقاومت درونی مولد و توان تلف شده در آن را پیدا کنید. (اشاره: مقاومت آمپرسنج‌ها بسیار ناچیز است و عملاً آن را نادیده می‌گیرند.)




شکل ۳-۲۵ دو سر یک مولد اتصال کوتاه شده است.

**بیش تر بدانید**

اتصال کوتاه

**حل:** چون دو سر مولد توسط سیم‌های بدون مقاومت اتصال کوتاه شده است ولتاژ دو سر آن صفر می‌شود. به این ترتیب:

$$\varepsilon - I\,r = ۰$$

$$۱/۵\,\mathrm{V} - (۲/۳\,\mathrm{A})\;r = ۰ \Rightarrow r \simeq ۰/۶۵\,\Omega$$

به این ترتیب توان تلف شده در مولد برابر است با:

$$I^{۲}r = (۲/۳\,\mathrm{A})^{۲}\,(۰/۶۵\,\Omega) = ۳/۴۴\ \mathrm{W}$$

## تمرین ۳-۵

الف) توان تولیدی و توان مفید مولد مثال ۳-۶ را پیدا کنید.

ب) نسبت توان مفید به توان تولیدی این مولد چقدر است؟

## فعالیت عملی ۳-۲

دو باتری ۱/۵ ولت قلمی، یکی نو و دیگری استفاده شده را انتخاب کنید و به کمک سیم‌های اتصال و آمپرسنج مقاومت درونی هر باتری را پیدا کنید. نتیجه‌ی حاصل را در کلاس درس به بحث بگذارید.

## مطالعه‌ی آزاد

### شوک الکتریکی

کدام یک باعث شوک الکتریکی در بدن می‌شود: جریان یا ولتاژ؟ اثرهای زیان‌آور شوک ناشی از عبور جریان از بدن است. از قانون اهم می‌توان دریافت که این جریان هم به ولتاژ اعمال شده به بدن و هم به مقاومت الکتریکی آن بستگی دارد. مقاومت بدن، که تابع وضعیت آن است، از حدود ۱۰۰ اهم وقتی که با آب نمک خیس شده باشد تا حدود ۵۰۰ کیلو اهم اگر پوست کاملاً خشک باشد تغییر می‌کند. اگر با انگشتان خشک به دو الکترود یک باتری دست بزنیم، و با دست های خود مدار کاملی به وجود آوریم، انتظار داریم مقاومت آن حدود ۱۰۰ کیلو اهم باشد. معمولاً جریان حاصل از ۱۲ ولت را حس نمی‌کنیم و در ۲۴ ولت تنها بدنمان گزگز می‌کند.

اگر پوست مرطوب باشد، ۲۴ ولت ممکن است کاملاً آزاردهنده باشد.

جدول صفحه‌ی بعد اثر مقدارهای مختلف جریان را بر بدن نشان می‌دهد.

جدول اثر جریان‌های الکتریکی بر بدن

| جریان (A) | اثر |
|---|---|
| ۰/۰۰۱ | می‌توان آن را احساس کرد. |
| ۰/۰۰۵ | دردناک است. |
| ۰/۰۱۰ | سبب انقباض غیر ارادی (گرفتگی) عضله می‌شود. |
| ۰/۰۱۵ | باعث از دست رفتن کنترل بر عضله می‌شود. |
| ۰/۰۷۰ | اگر از قلب بگذرد سبب اختلال جدی می‌شود؛ اگر بیش از یک ثانیه دوام آورد، احتمالاً کشنده است. |

هر سال تعداد زیادی از مردم جهان با جریان حاصل از مدارهای ۲۲۰ ولت معمولی کشته می‌شوند. اگر هنگامی که روی زمین ایستاده‌اید به کلید برق معیوبی دست بزنید، بین دست شما و زمین ۲۲۰ ولت «فشار الکتریکی» وجود خواهد داشت، که جریان حاصل از آن به احتمال زیاد برای آسیب رساندن به شما کافی نیست. اما اگر پا برهنه درون وان مرطوبی بایستید که از طریق لوله‌کشی به زمین متصل است، مقاومت بین شما و زمین بسیار کم است. مقاومت کلی شما به قدری کم است که اختلاف پتانسیل ۲۲۰ ولت جریان زیان بخشی را در بدنتان تولید می‌کند. هنگام حمام کردن به هیچ وسیله‌ی الکتریکی دست نزنید.

قطره‌های آبی که اطراف کلیدهای روشن- خاموش وسیله‌هایی چون سشوار جمع می‌شود ممکن است جریان را به کاربر آن هدایت کنند. گرچه آب تقطیر شده عایق خوبی است، اما یون‌های موجود در آب معمولی شهر مقاومت الکتریکی آن را بسیار کم می‌کنند. این یون‌ها حاصل مواد حل شده در آب، مخصوصاً نمک‌ها، است. معمولاً بر اثر تعریق لایه‌ای نمک روی پوست شما باقی می‌ماند، و وقتی که پوستتان مرطوب باشد، مقاومت آن را بسته به اینکه ولتاژ در چه فاصله‌ای از آن اعمال شود، به چند صد اهم یا کمتر کاهش می‌دهد.

شوک الکتریکی به دلیل اختلاف پتانسیل الکتریکی- اختلاف ولتاژ- بین بخشی از بدن و بخش دیگر آن وارد می‌شود. بیش‌تر جریان از مسیری با کم ترین مقاومت بین این دو نقطه عبور می‌کند. اگر هنگام پایین افتادن از پلی موفق به چنگ زدن به یک سیم فشار قوی شوید که مانع از سقوط شما می‌شود، مادامی که چیزی با پتانسیلی متفاوت را لمس نکنید، هیچ شوکی دریافت نخواهید کرد. حتی اگر پتانسیل سیم هزاران ولت بیش تر از پتانسیل زمین باشد، و حتی اگر با هر دو دست از آن آویزان شوید، بار قابل ملاحظه‌ای از یک دست به دست دیگر روان نمی‌شود، زیرا اختلاف پتانسیل قابل ملاحظه‌ای بین دست‌های شما وجود ندارد. با این همه، اگر با دست دیگر به سیمی با پتانسیل متفاوت چنگ بزنید ... از پا در می‌آیید! همه ما پرندگانی را دیده‌ایم که روی سیم‌های فشار قوی نشسته‌اند. پتانسیل تمام بخش‌های بدن آن‌ها همان پتانسیل زیاد سیم است، بنابراین در

معرض هیچ اثر زیان باری قرار نمی‌گیرند، (شکل زیر).

این پرنده می‌تواند بدون آسیب دیدن روی سیم با ولتاژ بالا بایستد.

شوک الکتریکی می‌تواند سبب گرم شدن بیش از حد بافت‌های بدن و مختل شدن کارهای عادی عصب شود و ضربانگ‌های الکتریکی حفظ کننده‌ی ضربان منظم قلب را بر هم زند و ممکن است مرکز عصبی تنظیم تنفس را مختل کند. اولین کار برای نجات قربانیان شوک مشخص کردن و قطع منبع توان است. سپس تا رسیدن کمک به قربانی تنفس مصنوعی بدهید. از سوی دیگر، برای قربانیان حمله قلبی گاهی شوک الکتریکیِ مناسب می‌تواند سبب شروع به کار قلب شود.

شبیه سازی

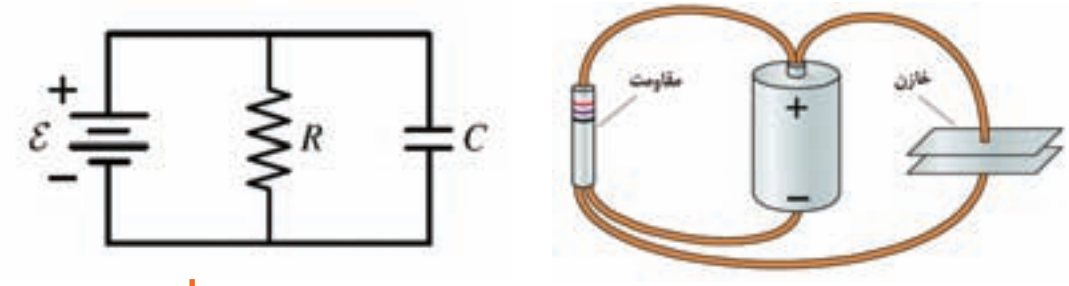
■ مدار الکتریکی ۱ و ۲

## ۳-۴ مدارهای الکتریکی

هر مسیری که الکترون‌ها بتوانند بدون وقفه در آن جریان یابند **مدار الکتریکی** است. اغلب مدارها بیش از یک قطعه برای دریافت انرژی الکتریکی دارند. این قطعه‌ها را در مدار معمولاً به یکی از دو صورت، سری یا موازی، به هم وصل می‌کنند. در مدارهای سری تنها یک مسیر برای روان شدن الکترون‌ها بین پایانه‌های باتری یا مولد وجود دارد در حالی که در مدارهای موازی بیش از یک مسیر وجود دارد.

## قطعه‌ها و نمودارهای مدار الکتریکی

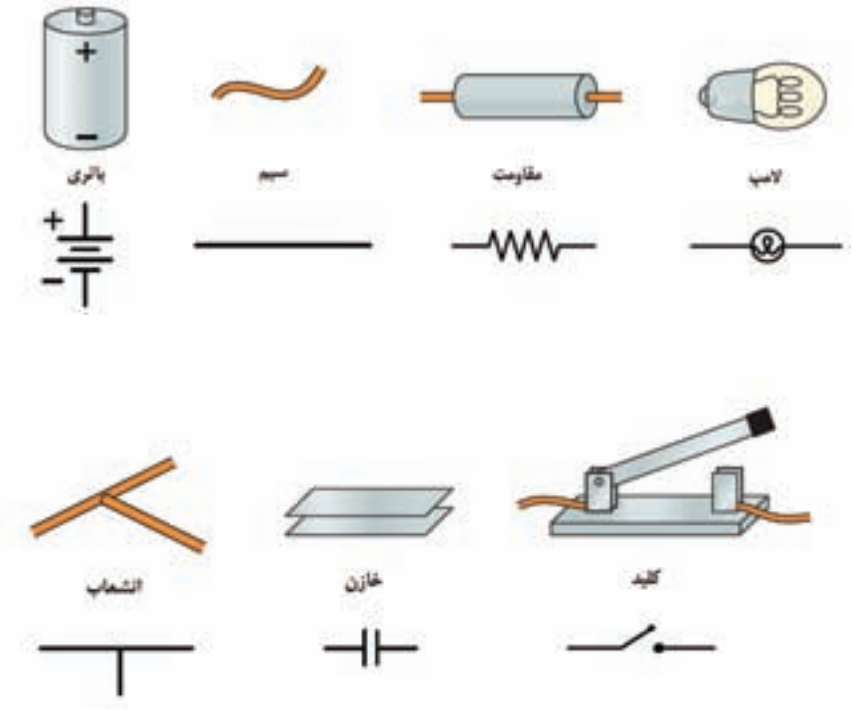
شکل ۳-۲۶ الف یک مدار الکتریکی شامل مقاومت، خازن و باتری را نشان می‌دهد که توسط سیم‌هایی به یکدیگر وصل شده‌اند. برای درک عملکرد این مدار، لازم نیست که ببینیم سیم‌ها خمیده‌اند یا مستقیم، باتری در طرف چپ مقاومت قرار دارد یا طرف راست آن. برای تحلیل و بررسی مدارها، مرسوم است که از تصویری ساده شده از مدار به نام **نمودار مدار** استفاده می‌شود. شکل ۳-۲۶ ب نمودار مدار مربوط به شکل ۳-۲۶ الف را نشان می‌دهد.




(الف) (ب)

شکل ۳-۲۶ (الف) یک مدار الکتریکی، (ب) نمودار مدار الکتریکی شکل الف.

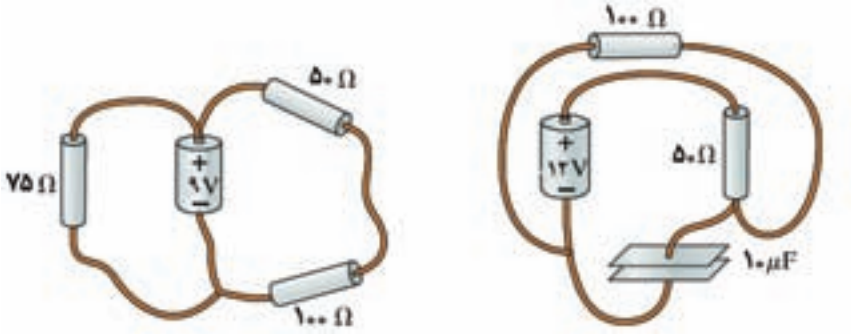
همان طور که در شکل ۳-۲۶ ب نیز دیده می‌شود از نمادهای خاصی برای هر یک از قطعه‌های مدار شکل ۳-۲۰ الف استفاده شده است. در شکل ۳-۲۷ برخی از قطعه‌هایی که در بیش‌تر مدارهای الکتریکی به کار می‌روند همراه با نماد آن‌ها نشان داده شده است.




شکل ۳-۲۷ برخی از قطعه‌ها و نمادهای مربوط به آن‌ها که در اغلب مدارهای الکتریکی به کار می‌روند.

## تمرین ۳-۶

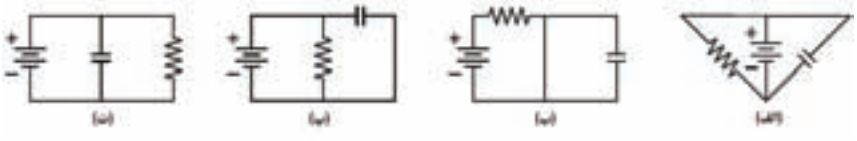
برای هر یک از مدارهای شکل ۳-۲۸ یک نمودار مدار رسم کنید.




شکل ۳-۲۸

## پرسش ۳-۱

در شکل ۳-۲۹، چهار نمودار مدار رسم شده است. کدام یک از این نمودارها مربوط مدار الکتریکی متفاوتی است؟



شکل ۳-۲۹

## مدارهای سری (متوالی)

شکل ۳-۳۰ الف دو لامپ را نشان می‌دهد که به طور سری به یک باتری وصل شده‌اند. جریان در هر دو لامپ یکسان است و حامل‌های بار هنگام شارش در مدار، در هیچ لامپی «انباشته نمی‌شوند». افزون بر این‌ها، جریانی که از هر یک از لامپ‌ها می‌گذرد، درست برابر جریانی است که از باتری می‌گذرد. به این ترتیب برای یک مدار سری، که آن‌ها را مدار تک حلقه‌ای نیز می‌خوانند (شکل ۳-۳۰ ب)، می‌توان گفت:

۱- تنها یک مسیر برای جریان وجود دارد و جریان در همه‌ی قطعه‌های مدار یکسان است.

۲- اختلاف پتانسیل یا ولتاژ کل اعمال شده توسط باتری، بین تک‌تک قطعه‌های الکتریکی مدار تقسیم می‌شود. یعنی در هر مدار سری، مجموع جبری ولتاژها صفر است.[۱]

پس برای هر یک از مقاومت‌های مدار شکل ۳-۳۰ب داریم:

$$V_b - V_a = R_1 I$$
$$V_c - V_b = R_2 I$$

۱- این موضوع، **قاعده‌ی حلقه‌ی کیرشهف(یا قانون ولتاژ کیرشهف)** خوانده می‌شود.

با جمع دو طرف این دو رابطه داریم

$$V_c - V_a = (R_1 + R_2)\, I$$

چون سیم‌های رابط بدون مقاومت فرض می‌شوند، ولتاژ دو سر باتری برابر است با:

$$\Delta V = V_c - V_a$$

پس

$$\Delta V = (R_1 + R_2)\, I$$

اکنون فرض کنید مقاومتی مانند $R_{eq}$ در اختیار داریم که با اعمال ولتاژ $\Delta V$ به دو سر آن، جریان $I$ از آن عبور کند (مدار شکل ۳-۳۰ پ)، در این صورت:

$$\Delta V = R_{eq}\, I$$

از مقایسه‌ی دو رابطه‌ی اخیر داریم:

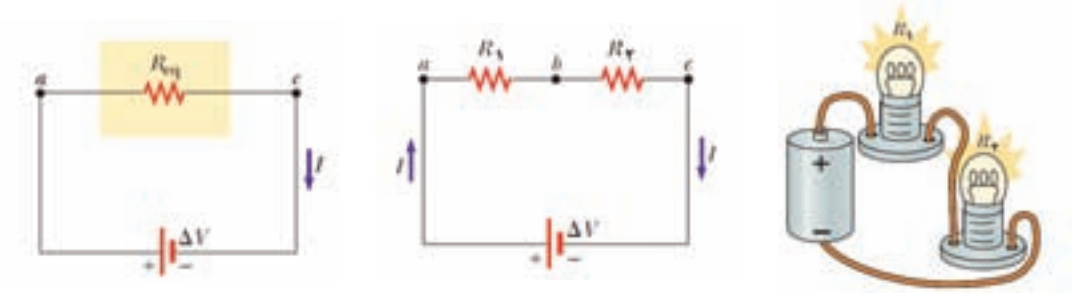
$$R_{eq} I = (R_1 + R_2)\, I$$

یا

$$R_{eq} = R_1 + R_2 \qquad (۸-۳)$$

در این صورت $R_{eq}$ را مقاومت معادل $R_1$ و $R_2$ می‌نامیم. اگر بیش از دو مقاومت به طور سری به یکدیگر وصل شده باشند، مقاومت معادل با تحلیلی مشابه آنچه بیان شد از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots \qquad (۹-۳)$$




(پ) (ب) (الف)

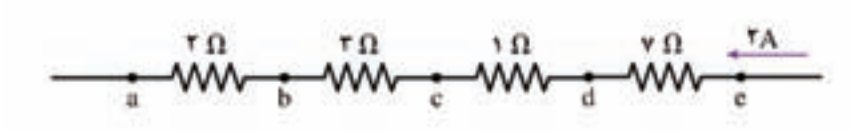
شکل ۳-۳۰ (الف) مداری سری شامل دو لامپ و یک باتری. (ب) ولتاژ دو سر باتری بین هر یک از مقاومت‌های $R_1$ و $R_2$ تقسیم می‌شود. (پ) $R_{eq}$ مقاومت معادل $R_1$ و $R_2$ است. زیرا با اعمال ولتاژ $\Delta V$ به دو سر آن، جریان $I$ از آن می‌گذرد.

## مثال ۳-۷

شکل ۳-۳۱ بخشی از یک مدار الکتریکی را نشان می‌دهد.

الف) جریان در هر یک از نقطه‌های a تا e چقدر است؟

ب) ولتاژ دو سر هر مقاومت و همچنین ولتاژ دو سر a و e چقدر است؟




شکل ۳-۳۱ بخشی از یک مدار الکتریکی شامل چند مقاومت سری.

**حل:** الف) جریان در همه‌ی قسمت‌های مختلف این بخش از مدار یکسان و برابر ۲A است. مقاومت‌ها به طوری سری به یکدیگر وصل شده‌اند و حامل‌های بار هنگام شارش در آن‌ها، در هیچ یک از مقاومت‌ها انباشته نمی‌شوند.

ب) با توجه به رابطه‌ی $\Delta V = I R$ ، برای هر یک از مقاومت‌ها داریم:

$$V_b - V_a = (۲\,\Omega)(۲\,\mathrm{A}) = ۴\,\mathrm{V}$$
$$V_c - V_b = (۳\,\Omega)(۲\,\mathrm{A}) = ۶\,\mathrm{V}$$
$$V_d - V_c = (۱\,\Omega)(۲\,\mathrm{A}) = ۲\,\mathrm{V}$$
$$V_e - V_d = (۷\,\Omega)(۲\,\mathrm{A}) = ۱۴\,\mathrm{V}$$

به این ترتیب ولتاژ دو سر a و e برابر است با جمع ولتاژ دو سر هر یک از مقاومت‌هاکه برابر است با:

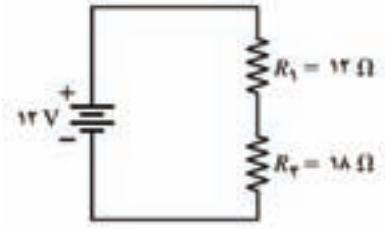
$$V_e - V_a = ۴\,\mathrm{V} + ۶\,\mathrm{V} + ۲\,\mathrm{V} + ۱۴\,\mathrm{V} = ۲۶\,\mathrm{V}$$

## مثال ۳-۸

در مدار شکل ۳-۳۲ مطلوب است

الف) مقاومت معادل مدار.

ب) توان تلف شده در هر مقاومت.




شکل ۳-۳۲

**حل:** الف) چون دو مقاومت به طور سری به یکدیگر وصل شده‌اند، مقاومت معادل آن‌ها برابر است با:

$$R_{eq} = R_۱ + R_۲$$
$$= ۱۲\,\Omega + ۱۸\,\Omega = ۳۰\,\Omega$$

ب) ابتدا جریان عبوری از مدار را به دست می‌آوریم:

$$\Delta V = R_{eq} I$$

$$۱۲\,\mathrm{V} = ۳۰ I \Rightarrow I = ۰/۴\,\mathrm{A}$$

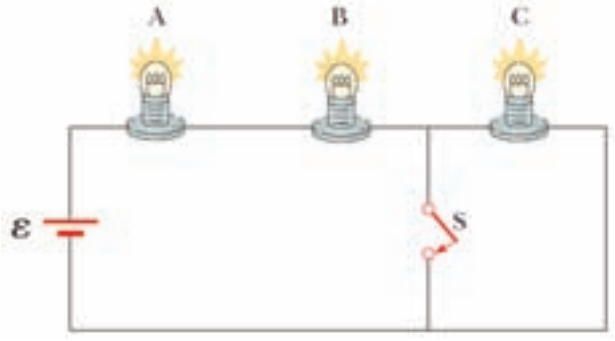
با توجه به رابطه‌ی $P = RI^۲$ ، که از فیزیک (۱) و آزمایشگاه نیز با آن آشنا شده‌اید، توان تلف شده در هر مقاومت برابر است با:

$$P_۱ = R_۱ I^۲ = (۱۲\,\Omega)(۰/۴\,\mathrm{A})^۲ = ۱/۹۲\,\mathrm{W}$$

$$P_۲ = R_۲ I^۲ = (۱۸\,\Omega)(۰/۴\,\mathrm{A})^۲ = ۲/۸۸\,\mathrm{W}$$

## مثال مفهومی ۳-۹

شکل ۳-۳۳ مداری شامل سه لامپ مشابه و یک باتری با نیروی محرکه‌ی $\varepsilon$ را نشان می‌دهد که به طور سری به یکدیگر وصل شده‌اند. با بستن کلید S چه تغییری در روشنایی هر یک از لامپ‌ها رخ می‌دهد؟ (مقاومت درونی باتری ناچیز است.)




شکل ۳-۳۳

**پاسخ:** وقتی کلید S باز است، چون لامپ‌ها مشابه یکدیگر فرض شده‌اند، میزان درخشندگی آن‌ها نیز یکسان است. زیرا ولتاژ دو سر باتری به مقدار یکسانی بین تک‌تک لامپ تقسیم می‌شود.

با بستن کلید S ، دو سر لامپ C اتصال کوتاه و از مدار حذف می‌شود. در نتیجه لامپ C خاموش و دو لامپ دیگر با شدت بیش‌تری می‌درخشند. توجه کنید در این وضعیت ولتاژ دو سر باتری تنها بین دو لامپ A و B تقسیم می‌شود در حالی که پیش از بستن کلید S ، بین هر سه لامپ تقسیم می‌شد.

## پرسش ۳-۲

اگر یکی از لامپ‌های مدار سری بسوزد، چه اتفاقی برای جریان در لامپ‌های دیگر مدار رخ می‌دهد؟

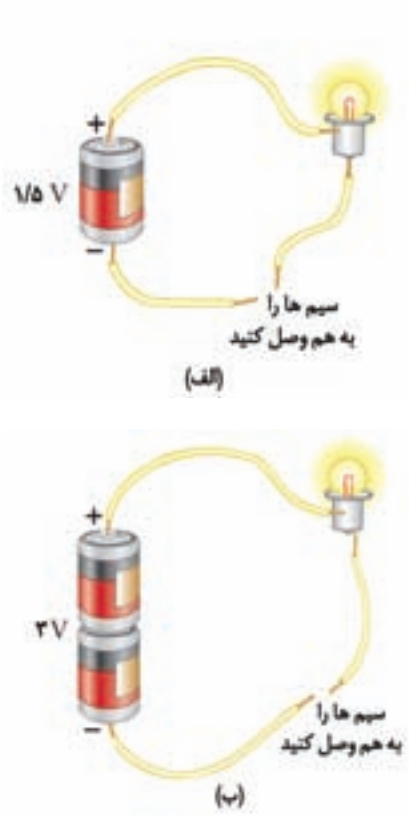
### بیش تر بدانید

■ مدار یکپارچه ( IC )

## فعالیت عملی ۳-۳

ابتدا مطابق شکل ۳-۳۴ الف لامپ کوچکی را توسط یک باتری ۱/۵ ولتی و سپس توسط دو باتری ۱/۵ ولتی روشن کنید (شکل ۳-۳۴ ب).

