بسم الله الرحمن الرحیم

اَللّٰهُمَّ صَلِّ عَلٰى مُحَمَّدٍ وَ آلِ مُحَمَّدٍ وَ عَجِّلْ فَرَجَهُمْ

فیزیک

شاخهٔ فنی و حرفه‌ای و کاردانش

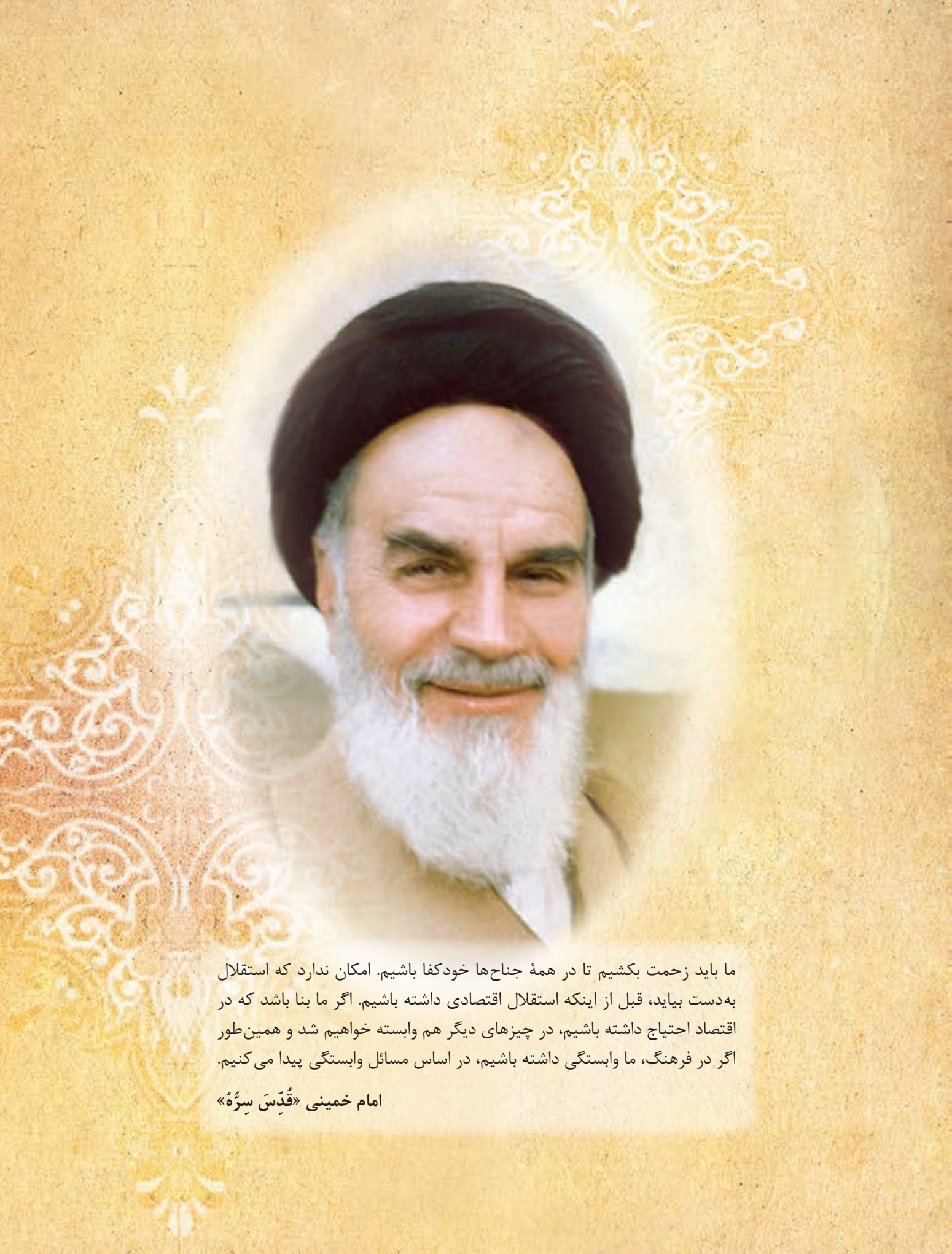
دورهٔ دوم متوسطه

وزارت آموزش و پرورش
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

نام کتاب: فیزیک ـ ۲۱۰۱۴۶
پدیدآورنده: سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی
مدیریت برنامه‌ریزی درسی و تألیف: دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای وکاردانش
شناسه افزوده برنامه‌ریزی وتألیف: افشار بهمنی، مجتبی جهانی‌فر، مریم رحمانی بلداجی، نسرین طاهری اصغری، محمدرضا فرخ‌نیا و محمد نوروزخانی (اعضای شورای برنامه‌ریزی و گروه تألیف) ـ حسین داوودی (ویراستار)
مدیریت آماده‌سازی هنری: ادارهٔ کلّ نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی
شناسه افزوده آماده‌سازی: مجید ذاکری‌یونسی(مدیر هنری) ـ راحله زادفتح‌اله (صفحه‌آرا) ـ فاطمه رئیسیان فیروزآباد (رسام)
نشانی سازمان: تهران: خیابان ایرانشهر شمالی ـ ساختمان شمارهٔ ۴ آموزش و پرورش (شهیدموسوی)
تلفن: ۹ـ۸۸۸۳۱۱۶۱، **دورنگار:** ۸۸۳۰۹۲۶۶ ، **کد پستی:** ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹
وب‌گاه: www.chap.sch.ir و www.irtextbook.ir
ناشر : شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران: تهران ـ کیلومتر ۱۷ جادهٔ مخصوص کرج ـ خیابان ۶۱ (داروپخش)
تلفن : ۵ ـ ۴۴۹۸۵۱۶۱، **دورنگار:** ۴۴۹۸۵۱۶۰، **صندوق پستی:** ۱۳۹ـ ۳۷۵۱۵
چاپخانه: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران «سهامی خاص»
سال انتشار و نوبت چاپ: چاپ هفتم ۱۴۰۱

کلیه حقوق مادی و معنوی این کتاب متعلق به سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی وزارت آموزش و پرورش است و هرگونه استفاده از کتاب و اجزای آن به‌صورت چاپی و الکترونیکی و ارائه در پایگاه‌های مجازی، نمایش، اقتباس، تلخیص، تبدیل، ترجمه، عکس‌برداری، نقاشی، تهیه فیلم و تکثیر به هر شکل و نوع بدون کسب مجوز از این سازمان ممنوع است و متخلفان تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.

شابک ۰ـ ۲۵۵۰ ـ ۰۵ ـ ۹۶۴ ـ ۹۷۸ **ISBN 978 – 964 – 05 – 2550–0**



ما باید زحمت بکشیم تا در همهٔ جناح‌ها خودکفا باشیم. امکان ندارد که استقلال به‌دست بیاید، قبل از اینکه استقلال اقتصادی داشته باشیم. اگر ما بنا باشد که در اقتصاد احتیاج داشته باشیم، در چیزهای دیگر هم وابسته خواهیم شد و همین‌طور اگر در فرهنگ، ما وابستگی داشته باشیم، در اساس مسائل وابستگی پیدا می‌کنیم.

امام خمینی «قُدِّسَ سِرُّهُ»

فهرست

فصل ۱ـ فیزیک و اندازه‌گیری

۱ـ۱ فیزیک چیست؟ ۲
۱ـ۱ـ۱ اهمیت اندازه‌گیری در علم فیزیک ۳
۱ـ۲ کمّیت‌های فیزیکی و یکاها ۴
۱ـ۲ـ۱ کمّیت‌ها و یکاهای اصلی ۶
۱ـ۲ـ۲ کمّیت‌ها و یکاهای فرعی ۸
۱ـ۲ـ۳ تبدیل یکاها و پیشوندها ۹
۱ـ۲ـ۴ نمادگذاری علمی ۱۲
۱ـ۳ اندازه‌گیری کمّیت‌ها ۱۳
۱ـ۳ـ۱ وسایل اندازه‌گیری ۱۵
۱ـ۴ کمّیت های برداری و نرده‌ای ۱۷
۱ـ۴ـ۱ نمایش کمّیت‌های برداری ۱۸
۱ـ۴ـ۲ قواعد جمع برداری ۲۰
جمع‌بندی ـ نقشه مفهومی ۲۴
چندپرسش‌و چند مسئله ۲۵
پروژه پایانی ۲۷

فصل ۲ـ مکانیک

۲ـ۱ حرکت ۳۱
۲ـ۲ نمودار مسیر حرکت و مفهوم سرعت ۳۳
۲ـ۳ تعادل اجسام ۳۴
۲ـ۳ـ۱ قانون اول نیوتن دربارهٔ حرکت اجسام ۳۵
۲ـ۳ـ۲ حرکت یکنواخت ۳۷
۲ـ۴ حرکت غیریکنواخت اجسام ۳۹
۲ـ۴ـ۱ قانون دوم نیوتن ۴۰
۲ـ۵ نیروهای کنش و واکنش ۴۳
۲ـ۵ـ۱ قانون سوم نیوتن ۴۳
۲ـ۶ معرفی چند نیرو ۴۴
۲ـ۶ـ۱ نیروی گرانش و نیروی وزن ۴۴
۲ـ۶ـ۲ نیروی عمودی تکیه گاه ۴۵
۲ـ۶ـ۳ نیروی اصطکاک ۴۷
جمع‌بندی ـ نقشه مفهومی ۵۰

چندپرسش‌و چند مسئله ۵۱
پروژه پایانی ۵۲

فصل ۳ـ حالت‌های ماده و فشار

۳ـ۱ حالت‌های مختلف ماده ۵۴
۳ـ۲ مواد در مقیاس نانو ۵۶
۳ـ۳ چگالی ۵۷
۳ـ۴ مفهوم فشار ۵۹
۳ـ۵ فشار شاره ها ۶۰
۳ـ۵ـ۱ محاسبه اختلاف فشار دو نقطه در مایع ساکن ۶۱
۳ـ۵ـ۲ فشار هوا ۶۲
۳ـ۵ـ۳ آزمایش توریچلی ۶۲
۳ـ۵ـ۴ محاسبهٔ فشار در یک نقطه در داخل شاره ۶۴
۳ـ۵ـ۵ اصل پاسکال ۶۶
جمع بندی ـ نقشه مفهومی ۶۹
چندپرسش‌و چند مسئله ۷۰
پروژه پایانی ۷۱

فصل ۴ـ دما و گرما

۴ـ۱ دما ۷۴
۴ـ۱ـ۱ مفهوم دما ۷۴
۴ـ۱ـ۲ اندازه گیری دما ۷۴
۴ـ۱ـ۳ مقیاس های دما ۷۵
۴ـ۲ گرما ۷۷
۴ـ۲ـ۱ مفهوم گرما ۷۷
۴ـ۲ـ۲ محاسبه مقدار گرما ۷۷
۴ـ۳ انتقال گرما ۸۰
۴ـ۳ـ۱ رسانش گرمایی ۸۰
۴ـ۳ـ۲ محاسبهٔ آهنگ رسانش گرمایی ۸۱
۴ـ۳ـ۳ همرفت ۸۳
۴ـ۳ـ۴ تابش ۸۴
۴ـ۴ انبساط گرمایی ۸۴

فهرست

۴ـ۴ـ۱ تأثیر گرما بر اندازه مواد ۸۵
۴ـ۴ـ۲ محاسبهٔ مقدار انبساط ۸۶
جمع بندی ـ نقشه مفهومی ۸۸
چندپرسش‌و چند مسئله ۸۹
پروژه پایانی ۹۰

فصل ۵ـ جریان و مدارهای الکتریکی

۵ـ۱ الکترون آزاد ۹۳
۵ـ۲ شدت جریان الکتریکی ۹۳
۵ـ۳ مدار الکتریکی ۹۶
۵ـ۴ اختلاف پتانسیل الکتریکی (ولتاژ) ۹۶
۵ـ۵ مقاومت الکتریکی ۹۸
۵ـ۵ـ۱ قانون اهم ۹۸
۵ـ۵ـ۲ عوامل مؤثر بر مقاومت رساناهای فلزی در دمای ثابت ۱۰۰
۵ـ۵ـ۳ انواع مقاومت ۱۰۲
۵ـ۶ انرژی الکتریکی مصرفی ۱۰۵
۵ـ۶ـ۱ توان مصرفی ۱۰۵
۵ـ۷ نحوه به‌هم بستن مقاومت‌ها ۱۰۶
۵ـ۷ـ۱ به‌هم بستن سری ۱۰۶
۵ـ۷ـ۲ به‌هم بستن موازی ۱۰۸
جمع بندی ـ نقشه مفهومی ۱۱۰
چندپرسش ۱۱۱
چند مسئله ۱۱۲
پروژه عملی ۱۱۲
لغت نامه ۱۱۴
منابع ۱۱۶

سخنی با همکاران

سخنی با دبیران محترم

علم تجربی حاصل تلاش انسان برای درک دنیای اطراف و دانشی آزمودنی است که با ظهور شواهد و دلایل جدید در معرض تغییر قرار گرفته است و از گسترهٔ وسیعی از روش‌های تحقیق بهره می‌برد. در حوزه علوم پایه، اندیشمندان مسلمان، مباحثی را بنیان‌گذاری نمودند که نشان از اهمیت آن دارد. علوم پایه نظری، بنیان و ارکان تمامی شاخه‌های دانش بشری و رشته‌های دانشگاهی محسوب می‌شود. بسیاری از دانشگاه‌های کشورهای توسعه یافته سالانه با بهره‌جویی از علوم پایه، زمینه‌های توسعه را در قلمرو صنعتی، علمی و فنی به وجود آورده و توانسته‌اند با بهره‌مندی از این حوزه، شاخص تولید علم را توسعه دهند.

از نظر بیشتر کارشناسان و نخبگان علمی کشور توجه به اهمیت و جایگاه علوم پایه است که تولید علم را برای کشور در پی خواهد داشت. این امر زمانی میسر می‌شود که جایگاه واقعی خود را در نظام آموزشی پیدا کند و اصلاحات جدی در شیوه‌ها و روش‌های یاددهی - یادگیری و تکنیک‌های آموزشی و نیز استفاده از ابزار و تجهیزات آزمایشگاهی در این دروس انجام شود.

در چارچوب ایده والای «نهضت تولید علم» که از سوی رهبر فرزانه انقلاب اسلامی مطرح شده است، دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش خوشه دروس شایستگی‌های پایه فنی را در برنامه‌های درسی رشته‌های فنی و مهارتی طراحی و محتوای بسته یادگیری آن را تولید نمود. درس فیزیک از جمله دروس این خوشه می‌باشد که برنامه درسی آن برای رشته‌های فنی و حرفه‌ای وکاردانش طراحی و تدوین شده است. بسته یادگیری درس فیزیک شامل کتاب درسی برای هنرجویان عزیز و کتاب راهنمای معلم برای دبیران محترم می‌باشد. محتوای کتاب با مثال‌ها و فعالیت‌های کاربردی و هنرجو محور، فعال و متناسب با رشته‌های فنی و مهارتی توسط مؤلفان گروه فیزیک دفترتألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای وکاردانش طراحی و تدوین شده است.

سخنی با هنرجویان

یادگیری علوم تجربی، بینش عمیق نسبت به درک دنیای اطراف و زمینه ساز شکر خالق متعال از طریق فهم عظمت خلقت خواهد بود. به فرموده رهبر فرزانه انقلاب اسلامی ایران : وقتی به دنیا که نگاه می‌کنیم، می‌بینیم آن چیزی که کشورهای پیشرفته را توانسته به این اوج و قله برساند، ریاضی، فیزیک، شیمی و علوم زیستی است؛ لذا اهمّیت و جایگاه این دروس را مشخص و مبرز می‌کند؛ علوم کاربردی را نمی‌شود از قلم انداخت، باید به آن اهمّیت داد لکن اساس کار، علوم پایه است. علوم پایه عنصر اصلی در پیمودن مسیر ما به سمت قله افتخار و عزت علمی کشور است و برای رسیدن به آن روز باید به گونه‌ای علوم پایه را گسترش بدهیم که دانستن علومی مثل ریاضیات، فیزیک وشیمی به یک عرف تبدیل شود. کتاب پیش‌رو از مجموعه خوشه دروس شایستگی‌های پایه فنی است که در برنامه درسی رشته شما طراحی و تألیف شده است. درس فیزیک یکی از این شایستگی‌های پایه فنی است که برای شما هنرجوی عزیز برنامه‌ریزی شده است. و بسته آموزشی آن شامل کتاب درسی و فیلم آموزشی و کتاب کار است.

اهداف فعالیت‌ها

الف) تصویر اول فصل: هر فصل با نمایش تصویری از کاربردهای مرتبط با موضوع آن فصل شروع می‌شود. هدف آن، درگیرکردن دانش‌آموزان با موضوع فصل و ایجاد انگیزه در آنها است. برای رسیدن به این اهداف، تشویق دانش‌آموزان برای بیشتر دانستن و پرورش مهارت مشاهده در آنها، پرسش‌هایی مطرح شده است که هنرجویان باید در قالب فعالیت گروهی به آنها پاسخ دهند. با تلفیق پرسش‌های هنرجویان با این‌گونه پرسش‌ها می‌توان آنها را به بحث و گفتگو واداشت. شما می‌توانید از تصاویر مناسب دیگری نیز استفاده کنید؛ به این طریق از دانسته‌های قبلی هنرجویان آگاه می‌شویم و آنها را برای یادگیری موضوع مورد نظر آماده می‌کنیم.

ب) فکر کنید: این گونه پرسش‌ها برای مشارکت هرچه بیشتر هنرجویان در فرایند یاددهی ـ یادگیری در نظر گرفته شده است. لذا شایسته است برای آشنا شدن با دانش جدید، استفاده از شبکه‌های اطلاعاتی، افزایش خلاقیت، افزایش قدرت استدلال، ایجاد انگیزه، درگیر کردن هنرجویان با موضوع درسی و ایجاد حس همکاری در دانش‌آموزان حتماً این بخش‌ها مورد توجه همکاران گرامی قرار گیرد.

پ) بیشتر بدانید: برای آشنایی بیشتر هنرجویان با برخی از موضوعات مرتبط با بخش، این قسمت‌ها تدارک دیده شده است. ذکر این نکته قابل توجه است که ارزشیابی از این مباحث انجام نمی شود.

ت) تمرین کنید: برای افزایش مهارت هنرجویان در حل مسئله و افزایش قدرت استدلال آنها، این بخش‌ها تدارک دیده شده است.

ث) دانسته های قبلی: این قسمت که توسط آیکونی مشخص گردیده، دانسته‌های قبلی هنرجویان که در پایه‌های تحصیلی پایین‌تر مطرح شده و مرتبط با بحث است، برای یادآوری آورده شده است.

ج) نکته: برای برجسته‌نمودن بعضی از مباحث مهم و گاهی جلوگیری از کج‌فهمی‌های هنرجویان، بعضی از نکات قابل توجه، تحت عنوان «نکته» ارائه گردیده است.

چ) آزمایش کنید: قسمت عمده‌ای از یادگیری توسط انجام دادن آزمایش و کارهای عملی صورت می‌گیرد. لذا این فعالیت هم باید به طور عملی در آزمایشگاه و توسط هنرجویان در گروه‌های آنها انجام گیرد و هم در صورت دسترسی به رایانه، و نرم افزارهای مربوطه به طور مجازی انجام شود.

ح) تجربه کنید: این بخش‌ها به‌منظور هدایت هنرجویان برای کسب مهارت‌های عملی ارائه گردیده است. تفاوت این بخش با بخش آزمایش کنید در این است که هنرجو با خلاقیت خود مواد و وسایل لازم را تدارک دیده و کار عملی انجام می‌دهد.

خ) کاربرد در صنعت: از آنجا که هدف این کتاب آموزش مفاهیمی است که هنرجو را با دنیای واقعی خود ارتباط دهد، قرار دادن این بخش به هنرجویان کمک می‌کند تا ارتباط آموزش‌های خود را با دنیای اطراف برقرار نمایند.

د) پروژه انتهایی فصل: در پایان هر فصل به منظور هدایت هنرجویان به انجام کار عملی و افزایش حس کار گروهی، پروژه‌های عملی طراحی گردیده است. لازم به ذکر است که انجام هر کدام از این پروژه‌ها در ارزشیابی تأثیر دارد.

راهنمای استفاده از آیکون‌ها

	رجوع به سی دی و مشاهده کتاب و یا فصل مرتبط با متن که در سال‌های گذشته هنرجو با آنها آشنا شده است.
	رجوع به سی دی و مشاهده فیلم‌های آموزشی مربوط به آن موضوع
	رجوع به سی دی و اجرای آزمایشگاه مجازی مربوط به آن موضوع، شبیه سازی مسئله مورد بحث

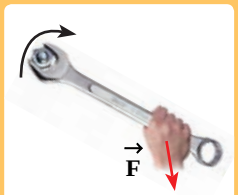
فصل اول

فیزیک و اندازه‌گیری

علم فیزیک و اهمیت اندازه‌گیری

کمیت‌های اصلی و فرعی

آشنایی با وسایل اندازه‌گیری و مفاهیم مرتبط با آنها

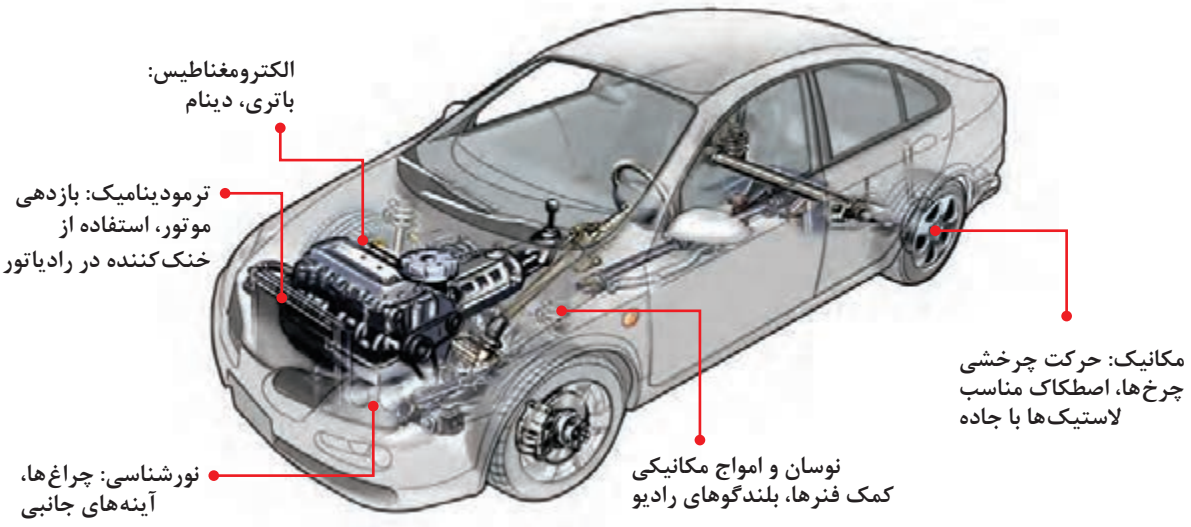


کمیت‌های برداری و نرده‌ای

۱ـ۱ فیزیک چیست؟

بسیاری از افراد تصور می‌کنند علم فیزیک، علمی پیچیده و دشوار است و با زندگی واقعی آنها هیچ ارتباطی ندارد. البته شاید این تصور ناشی از آن باشد که بسیاری از دانشمندان مشهور این حوزه، با استفاده از ابزارهای پیچیده، در خصوص مفاهیمی همچون ساختار جهان و یا ذرات بسیار کوچک درون اتم‌ها مطالعه و پدیده‌های مورد مشاهده خود را اندازه‌گیری می‌کنند.

اما باید قبول کرد که همهٔ پدیده‌های پیرامون شما را می‌توان با استفاده از علم فیزیک مورد بررسی قرار داد. اگر به معنای لغوی این علم دقت کنیم، واژهٔ فیزیک برگرفته از واژهٔ یونانی Physis به‌معنای طبیعت است. همان‌گونه که از معنای این واژه نیز مشخص است، هدف اصلی علم فیزیک این است که با استفاده از تعداد اندکی مفاهیم پایه، معادلات و فرضیات، طبیعت پیرامون بشر را توصیف نماید. در واقع با استفاده از اصول و قوانین موجود در علم فیزیک، می‌توان در مورد گسترهٔ وسیعی از پدیده‌ها، به پیش‌بینی‌های دقیق پرداخت و از آنها در ساخت ابزار و وسایلی که لازمه زندگی انسان‌هاست، استفاده نمود؛ برای مثال شما با مشاهدهٔ شکل ۱ـ۱ متوجه خواهید شد که چگونه حوزه‌های مختلف این علم در ساخت یک خودرو تأثیرگذار بوده است.



شکل ۱ـ۱ در ساخت یک خودرو، حوزه‌های مختلفی از علم فیزیک کاربرد دارند.

ما در زندگی روزمرهٔ خود با انواعی از قوانین و اصول فیزیکی مواجه‌ایم و به همین دلیل است که بسیاری از افراد در مورد این علم بیش از آنچه که تصور می‌کنند، اطلاعات دارند؛ برای مثال هنگامی که شما بستنی را در فریزر یخچال می‌گذارید، به‌خوبی از این قانون فیزیک مطلع هستید که اگر بستنی را به مدت طولانی در فضای اتاق نگه دارید، ذوب خواهد شد!

شکل ۱ـ۲ ناوچه دماوند (جماران ۲)

طرّاحان کشتی‌ها، ناوچه‌های جنگی (شکل ۱ـ۲) و قایق‌ها نیز، به استفاده از قوانین فیزیک در مورد شاره‌ها (فصل ۳ همین کتاب) نیاز دارند. آنها می‌کوشند تا با استفاده از اصول و قوانین این حوزه، کشتی‌ها و قایق‌ها را به‌گونه‌ای بسازند که به‌راحتی بر روی آب شناور شوند و بتوانند به بهترین و سریع‌ترین شکل ممکن بر روی آب حرکت کنند.

در دانش موشک‌های بالستیک مفهومی وجود دارد به‌نام «دایره خطای احتمالی» موسوم به «cep» که هرچه

میزان این دایره کوچک‌تر باشد، دقت موشک بالستیک نیز بیشتر خواهد بود. جمهوری اسلامی ایران یکی از پنج کشوری است که از موشک‌هایی با دقت بالا و دقتی که به دقت نقطه‌زنی تعبیر می‌شود دست یافته است.

دقت چند نمونه از موشک‌های ساخت ایران را بررسی کنید.

در واقع شاخه‌های مختلف علم فیزیک، بازخوانی و کشف برخی از حقایق و قوانین است که خداوند حکیم برای بندگانش در طبیعت خلق کرده است.

۱ــ ۱ــ ۱ اهمیت اندازه‌گیری در علم فیزیک: فیزیک‌دان‌ها برای بررسی فرضیات خود در مورد این موضوع که تغییرات یک متغیر در یک حالت ویژه، چگونه متغیر دیگری را تحت تأثیر قرار می‌دهد، دست به انجام آزمایش می‌زنند و برای آنکه فرایند آزمایش و نتایج آن از لحاظ علمی قابل قبول باشد، لازم است در حین اجرای این آزمایش‌ها دست به اندازه‌گیری‌های عددی بزنند.

الف) اندازه‌گیری قطر یک قطعه توسط ریزسنج (میکرومتر)

ب) اندازه‌گیری فشار هوای درون لاستیک خودرو

ج) دستگاه اسیدسنج خاک

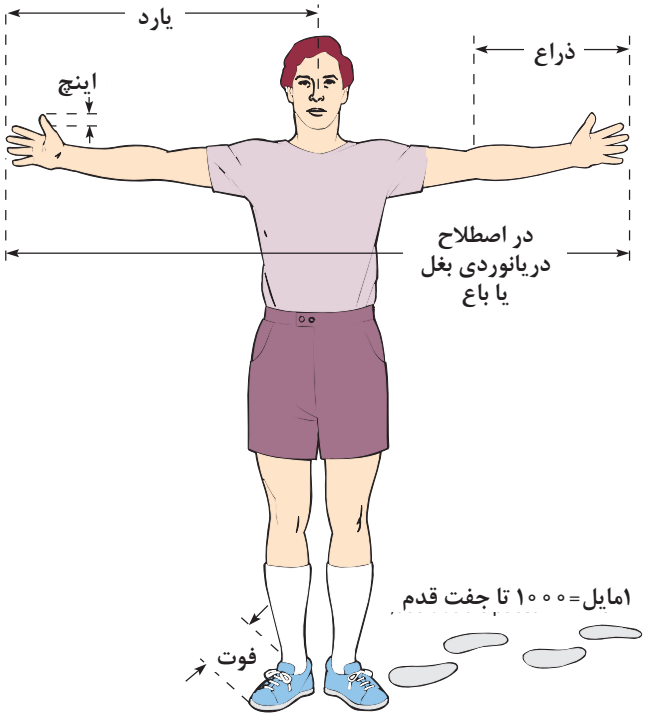
شکل ۱ــ۳ کاربرد اندازه‌گیری در صنعت، زندگی روزمره و کشاورزی

اندازه‌گیری‌های عددی با اعدادی که شما در کلاس‌های ریاضی با آنها روبه‌رو می‌شوید، متفاوت هستند. در ریاضیات، از عددی مانند ۷ می‌توان به‌تنهایی یا در درون یک معادله به‌راحتی استفاده نمود ولی در علم فیزیک، اندازه‌گیری چیزی فراتر از یک عدد است؛ برای مثال همان‌طور که در شکل آغازین فصل آمده است، اگر شما بگویید که نتیجهٔ یک اندازه‌گیری ۱۰۰ است، این گفته باعث به‌وجود آمدن سؤالات بسیاری در ذهن شنونده خواهد شد. چه کمّیت فیزیکی (طول، جرم، زمان و ...) را اندازه‌گیری کرده‌اید؟ اگر پاسخ شما کمّیت طول است در این صورت یکای اندازه‌گیری شما چه بوده است؟ (متر، فوت، اینچ و...).

همهٔ ما می‌دانیم که نیازهای آدمی از طریق ارتباط با محیط و دادوستد با یکدیگر برآورده می‌شود. ارتباط با محیط و جامعه از راه حواس صورت می‌گیرد، از جمله هنگامی که اجسام را می‌بینیم، آنها را لمس می‌کنیم و از بو و مزه آنها آگاه می‌شویم و همچنین صداهای اطراف را می‌شنویم. به بیان دیگر اطلاعاتی که ما از پیرامون خود به‌دست می‌آوریم، در اثر مقایسهٔ اجسام با یکدیگر حاصل می‌شود. رنگ اجسام، زبری، نرمی، کوتاهی، بلندی، دوری، نزدیکی، سردی، گرمی، شیرینی، تلخی و بسیاری از اطلاعات دیگر از راه مقایسهٔ آنها با هم یا مقایسهٔ آنها با مجموعه‌ای از اجسام و استانداردهای مشخص و معین صورت می‌گیرد.

به‌طورکلی مقایسه‌ای را که نتیجهٔ آن به‌دست آوردن عدد باشد، اندازه‌گیری می‌نامند. اندازه‌گیری در حیات انسان نقش مهمی دارد. اندازه‌گیری اساس کارهای صنعتی، علمی و پژوهشی است. در کشاورزی دانستن زمان کاشت، مقدار بذر، سطح زیر کشت و دوره‌های آبیاری اهمیت دارد. هر قدر که هر یک از این کمّیت‌ها مشخص‌تر و دقیق‌تر باشند، بهره‌وری بیشتر خواهد شد. در کارهای مهندسی و فنی نیز با اندازه‌گیری قطر پیچ و مهره‌ها، فشار هوای درون لاستیک اتومبیل، نیروی کشش قطارها و... سر وکار داریم و در کارهای علمی و پژوهشی به اندازه‌گیری دنیای بی‌نهایت کوچک درون اتم و سلول تا دنیای بی‌نهایت بزرگ جهان می‌پردازیم (شکل ۱ــ۳).

در گذشته انسان‌ها کمّیت‌هایی را که به‌طور مستقیم با آنها سر وکار داشتند (مانند طول)، با مقایسهٔ مستقیم آنها با اعضای بدن خود مانند دست، پا و ... اندازه‌گیری می‌کردند، در واقع اعضای بدن آنها نقش استاندارد و وسیله اندازه‌گیری را ایفا می‌نمود (شکل ۱ـ۴).



شکل ۱ـ۴ نمونه‌هایی از یکاهای قدیمی طول

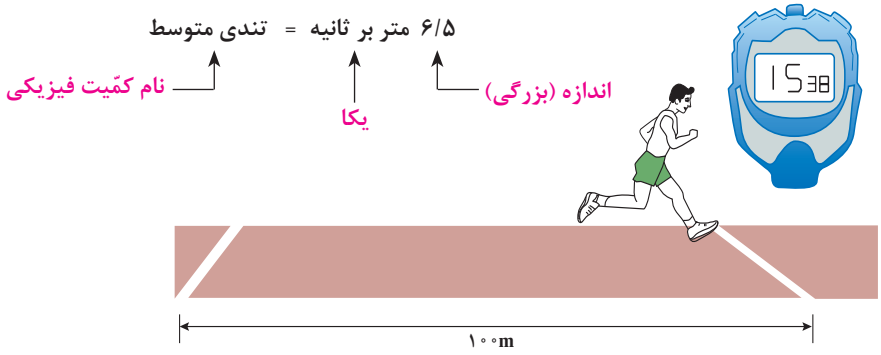
فکر کنید

با تشکیل گروه‌هایی از هم‌کلاسی‌های خود، در مورد مشکلات اندازه‌گیری توسط اعضای بدن در زمان قدیم بحث و تبادل نظر کنید و در نهایت، نتیجه را در قالب یک گزارش یک صفحه‌ای به دبیر خود ارائه دهید.

۱ـ۲ کمّیت‌های فیزیکی و یکاها

همان‌گونه که در بخش ۱ـ۱ـ۱ آموختیم، فیزیک علمی تجربی است. تجربه‌ها (آزمایش‌ها) نیازمند اندازه‌گیری هستند و عموماً برای توصیف نتایج اندازه‌گیری‌ها از اعداد استفاده می‌کنیم. در نتیجه کمّیت‌های فیزیکی، ویژگی‌های فیزیکی مربوط به یک پدیده، جسم و یا ماده هستند که از طریق اندازه‌گیری و آزمایش می‌توان به آنها عدد نسبت داد. برای مثال، دو کمیت فیزیکی که از ویژگی‌های فیزیکی شما به‌حساب می‌آیند، وزن و ارتفاع (قد) شما هستند. در این میان برخی از کمّیت‌های فیزیکی هستند که از طریق نحوه محاسبه آنها توسط دیگر کمّیت‌های قابل اندازه‌گیری تعریف می‌شوند. برای مثال، همان‌گونه که از علوم تجربی پایه نهم به یاد دارید، تندی متوسط از تقسیم کمیت فیزیکی مسافت پیموده شده به زمان صرف شده به‌دست می‌آید و آن را مسافت پیموده شده در واحد زمان تعریف می‌کنند.

باید توجه داشت که هر کمّیت فیزیکی متشکل از دو بخش، یعنی اندازه و یکای مربوط به آن کمیت است. به‌عنوان مثال در شکل ۱ـ۵ هنگامی که گفته می‌شود تندی متوسط دونده ۶/۵ متر بر ثانیه است، داریم:



شکل ۱ـ۵ محاسبه تندی متوسط دونده

نکته

یکای هر کمّیت، مقدار معین و ثابتی از همان کمّیت است.

در اندازه‌گیری هر کمّیت، اندازهٔ آن را با اندازهٔ یکای همان کمّیت مقایسه می‌کنند، تا مشخص شود که اندازه و بزرگی آن چند برابر یکایش است.

نتیجه این مقایسه عددی است که اندازهٔ (مقدار یا بزرگی) آن کمّیت نام دارد. برای مثال یکی از یکاهای مرسوم اندازه‌گیریِ جرم، کیلوگرم است. در تمام دنیا برای تعریف یک کیلوگرم، استانداردی را تعریف نموده‌اند (شکل ۱ـ۶). در نتیجه تمامی اندازه‌گیری‌هایی که با مقایسهٔ جرم جسم با جرم این استاندارد صورت می‌پذیرد بر حسب یکای کیلوگرم گزارش می‌شوند. هنگامی که گفته می‌شود جرم یک هنرجو ۶۰ کیلوگرم است، یعنی جرم آن ۶۰ برابر جرم استاندارد تعیین شده برای یکای کیلوگرم است.

شکل ۱ـ۶ استاندارد کیلوگرم فلزی از جنس پلاتین ـ ایریدیوم می‌باشد که به‌صورت قراردادی جرم آن را معادل ۱ کیلوگرم تعریف کرده‌اند.

فکر کنید

با تشکیل گروه‌هایی سه نفره از هم‌کلاسی‌های خود و مشورت با یکدیگر به این سؤال پاسخ دهید که استاندارد تعیین شده برای اندازه‌گیری یک کمّیت، چه ویژگی‌هایی باید داشته باشد؟

اکنون، پس از آشنایی با تعریف دقیق کمّیت‌ها در فیزیک، اگر به دورهٔ اول متوسطه بازگردید، متوجه خواهید شد که در درس علوم تجربی با کمّیت‌های مختلفی چون طول، جرم، زمان، چگالی، سرعت و ... آشنا شده‌اید. همان‌گونه که می‌دانید، در پیرامون ما کمّیت‌های قابل اندازه‌گیری بسیاری وجود دارد که اگر بخواهیم تمامی آنها را جمع‌آوری کنیم به رقمی بیش از ۱۰۰ کمّیت فیزیکی خواهیم رسید و در نتیجه برای

تعیین و اندازه‌گیری هر یک از آنها نیز باید بیش از ۱۰۰ یکای ویژه تعیین کنیم، که عملاً کاری سخت و شاید امکان‌ناپذیر باشد. ولی همان‌طور که در ابتدای بحث آمد، برخی از کمّیت‌های فیزیکی هستند که وابسته به کمّیت‌های فیزیکی دیگرند (به‌عنوان مثال چگالی که از تقسیم کمّیت فیزیکی جرم به حجم به‌دست می‌آید). فیزیک‌دان‌ها بر اساس این واقعیت، کمّیت‌های فیزیکی را به دو دسته کلی کمیت‌های اصلی و فرعی تقسیم کرده‌اند که در ادامه با آنها آشنا خواهید شد.

بیشتر بدانید

نماد علمی کمّیت‌ها، معمولاً بر اساس حرف اول نام لاتین آنهاست. به‌عنوان مثال برخی از کمّیت‌های فیزیکی که در این کتاب با آنها آشنا خواهید شد در جدول زیر آمده است:

نماد	نام لاتین کمّیت	کمّیت	نماد	نام لاتین کمّیت	کمّیت
V	Volume	حجم	L	Length	طول
ρ	Density	چگالی	m	mass	جرم
v	Velocity	سرعت	t	time	زمان
a	acceleration	شتاب	T	Temperature	دما
F	Force	نیرو	I	Current Intensity	شدت جریان الکتریکی
W	Weight	وزن	R	Resistance	مقاومت الکتریکی
P	Pressure	فشار	V	Voltage	اختلاف پتانسیل الکتریکی
Q	Thermal Energy	انرژی حرارتی	A	Area	مساحت

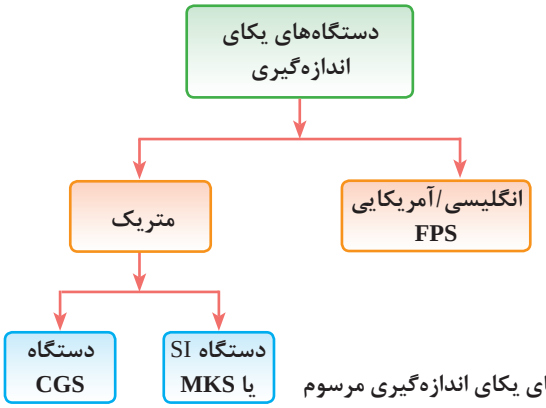
۱ـ۲ـ ۱ کمّیت‌ها و یکاهای اصلی: کمّیت‌های اصلی مجموعه‌ای از کمّیت‌های مستقل فیزیکی هستند که دیگر کمّیت‌ها به کمک آنها به‌دست می‌آیند. با توجه به این تقسیم‌بندی، فیزیک‌دان‌ها، هفت کمّیت فیزیکی را در قالب کمّیت‌های اصلی در نظر گرفته‌اند و یکای مرتبط با آنها را یکاهای اصلی نامیده‌اند.

شما در کتاب‌های علوم تجربی دوره اول متوسطه با برخی از آنها همچون طول، جرم، زمان، دما آشنا شده‌اید. باید در نظر داشت که نکته مهم در تعیین کمّیت‌های اصلی انتخاب یک استاندارد مناسب برای اندازه‌گیری این کمّیت‌ها است، زیرا در دنیای علم و ارتباطات یکی از ملزومات اصلی برای برقراری رابطه میان افراد و دادوستدهای معنی دار، وجود یک قرارداد و استاندارد مناسب میان افراد است که حوزهٔ اندازه‌گیری در علم نیز نیازمند این قراردادهای استاندارد و جهان شمول است.

فکر کنید

با گروه‌هایی از هم‌کلاسی‌های خود، راجع به اهمیت تعیین یکا و استاندارد در علم اندازه‌گیری بحث کنید و با در نظر گرفتن محیط زندگی، آموزشگاه، کارگاه‌ها و ... به چند مورد از مشکلات ناشی از نداشتن یکا و استاندارد یکسان در اندازه‌گیری اشاره نمایید.