روشنایی لامپ را در هر دو حالت با هم مقایسه کنید و دلیل آن را با توجه به مفاهیمی که تاکنون فراگرفته‌اید در کلاس به بحث بگذارید.




شکل ۳-۳۴

## مدارهای موازی

اکنون مداری شامل یک باتری و دو لامپ را در نظر بگیرید که مطابق شکل ۳-۳۵ الف به طور موازی به یکدیگر وصل شده‌اند. برای یک مدار موازی، که آن‌ها را مدار چند حلقه‌ای نیز می‌خوانند (شکل ۳-۳۵ ب)، می‌توان گفت:

۱- ولتاژ دو سر هر قطعه‌ی الکتریکی با ولتاژ دو سر باتری برابر است.

۲- جریان کل مدار بین شاخه‌های موازی تقسیم می‌شود. چون ولتاژ دو سر هر شاخه یکسان است، مقدار جریان در هر شاخه با مقاومت آن نسبت عکس دارد (به رابطه‌ی $\Delta V = RI$ توجه کنید.)

به این ترتیب می‌توان نوشت:

$$I = I_1 + I_2$$

همچنین داریم:

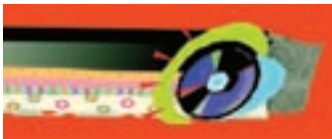
$$I_1 = \frac{\Delta V}{R_1} \quad , \quad I_2 = \frac{\Delta V}{R_2}$$

و یا

$$I = \frac{\Delta V}{R_1} + \frac{\Delta V}{R_2} = \Delta V \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

اکنون فرض کنید مقاومتی مانند $R_{eq}$ در اختیار داریم که با ولتاژ $\Delta V$ به دو سر آن، جریان $I$ از آن عبور کند (مدار شکل ۳-۳۵ پ)، در این صورت:

$$I = \frac{\Delta V}{R_{eq}}$$



### 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.

- مدارهای سری و متوالی
- اندازه‌گیری ولتاژ در مدار
- اندازه‌گیری جریان در مدار

از مقایسه‌ی دو رابطه‌ی اخیر داریم:

$$\frac{\Delta V}{R_{eq}} = \Delta V\left(\frac{۱}{R_۱}+\frac{۱}{R_۲}\right)$$

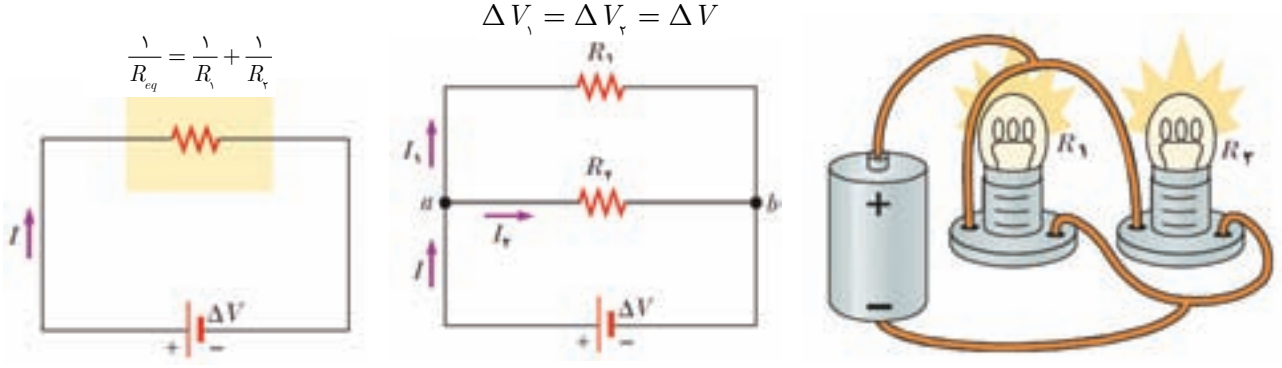
یا

$$\frac{۱}{R_{eq}} = \frac{۱}{R_۱}+\frac{۱}{R_۲} \qquad (۳-۱۰)$$

اگر بیش از دو مقاومت به طور موازی به یکدیگر وصل شده باشند، وارون مقاومت معادل برابر است با مجموع وارون همه‌ی مقاومت‌ها. یعنی:

$$\frac{۱}{R_{eq}} = \frac{۱}{R_۱}+\frac{۱}{R_۲}+\frac{۱}{R_۳}+\ldots \qquad (۳-۱۱)$$

$$\Delta V_۱ = \Delta V_۲ = \Delta V$$




(پ) (ب) (الف)

شکل ۳-۳۵ (الف) مدار موازی شامل دو لامپ و یک باتری. (ب) جریان کل مدار بین شاخه‌های موازی تقسیم می‌شود و ولتاژ دو سر هر مقاومت با ولتاژ دو سر باتری برابر است. (پ) و در به هم بستن مقاومت‌ها به طور موازی، وارون مقاومت معادل برابر مجموع وارون مقاومت‌هاست.

## مثال ۳-۱۰

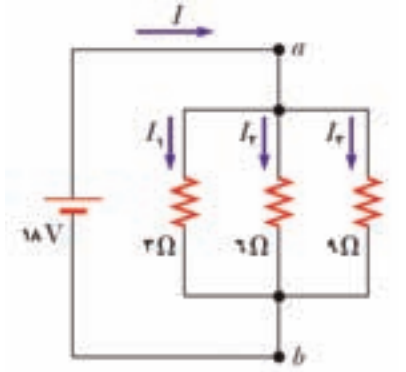
سه مقاومت مختلف و یک باتری با مقاومت درونی ناچیز به طور موازی به یکدیگر وصل شده‌اند (شکل ۳-۳۶).

الف) مقدار جریان را در شاخه‌ی مدار پیدا کنید.

ب) توان تلف شده در هر مقاومت و کل توانی را که باتری در اختیار مدار می‌گذارد به دست آورید.

پ) مقاومت معادل مدار را حساب کنید.

**حل:** الف) با استفاده از رابطه‌ی $I = \frac{\Delta V}{R}$ ، جریان را در هر شاخه به دست می‌آوریم




شکل ۳-۳۶ مداری شامل یک باتری و سه مقاومت که به طور موازی وصل شده‌اند.

$$I_۱ = \frac{\Delta V}{R_۱} = \frac{۱۸\,\mathrm{V}}{۳\,\Omega} = ۶\,\mathrm{A}$$

$$I_۲ = \frac{\Delta V}{R_۲} = \frac{۱۸\,\mathrm{V}}{۶\,\Omega} = ۳\,\mathrm{A}$$

$$I_۳ = \frac{\Delta V}{R_۳} = \frac{۱۸\,\mathrm{V}}{۹\,\Omega} = ۲\,\mathrm{A}$$

ب) با استفاده از رابطه‌ی $P = I^۲R$ ، توان تلف شده در هر مقاومت برابر است با:

مقاومت ۳ اهمی : $P_۱ = I_۱^۲R_۱ = (۶\,\mathrm{A})^۲(۳\Omega) = ۱۰۸\,\mathrm{W}$

مقاومت ۶ اهمی : $P_۲ = I_۲^۲R_۲ = (۳\,\mathrm{A})^۲(۶\Omega) = ۵۴\,\mathrm{W}$

مقاومت ۹ اهمی : $P_۳ = I_۳^۲R_۳ = (۲\,\mathrm{A})^۲(۹\Omega) = ۳۶\,\mathrm{W}$

به این ترتیب کل توانی که باتری در اختیار مدار می‌گذارد برابر است با:

$$P_{\text{کل}} = P_۱ + P_۲ + P_۳$$
$$= ۱۰۸\,\mathrm{W} + ۵۴\,\mathrm{W} + ۳۶\,\mathrm{W} = ۱۹۸\,\mathrm{W}$$

پ) با استفاده از رابطه‌ی (۳–۱۱) داریم:

$$\frac{۱}{R_{eq}} = \frac{۱}{R_۱} + \frac{۱}{R_۲} + \frac{۱}{R_۳} + \dots$$
$$= \frac{۱}{۳\,\Omega} + \frac{۱}{۶\,\Omega} + \frac{۱}{۹\,\Omega} = \frac{۱۱}{۱۸\,\Omega}$$

پس

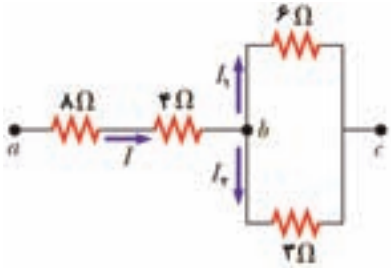
$$R_{eq} = \frac{۱۸}{۱۱}\Omega = ۱/۶\,\Omega$$

## مثال ۳–۱۱

شکل ۳–۳۷ قسمتی از یک مدار الکتریکی را نشان می‌دهد.

الف) مقاومت معادل بین دو نقطه‌ی a و b را پیدا کنید.

ب) اگر یک باتری با مقاومت درونی ناچیز و ولتاژ ۴۲ V به دو سر a و c وصل شود جریان $I$ چقدر است؟




شکل ۳–۳۷ قسمتی از یک مدار شامل ۴ مقاومت

الف) در شکل ۳–۳۸ دو مرحله برای به دست آوردن مقاومت معادل بین دو نقطه‌ی a و c به طور طرحوار نشان داده شده است. برای دو مقاومت ۸ و ۴ اهمی که به طور

سری به هم وصل شده‌اند داریم:

$$R_{eq} = R_۱ + R_۲ = ۸\,\Omega + ۴\,\Omega = ۱۲\,\Omega$$

همچنین برای دو مقاومت ۶ و ۳ اهمی که به طور موازی به هم وصل شده‌اند، داریم:

$$\frac{۱}{R_{eq}} = \frac{۱}{R_۱} + \frac{۱}{R_۲} = \frac{۱}{۶\,\Omega} + \frac{۱}{۳\,\Omega} = \frac{۱}{۲\,\Omega}$$

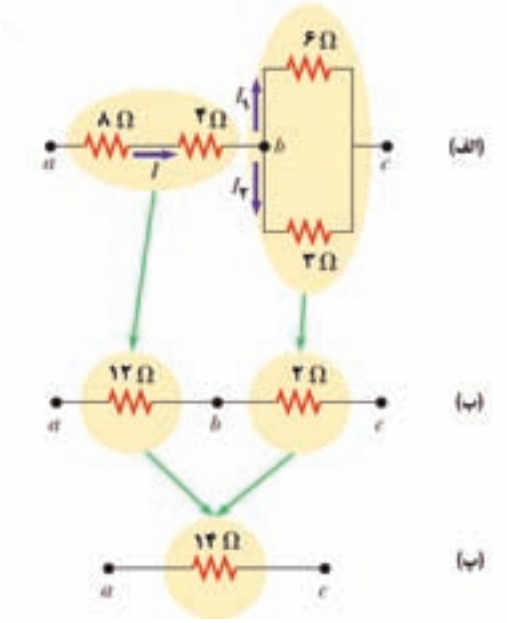
پس $R_{eq} = ۲\,\Omega$.

حالا با توجه به شکل ۳-۳۸ ب، دو مقاومت ۱۲ و ۲ اهمی داریم که به طور سری به هم وصل شده‌اند. به این ترتیب مقاومت معادل بین a و c برابر است با:

$$R_{eq} = R_۱ + R_۲ = ۱۲\,\Omega + ۲\,\Omega = ۱۴\,\Omega$$

ب) از رابطه‌ی $\Delta V = R\,I$ داریم:

$$I = \frac{\Delta V_{ac}}{R_{eq}} = \frac{۴۲\,\text{V}}{۱۴\,\Omega} = ۳\,\text{A}$$

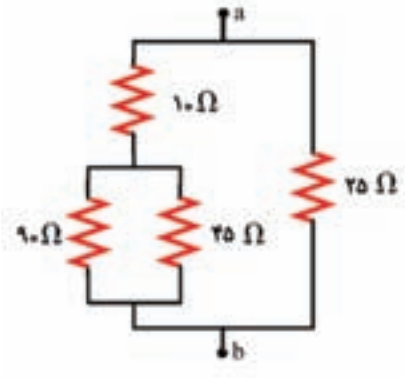



شکل ۳-۳۸

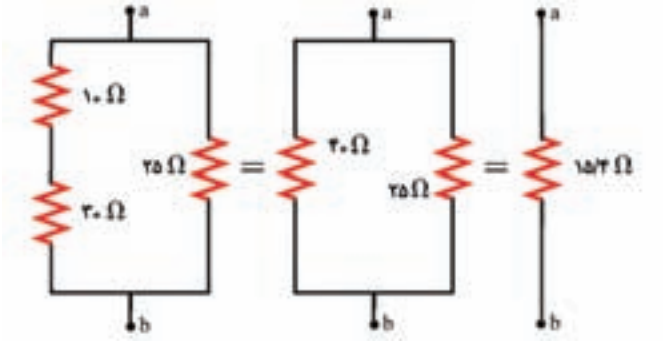
## مثال ۳-۱۲

مقاومت معادل بین دو نقطه a و b را در شکل ۳-۳۹ که بخشی از یک مدار الکتریکی است به دست آورید.

**حل:** نحوه‌ی پیدا کردن مقاومت معادل در سه مرحله در شکل ۳-۴۰ آمده است. جزئیات محاسبه را به عهده‌ی خودتان می‌گذاریم.



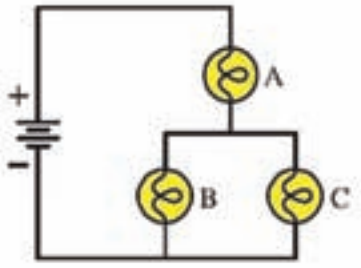

شکل ۳-۳۹ بخشی از یک مدار الکتریکی شامل چندین مقاومت.




شکل ۳-۴۰

### مثال مفهومی ۳-۱۳

شکل ۳-۴۱ مداری شامل سه لامپ مشابه و یک باتری با مقاومت درونی ناچیز را نشان می‌دهد. روشنایی هر سه لامپ را با هم مقایسه کنید.

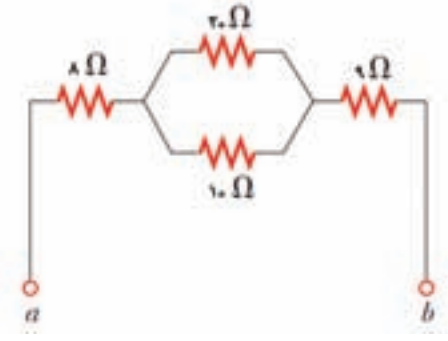



شکل ۳-۴۱

پاسخ: لامپ A بیش‌ترین روشنایی و روشنایی لامپ‌های B و C برابر یکدیگر است. توجه کنید که جریان $I$ پس از عبور از لامپ A بین لامپ‌های B و C به طور یکسان تقسیم می‌شود.

### تمرین ۳-۷

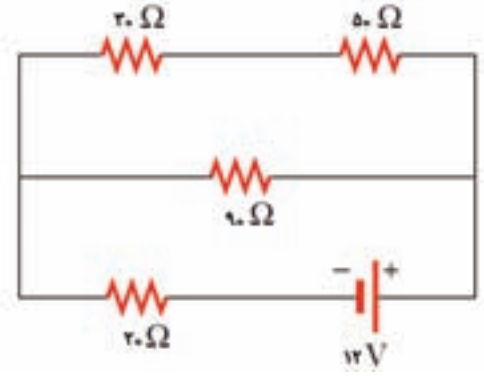
مقاومت معادل بین دو نقطه‌ی a و b را در شکل ۳-۴۲ که بخشی از یک مدار الکتریکی است به دست آورید.




شکل ۳-۴۲

## تمرین ۳-۸

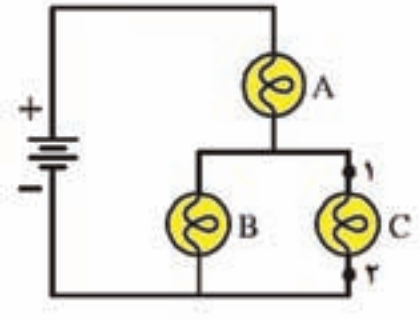
اگر مقاومت درونی باتری در مدار شکل ۳-۴۳ ناچیز باشد، توان تلف شده در مقاومت ۲۰ اهمی چقدر است؟ راهنمایی: ابتدا مقاومت معادل را به دست آورید و با توجه به آن جریان عبوری از مقاومت ۲۰ اهمی را پیدا کنید.




شکل ۳-۴۳

## فعالیت عملی ۳-۴

سه لامپ مشابه کوچک و یک باتری را توسط سیم‌های رابط مطابق مدار شکل ۳-۴۴ به یکدیگر ببندید. ابتدا روشنایی لامپ‌ها را با یکدیگر مقایسه کنید. سپس توسط یک سیم رابط دو نقطه‌ی ۱ و ۲ را به یکدیگر وصل کنید. در این حالت روشنایی لامپ‌ها را با هم مقایسه کرده و نتیجه را در کلاس به بحث بگذارید.




شکل ۳-۴۴

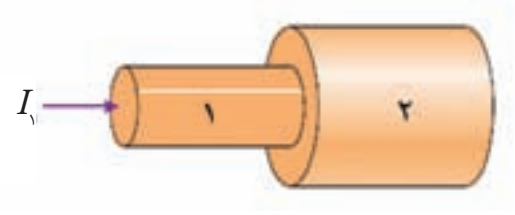
### آزمایشگاه مجازی

به آزمایشگاه مجازی ساخت مدارهای الکتریکی بروید و یک سری مثال‌ها، تمرین‌ها، فعالیت‌ها و همچنین پرسش‌ها و مسئله‌های پایان فصل را شبیه‌سازی کنید و نتیجه را با آنچه به طور نظری به آن رسیده‌اید مقایسه کنید.

# پرسش‌های فصل ۳

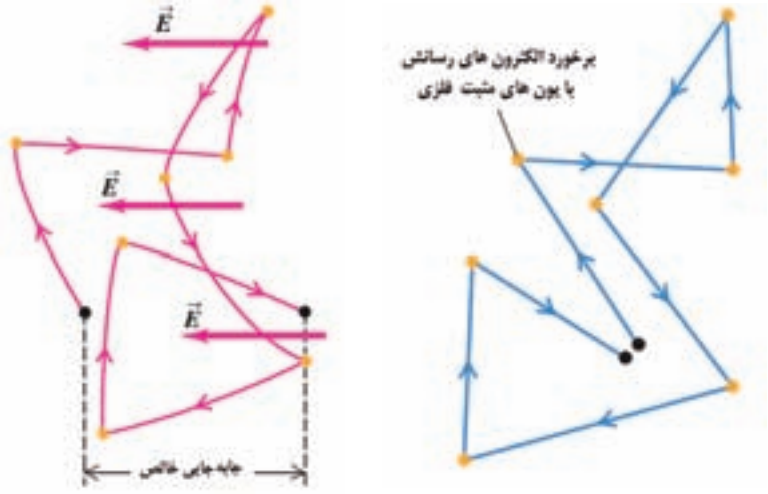
## پرسش‌های مفهومی

۱- سیم شکل ۳-۴۵ شامل دو بخش با قطرهای متفاوت است که جنس مشابهی دارند. جریان در قطعه‌ی ۱ برابر $I_1$ است. توضیح دهید جریانی که از بخش ۲ می‌گذرد نسبت به جریان $I_1$ کمتر، بزرگ‌تر، یا برابر است.




شکل ۳-۴۵

۲- شکل ۳-۴۶ الف حرکت کاتوره‌ای یک الکترون رسانش نوعی را درون یک قطعه فلز نشان می‌دهد. شکل ۳-۴۶ ب حرکت یک الکترون رسانش را درون همان قطعه فلز نشان می‌دهد که به دو سر آن اختلاف پتانسیل $\Delta V$ اعمال شده است. با توجه به این دو شکل توضیح دهید مهم‌ترین تفاوت حرکت الکترون‌های رسانش درون یک قطعه فلز که به دو سر آن اختلاف پتانسیل اعمال شده با حالتی که هیچ اختلاف پتانسیلی اعمال نشده است چیست.

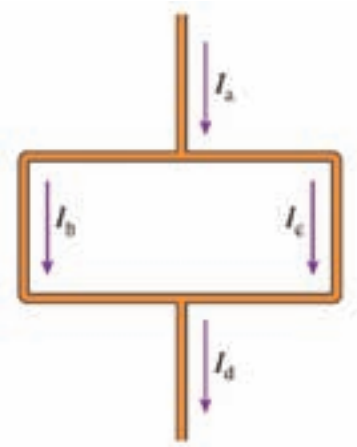



(ب) (الف)

شکل ۳-۴۶

۳- همه‌ی سیم‌ها در شکل ۳-۴۷ از ماده‌ی مشابهی ساخته شده‌اند و قطر برابری

دارند. جریان‌های $I_a$ تا $I_d$ را، از بیش‌ترین تا کم‌ترین مقدار به ترتیب بنویسید.

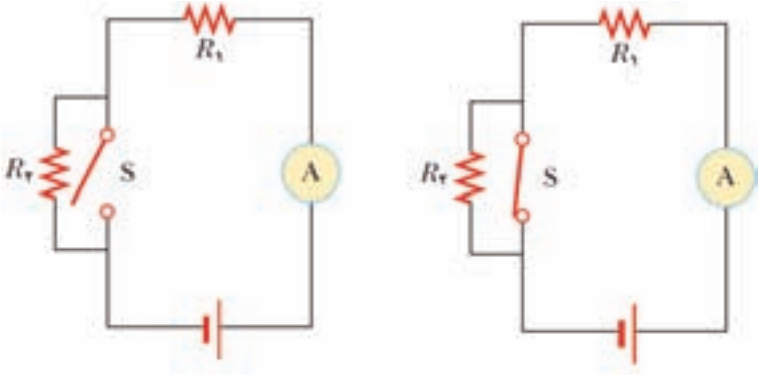



شکل ۳-۴۷

۴- به سه مدار شکل ۳-۴۸ توجه کنید. در کدام یک از این مدارها لامپ روشن می‌شود؟

شکل ۳-۴۸

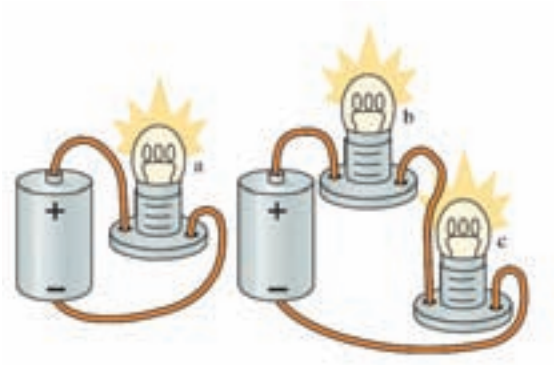
۵- در مدار شکل ۳-۴۹ الف جریان توسط آمپرسنج اندازه‌گیری می‌شود. وقتی مطابق مدار شکل ۳-۴۹ ب کلید S باز شود، جریانی که آمپرسنج می‌خواند چه تغییری می‌کند؟ توضیح دهید.




(ب) (الف)

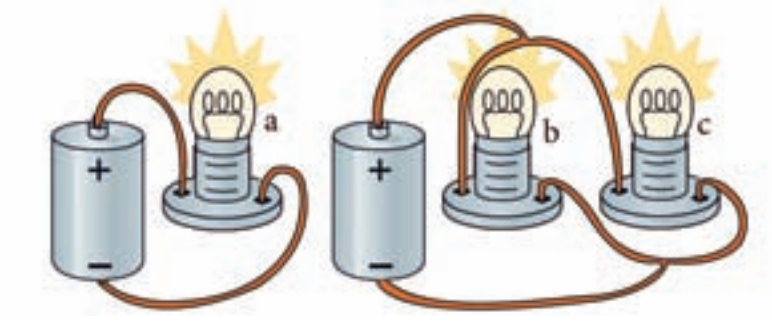
شکل ۳-۴۹

۶- باتری‌ها و لامپ‌ها در هر دو مدار شکل ۳-۵۰ مشابه‌اند. روشنایی هر یک از لامپ‌های a، b و c را، از بیش‌ترین تا کم‌ترین مقدار به ترتیب بنویسید. پاسخ خود را توضیح دهید.



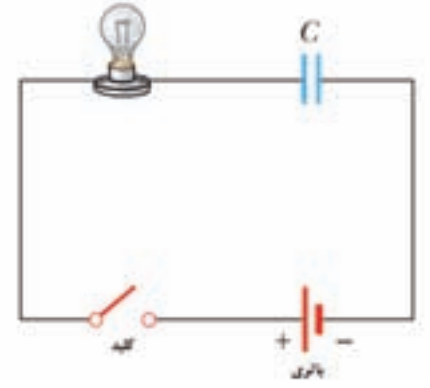

شکل ۳-۵۰

۷- پرسش ۶ را برای مدار شکل ۳-۵۱ پاسخ دهید.



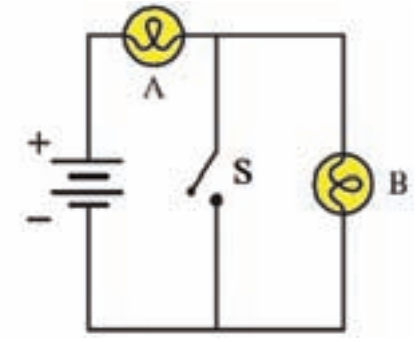

شکل ۳-۵۱

۸- توضیح دهید پس از بستن کلید در مدار شکل ۳-۵۲ چه اتفاقی برای لامپ رخ می‌دهد. فرض کنید ظرفیت خازن زیاد و پیش از بستن کلید بدون بار بوده است. این مدار ساده را بسازید و نتیجه‌ی آزمایش را با آنچه بیان کردید مقایسه کنید.




شکل ۳-۵۲

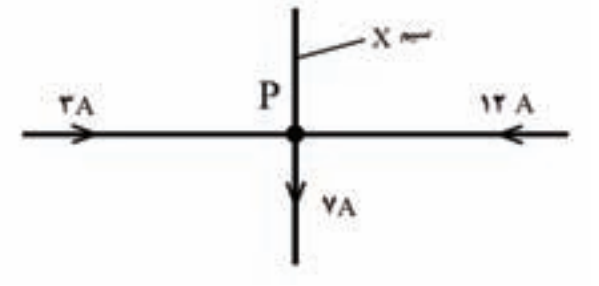
۹- پیش از بستن کلید S در مدار شکل ۳-۵۳ هر دو لامپ A و B با روشنایی یکسانی می‌درخشند. با بستن کلید S نور هر یک از لامپ‌ها را با حالت قبلی مقایسه کنید.




شکل ۳-۵۳

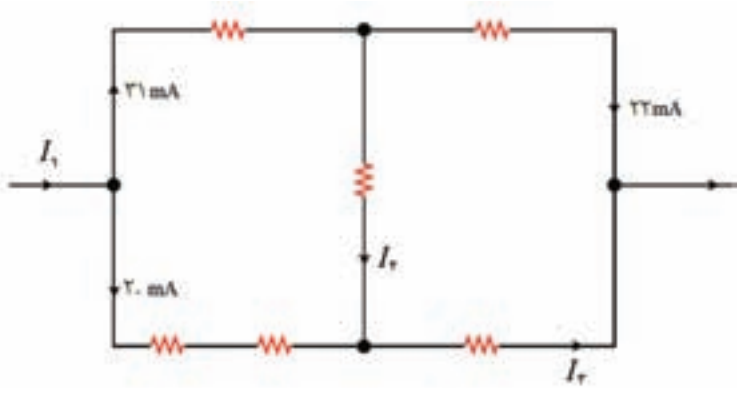
## مسئله‌ها

۱- با استفاده از قانون جریان‌های کیرشهف، جریان در سیم X شکل ۳-۵۴ را پیدا کنید. جهت این جریان را (به طرف P یا بیرون از P) تعیین کنید.




شکل ۳-۵۴

۲- شکل ۳-۵۵ بخشی از یک مدار الکتریکی را نشان می‌دهد. با توجه به قانون جریان‌های کیرشهف جریان‌های $I_1$، $I_2$ و $I_3$ را تعیین کنید.

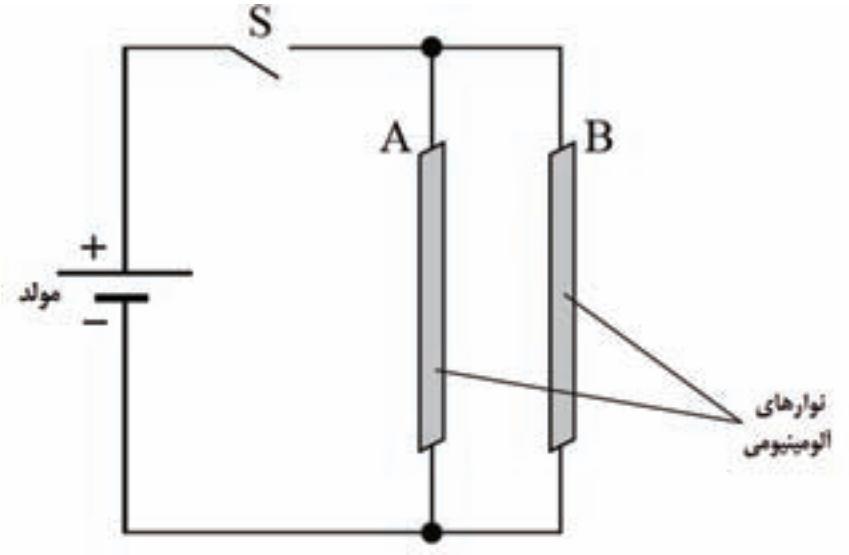



شکل ۳-۵۵

۳- الف) توضیح دهید جریان الکتریکی چیست.

ب) یکای بار الکتریکی در SI، کولن است. کولن را تعریف کنید.

پ) شکل ۳-۵۶ مدار شامل دو نوار آلومینیومی را نشان می‌دهد که به یک مولد وصل شده‌اند. با بستن کلید S ، باری که در مدت ۵۰s از یک مقطع معین یکی از نوارهای آلومینیومی می‌گذرد برابر ۳۴۰C است. جریان در این نوار آلومینیومی چقدر است؟



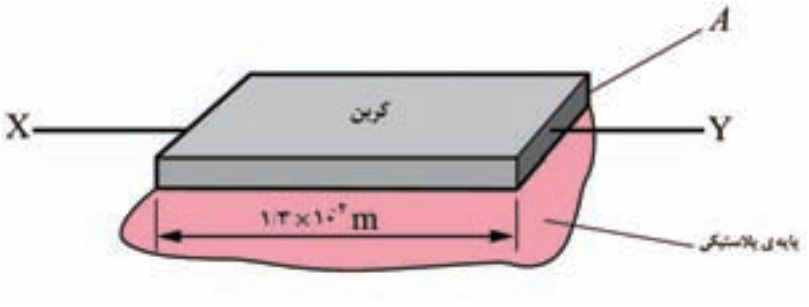

شکل ۳-۵۶

۴- الف) یک گوشی تلفن همراه به مدت ۳۰ دقیقه به شارژی وصل شده است. در این مدت جریان ثابت ۳۵۰mA در مدار برقرار است. بار کل منتقل شده به باتری گوشی تلفن همراه را در این مدت حساب کنید.

ب) جرم هر الکترون $9/11\times10^{-31}$kg است. با توجه به نتیجه‌ی قسمت (الف)، تعیین کنید پس از شارژ شدن باتری گوشی تلفن همراه، چقدر بر جرم آن افزوده شده است؟ (راهنمایی: برای به دست آوردن تعداد الکترون‌های منتقل شده در فرایند شارژ شدن باتری، از رابطه‌ی $Q=ne$ استفاده کنید.)

۵- الف) مقاومت ویژه‌ی قطعه‌ای فلزی به طول $L$ و مساحت سطح مقطع $A$ برابر $\rho$ است. رابطه‌ای بنویسید که مقاومت الکتریکی $R$ این قطعه فلز را بر حسب $L$ ، $A$ و $\rho$ بیان کند.

ب) شکل ۳-۵۷ مقاومتی را نشان می‌دهد که با گذاردن یک لایه‌ی نازک کربن روی یک پایه‌ی پلاستیکی ساخته شده است.




شکل ۳–۵۷

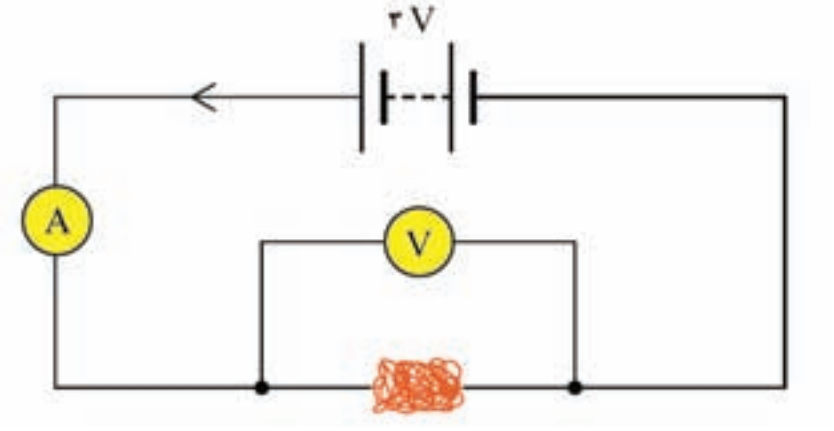
مقاومت لایه‌ی کربنی بین X و Y برابر ۲۲۰۰Ω است. مقاومت ویژه‌ی کربن $3/5\times10^{-5}\ \Omega.m$ و طول لایه‌ی کربنی $1/3\times10^{-2}\ m$ است. نشان دهید که سطح مقطع $A$ لایه‌ی کربنی حدود $2\times10^{-10}\ m^2$ است.

۶– الف) مقاومت الکتریکی یک سیم فلزی به دما و مقاومت ویژه‌ی آن بستگی دارد. افزون بر این‌ها به دو عامل دیگر که مقاومت سیم به آن‌ها بستگی دارد اشاره کنید.

ب) شکل ۳–۵۸ یک مدار الکتریکی را نشان می‌دهد که در قسمتی از آن یک کلاف سیم مسی نازک روکش‌دار قرار دارد. آمپرسنج و ولت‌سنج آرمانی‌اند؛ یعنی مقاومت آمپرسنج ناچیز و مقاومت ولت‌سنج بی‌نهایت است. قطر، طول و مقاومت سیم مسی به ترتیب برابر، ۰/۲۷mm، ۱/۸m و ۰/۵۴Ω است.

i) مقاومت ویژه‌ی مس را پیدا کنید.

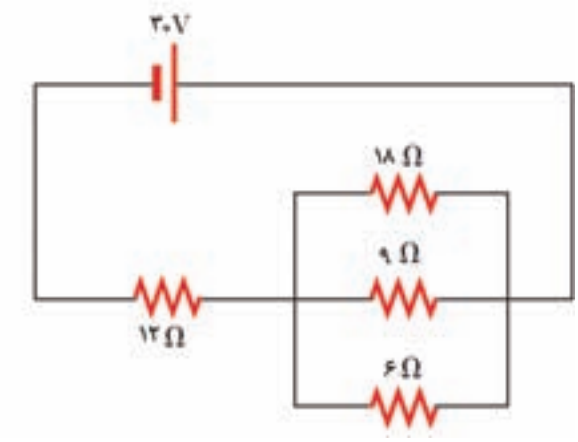
ii) با عبور جریان از کلاف سیم مسی دما و در نتیجه مقاومت آن افزایش می‌یابد. توضیح دهید این موضوع چه تأثیری روی عددهایی که آمپرسنج و ولت‌سنج می‌خوانند می‌گذارد.




شکل ۳–۵۸

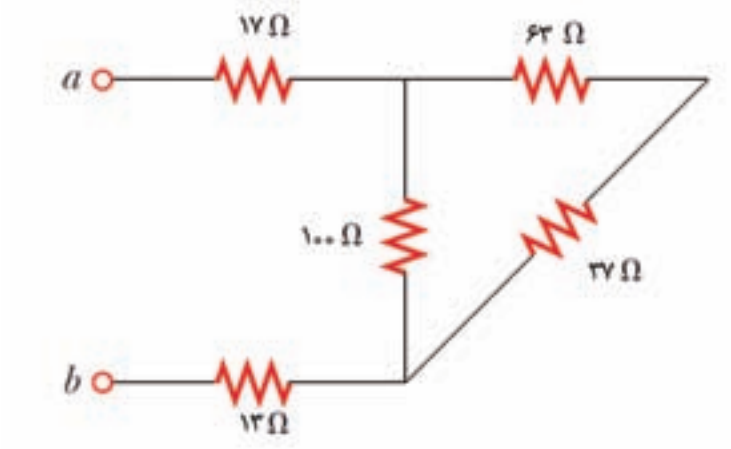
۷- الف) مقاومت معادل را در مدار شکل ۳-۵۹ به دست آورید.

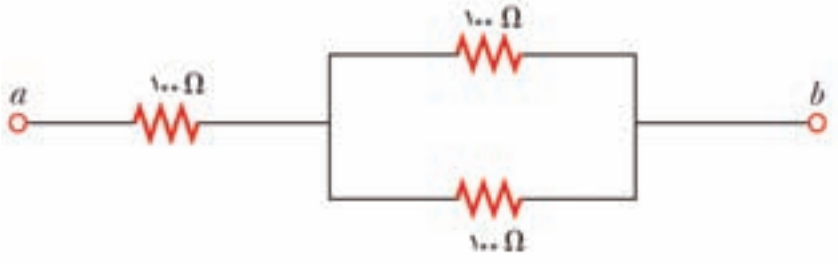
ب) جریانی که از مقاومت ۱۲ اهمی می‌گذرد، چقدر است؟




شکل ۳-۵۹

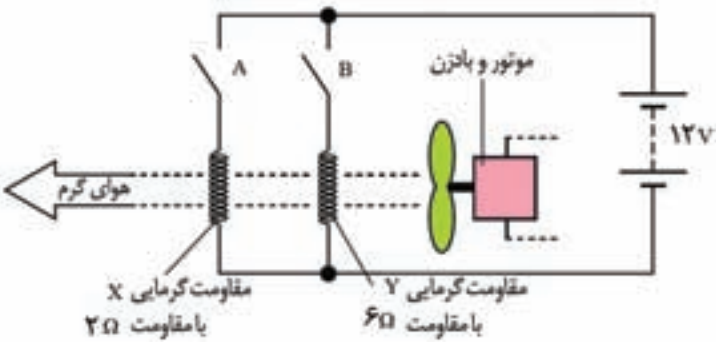
۸- شکل ۳-۶۰ قسمتی از یک مدار الکتریکی را نشان می‌دهد. مقاومت معادل بین دو نقطه‌ی a و b را برای هر شکل پیدا کنید.




شکل ۳-۶۰

۹- شکل ۳-۶۱ مدار الکتریکی یک مو خشک کن کوچک را نشان می‌دهد که برای تولید جریان باد گرم استفاده می‌شود.




شکل ۳-۶۱

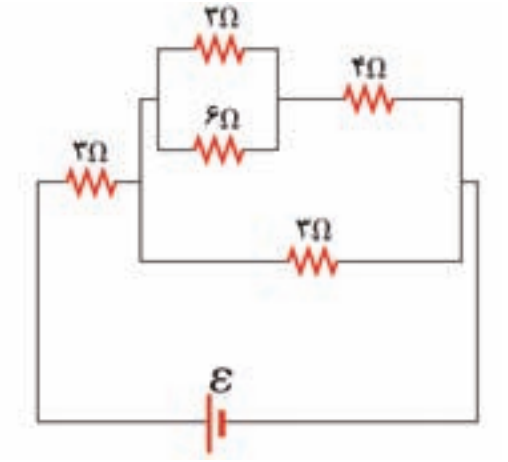
مقاومت درونی مولد ناچیز است و مقاومت هر یک از پیچه‌های X و Y به ترتیب ۲ و ۶ اهم است.

الف) وقتی هر دو کلید A و B بسته می‌شوند، مقاومت معادل مدار را به دست آورید.

ب) وقتی تنها کلید A بسته می‌شود، توان تلف شده در پیچه‌ی X را به دست آورید.

۱۰- الف) مقاومت معادل را در مدار شکل ۳-۶۲ به دست آورید.

ب) اگر توان کل داده شده به مدار ۴۰ وات باشد، نیروی محرکه‌ی مولد $\varepsilon$ را پیدا کنید، مولد را آرمانی $r=0$ فرض کنید.

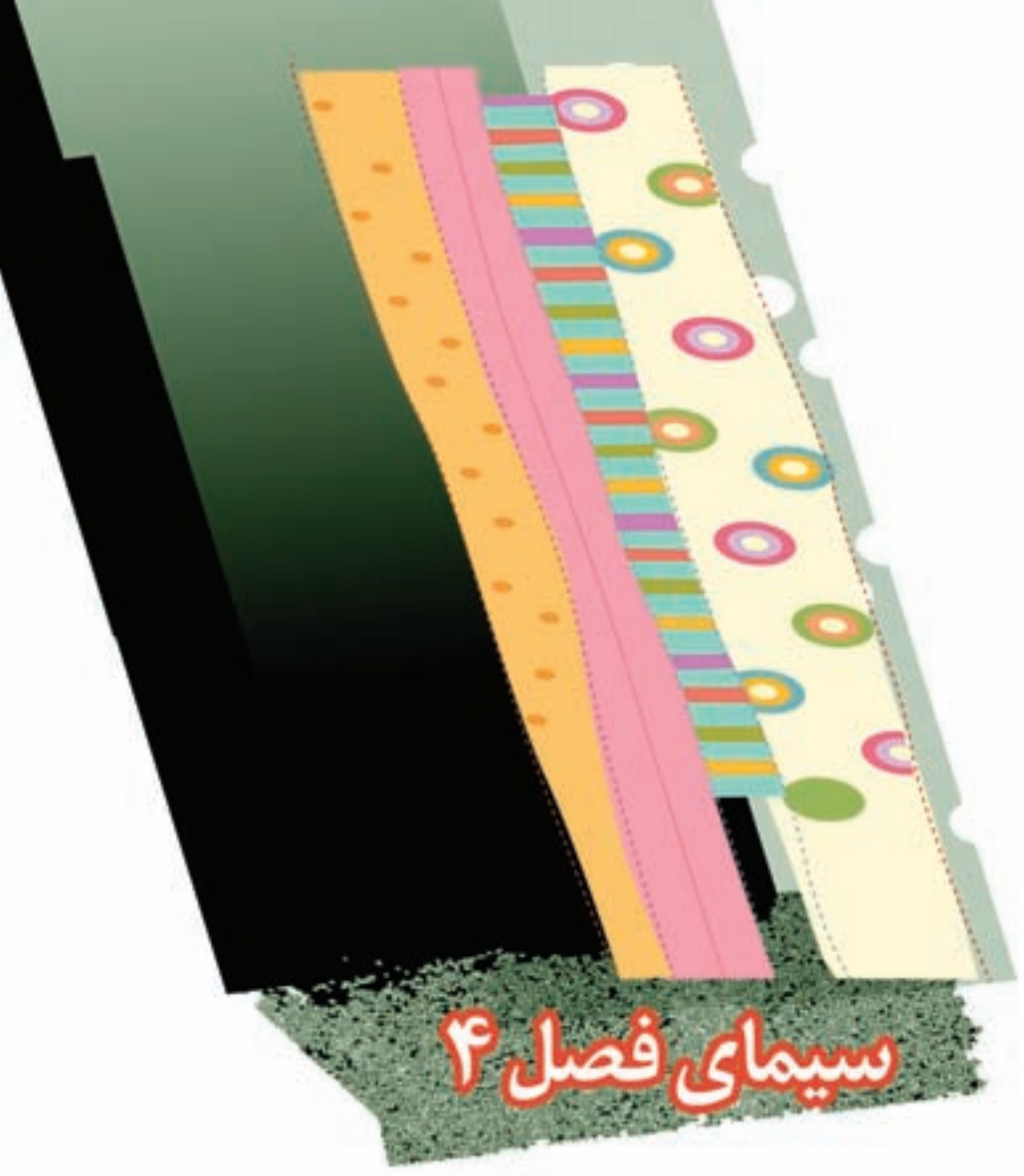



شکل ۳-۶۲

# مغناطیس و کاربردهای آن

زندگی امروز و فردای بشر، بستگی انکار ناپذیری به ذخیره‌ی اطلاعات به صورت صفر و یک در محیط‌های مناسب پیدا کرده است. محیط‌هایی که بتوان حجم زیادی از اطلاعات را به سرعت در آن‌ها و در فضای کمی ذخیره کرد و با کم‌ترین واپیچش و در کوتاه‌ترین زمان ممکن آن‌ها را بازیابی کرد. آیا می‌دانید محیط‌های مناسب برای ذخیره‌ی اطلاعات، چه محیط‌هایی هستند؟ پاسخ در همین فصل.

# فصل ۴



# سیمای فصل ۴


۴- ۱ آهنربا و قطب‌های مغناطیسی
۴-۲ میدان‌های مغناطیسی
۴-۳ الکترومغناطیس
۴-۴ تولید الکتریسیته
پرسش‌های فصل ۴

# مغناطیس و کاربردهای آن

کاربردهای مغناطیس در جنبه‌های مختلف زندگی بشر بی‌شمارند. برای بیش از یک قرن ضبط صدا و تصویر روی صفحه‌ها و نوارهایی انجام می‌شد که مغناطیس نقش اصلی را در آن‌ها ایفا می‌کرد. گرچه فناوری دیجیتالی به میزان زیادی جایگزین ضبط مغناطیسی شده است، با این حال ذخیره‌ی اطلاعات به صورت صفر و یک هنوز هم به آهنرباهایی وابسته است که دستگاه‌های پخش CD و DVD و درایوهای سخت‌افزار رایانه‌ها را کنترل می‌کنند. آهنرباها همچنین در بلندگوی گوشی‌ها، در تلویزیون‌ها، در رایانه‌ها و در تلفن‌ها کاربرد دارند. اتومبیل‌های امروزی به ده‌ها آهنربا مجهزند، زیرا روشن کردن موتور، بالا و پایین بردن شیشه‌های اتومبیل، باز و بسته کردن سقف متحرک آن‌ها و کنترل برف پاکن کن‌ها به آن‌ها نیاز دارد. اغلب سامانه‌های هشدار ایمنی، زنگ درها و قفل درهای خودکار از آهنرباها بهره می‌گیرند. خلاصه این که، ما در محاصره‌ی آهنرباها قرار گرفته‌ایم!

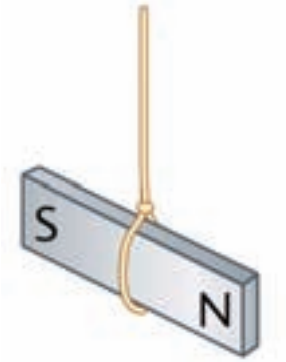
## ۴- ۱ آهنربا و قطب‌های مغناطیسی

همه‌ی ما، زمانی را در دوران کودکی خود به یاد می‌آوریم که شیفته‌ی عملکرد آهنربا بودیم. به خصوص وقتی یک آهنربا، میخی را که در نزدیکی آن قرار داشت به حرکت در می‌آورد و به سوی خود می‌کشید؛ یا وقتی یک آهنربا، آهنربای دیگری را جذب یا دفع می‌کرد به وجد می‌آمدیم و پرسش‌های زیادی در ذهنمان جریان می‌یافت.

هرگاه آهنربایی را به درون ظرفی از براده‌ی آهن فرو ببریم، مشاهده می‌کنیم که

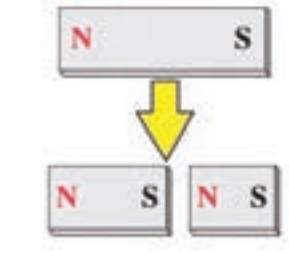
براده‌های آهن به مقدار زیادی جذب ناحیه‌های خاصی از آهنربا می‌شوند. این ناحیه‌ها، **قطب‌های آهنربا** نامیده می‌شوند. قطب‌ها، قوی‌ترین ناحیه‌های مغناطیسی هر آهنربا هستند.

اگر به مرکز یک آهنربای میله‌ای نخی ببندید و آن را آویزان کنید (شکل ۴-۱)، قطب‌نما خواهید داشت. یک سر آن که قطب شمال‌گرا نامیده می‌شود شمال و سر دیگر آن موسوم به قطب جنوب‌گرا، جنوب را نشان می‌دهد. آن‌ها را قطب‌های شمال و جنوب مغناطیسی نیز می‌نامند.



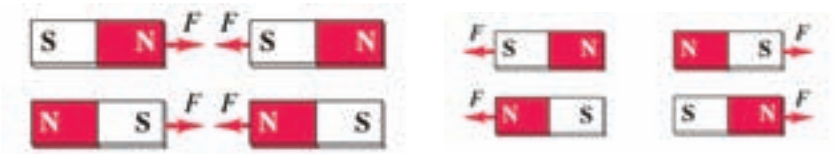

شکل ۴-۱ اگر یک آهنربای میله‌ای طوری آویزان شود که بتواند آزادانه بچرخد، در حالی که قطب شمال آن سمت شمال و قطب جنوب آن سمت جنوب را نشان می‌دهد، ساکن می‌شود. وقتی این اتفاق می‌افتد آهنربا مانند یک قطب‌نما رفتار می‌کند.