به این منظور و هم‌زمان با پیشرفت روزافزون مطالعات در علم، نیاز به داشتن یک دستگاه بین‌المللی یکاها شدت گرفت؛ دستگاهی متشکل از یکاهای کمّیت‌های فیزیکی که بتوان به آنها در همهٔ جهان استناد نمود. در نتیجهٔ این نیاز، دو دستگاه رایج را برای بیان یکاهای اندازه‌گیری معرفی نمودند، که در شکل ۱ـ۷ آمده است.



شکل ۱ـ۷ دستگاه‌های یکای اندازه‌گیری مرسوم

بیشتر بدانید

برای نام‌گذاری این دستگاه‌ها، ابتدای نام یکاهای سه کمّیت اصلی طول، جرم و زمان درون آن دستگاه به ترتیب از چپ به راست استفاده شده است. به‌عنوان مثال در دستگاه انگلیسی آمریکایی، جهت نام‌گذاری از حرف ابتدای نام یکاهای اندازه‌گیری طول، جرم و زمان در این دستگاه استفاده نموده است:
FPS: Foot/Pound/ Second

و یا در دستگاه‌های دیگر داریم:

MKS: Meter/Kilogram/Second
CGS: Centimeter/Gram/Second

از میان دستگاه‌های معرفی شده و بر اساس دو ویژگی مهم و اساسی، دستگاه بین‌المللی یکاها (SI)[1] مورد اقبال و پذیرش همگانی قرار گرفت. اولین ویژگی این دستگاه این است که اندازهٔ کمّیت‌های فیزیکی در آن را می‌توان بر اساس توان‌هایی بر پایهٔ ۱۰ اندازه‌گیری کرد و ارائه داد. دیگر اینکه در این دستگاه، مجموعه‌ای سازماندهی شده از پیشوندها برای نمایش اندازه کمّیت‌های مختلف فیزیکی فراهم گردیده است که در بخش ۱ـ۲ـ۳ به آن اشاره می‌کنیم.[2]

دستگاه بین‌المللی یکاها در سال ۱۹۶۰ در یازدهمین کنفرانس بین‌المللی اوزان و اندازه‌ها تصویب گردید و نام اختصاری آن در تمام جهان «SI» نامیده شد. در این دستگاه، که بر اساس ۷ کمّیت اصلی پایه‌ریزی گردیده، برای هر یک از این ۷ کمّیت یک یکا و یک استاندارد (همانند شکل ۱ـ۶) تعریف شده است. در جدول ۱ـ۱ با یکای برخی از مهم‌ترین کمّیت‌های اصلی مورد بحث در این کتاب در دستگاه بین‌المللی یکاها آشنا خواهید شد.

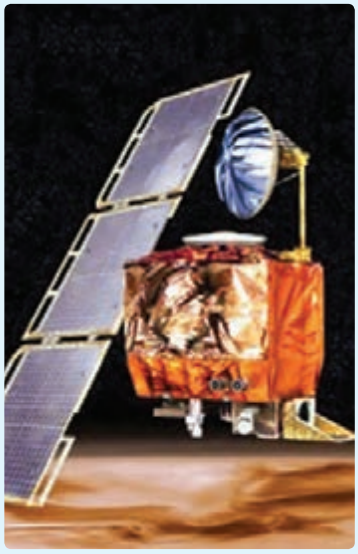
جدول ۱ـ۱ یکاهای کمّیت‌های اصلی در دستگاه بین‌المللی یکاها (SI)

نام کمّیت و نماد	یکای آن در SI	نماد یکا
طول (L)	متر	m
جرم (m)	کیلوگرم	kg
زمان (t)	ثانیه	s
دما (T)	کلوین	K
شدت جریان الکتریکی (I)	آمپر	A

۱ـ System International

۲ـ در کتاب ریاضی پایه دهم با دستگاه انگلیسی/ آمریکایی بیشتر آشنا خواهید شد.

بیشتر بدانید



در سال ۱۹۹۸ میلادی کاوشگری با نام Mars Climate Orbiter، با مأموریت تحقیق بر روی آب و هوا و تعیین مقدار دی اکسید موجود در جو مریخ و همچنین بررسی وجود آب در این سیاره به فضا فرستاده شد اما این کاوشگر هنگامی که می‌خواست در مدار خود قرار بگیرد، در اتمسفر مریخ بسیار پایین آمد و سقوط کرد.

علت این حادثه نقص فنی کاوشگر نبود. بلکه تفاوت در دستگاه‌های اندازه‌گیری سازندگان این وسیله، باعث این سقوط گردید. در واقع یکی از پیمانکاران که در ساخت این کاوشگر همکاری کرده بود از دستگاه اندازه‌گیری **انگلیسی/آمریکایی** استفاده می‌کرده است ولی کاوشگر بر مبنای دستگاه اندازه‌گیری **متریک** ساخته و برنامه‌ریزی شده بود و این تفاوت در دستگاه‌های اندازه‌گیری باعث گردید کاوشگر در تشخیص فشار هوا اشتباه کند.

تجربه کنید

با مراجعه به لوح فشرده و مشاهده فیلم مربوط به دقیق‌ترین ساعت اختراع‌شده در جهان (NIST-F2) گزارشی را در رابطه با ویژگی‌های منحصربه‌فرد این ساعت و کاربردهای آن تهیه کرده و در کلاس ارائه دهید.

۱ـ۲ـ۲ کمّیت‌ها و یکاهای فرعی: همان‌طور که در ابتدای بحث اشاره شد، تعیین یکا برای تمامی کمّیت‌ها در علم، کار سخت و امکان‌ناپذیری است اما با در نظرگرفتن این واقعیت که برخی از کمّیت‌های فیزیکی را می‌توان توسط کمّیت‌های دیگر به دست آورد، باعث گردید تا یکاهای فرعی معرفی شوند.

درنتیجه یکاهای فرعی، یکاهای مربوط به کمیت‌های فرعی هستند. این کمّیت‌ها را می‌توان بر اساس اندازه‌گیری کمّیت‌های دیگر و به‌خصوص کمّیت‌های اصلی به‌دست آورد.

برای مثال کمّیت سرعت از تقسیم دو کمّیت اصلی جابه‌جایی (طول) به زمان به‌دست می‌آید، یا کمّیت شتاب از تقسیم یک کمّیت فرعی سرعت به یک کمّیت اصلی زمان حاصل می‌شود. برای آشنایی بیشتر با کمّیت‌های فرعی به مثالی که در ادامه آورده شده است، توجه کنید.

مثال

در دستگاه بین‌المللی یکاها یکای نیرو را به‌دست آورید.

پاسخ: نیرو یک کمّیت فرعی است زیرا به کمّیت‌های دیگری وابسته است. در علوم تجربی سال نهم آموختید:

$$F = ma = m\frac{\Delta v}{\Delta t}$$

حال اگر بخواهیم یکای نیرو را به عنوان یک کمّیت فرعی در دستگاه بین‌المللی یکاها به‌دست آوریم می‌بایست با توجه به محل قرارگیری هر یک از کمّیت‌ها در رابطه بالا، یکای آنها را در محل خود قرار دهیم، یعنی:

$$\text{یکای نیرو } (F) = \text{kg} \times \frac{\frac{\text{m}}{\text{s}}}{\text{s}} = \text{kg}\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

نکته

توجه داشته باشید که در این کتاب تغییرات یک کمّیت را با علامت Δ نشان می‌دهیم. در نتیجه در رابطه صفحهٔ قبل Δv به معنی تغییرات سرعت و Δt به معنی تغییرات زمانی است.

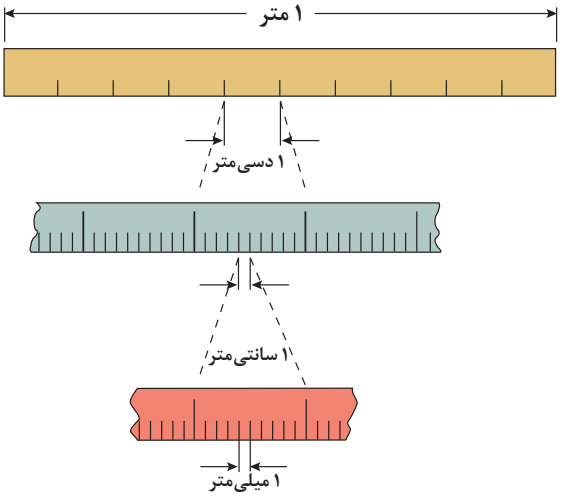
البته باید در نظر داشت که برای برخی از کمّیت‌های فرعی نیز در علم فیزیک به‌منظور قدردانی از کسانی که برای کشف یا تشریح آن کمّیت تلاش نموده‌اند، یکاهای معادل با یکای آنها، با در نظر گرفتن اسم آن شخص تعریف می‌کنند. به‌عنوان مثال در فیزیک، $kg\frac{m}{s^2}$ را با حرف N نشان می‌دهند و آن را نیوتن می‌خوانند.

۱ـ۲ـ۳ تبدیل یکاها و پیشوندها: در بخش پیش اشاره گردید که یکی از فواید استفاده از دستگاه بین‌المللی یکاها این است که می‌توان در آن، اندازه‌گیری‌ها را بر اساس توانی از ۱۰ نمایش داد. به همین منظور برای توضیح اینکه چه توانی از ۱۰ را باید برای آن اندازه‌گیری در نظر گرفت، می‌توان از پیشوندها استفاده نمود.

پیشوندهای عددی عباراتی هستند که با خود اعداد بسیار بزرگ و یا بسیار کوچک را به‌همراه می‌آورند، به‌عنوان نمونه کیلو یعنی هزار و میلی یعنی یک هزارم. این پیشوندها می‌توانند همراه کمّیت‌های فیزیکی مانند گرم یا متر و ... بیایند (شکل ۱ـ۸). پیشوندها به‌خصوص در زمانی‌که اندازه‌گیری‌ها خیلی کوچک و یا خیلی بزرگ باشند قابل استفاده‌اند، در جدول ۱ـ۲ برخی از پرکاربردترین پیشوندها و معنی آنها آورده شده است.

جدول ۱ـ۲ پیشوندهای مورد استفاده در دستگاه SI

پیشوندهای کوچک‌کننده			پیشوندهای بزرگ‌کننده		
نماد	پیشوند	مضرب	نماد	پیشوند	مضرب
a	آتو	10^{-18}	E	اگزا	10^{+18}
f	فمتو	10^{-15}	P	پنتا	10^{+15}
p	پیکو	10^{-12}	T	ترا	10^{+12}
n	نانو	10^{-9}	G	گیگا	10^{+9}
μ	میکرو	10^{-6}	M	مگا	10^{+6}
m	میلی	10^{-3}	k	کیلو	10^{+3}
c	سانتی	10^{-2}	H	هکتو	10^{+2}
d	دسی	10^{-1}	da	دکا	10^{+1}



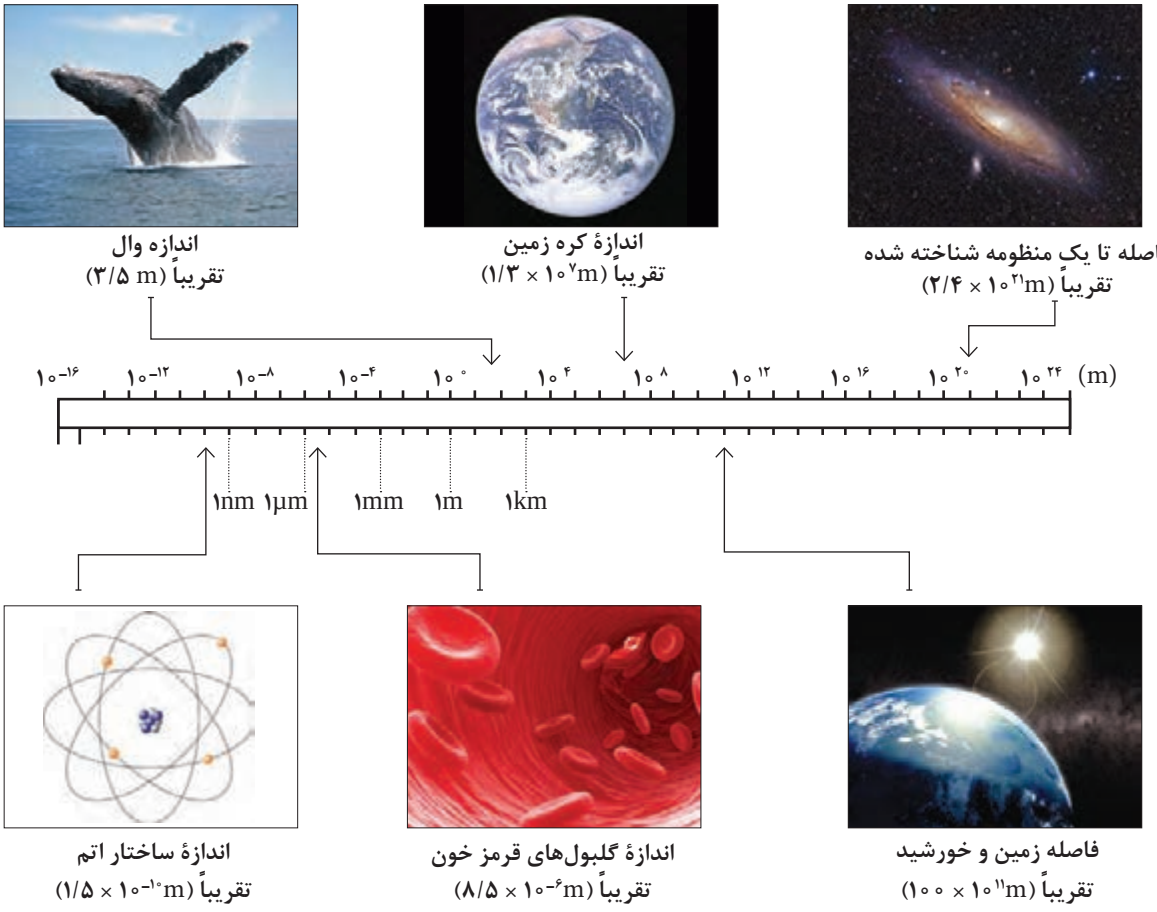
شکل ۱ـ۸ پیشوندهای کوچک‌کننده یکای متر

بیشتر بدانید

علـم و فنـاوری نانـو (نانـو تکنولـوژی) توانایـی به‌دسـت گرفتـن کنتـرل مـاده را در ابعـاد نانومتری (مولکولـی) و بهره‌بـرداری از خـواص و پدیده‌هـای ایـن بعـد در مـواد، ابزارهـا و سیسـتم‌های نویـن را دارد.

ایـن حـوزهٔ نوظهور از علـم، باعث پیشـرفت‌های بسـیاری در حـوزهٔ پزشـکی، داروسـازی، صنعت و ... گردیـده اسـت کـه کشـور ایـران نیـز سـهم بسـیار مهمی در پیشـرفت آن داشـته اسـت.

در شکل ۱ـ۹ مجموعه‌ای از طول‌های متفاوت، از خیلی کوچک تا خیلی بزرگ که در اطراف ما وجود دارد، نمایش داده شده است. با در نظر گرفتن این گسترهٔ طول‌ها، به اهمّیت استفاده از دستگاه بین المللی یکاها و پیشوندهای آن پی می‌بریم.



شکل ۱ـ۹ گستره طولی جهان پیرامون ما

حال که با مفهوم و معنای پیشوندها در دستگاه بین‌المللی یکاها آشنا شدیم، یادآور می‌شویم که در فیزیک و در برخی مسائل، ما ناچار به تغییر پیشوند یکای اندازه‌گیری‌های انجام شده هستیم، برای این منظور باید از ضرایب تبدیل استفاده نماییم. ضرایب تبدیل، کسرهایی هستند که توسط آنها پیشوندهای قبلی حذف و پیشوندهای موردنظر جایگزین می‌شوند. برای آشنایی با شیوهٔ ساخت و کاربرد این ضرایب به مثال زیر دقت کنید.

نکته

مقدار کسرهای ضریب تبدیل برابر یک است و تنها برای تبدیل یکا استفاده می‌شوند.

مثال

تبدیل یکاهای زیر را انجام دهید.

الف) $۱۰^{-۶}\text{g} = ?\text{mg}$

پاسخ: برای یافتن ضریب تبدیل مورد نیاز، با رجوع به جدول ۱ـ۲ درمی‌یابیم که ۱ میلی‌گرم (۱mg) معادل ($۱۰^{-۳}$g) است. در نتیجه خواهیم داشت:

$$۱\text{mg} = ۱۰^{-۳}\text{g} \Rightarrow \frac{۱\text{mg}}{۱۰^{-۳}\text{g}} = ۱ \quad \text{یا} \quad \frac{۱۰^{-۳}\text{g}}{۱\text{mg}} = ۱$$

حال با توجه به اینکه در تبدیل یکای خواسته شده، باید یکای گرم (g) حذف و به‌جای آن یکای میلی‌گرم (mg) قرار گیرد، کافی است ضریب تبدیل مناسب آن را در مقدار عددی سؤال ضرب کنیم:

$$۱۰^{-۶}\text{g} = ?\text{mg} \Rightarrow ۱۰^{-۶}\text{g} \times \frac{۱\text{mg}}{۱۰^{-۳}\text{g}} = ۱۰^{-۳}\text{mg}$$

ب) $۲۵\text{mm} = ?\mu\text{m}$

پاسخ: در این مثال ابتدا می‌بایست، پیشوند یکای میلی (m) برداشته شود و به‌جای آن پیشوند میکرو (μ) قرار گیرد. در نتیجه با دو ضریب تبدیل مختلف روبه‌رو هستیم:

$$۲۵\text{mm} = ?\mu\text{m} \Rightarrow ۲۵\text{mm} \times \frac{۱۰^{-۳}\text{m}}{۱\text{mm}} \times \frac{۱\mu\text{m}}{۱۰^{-۶}\text{m}} = ۲۵ \times ۱۰^{+۳}\mu\text{m}$$

ضریب تبدیل میلی — ضریب تبدیل میکرو

نکته

۱ـ تنها یکاهای مربوط به یک کمّیت را می‌توان به یکدیگر تبدیل نمود. یعنی هیچ‌گاه نمی‌توان یکای زمان را به‌جرم تبدیل نمود.

۲ـ در تبدیل پیشوند یکاهای توان‌دار، مانند (مساحت ($m^۲$) یا حجم ($m^۳$) و ...) ضرایب تبدیل نیز باید به همان توان برسند و در عدد اصلی ضرب شوند.

۳ـ در تبدیل پیشوند یکاهای کسری باید برای تبدیل هریک از پیشوندهای صورت و یا مخرج از ضریب تبدیل جداگانه‌ای استفاده نماییم.

مثال

تبدیل یکاهای خواسته شده را انجام دهید.

الف) $۳۰\,cm^{۳} = ?\,nm^{۳}$

پاسخ:

$$۳۰\,cm^{۳} \times \left(\frac{۱۰^{-۲}\,m}{۱\,cm}\right)^{۳} \times \left(\frac{۱\,nm}{۱۰^{-۹}\,m}\right)^{۳} = ۳۰ \times ۱۰^{+۲۱}\,nm^{۳}$$

ب) $۷۲\,\frac{km}{h} = ?\,\frac{m}{s}$

پاسخ:

$$۷۲\,\frac{km}{h} \times \frac{۱۰^{+۳}\,m}{۱\,km} \times \frac{۱\,h}{۳۶۰۰\,s} = ۲۰\,\frac{m}{s}$$

نکته

برای تبدیل یکای اندازه‌گیری می‌توان از قاعده زیر نیز استفاده نمود، البته باید در نظر داشت که اصلی‌ترین راه تبدیل یکاها در فیزیک، استفاده از ضرایب تبدیل است. این قاعده را با حل یک مثال توضیح می‌دهیم:

$$۲۵\,mm = ?\,\mu m \Rightarrow ۲۵\,mm = x\,\mu m \Rightarrow x = \frac{۲۵ \times ۱۰^{-۳}\,m}{۱۰^{-۶}\,m} = ۲۵ \times ۱۰^{+۳}$$

$$\Rightarrow ۲۵mm = ۲۵ \times ۱۰^{+۳}\mu m$$

تمرین کنید

همان‌گونه که در بخش معرفی دستگاه‌های اندازه‌گیری گفته شد، یکی از دستگاه‌های اندازه‌گیری کمّیت‌ها در فیزیک دستگاه انگلیسی / آمریکایی است. در این دستگاه یکای طول فوت، یکای جرم پوند و یکای زمان ثانیه است[۱]. با در نظر گرفتن ضرایب تبدیل زیر، تبدیل یکاهای خواسته شده را انجام دهید.

$۱\,ft \cong ۰/۳۰۵\,m$ و $۱\,lb \cong ۰/۴۵۴\,kg = ۴۵۴\,g$

$$۱۲\,\frac{lb}{ft^{۳}} \cong ?\,\frac{kg}{m^{۳}} \qquad ۵۰\,g \cong ?\,ft \qquad lb \cong ?\,cm$$

تحقیق کنید

با بررسی و جست‌وجو در کتاب‌های تخصصیِ رشتهٔ خود و به کمک دبیر، یکاهای رایج در رشتهٔ خود را شناسایی کنید و رابطهٔ تبدیل آنها را بر حسب یکاهای SI به‌دست آورده و به کلاس ارائه دهید.

۱ـ۲ـ۴ نمادگذاری علمی: همان‌گونه که اشاره شد، در فیزیک کمّیت‌های بسیار زیادی برای اندازه‌گیری وجود دارد و با اندازه‌گیری هر یک از این کمّیت‌ها با اعداد کوچک و بزرگ متفاوتی روبه‌رو می‌شویم. برای مثال فاصلهٔ میان ماه تا زمین در حدود ۳۸۴،۴۰۰،۰۰۰ متر است و یا اندازهٔ یک باکتری، کوچک‌تر از ۰/۰۰۰۰۰۲متر است. همان‌طور که مشاهده می‌کنید به خاطر سپردن این اعداد کمی مشکل و حتی مقایسهٔ آنها با یکدیگر از لحاظ بزرگی و کوچکی بسیار سخت است. برای حل این مشکل می‌توان تمام اندازه‌گیری‌های گزارش شده در فیزیک را به‌صورت نمادگذاری علمی و بر اساس توانی بر پایه ۱۰ ارائه نمود. به این منظور کافی است از قاعده زیر پیروی کنیم :

$$[x = m \times ۱۰^{n} \quad (۱ \leq m < ۱۰)]$$

۱ـ lb معادل یکای پوند و ft معادل یکای فوت می‌باشد.

که n یک عدد صحیح مثبت (به ازای تعداد اعشارهایی که به سمت چپ می‌رود) یا منفی (به تعداد اعشارهایی که به سمت راست می‌رود) است. با این شرایط می‌توان گفت که در گزارش یک عدد به‌صورت نماد علمی لازم است تنها یک عدد صحیح در سمت چپ اعشار قرار گیرد.

حال برای تبدیل فاصله میان ماه تا زمین می‌بایست به تعداد ۸ اعشار به سمت چپ برویم تا به یک عدد صحیح (۳) میان ۱ تا ۱۰ برسیم پس خواهیم داشت:

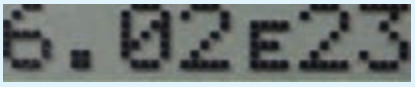
$$۳/۸۴۴\times۱۰^{۸}\mathrm{m}$$

یا در نوشتن اندازهٔ یک باکتری کوچک بر اساس نمادگذاری علمی باید به تعداد ۶ اعشار به سمت راست برویم تا به یک عدد صحیح (۲) میان ۱ تا ۱۰ برسیم، پس خواهیم داشت:

$$۲\times۱۰^{-۶}\mathrm{m}$$

بیشتر بدانید

نمایش اعداد توان‌دار، به‌خصوص در صفحات دیجیتالی کوچک همانند ماشین‌حساب‌های مهندسی، همیشه امکان‌پذیر نیست. به همین دلیل در این‌گونه ابزارها، نمادگذاری علمی را در قالب mEn نمایش می‌دهند که به معنای $\mathrm{m}\times۱۰^{n}$ می‌باشد، برای مثال می‌دانیم که یک مول از هر ذره (اتم، مولکول یا یون) به تعداد عدد آووگادرو از آن ذره است، این عدد ($۶/۰۲۲۰۵\times۱۰^{۲۳}$)به‌صورت نمادگذاری علمی در یک ماشین حساب مهندسی به این شکل نمایش داده می‌شود:



۱ـ۳ اندازه‌گیری کمّیت‌ها

شکل ۱ـ۱۰ این حادثه، نتیجه یک خطای بسیار کوچک در تخمین مسافت توقف در پایان یک سفر طولانی است.

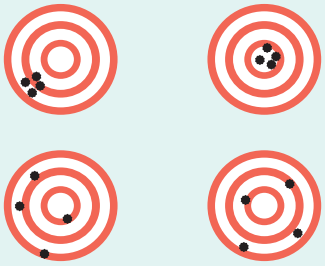
دانشمندان حوزه‌های مختلف علم (فیزیک، شیمی، زیست‌شناسی و...) برای اثبات فرضیه‌های خود دست به انجام آزمایش می‌زنند و لازمهٔ انجام بسیاری از آزمایش‌ها در علم، اندازه‌گیری می‌باشد. هرچه اندازه‌گیری‌های صورت گرفته دقیق‌تر باشند، نتایج حاصل از آن آزمایش‌ها نیز قابل اعتمادتر خواهند بود. در واقع هیچ‌گاه نمی‌توان ادعا نمود که مقدار دقیق یک کمّیت را اندازه‌گیری کرده‌ایم زیرا همواره عواملی همچون خطای ناشی از محدودیت وسایل اندازه‌گیری، خطای فرد آزمایشگر، خطای وسایل اندازه‌گیری به‌دلیل کالیبره نبودن و... بر نتایج به‌دست آمده از اندازه‌گیری‌ها تأثیرگذار هستند (شکل ۱ـ۱۰).

در این راستا و در علم اندازه‌گیری ما با دو عبارت دقت[۱] و صحّت[۲] برخورد خواهیم کرد. به بیان ساده، دقت به‌معنای نزدیک بودن مقادیر اندازه‌گیری به همدیگر است، خواه این مقادیر واقعیت را نشان بدهد یا خیر و صحّت به معنای نزدیکی مقادیر اندازه‌گیری شده به مقدار واقعی است. البته همان‌طور که در بالا اشاره گردید، در علم فیزیک مقدار واقعی یک کمّیت، قابل اندازه‌گیری نیست ولی می‌توان مقدار استاندارد یا مرجعی را که برآمده از نتایج آزمایشگاه‌ها و مؤسسات استاندارد مرجع است، به‌منزلهٔ مقدار واقعی آن کمّیت در نظر گرفت. برای درک بهتر تفاوت میان دقت و صحّت به مثالی که در ادامه آمده است، توجه کنید.

۱ـ Precision

۲ـ Accuracy

فکر کنید

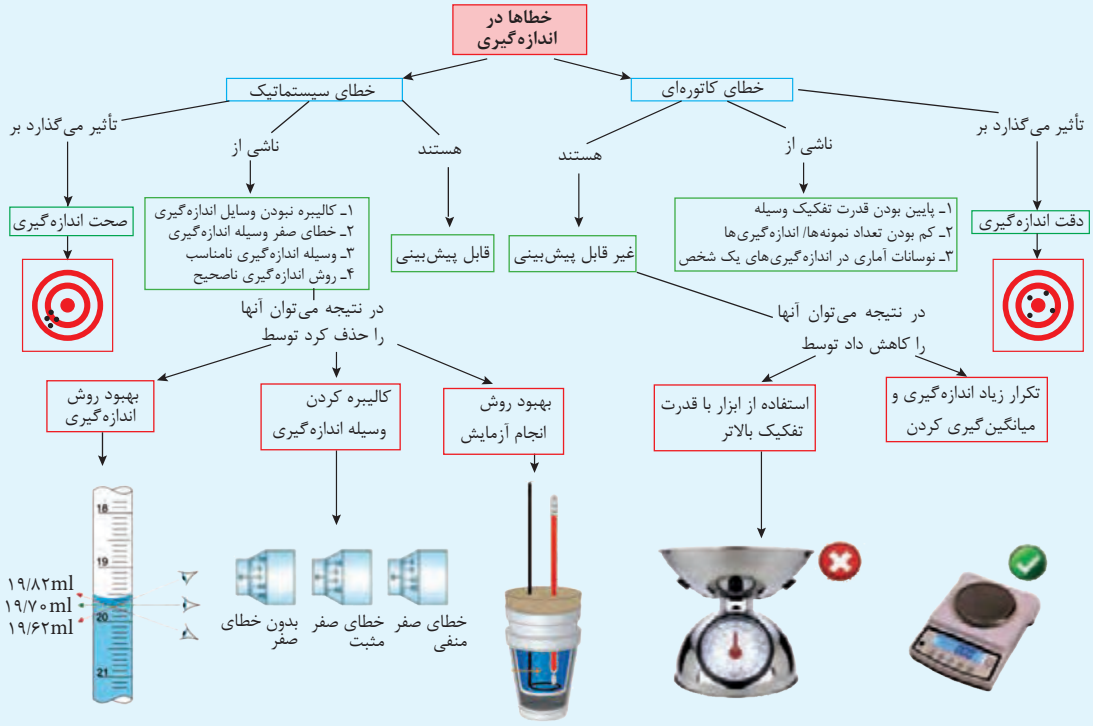


چهار نفر توسط تفنگ‌های بادی به سیبل‌هایی مطابق شکل‌های زیر شلیک کرده‌اند، اگر مبنای شلیک، برخورد گلوله به وسط سیبل باشد، چه توضیحی در رابطه با میزان دقت و صحّت هر یک از این افراد وجود دارد؟

روشن است که «دقت» و «صحّت» را برای هر اندازه‌گیری، باید به‌طور همزمان در نظر بگیریم. اگر دریابیم که نتیجه یک اندازه‌گیری صحّت بسیار پایینی دارد، تلاش برای به دست آوردن دقت بالا چیزی جز اتلاف وقت و انرژی نیست و برعکس، نتیجه اندازه‌گیری نمی‌تواند صحّت بالایی داشته باشد هنگامی که دقت آن اندازه‌گیری پایین باشد.

بیشتر بدانید

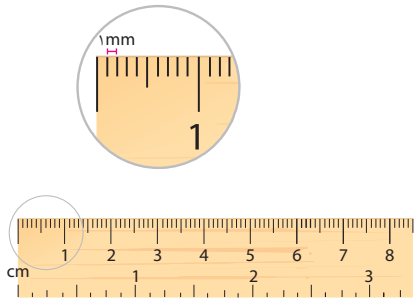
انواع خطا در اندازه‌گیری: هنگامی که یک آزمایشگر در محل آزمایشگاه به بررسی فرضیه خود از طریق انجام آزمایش و اندازه‌گیری کمیت‌ها می‌پردازد، عواملی وجود دارد که مانع از رسیدن او به مقدار واقعی آن کمیت می‌شود که این عوامل را در اصطلاح **عوامل خطازا** می‌نامند. در یک طبقه‌بندی کلی می‌توان عوامل خطازا را به دو دسته کلی خطا یعنی **خطاهای کاتوره‌ای**[1] و **خطاهای سیستماتیک**[2] نسبت داد. با رجوع به نقشهٔ مفهومی زیر می‌توانید با تعریف هر یک از این خطاها، انواع مختلف آنها و نحوه تأثیر آنها بر دقت و صحت یک اندازه‌گیری آشنا شوید.



جلوگیری از خروج گرما در گرماسنج

۱ـ Random Error

۲ـ Systematic Error



یکی از روش‌های کاهش خطادر اندازه‌گیری، استفاده از وسایل اندازه‌گیری با قدرت تفکیک بالا است. منظور از قدرت تفکیک یا رزولوشن[1] یک وسیله اندازه‌گیری، کوچک‌ترین تقسیم‌بندی آن وسیله است. به‌عنوان مثال کوچک‌ترین درجه‌بندی یک خط‌کش معمولی، ۱ میلی‌متر است در نتیجه قدرت تفکیک آن ۱mm خواهد بود.

نکته

کوچک‌ترین تقسیم‌بندی یک وسیله اندازه‌گیری را قدرت تفکیک یا رزولوشن[1] آن وسیله می‌نامیم.

کاربرد در صنعت و فناوری

در صنعت و به‌خصوص در حوزه قطعه‌سازی همواره به‌دنبال استفاده از دقیق‌ترین ابزارها برای اندازه‌گیری و تراش قطعات هستیم. یکی از دستگاه‌های تراش که از دقت بالایی نیز برخوردار هستند، دستگاه تراش CNC است. این دستگاه‌ها با استفاده از رایانه و امکانات حافظه‌ای خود اطلاعات وارد شده را پردازش می‌کنند و این اطلاعات توسط ریزپردازنده‌ها (میکروپروسسورها) به علائم کنترل برای ماشین‌های افزار (دستگاه‌های ویژه کارهای مختلف صنعتی) تبدیل می‌شود. همچنین از این تکنولوژی در ساخت دستگاه‌های برش پارچه، کارتن، چوب و ... نیز استفاده می‌کنند که با بالا بردن دقت، محصول نهایی از کیفیت ظاهری به تناسب بالاتری برخوردار خواهد بود.

۱ـ۳ـ۱ وسایل اندازه‌گیری: در فیزیک و در هر علمی برای اندازه‌گیری کمّیت‌های مخصوص آن علم از وسایل اندازه‌گیری متناسب با آن کمّیت‌ها استفاده می‌کنیم. در کتاب‌های علوم تجربی دوره اول متوسطه با برخی از مهم‌ترین وسایل اندازه‌گیری کمّیت‌هایی نظیر طول (خط‌کش، متر، ...)، جرم (ترازو) و... آشنا شده‌اید.

در برخی محیط‌های صنعتی که دقت اندازه‌گیری از اهمیت بالایی برخوردار است، برای اندازه‌گیری‌ها سعی می‌شود از ابزاری با قدرت تفکیک بالاتر استفاده کنند. برای مثال در تراشکاری‌ها، برای اندازه‌گیری طول قطعهٔ مورد نظر معمولاً از وسایلی مانند کولیس و ریزسنج استفاده می‌شود. زیرا این وسایل از قدرت تفکیک بالاتری برخوردارند و می‌توانند مقادیر کوچک‌تری از طول را اندازه‌گیری کنند. به این منظور در این بخش به بررسی ساختمان این وسایل و نحوهٔ استفاده از آنها می‌پردازیم.

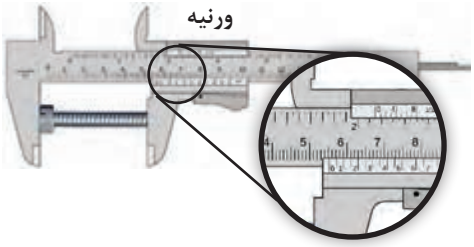
تجربه کنید

با مراجعه به یک طلافروشی و یا یک مغازهٔ فروشِ ادویه‌های غذایی در مورد وسایل و یکاهای اندازه‌گیری به‌کاررفته در این اصناف برای سنجش جرم و قدرت تفکیک این وسایل، گزارشی تهیه و به کلاس ارائه دهید.

۱ـ Resolution

همان‌طور که در شکل ۱ـ۱۱ مشاهده می‌کنید، کولیس از یک خط‌کش معمولی ساخته شده که قدرت تفکیک این خط‌کش ۱ میلی‌متر (mm) است و بر روی این خط‌کش قطعه‌ای به نام ورنیه قرار گرفته است.

وظیفه ورنیه افزایش قدرت تفکیک خط‌کش است و با توجه به تعداد تقسیم‌بندی‌های روی ورنیه، قدرت تفکیک کولیس‌های مرسوم ۰/۱ میلی‌متر، ۰/۰۵ میلی‌متر و ۰/۰۲ میلی‌متر است.



شکل ۱ـ۱۱ ساختمان کولیس

تجربه کنید

به نظر شما چگونه می‌توان ضخامت یک ورقهٔ کاغذ A۴ را با استفاده از یک خط‌کش میلی‌متری اندازه‌گیری کنیم؟ این کار را انجام داده و نتیجه آن را به کلاس خود گزارش دهید.

آزمایش کنید

یکی دیگر از وسایل اندازه‌گیری دقیق طول در محیط‌ها و آزمایشگاه‌های صنعتی «ریزسنج» یا «میکرومتر» است. به کمک دبیر خود و با دیدن **فیلم آموزشیِ** شیوهٔ کاربرد کولیس و ریزسنج، آزمایش زیر را برای آشنایی بیشتر با این دو وسیله انجام دهید.

عنوان آزمایش: اندازه‌گیری ضخامت یک ورقهٔ کاغذ A۴

وسایل اندازه‌گیری: کولیس، ریزسنج، ورقهٔ کاغذ A۴

روش آزمایش: ابتدا به کمک یک کولیس و به کمک فک‌های اندازه‌گیری بیرونی، ضخامت یک ورقه کاغذ A۴ را ۳ بار اندازه‌گیری کنید و سپس میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده را به‌عنوان مقدار صحیح ضخامت کاغذ یادداشت کنید. سپس همین کار را با استفاده از ریزسنج انجام دهید. پس از اتمام اندازه‌گیری‌ها به سؤالات زیر پاسخ دهید.

۱ـ با توجه به عددهای به‌دست آمده در هر مرحله، قدرت تفکیک کولیس و ریزسنج در آزمایشگاه مدرسه شما چه اندازه است؟

۲ـ به نظر شما و با توجه به اعداد به‌دست آمده در هر مرحله، دقت اندازه‌گیری با کدام وسیله، بیشتر است؟

بیشتر بدانید

وسایل اندازه‌گیری ثابت، آن دسته از وسایل اندازه‌گیری هستند که توسط آنها، تنها می‌توان فقط یک بُعد و یا یک مقدار خاص را اندازه‌گیری نمود، مانند شابلون‌ها، شعاع سنج، فیلر، شابلون میله و ...

شابلون زاویه
(اندازه‌گیری زاویه قطعات)

شابلون فیلر
(اندازه‌گیری شکاف‌ها و شیارها)

شابلون میله
(اندازه‌گیری قطر میله‌ها)

۱ـ۴ کمّیت‌های برداری و نرده‌ای

در ریاضیات، هنگامی که می‌گویید من ۵ کتاب، ۶ سیب و ۱ دوچرخه دارم، اعداد ۵، ۶ و ۱ بیانگر تعداد اشیایی است که شما داشته‌اید. در فیزیک نیز با کمّیت‌های بسیاری روبه‌رو هستیم که با بیان اندازه و یکای مناسب، به‌طور کامل مشخص می‌شوند. برای مثال، هنگامی که گفته می‌شود مساحت این کلاس ۱۲مترمربع و یا دمای هوای اتاق ۲۵ درجه سانتی‌گراد است، شما با بیان یک عدد به‌عنوان اندازه و یک یکای متناسب با آن کمّیت، منظور خود را به‌طور کامل رسانده‌اید. این دسته از کمّیت‌ها در فیزیک را کمّیت‌های اسکالر، نرده‌ای و یا عددی می‌نامیم.

نکته

کمّیت نرده‌ای

کمّیتی است که برای مشخص شدن، تنها به تعیین اندازه و یکای مناسب نیاز دارد و از روش‌های جمع و تفریق جبری (ریاضی) پیروی می‌کند.

اما برای تعیین همهٔ کمّیت‌های فیزیکی بیان اندازه و یکای مناسب کافی نیست. قبل از ورود به بحث و آشنایی با نوع دیگر کمّیت‌ها به مثال زیر دقت کنید.

تصور کنید شما در کلاس ایستاده‌اید و چشمان خود را بسته‌اید. آنگاه از دوست خود می‌خواهید مکان قرارگیری میز کار را برای شما مشخص کند. اگر او به شما بگوید: کافی است ۴ متر جابه‌جا شوید، به نظر شما یافتن مکان میز، کار ساده‌ای خواهد بود؟ به احتمال زیاد پاسخ شما به این سؤال خیر است. به بیان دیگر برای آنکه مکان میز کار خود را بیابید؛ دوست شما باید علاوه بر تعیین مقدار و یکای مناسب برای کمّیت جابه‌جایی، جهت حرکت شما را نیز تعیین می‌کرد. برای مثال می‌گفت: ۴ متر به طرف جلو یا ۴ متر به‌طرف راست و ... جابه‌جا شوید.

همان‌طور که از مثال بالا می‌توان نتیجه گرفت برای تعیین برخی از کمّیت‌های فیزیکی علاوه بر تعیین اندازه و یکای مناسب، تعیین جهت نیز الزامی است، این دسته از کمّیت‌ها را کمّیت‌های برداری می‌نامیم (شکل ۱ـ۱۲).

شکل ۱ـ۱۲ سرمای هوا در یک روز زمستانی، هم به دمای هوا ($-2^{\circ}C$) به‌عنوان یک کمّیت نرده‌ای و همچنین سرعت باد ($20\ \frac{km}{h}$ به‌طرف شرق) به‌عنوان یک کمّیت برداری بستگی دارد.

شما در درس علوم تجربی پایهٔ نهم با مفهوم تندی و سرعت آشنا شده‌اید. با این توضیحات درخواهید یافت که «تندی» کمّیتی نرده‌ای است، زیرا تنها با بیان یک اندازه و یکای مناسب تعریف می‌شود ولی «سرعت» کمّیتی برداری است، زیرا برای تعیین آن علاوه بر مشخص کردن تندی حرکت، باید جهت حرکت را نیز مشخص کنیم.

برای مثال هنگامی که گفته می‌شود یک اتومبیل با سرعت ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت در یک بزرگراه از طرف شمال به جنوب در حال حرکت است، شما با بیان ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت، اندازه و یکای سرعت را مشخص کرده‌اید و با بیان از شمال به جنوب جهت حرکت آن را نیز تعیین نموده‌اید.