تمام آهنرباها هم قطب شمال دارند و هم قطب جنوب. اگر یک آهنربای میله‌ای را دو قسمت کنید، هر قسمت آن یک آهنربای کامل است (شکل ۴-۲). اگر باز هم آن‌ها را دو قسمت کنید چهار آهنربای کامل خواهید داشت. می‌توانید تقسیم کردن را ادامه دهید ولی هرگز یک قطب تنها یا به عبارتی دیگر تک قطبی مغناطیسی نخواهید داشت. حتی وقتی ضخامت قطعه‌ی شما به اندازه‌ی اتم شود، دو قطب دارد، که نشان می‌دهد خود اتم هم آهنرباست.




شکل ۴-۲ شکستن یک آهنربای میله‌ای. هر قسمت یک قطب شمال و یک قطب جنوب دارد، حتی اگر اندازه‌ی دو قسمت متفاوت باشد. (خاصیت آهنربایی قطعه‌ی کوچک‌تر، ضعیف‌تر است.)

وقتی قطب‌های همنام دو آهنربا را به یکدیگر نزدیک کنید، یکدیگر را دفع می‌کنند (شکل ۴-۳ الف)، اما اگر قطب‌های ناهمنام به یکدیگر نزدیک شوند، یکدیگر را جذب خواهند کرد (شکل ۴-۳ ب).



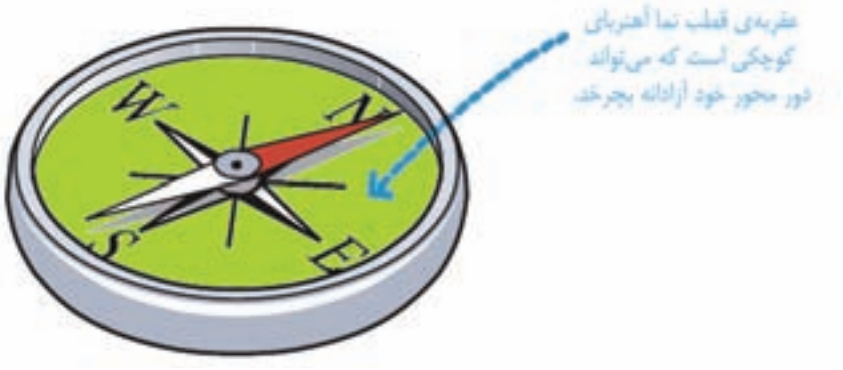

(الف) (ب)

شکل ۴-۳ (الف) قطب‌های همنام یکدیگر را دفع و (ب) قطب‌های ناهمنام یکدیگر را جذب می‌کنند.

**توجه:** قطب‌های همنام یکدیگر را دفع و قطب‌های ناهمنام یکدیگر را جذب می‌کنند. این قاعده مانند قاعده‌ی نیروهای بین بارهای الکتریکی است، که بارهای همنام یکدیگر را دفع و بارهای ناهمنام یکدیگر را جذب می‌کنند. اما تفاوت بسیار مهمی بین قطب‌های مغناطیسی و بارهای الکتریکی وجود دارد؛ بارهای الکتریکی را می‌توان از هم جدا کرد، ولی قطب‌های مغناطیسی را نمی‌توان از هم جدا کرد. الکترون‌های دارای بار منفی و پروتون‌های دارای بار مثبت ذره‌هایی مستقل‌اند. اما قطب شمال هرگز بدون حضور قطب جنوب وجود ندارد، و برعکس.

## فعالیت عملی ۴-۱

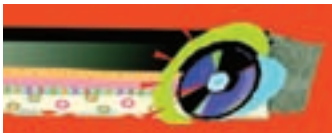
قطب نماهایی که دریانوردان در دریا و کوهنوردان به هنگام مه غلیظ برای تعیین جهت حرکت خود به کار می‌برند، در واقع یک آهنربای میله‌ای نازک است که روی پایه‌ای سوار است و می‌تواند آزادانه روی آن بچرخد و جهت‌های تقریبی شمال و جنوب را نشان دهد (شکل ۴-۴).




شکل ۴-۴ قطب‌نما را عقربه‌ی مغناطیسی نیز می‌نامند.

### بیش تر بدانید

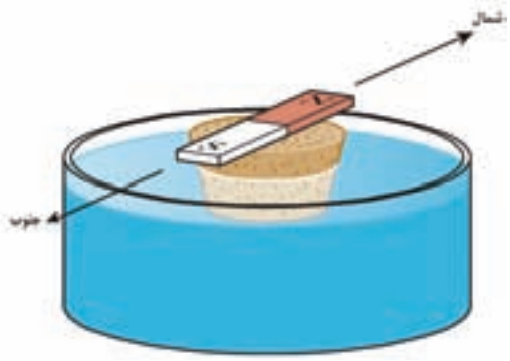
- تاریخچه‌ی مغناطیس
- جهت‌یابی مغناطیسی
- مغناطیس درمانی
- تک قطبی مغناطیسی



**آزمایش کنید**

■ ساخت قطب نمای ساده

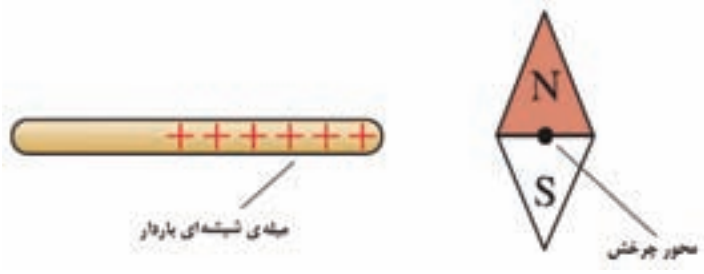
شما نیز می‌توانید به راحتی یک قطب‌نمای ساده بسازید. مطابق شکل ۴-۵ یک آهنربای میله‌ای کوچک را روی چوب پنبه‌ای که بر روی آب درون ظرفی شناور است قرار دهید. به حرکت چوب پنبه و آهنربا توجه کنید و پس از ساکن شدن آن‌ها، جهت تقریبی شمال و جنوب را تعیین کنید.




شکل ۴-۵

## پرسش ۴-۱

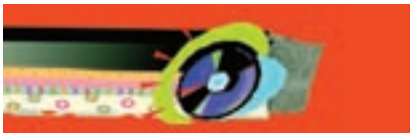
اگر مطابق شکل ۴-۶ یک میله‌ی باردار (مثلاً مثبت) را به یک عقربه‌ی مغناطیسی نزدیک کنید، چه انتظاری دارید؟




شکل ۴-۶ میله‌ی باردار چه تأثیری روی عقربه‌ی مغناطیسی می‌گذارد؟

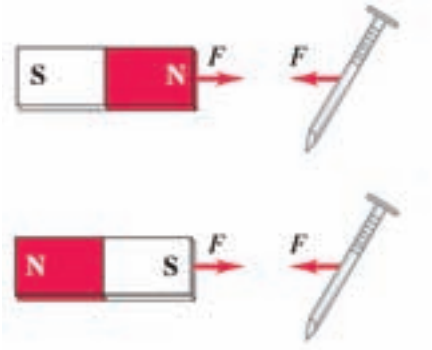
## ۴-۲ میدان‌های مغناطیسی

وقتی یک آهنربا را به میخی آهنی نزدیک کنید، می‌بینید که میخ به طرف آهنربا حرکت می‌کند و پس از مدت کوتاهی جذب آن می‌شود (شکل ۴-۷). برای توجیه این پدیده، مشابه آنچه در خصوص جسم‌های دارای بار الکتریکی دیدیم، می‌گوییم که فضای اطراف آهنربا حاوی **میدان مغناطیسی** است. میدان مغناطیسی نیز مانند میدان الکتریکی، یک کمیت برداری است و آن را با نماد $\vec{B}$ نمایش می‌دهند.



**بیش تر بدانید**

■ تعلیق مغناطیسی



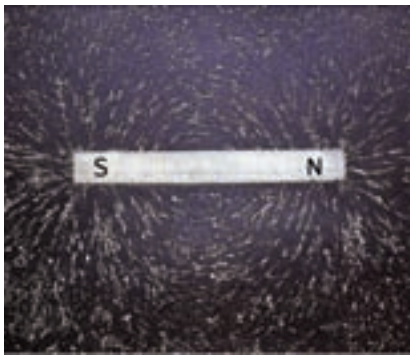

شکل ۴–۷ اطراف یک آهنربا میدان مغناطیسی وجود دارد به طوری که هر کدام از قطب‌های آن می‌توانند هر جسم آهنی مانند میخ را به سوی خود جذب کنند.

همان گونه که برای میدان‌های الکتریکی انجام دادیم، میدان‌های مغناطیسی را نیز می‌توانیم با خط‌های میدان نشان دهیم. باز هم در اینجا قاعده‌های مشابهی به شرح زیر حاکم است:

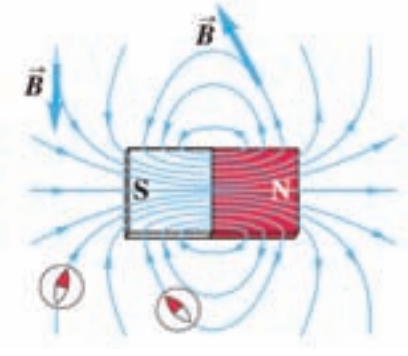
جهت مماس بر خط میدان در هر نقطه، جهت $\vec{B}$ را در آن نقطه نشان می‌دهد.

اندازه‌ی فاصله‌ی بین خط‌ها، معرف بزرگی $\vec{B}$ است. هر جا خط‌ها به هم نزدیک‌تر باشند، میدان مغناطیسی قوی‌تر است و برعکس.

شکل ۴–۸ الف نشان می‌دهد که چگونه میدان مغناطیسی در نزدیکی یک آهنربای میله‌ای می‌تواند توسط خط‌های میدان نمایش داده شود. همه‌ی این خط‌ها از آهنربا می‌گذرند، و همه‌ی آن‌ها حلقه‌ی بسته‌ای را تشکیل می‌دهند. در قطب‌های آهنربا، خط‌های میدان دارای بیش‌ترین فشردگی هستند. بنابراین میدان مغناطیسی آهنربای میله‌ای عمدتاً براده‌های آهن را در نزدیکی دو سر آن جمع می‌کند (شکل ۴–۸ب).

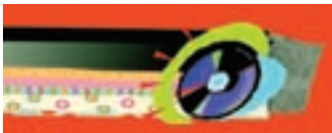



(ب)




(الف)

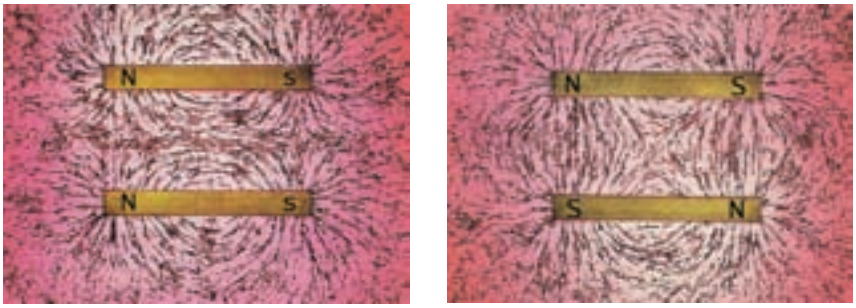
شکل ۴–۸ (الف) خط‌های میدان در هر نقطه در جهت عقربه‌ی مغناطیسی هستند. افزون بر این، خط‌های میدان از قطب شمال (N) خارج شده و به قطب جنوب (S) وارد می‌شوند. (ب) منظره‌ی براده‌های آهن پاشیده شده روی یک آهنربا از بالا. براده‌ها طرح خط‌های میدان مغناطیسی فضای اطراف یک آهنربا را ترسیم می‌کنند.



**شبیه سازی**

- آهنربای میله‌ای ۱
- آهنربای میله‌ای ۲
- میدان مغناطیسی زمین
- آهنربای نعلی شکل
- برهم نهش (برایند) میدان‌های مغناطیسی

وقتی دو آهنربای میله‌ای نزدیک یکدیگر قرار می‌گیرند، میدان‌های مغناطیسی آن‌ها بر یکدیگر اثر می‌گذارند. شکل ۴-۹ دو نوع متفاوت همپوشانی میدان‌های مغناطیسی را نشان می‌دهد.

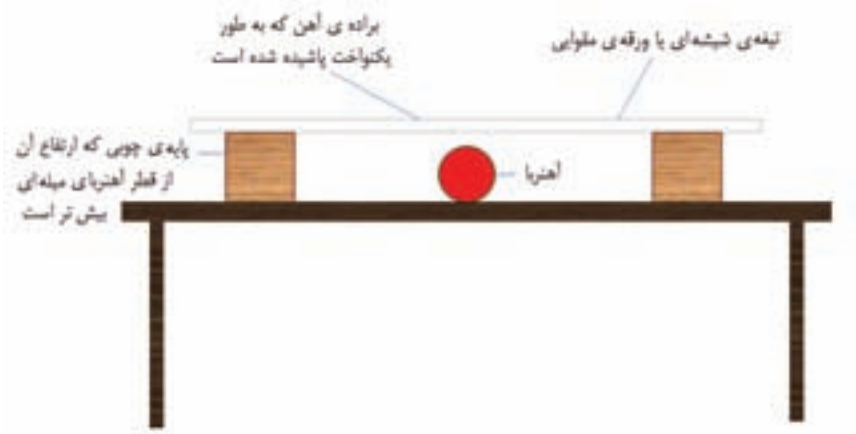



(ب) (الف)

شکل ۴-۹ طرح‌های میدان مغناطیسی برای یک جفت آهنربا. (الف) قطب‌های ناهمنام نزدیک یکدیگرند، و (ب) قطب‌های همنام نزدیک یکدیگرند.

## فعالیت عملی ۴-۲

شما نیز به سادگی می‌توانید طرحی از خط‌های میدان مغناطیسی یک آهنربای میله‌ای (یا هر آهنربای دیگری) تهیه کنید. برای این منظور، یک تیغه‌ی شیشه‌ای یا ورقه‌ی مقوایی را روی پایه‌هایی از جنس چوب قرار دهید و یک آهنربای میله‌ای را مطابق شکل ۴-۱۰ در زیر آن بگذارید. سپس با استفاده از یک نمک پاش، براده‌های آهن را به طور یکنواخت روی تیغه‌ی شیشه‌ای بپاشید و همزمان با یک مداد ضربه‌های آرامی به تیغه شیشه‌ای بزنید. براده‌های آهن هر کدام مانند یک عقربه‌ی مغناطیسی عمل می‌کنند و طرحی از میدان مغناطیسی آهنربای میله‌ای می‌سازند.



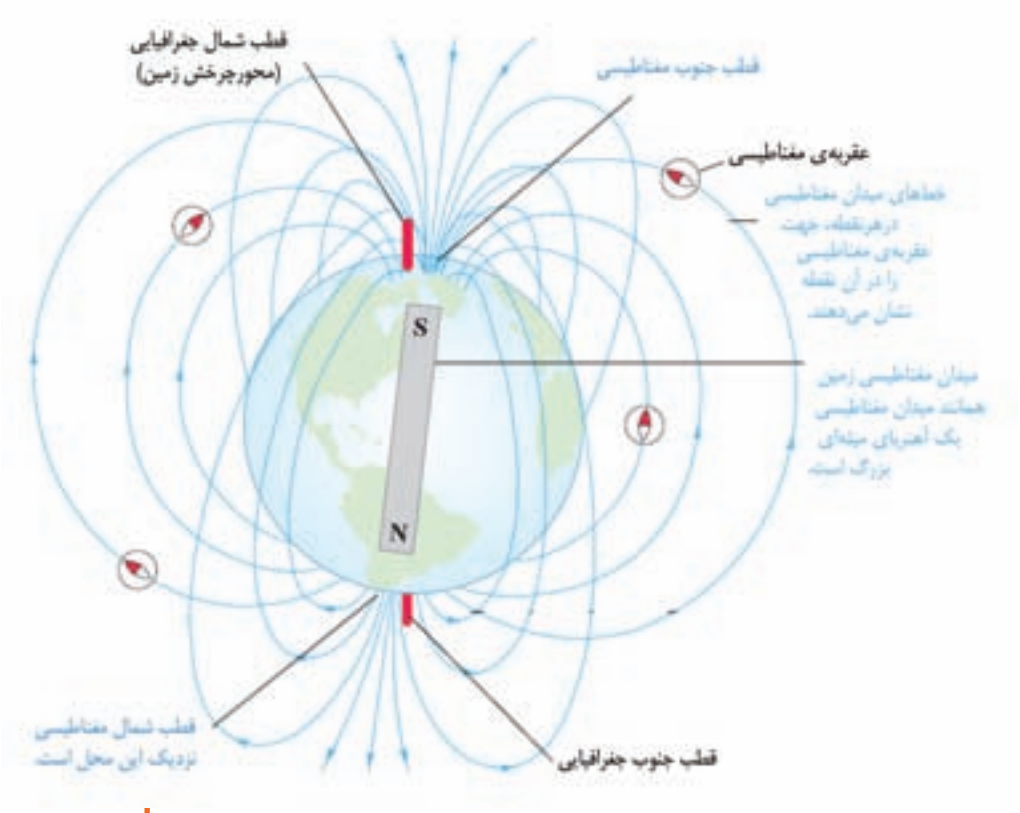

شکل ۴-۱۰ منظره‌ی جانبی از وسیله‌هایی که برای ایجاد طرحی از خط‌های میدان مغناطیسی به کار رفته‌اند.

**بیش تر بدانید**

■ منشاء میدان مغناطیسی زمین

## میدان مغناطیسی زمین

زمین خود آهنربایی عظیم است و شکل میدان مغناطیسی آن مانند یک آهنربایی میله‌ای بزرگ است که نزدیک مرکز زمین قرار گرفته باشد (شکل ۴-۱۱). قطب‌های مغناطیسی زمین بر قطب‌های جغرافیایی آن منطبق نیستند- در واقع، قطب‌های مغناطیسی و جغرافیایی زمین فاصله‌ی نسبتاً زیادی از هم دارند. مثلاً قطب جنوب مغناطیسی تقریباً در فاصله‌ی ۱۸۰۰ کیلومتری قطب شمال جغرافیایی قرار دارد. این بدان معناست که عقربه‌ی قطب نما معمولاً در جهت شمال واقعی قرار نمی‌گیرد. اختلاف بین سمت‌گیری عقربه‌ی مغناطیسی و شمال واقعی به **میل مغناطیسی** معروف است.

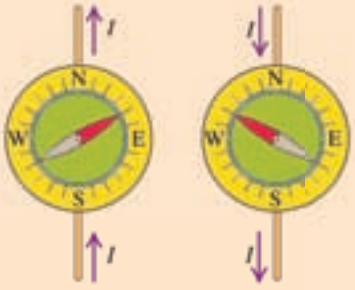


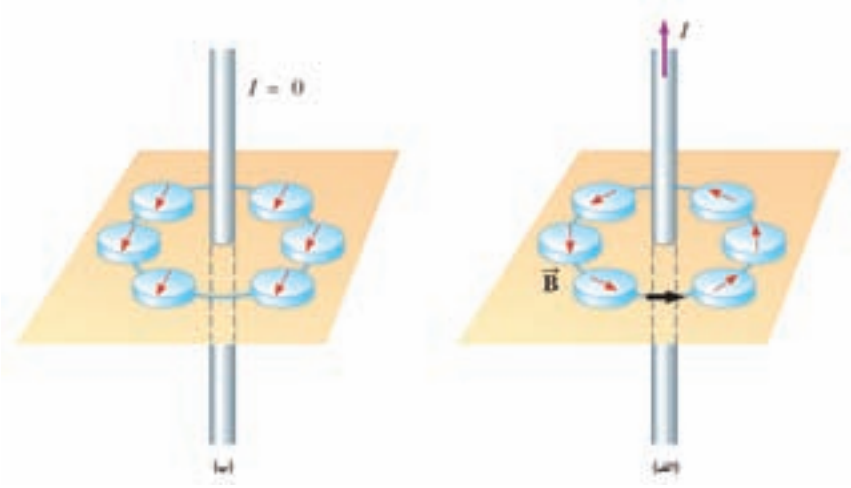

شکل ۴-۱۱ طرح میدان مغناطیسی زمین. عقربه‌ی قطب‌نما در هر نقطه در امتداد این میدان می‌ایستد. نشان دادن خطهای میدان مغناطیسی زمین به صورت خطهای میدان یک آهنربای میله‌ای، تنها یک توجیه ساده از ساختار پیچیده و ناشناخته‌ی عوامل ایجاد میدان مغناطیسی زمین است.

## ۴-۳ الکترومغناطیس

اگر جریان الکتریکی $I$ را از سیمی عبور دهیم، میدان مغناطیسی نسبتاً ضعیفی در اطراف آن به وجود می‌آید (شکل ۴-۱۲ الف). این ارتباط بین الکتریسیته و مغناطیس برای نخستین بار در سال ۱۸۱۹/۱۱۹۸ توسط دانشمند دانمارکی به نام اورستد کشف شد. او این کشف را **الکترومغناطیس** نامید.

هانس کریستین اورستد (۱۸۵۱-۱۷۷۷)، فیزیکدان دانمارکی، نوشته‌های شلینگ را درباره‌ی فلسفه‌ی طبیعت مطالعه کرد و خود او درباره‌ی موضوع‌های فلسفی مطالب بسیاری نوشت. اورستد در مقاله‌ای که به سال ۱۸۱۳ منتشر شد پیش‌بینی کرد که رابطه‌ای میان الکتریسیته و مغناطیس میتوان یافت. او در سال ۱۸۲۰ قطب‌نمایی را زیر یک سیم حامل جریان گذاشت و کشف کرد که یک میدان مغناطیسی جریان الکتریکی را احاطه می‌کند. در سال‌های بعد او نظر دانشمندان دیگر مبنی بر این که کشف او درباره‌ی الکترومغناطیس تصادفی بوده است، به شدت انکار کرد.



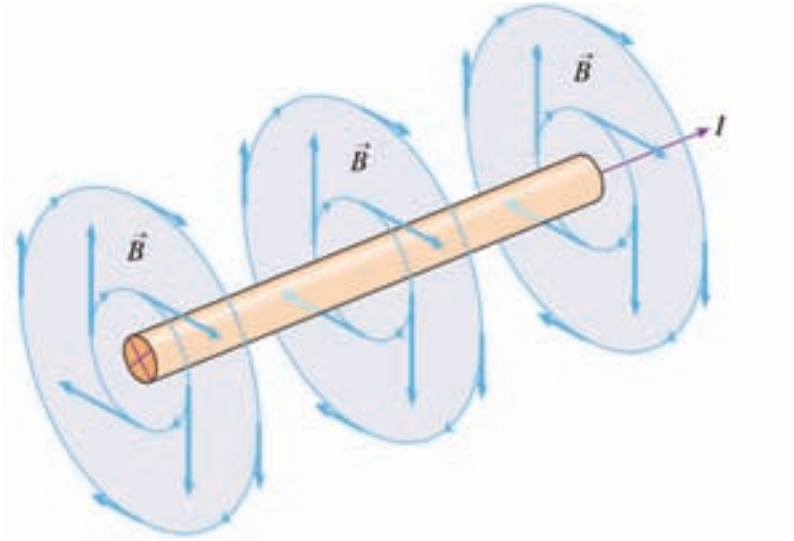




شکل ۴-۱۲ (الف) میدان مغناطیسی اطراف سیم حامل جریان را می‌توان با قرار دادن تعدادی عقربه‌ی مغناطیسی پیرامون آن نشان داد. قطب نماها شکل دایره‌ای میدان مغناطیسی را نشان می‌دهند که سیم حامل جریان $I$ را احاطه کرده است. (ب) وقتی جریان عبوری از سیم قطع شود، همه‌ی عقربه‌های مغناطیسی در امتداد میدان مغناطیسی زمین می‌ایستند.

برای تعیین جهت میدان مغناطیسی در اطراف یک سیم حامل جریان از قاعده‌ی دست راست استفاده می‌شود. بنابر این قاعده، اگر سیم را مطابق شکل ۴-۱۳ در دست راست خود بگیرید، به گونه‌ای که انگشت شست در جهت جریان الکتریکی باشد، جهت خم شدن چهار انگشت دست شما جهت خط‌های میدان مغناطیسی را در اطراف سیم حامل جریان نشان می‌دهد.

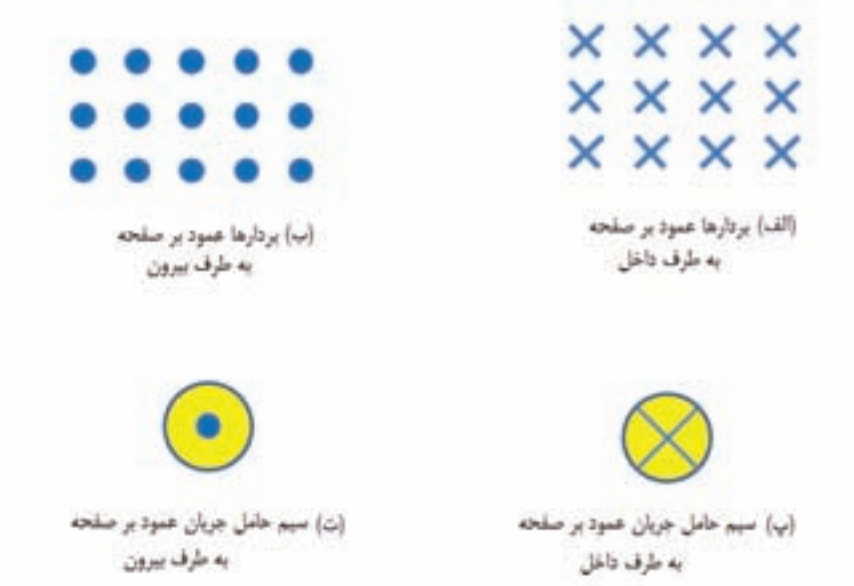
شکل ۴-۱۳ استفاده از قاعده‌ی دست راست برای تعیین جهت $\vec{B}$ در اطراف یک سیم بلند و مستقیم حامل جریان

در مغناطیس بیش از الکتریسیته نیازمند درکی سه بعدی از فرایندها هستیم . مثلاً شکل ۴-۱۴ میدان مغناطیسی اطراف سیم حامل جریان $I$ را نشان می‌دهد که تنها در چند محل این خط‌ها رسم شده‌اند.



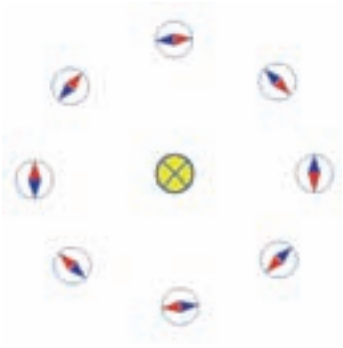

شکل ۴–۱۴ خط‌های میدان در اطراف یک سیم بلند و مستقیم حامل جریان $I$

از آنجا که رسم تصویرهای سه بعدی دشوار است، تصاویر مورد نیاز را به صورت دو بعدی رسم می‌کنیم و هنگام رسم یا بررسی آن‌ها باید به قراردادهای استانداردی توجه داشته باشیم. در شکل ۴–۱۵ قراردادهای مورد استفاده برای بردارها و سیم‌های حامل جریان نشان داده شده است.




شکل ۴–۱۵ قراردادهایی که برای نمایش کمیت‌های برداری و سیم‌های حامل جریان به کار می‌رود.

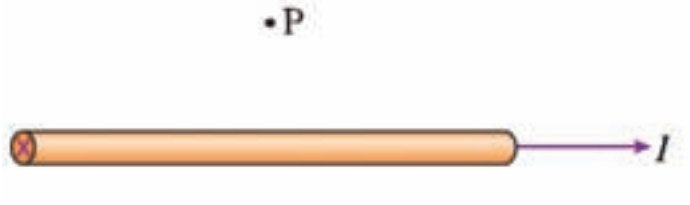
با توجه به آنچه دیدیم اکنون درک درستی از شکل ۴–۱۶ داریم. این شکل سیم حامل جریانی را نشان می‌دهد که بر صفحه عمود و جهت جریان عبوری از آن به طرف داخل است. عقربه‌های مغناطیسی مماس بر امتداد جهت میدان مغناطیسی سیم می‌ایستند.



شکل ۴-۱۶ جریان به طرف داخل

## پرسش ۴-۲

جهت میدان مغناطیسی در نقطه‌ی P ، نزدیک سیم حامل جریان $I$ در شکل ۴-۱۷، چگونه است؟




شکل ۴-۱۷ سیم در صفحه قرار دارد و جهت جریان از چپ به راست است.

## فعالیت عملی ۴-۳

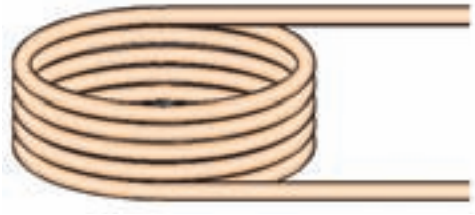
آزمایشی طراحی کنید که به کمک آن بتوان طرحی از خط‌های میدان مغناطیسی در اطراف یک سیم بلند و مستقیم حامل جریان $I$ تهیه کرد (شکل ۴-۱۸).

شکل ۴-۱۸ براده‌های آهن پاشیده شده روی ورقه‌ی مقوایی پیکربندی میدان مغناطیسی اطراف سیم بلند و مستقیم حامل جریان را نشان می‌دهد.

## پیچه‌ها و سیملوله‌ها

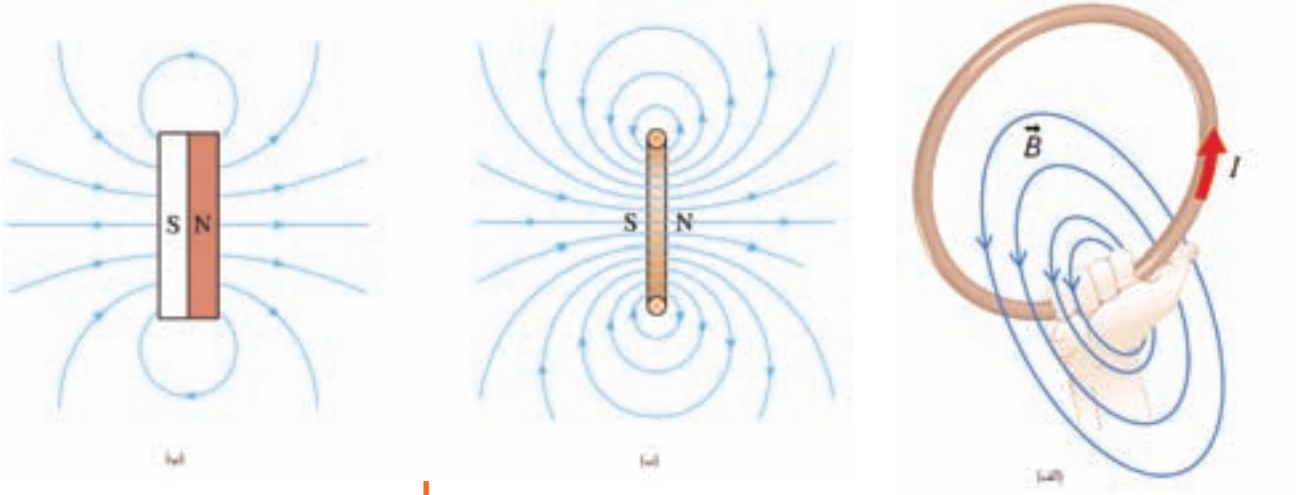
میدان مغناطیسی ایجاد شده توسط سیم مستقیمی که از آن جریان $I$ می‌گذرد ضعیف است. بزرگی میدان مغناطیسی با پیچیدن سیم به صورت چندین حلقه و عبور جریان $I$ از آن می‌تواند به میزان قابل توجهی افزایش یابد.

اگر سیمی مستقیمی را به صورت چندین حلقه‌ی فشرده به هم در آوریم به آن **پیچه** گفته می‌شود (شکل ۴-۱۹). با عبور جریان $I$ از پیچه، میدان مغناطیسی نسبتاً بزرگی ایجاد می‌شود که هر حلقه‌ی پیچه در به وجود آمدن آن میدان نقش دارد.



شکل ۴-۱۹ پیچه از چندین دور سیم نازک به شکل حلقه تشکیل شده است که به هم فشرده‌اند.

جهت میدان $\vec{B}$ در پیچه‌ها نیز از قاعده‌ی دست راست تعیین می‌شود. طرح خط‌های میدان یک پیچه شبیه یک آهنربای تخت است (شکل ۴-۲۰).



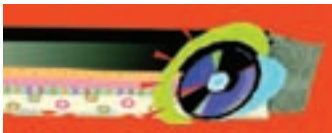

شکل ۴-۲۰ (الف) نحوه‌ی پیدا کردن جهت میدان مغناطیسی یک پیچه به کمک قاعده‌ی دست راست. (ب) منظره‌ی خط‌های میدان مغناطیسی یک پیچه از رو به رو. این خط‌ها شبیه (پ) خط‌های میدان یک آهنربای تخت است که در بیرون آن تشکیل شده‌اند.

### پرسش ۴-۳

خط‌های میدان $\vec{B}$ درون پیچه‌ای مطابق شکل ۴-۲۱ است. جهت جریان را در این پیچه تعیین کنید.

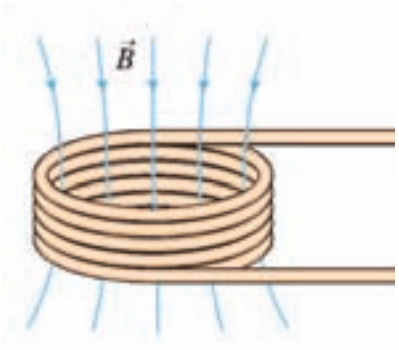
**شبیه سازی**

■ اثر میدان مغناطیسی پیچه بر یک عقربه‌ی مغناطیسی



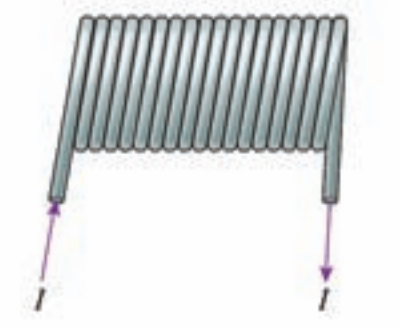
**شبیه سازی**

■ میدان مغناطیسی یک سیملوله‌ی واقعی




شکل ۴-۲۱ خط‌های میدان درون یک پیچه

اکنون توجه خود را معطوف به وضعیت دیگری می‌کنیم که مربوط به میدان مغناطیسی حاصل از جریان در پیچه‌ای از سیم است که به شکل مارپیچ بلندی تنگ هم پیچیده شده‌اند. چنین پیچه‌ای، **سیملوله** خوانده می‌شود (شکل ۴-۲۲). طول سیملوله معمولاً بسیار بزرگ‌تر از قطر آن است.

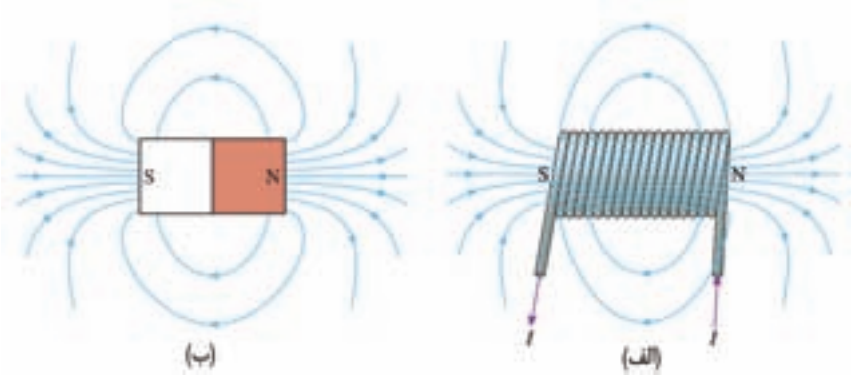



شکل ۴-۲۲ یک سیملوله که حاصل جریان $I$ است.

شکل ۴-۲۳ خط‌های میدان مغناطیسی $\vec{B}$ را درون یک سیملوله آرمانی دراز نشان می‌دهد. میدان مغناطیسی درون این سیملوله و کمی دورتر از لبه‌های آن یکنواخت و بیرون آن صفر است.

شکل ۴-۲۳ میدان یکنواخت $\vec{B}$ درون یک سیملوله‌ی آرمانی دراز که دورهای آن تنگ هم پیچیده شده‌اند.

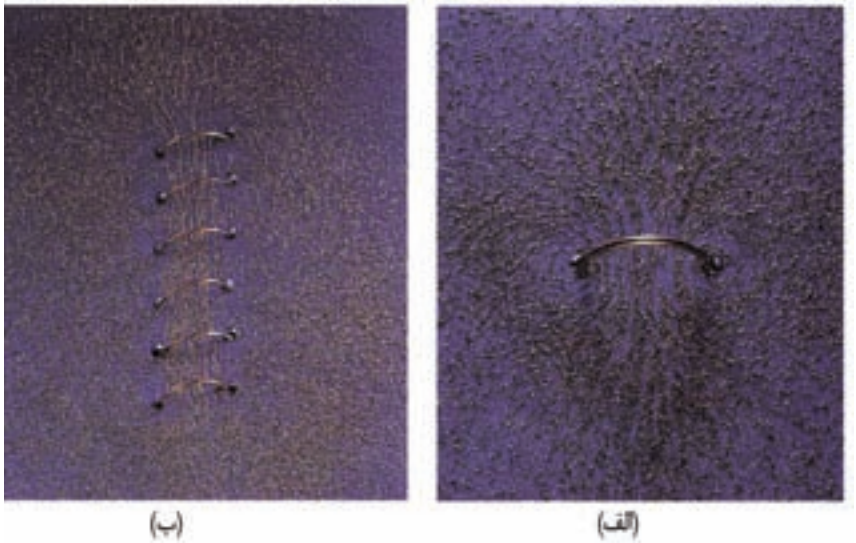
خط‌های میدان مغناطیسی یک سیملوله‌ی واقعی به طول متناهی، درون آن تقریباً یکنواخت و بیرون آن ضعیف است. شکل ۴-۲۴ خط‌های میدان مغناطیسی یک سیملوله‌ی با طول متناهی را نشان می‌دهد که شبیه خط‌های میدان یک آهنربای میله‌ای است.




شکل ۴-۲۴ (الف) خط‌های میدان مغناطیسی یک سیملوله‌ی واقعی به طول متناهی با خط‌های میدان (ب) یک آهنربای میله‌ای مشابه است.

## فعالیت عملی ۴-۴

آزمایشی طراحی کنید که به کمک آن بتوان طرحی از خط‌های میدان مغناطیسی در اطراف یک پیچه و یک سیملوله تهیه کرد (شکل ۴-۲۵).



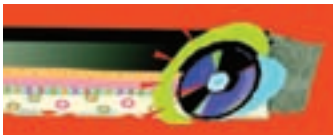

شکل ۴-۲۵ براده‌های آهن پاشیده شده روی ورقه‌ی مقوایی پیکربندی میدان مغناطیسی اطراف (الف) یک پیچه و (ب) یک سیملوله‌ی حامل جریان را نشان می‌دهد.

### تصویربرداری MRI

این بیمار توسط استوانه‌ای بلند که دور آن سیملوله‌ای پیچیده شده است احاطه می‌شود. سیملوله ی درون این استوانه، میدان مغناطیسی یکنواختی ایجاد می‌کند.

### آزمایشگاه مجازی

- تصویربرداری MRI



**بیش تر بدانید**

■ آهنرباهای الکتریکی ابررسانا

## آهنرباهای الکتریکی

اگر جریان در پیچه‌ی درازی که دور یک هسته‌ی آهنی پیچیده شده است شارش کند، یک میدان مغناطیسی قوی ایجاد می‌شود. پیچه‌ای که دور یک ماده‌ی مغناطیسی مانند آهن پیچیده شده است، **آهنربای الکتریکی** نامیده می‌شود. استفاده از آهنرباهای الکتریکی قدرتمند برای بلند کردن اتومبیل‌ها در اوراق فروشی‌ها متداول است.

## فعالیت عملی ۴-۵

به کمک یک میخ، یک باتری و سیم روکش‌دار به سادگی می‌توانید یک آهنربای الکتریکی بسازید (شکل ۴-۲۶). با ساختن این آهنربا، نوک میخ را به براده‌های آهن یا سوزن‌های ته‌گرد نزدیک و نتیجه را گزارش کنید.

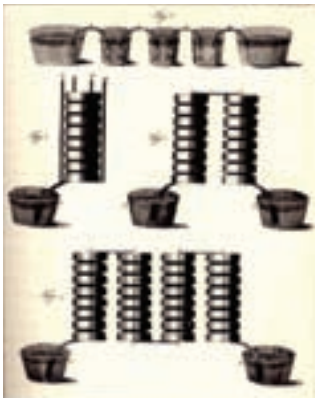
شکل ۴-۲۶ یک آهنربای الکتریکی ساده

## پرسش ۴-۴

اگر در فعالیت ۴-۵ به جای یک باتری، از دو باتری استفاده کنید چه تغییری در نتیجه‌ی آزمایش رخ می‌دهد؟

## ۴-۴ تولید الکتریسیته

تا ۲۰۰ سال پیش، پیل‌های ولتایی تنها ابزارهای تولید جریان بودند که با حل فلزها در اسید، جریان‌های مختصری تولید می‌کردند (شکل ۴-۲۷).



شکل ۴-۲۷ پیل‌های ولتایی طلایه‌داران باتری‌های امروزی بودند.

در سال ۱۸۲۰، اورستد دریافت که سیم‌های حامل جریان میدان مغناطیسی تولید می‌کنند. پس از آن ده‌ها دانشمند تلاش کردند به این پرسش پاسخ دهند که آیا می‌توان با استفاده از مغناطیس الکتریسیته تولید کرد؟ تا این که در سال ۱۸۳۱ جوزف هِنری، معلم علوم آمریکایی، برای نخستین بار کشف کرد که چگونه می‌توان از مغناطیس الکتریسیته تولید کرد. اما از آنجا که هنری تمام وقت خود را به تدریس و وظایف مربوط به آن صرف می‌کرد، فرصتی نداشت تا کشفی را که به عمل آورده بود، دنبال کند. تقریباً در همان زمان، مایکل فارادی در انگلستان به کشف مشابهی دست یافت و نتایج کار خود را منتشر کرد. از آن پس زندگی بشر وارد دوران جدیدی شد و روز به روز الکتریسیته جنبه‌های بیش‌تری از زندگی بشر را در سیطره‌ی خود در آورد. و این یعنی نقش بی‌همتای فیزیک در زندگی بشر!

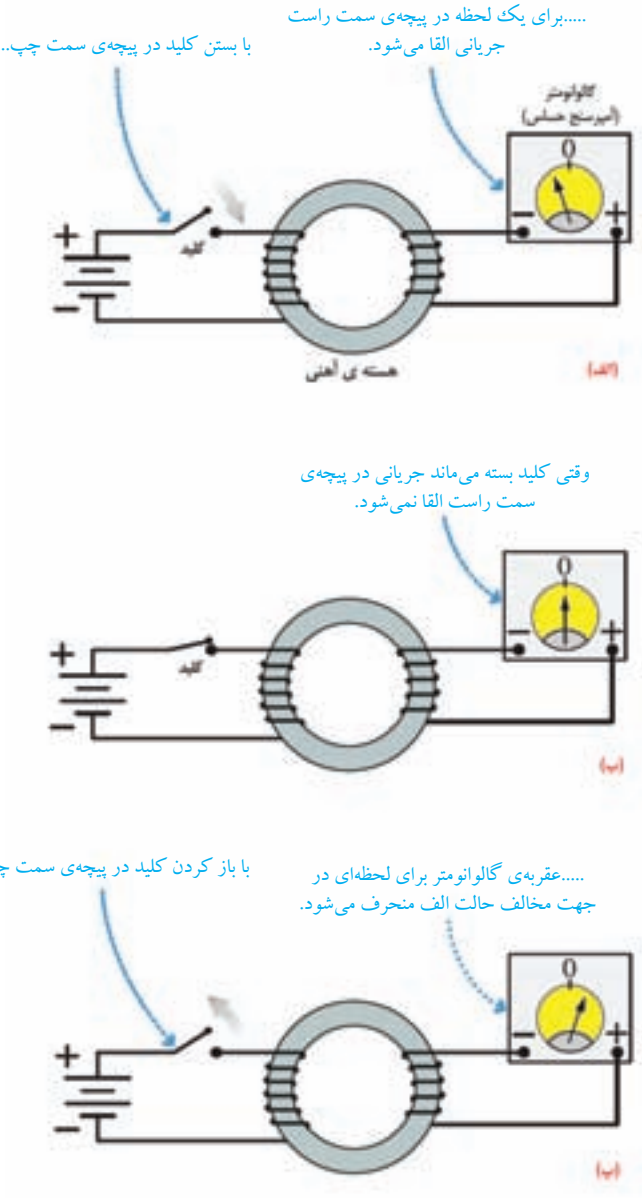
### کشف فارادی

کشف فارادی در سال ۱۸۳۱ میلادی، مشابه کشف اورستد، تا حدی تصادفی بود. او با دو سیم پیچ که به دور یک حلقه‌ی آهنی پیچیده بود آزمایش‌هایی انجام داد. فارادی در یکی از آزمایش‌ها ملاحظه کرد که وقتی کلید بسته می‌شود (شکل ۴-۲۸ الف)، برای لحظه‌ای کوتاه جریانی در پیچه‌ی سمت راست القا شده و در نتیجه عقربه‌ی گالوانومتر[۱] منحرف می‌شود.

او همچنین مشاهده کرد وقتی کلید بسته می‌ماند (شکل ۴-۲۸ ب)، عقربه‌ی گالوانومتر روی صفر می‌ایستد و هیچ جریانی را نشان نمی‌دهد. اما آنچه باعث شگفتی بیش‌تر فارادی شد این بود که با باز کردن کلید (شکل ۴-۲۸ پ)، دوباره برای لحظه‌ای کوتاه

۱- گالوانومتر، وسیله‌ای برای اندازه‌گیری جریان‌های در حدود میکروآمپر است.

جریانی در پیچه سمت راست القا و عقربه‌ی گالوانومتر در خلاف جهت اول منحرف می‌شد.




شکل ۴-۲۸ کشف القای الکترومغناطیسی فارادی.

خلاصه‌ی نتیجه کار فارادی به این شرح است:

**تنها در صورتی در یک پیچه جریان القا می‌شود که میدان مغناطیسی در محل پیچه تغییر کند.**

این عبارت بیانی ساده **از قانون القای الکترومغناطیسی فارادی** و یا به اختصار **قانون فارادی** است که نقشی بسیار شگرف در زندگی بشر ایفا کرده است.

## آزمایشگاه مجازی

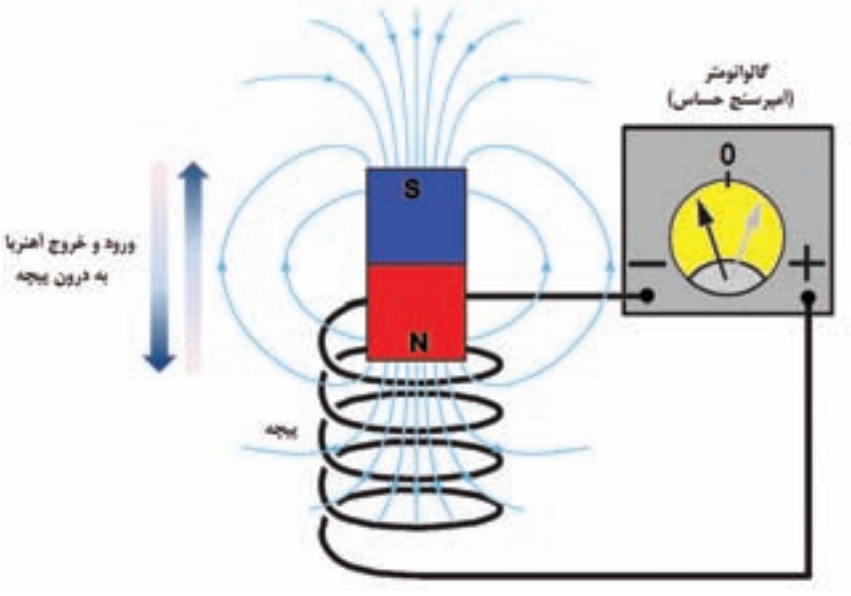
به آزمایشگاه مجازی القای الکترومغناطیسی فارادی بروید و قانون فارادی را برای حالت‌های مختلف بررسی کرده و لذت ببرید!

مایکل فارادی (۱۷۹۱-۱۸۶۷)

پسر یک آهنگر انگلیسی بود. به گفته‌ی خود او: «تحصیلات من بسیار معمولی بود. خواندن را کمی بیش‌تر از حد مقدماتی و نوشتن و ریاضیات را در حد شاگرد یک مدرسه‌ی روزانه می‌دانستم. ساعت‌های خارج از مدرسه‌ی من در خانه و خیابان‌ها می‌گذشت.» او در سن ۱۲ سالگی به عنوان شاگرد در یک کتاب فروشی مشغول به کار شد. پس از آن با یک صحاف همکاری داشت.