فکر کنید

همهٔ شما در بزرگراه‌ها با تابلوهایی به شکل روبه‌رو که محدودهٔ سرعت را در آن بزرگراه تعیین نموده‌اند، آشنا شده‌اید. به‌نظر شما منظور از نصب این تابلوها اعلام تندی یا سرعت مجاز برای حرکت انواع خودروها است؟ پاسخ خود را توضیح دهید.

نکته

کمّیت برداری

کمّیتی است که علاوه بر تعیین اندازه و یکای مناسب، به تعیین جهت نیز نیاز دارد و از روش‌های جمع و ضرب برداری پیروی می‌کند.

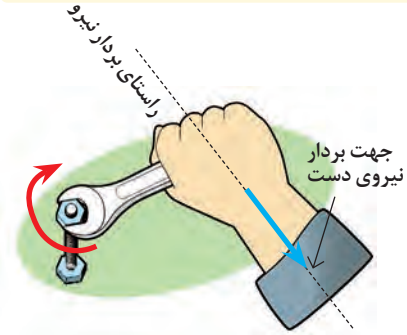
تجربه کنید

با تشکیل گروه‌هایی از هم‌کلاسی‌های خود، تمامی کمّیت‌هایی که در کتاب‌های علوم تجربی دوره اول متوسطه خوانده‌اید را شناسایی کرده و در جدول زیر وارد نمایید. سپس با توجه به ویژگی‌های هر یک از این کمّیت‌ها، تعیین کنید که هر کدام جزو کدام دسته از کمّیت‌های تعیین شده در این فصل‌اند.

نام کمّیت	کمّیت اصلی	کمّیت فرعی	کمّیت نرده‌ای	کمّیت برداری

۱ـ۴ـ۱ نمایش کمّیت‌های برداری: با توجه به اینکه کمّیت‌های برداری با کمّیت‌های نرده‌ای تفاوت دارند، نمایش آنها نیز از روش‌های ویژه پیروی می‌کند. برای نمایش ریاضی کمّیت‌های برداری، لازم است نماد آن کمّیت را نوشته و در بالای آن علامت بردار بگذاریم.

برای مثال نیرو یکی از کمّیت‌های برداری در فیزیک است (چرا؟) که آن‌را به‌صورت $\vec{F}$ نشان می‌دهند. همچنین برای نشان دادن مقدار (یا اندازه) یک کمّیت برداری، از علامت قدر مطلق استفاده می‌شود. یعنی اندازه یک بردار نیرو را به این‌صورت $|\vec{F}|$ یا بدون علامت بردار F نشان می‌دهند.



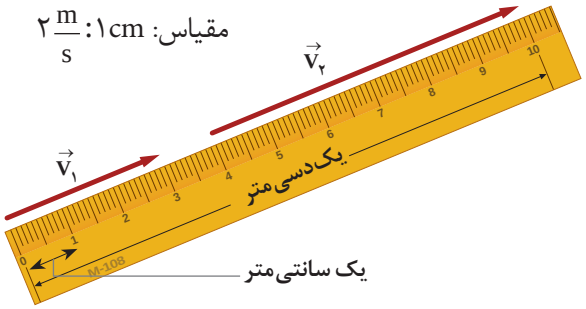
شکل ۱ـ۱۳ راستا و جهت یک بردار

همان‌گونه که اشاره گردید، کمّیت‌های برداری، کمّیت‌هایی جهت‌دار هستند. در نتیجه آنها را با پاره‌خط‌های جهت‌دار (پیکان) نمایش می‌دهیم. می‌دانیم که هر پیکان دارای اندازه (طول پیکان) و جهت (جهت نمایش داده شده توسط نوک پیکان) و راستای مشخصی است (شکل ۱ـ۱۳).

در نتیجه طول هر پیکان باید بیانگر مقیاسی از اندازه آن کمّیت برداری و جهت و راستای آن بیانگر جهت و راستای آن کمّیت برداری باشد. برای فهم بهتر این موضوع به مثالی که در ادامه آمده است، توجه کنید.

مثال

می‌دانیم، سرعت کمّیتی برداری است. در نتیجه برای نمایش آن از پاره‌خط‌های جهت‌دار استفاده می‌شود. بر این اساس اگر بخواهیم دو بردار هم‌جهت سرعت با اندازه‌های $v_1 = ۶\frac{m}{s}$ و $v_2 = ۱۲\frac{m}{s}$ را نشان دهیم، خواهیم داشت:



در مسائل برای بیان جهت یک بردار قواعد بسیاری وجود دارد. یکی از ساده‌ترین قواعد تعیین جهت به‌صورت زیر است:

- نیروی ۴ نیوتن از چپ به راست به جسمی وارد می‌شود.
- بالنی به سرعت ۶۰ کیلومتر بر ساعت به طرف بالا در حرکت است.

همچنین از دیگر راه‌های نمایش جهت یک بردار، استفاده از جهت‌های اصلی شمال، جنوب، غرب و شرق است. ولی اگر برداری دقیقاً در راستای یکی از این جهات قرار نگیرد، چگونه باید جهت آن بردار را مشخص نمود؟ برای پاسخ به این سؤال به مثال زیر توجه کنید.

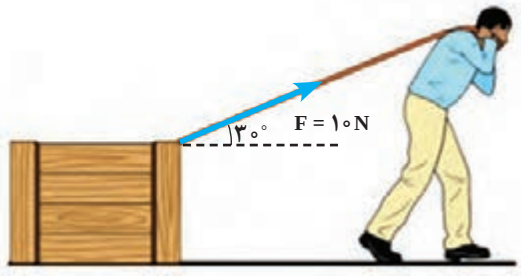
مثال

جهت بردارهای خواسته شده را مشخص کنید.

الف) بردار نیرو

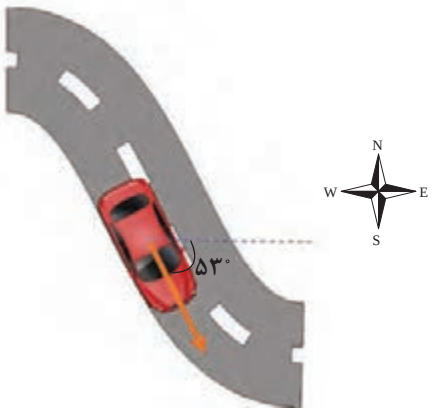
پاسخ:

با توجه به شکل، شخص بردار نیرویی به اندازه ۱۰ نیوتن و تحت زاویه ۳۰ درجه بالای افق به جعبه وارد می‌کند.



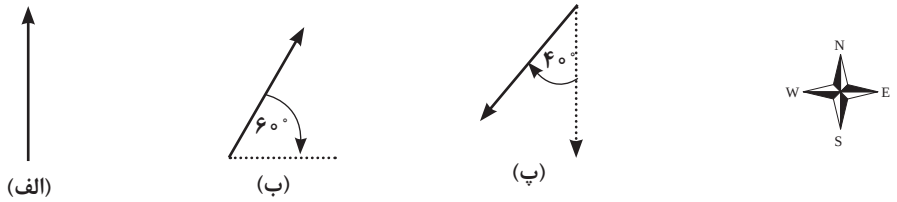
ب) بردار سرعت

در شکل زیر، خودرویی با سرعت $۶۰\frac{km}{h}$ در جهت ۵۳° جنوب شرق در حال حرکت است.



تمرین کنید

جهت هر یک از پیکان‌های ترسیم‌شده را با استفاده از قواعد گفته شده مشخص کنید.



نکته

با توجه به قواعدی که در بالا به آن اشاره گردید، می‌توان نتیجه گرفت که برای رسم یک کمّیت برداری، باید مراحل زیر انجام شود:

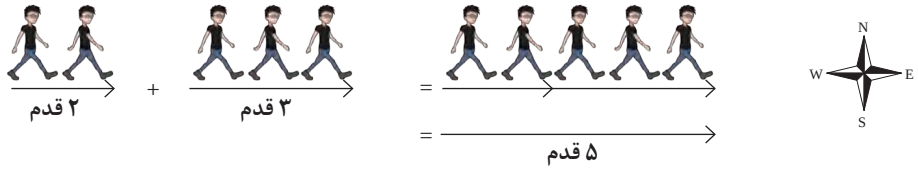
۱ـ مقیاسی را برای رسم آن کمّیت برداری در نظر بگیرید.

۲ـ طول بردار معرف آن کمّیت را با مقایسهٔ اندازه آن کمّیت با مقیاس در نظر گرفته شده، تعیین کنید.

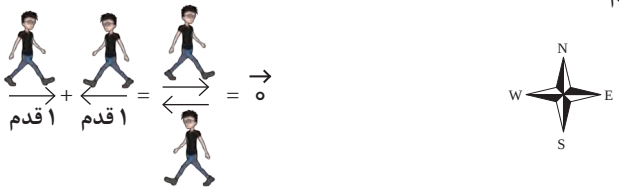
۳ـ بر اساس جهت داده شده و با توجه به قواعد رسم بردارها، بردار آن کمّیت را رسم کنید.

۱ـ۴ـ۲ قواعد جمع برداری: همان‌گونه که قبلاً گفته شد، بر خلاف کمّیت‌های نرده‌ای مانند دما، انرژی، مسافت و ... که برای جمع و تفریق از قواعد جبری پیروی می‌کنند، برای تعیین کمّیت‌های برداری، علاوه بر اندازه و یکای مناسب، تعیین جهت نیز الزامی است. این کمّیت‌ها باید برای جمع و تفریق با یکدیگر از دستورهایی پیروی کنند که در آن جهت کمّیت برداری نیز لحاظ شده باشد.

برای مثال می‌دانیم جابه‌جایی کمّیتی برداری است. فرض کنید شما بر روی یک مسیر مستقیم، دو قدم به طرف شرق برداشته‌اید و سپس سه قدم دیگر در همان جهت برمی‌دارید، در آن صورت اگر از شما بپرسند که از نقطه شروع تا پایان حرکت چند قدم برداشته‌اید خواهید گفت پنج قدم به طرف شرق. اگر بخواهیم جابه‌جایی‌های شما را با بردار نمایش دهیم، خواهیم داشت:



حال شرایط دیگری را در نظر بگیرید. اگر شما یک قدم به طرف شرق برداشته و سپس یک قدم به طرف غرب بردارید، جابه‌جایی شما صفر خواهد بود در حالی‌که شما به اندازه دو قدم مسافت پیموده‌اید، در نتیجه خواهیم داشت:



با این مثال، بردار برایند را این‌گونه تعریف می‌نماییم:

بردار برایند چند بردار، برداری است که اثر آن به تنهایی مشابه حالتی است که تمامی آن بردارها همراه با هم اثر کنند. اگر بردار برایند دو بردار $\vec{A}$ و $\vec{B}$ را با بردار $\vec{R}$ نمایش دهیم، خواهیم داشت:

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

تجربه کنید

یک مسابقهٔ طناب‌کشی میان دو گروه از هم‌کلاسی‌های خود ترتیب دهید و پس از پایان بازی و معلوم شدن گروه برنده، دربارهٔ بزرگی بردار برایند نیروهای گروه برنده و بازنده، با یکدیگر مشورت کرده و نتیجه را به کلاس ارائه دهید.

تمرین کنید

تصور کنید که بر روی یک مسیر مستقیم، ابتدا ۱۰ متر به طرف راست حرکت کرده‌اید و سپس از همان نقطه، ۲ متر به طرف چپ حرکت می‌کنید، در پایان شما چند متر جابه‌جا شده‌اید و در این حرکت چقدر مسافت پیموده‌اید؟

حال که با مفهوم جمعِ برداری آشنا شده‌اید، می‌توان قواعد جمع کمّیت‌های برداری را با جزئیات بیشتری و برای موقعیت‌های پیچیده‌تری (مثلاً حرکت در راستاهای متفاوت) شرح داد. برای این منظور به شرح دو روش جمع هندسی بردارها که عبارت‌اند از جمع برداری به روش چندضلعی و به روش متوازی‌الاضلاع می‌پردازیم.

الف) جمع کمّیت‌های برداری به روش چندضلعی: یکی از روش‌های استاندارد جمع کمّیت‌های برداری روش چندضلعی است. این روش مخصوص زمانی است که با بیش از دو کمّیت برداری روبه‌رو می‌شویم. البته از این روش برای جمع دو بردار نیز می‌توان استفاده کرد که در این صورت آن را «روش مثلثی» می‌نامیم. برای جمع چند بردار به روش چندضلعی مراحل زیر را طی خواهیم کرد:

۱ برداری هم‌سنگ[1] با بردار اول رسم می‌کنیم.

۲ از انتهای بردار اول برداری هم‌سنگ با بردار دوم را رسم می‌کنیم و این عمل را تا آخرین بردار ادامه می‌دهیم.

۳ در این‌صورت بردار برایند این بردارها از لحاظ هندسی، برداری است که از ابتدای بردار اول شروع می‌شود و به انتهای بردار آخر ختم می‌گردد.

۴ اگر در ترسیم بردارها، روش‌اشاره شده در مورد تعیین مقیاس را اجرا کنیم، در آن صورت با اندازه‌گیری طول بردارِ برایند می‌توان اندازهٔ آن کمّیت برداری را به‌دست آورد.

برای درک بهتر این روش به مثال زیر دقت کنید.

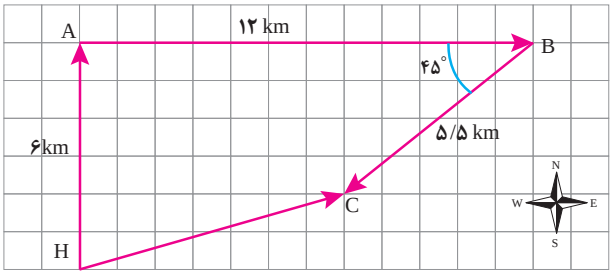
مثال

تصور کنید که می‌خواهید از منزل خود برای خرید به یک فروشگاه بروید. برای این منظور شما ابتدا به اندازهٔ ۶ کیلومتر به طرف شمال حرکت کرده‌اید و سپس به اندازه ۱۲ کیلومتر به‌طرف شرق و در نهایت به اندازه ۵/۵ کیلومتر در جهت ۴۵ درجه جنوب غرب حرکت کرده و به فروشگاه می‌رسید. در این‌صورت مسافت پیموده شده در کل حرکت و جابه‌جایی کل انجام شده توسط شما به صورت زیر محاسبه می‌شود:

● **مسافت طی شده:** همان‌طور که می‌دانید، مسافت، کمّیتی نرده‌ای است و از قواعد جمع جبری (ریاضی) پیروی می‌کند، در نتیجه برای محاسبهٔ مسافت طی شده تنها باید تمامی مسافت‌های طی شده را بدون در نظر گرفتن جهت با یکدیگر جمع کنیم:

$$d = ۶ + ۱۲ + ۵/۵ = ۲۳/۵\,\text{km}$$

۱ـ برداری هم‌اندازه، هم‌راستا و هم جهت با یک بردار را هم‌سنگ آن بردار می‌نامیم.



● **جابه‌جایی کل انجام شده:** همان‌طور که می‌دانید، جابه‌جایی کل، جمع برداری جابه‌جایی‌های انجام شده است. در این‌صورت با استفاده از دستور جمع برداری به روش چندضلعی، خواهیم داشت:

بردار HC بردار برایندِ سه بردار جابه‌جایی HA، AB و BC است. در نتیجه طول آن برابر با جابه‌جایی کل انجام شده توسط شما است. برای رسم این بردارها هر دوخانه کاغذ شطرنجی را معادل ۲ کیلومتر جابه‌جایی در نظر گرفته‌ایم (مقیاس انتخابی در این شکل تقریبی است) در نتیجه با اندازه‌گیری طول بردار برایند و مقایسه آن با مقیاس انتخابی خواهیم داشت:

$$\frac{۱\,\text{cm}\ (\text{طول دوخانه})}{۳/۶\,\text{cm}} = \frac{۲\,\text{km}}{x} \rightarrow x = \frac{۲\,\text{km} \times ۳/۶\,\cancel{\text{cm}}}{۱\,\cancel{\text{cm}}} = ۷/۲\,\text{km}$$

تمرین کنید

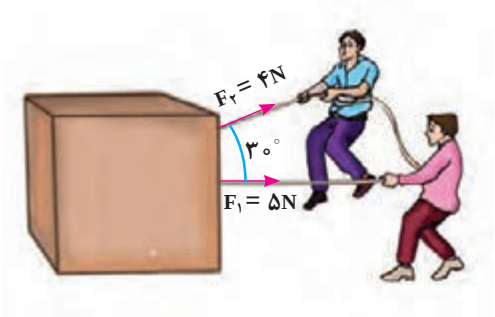
تصور کنید برای جابه‌جایی میان دو نقطه، ابتدا به اندازه ۳ کیلومتر به طرف شرق و در ادامه، به اندازه ۴ کیلومتر به‌طرف شمال حرکت کرده‌اید. با استفاده از کاغذ شطرنجی و تعیین یک مقیاس مناسب، اندازه جابه‌جایی کل صورت گرفته و جهت آن را با استفاده از روش چندضلعی و به کمک خط‌کش و نقاله، به‌دست آورید.

فکر کنید

به نظر شما با یادآوری روش فیثاغورس در ریاضیات چگونه می‌توانیم اندازه بردار جابه‌جایی برایند در تمرین بالا را بدون استفاده از خط‌کش و مقیاس به‌دست آوریم؟

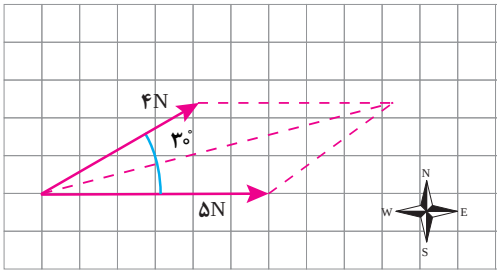
ب) روش جمع هندسی دو بردار به شیوهٔ متوازی‌الاضلاع: از این روش معمولاً برای جمع دو بردار استفاده می‌شود و در صورتی که با بیش از دو بردار مواجه گردیم، بهتر است از روش قبل استفاده کنیم. برای آشنایی بهتر با این روش به مثالی که در ادامه آمده است، توجه کنید.

مثال



تصور کنید شما و دوستتان برای جابه‌جا کردن یک جعبه توسط دو ریسمان، مطابق شکل نیروهای ۴ و ۵ نیوتن را به جعبه وارد نموده‌اید، در آن صورت همان‌طور که خواهید دید جعبه نه در جهت نیروی ۴ نیوتن حرکت می‌کند و نه در جهت نیروی ۵ نیوتن. بلکه این جعبه در راستای نیروی برایند این دو نیرو جابه‌جا خواهد شد! برای محاسبهٔ اندازه و جهت این نیروی برایند به روش

متوازی‌الاضلاع به صورت زیر عمل خواهیم کرد:

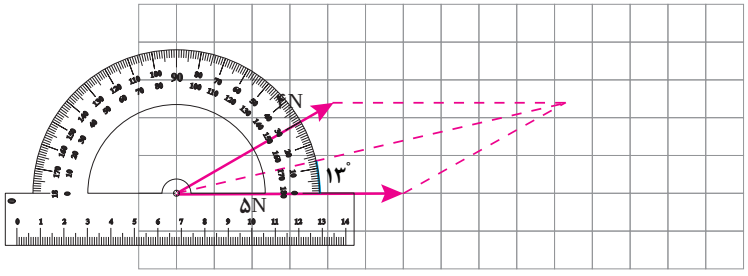


۱ـ ابتدا هم‌سنگ دو بردار را از یک نقطه رسم می‌کنیم و خط‌چین‌ها را نیز رسم می‌کنیم تا یک متوازی‌الاضلاع تشکیل شود. در آن صورت برداری برایند برداری است که از ابتدای دو بردار شروع و به محل برخورد نقطه‌چین‌ها ختم می‌شود.

۲ـ همان‌گونه که مشاهده می‌کنید، برای رسم هر بردار از این مقیاس که هر ۱/۲ سانتی‌متر معادل ۲نیوتن باشد، استفاده کرده‌ایم. در نتیجه با توجه به اینکه طول بردار برایند به‌دست آمده در این شکل تقریباً معادل ۴/۸ سانتی‌متر شده است، در آن صورت اندازهٔ این نیرو تقریباً معادل ۸ نیوتن خواهد بود.

$$\frac{۱/۲\text{cm}}{۲\text{N}} = \frac{۴/۸\text{cm}}{x} \rightarrow x = ۸\text{N}$$

۳ـ برای محاسبه جهت نیروی برایند نیز کافی‌است به کمک نقاله، زاویه آن را با راستای افق (یعنی بردار ۵ نیوتنی) رسم تصویر با قرار دادن نقاله اندازه بگیریم، که در این‌صورت تقریباً معادل ۱۳ درجه بالای افق، یعنی در جهت شمال شرق خواهد بود.



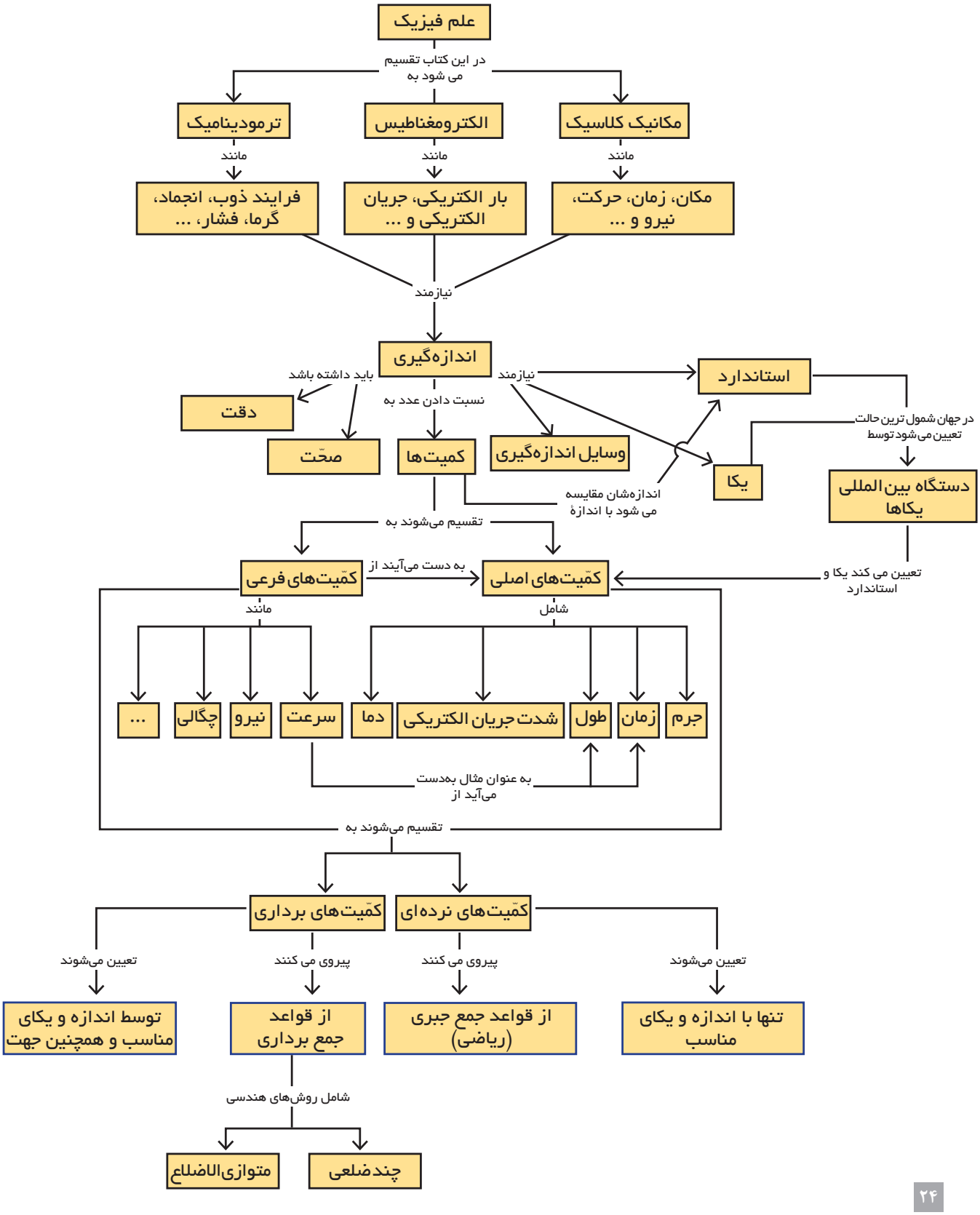
تمرین کنید

با استفاده از قواعد جمع هندسی برداری نشان دهید بردار برایند حاصل از هر دو روش متوازی‌الاضلاع و چندضلعی با یکدیگر برابر می‌باشد و این دو روش معادل یکدیگرند.

فکر کنید

همان‌گونه که در درس ریاضی پایهٔ هشتم خوانده‌اید، منظور از بردار $-\vec{a}$ برداری قرینهٔ بردار $\vec{a}$ است، یعنی برداری هم راستا، هم اندازه ولی در خلاف جهت بردار $\vec{a}$. در این‌صورت هنگامی که گفته می‌شود، حاصل عبارت $\vec{a}-\vec{b}$ یعنی تفاضل بردار $\vec{b}$ از $\vec{a}$ را به‌دست آورید به لحاظ ریاضی به چه معنی است؟

با توجه به پاسخ خود به سؤال بالا و روش‌های هندسی جمع بردارها، چه راهی را برای تفاضل هندسی دو بردار پیشنهاد می‌دهید؟


علم فیزیک
در این کتاب تقسیم می شود به
مکانیک کلاسیک
الکترومغناطیس
ترمودینامیک
مانند
مکان، زمان، حرکت، نیرو و ...
بار الکتریکی، جریان الکتریکی و ...
فرایند ذوب، انجماد، گرما، فشار، ...
نیازمند
اندازه‌گیری
باید داشته باشد
دقت
صحّت
نسبت دادن عدد به
کمیت‌ها
نیازمند
استاندارد
وسایل اندازه‌گیری
یکا
در جهان شمول ترین حالت تعیین می‌شود توسط
دستگاه بین‌المللی یکاها
اندازه‌شان مقایسه می شود با اندازهٔ
تقسیم می‌شوند به
کمّیت‌های فرعی
به دست می‌آیند از
کمّیت‌های اصلی
تعیین می کند یکا و استاندارد
مانند
شامل
...
چگالی
نیرو
سرعت
دما
شدت جریان الکتریکی
طول
زمان
جرم
به عنوان مثال به‌دست می‌آید از
تقسیم می‌شوند به
کمّیت‌های برداری
کمّیت‌های نرده‌ای
تعیین می‌شوند
پیروی می کنند
پیروی می کنند
تعیین می‌شوند
توسط اندازه و یکای مناسب و همچنین جهت
از قواعد جمع برداری
از قواعد جمع جبری (ریاضی)
تنها با اندازه و یکای مناسب
شامل روش‌های هندسی
متوازی‌الاضلاع
چندضلعی

چندپرسش

۱ـ یکای حجم در SI چیست؟ تصور کنید شخصی ادعا می‌کند که می‌توان حجم یک استوانه به ارتفاع h و شعاع r را از رابطهٔ $\pi r^{۳}h$ محاسبه کند. با توجه به پاسخ خود در قسمت اول، توضیح دهید که چرا این رابطه نمی‌تواند درست باشد؟

۲ـ با توجه به پاسخ پرسش ۱، آیا می‌توان این‌گونه ادعا کرد اگر هر رابطه‌ای از لحاظ یکا با کمّیت مورد محاسبه همخوانی داشته باشد، رابطهٔ درستی است؟ پاسخ خود را توضیح دهید و برای آن دلیل بیاورید.

۳ـ به نظر شما منظور از نصب تابلوهای مشابه شکل روبه‌رو در کنار جاده‌های بیرون از شهر چیست؟ این موضوع چه ارتباطی با کمّیت‌های برداری دارد؟

۴ـ اعداد زیر را برحسب اندازه از بزرگ‌ترین تا کوچک‌ترین مقدار منظم کنید:

$۰/۰۳۲kg$ و $۱۵g$ و $۲/۷\times۱۰^{۵}mg$ و $۴/۱\times۱۰^{-۸}Gg$ و $۲/۷\times۱۰^{۸}\mu g$

۵ـ سه هنرجو چگالی یک تکه فلز را سه بار اندازه‌گیری نموده‌اند. چگالی واقعی این قطعه $۱۱/۳۴\frac{g}{cm^{۳}}$ است. با در نظر گرفتن اندازه‌های به‌دست آمده برای هر هنرجو، نتایج حاصل شده برای کدام هنرجو دقیق و برای کدام هنرجو صحیح و برای کدام هنرجو هم صحیح و هم دقیق است؟

۱ـ افشین : $۱۱/۳۲\frac{g}{cm^{۳}}$، $۱۱/۳۵\frac{g}{cm^{۳}}$، $۱۱/۳۳\frac{g}{cm^{۳}}$

۲ـ آرش: $۱۱/۴۳\frac{g}{cm^{۳}}$، $۱۱/۴۴\frac{g}{cm^{۳}}$، $۱۱/۴۲\frac{g}{cm^{۳}}$

۳ـ سروش: $۱۱/۰۴\frac{g}{cm^{۳}}$، $۱۱/۳۴\frac{g}{cm^{۳}}$، $۱۱/۵۵\frac{g}{cm^{۳}}$

۶ـ به نظر شما می‌توان دو بردار با طول‌های متفاوت یافت که جمع برداری آنها صفر شود؟ در مورد سه بردار چطور؟ (پاسخ خود را با رسم شکل توضیح دهید)

۷ـ به نظر شما اگر $\vec{C}=\vec{A}+\vec{B}$ باشد، تحت چه شرایطی برابر با $C=A+B$ خواهد بود؟

چندمسئله

۱ـ تبدیل یکاهای زیر را انجام دهید.

$۲۵۰\frac{ft}{s}=?\frac{m}{s}$ $\qquad$ $۱۰inch=?\ cm$ $\qquad$ $۷/۲\frac{g}{cm^{۳}}=?\frac{kg}{m^{۳}}$

۲ـ گالن از یکاهای مرسوم حجم به‌حساب می‌آید که معادل ۳/۷۸ لیتر است. بر این اساس، تبدیل خواسته شده زیر را انجام دهید.

$$۱۰۰\frac{gal}{h}=?\frac{lit}{s}$$

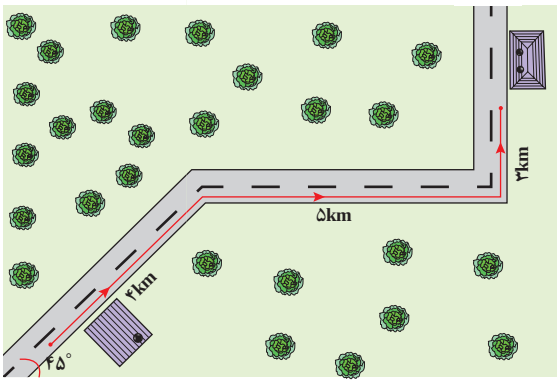
۳ـ یک قوطی رنگ با حجم $۷/۵\times۱۰^{-۳}m^۳$ دیواری به مساحت سطح $۲۵m^۲$ را می‌پوشاند. ضخامت رنگ بر روی دیوار بر حسب سانتی‌متر چقدر خواهد بود؟

۴ـ ویتامین D یکی از ویتامین‌های ضروری بدن است که برای جذب کلسیم، رشد استخوان‌ها و کارکرد بهتر و مؤثرتر سیستم ایمنی بدن و ... به آن نیاز داریم. میزان استاندارد مصرف ویتامین D در هر روز برابر ۱۵mg است[۱]. اگر بخواهیم این میزان از ویتامین D را تنها از طریق مصرف یک قرص مولتی‌ویتامین که حاوی ۲۰۰ IU[۲] ویتامین D است، به‌دست آوریم، به‌نظر شما چند عدد از این قرص را باید در طول روز مصرف کنیم؟ (۱IU = ۰/۰۲۵mg)

۵ـ با استفاده از قواعد هندسی جمع دو بردار نشان دهید جمع برداری از خاصیت جابه‌جایی (همانند جمع‌جبری) پیروی می‌کند:

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

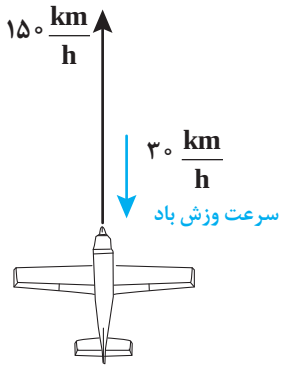
۶ـ شخصی فاصله میان محل زندگی و محل کار خود را به‌صورت زیر می‌پیماید. اگر کل این جابه‌جایی در مدت ۲۵دقیقه انجام گرفته باشد،

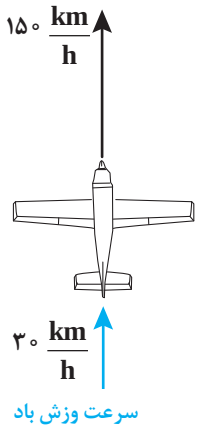


الف) اندازه جابه‌جایی این شخص را با رسم برداری و تعیین مقیاس بر روی کاغذ شطرنجی به‌دست آورید.

ب) اندازه سرعت شخص چند $\frac{km}{h}$ بوده است؟

۷ـ یکی از کاربردهای عملی قواعد جمع برداری را می‌توان در پرواز و هدایت هواپیماها مشاهده نمود. خلبان‌ها می‌بایست در طول پرواز تحت هر شرایط اندازه و جهت بردار سرعت هواپیما را در جهت مقصد حفظ نمایند که این موضوع با استفاده از قواعد جمع برداری و البته به کمک سیستم ناوبری الکترونیکی هواپیما صورت می‌پذیرد. حال بر اساس شکل‌های روبه‌رو و با استفاده از قواعد برداری نشان دهید چه تغییری در وضعیت حرکت هواپیما در اثر وزیدن باد رخ می‌دهد و خلبان باید چه تغییری در وضعیت حرکت خود بدهد؟





۱ـ پیشنهاد می‌شود در رابطه با منابع طبیعی ویتامین D در مواد غذایی که در طول روز مصرف می‌کنید، تحقیق انجام دهید.

۲ـ International Unit

پروژهٔ پایانی

همان‌طور که در ابتدای بحث اشاره شد، برخی از یکاهای اندازه‌گیری طول در قدیم بر اساس طول بخش‌هایی از بدن انتخاب شده‌اند. برای مثال طول بند انگشت شست معادل ۱ اینچ و یا اندازهٔ کف پا معادل یک فوت حساب می‌شود. با در نظر گرفتن این معادل‌ها، مطلوب است:

الف) رابطهٔ تبدیل میان یارد و اینچ را بر حسب اندازهٔ بند انگشت شست دست و فاصلهٔ نوک بینی تا نوک انگشت میانی خود به‌دست آورید.

ب) رابطهٔ میان فوت و اینچ را به شیوهٔ بالا محاسبه کنید.

ج) رابطهٔ میان یارد و فوت را به شیوهٔ بالا محاسبه کنید.

د) اکنون روابط به‌دست آمده در سه قسمت نخست خود را با هم‌کلاسی‌های خود در میان بگذارید و همچنین مقدار دقیق این تبدیلات را مقایسه کنید. از این مقایسه چه نتیجه‌ای خواهید گرفت؟ به نظر شما چرا داشتن یک استاندارد مناسب برای اندازه‌گیری هر کمّیتی اهمیت دارد؟

یادداشت

فصل دوم

مکانیک

چرا برخی ماشین‌های مسابقه در پایان مسیر حرکت چتر عقب خود را باز می‌کنند؟

حرکت، جابه‌جایی و سرعت

نیرو، شتاب و قوانین حرکت

حرکت یکنواخت و حرکت شتاب‌دار

نیروی وزن و نیروی عمودی تکیه‌گاه

نیروی اصطکاک

مکانیک یکی از قدیمی‌ترین و آشناترین شاخه‌های علم فیزیک است. این شاخه با اجسام در حال سکون یا در حال حرکت و همچنین شرایط سکون و حرکت آنها تحت‌تأثیر نیروها سروکار دارد. قوانین مکانیک به بررسی حرکت در تمام گسترهٔ جهان هستی، از الکترون‌ها در اتم گرفته تا سیارات در فضا و حتی کهکشان‌های دوردست می‌پردازد. مکانیک توضیح می‌دهد که چرا اجسام حرکت می‌کنند و یا اینکه جسم در وضعیت معینی چگونه حرکت خواهد کرد و این حرکت را چگونه می‌توان توصیف کرد. علم مکانیک را می‌توان به دو بخش تقسیم کرد: سینماتیک و دینامیک.

سینماتیک به توصیف حرکت اجسام و مسیر آنها، بدون توجه به نیروهایی که این حرکت را ایجاد کرده‌اند می‌پردازد و با مفاهیم مکان، سرعت، شتاب، زمان و روابط بین آنها سروکار دارد. دینامیک به نیروهایی که موجب تغییر حرکت یا تغییر خواص دیگر از قبیل شکل و اندازهٔ اجسام می‌شوند، می‌پردازد. این بخش از مکانیک ما را به مفاهیم نیرو و جرم و قوانین حاکم بر حرکت اجسام هدایت می‌کند. در زمان ارسطو فرایند فکری مربوط به مکانیک گسترش سریعی پیدا کرد. اما از قرن هفدهم به بعد بود که مکانیک توسط گالیله[۱]، هویگنس[۲] و نیوتن[۳] به درستی پایه‌گذاری شد.

ارسطو معتقد بود که برخی حرکت‌ها در طبیعت اجسام وجود دارد، دود به خاطر سبکی بالا می‌رود و تخته‌سنگ‌های بزرگ به خاطر سنگینی سقوط می‌کنند، همچنین حرکت ستارگان در آسمان شب به‌طور طبیعی رخ می‌دهد. در مقابل حرکت طبیعی، برخی دیگر از حرکت‌ها اجباری است و به وسیلهٔ هل دادن و کشیدن اجسام رخ خواهد داد، یعنی اجسامی که حرکت غیر طبیعی دارند حتماً کشیده یا هل داده شده‌اند، ارسطو بر این باور بود که قوانین طبیعت را تنها می‌توان از طریق استدلال منطقی کشف کرد. ادعاهای ارسطو برای نزدیک به ۲۰۰۰ سال ادامه داشت، ادعای اول او این بود که اجسام سنگین همواره سریع‌تر از اجسام سبک حرکت می‌کنند و ادعای دوم برای اینکه حرکت جسم ادامه پیدا کند، باید نیروی خارج از جسم مداوم بر آن اثر کند. این ادعاهای ارسطو در قرن هفدهم میلادی توسط گالیله رد شدند، گالیله بر این باور بود که آزمایش‌های تجربی برای کشف قوانین طبیعت بر باورهای ذهنی و استدلال‌های منطقی برتری دارند. او به بالای برج مشهور و کج پیزا رفت و دو جسم با جرم‌های مختلف را رها کرد و نشان داد در غیاب مقاومت هوا آن دو با هم سقوط خواهند کرد (شکل ۲-۱). گالیله توانست ایده‌های انقلابی خود را به وسیلهٔ آزمایش‌های گوناگونی که با حرکت توپ روی سطح شیب‌دار با زاویه‌های مختلف انجام می‌داد به اثبات برساند، او از این آزمایش‌ها چنین نتیجه گرفت که برای حرکت مداوم یک جسم لزومی به وارد کردن دایمی نیرو بر آن نیست. در یک بیان ساده می‌توان نیرو را هل دادن یا کشیدن در نظر گرفت. گالیله نشان داد اگرچه برای شروع حرکت نیاز به وارد کردن نیرو وجود دارد ولی در غیاب اصطکاک، برای ادامه حرکت جسم نیازی به وارد کردن نیرو نیست(شکل ۲ـ۲).

از دیدگاه ارسطو از دیدگاه گالیله

شکل ۲-۱ گالیله با آزمایش نشان داد که در غیاب مقاومت هوا گلوله‌های کوچک سبک و سنگین با هم سقوط می‌کنند.

شکل ۲-۲ نمونه‌ای از دستگاه‌هایی که گالیله برای آزمایش بر روی حرکت اجسام به‌کار می‌برد.

۱- Galileo Galilei
۲- Christian Huygens
۳- Isaac Newton

تجربه کنید

شما هم می‌توانید آزمایش گالیله را تجربه کنید. یک سیب و یک برگ کاغذ بردارید. بالای پله‌ها بایستید (یا هرجایی که از سطح زمین ارتفاع داشته باشد) سپس دو تجربه زیر را انجام دهید:

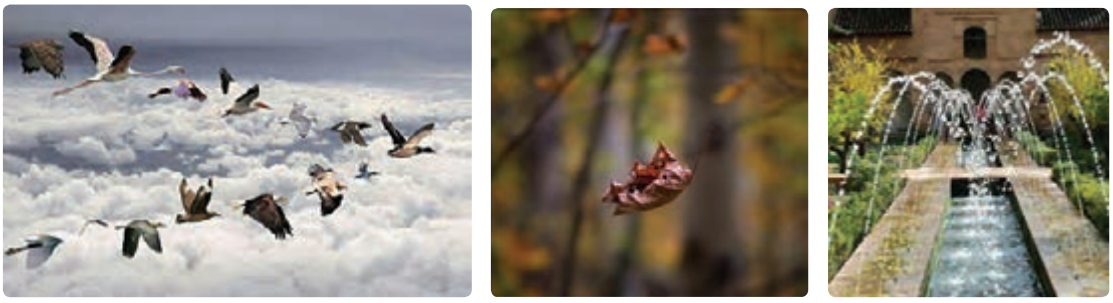
الف) با دو دست برگه کاغذ و سیب را در یک ارتفاع مشخص بالای سرتان نگه داشته و هم‌زمان هر دو را رها کنید.

ب) کاغذ را مچاله کنید و آن را هم‌زمان با سیب در یک ارتفاع مشخص بالای سرتان نگه داشته و هم‌زمان هر دو را رها کنید. آیا تفاوتی در دو تجربه مشاهده می‌کنید؟

در درس علوم تجربی پایهٔ نهم با برخی از کمیت‌های مربوط به حرکت و همچنین قوانین حرکت آشنایی پیدا کرده‌اید. در این فصل ضمن آشنایی بیشتر با این کمیت‌ها با برخی از انواع حرکت نیز آشنا خواهید شد، همچنین با گستردگی بیشتری به بررسی قوانین حرکت و نیروها می‌پردازیم.

۲ـ۱ حرکت

خداوند متعال در ده‌ها آیه از قرآن کریم به نشانه‌های رحمت خود از جمله حرکت اشیا در طبیعت اشاره کرده است.[۱] اگر به پیرامون خود نگاه کنید، حرکت را به‌گونه‌های مختلف در همه جا خواهید دید، مثل حرکت یک قطار تندرو روی خط ریل مستقیم، حرکت خمیدهٔ توپ بسکتبال در هنگام پرتاب، حرکت پیچیده یک برگ و حرکت چرخشی آب در هنگام خروج از آب‌پاش (شکل ۲ـ۳). برخی حرکت‌ها که در بالا به آنها اشاره شد پیچیده و برخی دیگر ساده هستند. بهتر است از حرکت‌های ساده‌تر شروع کنیم و با آنچه که در بررسی حرکت‌های ساده می‌آموزیم، می‌توانیم آموخته‌های خود را به موارد پیچیده‌تر نیز گسترش دهیم. برخی حرکت‌ها در طبیعت هم زیبا و هم نشانه‌هایی از خالق زیبایی‌ها هستند.



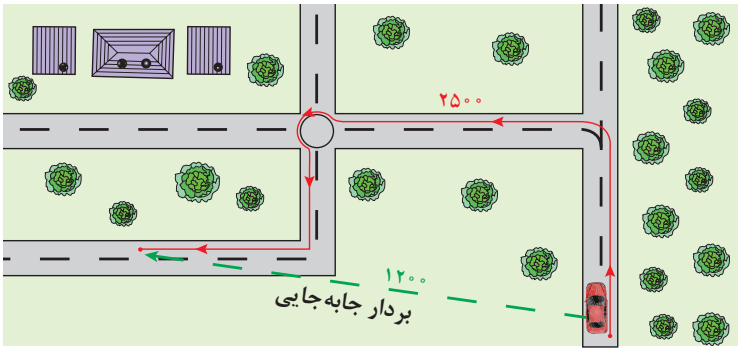
شکل ۲-۳ نمونه‌هایی از انواع حرکت

توضیح یک حرکت همواره به مکان و زمان وابسته است، برای توصیف و شناخت حرکت شما همواره باید بتوانید به این سؤال پاسخ دهید که جسم در یک لحظهٔ معیّن در چه مکانی قرار دارد؟ سرعت و شتاب آن چقدر است؟ در این‌صورت است که می‌توانید حرکت آن را توصیف کنید، در ادامهٔ درس علوم تجربی پایهٔ نهم، در این فصل ضمن یادآوری کوتاه از مفاهیم مکان، سرعت و شتاب، شما را با نمودار مسیر حرکت، حرکت‌های یکنواخت و شتاب‌دار و قوانین حرکت و نیروها آشنا خواهیم کرد که بتوانید حرکت اجسام روی خط راست را بهتر بشناسید و آن را توصیف کنید.

۱ـ سورهٔ مبارکه روم، آیه ۴۶؛ سورهٔ مبارکه فاطر، آیهٔ ۹.

بردار مکان: همان‌گونه که در درس علوم تجربی پایهٔ نهم آموختید، موقعیت هر جسم را می‌توان در لحظه‌های مختلف حرکتش توسط بردار مکان نشان داد، برداری که از مبدأ مختصات به مکان جسم رسم شده است را بردار مکان جسم می‌نامیم. طول این بردار، فاصله جسم تا مبدأ را مشخص می‌کند.

بردار جابه‌جایی: برداری که نقطه شروع حرکت هر جسم را به نقطه پایان حرکت آن وصل می‌کند، بردار جابه‌جایی آن جسم می‌گویند (شکل ۲ـ۴).



شکل ۲-۴ تفاوت بین مسافت و جابه‌جایی

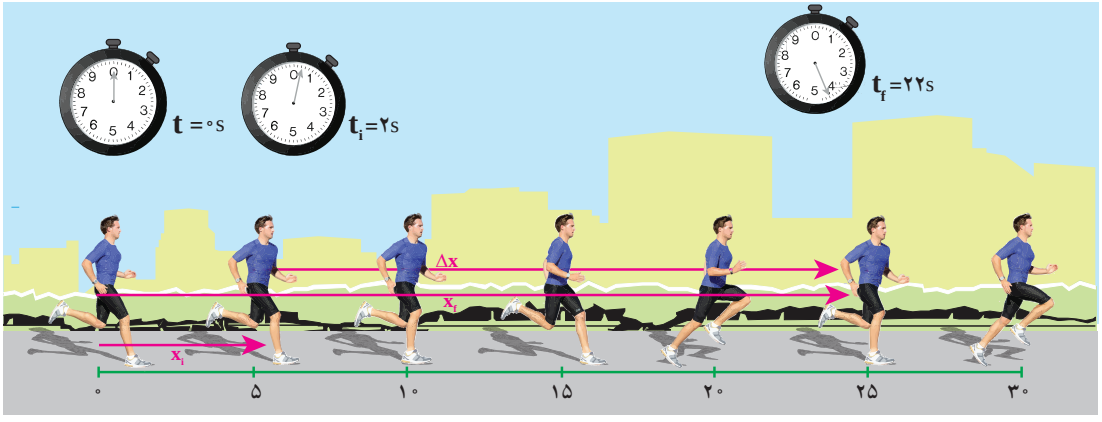
اگر مکان جسم در نقطه شروع حرکت را با نماد x_i و مکان جسم در انتهای حرکتش را با نماد x_f نمایش دهیم، برای اندازهٔ جابه‌جایی روی خط راست خواهیم داشت[1]:

$$\Delta x = x_f - x_i \qquad (۱-۲)$$

زمانی را که جسم در شروع حرکتش قرار دارد t_i و زمانی را که جسم در پایان حرکتش قرار دارد t_f نام‌گذاری می‌کنیم، تفاضل این دو مقدار را یک بازه زمانی می‌نامیم و آن را با نماد Δt نمایش می‌دهیم، رابطه ریاضی بازه زمانی به صورت رابطه ۲ـ۲ تعریف می‌شود.

$$\Delta t = t_f - t_i \qquad (۲-۲)$$

شکل ۲ـ۵ مسیر حرکت را برای دونده‌ای نشان می‌دهد که در مدت زمان ۲۰ ثانیه از مکان ۵ متری مبدأ تا مکان ۲۵ متری مبدأ جابه‌جا شده و اندازه بردار جابه‌جایی حرکت او ۲۰ متر است.



شکل ۲-۵ دونده در مکان‌ها و لحظه‌های مختلف نشان داده شده است

۱ـ از حرف اول کلمه‌های initial به معنی اولیه و final به معنی نهایی استفاده کرده‌ایم.

۲ـ۲ نمودار مسیر حرکت و مفهوم سرعت

شکل ۲-۶ نمودار مسیر حرکت برای ورزشکاری که در حال پرش است.

حرکت یک دونده در مسیر مستقیم، یک مثال ساده از حرکت روی خط راست است. یکی از راه‌ها برای نمایش دادن حرکت این دونده تهیهٔ عکس‌هایی است که در بازه‌های زمانی مساوی، مکان دونده را مشخص می‌کند (همانند شکل‌های ۲ـ۶ و ۲ـ۷). فرض کنید دوربین را عمود بر جهت حرکت دونده، ثابت نگه داشته‌اید و در حین حرکت در مکان‌های مختلف از دونده عکس گرفته‌اید. شکل ۲-۷ عکس‌های گرفته شده از این دونده را در زمان‌های مختلف نشان می‌دهد. شما در این عکس پنج تصویر پشت سر هم از این دونده را مشاهده می‌کنید که در بازه‌های زمانی مساوی گرفته شده‌اند. به این عکس، نمودار مسیر حرکت می‌گوییم.

شکل ۲-۷ نمودار مسیر حرکت یک دونده در بازه‌های زمانی مساوی

مکان دونده در هر لحظه را می‌توان با یک نقطه روی شکل مشخص کرد، می‌توانید قبل از گرفتن عکس روی زمین و در طول مسیر حرکت دونده وسیله اندازه‌گیری طول، مانند متر نواری قرار دهید، این متر نواری مکان جسم را پس از عکس‌برداری به شما نشان خواهد داد. با استفاده از نمودار مسیر حرکت شما توانسته‌اید مکان حرکت را اندازه بگیرید، آیا این اطلاعات برای به‌دست آوردن سرعت اجسام قابل استفاده است؟

تجربه کنید

با استفاده از نرم افزار Motion Shot ، نمودار مسیر حرکت خود و یا هم‌کلاسی‌هایتان را تهیه کنید.

در درس علوم تجربی پایهٔ نهم با مفهوم تندی متوسط و لحظه‌ای آشنا شده‌اید، در اینجا از کمیت سرعت نام می‌بریم، این کمیت جهت و اندازه تغییر مکان جسم نسبت به زمان را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در فصل ۱ اشاره گردید، سرعت کمیتی برداری است. به حاصل تقسیم جابه‌جایی به بازهٔ زمانی‌که این جابه‌جایی اتفاق افتاده است سرعت متوسط حرکت می‌گوییم. سرعت متوسط را با $\overline{v}$ نمایش داده و یکای اندازه‌گیری آن $\frac{m}{s}$ (متر بر ثانیه) است. در این صورت اندازه سرعت متوسط را می‌توان توسط رابطه ۲ـ۳ به‌دست آورد:

$$\overline{v} = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \qquad (۳-۲)$$

۲ـ۳ تعادل اجسام

در کتاب‌های علوم تجربی سال‌های گذشته با مفهوم نیرو آشنا شده‌اید. وقتی توپ را شوت یا آن را متوقف می‌کنید در حال وارد کردن نیرو به آن هستید. بلندکردن اجسام از روی زمین یا هل دادن آنها، حرکت کردن یک چرخ، بستن یک پیچ، سوراخ کردن قطعات همه نیازمند وارد کردن نیرو هستند (شکل ۲-۸). مفهوم نیرو معمولاً با هل دادن، کشیدن، خم‌کردن، برش دادن و تغییر سرعت همراه است.

شکل ۲-۸ نمونه‌هایی از وارد کردن نیرو به اجسام مختلف

نکته

نیرو کمیتی برداری است که با نماد $\vec{F}$ نمایش داده می‌شود. یکای اندازه‌گیری آن N (نیوتن) است.

در این فصل هرگاه از کلمهٔ نیرو استفاده می‌کنیم منظورمان برایند نیروهای وارد بر جسم است. در بیشتر اوقات بیش از یک نیرو به جسم وارد می‌شود، به عنوان مثال هنگامی‌که یک توپ فوتبال را شوت می‌کنید، علاوه بر نیروی وارد شده از طرف پای شما، نیروهایی مانند وزن توپ، اصطکاک سطح زمین بازی و همچنین مقاومت هوا نیز بر توپ وارد می‌شوند، منظور از نیروی وارد شده بر این توپ همان برایند نیروهایی است که بر توپ وارد می‌شده و باعث تغییر در وضعیت حرکتی توپ می‌شود. همان‌گونه که در علوم تجربی پایه نهم دیدید، اگر جسمی در حال تعادل باشد، برایند نیروهای وارد بر آن صفر است (شکل ۲-۹).

شکل ۲-۹ برایند نیروهای وارد بر بادکنک، هواپیما و کشتی صفر است.

اسحاق نیوتن

فیزیک‌دان، ریاضی‌دان، ستاره‌شناس، فیلسوفِ انگلیسی بوده است. وی در سال ۱۶۸۷ میلادی شاهکار خود «اصول ریاضی فلسفهٔ طبیعی» را به نگارش درآورد. او مفهوم گرانش عمومی را مطرح ساخت و با تشریح قوانین حرکت اجسام، علم مکانیک کلاسیک را پایه گذاشت. از دیگر کارهای مهم او بنیان‌گذاری حساب دیفرانسیل و انتگرال است.

به‌طور کلی هرگاه جسم ساکن باشد آن را در حال «تعادل استاتیکی» و هرگاه با سرعت ثابت در حال حرکت باشد آن را در حال «تعادل دینامیکی» می‌نامیم. در هر دو نوع تعادل، برایند نیروهای وارد بر جسم صفر است. در نتیجه شرط تعادل استاتیکی و دینامیکی به صورت زیر است:

$$\overrightarrow{F_T} = 0 \qquad (۴-۲)$$

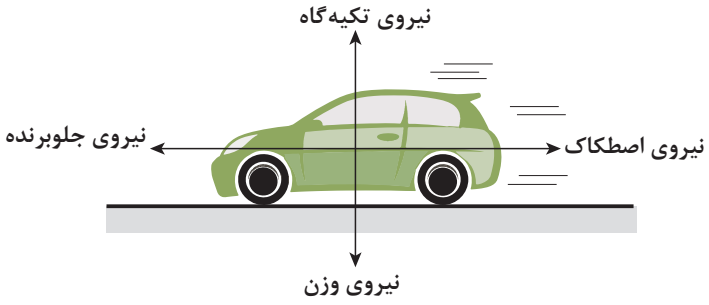
نماد T به‌کار رفته در رابطه ۲-۴ به معنی جمع برداری یا همان برایند است. این رابطه بیان می‌کند که جمع برداری نیروهای وارد شده به جسمِ در حال تعادل، برابر صفر است.

نکته

سرعت یک کمیت برداری است، وقتی می‌گوییم سرعت جسم ثابت است، یعنی هم اندازه و هم جهت آن ثابت است.

شکل ۲-۱۰ صخره‌ای را نشان می‌دهد که در حال تعادل استاتیکی است، شکل ۲-۱۱ خودرویی را نشان می‌دهد که با سرعت ثابت درحال حرکت است، این خودرو نیز در حال تعادل دینامیکی است.

شکل ۲-۱۰ صخره در حال تعادل

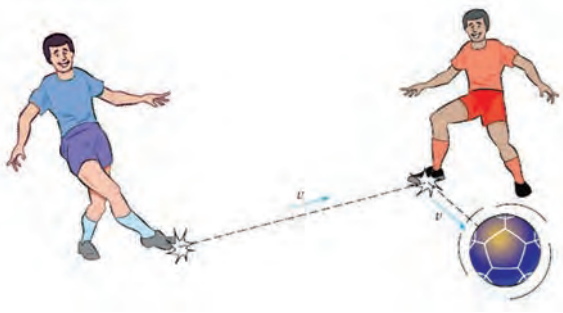


شکل ۲-۱۱ تعادل دینامیکی خودرو

اجسام تمایل دارند تعادل استاتیکی و یا دینامیکی خود را تا زمانی که نیرویی از بیرون به آنها وارد نشود، حفظ کنند. این گفته بیان قانون اول نیوتن درباره حرکت اجسام است.

۲-۳-۱ قانون اول نیوتن درباره حرکت اجسام:

این قانون که بیشتر به قانون لختی (اینرسی) مشهور است، در واقع بیان دیگری از نظر گالیله دربارهٔ حرکت اجسام است. هر جسمی حالت سکون خود را حفظ خواهد کرد و یا به‌حرکت با سرعت ثابت بر روی خط راست ادامه خواهد داد، مگر اینکه تحت تأثیر نیروی خارجی قرار گیرد (شکل ۲-۱۲).



شکل ۲-۱۲ تا زمانی که به جسم نیرویی وارد نشود به حرکت یکنواخت روی خط راست ادامه می‌دهد.

نکتـهٔ کلیـدی در ایـن قانون مفهوم ادامه داشـتن اسـت. جسـم اگر در حال سـکون باشـد همچنان تمایل دارد سـاکن بمانـد. همچنیـن جسـمی که در حـال حرکـت بـر روی مسـیری مسـتقیم اسـت، تـا زمانـی که براینـد نیروهـای خارجـی وارد بـر آن صفر باشـد، به حرکت با سـرعت ثابت در مسـیر مسـتقیم ادامه خواهد داد، همان‌طـور کـه کاوشـگرهای فضایـی در فضـای میان سـتارگان بـدون تغییـر در اندازه و جهت سـرعت، حرکـت می‌کنند.

این ویژگی اجسام را که در مقابل تغییر سرعت از خود مقاومت نشان می‌دهند، لختی (اینرسی) می‌نامند.

همـه اجسـام دارای «لختـی» هسـتند و مقـدار ایـن لختـی به جرم جسـم بسـتگی دارد. هر انـدازه جرم یک جسـم بیشـتر باشـد، لختی آن نیز بیشـتر خواهد بود، به بیان سـاده جرم معیاری برای مقاومت جسـم در مقابل تغییر سـرعت اسـت.

بیشتر بدانید

تحقیقات نشان داده است که پشتی سر صندلی‌های خودرو در هنگام تصادفات و برخوردهای ناگهانی، تا ۴۰ درصد از آسیب‌های وارده بر گردن و ستون فقرات سرنشینان به دلیل تغییر وضعیت‌های ناگهانی ناشی از لختی، می‌کاهد. در شکل مقابل فاصلهٔ مناسب پشت سر نشان داده شده است.

فکر کنید

تصور کنید درون یک اتوبوس در حال توقف ایستاده‌اید، ناگهان اتوبوس شروع به حرکت می‌کند و شما به طرف عقب پرتاب می‌شوید. به نظر شما این اتفاق چه ارتباطی به قانون اول نیوتن دارد؟

تجربه کنید

مطابق شکل سکه‌ای را روی یک تکهٔ مقوا قرار دهید و آن را روی دهانهٔ لیوان بگذارید، سعی کنید به مقوا ضربه بزنید. چه اتفاقی می‌افتد؟

آزمایش کنید

وزنه‌ای به جرم ۲۵۰ گرم را مطابق شکل به وسیله نخ نازکی به سقف یا روی دستگاه پایه و گیره آویزان کنید. یک بار نخ را سریع به سمت پایین بکشید و بار دیگر نخ را به آرامی بکشید. در اجرای هر بار این آزمایش چه چیزی مشاهده می‌کنید؟ نتیجهٔ هر حالت آزمایش را با دلیل توضیح دهید.

شکل ۲-۱۳ حرکت قطار بین دو ایستگاه در یک مسیر مستقیم، حرکت یکنواخت است. این قطار در حال تعادل دینامیکی است.

۲-۳-۲ حرکت یکنواخت: همان‌گونه که اشاره شد، خودرو شکل ۲-۱۱ در حال تعادل دینامیکی است و حرکتش با سرعت ثابت انجام می‌گیرد، این‌گونه حرکت‌ها را حرکتِ یکنواخت روی خط راست می‌نامیم. در حرکت یکنواخت، اندازه و جهت بردار سرعت لحظه‌ای متحرک، در تمام لحظات یکسان است (شکل ۲-۱۳). سرعت لحظه‌ای سرعت جسم در هر لحظه است که آن را با نماد v نمایش می‌دهیم و یکای اندازه‌گیری آن $\frac{m}{s}$ (متر بر ثانیه) است. در این نوع حرکت اندازهٔ سرعت لحظه‌ای و اندازهٔ سرعت متوسط باهم برابرند (چرا؟)، در نتیجه داریم:

$$\bar{v} = v \Rightarrow v = \frac{\Delta x}{\Delta t} \qquad (۵-۲)$$

در رابطه ۲ـ۵ اگر مکان را در لحظه صفر برابر با x_0 و مکان متحرک را t ثانیه پس از شروع حرکت با x نمایش دهیم (شکل ۲-۱۴)، رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$x = vt + x_0 \qquad (۶-۲)$$

رابطه ۲-۶ را معادلهٔ مکان ـ زمان (حرکت) برای حرکت یکنواخت می‌نامیم.

شکل ۲-۱۴ نمودار مسیر حرکت یکنواخت

نکته

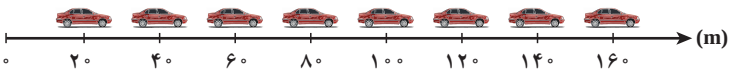
حرکت یکنواخت:

۱ـ فاصله متحرک از مبدأ مکان (x) از رابطهٔ $x = vt + x_0$ به‌دست می‌آید.

۲ـ در این رابطه مکان بر حسب متر (m) و سرعت بر حسب ($\frac{m}{s}$) و زمان بر حسب (s) جاگذاری می‌شود.

مثال

نمودار زیر، مسیر حرکت خودرویی است که با سرعت ثابت در یک مسیر مستقیم در حال حرکت است. اگر فاصله زمانی بین هر دو نقطه یک ثانیه باشد:



الف) معادله مکان ـ زمان حرکت را به‌دست آورید.

ب) با توجه به معادله مکان ـ زمان محاسبه کنید که خودرو چند ثانیه پس از شروع حرکت به اندازه ۲۰۰ متر جابه‌جا شده است.

پاسخ: با توجه به اطلاعات نمودار مسیر حرکت مکان اولیه خودرو ۲۰ متری مبدأ بوده است، و می‌توان سرعت متوسط (که برابر با سرعت لحظه‌ای می‌باشد) آن را محاسبه کرد:

$$\left.\begin{matrix} t_i = ۰s, x_i = ۲۰m \\ t_f = ۲s, x_f = ۶۰m \end{matrix}\right\} \Rightarrow \overline{v} = v = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{۶۰\,m - ۲۰\,m}{۲s - ۰} = ۲۰\frac{m}{s}$$

با توجه به معادله ۲-۶ خواهیم داشت:

$$\left.\begin{matrix} x_۰ = ۲۰m \\ v = ۲۰\dfrac{m}{s} \end{matrix}\right\} \Rightarrow x = vt + x_۰ \Rightarrow x = ۲۰t + ۲۰$$

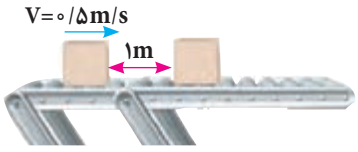
ب) با توجه به معادله ۲ـ۱ می‌توان نوشت:

$$\Delta x = x_f - x_i \Rightarrow ۲۰۰\,m = x_f - ۲۰\,m \Rightarrow x_f = ۲۲۰m$$

$$x = vt + x_۰ \Rightarrow ۲۲۰m = ۲۰\frac{m}{s}t + ۲۰m \Rightarrow t = ۱۰s$$

مثال

در یک کارخانه تولید قطعه‌های لوازم خانگی بسته های تولیدی روی تسمه نقاله مطابق شکل با سرعت ثابت ۰/۵m/s در حال حرکت هستند. اگر فاصله بین هر دو بسته ۱m باشد، فاصله زمانی برداشتن بسته‌ها چند ثانیه باید باشد تا بسته‌ای روی تسمه نقاله باقی نماند.

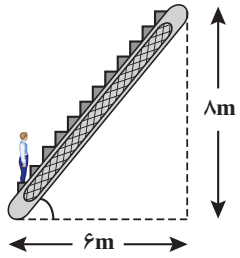


مطابق رابطه ۲ـ۵ خواهیم داشت:

$$\left.\begin{matrix} \Delta x = ۱m \\ \overline{v} = v = ۰/۵\,m/s \end{matrix}\right\} \Rightarrow v = \frac{\Delta x}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{\Delta x}{v} = \frac{۱\,m}{۰/۵\frac{m}{s}} = ۲s$$

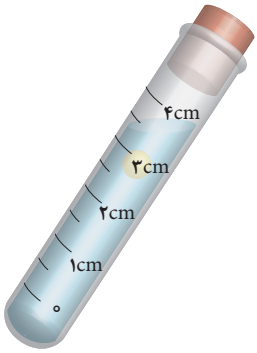
تمرین کنید

فاصله دو طبقه فروشگاهی مطابق شکل روبه‌رو ۸ متر است. اگر شخص در مدت ۱۰s فاصله این دو طبقه را با سرعت ثابت طی کند، تعیین کنید سرعت پلکان برقی چند متر بر ثانیه بوده است.



آزمایش کنید

روی لولهٔ آزمایشی به فواصل نیم سانتی‌متر برچسب بزنید، سپس آن را از آب پر کنید و درون آن یک قطره روغن ماشین بریزید، سر این لوله را با چوب پنبه یا درپوش پلاستیکی ببندید و با سروته کردن لوله، سعی کنید قطرهٔ روغن را در داخل لوله حرکت دهید، با استفاده از زمان‌سنج و اندازه‌های روی لوله، حرکت قطرهٔ روغن را در طول لوله بررسی کنید. آیا می‌توانید سرعت متوسط قطره روغن را محاسبه کنید؟ چگونه می‌توانید یکنواخت بودن حرکت روغن را با این آزمایش نشان دهید؟



۲-۴ حرکت غیر یکنواخت اجسام

هرگاه برایند نیروهای وارد بر جسمی غیر صفر نباشد، حرکت آن یکنواخت نیست و سرعت جسم تغییر می‌کند. در شرایطی که جسم در مسیر مستقیم در حرکت باشد، سرعت می‌تواند افزایش و یا کاهش یابد. حرکتی که با تغییر سرعت همراه باشد غیر یکنواخت می‌نامیم. حرکت خودرو بعد از ترمز، فضاپیما در حال بلند شدن از سطح زمین و توقف دوندگان دو سرعت در خط پایان نمونه‌هایی از حرکت‌های غیریکنواخت هستند (شکل ۲-۱۵). در تمامی این حرکت‌ها وارد شدن نیرو به جسم باعث تغییر در سرعت آن می‌شود.

شما می‌توانید تفاوت بین حرکت یکنواخت و غیر یکنواخت را شروع و توقف حرکت یک آسانسور یا ترمز خودرو احساس کنید.

برای اینکه تفاوت بین حرکت‌ها را بیشتر توضیح داده باشیم به شکل ۲-۱۶ دقت کنید. در این شکل به سه نوع حرکت اشاره شده است، شکل شامل عکس‌هایی است که در بازه‌های زمانی مساوی از دونده گرفته شده است در ادامه به توضیح آن می‌پردازیم:

الف) دوندگان دوی سرعت پس از رسیدن به خط پایان سرعت خود را کاهش می‌دهند تا از حرکت بایستند .

ب) فضا پیما در حال بلند شدن از سطح زمین و تا لحظاتی پس از آن سرعتش را افزایش می‌دهد.

شکل ۲-۱۵ حرکت غیریکنواخت

شکل ۲-۱۶ انواع حرکت

الف) در این شکل، فاصله بین عکس‌های مختلف و در لحظه‌های متفاوت ثابت باقی می‌ماند، پس دونده در حال دویدن با سرعت ثابت می‌باشد. حرکت او یکنواخت و برایند نیروهای وارده بر آن صفر است. دونده در این حالت دارای تعادل دینامیکی است.

ب) در این شکل، فاصله بین عکس‌ها در طول زمان در حال افزایش است. این به آن معناست که سرعت دونده در طول زمان افزایش یافته است. این حرکت را غیر یکنواخت و تندشونده می‌نامیم.

پ) در این شکل، فاصله بین عکس‌ها در طول زمان در حال کاهش است، به‌این معنا که سرعت دونده در طول زمان کاهش یافته است، این حرکت را غیریکنواخت و کندشونده می‌نامیم.

از کتاب علوم تجربی پایه نهم به خاطر دارید که شتاب متوسط یک جسم تغییر سرعت جسم در یک بازه زمانی است، در نتیجه حرکت‌هایی نظیر شکل ۲ـ۱۶ ب و پ را می‌توان حرکت‌های شتاب‌دار نامید. شتاب متوسط این حرکت‌ها از تقسیم اندازه تغییرات سرعت به بازهٔ زمانی آن تغییرات به دست می‌آید. شتاب متوسط

را با نماد $\bar{a}$ نشان می‌دهیم و از رابطهٔ زیر به دست می‌آید:

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \qquad (۷-۲)$$

نکته

۱ـ نیرو باعث تغییر وضعیت حرکت جسم و بردار سرعت (اندازه و جهت) آن می‌شود.

۲ـ شتاب، کمّیتی برداری است و یکای اندازه‌گیری آن متر بر مجذور ثانیه ($\frac{m}{s^2}$) است.

تمرین کنید

یوزپلنگ ایرانی می‌تواند در مدت زمان ۲ ثانیه، سرعت خود را از صفر به ۹۶ کیلومتر بر ساعت برساند، در صورتی که یکی از سریع‌ترین خودروهای جهان می‌تواند همین افزایش سرعت را در مدت ۲/۵ ثانیه انجام دهد. شتاب متوسط این دو را با هم مقایسه کنید.

آیا تاکنون این سؤال را از خود پرسیده‌اید که برای انجام حرکت تندشونده و یا کندشونده نیروی برایند باید در چه جهتی بر جسم وارد شود؟ به عنوان مثال در شکل ۲-۱۶-پ که حرکت جسم شتاب‌دار است، نیروی برایند وارد بر جسم به کدام جهت وارد شده است؟ به‌این منظور به شکل ۲-۱۷ دقت کنید.

۲-۱۷ حرکت‌های یکنواخت، تندشونده و کندشونده دوچرخه

اگر به طول بردارهای نیروی رسم شده در این شکل دقت کنید، متوجّه خواهید شد که در شکل ۲-۱۷-الف اندازهٔ نیروی جلو برنده با نیروی مقاوم زمین و هوا که با حرکت دوچرخه مخالفت می‌کنند، برابر است و در این حالت برایند نیروهای وارد بر دوچرخه صفر بوده و حرکت آن یکنواخت است. در شکل ۲-۱۷-ب نیروها دیگر متوازن نیستند و برایند نیروها در جهت حرکت است و همان‌طور که می‌بینید حرکت دوچرخه تند شونده است، در شکل ۲-۱۷-پ نیز برایند نیروها صفر نیست ولی برایند نیروها خلاف جهت حرکت دوچرخه است، و حرکت دوچرخه کندشونده است. برای اینکه به رابطهٔ بین جهت نیرو و جهت شتاب جسم پی ببریم خوب است که قانون دوم نیوتن را معرفی کنیم.

۲-۴-۱ قانون دوم نیوتن: قانون دوم نیوتن چنین بیان می‌کند که:

اگر به جسمی نیروی خارجی وارد شود، شتابی می‌گیرد که اندازهٔ آن با اندازهٔ نیرو رابطهٔ مستقیم و با جرم

جسم رابطه عکس دارد. در آن صورت خواهیم داشت:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F_T}}{m} \qquad (۸-۲)$$

تمرین کنید

با توجه به قانون دوم نیوتن و رابطه ۲ـ۷ در حرکت شتاب‌دار، دو یکا برای کمیت شتاب به دست آورید.

نکته

بر طبق رابطهٔ ۲-۸ می‌توان نتیجه گرفت که بردار شتاب همواره هم جهت با بردار نیروی برایند وارد بر جسم است (چرا؟)

مثال

با توجه به شکل آغاز فصل اگر نیروی مقاوم برای هر دو چتر یکسان باشد، چه تفاوتی در شتاب کندشونده خودرو برای حالتی که یک چتر باز شود یا اینکه دو چتر باز شود وجود خواهد داشت؟

پاسخ: جرم خودرو را m و نیروی وارد شده از طرف هر چتر بر اتومبیل F است

در حالتی که یکی از چترها باز شود:

$$a_۱ = \frac{F}{m}$$

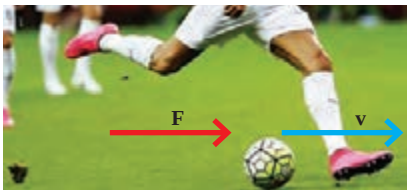
در حالتی که هر دو چتر باز شود:

$$a_۲ = \frac{۲F}{m}$$

شتاب در حرکت کندشونده حالت دوم دو برابر شتاب در حالت اول است.

اکنون می‌توان به سؤال مطرح شده در قسمت قبل پاسخ داد که نیروی وارد شده بر جسم چه مواقعی می‌تواند باعث حرکت تند شونده و چه مواقعی باعث حرکت کند شونده اجسام شود:

هرگاه بردار نیروی برایند در خلاف بردار سرعت جسم متحرکی باشد، سرعت آن را کاهش داده و حرکت آن کندشونده خواهد بود و هرگاه بردار نیروی برایند هم جهت با بردار سرعت به جسمی وارد شود، حرکت تند شونده خواهد بود. به شوت کردن توپ در بازی فوتبال دقت کنید شکل ۲-۱۸-الف، توپ در حال حرکت رو به جلو است، و بازیکن نیز در همان جهت به آن نیرو وارد کرده و توپ در همان جهت شتاب می‌گیرد، حرکت او باعث افزایش اندازهٔ سرعت توپ و تند شونده شدن حرکت آن می‌شود و در مقابل دروازه‌بان برای کنترل توپ، خلاف جهت حرکت توپ به آن نیرو وارد کرده و شتابی مخالف جهت حرکت توپ به آن می‌دهد، این کار باعث کاهش سرعت توپ و حرکت کند شونده و در نهایت توقف توپ خواهد شد (شکل ۲-۱۸-ب).



الف) توپ فوتبال در لحظه شوت کردن توسط بازیکن حرکتش تندشونده است.

ب) متوقف کردن توپ توسط دروازه‌بان فوتبال یک حرکت کند شونده است.

شکل ۲ـ ۱۸ نمونه‌هایی از حرکت تندشونده و کندشونده

یکی از متداول‌ترین حرکت‌هایی که در طبیعت به‌صورت شتاب‌دار انجام می‌گیرد، حرکت با شتاب ثابت روی خط راست است، هرگاه بردار برایند نیروهای وارد بر یک جسم تغییر نکند، بردار شتاب نیز بدون تغییر باقی می‌ماند و حرکت با شتاب ثابت انجام خواهد گرفت. در این حالت سرعت به طور یکنواخت تغییر می‌کند، و مقدار شتاب در لحظه‌های مختلف حرکت یکسان است.

شکل ۲-۱۹ سقوط اجسام در نزدیکی سطح زمین یک حرکت با شتاب ثابت است، تقریباً در هر ثانیه به اندازه ۹/۸ متر بر ثانیه به سرعت اجسام افزوده می‌شود.

شتاب لحظه‌ای همان شتاب جسم در یک لحظه معین است که آن را با نماد a نمایش می‌دهیم. در حرکت شتاب ثابت روی خط راست، اندازهٔ شتاب متوسط و شتاب لحظه‌ای باهم برابر هستند.

یعنی:

$$a = \bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \qquad (۹-۲)$$

اگر در رابطهٔ ۲-۹ سرعت در لحظه شروع حرکت v_0 و t ثانیه پس از شروع حرکت برابر با v باشد، آنگاه برای شتاب حرکت چنین می‌توان نوشت:

$$a = \frac{v - v_0}{t} \qquad (۱۰-۲)$$

همچنین با کمی‌تغییر در رابطه ۲ـ۱۰ می‌توان معادلهٔ سرعت ـ زمان حرکت با شتاب ثابت را به شکل زیر نوشت:

$$v = at + v_0 \qquad (۱۱-۲)$$

مثال

شکل روبه‌رو بازی چوگان ایرانی را نشان می‌دهد، اگر توپ چوگان حرکت خود را با سرعت ۴ m/s و با شتاب ثابت $۱۰\,m/s^2$ آغاز کرده باشد، سرعت آن ۲s پس از شروع حرکت چقدر خواهد شد؟ برایند نیروهای وارد بر این توپ ۱۲۷g، چقدر است؟

پاسخ:

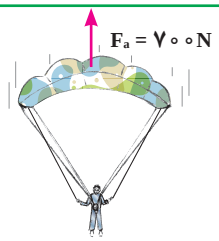
$$v = v_0 + at$$

$$\left.\begin{aligned} v_0 &= ۴\frac{m}{s} \\ a &= ۵\frac{m}{s^2} \end{aligned}\right\} \Rightarrow v = v_0 + at \Rightarrow v = ۴\frac{m}{s} + (۱۰\frac{m}{s^2})(۲s) = ۲۴\frac{m}{s}$$

$$m = ۱۲۷\cancel{g} \times \frac{۱kg}{۱۰^۳\cancel{g}} = ۱۲۷ \times ۱۰^{-۳}\,kg = ۱/۲۷ \times ۱۰^{-۱}\,kg$$

$$F = ma = ۱/۲۷ \times ۱۰^{-۱}\,kg \times ۱۰\frac{m}{s^2} = ۱/۲۷\frac{kg.m}{s^2} = ۱/۲۷N$$

تمرین کنید



جرم چتربازی به همراه تجهیزات برابر با $۸۰kg$ است، اگر نیروی مقاومت هوا در برابر حرکت چترباز در لحظه‌های اولیه سقوط برابر با $۷۰۰N$ باشد، شتاب تند شونده این چترباز را محاسبه کنید.

۲ـ۵ نیروهای کنش و واکنش

آیا تاکنون به حرکت قایق‌های پارویی درون آب دقت کرده‌اید؟ قایق سوار با پارو زدن به سمت عقب قایقش را به سمت جلو می‌راند و یا یک شناگر در حین شنا، آب را با دستان خود به عقب می‌راند درحالی‌که خود به سمت جلو حرکت می‌کند (شکل ۲-۲۰). در این نوع مثال‌ها و نمونه‌های مشابه با نیروهای کنش و واکنش سروکار داریم. با بررسی قانون سوم نیوتن می‌توانیم نیروهای کنش و واکنشی را که اجسام به همدیگر وارد می‌کنند بهتر بشناسیم و در بررسی حرکت از این قانون بهره ببریم.

الف) حرکت قایق‌های پارویی در آب

ب) حرکت شناگران در آب

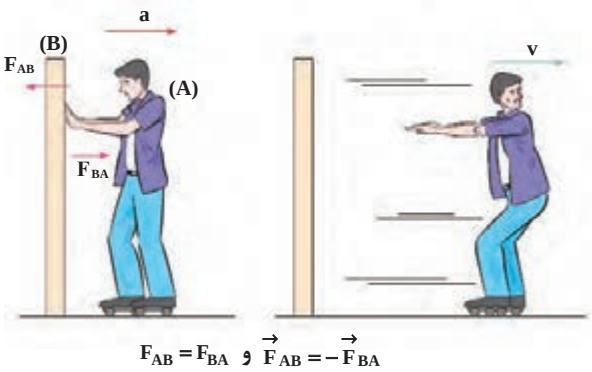
شکل ۲-۲۰ نمونه‌هایی از نیروهای کنش و واکنش

۲-۵-۱ قانون سوم نیوتن: هرگاه یک جسم نیرویی به جسم دیگر وارد کند، آن جسم نیز نیرویی به همان اندازه ولی در خلاف جهت به جسم اول وارد خواهد کرد.

وقتی روی کف اتاق قدم برمی‌دارید، با آن برهم‌کنش انجام می‌دهید، شما به کف اتاق و کف اتاق به شما نیرو وارد می‌کند، این جفت نیرو به طور هم‌زمان اعمال می‌شوند. تایرهای خودرو به کف خیابان نیرو وارد می‌کنند و کف خیابان هم به تایر به همان اندازه اما در خلاف جهت، نیرو وارد می‌کند.

برای تشخیص نیروهای کنش و واکنش از همدیگر در ابتدا بر هم کنش اجسامی را که به هم نیرو وارد می‌کنند تشخیص می‌دهیم، مثلاً هرگاه با دست خود به دیوار نیرو وارد می‌کنید، این برهم‌کنشِ بین دست شما و دیوار است.

دست شما به‌عنوان جسم A نیروی کنش را به دیوار، وارد می‌کند و دیوار به عنوان جسم B ، نیروی واکنش را به دست شما در جهت مخالف ولی به همان اندازه وارد خواهد کرد. در شکل ۲-۲۱ اسکیت باز نیرویی را به دیوار روبه‌روی خود وارد می‌کند، طبق قانون سوم نیوتن دیوار نیز همان نیرو را در جهت مخالف به اسکیت باز وارد خواهد کرد، نیروی وارد شده بر اسکیت باز به او شتاب می‌دهد، این کار باعث حرکت اسکیت باز به سمت عقب خواهد شد.



شکل ۲-۲۱ حرکت اسکیت باز به عقب بر اثر نیروی واکنش دیوار

نکته

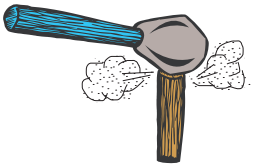
۱ـ انتخاب یک نیرو به عنوان کنش و دیگری به عنوان واکنش کاملاً اختیاری است.
۲ـ نیروهای کنش و واکنش به‌طور هم‌زمان به‌وجود می‌آیند و هم‌زمان نیز از بین می‌روند.
۳ـ نیروهای کنش و واکنش بر دو جسم مختلف اثر می‌کنند در نتیجه اثر یکدیگر را خنثی نمی‌کنند.

فکر کنید

چرا وقتی روی صندلی چرخ‌دار در پشت میز کار خود قرار دارید، با هل دادن میز کار، به سمت عقب حرکت می‌کنید؟

تمرین کنید

در شکل مقابل نیروهای کنش و واکنش را به صورت جداگانه رسم کنید.