## فعالیت عملی ۴-۶

فارادی به روش ساده‌تری نیز آزمایشی برای بررسی پدیده‌ی القای الکترومغناطیسی انجام داد. او دو سر پیچه‌ای را به یک گالوانومتر بست و یک آهنربای میله‌ای را از طرف یکی از قطب‌های آن، مثلاً قطبN، وارد پیچه کرد و دوباره مشاهده کرد که عقربه‌ی گالوانومتر در حین ورود و خروج آهنربا منحرف می‌شود (شکل ۴-۲۹). شما نیز با تهیه‌ی وسایل مورد نیاز، این آزمایش را انجام دهید و به جهت حرکت عقربه‌ی گالوانومتر در حین ورود و خروج آهنربا به درون پیچه توجه کنید. در حالتی که آهنربا نسبت به پیچه ساکن است، عدم حرکت عقربه‌ی گالوانومتر را ملاحظه کنید.

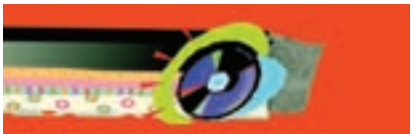



شکل ۴-۲۹ ورود و خروج آهنربا به درون پیچه جریانی در آن القا می‌کند.

## پرسش ۴-۵

در شکل ۴-۲۹، اگر آهنربا ثابت باشد و پیچه نسبت به آن حرکت کند، آیا باز هم در پیچه جریانی القا می‌شود؟ برای تأیید پاسخ خود به این پرسش، آزمایش کنید.

فارادی ۱۹ ساله بود که به او اجازه داده شد تا در جلسه‌ی سخنرانی سِر همفری دیوی که در مؤسسه‌ی سلطنتی لندن برگزار می‌شد، حضور یابد. مؤسسه‌ی سلطنتی یک مرکز مهم پژوهش و آموزش علوم بود. فارادی به شدت علاقه‌مند علوم شد و پیش خود به تحصیل علم شیمی پرداخت. در سال ۱۸۱۳ تقاضای شغلی در مؤسسه‌ی سلطنتی کرد و دیوی او را به عنوان یک همکار در امور پژوهشی استخدام کرد. فارادی به زودی نبوغ خود را به عنوان یک آزمایشگر نشان داد. او مقاله‌های مهمی در شیمی، خواص مغناطیسی، الکتریسیته و نور نوشت و سرانجام به عنوان رئیس مؤسسه‌ی سلطنتی برگزیده شد. فارادی را به سبب کشف‌های بسیارش یکی از بزرگ ترین دانشمندان تجربی می‌دانند.



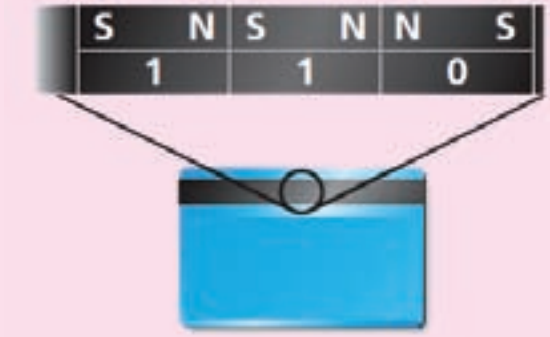
**بیش تر بدانید**

- اساس کار گیتارهای برقی

## مطالعه‌ی آزاد

### کارت‌های اعتباری و دستگاه‌های کارت خوان

نوار مغناطیسی پشت کارت‌های اعتباری حاوی میلیون‌ها ذره‌ی مغناطیسی (آهنربای بسیار کوچک) است که نوعی چسب صمغ آن‌ها را به هم متصل می‌کند. داده‌ها را که به صورت دو دویی، با صفر و یک به رمز در آورده‌اند، در این ذره‌های مغناطیسی ذخیره می‌کنند (شکل الف). وقتی کارت اعتباری شما درون دستگاه کارت خوان کشیده می‌شود، میدان مغناطیسی ناشی از ذره‌های مغناطیسی، روی پیچه‌ی تعبیه شده در دستگاه کارت خوان اثر می‌گذارد و جریان اندکی را در آن القا می‌کنند (شکل ب). این جریان بسیار کوچک توسط دستگاه دیگری تقویت و داده‌های ذخیره شده در آن رمزگشایی می‌شود. پس از رمز گشایی داده‌ها، دستور مورد نظر صورت می‌گیرد.



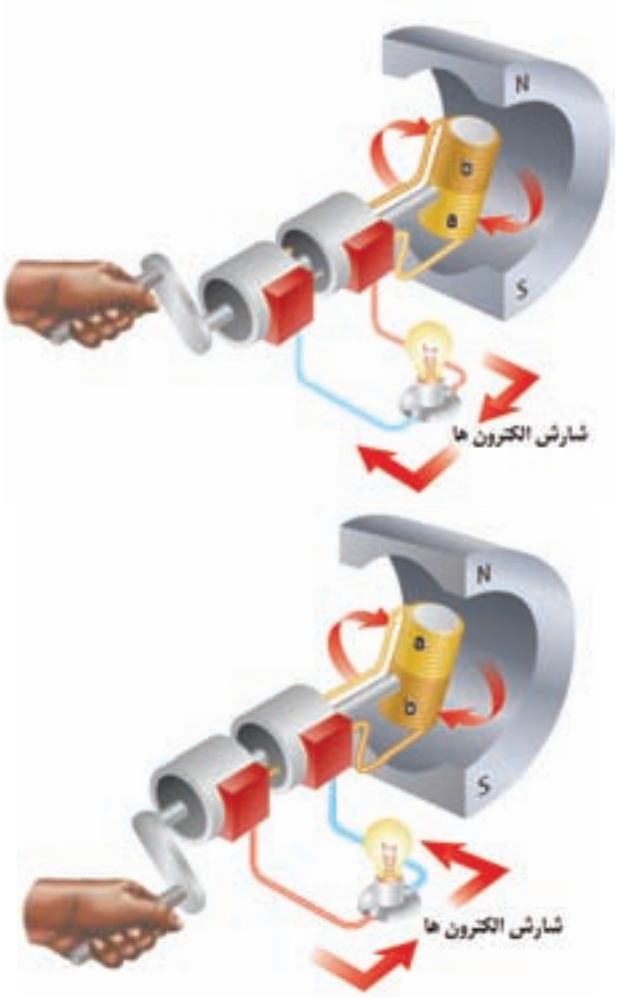

(الف) هر ذره‌ی مغناطیسی، که در واقع یک آهنربای بسیار کوچک است، یک داده را به صورت صفر یا یک در خود ذخیره می‌کند. در نوار مغناطیسی پشت هر کارت میلیون‌ها ذره‌ی مغناطیسی قرار دارد.

(ب) با کشیدن کارت، میدان مغناطیسی ناشی از ذره‌های مغناطیسی جریان اندکی در پیچه‌ی تعبیه شده در دستگاه کارت خوان القا می‌کنند.

## مولدهای الکتریسیته

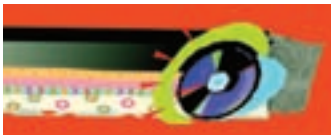
الکتریسیته‌ای که در خانه‌ها و صنعت استفاده می‌کنیم عمدتاً توسط مولدهای الکتریسیته یا برق تولید می‌شوند.

مولد برق شامل سیم پیچی است که بین قطب‌های یک آهنربا می‌چرخد. شکل ۴-۳۰ یک مولد ساده‌ی الکتریسیته را در دو وضعیت مختلف نشان می‌دهد. (به جهت شارش الکترون‌ها در هر وضعیت توجه کنید.)




شکل ۴-۳۰ مولد ساده. وقتی پیچه در میدان مغناطیسی چرخانده شود، جریانی در آن القا می‌شود. در مولدها، ورودی انرژی مکانیکی و خروجی انرژی الکتریکی است.

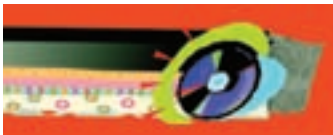
چون دو طرف پیچه ابتدا در میدان مغناطیسی بالا می‌روند و سپس پایین می‌آیند، جهت جریان القایی مدام تغییر می‌کند. این نوع جریان، **جریان متناوب** (ac) نامیده می‌شود.[۱]



**شبیه‌سازی**

■ مولد الکتریکی

۱- پیش از این دیدیم که پیل‌ها و باتری‌ها جریانی تولید می‌کنند که تنها در یک جهت شارش می‌یابد. این نوع جریان، جریان مستقیم (dc) نامیده می‌شود.

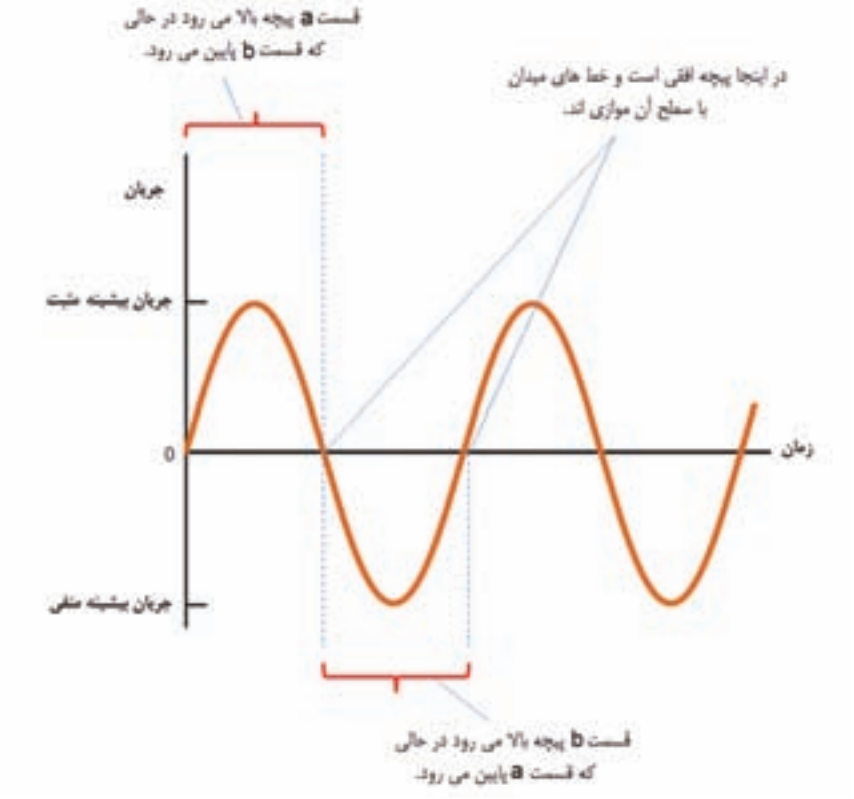


**شبیه‌سازی**

■ تاریخچه الکتریسیته و مغنا طیس

مولدها و تمامی نیروگاه‌های تولید برق در ایران، جریان متناوب تولید می‌کنند. پیچه‌های این مولدها در هر ثانیه ۵۰ دور می‌چرخند. بنابراین بسامد جریان متناوب تولید شده ۵۰ هرتز (۵۰Hz) است. بسامد عبارت است از تعداد دفعه‌هایی که رویدادی در یک ثانیه اتفاق می‌افتد. بسامد برحسب هرتز (عکس ثانیه) اندازه‌گیری می‌شود.

نمودار شکل ۴-۳۱ نشان می‌دهد که اندازه و جهت جریان چگونه با زمان تغییر می‌کند.

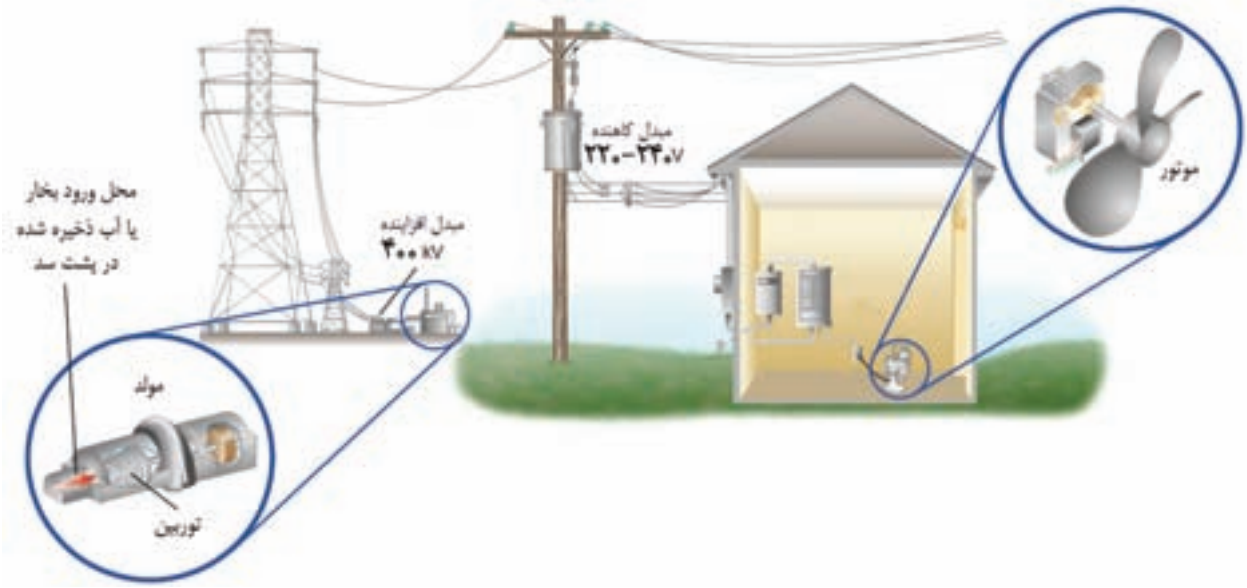



شکل ۴-۳۱ نمودار جریان برحسب زمان در یک مولد جریان متناوب. جریان القایی (مثبت یا منفی) هنگامی بیشینه است که خط‌های میدان برسطح پیچه عمود باشند.

## مبدل‌ها

یکی از برتری‌هایی که جریان ac بر جریان dc دارد در این است که ولتاژ جریان‌های ac را به راحتی می‌توان به هر میزان افزایش یا کاهش داد. این موضوع هنگام انتقال انرژی الکتریکی از نیروگاه‌ها به محل مصرف اهمیت حیاتی دارد. زیرا با افزایش ولتاژ می‌توان میزان اتلاف انرژی را در خط‌های انتقال به میزان زیادی کاهش داد(شکل ۴-۳۲).

مبدل، وسیله‌ای است که برای تغییر ولتاژ منبع ac مورد استفاده قرار می‌گیرد. اگر مبدل ولتاژ را کاهش دهد، **مبدل کاهنده** و اگر ولتاژ را افزایش دهد، **مبدل افزاینده** نامیده می‌شود. مبدل‌ها فقط می‌توانند ولتاژهای ac را تغییر دهند و قادر به تغییر ولتاژهای dc نیستند.

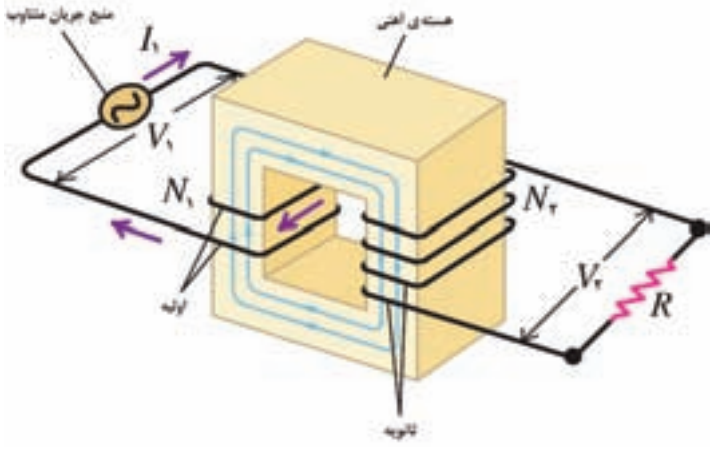



شکل ۴-۳۲ انرژی الکتریکی در نیروگاه برق تولید می‌شود. قبل از این که جریان الکتریکی، نیروگاه برق را ترک کند مبدل‌های افزاینده ولتاژ را تا حدود ۴۰۰ کیلو ولت افزایش می‌دهند. در انتهای راه مبدل‌های کاهنده ، ولتاژ را کاهش می‌دهند تا با امنیت بیش‌تر به خانه‌ها برسد.

**مبدل آرمانی** شکل ۴-۳۳ شامل دو پیچه با تعداد دورهای متفاوت است که به دور یک هسته‌ی آهنی پیچیده شده‌اند. (پیچه‌ها نسبت به هسته عایق‌بندی شده‌اند.) در عمل پیچه‌ی اولیه با $N_1$ دور به یک مولد جریان متناوب بسته شده است که ولتاژ آن $V_1$ است. پیچه‌ی ثانویه با $N_2$ دور به مصرف کننده‌ای (مقاومت $R$) وصل شده است که ولتاژ $V_2$ به دو سر آن اعمال می‌شود. برای مبدل‌های آرمانی که مقاومت پیچه‌های آن صفر فرض می‌شود، داریم:

$$\frac{V_2}{V_1}=\frac{N_2}{N_1} \qquad (۱-۴)$$

بنابراین با انتخاب نسبت مناسب $\frac{N_2}{N_1}$ می‌توان هر ولتاژ دلخواه ثانویه را به ازای ولتاژ اولیه‌ی معین به دست آورد.



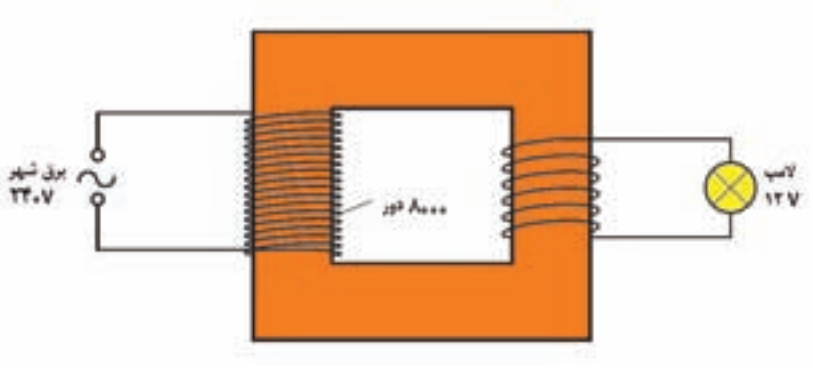

شکل ۴-۳۳ یک مبدل آرمانی شامل دو پیچه‌ی بدون مقاومت که روی یک هسته‌ی آهنی پیچیده شده‌اند.

یک آداپتور رایانه‌ی کیفی یا گوشی تلفن همراه، ولتاژ ۲۲۰ ولت برق شهر را به ولتاژ کم dc تبدیل می‌کند.

در واقع هر آداپتور شامل یک مبدل کاهنده و مداری شامل چهار دیود و خازن است که ولتاژ ac را به dc تبدیل می‌کند.

### مثال ۴-۱

شکل ۴-۳۴ یک مبدل ۲۴۰ ولت به ۱۲ ولت را نشان می‌دهد. تعداد دورهای ثانویه را به دست آورید.




شکل ۴-۳۴

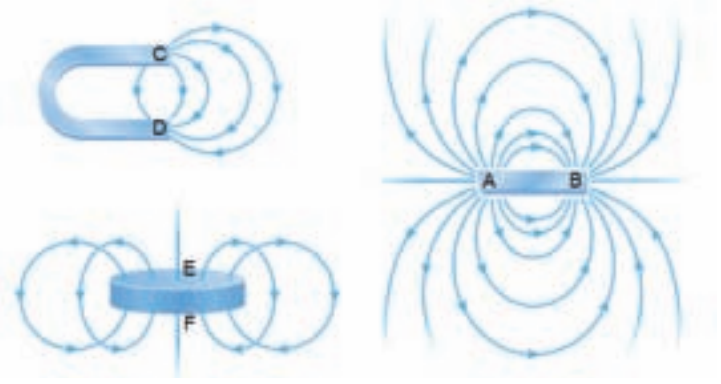
**حل:** با توجه به رابطه‌ی ۴-۱ داریم:

$$\frac{V_۲}{V_۱} = \frac{N_۲}{N_۱} \Rightarrow \frac{۱۲\text{V}}{۲۴۰\text{V}} = \frac{N_۲}{۸۰۰} \Rightarrow N_۲ = ۴۰ \text{ دور}$$

# پرسش‌های فصل ۴

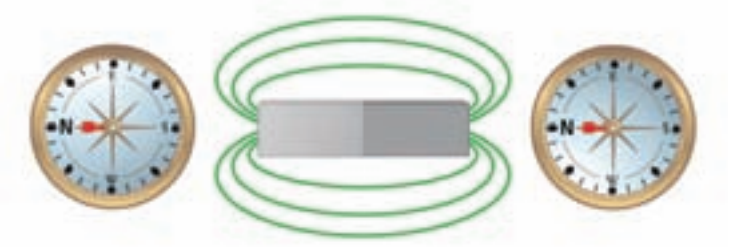
## پرسش‌های مفهومی

۱- در شکل ۴-۳۵ با توجه به خط‌های میدان مغناطیسی، قطب‌های A,B,C,D,E و F را مشخص کنید.



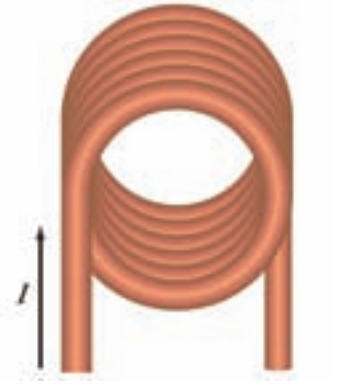

شکل ۴-۳۵

۲- در شکل ۴-۳۶ یک آهنربای میله‌ای و دو قطب‌نما دیده می‌شود. قطب‌های آهنربا و جهت خط‌های میدان را تعیین کنید.



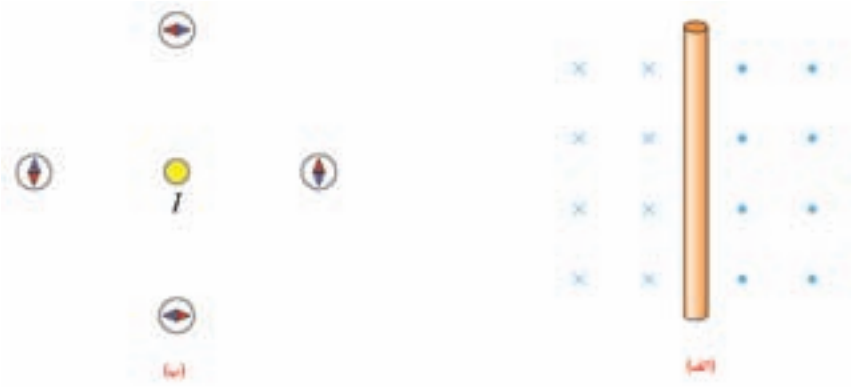

شکل ۴-۳۶

۳- شکل ۴-۳۷ منظره‌ی یک پیچه‌ی حامل جریان را از روبه‌رو نشان می‌دهد. جهت میدان مغناطیسی را درون و بیرون پیچه تعیین کنید.



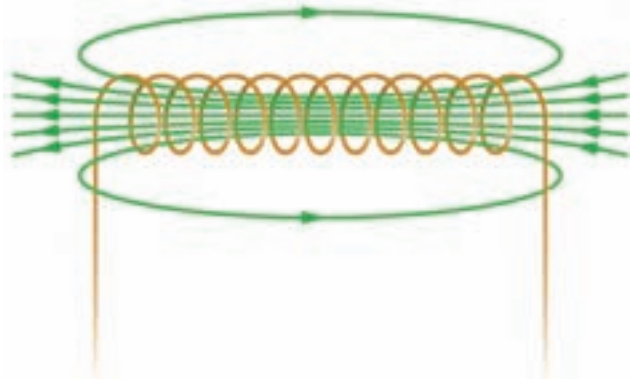

شکل ۴-۳۷

۴- جهت جریان را در هر یک از سیم‌های شکل ۴-۳۸ تعیین کنید.




شکل ۴-۳۸

۵- با توجه به خط‌های میدان مغناطیسی سیم‌لوله‌ی حامل جریان شکل ۴-۳۹، جهت جریان را در سیملوله تعیین کنید.

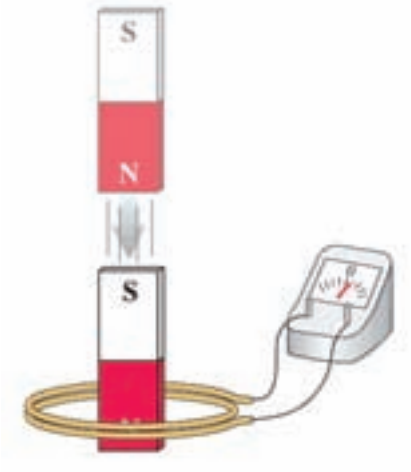


شکل ۴-۳۹

۶- در شکل ۴-۴۰ هنگامی که آهنربا به درون سیم پیچ حرکت می‌کند، عقربه‌ی گالوانومتر به سمت راست منحرف می‌شود.

الف) نام پدیده‌ای که بر اثر حرکت آهنربا ایجاد می‌شود چیست؟

ب) اگر آهنربا از سیم پیچ دور شود، انحراف عقربه چه تغییری می‌کند؟




شکل ۴-۴۰

۷- سرعت سنج دوچرخه‌های مسابقه‌ای شامل یک آهنربای کوچک و یک پیچه است. آهنربا به یکی از پره‌های چرخ جلو و پیچه به دو شاخ فرمان دوچرخه متصل است (شکل ۴-۴۱). با توجه به این که دو سر پیچه توسط سیم‌های رسانایی به سرعت‌سنج(که در واقع یک رایانه‌ی کوچک است) وصل شده است، به نظر شما سرعت سنج دوچرخه چگونه عمل می‌کند؟

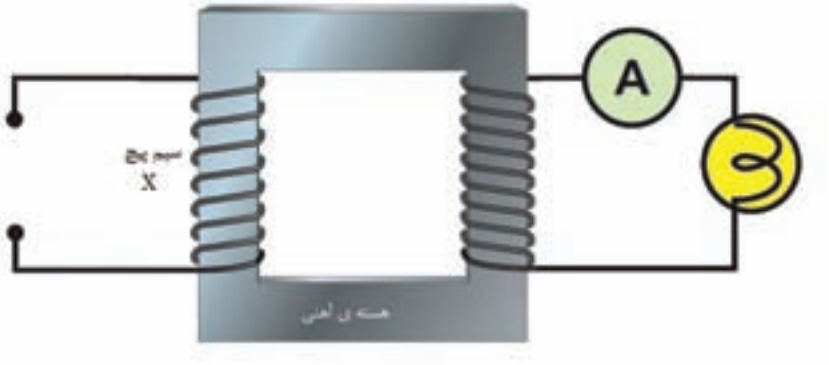
شکل ۴-۴۱

۸- مطابق شکل ۴-۴۲ دو سیم پیچ را به دور یک هسته‌ی آهنی پیچیده‌ایم. توضیح دهید عقربه‌ی آمپرسنج در هر یک از حالت‌های زیر چه تغییری می‌کند.

الف) جریان ثابت $I$ (جریان dc) از سیم پیچ X بگذرد.

ب) جریان ثابت $I$ که از سیم پیچ X می‌گذرد به طور پیوسته قطع و وصل شود.

پ) جریان متناوبی با بسامد ۵۰Hz از سیم پیچ X بگذرد.

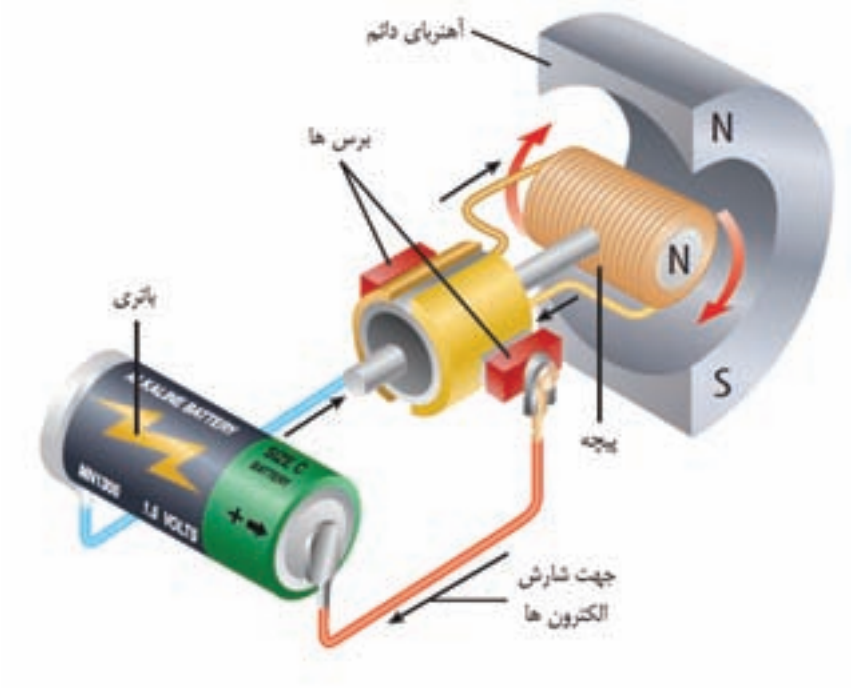



شکل ۴-۴۲

ت) وسیله‌ای که در شکل ۴-۴۲ مشاهده می‌کنید، مبدل (ترانسفورماتور) نامیده می‌شود. چند وسیله‌ی الکتریکی را که در خانه شامل مبدل هستند، نام ببرید.

۹- شکل ۴-۴۳ ساختمان یک موتور الکتریکی را نشان می‌دهد. اصولاً ساختمان موتور، مانند مولد است و این دو یکسان به نظر می‌رسند (شکل ۴-۳۰). همچنین هر دو طبق یک اصل اساسی کار می‌کنند. با توجه به این موضوع جاهای خالی را در عبارت زیر با یکی از واژه‌های «الکتریکی» یا «مکانیکی» کامل کنید.

در موتور، انرژی ورودی از نوع انرژی ..... و انرژی خروجی از نوع انرژی ..... است؛ در حالی که در مولد، ورودی انرژی ..... و خروجی انرژی ..... است. هر دو وسیله صرفاً یک نوع انرژی را به نوع دیگر تبدیل می‌کنند.



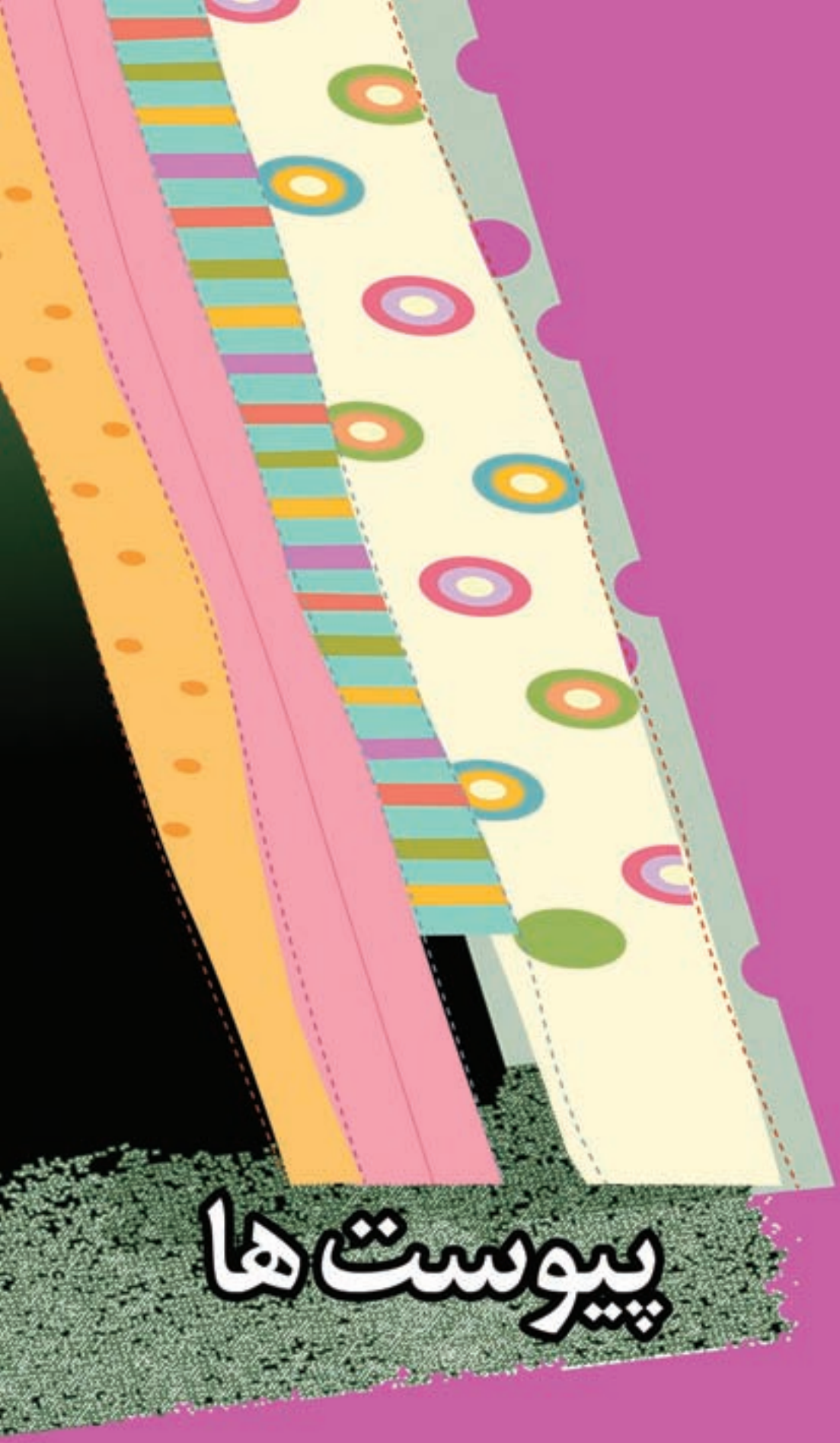

شکل ۴-۴۳

## سخن آخر

امیدواریم از فیزیک ۲ و آزمایشگاه لذت برده باشید و دانش خود از فیزیک را جزء ارزشمندی از آموزش عمومی خود بدانید. نگاه کردن به فیزیک به عنوان مطالعه‌ی قاعده‌های طبیعت شما را به فکر وامی‌دارد و باعث ارتقای چگونگی نگرش شما به جهان فیزیکی می‌شود. یعنی متوجه می‌شوید چیزهای بسیاری در طبیعت به هم مربوط‌اند و پدیده‌های ظاهراً متنوع اغلب از قاعده‌های بنیادی یکسانی پیروی می‌کنند.

مطالعه‌ی فیزیک یک ماجراجویی نیز هست. آن را هیجان انگیز، زمانی نومید کننده، گاهی پر زحمت و اغلب رضایت بخش خواهید یافت. این کار هم حس زیباشناسی و هم شعور عقلانی شما را بر می‌انگیزد. چقدر جالب است که قاعده‌های حاکم بر سرخی آسمان هنگام غروب آفتاب با آبی بودن آن در نیمروز مرتبط است، روان شدن بارهای الکتریکی در یک مدار ساده در مورد مدارهای پیچیده‌ی رایانه نیز صادق است، همچنین قاعده‌هایی که فارادی و هنری کشف کردند نشان می‌دهند چگونه الکتریسیته و مغناطیس در ارتباط با یکدیگر انرژی الکتریکی را به وجود می‌آورند. ارزش فیزیک بیش از کاربردهای آن در مورد شاتل‌های فضایی، رایانه‌های کوانتومی، دستگاه‌های MP4 و دیگر محصولات است.

بیش‌ترین اهمیت آن در روش‌های شناخت و بررسی طبیعت نهفته است. هیچ نظریه‌ای در فیزیک تاکنون به عنوان حقیقت پایانی یا غایی در نظر گرفته نشده است. این امکان همواره وجود دارد که مشاهده‌های جدید ایجاب کنند که نظریه‌ای بازنگری یا رد شود. این در ماهیت هر نظریه‌ی فیزیکی نهفته است که می‌توانیم یک نظریه را در صورت یافتن رفتاری که با آن ناسازگار است رد کنیم، یعنی هرگز نمی‌توانیم ثابت کنیم که یک نظریه همواره صحیح است.


پیوست ها

## پیوست الف

مروری کوتاه در ریاضیات

## نشانه‌ها و نمادهای ریاضی

$a = b$ یعنی $a$ مساوی $b$است.

$a \neq b$ یعنی $a$ مساوی $b$نیست.

$a \succ b$ یعنی $a$ بزرگ تر از $b$است.

$a \prec b$ یعنی $a$ کوچک تر از $b$است.

$a \geq b$ یعنی $a$ کوچک تر از $b$ نیست.

$a \leq b$ یعنی $a$ بزرگ تر از $b$ نیست.

$a \propto b$ یعنی $a$ متناسب با $b$است.

$a \simeq b$ یعنی $a$ تقریباً مساوی $b$است.

$a \gg b$ یعنی $a$ بسیار بزرگ تر از $b$است.

$a \ll b$ یعنی $a$ بسیار کوچک تر از $b$است.

## توان‌ها و ریشه‌ها

برای هر عدد $a$، توان $n$اُم آن عدد عبارت است از $n$ بار ضریب آن عدد در خودش، و به صورت $a^n$ نوشته می‌شود. $n$ را نما می‌نامند. از این قرار،

$$a^{۱} = a,\ a^{۲} = a.a,\ a^{۳} = a.a.a,\ a^{۴} = a.a.a.a,\ .....$$

برای مثال،

$$۳^{۲} = ۳\times ۳ = ۹,\ ۳^{۳} = ۳\times ۳\times ۳ = ۲۷,\ ۳^{۴} = ۳\times ۳\times ۳\times ۳,\ .....$$

یک نمای منفی دال بر این است که یک را $n$ بار بر عدد تقسیم کنند؛ بنابراین

$$a^{-۱} = \frac{۱}{a},\ a^{-۲} = \frac{۱}{a^{۲}},\ a^{-۳} = \frac{۱}{a^{۳}},.....$$

نمای صفر، بی توجه به مقدار $a$ حاصلش ۱ است،

$$a^{۰} = ۱$$

قاعده‌های ترکیب نماها در حاصل‌ضرب‌ها، کسرها و در توان‌های توان‌ها عبارت‌اند از:

$$a^n.\ a^m = a^{n+m}$$

$$\frac{a^n}{a^m} = a^{n-m}$$

$$(a^n)^m = a^{n.m}$$

برای مثال، به سهولت می‌توان ثابت کرد که

$$۳^۲ \times ۳^۳ = ۳^۵$$

$$\frac{۳^۲}{۳^۳} = ۳^{-۱} = \frac{۱}{۳}$$

$$(۳^۲)^۳ = ۳^{۲\times ۳} = ۳^۶$$

توجه کنید که برای هر دو عدد $a$ و $b$

$$(a.b)^n = a^n.b^n$$

برای مثال،

$$(۲\times ۳)^۳ = ۲^۳ \times ۳^۳$$

ریشه‌ی $n$ام $a$ عددی است که توان $n$اُم آن مساوی $a$ است. ریشه $n$اُم عدد $a$ به صورت $a^{1/n}$ نوشته می‌شود. ریشه دوم عدد $a$ یعنی $a^{۱/۲}$ را معمولاً جذر آن می‌نامند و به صورت $\sqrt{a}$ نمایش می‌دهند.

$$a^{۱/۲} = \sqrt{a}$$

چنانکه نمادگذاری $a^{۱/n}$ هم نشان می‌دهد، ریشه‌ها عبارت‌اند از توان‌های کسری. و ازقاعده‌های معمول در ترکیب نماها پیروی می‌کند:

$$(a^{1/n})^n = a^{n/n} = a$$

$$(a^{1/n})^m = a^{m/n}$$

## حساب کردن با نمادگذاری علمی

نمادگذاری علمی برای عددها در ضرب و تقسیم عددهای بسیار بزرگ یا بسیار کوچک، کاملاً مفید است به خاطر این که می‌توانیم به بخش‌های اعشاری و صحیح اعداد به طور جداگانه بپردازیم. برای مثال، در ضرب $۴\times ۱۰^{۱۰}$ به $۵\times ۱۰^{۱۲}$، به صورت زیر، ۴ را در ۵ و $۱۰^{۱۰}$ را در $۱۰^{۱۲}$ ضرب می‌کنیم:

$$(۴\times ۱۰^{۱۰})\times(۵\times ۱۰^{۱۲}) = (۴\times ۵)\times(۱۰^{۱۰}\times ۱۰^{۱۲})$$

$$= ۲۰\times ۱۰^{۱۰+۱۲} = ۲۰\times ۱۰^{۲۲} = ۲\times ۱۰^{۲۳}$$

در تقسیم این اعداد نیز به همین شیوه عمل می‌کنیم:

$$\frac{۴\times ۱۰^{۱۰}}{۵\times ۱۰^{۱۲}} = \frac{۴}{۵}\times\frac{۱۰^{۱۰}}{۱۰^{۱۲}} = ۰/۸\times ۱۰^{۱۰-۱۲} = ۰/۸\times ۱۰^{-۲} = ۸\times ۱۰^{-۳}$$

در جمع یا تفریق‌عددها در نمادگذاری علمی، باید مراقب باشیم که عددها را با توان‌های یکسان ده بیان کنیم. برای مثال، مجموع $۳\times ۱۰^۸$ و $۱/۵\times ۱۰^۹$ عبارت است از

$$۱/۵\times ۱۰^۹ + ۳\times ۱۰^۸ = ۱/۵\times ۱۰^۹ + ۰/۳\times ۱۰^۹ = ۱/۸\times ۱۰^۹$$

## جبر

یک معادله، عبارت است از یک گزاره ریاضی که به ما می‌گوید یک کمیت یا ترکیبی از کمیت‌ها با کمیت یا ترکیبی از کمیت‌های دیگر مساوی است. بیشتر اوقات باید یکی از کمیت‌های معادله را برحسب کمیت‌های دیگر معادله به دست بیاوریم. برای مثال می‌توانیم با حل معادله‌ی

$$x + a = b$$

جواب $x$ را برحسب $a$ و $b$ به دست بیاوریم. در اینجا $a$ و $b$ مقدارهای عددی ثابت، یا عبارات ریاضی هستند که معلوم تلقی می‌شوند و $x$ به منزله‌ی مجهول معادله است.

قاعده‌های جبری به ما می‌آموزند که چگونه با تغییر و تبدیل در معادله ها به راه حل و جواب آن ها برسیم. مهم ترین قاعده‌ها، سه قاعده‌اند به شرح زیر:

۱- هرگاه جمله های یکسان به دو طرف یک معادله بیفزاییم یا از دو طرف آن کم کنیم، اعتبار معادله برقرار می‌ماند و تغییری در آن حاصل نمی‌شود.

این قاعده در حل معادله $x + a = b$ سودمند است. از دو طرف معادله $a$ را کسر می‌کنیم و داریم:

$$x + a - a = b - a$$

یعنی

$$x = b - a$$

برای این که ببینیم این قاعده در یک مثال عددی مشخص چگونه عمل می‌کند معادله‌ی

$$x + ۷ = ۵$$

را در نظر می‌گیریم. با کسر کردن ۷ از دو طرف معادله، داریم:

$$x = ۵ - ۷$$

یا

$$x = -۲$$

توجه داشته باشید که در یک معادله به شکل $x + a = b$ ، ممکن است بخواهیم $a$ را برحسب $x$ و $b$ پیدا کنیم، البته این در صورتی است که $x$ قبلاً از روی اطلاعات دیگر معلوم بوده باشد اما $a$ یک کمیت ریاضی باشد که هنوز معین نیست. اگر چنین باشد، باید $x$ را از دو طرف معادله کسر کنیم، و خواهیم داشت:

$$a = b - x$$

بیش‌تر معادله‌های فیزیکی شامل چندین کمیت ریاضی هستند که بسته به شرایط گاهی اوقات نقش کمیت‌های معلوم را بازی می‌کنند و گاهی هم نقش کمیت‌های مجهول را. در نتیجه، بسته به همین برای یافتن کمیت (همچون $x$) مورد بررسی قرار دهیم.

۲- هرگاه دو طرف یک معادله را به یک و همان عامل ضرب کنیم، اعتبار معادله محفوظ می‌ماند و تغییری در آن حاصل نمی‌شود.

این قاعده، در حل معادله‌ای چون

$$ax = b$$

سودمند است. به طور ساده، دو طرف را به a تقسیم می‌کنیم، و داریم:

$$\frac{ax}{a} = \frac{b}{a}$$

$$x = \frac{b}{a}$$

غالباً این ضرورت پیش می‌آید که هر دو قاعده‌ی بالا را با هم ترکیب کنیم، برای مثال، در حل معادله‌ی

$$۲x+۱۰=۱۶$$

با تفریق ۱۰ از دو طرف شروع می‌کنیم و داریم:

$$۲x+۱۰-۱۰ =۱۶-۱۰$$

یا

$$۲x = ۶$$

و سپس طرفین را به ۲ تقسیم می‌کنیم و به دست می‌آوریم:

$$x = \frac{۶}{۲}$$

یا

$$x = ۳$$

۳- هرگاه دو طرف یک معادله را به توان یکسان برسانیم اعتبار معادله محفوظ می‌ماند و تغییری در آن حاصل نمی‌شود.

این قاعده، حل معادله‌ی

$$x^{۳} = b$$

را ممکن می‌سازد. هر دو طرف را به توان۱/۳ می‌رسانیم، و داریم:

$$(x^{۳})^{۱/۳}=b^{\ ۱/۳}$$

یا

$$x=b^{\ ۱/۳}$$

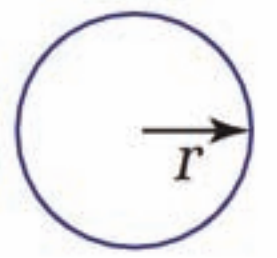
رابطه‌ی معادله‌ی درجه‌ی دوم

$$a x^{۲} + b x + c =۰ \Rightarrow x = \frac{-b \pm \sqrt{b^{۲} - ۴ac}}{۲a}$$

قضیه‌ی فیثاغورس

$$a^{۲} + b^{۲} = c^{۲}$$

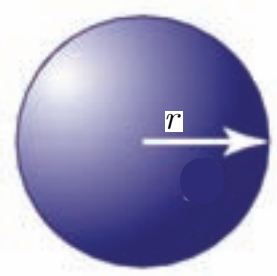
## محیط، مساحت و حجم




دایره‌ای به شعاع $r$

محیط $= ۲\pi r$

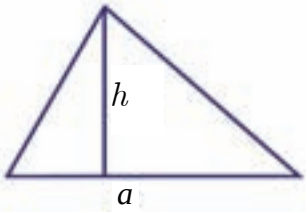
مساحت $= \pi r^۲$




کره‌ای به شعاع $r$

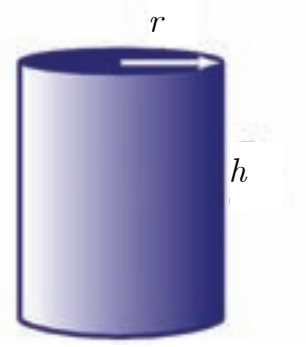
مساحت $= ۴\pi r^۲$

حجم $= \frac{۴}{۳}\pi r^۳$




مثلثی با قاعده‌ی $a$ و ارتفاع $h$:

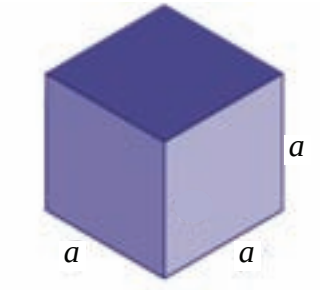
مساحت $= \frac{۱}{۲} a h$




استوانه ای به شعاع $r$ و ارتفاع $h$:

مساحت $= ۲\pi r^۲ + ۲\pi r h$

حجم $= ۲\pi r^۲ h$




مکعبی به ضلع $a$

حجم $= a^۳$

# پیوست ب

## داده‌های فیزیکی

| | |
|---|---|
| سرعت نور در خلأ، c | $۲/۹۹۷۹\times۱۰^{۸}\ m/s \simeq ۳\times۱۰^{۸}\ m/s$ |
| یکای نجومی (AU)، فاصله‌ی متوسط زمین خورشید | $۱/۵\times۱۰^{۱۱}\ m$ |
| فاصله‌ی متوسط زمین – ماه | $۳/۸۴\times۱۰^{۸}\ m$ |
| شعاع زمین (در استوا) | $۶/۳۷\times۱۰^{۶}\ m$ |
| جرم خورشید | $۱/۹۹\times۱۰^{۳۰}\ kg$ |
| جرم زمین | $۵/۹۸\times۱۰^{۲۴}\ kg$ |
| جرم ماه | $۷/۳۶\times۱۰^{۲۲}\ kg$ |
| بار الکترون، e | $-۱/۶\times۱۰^{-۱۹}\ C$ |
| بار پروتون، p | $۱/۶\times۱۰^{-۱۹}\ C$ |
| عدد آو و کادرو، $N_A$ | $۶/۰۲۲\times۱۰^{۲۳}\ /mol$ |

## علامت‌های اختصاری استاندارد

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| آمپر | A | دقیقه | min | گرم | g |
| اتمسفر | atm | نیوتون | N | ساعت | h |
| کولن | C | ثانیه | s | هرتز | Hz |
| درجه‌ی سلسیوس | °C | ولت | V | اینچ | in |
| الکترون ولت | eV | وات | W | ژول | J |
| اسب بخار | hp | اهم | Ω | کیلوگرم | kg |
| متر | m | مایل | mi | | |

## ضرایب تبدیل

$۱\ \text{سال} = ۳۶۵\frac{۱}{۴}\ \text{روز} = ۳/۱۵۵۸\times۱۰^{۷}\ s$

$۱d = ۸۶۴۰۰\ s$

$۱h = ۳۶۰۰\ s$

$۱kWh = ۳/۶\times۱۰^{۶}\ J$

$۱eV = ۱/۶۰۲\times۱۰^{-۱۹}\ J$

$۱hp = ۷۴۶\ W$

$۱\ m/s = ۳/۶\ km/h$ $۱\ kg = ۱۰۰۰\ g$

$۱\ in = ۲/۵۴\ cm$

$۱\ mi = ۱۶۰۹\ m$

$۱\ liter = ۱۰^{۳}\ cm^{۳} = ۱۰^{-۳} m^{۳}$

### بعضی از یکاهای فرعی SI

| کمیت | نام یکا | نماد | یکای معادل |
|---|---|---|---|
| سطح | متر مربع | $m^{۲}$ | |
| حجم | متر مکعب | $m^{۳}$ | |
| بسامد | هرتز | Hz | |
| چگالی | کیلوگرم بر متر مکعب | $kg/m^{۳}$ | |
| سرعت | متر بر ثانیه | m/s | |
| شتاب | متر بر مجذور ثانیه | $m/s^{۲}$ | |
| نیرو | نیوتون | N | |
| انرژی | ژول | J | |
| توان | وات | W | J/s |
| مقدار بار الکتریکی | کولن | C | A.s |
| ولتاژ | ولت | V | |
| میدان الکتریکی | نیوتون بر کولن | N/C | |
| مقاومت الکتریکی | اهم | Ω | V/A |
| ظرفیت | فاراد | F | A.s/V |
| میدان مغناطیسی | تسلا | T | |

## پیوست پ

# چیز هایی که لازم است بدانید

**آمپر (A)** **ampere**

یکای SI برای جریان الکتریکی. یک آمپر جریان یک کولن بار در یک ثانیه – $۶/۲۵\times۱۰^{۱۸}$ الکترون (یا پروتون) در ثانیه– است.