فکر کنید

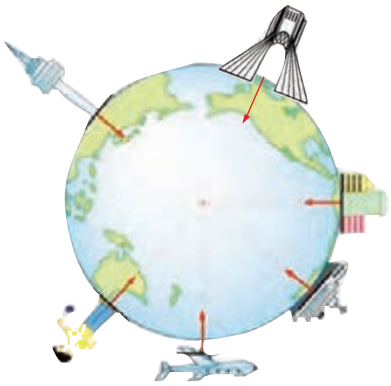
آیا هنگام شلیک توپ جنگی، نیروی وارد شده از طرف توپ جنگی به گلوله با نیروی وارد شده از طرف گلوله به توپ جنگی باهم برابرند؟ چرا شتاب حرکت توپ از شتاب حرکت گلوله کمتر است؟

۲ـ۶ معرفی چند نیرو

همان‌گونه که در ابتدای بحث گفته شد، نیرو نقش تعیین‌کننده‌ای در وضعیت حرکتی یک جسم دارد، به همین دلیل و در ادامه به معرفی برخی از مهم‌ترین نیروها می‌پردازیم.

۲-۶-۱ نیروی گرانش و نیروی وزن: به خوبی می‌دانیم که همه اجسام به سمت زمین جذب می‌شوند. نیروی جاذبه‌ای را که به وسیلهٔ زمین بر اشیا وارد می‌شود «نیروی گرانشی» زمین می‌نامیم. این نیرو به سمت مرکز زمین و بر سطح زمین عمود است. اندازهٔ این نیرو را وزن جسم می‌نامیم و آن را با نماد W نشان می‌دهیم.

کرهٔ زمین اجسام را با شتاب ثابت به سمت مرکز خود جذب می‌کند، مقدار این شتاب در نزدیکی سطح زمین تقریباً برابر $۹/۸\ \frac{N}{kg}$ است، این شتاب را با نماد g نمایش می‌دهند (شکل ۲-۲۲).



شکل ۲ـ۲۲ همه اجسام به سمت زمین جذب می‌شوند.

با قرار دادن شتاب گرانشی g و نیروی وزن W در رابطه ۲ـ۸ خواهیم داشت:

$$a = \frac{F}{m} \Rightarrow$$

$$g = \frac{W}{m} \Rightarrow W = mg \qquad (۱۲-۲)$$

مثال

شتاب گرانشی سیارات مختلف، به دلیل جرم و شعاع متفاوتی که دارند، متفاوت است برای مثال شتاب گرانشی در کره ماه تقریباً برابر با $۱/۶۶\frac{N}{kg}$ است. وزن یک فضانورد با تجهیزات را در کره زمین و ماه با هم مقایسه کنید. جرم فضانورد به همراه تجهیزات برابر $۱/۲\times۱۰^{۲}\,kg$ است.

وزن فضانورد در کرهٔ زمین برابر است با: $W = mg = ۱/۲\times۱۰^{۲}kg\times۹/۸\frac{N}{kg} = ۱/۱۷۶\times۱۰^{۳}\,N$

وزن فضانورد در کرهٔ ماه برابر است با : $W' = mg' = ۱/۲\times۱۰^{۲}kg\times۱/۶۶\frac{N}{kg} = ۱/۹۹۲\times۱۰^{۲}\,N$

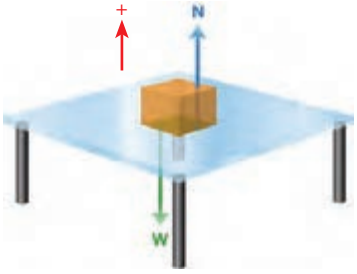
$$\frac{W'}{W} = \frac{۱/۹۹۲\times۱۰^{۲}\,\cancel{N}}{۱/۱۷۶\times۱۰^{۳}\,\cancel{N}} \cong \frac{۱}{۶}$$

وزن فضانورد در کرهٔ ماه تقریباً یک ششم وزن آن در کره زمین است.

فکر کنید

یک سـندان آهنگری را که جرم آن تقریباً ۶۰kg است، در نظر بگیرید. اگر به این سندان بر روی کره زمین با پا ضربه بزنیم، درد بیشتری احساس می‌کنیم یا بر روی کره ماه؟ دلیل خود را با مشورت با دوستان به کلاس ارائه دهید.

۲-۶-۲ نیروی عمودی تکیه‌گاه: جعبه‌ای را در نظر بگیرید که بدون حرکت روی میز قرار دارد، این جعبه در حال تعادل استاتیکی است. چه نیروهایی بر این جعبه اثر می‌گذارند؟ یکی از این نیروها به گرانش زمین مربوط است، یعنی همان نیروی وزن جعبه. اما چون جعبه در حال تعادل استاتیکی است نیروی دیگری به آن وارد می‌شود تا اثر نیروی وزن را خنثی کند. این نیرو را که میز به‌طور عمود بر جعبه وارد می‌کند، «نیروی عمودی تکیه‌گاه» می‌نامیم (شکل ۲ـ۲۳). در این صورت خواهیم داشت:



شکل ۲-۲۳ نیروی عمودی تکیه‌گاه

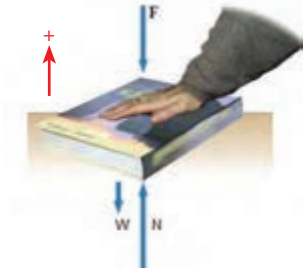
$$\overrightarrow{F_T} = ۰ \Rightarrow \overrightarrow{N} + \overrightarrow{W} = ۰ \quad \text{(برایند نیروهای وارد بر جعبه)}$$
$$N + (-W) = ۰ \Rightarrow N = W = mg \qquad (۱۳-۲)$$

در این حالت اندازه نیروی وزن و نیروی عمودی تکیه‌گاه باهم برابر هستند.

مثال

مطابق شکل کتاب روی میز قرار دارد و شخصی با دست خود به کتاب نیروی عمودی وارد می‌کند. نیروی عمودی تکیه‌گاه را در این حالت محاسبه کنید.

پاسخ: نیروهای وارد شده بر کتاب در شکل نمایش داده شده‌اند. F نیرویی است که دست شخص به طور عمودی بر کتاب وارد می‌کند. N نیروی عمودی‌ای است که تکیه‌گاه (میز) بر کتاب وارد می‌کند. W نیروی وزن کتاب است که از طرف زمین بر کتاب وارد می‌شود.



$$\overrightarrow{F_T} = 0 \Rightarrow \vec{N} + \vec{W} = 0$$
$$\Rightarrow N + (-F) + (-W) = 0 \Rightarrow N = F + W$$

در این حالت، اندازه نیروی عمودی تکیه‌گاه از نیروی گرانشی بیشتر است.

کاربرد در صنعت و فناوری

هنگامی که روی ترازوی فنری ایستاده‌اید و می‌خواهید وزن خود را اندازه بگیرید، دو نیرو به شما وارد خواهد شد. یکی نیروی گرانشی زمین (نیروی وزن) است، و دیگری نیروی تکیه‌گاه است که ترازوی فنری به شما وارد خواهد کرد.

نیروی عمودی تکیه‌گاه (N) را نیروی کنش فرض می‌کنیم و نیرویی که شما به ترازو وارد می‌کنید (N′)، نیروی واکنش خواهد بود. همین نیروی واکنش، فنر ترازو را فشرده می‌کند و ترازو اندازه نیروی عمودی تکیه‌گاه را که با نیروی وزن شما برابر است، نشان خواهد داد.

به شرطی نیروی عمودی تکیه‌گاه با وزن شما برابر است که روی ترازوی فنری بی‌حرکت ایستاده باشید و ضمناً به جسم دیگری تکیه نکرده باشید.

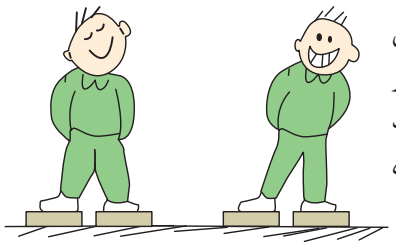
تجربه کنید

روی یک ترازوی فنری ساکن بایستید، وزن خود را اندازه بگیرید. سپس ترازو را به کنار میز ببرید و یک بار در حالی که به میز به طور عمودی و به سمت پایین نیرو وارد می‌کنید وزن خود را اندازه بگیرید و بار دیگر در حالی که به لبه میز به سمت بالا نیرو وارد کرده‌اید وزن خود را اندازه بگیرید. تفاوتی مشاهده می‌کنید؟

تحقیق کنید

آیا راهی وجود دارد که با آن بتوان با استفاده از خودِ ترازو، وزن ترازو را اندازه گرفت؟

آزمایش کنید



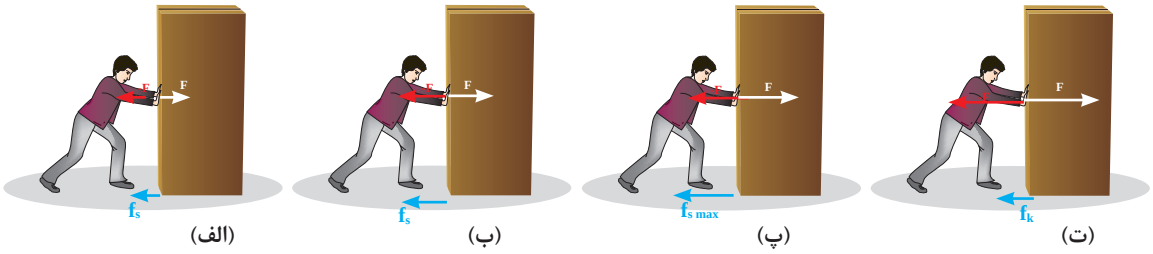
دو ترازوی فنری مهیا کنید و پای راست خود را روی یکی از آنها و پای چپ خود را روی ترازوی دیگر، مطابق شکل، قرار دهید. ترازوها چه عددی را نشان می‌دهند؟ اگر بیشتر وزن خود را روی پای چپ بیندازید، چه تغییری در اعداد نمایش داده شده می‌بینید؟ دلیل مشاهدات خود را توضیح دهید.

۲ـ۶ـ۳ نیروی اصطکاک: هرگاه جسمی بخواهد روی سطحی حرکت کند، همواره سطح در مقابل حرکت آن، مقاومت نشان می‌دهد. به این مقاومت سطح در مقابل حرکت جسم «نیروی اصطکاک» گفته‌می‌شود. این نیرو همواره با سطح‌هایی که روی هم مالش داده می‌شوند موازی است، و نقش مهمی را در حرکت اجسام دارد. در واقع نیروهای اصطکاک هستند که به ما امکان حرکت می‌دهند و چرخ‌های خودروها با کمک همین نیرو لیز نمی‌خورند و خودرو حرکت می‌کند. در شکل ۲-۲۴، اصطکاک بین صفحهٔ دستگاه برش و فلز به ایجاد گرمای شدید منجر می‌شود که سبب برش فلز می‌شود. همچنین از این نیرو می‌توان برای ایجاد آتش نیز استفاده نمود (شکل ۲-۲۵).

شکل ۲- ۲۴ قسمت‌هایی از فلز به دلیل اصطکاک هنگام برش ذوب و بریده می‌شوند.

شکل ۲-۲۵ از نیروی اصطکاک برای ساختن آتش استفاده می‌شود.

موقع هل دادن یک کمد سنگین روی کف اتاق، این نیرو را می‌توان حس کرد. شما برای حرکت دادن این کمد ابتدا نیرویی به آن وارد می‌کنید، این نیرو برای حرکت دادن کمد کافی نیست، چرا که به همان اندازه که شما برای هل دادن، نیرو به کمد وارد می‌کنید، کف اتاق نیروی اصطکاک را در جهت مخالف نیروی شما، به کمد وارد می‌کند و همچنان نیروی برایند وارد شده صفر بوده و کمد حرکت نمی‌کند. به این نیروی مقاوم، نیروی اصطکاک ایستایی می‌گوییم (شکل ۲-۲۶- الف). اما شما ناامید نمی‌شوید و نیروی بیشتری را وارد می‌کنید، باز هم کمد حرکت نمی‌کند، این بار نیروی اصطکاک کف اتاق بیشتر می‌شود تا با نیروی شما هم اندازه گردد (شکل ۲-۲۶- ب). اما مقاومت سطح در مقابل حرکت کمد ادامه‌دار نیست، و سرانجام شما نیروی وارد شده را به حدی می‌رسانید که کمد در آستانه حرکت قرار گیرد، در این حالت کف اتاق بیشترین مقاومت خود را در مقابل حرکت نشان داده است. به‌این نیرو «نیروی اصطکاک ایستایی بیشینه» یا «نیروی اصطکاک آستانه حرکت» می‌گوییم (شکل ۲-۲۶- پ). سرانجام با وارد کردن کمی‌نیروی بیشتر حرکت کمد در کف اتاق شروع می‌شود. اما هنوز هم هل دادن آن آسان نیست. اصطکاک در حال حرکت هم وجود دارد ولی دیگر به‌اندازهٔ حالت بیشینه، بزرگ نیست. کمد به حرکت خود ادامه می‌دهد، نیروی اصطکاک وارد شده در این حالت به کمد را نیروی اصطکاک جنبشی می‌نامیم (شکل ۲-۲۶- ت).



شکل ۲-۲۶ مراحل مختلف به حرکت در آوردن کمد در کف اتاق با وجود نیروی اصطکاک[1]

اندازه نیروی اصطکاک جنبشی و نیروی اصطکاک ایستایی بیشینه با اندازه نیروی عمودی (تکیه‌گاه) متناسب‌اند. نیروی اصطکاک ایستایی را با نماد f_s، نیروی اصطکاک ایستایی بیشینه را با نماد $f_{s\,max}$ و نیروی اصطکاک جنبشی را با نماد f_k نمایش می‌دهیم. تجربه نشان می‌دهد:

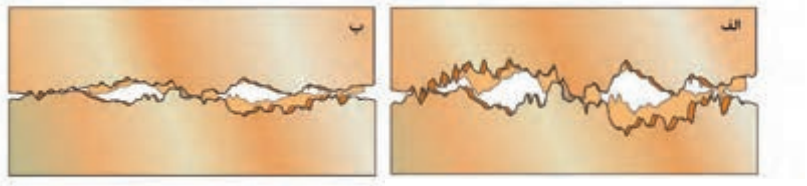
الف) جهت نیروی اصطکاک ایستایی بین جسم و سطح خلاف جهت برایند نیروی وارد بر جسم خواهد بود. **ب)** اندازه نیروی اصطکاک ایستایی برابر با اندازه نیرویی است که سعی دارد جسم را حرکت دهد و اندازهٔ آن همواره از نیروی اصطکاک ایستایی بیشینه کمتر است.

$$f_s \leq f_{s\,max} \qquad (۱۴-۲)$$

ج) اندازهٔ نیروی اصطکاک ایستایی بیشینه با اندازه نیروی عمودی تکیه‌گاه متناسب می‌شود. اندازه این نیرو از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود.

$$f_{s\,max} = \mu_s N \qquad (۱۵-۲)$$

در رابطهٔ ۲-۱۵ کمیت μ_s همان ضریب اصطکاک ایستایی است و N اندازهٔ نیروی تکیه‌گاه است. هر چه نیروی عمودی تکیه‌گاه بیشتر باشد، نیروی اصطکاک آستانه حرکت نیز بزرگ‌تر است (شکل ۲-۲۷).



شکل۲ـ۲۷ این شکل تأثیر نیروی عمودی تکیه‌گاه بر نیروی اصطکاک را نشان می‌دهد. در شکل الف نیروی عمودی تکیه‌گاه کمتر از شکل ب است و سطح تماس در مقیاس ریز کمتر بوده و نیروی اصطکاک کمتر است.

د) اندازه نیروی اصطکاک جنبشی بین دو سطح نیز با اندازهٔ نیروی عمودی تکیه‌گاه متناسب است و از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

$$f_k = \mu_k N \qquad (۱۶-۲)$$

μ_k را ضریب اصطکاک جنبشی می‌نامیم.

۱ـ به تغییر طول بردارها در هر شکل توجه کنید.

نکته

مقادیر μ_k و μ_s به ویژگی سطح‌هایی بستگی دارند که روی هم مالش داده می‌شوند و از مساحت سطح‌هایی که روی هم مالش داده می‌شوند مستقل هستند و در حالت مقدار μ_k از μ_s کوچک‌تر است.

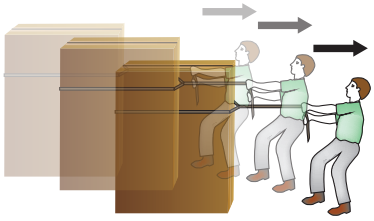
تمرین کنید

یکای ضریب اصطکاک جنبشی و ایستایی را به‌دست آورید.

فکر کنید

نیروی اصطکاک هنگام دویدن و قدم زدن چگونه است؟ در شکل، نیروهای وارد بر شخص را به هنگام راه رفتن رسم کنید.

مثال



اگر یک جعبهٔ چوبی به جرم ۱۲ کیلوگرم را با نیروی افقی ۳۰ نیوتن و با سرعت ثابت روی زمین بکشیم ضریب اصطکاک جنبشی بین جعبه و زمین چه اندازه خواهد بود؟

پاسخ: همان‌طور که در متن مثال آمده است، جعبه با سرعت ثابت حرکت می‌کند، پس در حال تعادل دینامیکی است. و برایند نیروهای وارد بر آن صفر خواهد بود.

$$F_{T_y} = N - W = N - mg = 0 \Rightarrow N = mg = 12kg \times 9/8 \frac{N}{kg} = 1/176 \times 10^3 N$$

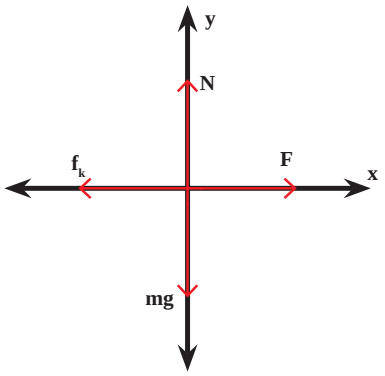
$$f_k = \mu_k N \qquad (1)$$

$$F_{T_x} = F - f_k = 0 \Rightarrow F = f_k \qquad (2)$$

$$1,2 \Rightarrow F = \mu_k N \Rightarrow \mu_k = \frac{F}{N} = \frac{30\cancel{N}}{1/176\cancel{N}} = 0/25$$

برایند نیروها روی محور xها: F_{T_x}

برایند نیروها روی محور yها: F_{T_y}

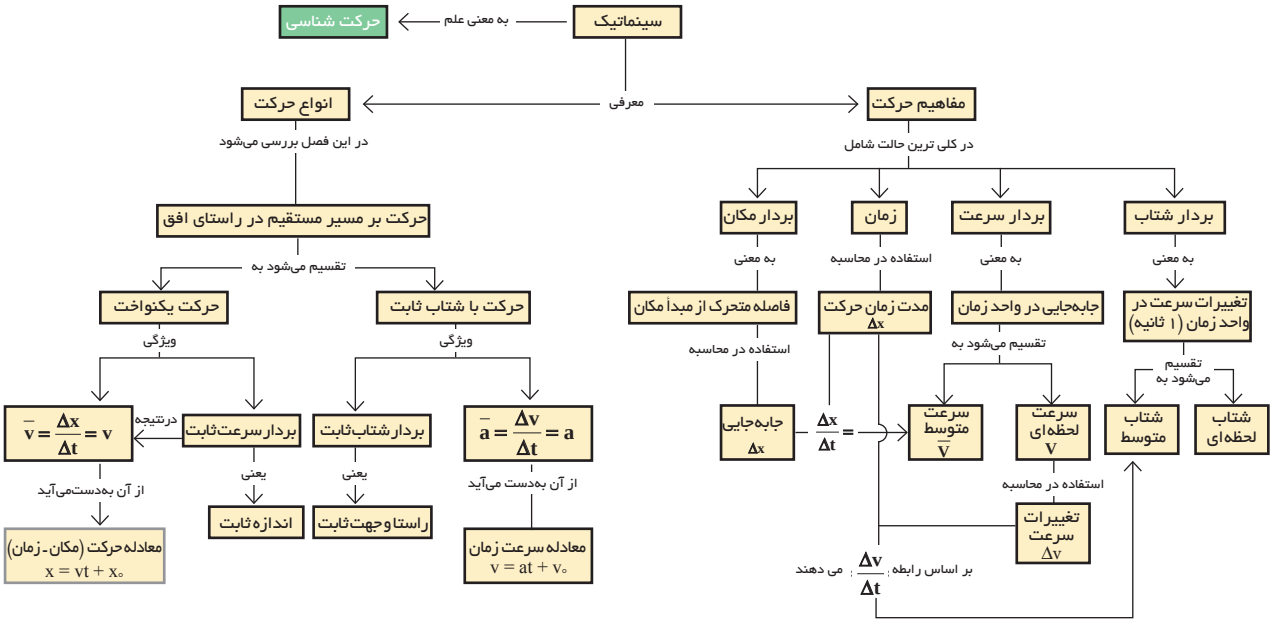


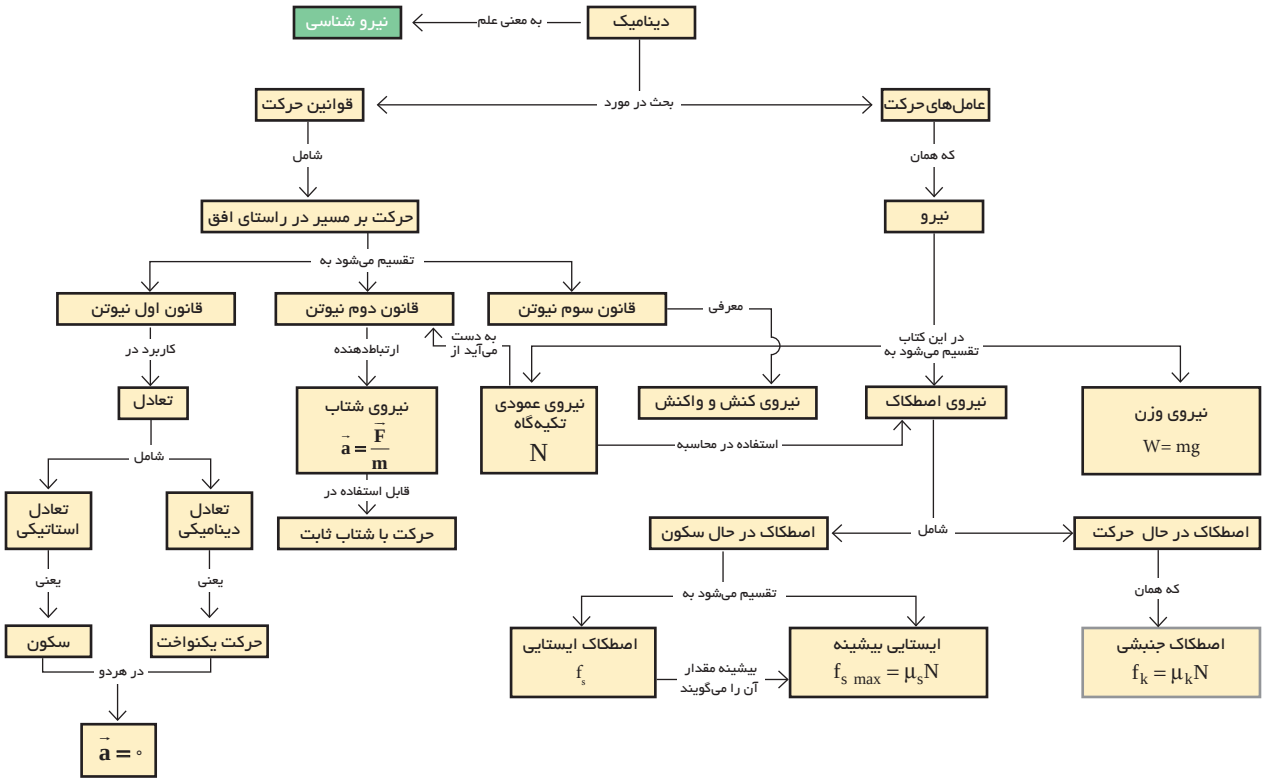
نمودار جسم آزاد

بیشتر بدانید

نمودار جسم آزاد (Free body diagram)

نمودار جسم آزاد یا نمودار نیرو، نماد تصویری است که معمولاً برای تحلیل نیروهای وارد شده بر یک جسم، توسط فیزیک‌دان‌ها و مهندسان به‌کار می‌رود. در رسم نمودار جسم آزاد در یک مسئله، کافی است تمامی نیروهای خارجی وارد بر جسم را در یک دستگاه مختصات و با حفظ جهت و اندازه آنها رسم کنیم.


سینماتیک
به معنی علم
حرکت شناسی
معرفی
مفاهیم حرکت
انواع حرکت
در این فصل بررسی می‌شود
در کلی ترین حالت شامل
بردار مکان
زمان
بردار سرعت
بردار شتاب
به معنی
استفاده در محاسبه
به معنی
به معنی
فاصله متحرک از مبدأ مکان
مدت زمان حرکت Δx
جابه‌جایی در واحد زمان
تغییرات سرعت در واحد زمان (۱ ثانیه)
استفاده در محاسبه
تقسیم می‌شود به
تقسیم می‌شود به
حرکت بر مسیر مستقیم در راستای افق
تقسیم می‌شود به
حرکت یکنواخت
حرکت با شتاب ثابت
ویژگی
ویژگی
جابه‌جایی Δx
Δx/Δt =
سرعت متوسط v̄
سرعت لحظه‌ای V
شتاب متوسط
شتاب لحظه‌ای
استفاده در محاسبه
تغییرات سرعت Δv
بر اساس رابطه Δv/Δt می دهند
v̄ = Δx/Δt = v
درنتیجه
بردار سرعت ثابت
بردار شتاب ثابت
a̅ = Δv/Δt = a
از آن به‌دست می‌آید
یعنی
یعنی
اندازه ثابت
راستا و جهت ثابت
از آن به‌دست می‌آید
معادله حرکت (مکان ـ زمان)
x = vt + x₀
معادله سرعت زمان
v = at + v₀


دینامیک
به معنی علم
نیرو شناسی
بحث در مورد
قوانین حرکت
عامل‌های حرکت
شامل
که همان
حرکت بر مسیر در راستای افق
نیرو
تقسیم می‌شود به
قانون اول نیوتن
قانون دوم نیوتن
قانون سوم نیوتن
معرفی
کاربرد در
ارتباط‌دهنده
به دست می‌آید از
در این کتاب تقسیم می‌شود به
تعادل
نیروی شتاب a = F/m
نیروی عمودی تکیه‌گاه N
نیروی کشش و واکنش
نیروی اصطکاک
نیروی وزن W = mg
شامل
قابل استفاده در
استفاده در محاسبه
تعادل استاتیکی
تعادل دینامیکی
حرکت با شتاب ثابت
اصطکاک در حال سکون
شامل
اصطکاک در حال حرکت
یعنی
یعنی
تقسیم می‌شود به
که همان
سکون
حرکت یکنواخت
اصطکاک ایستایی fs
بیشینه مقدار آن را می‌گویند
ایستایی بیشینه fs max = μsN
اصطکاک جنبشی fk = μkN
در هردو
a = ۰

چندپرسش

۱ــ هدف از رسم نمودار مسیر چیست؟ چگونه می‌توان از نمودار مسیر برای بررسی حرکت استفاده کرد؟

۲ــ چه تفاوتی بین کمیت‌های فیزیکی مکان، مسافت و جابه‌جایی وجود دارد؟

۳ــ حرکت یک چترباز را در اثر نیروهای وارد بر آن در حالت‌های زیر توصیف کنید:

الف) از لحظه پرش به بیرون از هواپیما تا قبل از باز کردن چتر

ب) پس از باز کردن چتر

۴ــ شکل مقابل دو جعبهٔ ساکن را نشان می‌دهد که روی میز قرار دارند. نیروهای وارد بر جعبه‌ها و میز را به طور جداگانه رسم کنید و سپس جسم‌ها را بر حسب نیروی عمودی تکیه‌گاه وارد بر آنها مرتب کنید.

۵ــ در شکل روبه‌رو صحنه برخورد دو خودرو را مشاهده می‌کنید، نیروی وارد شده از طرف خودروی A به B بیشتر است یا نیروی وارد شده از طرف خودرو B به A؟ علت پاسخ خود را شرح دهید.

۶ــ اسب درشکه را روی سطح افقی می‌کشد، و درشکه شتاب می‌گیرد، طبق قانون سوم نیوتن درشکه هم نیرویی برابر و در خلاف جهت به اسب وارد می‌کند. پس چرا درشکه شتاب می‌گیرد؟ آیا برایند نیروها در این حالت صفر نیست؟

چندمسئله

۱ــ شما و دوستتان هر کدام قصد دارید مسافت ۵۰ km رانندگی کنید. شما با سرعت ۹۰ km/h و دوستتان با سرعت ۹۵km/h رانندگی می‌کند. چه مدت دوست شما باید صبر کند تا شما نیز به پایان مسیر سفر خود برسید؟

۲ــ دوچرخه سواری با سرعت ثابت ۵m/s و از ۲۵۰ m مبدأ مکان، شروع به حرکت می‌کند.

الف) مکان دوچرخه را در پایان ۶۰s اول حرکت مشخص کنید.

ب) جابه‌جایی از $t_1 = 0$ تا $t_2 = 60s$ چقدر بوده است؟

۳ــ شکل زیر قسمتی از مسیر حرکت یک خودرو را در جاده‌ای مستقیم با تقسیمات زمانی ۲s نشان می‌دهد. در چه لحظه‌ای این خودرو به ۲۲۰m مبدأ می‌رسد؟ فاصله نقاط ۶۰ متر است.

۴ــ خودرویی به جرم ۸۷۳kg از حالت سکون شروع به حرکت می‌کند و بعد از ۰/۵۹s سرعتش به ۲۶/۳ m/s می‌رسد. شتاب حرکت خودرو ثابت است. بزرگی نیروی برایند که در این مدت به خودرو وارد می‌شود چقدر است؟

۵ــ یک بالگرد به جرم ۴۵۰۰kg با شتاب ۲ m/s^2 در حال بلند شدن از سطح زمین است. نیروی بالا برنده این بالگرد چقدر است؟ از مقاومت هوا صرف نظر کنید.

۶ــ جسمی به جرم ۵۰kg بر روی سطح پوشیده از برف به صورت افقی کشیده می‌شود. اگر ضریب اصطکاک ایستایی ۰/۳ و ضریب اصطکاک جنبشی ۰/۱ باشد.

الف) اندازه نیروی وزن جسم چند نیوتن است؟
ب) چه اندازه نیرو لازم است تا جسم شروع به حرکت کند؟
پ) چه اندازه نیرو لازم است تا جسم با سرعت ثابت حرکت کند؟
ت) در هنگام حرکت، نیروی افقی وارد بر جسم چقدر باشد تا شتاب آن ۳m/s^2 شود؟

۷ــ در شکل زیر، دو ورزشکار قایق‌ران را می‌بینید، که جرم یکی از آنها ۷۰kg و جرم دیگر ۷۵kg می‌باشد. قایق‌رانی که در جلو نشسته می‌تواند با پارو زدن به‌اندازه ۴۰۰N و قایق رانی که در عقب قایق نشسته می‌تواند با پارو زدن ۴۲۰N نیرو را برای جلو بردن قایق به آب وارد کند. اگر جرم این قایق کانو ۲۰kg بوده و نیروی مقاومت آب در مقابل حرکت آن ۳۸۰N باشد، شتاب اولیهٔ این قایق را محاسبه کنید.

پروژهٔ پایانی

با استفاده از نرم‌افزار video point که در لوح فشرده همراه کتاب موجود است و آموخته‌های این فصل مقدار تقریبی ضریب اصطکاک بین لاستیک خودرو و کف خیابان را محاسبه کنید. برای این کار از دبیر خود کمک بگیرید.

فصل سوم

حالت‌های ماده و فشار

چـرا بـسیاری از کوهـنوردان در ارتفاع زیاد (معمولاً بیشتر از ۵۰۰۰ متر) ناچار به استفاده از کپسول اکسیژن می‌شوند؟

حالت‌های ماده

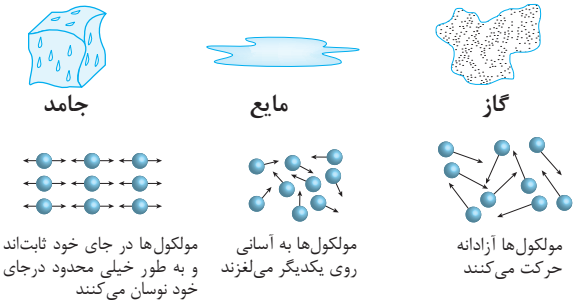
مفهوم جرم، حجم و چگالی

مفهوم فشار و ارتباط آن با نیرو

فشار در شاره‌ها

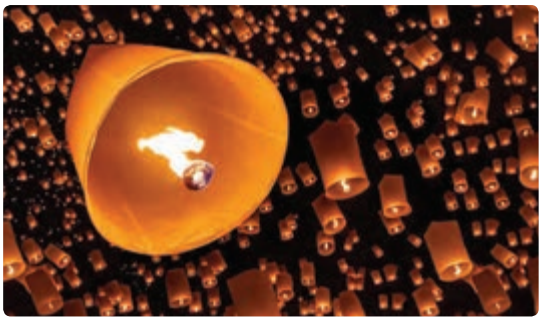
اصل پاسکال

در کتاب علوم تجربی پایهٔ نهم، با برخی پدیده‌هایی که به موضوع فشار مربوط می‌شود آشنا شده‌اید. در این فصل هم با طرح پرسش‌های دیگر (شکل ۳-۱)، ابتدا به حالت‌های مختلف مواد، با توجه به میزان تراکم‌پذیری و چگالی آنها، پرداخته می‌شود. سپس پدیده‌ها و مثال‌های دیگری درباره فشار، با کمی دقت بیشتر، مورد بررسی قرار می‌گیرد.



الف) ویژگی‌های مواد در حالت‌های مختلف جامد، مایع و گاز چگونه است؟

پ) چرا در قله‌های مرتفع کوه نفس کشیدن دشوارتر از سطح زمین است؟



ب)چرا بالن هوای داغ به سمت بالا می‌رود؟

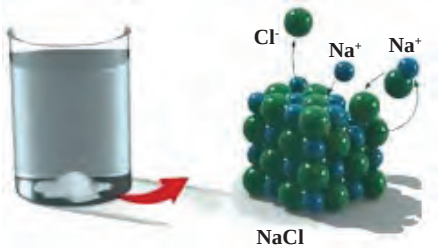
ت) اصل پاسکال چگونه برای بالابرها کاربرد دارد؟

شکل ۳-۱ پرسش‌هایی که در این فصل بررسی خواهند شد

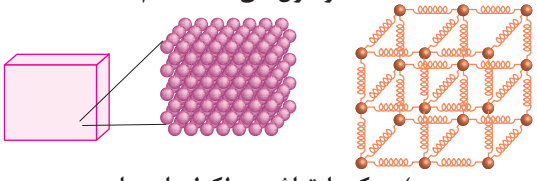
۳ ـ ۱ حالت‌های مختلف ماده

الف)حالت جامد: در اجسام جامد فاصلهٔ مولکول‌ها از یکدیگر (درحدود یک آنگستروم یا $(1\text{Å}=10^{-10}\text{m})$ مانند فاصلهٔ مولکول‌ها در حالتِ مایع است. در این حالت فاصلهٔ مولکول‌ها بسیار کمتر از فاصلهٔ مولکول‌ها در حالت گاز است (شکل ۳-۲ الف).

مولکول‌های جامد به‌دلیل نیروی بین مولکولی قوی درجای خود قرار دارند و تنها در محل خود دارای حرکت رفت‌وبرگشت (نوسانی) هستند، به‌همین دلیل تراکم‌پذیر نیستند و حجم و شکل معینی دارند (شکل ۳ـ۲ ب).

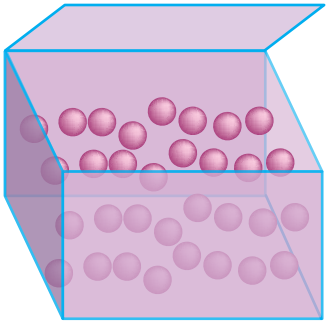


الف) مولکول‌های نمک طعام



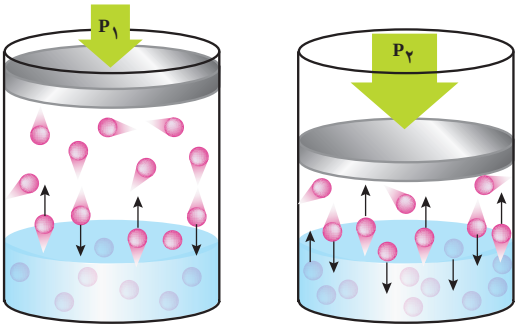
ب) حرکت ارتعاشی مولکول‌های جامد

شکل ۳-۲ حالت جامد



شکل ۳ـ۳ حالت مایع

ب)حالت مایع: فاصلهٔ بین مولکول‌های مایع کمی از فاصله بین آنها در حالت جامد بیشتر است، این فاصله نیز تقریباً یک آنگستروم ($1\text{Å} = 10^{-10}\text{m}$) است. به‌دلیل کاهش نیروی بین مولکولی در مایعات، مولکول‌ها روی یکدیگر و درون مایع می‌لغزند و حرکت می‌کنند. مایعات به شکل ظرف خود در می‌آیند و تقریباً تراکم‌ناپذیرند (شکل ۳ـ۳).



شکل ۳-۴ حالت گاز

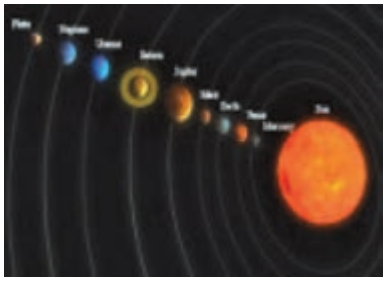
ج)حالت گاز: فاصلهٔ بین مولکول‌ها در فاز گاز، آن‌قدر زیاد می‌شود که نیروی بین مولکولی از بین می‌رود، در نتیجه مولکول‌ها آزادانه به‌اطراف درحرکت‌اند و با یکدیگر و با دیوارهٔ ظرف خود برخورد می‌کنند. گازها شکل ثابت و حجم معینی ندارند و همواره تمام حجم ظرف خود را اشغال می‌کنند بنابراین حجم گاز برابر حجم ظرف است (شکل ۳-۴).

فکر کنید

چرا متراکم کردن یک بطریِ پلاستیکی دربستهٔ پر از هوا، ساده‌تر از متراکم کردنِ یک بطری پلاستیکی دربسته محتویِ آب است؟

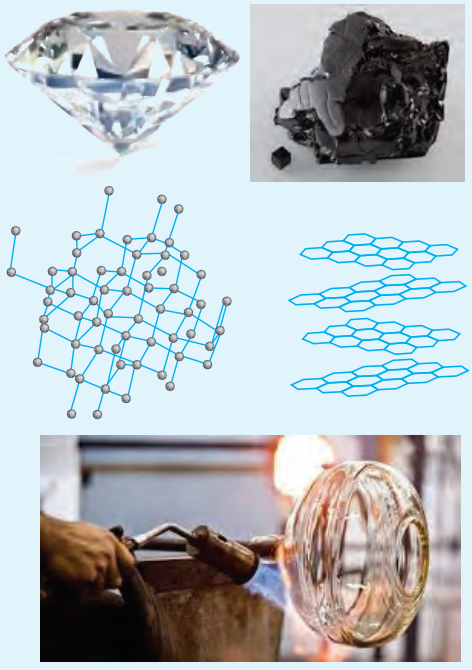
کاربرد در صنعت و فناوری : حالت چهارم «پلاسما»

وقتی گازی تا دماهای بالا گرم می‌شود، بسیاری از الکترون‌هایی که هر اتم را احاطه کرده‌اند، از هسته آزاد می‌شوند. این حالت که مجموعه‌ای از ذرات، بار الکتریکی دارند (مقادیر مساوی الکترون‌های بار منفی و یون‌های بار مثبت) پلاسما نامیده می‌شود. (شعلهٔ آتش، درون ستارگان و اطراف آنها، گاز داخل یک لامپ نئون، چاقوی پلاسما، دستگاه برشِ «CNC» و ... گونه‌هایی از پلاسما و کاربرد آن هستند).



بیشتر بدانید

انواع جامدات



الف) جامد بلورین یا کریستال: هرگاه مایعی را به آرامی سرد کنیم تا به جامد تبدیل شود ، مولکول‌هایش برای قرار گرفتن در یک طرح منظم زمان لازم را دارند و جامد بلورین تشکیل می‌شود. فلزات، نمک‌ها و الماس از این نوع جامدات به‌شمار می‌روند.

ب) جامد بی‌شکل: هرگاه یک مایع را به‌سرعت سرد کنیم تا به جامد تبدیل شود، مولکول‌های آن برای قرار گرفتن در یک طرح منظم زمان لازم را ندارد و جامد بی‌شکل تشکیل می‌شود. شیشه از این نوع جامدات است.

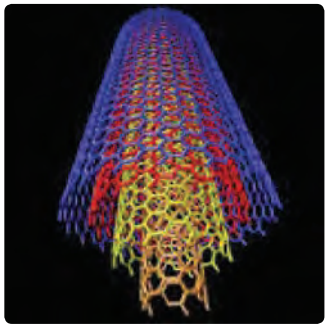
جامدهای بی‌شکل مثل شیشه و قیر، که «آمورف» نامیده می‌شوند، در پیوندهایشان ساختارهای مولکولی طولانی و منظم وجود ندارد و حالت‌شان به هنگام ذوب یا انجماد تغییر نمی‌کند و فقط سفت یا شل می‌شوند.

تجربه کنید

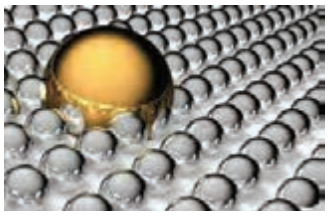
مقداری جوهر را درون لیوان محتوی آب بریزید. مقداری افشانهٔ خوشبوکننده نیز درون هوای اتاق پخش کنید. الف) مشاهدهٔ خود را شرح دهید. ب) از پدیده‌های اشاره شده، که پخش نام دارند، در مورد حرکت مولکول‌ها چه نتیجه‌ای می‌توان گرفت؟

۳ـ۲ مواد در مقیاس نانو

علم و فناوری نانو، توانایی در اختیار گرفتن ماده در ابعاد نانو (۵ تا ۱۰ اتم در کنار هم تقریباً به طول ۱ نانومتر هستند) و بهره‌برداری از خواص جدید فیزیکی و شیمیایی این بُعد از مواد در ابزارها و دستگاه‌های نوین است (شکل ۳-۵). در واقع فناوری نانو به معنی انجام مهندسی مواد در ابعاد اتمی ـ مولکولی و در نتیجه ساخت موادی با خواص متفاوت در ابعاد نانو است. به بیان دیگر اگر ماده‌ای را تا حد یک دانه شکر کوچک کنیم، خواص آن تقریباً مشابه همان ماده اولیه است؛ اما وقتی میزان کوچک‌تر شدن (حتی فقط در یک بعد از سه بعدش) به ابعاد نانومتری برسد، خواص ماده به گونه‌ای تغییر می‌کند که دیگر قوانین معمولی فیزیک خواص آن را توجیه نمی‌کند زیرا این تغییرات می‌تواند شامل تغییر رنگ، شفافیت، واکنش‌پذیری و خواص مغناطیسی و... باشد؛ مثلاً رنگ نانو ذرات طلا می‌تواند آبی، زرد یا قرمز باشد (شکل ۳ـ۶) و یا نقطه ذوب قطعهٔ نانویی طلا ۴۲۷°C است، در صورتی که نقطه ذوب طلای معمولی ۱۰۶۲°C است.



الف) نانو لوله کربنی



ب) نظم اتمی در ساختار نانویی

شکل ۳-۵ مواد در ابعاد نانو

تحقیق کنید

یکی از ویژگی‌های مهم علم نانو میان رشته‌ای بودن آن است. تحقیق کنید آیا در رشته تحصیلی شما، این علم کاربردی دارد؟ نمونه‌ای از آن را، به کلاس ارائه دهید.

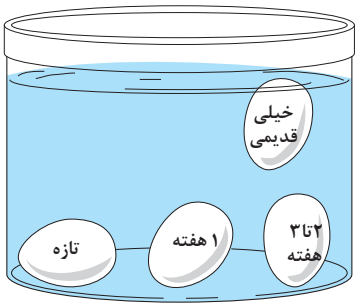
شکل ۳-۶ رنگ نانو ذرات طلا

۳ـ۳ چگالی

تجربه کنید

یک عدد تخم مرغ را درون لیوانی با آب معمولی بیندازید و بار دیگر همین تخم مرغ را در داخل لیوانی که آب آن با دو قاشق سوپ خوری از نمک شور شده است، بیندازید. در این دو حالت چه تفاوتی مشاهده می‌کنید؟ چه دلیلی برای آن می‌توان مطرح کرد؟

در کتاب علوم تجربی پایهٔ هفتم، نسبت جرم به حجم چند جسم را محاسبه کردید و با مفهوم چگالی آشنا شدید. همچنین دیدید هنگامی که چند جسم مختلف در داخل آب قرار داده می‌شوند، چه اتفاقی می‌افتد (شکل ۳-۷). در این بخش نیز بیشتر با این مفهوم آشنا خواهید شد.



الف) استفاده از مفهوم چگالی در تشخیص میزان تازگی تخم مرغ

ب) تفاوت محل قرارگیری چوب پنبه و آهن در داخل آب

شکل ۳-۷ تصویر اجسام مختلف در داخل آب

مفهوم و رابطهٔ چگالی: یکی از ویژگی‌های فیزیکی هر ماده در همهٔ فازها (جامد، مایع، گاز) چگالی است. جرم اتم‌ها و فاصلهٔ بین آنها (حجم یافضای اشغال شده) دریک ماده، چگالی آن را تعیین می‌کند. چگالی معیاری از تراکم ماده و مقدارِ جِرمی است که درفضایی مشخص وجود دارد. نسبت جرم (با نماد m) به حجم (با نماد V) هرجسمی را چگالیِ (بانماد ρ) آن جسم می‌نامند.

$$\rho = \frac{m}{V} \qquad (۱-۳)$$

نکته

یکای چگالی در SI، با توجه به رابطهٔ (۳-۱)، کیلوگرم برمترمکعب ($\frac{kg}{m^3}$) است.

چگالی نسبی: نسبت چگالی یک جسم به چگالی جسم دیگر، چگالی نسبی نامیده می‌شود و کمّیتی بدون یکا است. معمولاً چگالی جامدات و مایعات را با چگالی آب خالص ($4^\circ C$) مقایسه می‌کنند و چگالی گازها را با چگالی هوا مقایسه می‌کنند.

$$d = \frac{\rho_2}{\rho_1} \qquad (۲-۳)$$

درمایعی با مواد مخلوط نشدنی، اجسام با چگالی بیشتر پایین‌تر از اجسام با چگالی کمتر، قرار می‌گیرند. به همین دلیل از آنجا که چگالی آب ($4^\circ C$) برابر $1\ \frac{g}{cm^3}$ است، هرجسم با چگالی کمتر از آن روی آب شناور می‌شود. مطابق شکل ۳-۸ روغن به‌دلیل چگالی کمتر از آب، روی آب قرار می‌گیرد.

شکل ۳-۸ شناوری روغن بر روی آب

بیشتر بدانید

چگالی مخلوط یا آلیاژ

اگر دو یا چند جسم را با جرم‌های m_1 ، m_2 و ... و حجم‌های V_1 ، V_2 و ...، با هم مخلوط کنیم و هنگام مخلوط شدن کاهش حجمی رخ ندهد، چگالی مخلوط از رابطهٔ زیر به دست می‌آید:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m_1 + m_2 + \dots}{V_1 + V_2 + \dots}$$

فکر کنید

چرا ورزشکاران درهنگام استراحت‌های کوتاه، باید به‌جای آب از نوشیدنی‌های معدنی ویژه استفاده کنند؟

فکر کنید

در یک آزمایش تشخیص طبی، قند خون ناشتای شخصی ($\frac{\text{میلی‌گرم}}{\text{دسی‌لیتر}}$) $\frac{mg}{dlit}$ ۷۸ است. مفهوم این نتیجه آزمایش چیست؟

جدول ۳-۱ چگالی چند ماده مختلف در فشار یک اتمسفر برحسب ($\frac{kg}{m^3}$)

جامد	چگالی	مایع	چگالی	گاز(در دمای $20^\circ C$)	چگالی
طلا	۱۹۳۲۰	جیوه	۱۳۶۰۰	کلر	۲/۹۹۴
سرب	۱۱۳۰۰	گلیسیرین	۱۲۶۰	کربن دی اکسید	۱/۹۸
مس	۸۹۰۰	خون	۱۰۵۰	کربن مونو اکسید	۱/۴۶۵
فولاد	۷۹۰۰	چدن مذاب	۶۸۰۰	اکسیژن	۱/۴۳
آلومینیوم	۲۷۰۰	آب در $4^\circ C$	۱۰۰۰	هوا	۱/۲۹
پودرسیمان	۱۸۰۰	آلومینیوم مذاب	۲۳۵۰	آمونیاک	۰/۷۷
یخ	۹۲۰	روغن ذرت	۹۰۰	متان	۰/۶۶۸
چوب گردو	۶۵۰	نفت	۸۳۰	هلیم	۰/۱۶۶
چوب پنبه	۲۵۰	الکل	۸۰۰	هیدروژن	۰/۰۸۹

مثال

حجم بتن مصرفی در یک ستون ۲/۵ مترمکعب است. اگرچگالی آن $۲/۴\times۱۰^{۳}\ \frac{kg}{m^{۳}}$ باشد، وزن این ستون چند نیوتن است؟ $(g=۱۰\frac{N}{kg})$

پاسخ: از رابطهٔ ۳-۱داریم:

$$\rho=\frac{m}{V}$$

$$۲/۴\times۱۰^{۳}\ \frac{kg}{m^{۳}}=\frac{m}{۲/۵m^{۳}}\Rightarrow m=۲/۵\cancel{m^{۳}}\times۲/۴\times۱۰^{۳}\ \frac{kg}{\cancel{m^{۳}}}=۶\times۱۰^{۳}\ kg$$

$$\Rightarrow W=mg=۶\times۱۰^{۳}\ \cancel{kg}\times۱۰\frac{N}{\cancel{kg}}=۶\times۱۰^{۴}\ N$$

تمرین کنید

الف) چگالی چوب‌پنبه و مس را، با توجه به مقادیر جدول ۳-۱، برحسب $(\frac{g}{cm^{۳}})$ محاسبه کنید.

ب) حجم ۱kg چوب‌پنبه بیشتر است یا ۱kg مس؟

پ) جرم $۱cm^{۳}$ چوب‌پنبه بیشتر است یا $۱cm^{۳}$ مس؟

تمرین کنید

درون یک بوتهٔ ذوب فلزات ۲۴/۲kg از آلومینیوم مذاب پرشده است. با توجه به جدول ۳-۱ تعیین کنید:

الف) حجم داخلی این بوته بر حسب دسی‌متر مکعب

ب) در این بوته به‌جای آلومینیوم مذاب چند کیلوگرم چدن مذاب جای می‌گیرد؟

پ) اگر تمام آلومینیوم مذاب در داخل یک قالب ریخته شود، حجم آن پس از سرد شدن چند $cm^{۳}$ خواهد شد؟

۳ـ۴ مفهوم فشار

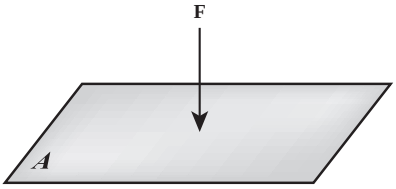
شاید کاربرد پمپ را در منازل، به ویژه در آپارتمان‌ها دیده باشید، یا وقتی دهانهٔ لوله خروجی هوای یک تلمبه دستی دوچرخه را می‌بندید و پیستون تلمبه را به سمت داخل می‌برید، فشار هوای محبوس در تلمبه را احساس کرده باشید. در شکل ۳-۹ هر چه سطح تماس فرد با میخ‌ها بیشتر باشد، اثر میخ‌ها را کمتر احساس می‌کند. این مثال‌ها کفایت می‌کند تا مفهوم فشار و تفاوتش با نیرو را به‌خوبی درک کنیم.

شکل ۳-۹ ارتباط فشار و سطح

تجربه کنید

در یک تخته با ابعاد (۱۰cm و ۱۰cm) به فاصلهٔ هر سانتی‌متر میخ‌هایی وارد کنید. سپس بادکنکی را باد کرده و بر میخ‌ها فشار دهید. این حالت را با حالتی که فقط یک میخ به بادکنک فشار می‌آورد، مقایسه کنید. چه تفاوتی مشاهده می‌شود؟ با توجه به مثال‌ها و تجربه بالا، عوامل مؤثر بر فشار را بررسی کنید.

در درس علوم تجربی پایه نهم دیدید که جامدها بر سطح تکیه‌گاه خود و شاره‌ها بر دیوارهٔ ظرفشان و بر سطح هر جسمی‌که در داخل آنها قرارگیرد، فشار وارد می‌کنند. فشار برابر است با بزرگی نیرویی که عمود بر یکای سطح وارد می‌شود.



$$P = \frac{F}{A} \qquad \left(\frac{N}{m^2}\right) \qquad (۳_۳)$$

در این رابطه، F نیروی عمودی از طرف جسم جامد، و یا شاره برحسب نیوتن (N) و A مساحت سطح تماس بر حسب مترمربع (m^2) است.

فشار کمیتی نرده‌ای و فرعی با یکای پاسکال (Pa) است. یعنی یک پاسکال برابر با نیروی عمودی ۱N وارد بر سطح $1m^2$ است که برای اندازه‌گیری فشارهای بسیارکم از آن استفاده می‌شود؛ مثلاً فشار یک برگ اسکناس روی میز، حدود یک پاسکال است. در این فصل با واحدهای بزرگ‌تر، که در صنعت نیز کاربرد دارند، آشنا خواهید شد.

مثال

فشار هوای درون یک هواپیمای مسافربری در ارتفاع $۷/۵\times۱۰^۳ m$ از سطح دریا، تقریباً ۰/۴ اتمسفر از فشار هوای بیرون آن، بیشتر است. در این‌صورت چه نیرویی برحسب نیوتن به هر پنجره (۳۰cm × ۳۰cm) آن وارد می‌شود؟ ($1atm \cong ۱۰^۵Pa$)

پاسخ: بیشتر بودن فشار هوای درون هواپیما نسبت به بیرون آن عامل وارد شدن نیرویی به درها و پنجره‌های آن از داخل هواپیما می‌شود، و براساس رابطه (۳ـ۳) این نیرو برابر است با:

$A = ۳۰cm \times ۳۰cm = ۹\times۱۰^۲cm^۲ = ۹\times۱۰^۲\times۱۰^{-۴}m^۲ = ۹\times۱۰^{-۲}m^۲$

$P = ۰/۴atm = ۰/۴\times ۱۰^۵Pa$

$F = P \times A = ۰/۴ \times ۱۰^۵Pa \times ۹ \times ۱۰^{-۲} m^۲ = ۳/۶\times۱۰^۳ N$

تحقیق کنید

حادثه‌ای که در عکس مشاهده می‌کنید، در آوریل سال ۱۹۸۸ میلادی، وقتی هواپیمای بویینگ ۷۳۷ در ارتفاع $۷/۳\times۱۰^۳$ متری، پرواز می‌کرد، رخ داده است، تحقیق کنید که این حادثه، به چه علت رخ داده و چه ارتباطی با مفهوم فشار داشته است؟

۳ـ۵ فشار شاره‌ها

در بخش اول این فصل اشاره شد، شاره‌ها حتی اگر ساکن هم باشند، مولکول‌های آنها در حرکت‌اند و همین برخورد مولکول‌ها به اطراف خود، سبب به‌وجود آمدن نیروی شاره می‌گردد. این نیرو نیز عامل به‌وجودآورندهٔ فشار است، که مقدارش بر هر سطح فرضی درون شاره، از رابطهٔ (۳ـ۳) قابل محاسبه است.

در این بخش، ابتدا با فشار در مایعات آشنا می‌شوید، سپس با توجه به ویژگی مشترک شاره‌ها، می‌توانید فشار درگازها را نیز بررسی کنید.

تجربه کنید

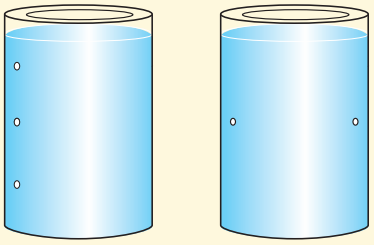
۱ـ دو بطری آب معدنی خالی را تهیه کنید. سه سوراخ کوچک در نقاط هم ارتفاع سه طرف بطری آب معدنی خالی اول و سه سوراخ دیگر در سه نقطهٔ هم راستا با ارتفاع متفاوت از بطری آب معدنی خالی دوم ایجاد کنید. سپس در هرکدام آب بریزید و نقاط بالای آنها را بفشارید.

الف) سرعت و فاصلهٔ افقی آب خارج شدهٔ سه سوراخِ هم ارتفاع بطری اول چه ارتباطی با هم دارند؟

ب) سرعت و فاصله افقی آب خارج شدهٔ سه سوراخ در نقاط با ارتفاع مختلف بطری دوم چه ارتباطی با هم دارند؟

ج) با فشار دادن نقاط بالای هرکدام از بطری‌ها، مشاهدهٔ خود را با ذکر دلیل شرح دهید.

۲ـ این فعالیت را با مایعی که چگالی متفاوت با آب دارد تکرار کنید و به سؤالات بالا در این حالت نیز پاسخ دهید.



ابوریحان بیرونی

فیزیک‌دان (طبیعی‌دان) مسلمان هم‌عصر ابن‌سینا، ابوریحان محمّد بیرونی از دانشمندان بزرگ اسلامی است.

او در علم فیزیک به‌خصوص در مباحث حرکت و تعادل شاره‌ها شهرت یافت. بیرونی با امکانات محدود آن زمان توانست اختلاف چگالی آب در دماهای مختلف را دریابد. او در کتاب «الآثارالباقیه عن القرون الخالیه» به بحث از تعادل شاره‌ها و نیز شرح پدیده‌هایی که مبتنی بر فشار شاره‌ها و توازن و تعادل آنهاست پرداخته است.

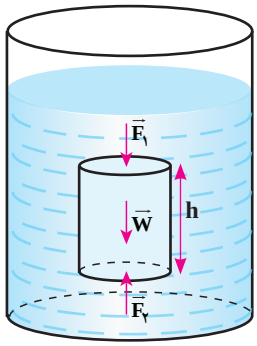
۳ـ۵ـ۱ محاسبه اختلاف فشار دو نقطه در مایع ساکن:

همانند شکل ۳-۱۰ در ظرفی محتوی مایع ساکن با چگالی ρ، یک استوانهٔ فرضی به ارتفاع h و مساحت قاعده A در نظر می‌گیریم. با توجه به تعادل مایع، برایند نیروهای وارد بر این استوانه در راستای قائم (و هر راستای دلخواه) یعنی وزنش (W) و نیروها F_1 و F_2، که از پایین و بالا از طرف مایع زیرین و رویی این استوانه بر آن وارد می‌شوند، صفر است. بر مبنای آنچه از برایند بردارها در فصل اول آموخته‌اید می‌توان نوشت:

$$\sum F_y = 0 \rightarrow F_2 - F_1 - W = 0$$

$$\xrightarrow{W=mg=(\rho V)g=(\rho Ah)g} P_2A - P_1A = \rho ghA$$

$$P_2 - P_1 = \rho gh \qquad (۴-۳)$$



شکل ۳-۱۰ استوانه فرضی

مثال

فشار درعمق ۹ متری آبِ درون یک دریاچه، چه مقدار از فشار در عمق ۱ متری بیشتر است؟ (چگالی آب دریاچه را $10^3 = \frac{kg}{m^3}$ در نظر بگیرید.)

پاسخ:

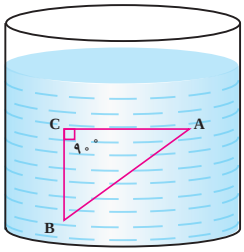
$$h = 9m - 1m = 8m$$

$$P_2 - P_1 = \rho gh \Rightarrow P_2 - P_1 = 10^3 \frac{\cancel{kg}}{\cancel{m^3}} \times 10 \frac{N}{\cancel{kg}} \times 8\cancel{m} = 8 \times 10^4 Pa$$

تمرین کنید

در شکل رو به‌رو، اختلاف فشار بین دو نقطهٔ A و B چند کیلوپاسکال است؟

چگالی مایع $\frac{g}{Lit}$ ،۸×۱۰^{۳} ، $AB = ۱۳cm$ ، $AC = ۱۲cm$ است.

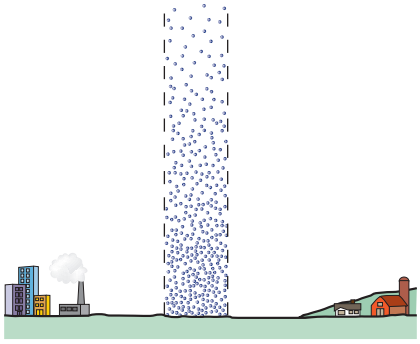


۳ـ۵ـ۲ فشار هوا

تجربه کنید

یک لیوان را پر از آب کنید و یک صفحه مقوایی، که تمام دهانهٔ لیوان را می‌پوشاند. روی دهانهٔ لیوان را محکم نگه دارید، آنگاه درحالی که صفحه مقوایی را با دست نگه‌داشته‌اید، لیوان را وارونه کنید. چرا مقوا و آب درون لیوان سقوط نمی‌کنند؟

فشار هوا چگونه به وجود می‌آید؟ همان طور که فشار آب را وزن مولکول‌های آب به وجود می‌آورد، اطراف کرهٔ زمین نیز، تا ارتفاع معینی مولکول‌های هواست و چون هوا دارای جرم است، به علت وزنش فشاری وارد می‌کند که «فشار هوا» نام دارد (شکل ۳-۱۱). روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری فشار هوا وجود دارد. یکی از مهم‌ترین روش‌ها، آزمایش توریچلی[۱] است.



شکل ۳-۱۱ فشار هوا

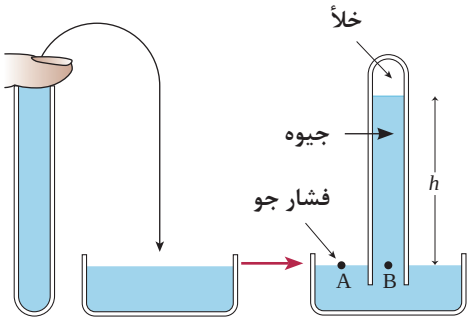
۳ـ۵ـ۳ آزمایش توریچلی: براساس طرح آزمایش توریچلی (شکل ۳-۱۲)، لولهٔ یک سر بسته‌ای به طول حدود ۱ متر را از جیوه پر کرده و با بستن دهانهٔ آن به کمک دست لوله را برمی‌گردانیم و در ادامه، دهانهٔ آن را در داخل تشتکی محتوی جیوه فرو می‌بریم. با برداشتن دست خود از دهانهٔ لوله مقداری جیوه از لوله پایین می‌آید و در ارتفاع معینی ثابت می‌ماند. اگر آزمایش در سطح دریای آزاد و در هوای آرام انجام شده باشد، این ارتفاع ۷۶ سانتی‌متر خواهد شد. در شکل ۳-۱۳ فشار نقطه A، فشار هوا است و به دلیل هم ترازی نقاط A و B، که هر دو به مایع جیوه مربوط‌اند، می‌توان نوشت:

$P_A = P_B = P_۰$

از طرفی فشار P_B همان فشار ستون جیوه مربوط به بالای نقطه B است:

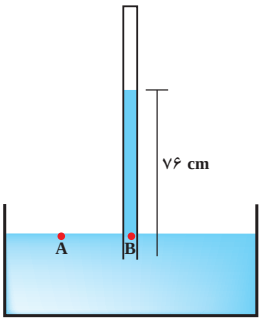
$$P_۰ = P_B = \rho gh = (۱/۳۶\times۱۰^{۴}\frac{kg}{m^{۳}})\times(۹/۸\frac{N}{kg})\times(۷/۶\times۱۰^{-۱}m)$$

$$\rightarrow P_۰ = ۱/۰۱\times۱۰^{۵}Pa \cong ۱۰^{۵}Pa$$



شکل ۳-۱۲ آزمایش توریچلی

۱ـ Evangelista torrichelli



شکل ۳-۱۳ محاسبه فشار هوا توسط آزمایش توریچلی

مثال

چند پاسکال و چند کیلوپاسکال است؟ $70\,cmHg$

پاسخ:

$$P_P = (\rho_{Hg})(g)(h_{Hg}) = (1/36\times10^4\,\frac{kg}{m^3})\times(9/8\,\frac{N}{kg})\times(7\times10^{-1}\,m) \cong 9/3\times10^4\,Pa = 93\,kPa$$

نکته

از سطح زمین به سمت ارتفاعات بالاتر، تراکم و تعداد مولکول‌های هوا کمتر می‌شود، در نتیجه در نزدیکی سطح زمین فشار هوا تقریباً به ازای هر ۱۰ متر افزایش ارتفاع ، ۱میلی‌متر جیوه کاهش می‌یابد.

مثال

شهرکرد با ارتفاع ۲۰۶۰ متری از سطح دریا از میان مراکز استان‌ها به‌عنوان مرتفع‌ترین شهر از سطح دریا به‌حساب می‌آید که به‌همین علت آن را بام ایران نیز می‌خوانند. اگر فشار هوا در سطح دریا $76\,cmHg$ باشد، فشار هوا در این شهر چند cmHg است؟

پاسخ:

$$\frac{2060\,m}{10\,m} = 206 \xrightarrow{\text{با توجه به نکته بالا}} \Delta P \cong -206\,mmHg = -20/6\,cmHg \Rightarrow$$

$$P_\circ \cong 76 - 20/6 = 55/4\ cmHg$$

تمرین کنید

فشار مایعی در کف ظرف $150\,cmHg$ است. بررسی کنید نیرویی که از مایع به کف ظرف وارد می‌شود چند نیوتون است؟

$$(\rho_{Hg} = 1/36\times10^4\,\frac{kg}{m^3}\,,\ g = 10\,\frac{N}{kg}\,,\ A = 20\,cm^2)$$

نکته

فشار هوا در سطح آزاد دریا تقریباً با مقادیر زیر برابراست:

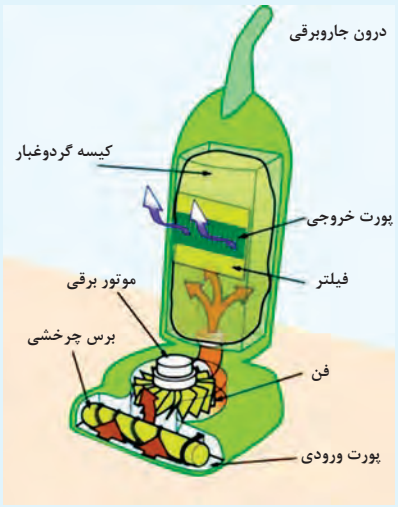
$$P_\circ = 10^5\,Pa = 1\,atm = 76\,cmHg = 760\,mmHg$$

فکر کنید

ارتفاع قله اورست، در حدود ۸۸۴۸ متر است. به کوهنوردانی که قصد صعود به این قله را دارند، همواره توصیه می‌شود که حتماً کپسول اکسیژن به همراه داشته باشند. به نظر شما، این موضوع چه ارتباطی به مفهوم فشار هوا دارد؟

بیشتر بدانید

جارو برقی چگونه کار می‌کند؟



در یک جارو برقی، مشابه مکش با یک نی نوشیدنی (البته کمی پیچیده‌تر)، عمل می‌شود. وقتی جاروبرقی روشن می‌شود، با به کار افتادن موتور و چرخش فن متصل به آن با پره‌های زاویه‌دار (مانند پروانه هواپیما)، هوا را مطابق شکل، به سمت درگاه (پورت) خروجی می‌برد. هنگامی که ذرات هوا رو به جلو حرکت می‌کنند، تراکم ذرات (و در نتیجه فشار هوا) در جلوی فن افزایش می‌یابد و در ناحیه پشت فن، کاهش می‌یابد.

افت فشار پشت فن، مانند افت فشاری است که در پشت نی، بعد از مکیدن ایجاد می‌شود و در نتیجه خلأ جزئی ایجادشده درون جارو برقی، هوای محیط اطراف، به سمت جارو برقی (ازمسیر درگاه ورودی) هل داده می‌شود. جریان هوا نیز، ذرات ریز را از روی فرش یا موکت و...، جمع‌آوری می‌کند.

۳ـ۵ـ۴ محاسبهٔ فشار در یک نقطه در داخل شاره: در بخش ۳-۵-۱ نشان داده شد که اختلاف فشار دو نقطه درون مایع از رابطهٔ $P_۲-P_۱=\rho gh$ محاسبه می‌شود. حال اگر نقطه ۱ را درسطح آزاد مایع در نظر بگیریم ($P_۱= P_۰$)، در این‌صورت فشار در هر نقطه در عمق h، از سطح آزاد مایع (مانند نقطه ۲) از رابطه زیر به‌دست می‌آید که آن را فشار کل یا واقعی شاره در نقطه ۲ می‌نامیم:

$$P_۲ = \rho gh + P_۰ \qquad (۵-۳)$$

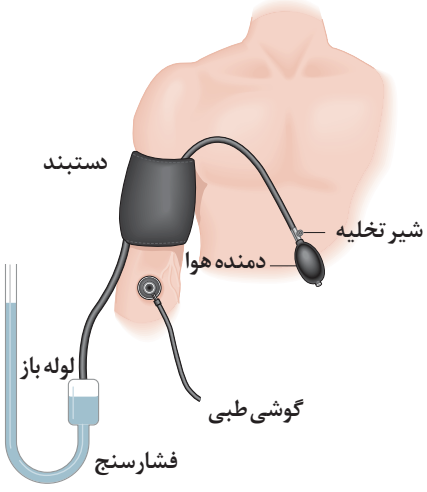
تمرین کنید

فشار هوا بر سطح مایعی به چگالی $۴/۵\ \frac{g}{cm^۳}$ برابر با ۷۵cmHg است. اگر چگالی جیوه $۱/۳۶\times ۱۰^{۱}\ \frac{g}{cm^۳}$ و $g = ۱۰\ \frac{N}{kg}$ باشد، فشار کل در عمق ۴۰cm مایع، چند کیلوپاسکال و چند سانتی‌متر جیوه است؟

فشار پیمانه‌ای: در اندازه‌گیری فشارخون (شکل ۳-۱۴) یا فشار باد لاستیک‌ها درواقع اختلاف فشار شاره با فشار هوای محیط محاسبه می‌شود. مثلاً اگر گفته شود فشار هوای درون یک لاستیک ۲ اتمسفر (۲atm) است، یعنی فشار هوای داخل لاستیک ۲ اتمسفر از فشار هوای بیرون آن، بیشتر است. به این اختلاف فشار، «فشار پیمانه‌ای» گفته می‌شود:

$$\text{فشار پیمانه‌ای} = P - P_۰ \qquad (۶-۳)$$

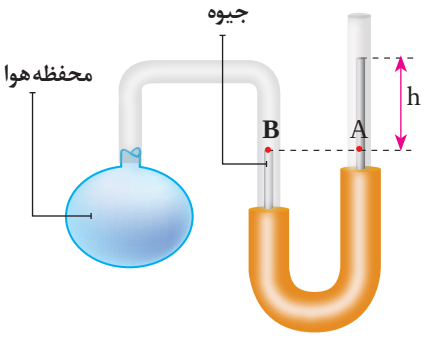
فشار پیمانه‌ای: فشار شاره − فشار هوای محیط



شکل ۳-۱۴ دستگاه اندازه گیری فشار خون

در فشارسنج‌های U شکل (شکل ۳-۱۵) که درون آنها مایعی به چگالی ρ است، یک دهانه لوله به مخزن یا محفظهٔ شاره بسته می‌شود. حال اختلاف ارتفاع مایع در دو شاخه (h)، معرّف اختلاف فشار شارهٔ موردنظر با هواست. یعنی:

فشار پیمانه‌ای $= P - P_{\circ} = \rho gh$

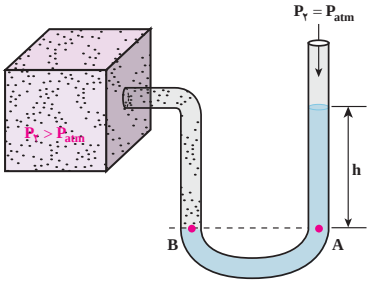


شکل ۳-۱۵ فشار سنج‌های U شکل

مثال

مطابق شکل روبه‌رو، فشارسنج ساده‌ای را به مخزن گازی وصل و شیر مخزن را باز می‌کنیم، مشاهده می‌شود سطح جیوه در شاخه‌ای که دهانه آن باز است، ۴۷/۵ cm بالاتر از سطح جیوه در شاخهٔ دیگر قرار می‌گیرد.

$(g = ۱۰ \frac{N}{kg}\ ،\ P_{\circ} = ۷۶\ cmHg)$



الف) فشار پیمانه‌ای گاز را بر حسب سانتی‌متر جیوه و پاسکال محاسبه کنید.

ب) فشار مخزن گاز چند سانتی‌متر جیوه است؟

پاسخ : الف) چون نوع مایع جیوه است، اختلاف ارتفاع جیوه در دو شاخهٔ لوله، یعنی h معرف فشار پیمانه‌ای برحسب سانتی‌متر جیوه است:

$\Delta P = ۴۷/۵ cmHg$

$$\Rightarrow \Delta P = \rho gh = (۱/۳۶\times۱۰^{۴}\frac{kg}{m^{۳}})(۱۰\frac{N}{kg})(۴/۷۵\times۱۰^{-۱}m) = ۶/۴۶\times۱۰^{۴}Pa$$

$$\Delta P = P_{\text{گاز}} - P_{\circ} \Rightarrow P_{\text{گاز}} = \Delta P + P_{\circ} = ۴۷/۵cmHg + ۷۶cmHg = ۱۲۳/۵cmHg$$

کاربرد در صنعت و فناوری: انواع فشارسنج‌ها

۱ـ فشارسنج‌هایی که فشار را براساس ارتفاع مایع درونشان اندازه‌گیری می‌کنند:

الف) مانومترها که اختلاف فشار دو شاره را برحسب اختلاف ارتفاع مایع درون خود اندازه می‌گیرد. (با انواع U شکل، تفاضلی، پیزومتر).

ب) بارومترها که فقط فشار هوا را اندازه می‌گیرند (خشک، جیوه‌ای).

۲ـ فشارسنج بوردون برای اندازه‌گیری فشار پیمانه‌ای شاره‌ها به کار می‌رود (برای مثال در اندازه‌گیری باد لاستیک وسیله‌های نقلیه).

۳ـ فشار سنج‌های دیجیتالی که تا ده بار را در دماهایی بین یک تا ۵۰ درجهٔ سلسیوس اندازه‌گیری می‌کنند.

نکته ۱ : فشارسنج‌ها فشار پیمانه‌ای، یعنی اختلاف فشار میان فشار واقعیِ شاره و فشارِ جَو را اندازه می‌گیرند و طوری درجه‌بندی شده‌اند، که در فشار جَو، عدد صفر را نشان می‌دهند.

نکته ۲ : در اکثر فشارسنج‌های صنعتی، فشار بر حسب psi و bar اندازه‌گیری می‌شود، که رابطه تبدیل آنها به‌صورت $۱bar = ۱۰^{۵}Pa$ و $۱psi \cong ۶۸۹۰Pa$ است.

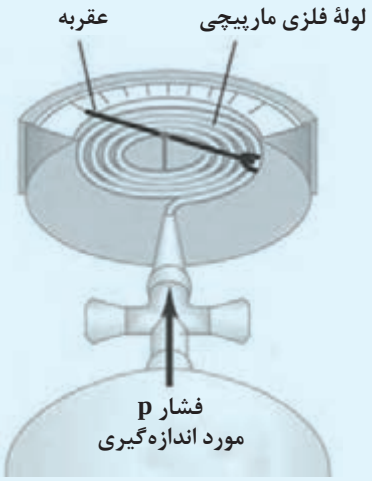
بیشتر بدانید

ساختمان فشارسنج‌های بوردون

برخی از فشارسنج‌ها، از یک لولهٔ مسدود قابل انعطاف، استفاده می‌کنند، تغییر فشار درون یا بیرون لوله ، یا هر دو، سبب تغییر در ابعاد آن می‌شود.

این تغییر به‌صورت نوری، الکتریکی، یا مکانیکی آشکار می‌شود. در این نوع فشارسنج‌ها وقتی فشار درون لولهٔ فلزی مارپیچی افزایش می‌یابد، لوله اندکی راست می‌شود و عقربهٔ متصل به آن را منحرف می‌کند.

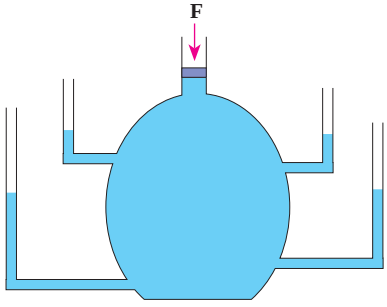
از این نوع فشارسنج‌ها معمولاً برای اندازه‌گیری فشار گاز درون مخزن‌ها استفاده می‌کنند.



نکته

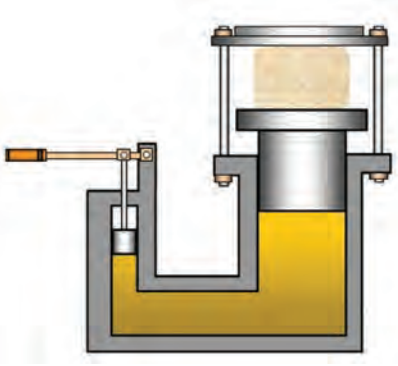
رابطهٔ اختلاف فشار شاره‌ها $P_2 - P_1 = \rho gh$ برای تمام شاره‌های در حال تعادل، به کار می‌رود. بنابراین می‌توان، اختلاف فشار بین دو نقطهٔ درون یک گاز را که در محفظه‌ای به‌حال سکون قرار دارد، از این رابطه محاسبه کرد. چون چگالی گازها کمتر از مایعات است، مقدار این اختلاف فشار، ناچیز است، به‌همین دلیل، فشار گاز درون یک کپسول گاز یا درون یک اتاق، در تمام نقاط آن، تقریباً یکسان فرض می‌شود.

۳ـ۵ـ۵ اصل پاسکال: بـر طبق این اصل، تغییر فشار در هر نقطه از شارهٔ محبوس، ساکن و تراکم‌ناپذیر بدون تغییر به تمام نقاط شاره و دیواره‌های اطراف منتقل می‌شود. وقتی در مرکز پمپاژ آب شهر، فشار ۱۰ واحد زیاد شود، فشار در همهٔ لوله‌های متصل به این دستگاه، به شرط اینکه آب لوله‌ها ساکن باشد، ۱۰ واحد زیاد می‌شود (شکل ۳-۱۶).

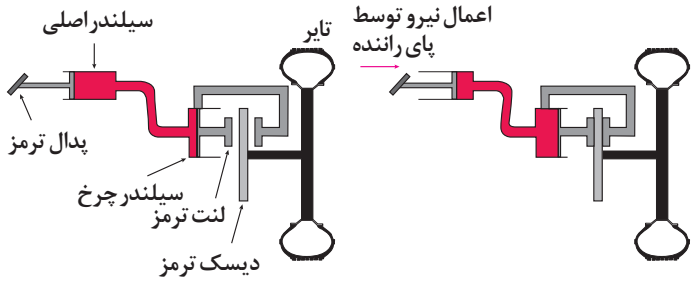


شکل ۳-۱۶ انتقال فشار

از دیگر کاربردهای فراوان این اصل می‌توان در ترمز روغنی خودروها، لولـه‌های کِرِم یا خمیردندان، دستگاه منگنهٔ آبی یا خردکردن کاغذ (شکل ۳-۱۷) و ... را نام برد. همچنین در شکل ۳-۱۸ شیوه عملکرد ترمز یک خودرو را از نمایی نزدیک‌تر مشاهده می‌کنید.



شکل ۳-۱۷ دستگاه منگنه آبی



شکل ۳-۱۸ شیوهٔ عملکرد ترمز خودرو

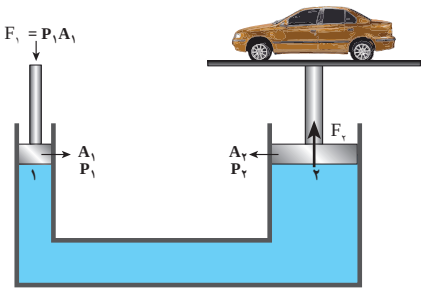
نکته

چرا مایعات تراکم ناپذیرند؟

وقتی مولکول‌ها به هم بسیار نزدیک شوند، یک نیروی دافعهٔ قوی، میان آنها ایجاد می‌شود که از نزدیک شدن بیشتر آنها جلوگیری می‌کند. وقتی که بطری پر از آب را متراکم می‌کنیم مولکول‌ها آن‌قدر به هم نزدیک می‌شوند که نیروی رانشی بین آنها ایجاد می‌گردد و این نیرو مانع از تراکم بیشتر آب می‌گردد. نیروی رانشی بین مولکول‌ها عاملی است که مایعات را تراکم‌ناپذیر می‌سازد.

یک کاربرد اصل پاسکال را می‌توان در بالابرهای خودرو (دستی یا کمپرسوری) مورد بررسی قرار داد. در شکل ۳-۱۹ مشاهده می‌کنید که نیروی F_1، به پیستونی به مساحت A_1 وارد می‌شود و فشار مایع در همه‌جا به میزان $\frac{F_1}{A_1}$ زیاد می‌شود.