**آمپرسنج** **ammeter**

وسیله‌ای برای اندازه‌گیری جریان الکتریکی. گالوانومتر را ببینید.

**آهنربا** **magnet**

هر جسمی که خواص مغناطیسی، یعنی توانایی جذب اجسام آهنی یا مواد مغناطیسی دیگر را، داشته باشد.

**آهنربای الکتریکی** **electromagnet**

آهنربایی که ویژگی‌های مغناطیسی‌اش را جریان الکتریکی تولید می‌کند.

**اتصال به زمین** **grounding**

فراهم آوردن امکان حرکت آزادانه‌ی بارهای الکتریکی در امتداد مسیری از رسانا به زمین.

**اتصال سری** **in series**

اصطلاح متداول برای بخش‌هایی از مدار الکتریکی که طوری دنبال هم قرار گرفته‌اند که جریان پس از عبور از یکی از قطعه‌های آن، باید از بقیه هم بگذرد.

**اتصال موازی** **in parallel**

اصطلاح متداول برای بخش‌هایی از مدار الکتریکی که در دو نقطه به هم متصل شده‌اند تا مسیرهای متفاوتی را برای جریان بین این نقاط به وجود آورند.

**اختلاف پتانسیل (ولتاژ)** **potential difference**

اختلاف پتانسیل یا ولتاژ بین دو نقطه. بارهای آزاد وقتی در یک مدار الکتریکی شارش می‌یابند که اختلافی بین آن دو نقطه وجود داشته باشد و این شارش تا رسیدن دو نقطه به پتانسیل یکسان ادامه می‌یابد.

**القای الکترومغناطیسی** **electromagnetic induction**

پدیده‌ی القای جریان (یا ولتاژ) در رسانا با تغییر میدان مغناطیسی در نزدیکی آن. اگر بتوان میدان مغناطیسی داخل حلقه‌ی بسته‌ای را به هر طریق تغییر داد، جریانی در آن حلقه القا می‌شود. قانون فارادی را هم ببینید.

**القا** **induction**

باردار کردن جسم بدون تماس مستقیم.

**القایی** **induced**

الف) اصطلاحی برای بارهای الکتریکی که توزیعشان بر اثر حضور جسم باردار در آن حوالی تغییر می‌کند.

ب) اصطلاحی برای ولتاژ، جریان، میدان الکتریکی، یا میدان مغناطیسی که بر اثر تغییر یا حرکت در میدان الکتریکی یا مغناطیسی به وجود می‌آید.

**الکترود** **electrod**

پایانه، مثلاً پایانه‌ی باتری که جریان الکتریکی می‌تواند از آن عبور کند.

**الکتریسیته‌ی ساکن** **electrostatics**

مطالعه‌ی بارهای الکتریکی ساکن و بر هم کنش آن‌ها با یکدیگر.

**الکترون** **electron**

ذره‌ی منفی موجود در اتم.

**الکترون‌های رسانش** **conduction electrons**

الکترون‌های فلز که آزادانه حرکت و بار الکتریکی حمل می‌کنند.

**الکتریسیته** **electricity**

اصطلاحی کلی برای پدیده‌های الکتریکی.

**الکتریکی قطبیده** **electrically polarized**

اصطلاحی برای اتم یا مولکولی که بارها در آن طوری قرار گرفته‌اند که یک طرف آن اندکی مثبت‌تر یا منفی‌تر از طرف مقابل است.

**انرژی پتانسیل الکتریکی** **electric potential energy**

انرژی‌ای که بار الکتریکی به سبب موقعیت خود در میدان الکتریکی دارد.

**اُهم $(\Omega)$** **ohm**

یکای SI برای مقاومت الکتریکی. یک اُهم مقاومت قطعه‌ای است که وقتی ولتاژ یک ولت به دو سر آن اعمال شود جریانی برابر یک آمپر را بِکِشد.

**بار الکتریکی** **electric charge**

ویژگی الکتریکی بنیادی که جاذبه یا دافعه‌ی متقابل بین الکترون‌ها و پروتون‌ها مربوط به آن است.

**باردار کردن القایی** **charging by induction**

باز توزیع بارهای الکتریکی درون و بیرون اجسام که ناشی از تأثیر جسم باردار در نزدیکی آن جسم و بدون تماس با آن است.

**باردار کردن تماسی** **charging by contact**

انتقال بار الکتریکی بین اجسام با مالش یا تماس ساده‌ی آن‌ها با یکدیگر.

**پایستگی بار** **conservation of charge**

این اصل که بار الکتریکی را نمی‌توان خلق یا نابود ساخت، بلکه فقط می‌توان آن را از جسمی به جسم دیگر منتقل کرد.

**پتانسیل الکتریکی** **electric potential**

انرژی پتانسیل الکتریکی (برحسب ژول) به ازای واحد بار (برحسب کولن) در محل میدان الکتریکی که با ولت اندازه‌گیری می‌شود.

$$۱\ \mathrm{V} = \frac{۱\mathrm{J}}{۱\mathrm{C}}$$

**ترانزیستور** **transistor**

پشت جلد کتاب را ببینید.

**ترانسفورماتور (مبدل)** **transformer**

وسیله‌ای برای زیاد یا کم کردن ولتاژ یا انتقال توان الکتریکی از یک پیچه‌ی سیم به پیچه‌ی دیگر، با استفاده از القای الکترومغناطیسی.

**توان الکتریکی** **electric power**

آهنگ انتقال انرژی الکتریکی یا آهنگ انجام یافتن کار که می‌توان آن را با حاصل ضرب جریان در ولتاژ اندازه گرفت.

توان الکتریکی= جریان × ولتاژ یا $P = VI$

**جریان الکتریکی** **electric current**

شارش بار الکتریکی که انرژی را از محلی به محل دیگر منتقل می‌کند. جریان الکتریکی برحسب آمپر اندازه‌گیری می‌شود که هر آمپر به معنای شارش $۶/۲۵\times ۱۰^{۱۸}$ الکترون (یا پروتون) در ثانیه است.

**جریان متناوب (ac)** **alternating current**

جریان الکتریکی که جهتش به سرعت معکوس می‌شود. بارهای الکتریکی اطراف مکان‌های تقریباً ثابت، معمولاً با آهنگ ۶۰ هرتز، ارتعاش می‌کنند.

**جریان مستقیم (dc)** **direct current**

جریان الکتریکی که در آن بار همیشه در یک جهت شارش می‌یابد.

**حجم** **volume**

مقدار فضایی که جسم اشغال می‌کند.

**خازن** **capacitor**

وسیله‌ای که برای ذخیره‌سازی بار (انرژی الکتریکی) در مدار الکتریکی به کار می‌رود.

**خاصیت مغناطیسی** **magnetism**

ویژگی قابلیت جذب اجسام ساخته شده از آهن، فولاد و مگنتیت.

**خط‌های میدان مغناطیسی** **magnetic field lines**

خط‌هایی که شکل میدان مغناطیسی را نشان می‌دهند. قطب‌نمایی که روی چنین خطی قرار گیرد می‌چرخد تا با آن همسو شود.

**خلأ** **vacuum**

نبود ماده؛ تهی

**دیود** **diode**

قطعه‌ای الکترونیکی که جریان الکتریکی را در مدار به یک جهت محدود سازد؛ وسیله‌ای برای تبدیل جریان متناوب به جریان مستقیم.

**رسانا** **conductor**

الف) ماده‌ای که گرما را در آن بتوان منتقل کرد.

ب) ماده‌ای، معمولاً فلزی، که بار الکتریکی در آن جریان می‌یابد.

**رسانش** **conduction**

الف) در گرما، انتقال انرژی از ذره‌ای به ذره‌ی دیگر در برخی مواد، یا از ماده‌ای به ماده‌ی دیگر که در تماس مستقیم با آن است.

ب) در الکتریسیته، جریان بار الکتریکی در رسانا.

**ژنراتور (مولد)** **generator**

ماشینی که معمولاً با چرخاندن پیچه‌ای در میدان مغناطیسی ثابت، جریان الکتریکی تولید می‌کند.

**ژول (J)** **Joule**

یکای SI برای کار و دیگر شکل‌های انرژی.

**فیوز** **fuse**

وسیله‌ای در مدار الکتریکی که وقتی جریان به اندازه‌ای زیاد شود که خطر آتش‌سوزی به وجود آید، آن را قطع می‌کند.

**قانون** **law**

فرضی کلی یا گزاره‌ای درباره‌ی کمیت‌های طبیعی که بارها به محکِ آزمون گذارده شده و هیچ گونه تناقضی برای آن یافت نشده است.

**قانون اُهم** **Ohm's law**

جریان در مدار با ولتاژ اعمال شده به آن نسبت مستقیم، و با مقاومت مدار نسبت

عکس دارد.

$$I = \frac{\Delta V}{R}$$

## قانون فارادی Faraday's law

تعبیر ساده شده‌ی این قانون به این صورت است که با تغییر میدان مغناطیسی در محل یک پیچه، جریان الکتریکی در آن پیچه القا می‌شود.

.

## قانون کولن Coulomb's law

رابطه‌ی بین نیروی الکتریکی، بارها و فاصله: نیروی الکتریکی بین دو بار با حاصل ضرب بارها و عکس مجذور فاصله‌ی آن‌ها از هم متناسب است.

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

(ضریب تناسب k برابر $9\times10^9\ \mathrm{N.m^2/C^2}$ است). اگر بارها همنام باشند، نیرو دافعه است؛ اگر بارها ناهمنام باشند، نیروی جاذبه است.

## کولن (C) Colomb

یکای SI برای بار الکتریکی. یک کولن بار الکترون (یا پروتون) است.

## گالوانومتر Galvanometer

دستگاهی که برای آشکارسازی جریان‌های الکتریکی بسیار کوچک به کار می‌رود. معمولاً صفر گالوانومتر درمیان صفحه‌ی مدرج یا مقیاس‌بندی شده‌ی آن قرار دارد، یعنی عقربه‌ی آن در حالت عادی وسط صفحه‌ی مدرج می‌ایستد.

## متر(m) meter

یکای استاندارد طول در SI.

## مدار circuit

هر مسیر کاملی که بار الکتریکی بتواند در آن جریان یابد.

## مدار سری series circuit

مدار الکتریکی که در آن قطعه‌های مختلف طوری به هم متصل شده‌اند که جریان یکسانی از همه‌ی آن‌ها می‌گذرد.

**مدار کوتاه** **short circuit**

گسیختگی مدار الکتریکی بر اثر شارش بار در مسیر دارای مقاومت کم بین دو نقطه‌ای که نباید مستقیماً به هم متصل شوند، در نتیجه جریان از مسیر درست خود منحرف می‌شود؛ عملاً «کوتاه شدن مدار» است.

**مدار موازی** **parallel circuit**

مدار الکتریکی متشکل از دو قطعه یا بیش‌تر که طوری به هم متصل شده‌اند که ولتاژ یکسانی به دو سر هر قطعه اعمال می‌شود و هر یک از آن‌ها مستقل از قطعه‌های دیگر مدار را کامل می‌کند.

**مقاومت الکتریکی** **(resistor) resistance**

قطعه‌ای در مدار الکتریکی که برای مقاومت در برابر شارش بار الکتریکی طراحی شده است.

**مقاومت الکتریکی** **electrical resistance**

مقاومت ماده در برابر شارش بار الکتریکی در آن که برحسب اُهم (با نماد $\Omega$) اندازه‌گیری می‌شود.

**منبع ولتاژ** **voltage source**

ابزاری مثل باتری، یا ژنراتور (مولد) که اختلاف پتانسیل الکتریکی تأمین می‌کند.

**میدان الکتریکی** **electric field**

میدان نیرویی که فضای اطراف هر بار یا گروهی از بارهای را پر می‌کند. آن را برحسب نیرو تقسیم بر بار($N/C$) اندازه‌گیری می‌کنند.

**میدان مغناطیسی** **magnetic field**

ناحیه‌ی تأثیر مغناطیسی اطراف قطب مغناطیسی یا ذره‌ی باردار متحرک.

**نیروی الکتریکی** **electrical force**

نیروی وارد از یک بار به بار دیگر. بارهای همنام یکدیگر را دفع و بارهای ناهمنام یکدیگر را جذب می‌کنند.

**نیروی محرکه‌ی الکتریکی (emf)** **electromotive force**

هر ولتاژی که جریان الکتریکی به وجود آورد. باتری یا ژنراتور (مولد) منبع emf هستند.

**نیروی مغناطیسی** **magnetic force**

بین دو آهنربا، برای قطب‌های ناهمنام جاذبه و برای قطب‌های همنام دافعه است.

**نیمرسانا** **semiconductor**

قطعه‌ی ساخته شده از ماده‌ای که نه تنها خواصی بین ماده‌ی رسانا و عایق دارد، بلکه مقاومتش بر اثر تغییر وضعیت دما، ولتاژ و میدان الکتریکی یا مغناطیسی ناگهان تغییر می‌کند.

**وات** **Watt**

یکای SI برای توان. هرگاه یک ژول کار در یک ثانیه انجام شود، یک وات به مصرف رسیده است.

$$1\,W = 1\,J/1s$$

**ولت (V)** **Volte**

یکای SI برای پتانسیل الکتریکی. یک ولت اختلاف پتانسیل الکتریکی‌ای است که در عبور از آن یک کولن بار انرژی یک ژون به دست می‌آورد یا از دست می‌دهد.

$$1\,V = \frac{1J}{1C}$$

**ولتاژ** **voltage**

معیاری از اختلاف پتانسیل الکتریکی.

$$\Delta V = \frac{\Delta U}{q}$$

**ولت‌سنج** **voltmeter**

دستگاهی برای اندازه‌گیری ولتاژ دو سر یک قطعه‌ی الکتریکی. ولت‌سنج را به طور موازی در مدارهای الکتریکی می‌بندند.

**یون** **ion**

اتم (یا گروهی از اتم‌های وابسته به هم) که با بار الکتریکی خالص حاصل از به دست آوردن یا از دست دادن الکترون‌ها به هم پیوسته‌اند. یون مثبت، اتمی که کمبود الکترون دارد، یک بار مثبت خالص دارد. یون منفی، اتمی که الکترون اضافی دارد، یک بار منفی خالص دارد.

## پیوست ت

## واژه‌نامه‌ی فارسی به انگلیسی

| | |
|---|---|
| کمیت فیزیکی | physical quantity |
| تعریف عملیاتی | operational definition |
| یکا | unit |
| دستگاه بین‌المللی | International System (SI) |
| استاندارد | standard |
| دستگاه متریک | metric system |
| بازه‌ی زمانی | time interval |
| کمیت‌های اصلی | base quantities |
| کمیت‌های فرعی | derived quantities |
| تبدیل زنجیره‌ای | chain link conversion |
| ضریب تبدیل | conversion factor |
| عدم قطعیت | uncertainty |
| خطا | error |
| رقم‌های با معنا | significant figures |
| کمیت نرده‌ای | scalar quantity |
| کمیت برداری | vector quantity |
| بزرگی | magnitude |
| جابه‌جایی | displacement |
| مسافت | distance |
| موازی | parallel |
| پاد موازی | antiparallel |
| پیکان | arrow |
| پیشوندهای یکا | unit prefixes |
| طول | length |
| جرم | mass |
| زمان | time |
| درستی | accuracy |

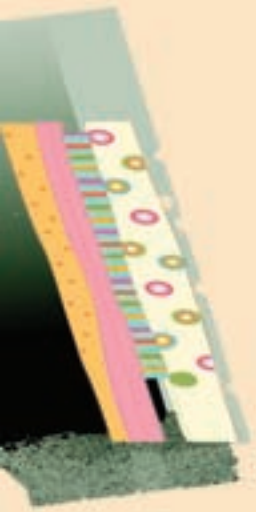
| | |
|---|---|
| amber | کهربا |
| electric charge | بار الکتریکی |
| principle of conservation of charge | اصل پایستگی بار |
| conductor | رسانا |
| insulator | عایق |
| semiconductor | نیمرسانا |
| super conductor | ابر رسانا |
| charge polarization | قطبش بار |
| electric field | میدان الکتریکی |
| action at a distance | اثر از راه دور |
| test charge | بار آزمون |
| electrical breakdown | فرو ریزش الکتریکی |
| sparking | تخلیه‌ی جرقه‌ای |
| capacitance | ظرفیت |
| capacitor | خازن |
| discharge | تخلیه |
| charged | شارژ شده |
| electric current | جریان الکتریکی |
| resistance | مقاومت |
| coulomb | کولن |
| resistivty | مقاومت ویژه |
| ohm meter | اهم سنج |
| AVO meter | آوومتر |
| multimerter | چند سنجشی |
| circuit diagram | نمودار مدار |
| circuit elements | قطعه‌های مدار |
| series combination | ترکیب سری |
| parallel combination | ترکیب موازی |
| equivalent resistance | مقاومت معادل |
| electromotive force (emf) | نیروی محرکه‌ی الکتریکی |
| battery terminal | پایانه‌ی باتری |

| | |
|---|---|
| electrical power | توان الکتریکی |
| ammeter | آمپرسنج |
| volt meter | ولت سنج |
| internal resistance | مقاومت درونی |
| Kirchhoff 's laws | قانون‌های کیرشهف |
| coil | پیچه |
| magnetic field | میدان مغناطیسی |
| compass | قطب‌نما |
| north pole | قطب شمال |
| south pole | قطب جنوب |
| magnetic monopole | تک قطبی مغناطیسی |
| right hand rule | قاعده‌ی دست راست |
| permanent magnet | آهنربای دایمی |
| electromagnetic induction | القای الکترومغناطیسی |
| magnetic field lines | خط‌های میدان مغناطیسی |
| solenoid | سیملوله |
| alternating current | جریان متناوب |
| loop | حلقه |
| electric motor | موتور الکتریکی |
| iron core | هسته‌ی آهنی |
| generator | مولد |

# پیوست ث نمایه


آهنربا ۱۱۵
آهنربای الکتریکی ۱۲۸
اتصال کوتاه ۸۹
الکترولیت ۷۵
اصل پایستگی ۴۳
الکترومغناطیس ۱۲۱
الکترون ۴۱
الکترون آزاد ۷۴
الکترون رسانش ۷۴
الکتریسیته‌ی ساکن ۵۸
انرژی پتانسیل الکتریکی ۵۹
انرژی پتانسیل گرانشی ۵۹
اهم سنج ۸۰
بار آزمون ۵۳
بار الکتریکی ۳۸
بار نقطه‌ای ۵۴
بایت ۲۱
برایند ۲۸
بردارها ۲۵
بردارهای پاد موازی ۲۷
بردارهای موازی ۲۷
برق گیر ۴۶
بیت ۲۱
پایستگی بار الکتریکی ۴۲
پایستگی جریان ۷۸
پروتون ۴۱
پیچه ۱۲۵
پیشوندها ۲۰
تبدیل یکاها ۲۰، ۲۲
تبدیل زنجیره‌ای ۲۲
تخلیه‌ی جرقه‌ای ۵۶
تخلیه‌ی خازن ۶۳
توان مفید ۸۸
توان تولیدی ۸۸
ثابت گذر دهی خلاء ۶۴
جرم ۱۷
جریان الکتریکی ۷۳
جریان متناوب ۱۳۳
جریان مستقیم ۱۳۳
جمع برداری ۲۵، ۲۷
خازن ۶۲
خازن تخت ۶۲
خطهای میدان ۵۵
دستگاه متریک ۱۴
زمان ۱۵
ساختار ماده ۴۱
سرعت سنج ۱۳۹
سیملوله ۱۲۶
شوک الکتریکی ۹۰
طول ۱۶
ظرفیت خازن ۶۴
عدم قطعیت ۱۹
قاعده‌ی دست راست ۱۲۲
قانون القای الکترومغناطیسی ۱۳۰
قانون اهم ۸۱
قانون فارادی ۱۳۰
قانون کولن ۴۸
قطب‌های مغناطیسی ۱۱۵
قطب‌های ناهمنام ۱۱۶
قطب‌های همنام ۱۱۶
کدگذاری مقاومت‌ها ۸۳
کمیت‌های اصلی ۱۴
کمیت‌های فرعی ۱۴
کمیت‌های فیزیکی ۱۴

گالوانومتر ۱۲۹
مبدل ۱۳۴
مبدل افزاینده ۱۳۴
مبدل آرمانی ۱۳۵
مبدل کاهنده ۱۳۴
متر استاندارد ۱۶
مدار الکتریکی ۹۲
مدار سری (متوالی) ۹۴
مدار موازی ۹۸
مقاومت الکتریکی ۸۰
مقاومت درونی ۸۷
مقاومت ویژه ۸۵
مولد الکتریسیته ۱۳۳
میدان الکتریکی ۵۲
مولد مغناطیسی ۱۱۸
مولد مغناطیسی زمین ۱۲۱
میل مغناطیسی ۱۲۱
نیروی الکترواستاتیکی ۴۸
نیروی محرکه‌ی الکتریکی ۸۶
نمودار مدار ۹۲
یکا ۱۴
یون مثبت ۴۱
یون منفی ۴۱



## فهرست منابع


۱- درک فیزیک، بریان آرنولد، ترجمه‌ی روح‌اله خلیلی بروجنی و مریم عباسیان، چاپ دوم ۱۳۸۸، انتشارات مدرسه.

۲- میدان‌ها و نیروها، مارک السن و کریس هانیول، ترجمه‌ی روح‌اله خلیلی بروجنی، چاپ اول ۱۳۸۷، انتشارات مدرسه.

۳- الکتریسیته و فیزیک گرما، مارک السن و کریس هانیول، ترجمه‌ی روح‌اله خلیلی بروجنی و احمد توحیدی، چاپ اول ۱۳۸۹، انتشارات مدرسه.

۴- فیزیک مفهومی، پل جی. هیوئیت، جلد سوم، الکتریسیته، ترجمه‌ی منیژه رهبر، چاپ اول ۱۳۸۸، انتشارات فاطمی.

۵- فیزیک دانشگاهی، جلد اول، ویرایش دوازدهم، هیویانگ و راجر فریدمن، ترجمه‌ی اعظم پورقاضی، روح‌اله خلیلی بروجنی و محمد تقی فلاحی، ویراسته‌ی ناصر مقبلی، چاپ اول ۱۳۸۹، نشر علوم نوین.

۶- مبانی فیزیک، جلد دوم، ویرایش هشتم، الکتریسیته و مغناطیس، دیوید هالیدی ،رابرت رزنیک و جرل واکر، ترجمه‌ی محمد رضا خوش بین خوش نظر، چاپ اول ۱۳۸۸، انتشارات آراکس.

6 - R .D .knight ,Physics ,Second Edition ,Pearson Addison Wesley,2008 .

7-Douglas C.Giancoli ,Physics for Scientists and Engineers ,Prentice Hall, 2008 .

8-Serway /Vuille ,College Physics, 8th Edition, Brooks/ Cole, 2009.

9- Tipens, Physics, 7th Edition, Mc Graw Hill, 2007.

10- Physics, Principles and problems, Glencoe/ Mc Graw-Hill, 2005.

11-B. Heimbecker, Physics, Concepts and Connections, Irwin Publishing, 2002.

12- Jim Breithaupt, Key Science, 3th Edition, John Murray, 2001.