در نتیجه با توجه به اصل پاسکال در محل پیستون به مساحت A_2 خواهیم داشت:



شکل ۳-۱۹ بالابر هیدرولیکی

$$P_1 = P_2 \rightarrow \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \qquad (۷-۳)$$

مثال

در یک کارگاه مکانیکی از یک بالابر هیدرولیکی، برای بالا بردن خودروها استفاده می‌شود. در این بالابر، یک محفظه شامل هوای فشرده شده، نیرویی را بر پیستون کوچک به شعاع ۵ cm، وارد می‌کند. این فشار توسط یک مایع تراکم‌ناپذیر به پیستون بزرگی به شعاع ۱۵cm، منتقل می‌شود. هوای فشرده شده درون محفظه باید چه نیرویی را به پیستون کوچک وارد کند تا خودرویی به وزن $۱/۸ \times ۱۰^۴ N$ را بالا ببرد؟

پاسخ:

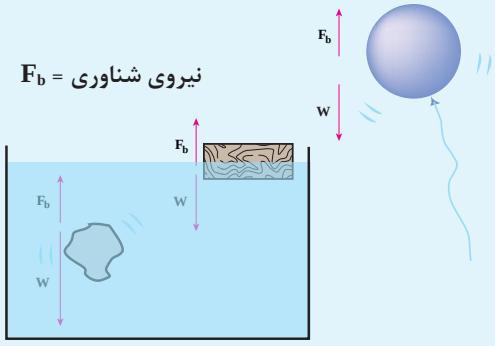
$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \Rightarrow F_1 = (\frac{A_1}{A_2})F_2 = (\frac{\pi(۵\times۱۰^{-۲}m)^۲}{\pi(۱۵\times۱۰^{-۲}m)^۲})\times ۱/۸\times۱۰^۴ N = ۲\times۱۰^۳ N$$

تمرین کنید

در مثال قبل، فشار مخزن هوای متصل به پیستون کوچک، هنگام بلند کردن خودرو، چند پاسکال است؟

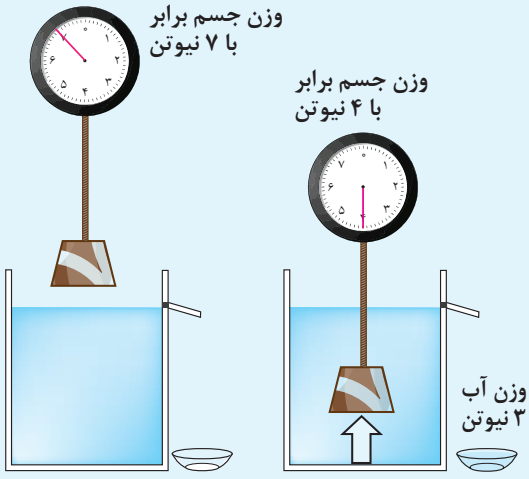
بیشتر بدانید

نیروی شناوری



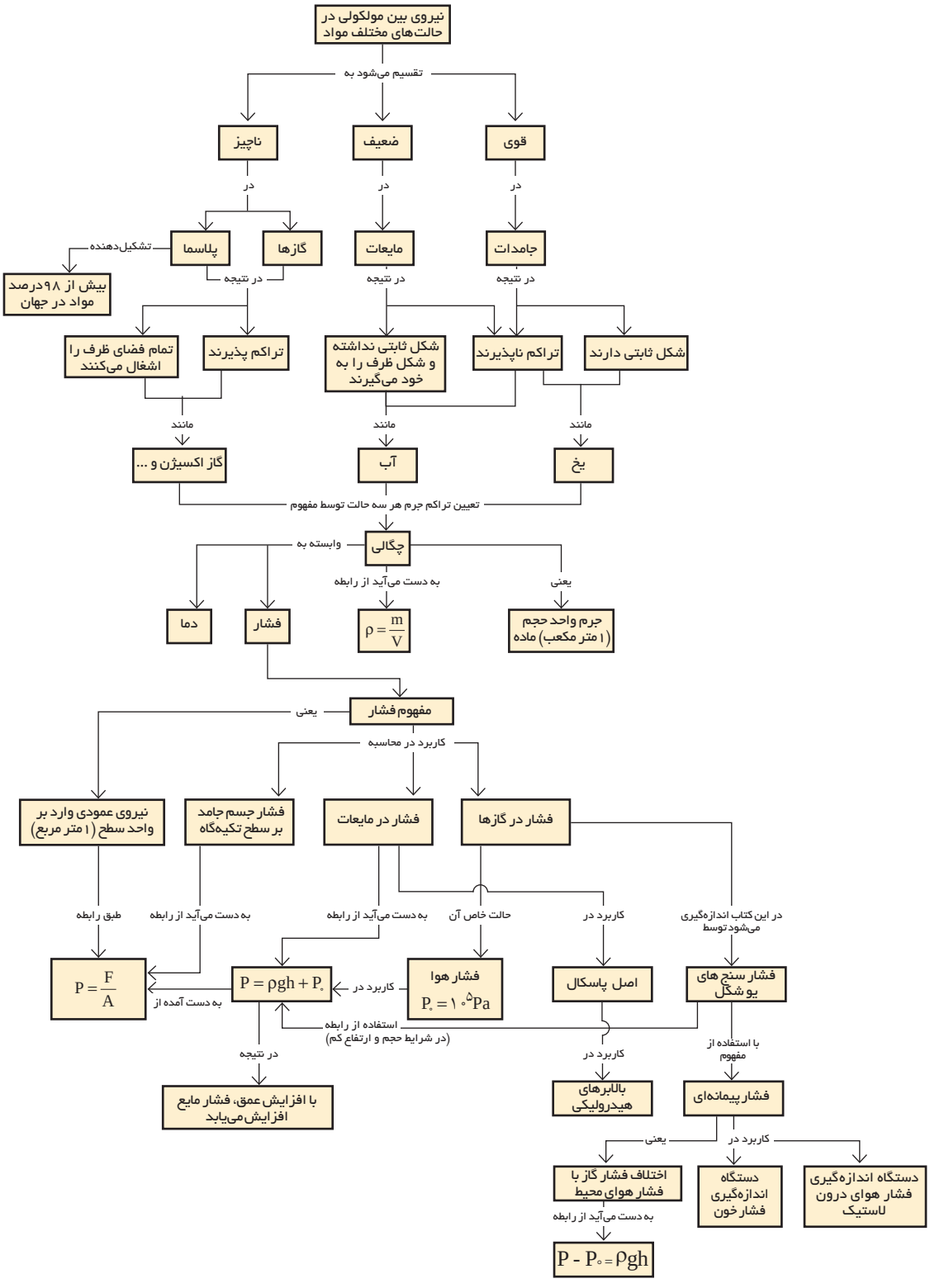
چرا یک قطعه چوب یا یک کشتی نفت‌کش روی آب دریا شناور می‌ماند، ولی یک تکه سنگ به ته ظرف محتوای آب می‌رود؟ و یا چرا یک بادکنک محتوای گاز هلیم، در هوا به سمت بالا حرکت می‌کند؟ تمامی این موارد و موارد مشابه به مفهومی به نام نیروی شناوری برمی‌گردد. در واقع چون فشار در شاره با افزایش عمق زیاد می‌شود، نیروی بالاسویی که بر سطح زیرین جسم غوطه‌ور وارد می‌آید، بزرگ‌تر از نیروی پایین‌سویی است، که بر سطح بالایی جسم وارد می‌آید و درنتیجه یک نیروی شناوری بالاسو به جسم وارد می‌شود. در برخی از موارد این نیرو با وزن جسم برابر و در نتیجه جسم برروی سطح شاره شناور می‌ماند. در برخی مواقع این نیرو از نیروی وزن جسم کمتر بوده و جسم درون شاره غرق می‌شود و در مواردی همچون بادکنک حاوی گاز هلیم، این نیرو از نیروی وزن گاز محبوس در بادکنک، بیشتر بوده و آن را به طرف بالا هدایت می‌کند.

اصل ارشمیدس



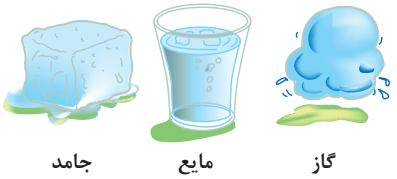
اگرتمام یا بخشی از جسم، درون شاره‌ای (مایع یا گاز) فرو رود، نیروی بالاسویی از شاره به جسم وارد می‌شود، که اندازه‌اش با وزن شاره جابه‌جا شده، برابر است. یک نتیجه جالب اصل ارشمیدس این است که وزن اجسام در هوا، بیشتر از وزن آنها، در آب است. در شکل روبه‌رو مشاهده می‌شود، وزن قطعه ۷ نیوتنی وقتی کامل در آب فرو می‌رود، با نیروسنج، ۴ نیوتن اندازه‌گیری می‌شود. در واقع این ۳ نیوتن وزن گمشده، برابر با وزن آب جابه‌جا شده است.

جمع بندی ـ نقشه مفهومی

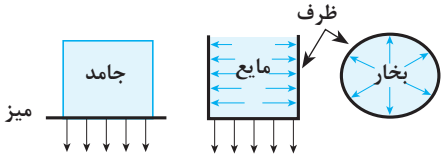


چندپرسش

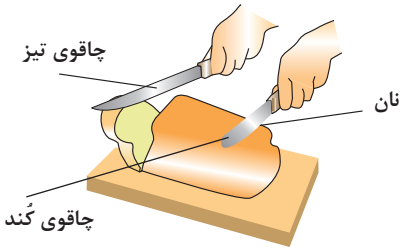
۱ـ با استفاده از جدول ۳ـ۱ چه ارتباطی بین چگالی یک ماده و حالت‌های مختلف آن (مانند آب، بخار آب و یخ) وجود دارد؟



۲ـ در شکل روبه‌رو فشار درحالت‌های مختلف باهم مقایسه شده است، برداشت خود را بیان کنید.



۳ـ به کمک مفاهیم فشار و نیرو، تفاوت چاقوی تیز و کُند را در برش مواد غذایی بیان کنید.



۴ـ با استفاده از یک فشارسنج چگونه می توان ارتفاع یک آسمان‌خراش را اندازه‌گیری کرد؟

۵ـ با تحقیق توضیح دهید، که در هر یک از وسایل زیر، چگونه فشار هوا یا اصل پاسکال، تأثیرگذار است؟
الف) پمپ خلأ ب) پمپِ مایع دستشویی ج) سرنگ د) دستگاه منگنهٔ آبی

۶ـ چرا طبق اصول ایمنی آتش‌نشانی بر روی آتش ناشی از نفت و بنزین، نباید آب پاشید؟

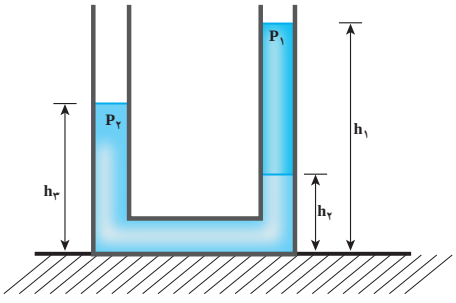
چندمسئله

۱ـ میانگین چگالی لایه‌های مختلف زمین $۵/۵ \frac{g}{cm^۳}$ و شعاع زمین تقریباً $۶۳۸۰ km$ است. جرم زمین چند کیلوگرم است؟

۲ـ حجم داخلی مخزنی برابر $۶۰ Lit$ است و با مایعی که چگالی نسبی آن (نسبت به آب) ۰/۷۲ است، پر شده است. جرم این مایع چند کیلوگرم است؟ ($۱ \frac{g}{cm^۳}$ چگالی آب است).

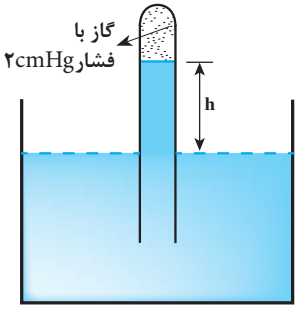
۳ـ دستگاه شکل روبه‌رو در تعادل است.
نسبت چگالی دو مایع ($d = \frac{\rho_۲}{\rho_۱}$) چه اندازه است؟

$(h_۱ = ۳۰cm,\ h_۲ = ۱۲cm\ ,\ h_۳ = ۲۰cm)$



۴ــ فشار در سطح آب و در کف دریاچه‌ای به ترتیب ۹۵kPa و ۶۱۰kPa است. اگر چگالی آب دریاچه ۱۰۳۰ $\frac{kg}{m^3}$ و $g = ۱۰ \frac{N}{kg}$ باشد، عمق دریاچه چند متر است؟

۵ــ در شکل مقابل درون ظرف، مایعی با چگالی ۶/۸ $\frac{g}{cm^3}$ و فشار هوا ۷۲cmHg است. ارتفاعی که این مایع در لوله بالا رفته است (h)، چند سانتی‌متر است؟



پروژه پایانی

پروژه : ساخت موشک آبی

روش ساخت موشک آبی را تحقیق کنید و با رعایت نکات ایمنی آن را در یک گروه بسازید. پس از ساخت به پرسش‌های زیر پاسخ دهید.

۱ـ کدام یک از نکات و قوانین فیزیکی، که در این کتاب آموختید، در ساخت آن به کار می‌رود. آنها را شرح دهید.

۲ـ برای ساخت موشک، چه مهارت‌هایی را آموختید؟

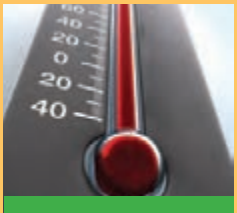
توجه: هنرجویان عزیز می‌توانند، به‌جای پروژه بالا، پروژه ساخت پمپ خلأ ساده را انتخاب کنند و باز هم به پرسش‌های مشابه ذکر شده در بالا پاسخ دهند. (نمونه ویدئوی ساخت پمپ خلأ ساده، را مشاهده کنید).

یادداشت

فصل چهارم

دما و گرما

درز انبساط پل در عملکرد سازهٔ پل بسیار مهم است. وقتی که درز عملکرد مناسب خود را از دست بدهد، می‌تواند مشکلاتی بزرگ‌تر از اندازه خودش به وجود آورد. به نظر شما چرا انتخاب درز انبساط مناسب در سازه اهمیت بسیاری دارد؟ و این درزها چگونه عمل می‌کنند؟



دما

گرما

انتقال گرما

انبساط گرمایی

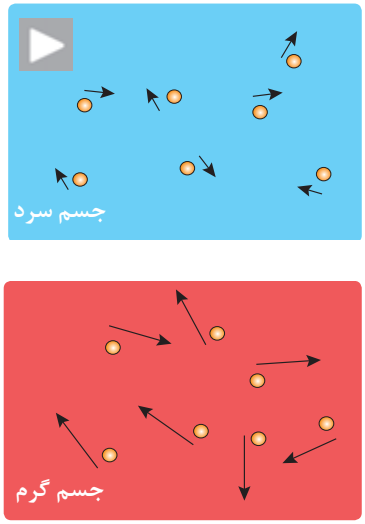
در کتاب علوم تجربی پایه هفتم با موضوعاتی نظیر دما، دماسنجی، گرما و روش‌های انتقال گرما آشنا شدید. در این فصل به برخی از این مفاهیم در ابعاد میکروسکوپیک و اندازه‌گیری محاسبهٔ مقدار آنها می‌پردازیم. همچنین با پدیدهٔ دیگری به نام «انبساط گرمایی» آشنا خواهید شد.

۴ـ۱ دما

فشفشه‌هایی که در جشن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند، دمای بالایی دارند (شکل۴ـ۱). گرچه دمای این جرقه‌ها از ۲۰۰۰ درجه سلسیوس تجاوز می‌کند، اما گرمایی که هنگام برخورد به پوست کودک منتقل می‌کنند بسیار کم است. این تجربه نشان می‌دهد که دما و گرما مفاهیمی متفاوت‌اند.

شکل ۴ـ۱ جرقه‌های فشفشه دارای دمای بالاتر از ۲۰۰۰ درجه سلسیوس هستند.

۴ـ۱ـ۱مفهوم دما: اگر بخواهید درمورد مقدار گرمی یا سردی اجسام صحبت کنید، چگونه آن را توصیف می‌کنید؟ احتمالاً از کلماتی مثل داغ، گرم یا سرد استفاده می‌کنید. اما این واژگان نمی‌توانند اطلاع دقیقی از میزان گرمی یا سردی اجسام بدهند. کمّیت فیزیکی مناسب برای این منظور، «دما» است. دما کمّیتی مقایسه‌ای است که میزان گرمی یا سردی اجسام را نشان می‌دهد. همان‌طور که در فصل ۳ آموختید همهٔ مواد (جامد، مایع، گاز) از اتم‌ها یا مولکول‌هایی تشکیل شده‌اند که همواره در حرکتند. اتم‌ها و مولکول‌های ماده به‌دلیل این حرکت دارای انرژی جنبشی هستند. میانگین انرژی جنبشی ذرات ماده تعیین کنندهٔ دمای آن است، یعنی هرچه میانگین انرژی جنبشی ذرات ماده بیشتر باشد، دمای آن نیز بیشتر خواهد بود (شکل۴ـ۲). مثلاً ضربه‌زدن به فلز با چکش باعث سرعت بیشتر ذرات تشکیل‌دهندهٔ فلز می‌شود و در نتیجه دمای آن را بالاتر می‌برد.



شکل ۴ـ۲ نمایش میکروسکوپیکی دما

تجربه کنید

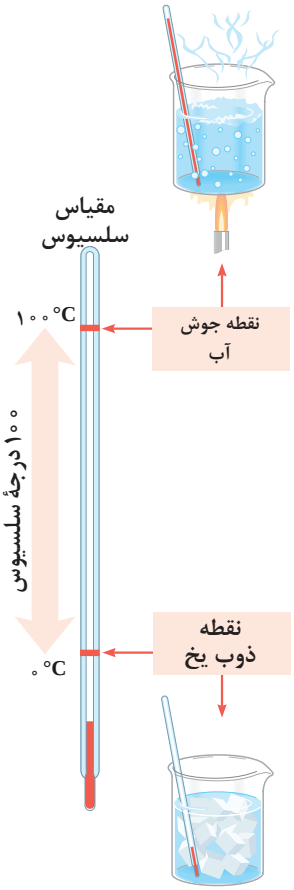
آب داغ و آب سرد را در لیوان‌های جداگانه‌ای بریزید. سپس با قطره‌چکان به اندازهٔ مساوی در آنها جوهر بریزید. پیش بینی می‌کنید چه اتفاقی بیفتد؟ دلیل این اتفاق چیست؟

۴ـ۱ـ۲ اندازه‌گیری دما: اولین وسیلهٔ اندازه‌گیری دما یا همان دماسنج، را گالیله در سال ۱۶۰۲ اختراع کرد. دماسنج‌های معمولی جیوه‌ای و الکلی، هفتاد سال بعد از آن کاربرد گسترده‌ای یافتند.

فکر کنید

در کتاب علوم تجربی پایه هفتم با انجام‌دادن آزمایشی دیده‌اید که حس لامسه برای اندازه‌گیری دقیق دما مناسب نیست. با توجه به معیارهای تعریف یک کمّیت فیزیکی که در فصل ۱ به آن پرداخته شده است، فکر می‌کنید چرا این روش مناسب نیست؟

با شیوهٔ درجه‌بندی و ساخت دماسنج در کتاب علوم هفتم آشنا شدید. در این نوع مدرّج‌سازی، طبق قرارداد، عدد ۰ مربوط به دمایی است که یخ ذوب می‌شود و عدد ۱۰۰ به دمای جوشیدن آب خالص در فشار هوای استاندارد اختصاص دارد. فاصلهٔ بین این دو، به ۱۰۰ قسمت مساوی به نام سانتی‌گراد تقسیم شده است (شکل ۴ـ۳). اکنون به افتخار آندرس سلسیوس، منجم سوئدی، کسی که اولین بار این مقیاس را پیشنهاد داد، آن را درجهٔ سلسیوس می‌نامند و این یکا را با نماد $^{\circ}C$ نشان می‌دهند.



شکل ۴ـ۳ شیوهٔ درجه‌بندی دماسنج به روش سلسیوس

بیشتر بدانید

لولهٔ دماسنج معمولاً بلند و نازک انتخاب می‌شود تا یک تغییر کوچک در حجم جیوه یا الکل بتواند به تغییر ارتفاع قابل ملاحظه‌ای در لوله بینجامد.

۴ـ۱ـ۳ مقیاس‌های دما: با متداول‌ترین مقیاس دما یعنی سلسیوس در قسمت قبل آشنا شدید. دمایی که بر حسب سلسیوس بیان شده باشد با نماد θ (تتا) نوشته می‌شود. مثلاً اگر دمای آب رادیاتور یک خودرو ۸۰ درجه سلسیوس باشد آن را به صورت $\theta=80^{\circ}C$ نشان می‌دهیم.

مقیاس دیگر دما، که از آن در صنعت بیشتر استفاده می‌شود. مقیاس فارنهایت است. در این مقیاس عدد ۳۲ به دمای ذوب یخ اختصاص دارد و عدد ۲۱۲ به دمای جوش آب خالص نسبت داده شده است. این مقیاس به افتخار گابریل دانیل فارنهایت، پایه‌گذار آن، نام‌گذاری شده و با نماد F نشان داده می‌شود. با کمک رابطهٔ زیر می‌توان ارتباط دما در مقیاس سلسیوس و دما در مقیاس فارنهایت را برقرار کرد:

$$F=\frac{9}{5}\theta+32 \qquad (۱ـ۴)$$

بنابر آنچه در فصل اول نیز گفته شد، مقیاس پذیرفته شده برای اندازه‌گیری در SI مقیاس کلوین است. در این مقیاس نقطهٔ پایینی را دمایی در نظر می‌گیریم که انرژی ذرات ماده کمترین مقدار خود را دارند و به آن عدد ۰ را نسبت می‌دهیم در نتیجه عدد ۰ مربوط به پایین‌ترین دمای ممکن (صفر مطلق) است. صفر مطلق[۱] برابر $-273\ ^{\circ}C$ است. در مقیاس کلوین هیچ عدد منفی وجود ندارد. دما در مقیاس کلوین را با نماد T و کلوین را با نماد K نشان می‌دهند. مثلاً دمای ذوب یخ، یعنی ۲۷۳ کلوین را به شکل

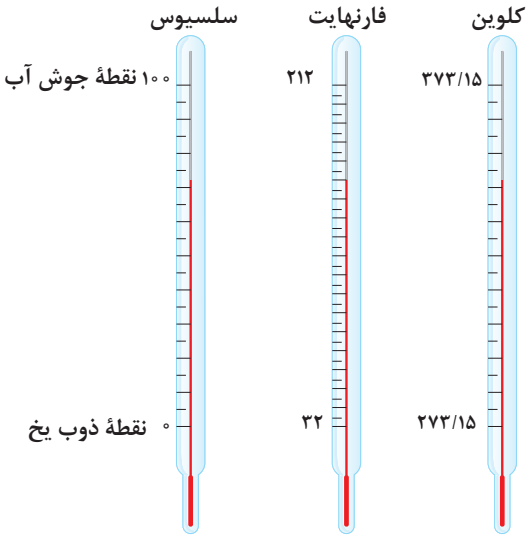
۱ـ مقدار دقیق صفر کلوین $-273/15\ ^{\circ}C$ است.

زیر نمایش می‌دهند:

$$T = ۲۷۳K$$

برای ارتباط دما در مقیاس کلوین و سلسیوس می‌توان نوشت:

$$T = \theta + ۲۷۳ \qquad (۲_۴)$$



شکل ۴ـ۴ مقایسهٔ مقیاس‌های دما

مثال

در موتور خودرو اگر حرارت توسط دستگاه خنک کننده گرفته نشود، به موتور آسیب خواهد رسید. از طرفی کمبود حرارت نیز باعث خرابی موتور می‌شود. دمای مناسب موتور خودرو بین $۹^\circ C$ تا $۹۰^\circ C$ است. این بازهٔ دمایی را در مقیاس کلوین و فارنهایت محاسبه و باهم مقایسه کنید.

پاسخ:

$$\theta_۱ = ۹^\circ C \quad و \quad \theta_۲ = ۹۰^\circ C \Rightarrow \Delta\theta = \theta_۲ - \theta_۱ = ۹۰ - ۹ = ۸۱^\circ C$$

با توجه به رابطه ۴ـ۲ داریم:

$$T = \theta + ۲۷۳ \Rightarrow T_۱ = \theta_۱ + ۲۷۳ = ۹ + ۲۷۳ = ۲۸۲K$$

$$T_۲ = \theta_۲ + ۲۷۳ = ۹۰ + ۲۷۳ = ۳۶۳K \Rightarrow \Delta T = T_۲ - T_۱ = ۳۶۳ - ۲۸۲ = ۸۱K$$

با توجه به رابطه ۴ـ۱ داریم:

$$F = \frac{۹}{۵}\theta + ۳۲ \Rightarrow F_۱ = \frac{۹}{۵}\theta_۱ + ۳۲ = \frac{۹}{۵} \times ۹ + ۳۲ = ۱۶/۲ + ۳۲ = ۴۸/۲^\circ F$$

$$F_۲ = \frac{۹}{۵}\theta_۲ + ۳۲ = \frac{۹}{۵} \times ۹۰ + ۳۲ = ۱۶۲ + ۳۲ = ۱۹۴^\circ F$$

$$\Delta F = F_۲ - F_۱ = ۱۹۴ - ۴۸/۲ = ۱۴۵/۸^\circ F$$

تمرین کنید

با توجه به ارتباط مقیاس‌های دما، جدول زیر را کامل کنید.

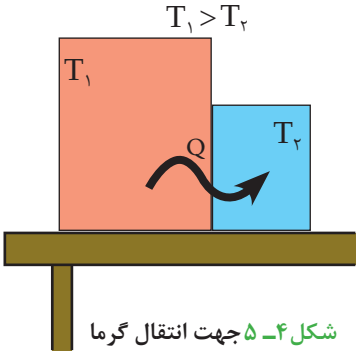
جسم	دما برحسب درجه سلسیوس	دما بر حسب کلوین	دما برحسب درجه فارنهایت
دمای سطح خورشید	.....	۵۷۷۸	.....
دمای جوش روغن سرخ کردنی	۲۲۰	.....	.....
دمای آب درحال جوش	.....	.....	۲۱۲
دمای یخ درحال ذوب	۰	.....	.....
دمای صفر مطلق	-۲۷۳	۰	

نکته

همان‌طور که در مثال بالا و شکل ۴ـ۴ می‌بینید بازه‌های دمایی در مقیاس کلوین و سلسیوس یکسان‌اند. اما در مقیاس فارنهایت به دلیل کوچک‌تر بودن فواصل درجات، مقدار بیشتری برای آن بازهٔ دمایی به‌دست آمده است.

۴ـ۲ گرما

اگر دست خود را زیر آب گرم بگیرید، دست شما گرم می‌شود چون آب گرم‌تر از دست شما است. اما اگر قطعهٔ یخی را لمس کنید، دست شما سرد می‌شود و گرما از دست شما به یخ که سردتر است منتقل می‌شود. جهت انتقال گرما چگونه است؟ آیا قانون ویژه‌ای بر تمام موارد حاکم است؟ باید گفت بله، جهت شارش گرما به‌طور خودبه‌خودی همواره از جسم با دمای بیشتر (گرم‌تر) به جسم با دمای کمتر(سردتر) است (شکل ۴ـ۵).



شکل ۴ـ ۵ جهت انتقال گرما

۴ـ۲ـ۱ مفهوم گرما: ماده دارای گرما نیست بلکه دارای انرژی درونی است. مجموع انرژی جنبشی مولکولی و پتانسیل مولکولی ذرات جسم را انرژی درونی می‌نامند، که هنگام انتقال از جسمی به جسم دیگر اصطلاحاً گرما گفته می‌شود. در واقع انرژی‌ای را که بر اثر اختلاف دما از جسمی به جسم دیگر جابه‌جا می‌شود، گرما می‌نامند و آن‌را با نماد Q نمایش می‌دهند. یکای گرما در SI، ژول است.

بیشتر بدانید

کالری (Calorie) برای اولین بار در سال ۱۸۲۴ میلادی توسط نیکلاس کلمان به‌عنوان واحدی از گرما تعریف شد. واژه کالری از واژه لاتین Calor به معنی گرما گرفته شده است. کالری به دو صورت تعریف می‌شود:

- **کالری کوچک** یا گرم کالری با نماد cal که برابر است با مقدار انرژی مورد نیاز برای افزایش دمای ۱ گرم آب در فشار هوای ۱atm به اندازه ۱°C.
- **کالری بزرگ** یا کیلوگرم کالری با نماد Cal یا kcal که همان **کالری غذایی** است و مقدار آن برابر است با مقدار انرژی مورد نیاز برای افزایش دمای ۱°C یک کیلوگرم آب.

یک کالری بزرگ برابر است با ۱۰۰۰ کالری کوچک. میزان انرژی غذایی که می‌خوریم با کیلو کالری اندازه‌گیری می‌شود.

نکته

همان‌طور که تاریکی از نبودن نور است، سرما نیز ناشی از نبودن گرما است. در فیزیک کمیتی به نام سرما وجود ندارد.

۴ـ۲ـ۲ محاسبه مقدار گرما: به نظر شما مقدار گرمای منتقل شده به جسم به چه عواملی ارتباط دارد؟

تجربه کنید

اگر بخواهید چای را فوری درست کنید ترجیح می‌دهید آب گرم در کتری بریزید یا آب سرد؟ چرا؟

در عمل می‌بینید که هرچه اختلاف دمای اولیه و پایانی جسم بیشتر باشد، باید مقدار گرمای بیشتری به جسم داده شود. علاوه بر مقدار تغییر دما، مقدار گرما با مقدار ماده نیز ارتباط دارد. مثلاً بشکه‌ای پر از آب، بیشتر از یک فنجان آب نیاز به گرما دارد تا دمای آنها به یک اندازه بالا برود.

تجربه کنید

یک میخ کوچک و یک پیچ بزرگ آهنی را روی شعله داغ کنید. آنها را داخل ظرف‌های محتوی مقدار آب با دمای یکسان بیندازید، کدام یک، دمای آب را بیشتر بالا می‌برد؟ چرا؟

حالا باید دلیل اینکه چرا جرقه‌ها دست کودک را نمی‌سوزانند، متوجه شده باشید. دمای جرقه‌ها بسیار زیاد و حدود $2000^{\circ}C$ است. این انرژی به‌ازای تعداد اندکی مادهٔ محترقه جرقه تولید می‌شود. گرمای منتقل شده به دست کودک به دلیل جرم کم جرقه، کمتر از آن است که دست او را بسوزاند.

ظرفیت گرمایی ویژه: مواد مختلف ظرفیت‌های متفاوتی برای ذخیرهٔ انرژی درونی دارند. بالابردن دمای جرم‌های یکسان از مواد مختلف(مثلاً دو کیلوگرم آب یا آهن) به میزانی مشخص (مثلاً از دمای ۲۵ تا ۱۰۰درجه سلسیوس) به مقدارهای متفاوت گرما نیاز دارد. در این مثال، آب نسبت به آهن مقدار گرمای بیشتری جذب می‌کند و اصطلاحاً می‌گوییم آب دارای ظرفیت گرمایی ویژهٔ بالاتری است. ظرفیت گرمایی ویژه، مقدار گرمایی است که باید به یک کیلوگرم از ماده بدهیم تا یک درجه سلسیوس افزایش دما پیدا کند و با نماد C نشان داده می‌شود. همان‌طورکه تجربه کردید، سه عامل با مقدار گرمای منتقل شده به جسم در ارتباط است: اختلاف دما ـ مقدار ماده ـ ظرفیت گرمایی ویژه (وابسته به جنس ماده)

بنابراین معادلهٔ گرما به شکل زیر خواهد بود:

تغییر دما × ظرفیت گرمایی ویژه × جرم = گرمای منتقل شده

$$Q = mc(\theta_2 - \theta_1) = mc\Delta\theta \qquad (۳\text{ـ}۴)$$

براساس رابطهٔ ۴ـ۳ یکای ظرفیت گرمایی ویژه $\frac{J}{kg.^{\circ}C}$ است که مقدار آن را برای مواد مختلف در جدول ۴ـ۱ مشاهده می‌کنید.

جوزف بلک

جوزف بلک دانشمند و فیزیک‌دان اسکاتلندی و کاشف گاز کربن دی‌اکسید، کاشف گرمای نهان و بنیان‌گذار کمّیت فیزیکی ظرفیت گرمایی ویژه بود. او پروفسور رشته پزشکی دردانشگاه گلاسگو بود و در همان دانشگاه به تدریس شیمی نیز می‌پرداخت. در همان زمان جیمز وات برای دانشگاه گلاسگو ابزارها و ماشین‌آلات آزمایشی می‌ساخت؛ او به کمک جوزف بلک آزمایش‌هایی بر روی بخار انجام داد که در نهایت منجر به اختراع و تکمیل موتور بخار گردید.

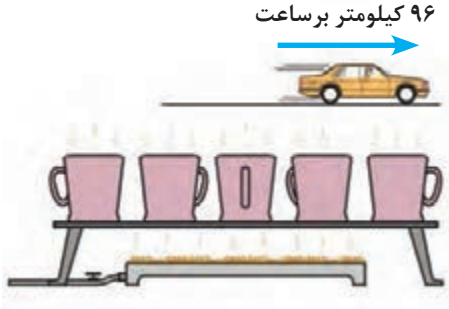
جدول ۴ـ۱ ظرفیت گرمایی ویژه مواد مختلف بر حسب $\frac{J}{kg.^{\circ}C}$

ماده	ظرفیت گرمایی ویژه	ماده	ظرفیت گرمایی ویژه
آب	۴۲۰۰	گرانیت	۸۰
آب دریا	۲۹۰۰	مس	۳۸۰
یخ	۲۱۰۰	سرب	۱۲۶
اتانول	۲۵۰۰	آلومینیوم	۹۰۰
روغن پارافین	۲۱۰۰	سدیم	۱۲۴۰
هیدروژن	۱۴۳۰۰	جیوه	۱۵۰
هوا	۹۹۳	آهن	۲۹۰
هلیوم	۵۲۴۰	فولاد	۴۲۰
اکسیژن	۹۳۰	سنگ مرمر	۹۰۰

فکر کنید

الف) ظرفیت گرمایی ویژه، یک کمّیت فرعی است یا اصلی؟ چرا؟
ب) چرا وقتی یک قاچ هندوانه و یک ساندویچ را در یک روز داغ برای رفتن به گردش از یخچال خارج می‌کنیم، هندوانه، مدت بیشتری نسبت به ساندویچ خنک می‌ماند؟
ج) برای خنک‌کردن موتور اتومبیل از آب استفاده می‌شود. دلیل این انتخاب چیست؟

ظرفیت ذخیره‌سازی انرژی آب از تمام مواد، بیشتر است. مقدار نسبتاً اندکی آب با تغییر دمای مختصر مقدار زیادی گرما جذب می‌کند (شکل۴ـ۶). از این رو، آب عملاً خنک‌کنندهٔ مناسبی است. همین طور خنک‌شدن آب نیز با خروج گرمای زیادی از آن همراه است و مدت بیشتری نسبت به بقیه مواد طول می‌کشد تا آب خنک شود. از این واقعیت در کیسه‌های آب جوش سنتی و شوفاژ منازل استفاده می‌شود. این ویژگی آب سبب بهبود شرایط زیستی بسیاری از مکان‌ها شده است. مکان‌هایی همچون شمال کشور، که مجاور آب هستند، تغییر دماهای شدید در زمستان و تابستان ندارند. در این مناطق، در ماه‌های تابستان که هوا داغ است، آب با گرفتن مقدار زیادی گرما از هوا، آن‌را خنک می‌کند و در ماه‌های زمستان که هوا سرد است، آب با دادن مقدار زیادی گرما به ازای تغییر دمای اندک، هوا را گرم می‌کند. دماهای بسیار زیاد در طول روز و دمای خیلی سرد در طول شب برای مناطق کویری، ناشی از نبودن توده‌های بزرگ آب در مجاورت آنهاست.



شکل۴ـ۶ انرژی مورد نیاز برای گرم کردن ۵ لیوان آب تا نقطهٔ جوش تقریباً برابر با انرژی مورد نیاز برای شتاب گرفتن یک خودرو کوچک تا سرعت تقریباً ۹۶ کیلومتر برساعت است.

تجربه کنید

وسایل مورد نیاز: دو عدد بادکنک، دو عدد شمع، آب
یکی از بادکنک‌ها را با آب و دیگری را با هوا پر کنید. سپس هر دو را روی شعله شمع بگیرید. چه چیزی مشاهده می‌کنید؟ دلیل آن چیست؟

کاربرد در صنعت و فناوری

صنایع آب‌بر، صنعت‌های بزرگی همچون ذوب آهن، تولید فولاد و پتروشیمی هستند که در بسیاری از فرایندهایشان از آب به عنوان خنک‌کننده یا حلّال استفاده می‌کنند. چنین صنعت‌هایی باید در مکان مناسب ساخته شوند تا مشکلات زیست‌محیطی ناشی از کمبود آب را ایجاد نکنند. بهترین مکان برای احداث این نوع کارخانه‌ها، سواحل و مکان‌های نزدیک به دریا است تا برای تأمین آب آنها مشکلی نباشد.

مثال

اگر بخواهیم دمای ۲۰g از یک جسم مجهول را به اندازهٔ ۱۰°C افزایش دهیم، مقدار ۲۰۰J گرما لازم است. ظرفیت گرمایی ویژه این جسم چقدر است؟

پاسخ:

$$m = ۲۰g = ۲۰g \times \frac{۱kg}{۱۰^{۳}g} = ۲\times۱۰^{-۲}kg \quad \text{و} \quad \theta_{۲}-\theta_{۱} = ۱۰^{\circ}C \quad \text{و} \quad Q = ۲۰۰J = ۲\times۱۰^{۲}J \quad \text{و} \quad c = ؟$$

$$Q = mc(\theta_{۲}-\theta_{۱}) \Rightarrow ۲\times۱۰^{۲}J = ۲\times۱۰^{-۲}kg \times c \times ۱۰^{\circ}C \Rightarrow$$

$$۲\times۱۰^{۲}J = ۲\times۱۰^{-۱}kg.^{\circ}C \Rightarrow c = \frac{۲\times۱۰^{۲}J}{۲\times۱۰^{-۱}kg.^{\circ}C} = ۱۰^{۳}\frac{J}{kg.^{\circ}C}$$

تمرین کنید

آشپزی می‌خواهد زمان لازم برای جوش آمدن آب درون قابلمه را محاسبه کند. توان مصرفی نوشته شده روی اجاق برقی ۱۴۰۰ وات است. اگر او ۲kg آب با دمای ۲۰°C در این قابلمه بریزد و آب در دمای ۱۰۰°C به جوش برسد، مدت زمانی را که او باید منتظر بماند، محاسبه کنید. (از اتلاف گرما صرف نظر کنید)

۴ـ۳ انتقال گرما

در علوم تجربی پایه هفتم دیدید که گرما به‌طور خود به خود همواره از اجسام با دمای بالاتر به اجسام با دمای پایین‌تر منتقل می‌شود. این انتقال به سه روش رسانش، همرفت و تابش صورت می‌گیرد.

۴ـ۳ـ۱ رسانش گرمایی: دستهٔ یک قاشق فلزی را در دست بگیرید و سر دیگر آن را روی شعلهٔ اجاق قرار دهید. در زمانی کوتاه دستهٔ قاشق که در دست شماست به اندازه‌ای داغ می‌شود که دیگر نمی‌توانید آن را نگه دارید. با توجه به اختلاف دمای دو سر قاشق، گرما از سر داغ به سمت دیگر منتقل می‌شود؛ انتقال گرما به این شیوه را رسانش می‌نامند. آتش باعث می‌شود اتم‌های گرم‌شدهٔ سر قاشق تندتر حرکت کنند. این اتم‌ها، اتم‌های مجاورشان را به ارتعاش بیشتر وادار می‌کنند و آنها هم همین کار را برای اتم‌های مجاور خود انجام می‌دهند.

فکر کنید

با توجه به ویژگی‌های حالت‌های مختلف مواد (جامد، مایع، گاز) در فصل۳، مواد در کدام حالت رسانش گرمایی بیشتری دارند؟ دلیل این امر چیست؟

رسانش خوب گرما در یک جسم به پیوندهای اتمی و مولکولی آن جسم بستگی دارد. به عنوان مثال فلزها رساناهای عالی گرما هستند. از طرف دیگر، پشم، شیشه، چوب، کاغذ، و پلاستیک رسانای ضعیف گرما هستند. رساناهای ضعیف گرما را «عایق» می‌نامند.

هوا رسانای بسیار ضعیف گرماست. ویژگی‌های اجسامی چون پشم، پر، فایبرگلاس و پشم شیشه به عنوان عایق خوب گرما بیشتر به دلیل هوای موجود در لایه‌های آنهاست.

آب رسانای ضعیف (عایق خوب) گرماست. برف از آب تشکیل شده است پس برف هم عایق خوبی برای گرما است. بنابراین، در فصل زمستان زمین را گرم نگه می‌دارد. دانه‌های برف از بلورهایی تشکیل شده‌اند که شبیه توده‌های

شکل ۴ـ۷ لحافی از برف روی دانه‌های درون خاک در زمستان

پَر به هم متصل شده و هوا را محبوس می‌سازند، در نتیجه مانع فرار گرما از سطح زمین به هوا می‌شوند. به همین سبب کشاورزان در مناطق سردسیر دانه‌های گندم را در فصل پاییز در خاک می‌پاشند. خاک و برف هردو به خوبی از سرمازدگی دانه‌ها جلوگیری می‌کنند.

آزمایش کنید

وسایل موردنیاز: میله‌های با جنس و طول متفاوت، شعله آتش، موم، خلال دندان

شرح آزمایش: به نوک دو سر میله‌ها و وسط آنها توسط موم خلال دندان بچسبانید. میله‌ها را از یک نقطه روی شعله قرار دهید. چه چیزی مشاهده می‌کنید؟ از این مشاهده در مورد عوامل مؤثر بر رسانش گرما چه نتیجه‌ای می‌توان گرفت؟

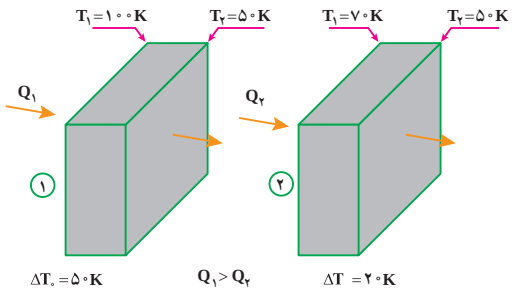
فکر کنید

چرا نانواها می‌توانند دست خود را برای مدتی بدون آسیب در داخل تنور ببرند، اما اگر دستشان به دیوارهٔ تنور بخورد، می‌سوزد؟

البته هیچ عایقی نمی‌تواند به طور کامل از عبور گرما جلوگیری کند. عایق فقط آهنگ انتقال گرما را کُند می‌کند. در زمستان، حتی بهترین خانه‌های گرمِ عایق‌بندی شده هم به تدریج سرد خواهند شد. عایق‌بندی کردن، انتقال گرما را کند می‌سازد.

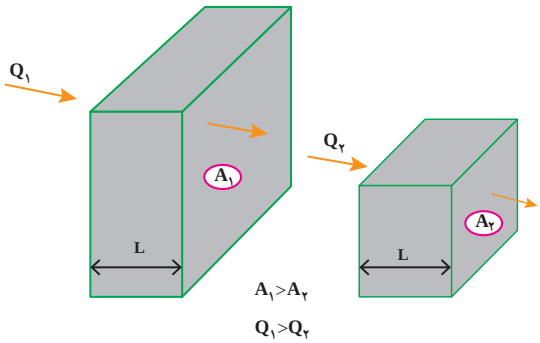
۴ـ۳ـ۲ محاسبهٔ آهنگ رسانش گرما: مقدار گرمای انتقال یافته از یک جسم به عوامل زیر بستگی دارد:

۱ـ اختلاف دمای دو سطح (نقطه) گرم و سرد ($T_2 - T_1$) یا ($\theta_2 - \theta_1$): اختلاف دما عامل انتقال گرماست، بنابراین هرچه اختلاف دمای بین دو سطحِ گرم و سرد بیشتر باشد، گرمای بیشتری جریان می‌یابد. انتقال گرما با اختلاف دمای دو سطح رابطهٔ مستقیم دارد (شکل ۴ـ۸).



شکل ۴ـ ۸ وابستگی آهنگ رسانش به اختلاف دمای دو سطح

۲ـ سطح مقطع جسم (A): بدیهی است که هرچه سطح بزرگ‌تر باشد تعداد مولکول‌های بیشتری به طور هم‌زمان کار انتقال گرما را انجام می‌دهند و مقدار گرمای بیشتری منتقل خواهد شد. پس انتقال گرما با سطح مقطع رابطهٔ مستقیم خواهد داشت (شکل ۴ـ۹).



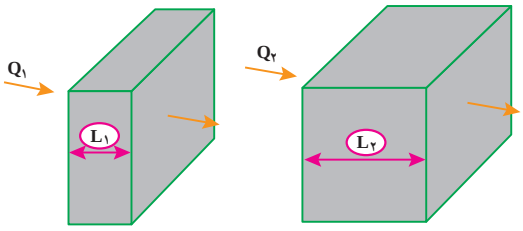
شکل ۴ـ ۹ وابستگی آهنگ رسانش به سطح مقطع جسم

۳ـ ضخامت جسم (L): هدایت گرما با ضخامت جسم یا به عبارت دیگر، با فاصلهٔ بین سطح گرم و سطح سرد جسم رابطهٔ وارون دارد. یعنی هرچه

ضخامت جسم کمتر باشد، هدایت گرما بیشتر خواهد بود (شکل ۴-۱۰).

۴ـ زمان عبور گرما(t) : هرچه زمان، بیشتر باشد مقدار گرمای بیشتری عبور خواهد کرد. بنابراین، انتقال گرما با زمان رابطهٔ مستقیم دارد.

۵ـ قابلیت هدایت گرمایی یا رسانندگی گرمایی (K): دیدیم که تمام مواد نمی‌توانند گرما را با آهنگِ یکسانی عبور دهند. فلزات رساناهای خوب گرما هستند و موادی همچون چوب و پلاستیک رساناهای ضعیف گرما هستند و موادی مانند پشم شیشه رساناهای خیلی ضعیف گرما یا عایق گرما هستند. رسانندگی گرمایی برخی از مواد در جدول ۴ـ۲ آمده است.



شکل ۴ـ۱۰ وابستگیِ آهنگ رسانش به ضخامت جسم

در نتیجه عوامل مؤثر در انتقال گرما به روش رسانش را می‌توان در معادلهٔ زیر خلاصه کرد:

$$Q = \frac{KAt(T_2 - T_1)}{L} = \frac{KAt\Delta T}{L} \qquad (۴ـ۴ \text{ الف})$$

اگر مقدار گرمای انتقال یافته در واحد زمان را بخواهیم، معادلهٔ فوق بر زمان تقسیم می‌شود و اصطلاحاً آهنگ رسانش گرما محاسبه می‌گردد.

$$H = \frac{Q}{t} = \frac{KA\Delta T}{L} \qquad (۴ـ۴ \text{ ب})$$

جدول ۴ـ۲ رسانندگی گرمایی مواد

ماده	رسانندگی گرمایی $(\frac{J}{s.m.K})$	ماده	رسانندگی گرمایی $(\frac{J}{s.m.K})$
سرب	۳۵	آهن	۸۲
شیشه	۱	نقره	۴۰۶
پنبه نسوز	۰/۰۹	هوا	۰/۰۲۴
آب	۰/۰۴	آجر	~۰/۶
یخ	۲/۲	چوب	~۰/۰۸
چوب پنبه	۰/۰۳	مس	۴۰۰
آلومینیوم	۲۳۸		

تمرین کنید

به کمک رابطهٔ ۴ـ۴ الف، یکای رسانندگی گرمایی را در SI به دست آورید.

فکر کنید

در ناحیهٔ کویری ایران که روزها گرم و شب‌ها سرد است، در گذشته دیوارهای خانه‌ها را اغلب از گِل می‌ساختند.
الف) چرا این دیوارها را از گل می‌ساختند؟
ب) اهمیت ضخیم بودن دیوارهای گلی چیست؟

مثال

شیشهٔ تک جدارهٔ پنجرهٔ یک آشپزخانه با ابعاد $۱\text{m} \times ۲\text{m}$ و با ضخامت ۲mm است. در یک روز سرد زمستانی که دمای بیرون ۰°C و دمای اتاق ۲۰°C است، در مدت ۱s از این پنجره چه مقدار گرما تلف می‌شود؟ (ضریب رسانش گرمایی شیشهٔ تک جداره تقریباً $۵\frac{\text{J}}{\text{s.m.K}}$)

پاسخ:

$$A = ۲\times۱ = ۲\text{m}^۲ \quad \text{و} \quad \theta_۱ = ۰^\circ\text{C} \quad \text{و} \quad \theta_۲ = ۲۰^\circ\text{C} \quad \text{و} \quad t = ۱\text{s} \quad \text{و} \quad K = ۵\frac{\text{J}}{\text{s.m.K}}$$

$$\text{و} \quad L = ۲\text{mm} = ۲\times۱۰^{-۳}\text{m}, Q = ?$$

$$Q = \frac{KAt(T_۲ - T_۱)}{L} \rightarrow Q = \frac{۵\times۲\times۱\times(۲۰-۰)}{۲\times۱۰^{-۳}} = \frac{۲\times۱۰^۲}{۲\times۱۰^{-۳}} = ۱۰^۵\text{J} = ۱۰^۵\not{\text{J}}\times\frac{۱\text{kJ}}{۱۰^۳\not{\text{J}}} = ۱۰^۲\text{kJ}$$

تمرین کنید

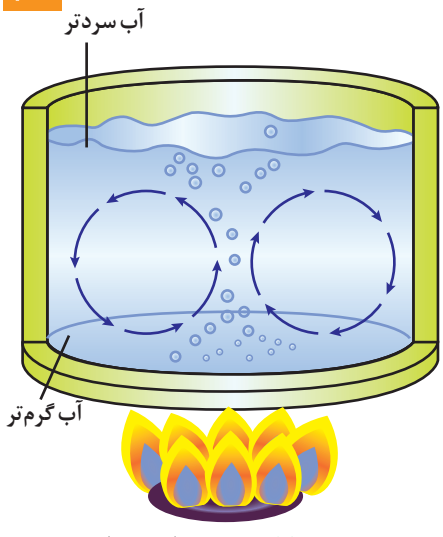
مثال قبل را با استفاده از مقادیر شیشهٔ دوجداره محاسبه نمایید و میزان کاهش اتلاف گرمایی این دو را با هم مقایسه کنید.

(ضریب رسانش گرمایی شیشهٔ دوجدارهٔ آرگون تقریباً $۱\frac{\text{J}}{\text{s.m.K}}$ است.)

۴ـ۳ـ۳ همرفت

مایعات و گازها گرما را بیشتر با روش همرفت منتقل می‌کنند، که ناشی از جابه‌جایی واقعی خود شاره است. در همرفت برخلاف رسانش (که گرما با برخوردهای متوالی الکترون‌ها و اتم‌ها منتقل می‌شود)، حرکت بخش‌های شاره (سیال حرارتی) دخالت دارد. همرفت می‌تواند در همهٔ شاره‌ها، چه مایع و چه گاز، رخ دهد.

در شکل ۴ـ۱۱ می‌بینید که نقطه‌ای از شاره که گرم می‌شود، مولکول‌هایش تندتر حرکت می‌کنند و بیشتر از هم دور می‌شوند، درنتیجه چگالی آنها کاهش می‌یابد و به بالا رانده می‌شوند. قسمت خنک‌ترِ شاره که چگال‌تر است جای شارهٔ گرم را می‌گیرد. به‌این ترتیب، جریان‌های همرفتی به وجود می‌آید. جریان‌های همرفتی در ایجاد بادها و در آب و هوا مؤثرند.



شکل ۴ـ۱۱ جریان همرفتی

بیشتر بدانید

وَ تَصریفِ‌الرِّیاحِ آیاتٌ لِقومٍ یَعقِلونَ (جاثیه، ۵)

«و در چرخش بادها برای افراد اندیشمند استدلال وجود دارد»

بادها در یک سیستم جهانی در چرخش‌اند. آنها هوای گرم را از مناطق استوایی به نواحی قطبی و هوای سرد را از نواحی قطبی به مناطق استوایی منتقل می‌کنند. به این ترتیب به دمای هوا توازن و تعادل می‌بخشند. چرخش بادها چه استدلالی را در بر دارد؟

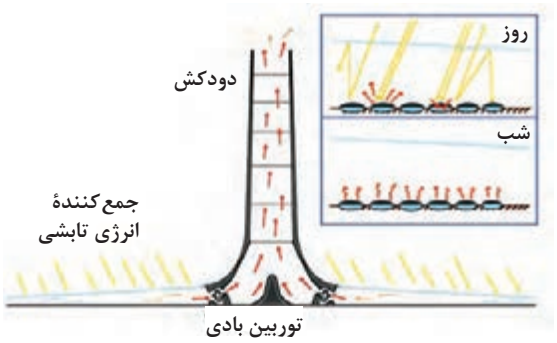
چیزی که ما امروزه می‌دانیم این است که چرخش بادها و وزیدن آنها برخلاف همدیگر باعث می‌شود ویرانی به‌بار نیاید. اگر بادها فقط در یک جهت می‌وزیدند همه چیز ویران می‌شد.

تجربه کنید

شمعی را روشن کرده و به آهستگی دست خود را با احتیاط در نقاط مختلف (از اطراف و بالای شعله) به شعله نزدیک کنید. نتیجهٔ تجربهٔ خود را گزارش دهید.

کاربرد در فناوری و صنعت

در شکل روبه‌رو یک گلخانه می‌بینید که با استفاده از انرژی تابشی گرما می‌گیرد و هوای گرم داخل گلخانه به دلیل جریان‌های همرفتی از طریق دودکش بلندی به ارتفاع ۵ متر به بالا رانده می‌شود. جریان باد توربین‌های تعبیه‌شده در مسیر را می‌چرخاند و برق تولید می‌کند. برق تولیدشده برای استفاده در شب ذخیره می‌شود.



۴ـ۳ـ۴ تابش: انرژی خورشید از فضای خلأ و جوّ زمین عبور می‌کند و سطح زمین به واسطهٔ تابیدن نور خورشید گرم می‌شود. انتقال این انرژی نه به واسطهٔ رسانش است نه همرفت، زیرا هیچ ماده‌ای در فضای خلأ وجود ندارد که به این روش‌ها گرما را منتقل کند. پس انرژی باید به صورت دیگری منتقل شده باشد. این نوع انتقال انرژی که توسط امواج الکترومغناطیسی صورت می‌گیرد، تابش گرمایی نامیده می‌شود.

همهٔ اجسام می‌توانند انرژی خود را به صورت امواج تابشی منتشر کنند؛ اما اجسام گرم‌تر، مقدار بیشتری انرژی تابشی منتشر می‌کنند؛ مثلاً سطح خورشید که دمای بالایی دارد، انرژی تابشی زیادی گسیل می‌کند.

۴ـ۴ انبساط گرمایی

مهندسین عمران در طراحی سازه‌هایی مانند پل‌های بزرگ فاصله‌هایی را منظور می‌کنند و یا یک سر سازه را متحرک و آزاد طراحی می‌کنند. فکر می‌کنید دلیل این کار چیست؟ در ادامهٔ این بخش دلیل این موضوع را بیشتر درک خواهید کرد.

۴ـ۴ـ۱ تأثیر گرما بر اندازهٔ مواد: در ابتدای فصل دیدید که چگونه وقتی دمای ماده‌ای افزایش یابد، مولکول‌ها و اتم‌های آن به طور میانگین تندتر تکان می‌خورند و بنابراین از هم دورتر می‌شوند که نتیجهٔ آن انبساط ماده است؛ معمولاً تمام مواد (جامد، مایع، گاز) به غیر از چند مورد خاص، هنگام گرم شدن منبسط و هنگام سرد شدن منقبض می‌شوند. در بیشتر مواردی که با جامدها سروکار داریم، این تغییرات حجم چندان زیاد نیست، اما با مشاهدهٔ دقیق می‌توان آنها را آشکار کرد.

در یک روز گرم تابستان، طول سیم‌های برق بیشتر از یک روز سرد زمستان است و انحنای(شکم) بیشتری دارند. درپوش فلزی شیشهٔ مربا را می‌توان با گرم کردن آن در زیر آب داغ راحت‌تر باز کرد. اگر بخشی از ظرف شیشه‌ای سریع‌تر از بخش دیگر داغ شود، منجر به شکستن شیشه می‌شود، مخصوصاً اگر شیشه ضخیم باشد. دندان‌پزشک باید از مادهٔ پرکننده‌ای استفاده کند که همان میزان انبساط دندان را داشته باشد. مهندسان ساختمان، در سازه‌های بتونی فولادی به کار می‌برند که میزان انبساط برابر با بتون داشته باشد. مهندسان عمران در ساختن پل‌های بزرگ پل را به صورت قطعه قطعه می‌سازند و بین قطعات شیارهای فاصله‌ای منظور می‌کنند که درزهای انبساط نامیده می‌شوند. گاهی مواقع این شیارها را با قیر پر می‌کنند تا بتواند در تابستان منبسط و در زمستان به راحتی منقبض شود.

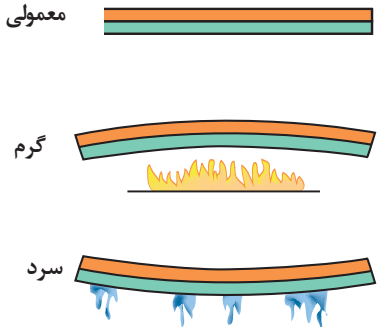
بیشتر بدانید

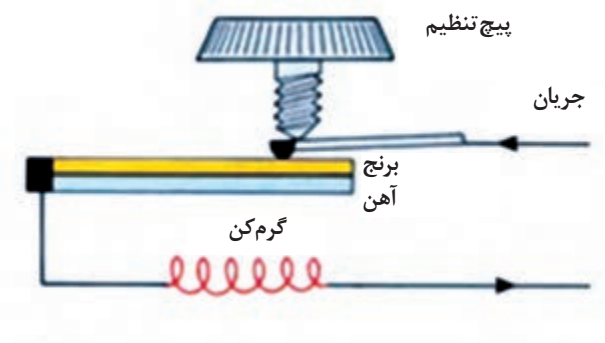
در گذشته، خط‌های آهن قطعه‌هایی ۱۱/۹متری بودند که با میله‌های اتصال به هم وصل می‌شدند و شکاف‌هایی برای انبساط بین این میله‌های بلند وجود داشت. در تابستان که خط‌های آهن منبسط می‌شدند این شکاف‌ها باریک بودند اما در زمستان شکاف‌ها گشاد می‌شدند و باعث صدای تلق‌تلق بیشتر هنگام حرکت قطار می‌شدند.

این روزها دیگر صدای تلق تلق را نمی‌شنویم زیرا این اندیشه از ذهن کسی گذشت که با جوش دادن خط‌های آهن به هم این شکاف را حذف کند. به نظر شما آیا انبساطِ ناشی از گرمای تابستان باعث تاب برداشتن خط‌های آهنِ به هم جوش داده، مطابق شکل روبه‌رو، نمی‌شود؟ نه! به شرط آنکه خط‌ها در گرم‌ترین روزهای تابستان جوش داده و نصب شوند! کاهش طول خط‌های آهن در هوای سرد باعث کشیدگی آنها می‌شود که کمانش(تاب) به وجود نمی‌آورد و آهن به دلیل خاصیت انعطافی و کششی کشیده شده و مشکلی به وجود نمی‌آورد.

کاربرد در فناوری و صنعت

آهنگ انبساط مواد مختلف، متفاوت است. برخی سریع‌تر منبسط شده و برخی کندتر. وقتی دو نوار از فلزهای مختلف ـ مثلاً برنج و آهن ـ به هم جوش داده یا پرچ شوند، انبساط بیشتر یکی از آنها باعث خم‌شدن نوار می‌شود؛ از طرف دیگر، با سردشدن قطعه، نوار از طرف مقابل خم می‌شود زیرا فلزی که بیشتر منبسط شود، بیشتر هم منقبض می‌شود. از این حرکت نوار می‌توان برای چرخش عقربه، یا خاموش و روشن کردن یک دستگاه استفاده کرد. این قطعه در ترموستات کاربرد یافته است. خم شدن نوار به دو جهت باعث خاموش و روشن شدن مدار الکتریکی می‌گردد. یخچال و اتو به ترموستاتی مجهزند که از سرد یا گرم شدن بیش از حد آنها جلوگیری می‌کند.





۴ـ۴ـ۲ محاسبهٔ مقدار انبساط: همان‌طور که گفتیم، مهندسین عمران بین قطعات پل و ریل‌های آهن فاصله‌هایی را تعبیه می‌کنند. این فاصله‌ها چقدر باید باشند و چگونه محاسبه می‌شوند؟ در ادامهٔ فصل، میزان انبساط اجسام را بر اثر گرما می‌توانید محاسبه کنید.

انبساط طولی: اجسامی که طول آنها نسبت به ابعاد دیگر بسیار بیشتر باشد، انبساط طولی دارند. اگر طول یک میله در دمای θ_1 برابر L_1 باشد و طول آن در دمای θ_2 برابر L_2 باشد، میزان تغییر طول این میله یعنی $L_2 - L_1$ به سه عامل بستگی خواهد داشت: طول اولیهٔ میله(L_1) ـ میزان تغییر دما $(\Delta\theta)$ ـ ضریب انبساط طولی (جنس میله) (α)

بنابراین معادلهٔ انبساط طولی به شکل زیر خواهد بود:

$$L_2 - L_1 = \alpha L_1 \Delta\theta \qquad \text{(الف)} \quad ۵ـ۴$$

$$L_2 = L_1 (1 + \alpha\Delta\theta) \qquad \text{(ب)} \quad ۵ـ۴$$

نکته

یکای ضریب انبساط طولی $\frac{1}{K}$ یا $\frac{1}{^\circ C}$ است.

جدول ۴ـ۳ ضریب انبساط طولی مواد مختلف

ماده	ضریب انبساط طولی $(\frac{1}{K})$
آلومینیوم	۲۳×۱۰^{-۶}
آجر	۹×۱۰^{-۶}
مس	۱۷×۱۰^{-۶}
الماس	تقریباً صفر
بتن	۱۲×۱۰^{-۶}
آهن	۱۲×۱۰^{-۶}
کوآرتز	$۰/۲ \times ۱۰^{-۶}$
روی	۳۱×۱۰^{-۶}
برنج	۱۹×۱۰^{-۶}

مثال

طول یک سیم نازک برق از جنس مس در دمای $0^\circ C$، $30\,m$ است. اگر در اثر گرما دمای سیم به $40^\circ C$ افزایش یابد، طول سیم چقدر افزایش خواهد یافت؟

$(\alpha = 17\times10^{-6}\frac{1}{^\circ C})$

پاسخ:

$\theta_1 = 0^\circ C$ و $L_1 = 30\,m$ و $\theta_2 = 40^\circ C$ و $L_2 - L_1 = ?$

$L_2 - L_1 = \alpha L_1 \Delta\theta$

$L_2 - L_1 = 17\times10^{-6}\times30\times(40-0) = 2/04\times10^{-2}\,m$

$= 2/04\,cm$

انبساط سطحی: همواره انبساط خطی اجسام در همهٔ ابعاد رخ می‌دهد، بنابراین انبساط سطحی و حجمی را می‌توان با استفاده از انبساط خطی در همهٔ ابعاد محاسبه کرد. روابط آنها شبیه به رابطهٔ انبساط طولی است با این تفاوت که ضریب انبساط سطحی دو برابر ضریب انبساط خطی است و به جای طول اولیه و ثانویه، سطح اولیه (A_1) و ثانویه (A_2) خواهیم داشت:

$A_2 - A_1 = 2\alpha A_1 \Delta\theta$ (الف ۶ـ۴)

$A_2 = A_1(1+2\alpha\Delta\theta)$ (ب ۶ـ۴)

انبساط حجمی: ضریب انبساط حجمی سه برابر ضریب انبساط خطی است و با β نشان داده می‌شود، بنابراین معادلهٔ آن به‌صورت زیر خواهد بود:

$V_2 - V_1 = \beta V_1 \Delta\theta = 3\alpha V_1 \Delta\theta$ (الف ۷ـ۴)

$V_2 = V_1(1+3\alpha\Delta\theta)$ (ب ۷ـ۴)

مثال

دمای یک ورقه را $25^\circ C$ افزایش می‌دهیم. مساحت آن یک درصد افزایش می‌یابد. ضریب انبساط خطی آن فلز در SI چقدر است؟

پاسخ: $\alpha = ?$ و $\Delta\theta = 25^\circ C$ و $A_2 - A_1 = \frac{1}{100}A_1$

$A_2 - A_1 = 2\alpha A_1 \Delta\theta \Rightarrow \frac{1}{100}A_1 = 2\alpha A_1(25) \Rightarrow$

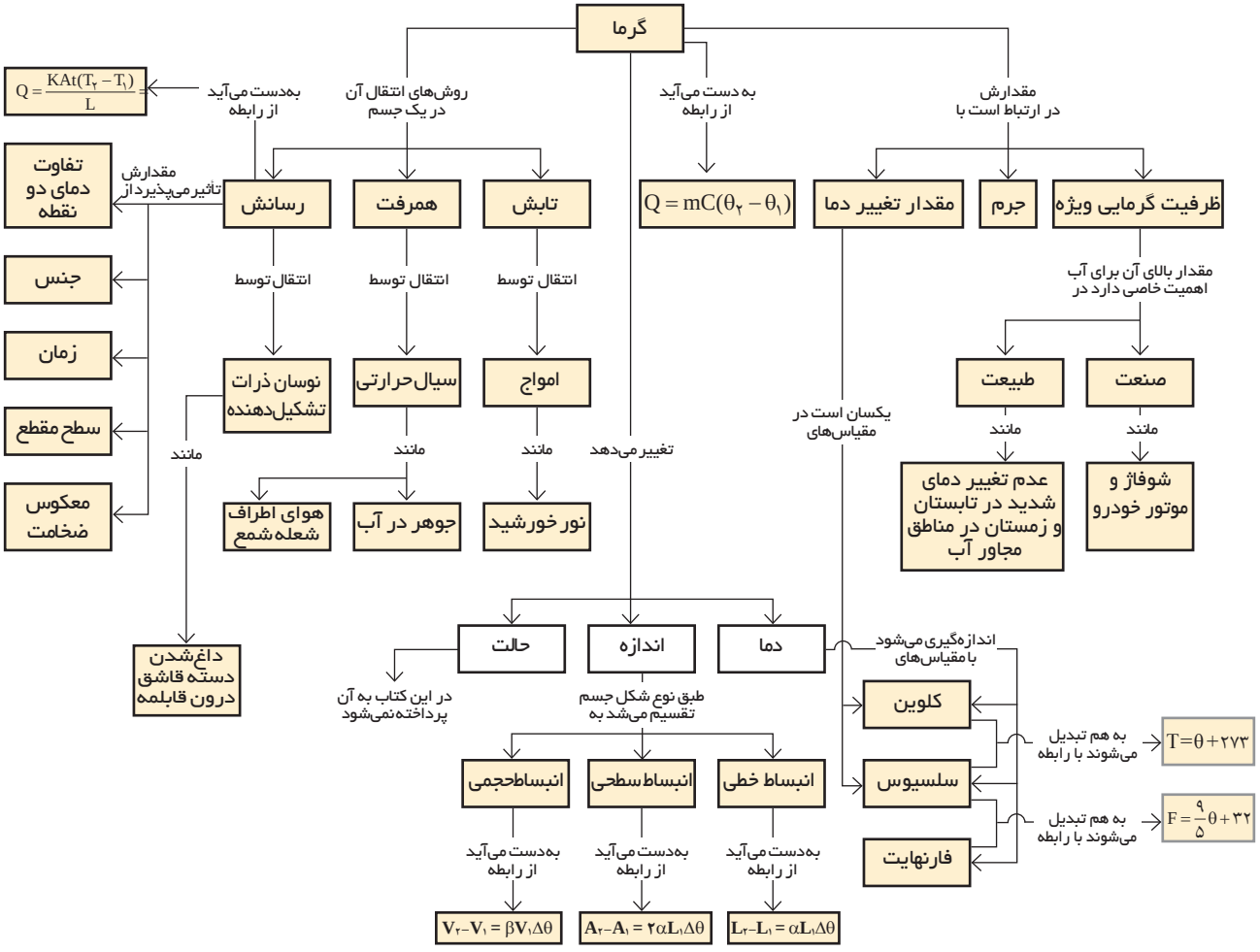
$\frac{1}{100} = 50\alpha \Rightarrow \alpha = \frac{1}{100\times50} = 0/0002 = 2\times10^{-4}\frac{1}{K}$

تمرین کنید

اگر پنجره‌ای با ابعاد 1×2 متر ساخته شده باشد و شیشه‌بر بخواهد در زمستان که دمای هوا $5^\circ C$ است، شیشه‌ای برای آن نصب کند، چقدر فاصله برای انبساط شیشه در تابستان با دمای $35^\circ C$ باید در نظر بگیرد؟

$(\alpha_{\text{شیشه}} = 3/3\times10^{-6}\frac{1}{K})$

جمع بندی ـ نقشه مفهومی



چندپرسش

۱ــ دو جسم با جرم و دمای متفاوت در تبادل گرما با یکدیگر قرار می‌گیرند. بهترین گزینه را انتخاب کنید: انرژی.....

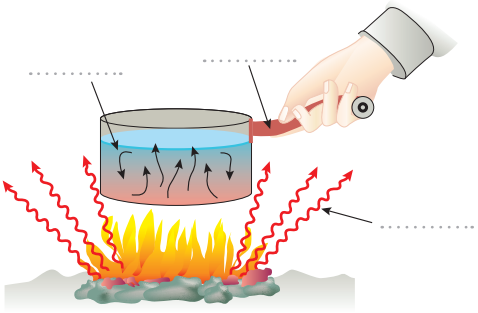
الف) از جسم با جرم بیشتر به جسم با جرم کمتر منتقل می‌شود.

ب) از جسم بزرگ‌تر به جسم کوچک‌تر منتقل می‌شود.

ج) از جسم با دمای بیشتر به جسم با دمای کمتر شارش می‌کند.

۲ــ چرا وقتی سیم‌های برق و تلفن را در تابستان بین تیرها می‌کشیم بهتر است بگذاریم کمی شکم دهند و خم داشته باشند؟

۳ــ در جاهای خالی از سه روش انتقال گرما، روش مناسب را بنویسید.



۴ــ توضیح دهید چرا در صنعت تراشکاری، هنگام تراش خوردن فلز یا بلور، دائم روی فلز آب ریخته می‌شود؟

۵ــ درآب‌گرم‌کن‌ها، چگونه از اتلاف گرمای آب داغ در مخزن جلوگیری می‌کنند؟

۶ــ آیا از آب می‌توان به عنوان مایع دماسنجی استفاده کرد؟چرا؟

۷ــ در هوای سرد، تیغهٔ فلزی چاقو از دستهٔ چوبی‌اش خنک‌تر به نظر می‌رسد، چرا؟

چندمسئله

۱ــ دمای بدن انسان در حالت طبیعی تقریباً $37\ ^\circ C$ است. این دما بر حسب کلوین و فارنهایت چقدر است؟

۲ــ قطعه‌ای از موتور یک خودرو به جرم ۱/۹کیلوگرم، که از ترکیب دو فلز آهن و آلومینیوم ساخته شده است که باید در دمای ۱۵۰ درجهٔ سلسیوس کار کند. اگر ۱۹۶ کیلو ژول انرژی لازم باشد تا دمای این آلیاژ را از ۲۰ درجهٔ سلسیوس به ۱۵۰ درجهٔ سلسیوس برسد، ظرفیت گرمایی ویژه این آلیاژ چه مقدار است؟

۳ــ در صنایع فلزی برای خنک کردن و تسهیل فرایند برش از روغن‌های معدنی استفاده می‌شود. اگر دمای یک قطعهٔ ۲کیلوگرمی آلومینیوم توسط این روغن از ۲۰۰ درجهٔ سلسیوس به ۷۵ درجهٔ سلسیوس برسد، در طول این فرایند، آلومینیوم چند ژول گرما از دست داده است؟ (ظرفیت گرمایی ویژه آلومینیوم $900\ \frac{J}{kg^\circ C}$ است)

۴ــ طول قطعات یک پل فولادی در دمای $20\ ^\circ C$ برابر ۱۵ متر است. اگر حداکثر دمای منطقه در تابستان $50\ ^\circ C$ و حداقل دمای آن در زمستان $-10\ ^\circ C$ باشد، بیشترین و کمترین طول این قطعات در تابستان و زمستان را حساب کنید.

۵ ــ دو دیسک دایره‌ای‌شکل A و B به شعاع ۲۰cm و ۴۰cm به ترتیب در دمای ۲۰۰°C و ۱۰۰°C وجود دارد. در چه دمایی مقدار انبساط سطحی B دو برابر انبساط سطحی A می‌شود؟

۶ ــ سقف یک خانه به ابعاد ۶×۹ متر از جنس آجر یک لایه با ضخامت ۱۰cm است. در یک روز زمستانی دمای بیرون خانه ۱۵ درجهٔ سلسیوس کمتر از دمای درون خانه است. اتلاف انرژی از سقف در مدت یک شبانه‌روز چقدر است؟

پروژهٔ پایانی

۱ــ حسگر (سنسور) حرارتی وسیله‌ای برای هشدار حریق است. در مورد انواع مختلف این حسگرها و شیوه کار آنها تحقیق کنید و نتایج آن را با مباحث فصل تحلیل کنید.

۲ ــ با توجه به آموخته‌های این فصل، در مورد عایق‌های گرمایی تحقیق نمایید و با دانش خود وسیله‌ای (مثلاً فلاسک) طراحی کنید.

فصل پنجم

جریان و مدارهای الکتریکی

حتماً تاکنون به ریسه‌هایی که برای تزیین خیابان‌ها و معابر استفاده می‌شود نگاه کرده و متوجه شده‌اید که با وجود سوختن یکی از لامپ‌ها بقیه همچنان روشن هستند. آیا فکر کرده‌اید که چرا چنین است؟ آیا شیوهٔ به هم بسته شدن لامپ‌ها در ریسه‌ها مهم است؟

خواص الکتریکی مواد

شدت جریان الکتریکی

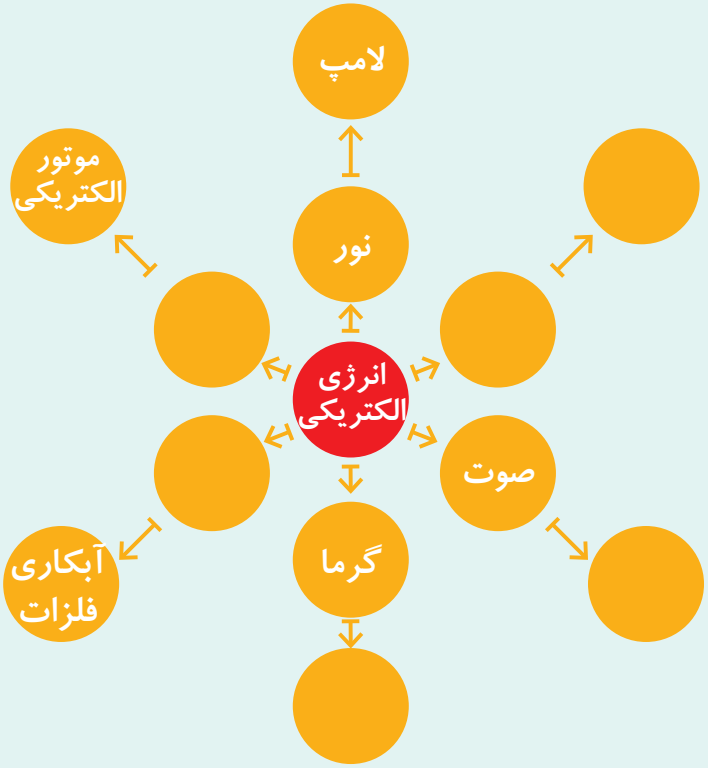
اختلاف پتانسیل (ولتاژ) مقاومت الکتریکی

انرژی الکتریکی مصرفی

امروزه انرژی الکتریکی به‌عنوان مهم‌ترین منبع انرژی نقش اساسی در زندگی روزمره ایفا می‌کند. با نگاهی به اطراف خود، متوجه اکثر وسایل خانگی و صنعتی که با انرژی الکتریکی کار می‌کنند، می‌شویم.

فکر کنید

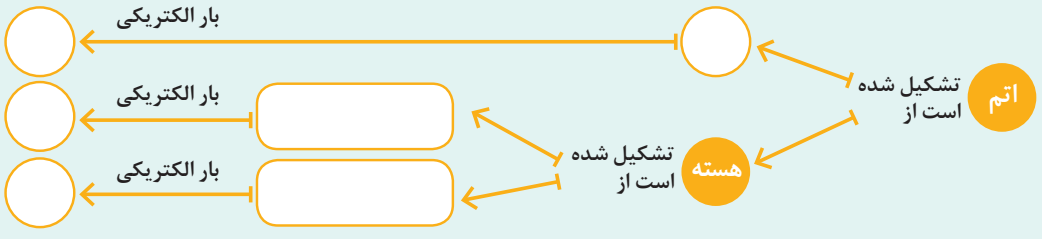
شکل زیر نمونه‌هایی از کاربرد انرژی الکتریکی را نشان می‌دهد. جاهای خالی را با کلمات مناسب پر کنید.



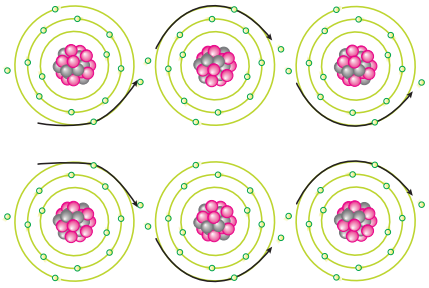
همان‌طور که از «فکر کنید» متوجه شدید، بدون وجود انرژی الکتریکی تقریباً اکثر فعالیت‌های صنعتی مختل می‌شود. اما برق و الکتریسیته چیست؟ و چگونه به‌وجود می‌آید؟ و چه استفاده‌هایی دارد؟ قبل از اینکه به پاسخ این پرسش‌ها بپردازیم، بهتر است مروری بر دانش خود دربارهٔ اتم‌ها و ساختمان آنها داشته باشیم. در کتاب علوم پایه هشتم با ساختمان اتم آشنا شدید.

فکر کنید

جاهای خالی را با کلمات مناسب پرکنید.

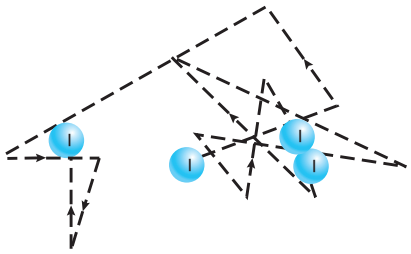


۵ـ۱ الکترون آزاد



شکل ۵ـ۱ انتقال الکترون آزاد در یک اتم به اتم دیگر

همان‌طور که در کتاب علوم تجربی پایهٔ هشتم بیان شده، تفاوت بین مواد رسانا و نارسانا در ساختمان اتمی آنها نهفته است. الکترون‌ها در فضای اطراف هسته قرار دارند. آن دسته از الکترون‌هایی که از هسته دور هستند تحت اثر نیروی جاذبه ضعیفی قرار می‌گیرند. همچنین الکترون‌هایی که درلایه‌های پایین‌تر هستند آنها را دفع می‌کنند. بنابراین الکترون‌های لایه‌های آخر (که به آنها الکترون‌های والانس نیز می‌گویند) بستگی کمتری به اتم‌های خود دارند و با کمترین انرژی از اتم‌ها کنده شده و به شکل توده‌ای از ابر، شبکه‌های اتمی فلزات را در برمی‌گیرند. این الکترون‌ها بدون آنکه به اتم خاصی وابسته باشند آزادانه درون ماده حرکت می‌کنند و پیوسته از اتمی به اتم دیگر منتقل می‌شوند (شکل ۵ـ۱)؛ بنابراین به آنها الکترون آزاد می‌گویند. همان‌طور که در شکل ۵ـ۲ نشان داده‌شده است، الکترون‌های آزاد به صورت کاتوره‌ای در رساناها حرکت می‌کنند، زیرا الکترون‌ها در اثر برخورد با اتم‌ها، الکترون‌های آزاد دیگر و ... مرتباً مسیر خود را تغییر می‌دهند.

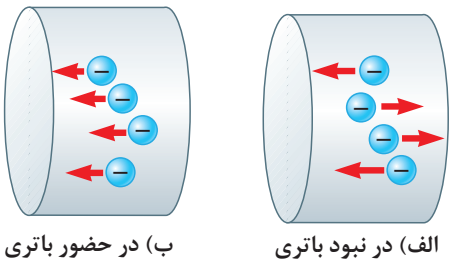


شکل ۵ـ۲ حرکت کاتوره‌ای الکترون‌های آزاد

۵ـ۲ شدت جریان الکتریکی

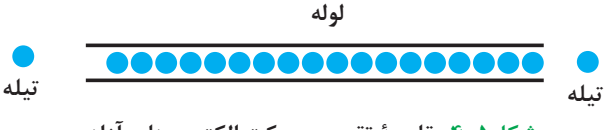
همان‌طور که مولکول‌های آب درون یک لیوان به اطراف خود حرکت دارند و آب در کل ساکن به نظر می‌رسد؛ حرکت کاتوره‌ای الکترون‌ها در درون رسانا نیز باعث ایجاد جریان در رسانا نمی‌گردد. اگر سیم رسانا را با یک صفحه فرضی قطع کنیم و سطح مقطعی از آن را درنظر بگیریم، الکترون‌های آزاد در همهٔ جهت‌ها حرکت می‌کنند و بنابراین هیچ گونه انتقال خالص باری از مقطع معین نداریم و در نتیجه جریانی از سیم نمی‌گذرد (شکل ۵ـ۳ الف). ولی اگر دو طرف رسانا را به دو پایانه مثبت و منفی باتری وصل کنیم، شارش(حرکت) آرامی از بارها در یک جهت ظاهر می‌شود (شکل ۵ـ۳ب). در این حالت انتقال خالصی از بارها به‌وجود آمده در نتیجه جریان الکتریکی در رسانا ایجاد می‌گردد.

الکترون‌های آزادی که در رسانا حرکت می‌کنند، هرکدام الکترون بعد از خود را هل می‌دهند به‌طوری که همهٔ الکترون‌ها همانند یک گروه حرکت می‌کنند. با استفاده از یک تشبیه می‌توان حرکت الکترون‌های آزاد را شبیه حرکت تیله‌ها در یک لولهٔ پر از تیله درنظر گرفت (شکل ۵ـ۴).



الف) در نبود باتری ب) در حضور باتری

شکل ۵ـ۳ حرکت الکترون‌های آزاد درون رسانا



شکل ۵ـ۴ مقایسهٔ تقریبی حرکت الکترون‌های آزاد درون رسانا با حرکت تیله‌های درون لوله

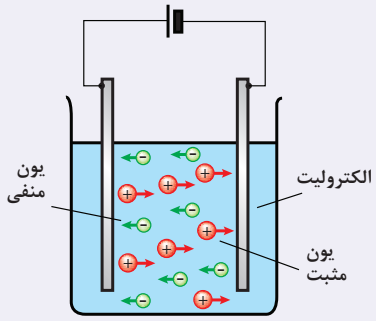
همانند لوله که پر از تیله است، رسانا نیز پر از الکترون‌های آزادی است که تحت تأثیر باتری برای حرکت آماده است. اگر یک تیله به‌طور ناگهانی از طرف چپ وارد لولهٔ پر از تیله شود، تیله دیگری سعی می‌کند از سمت راست لوله خارج شود. این حرکت با سرعت بالایی انجام می‌شود در حالی که تیله‌های وسطی با سرعت کمی حرکت می‌کنند. در الکتریسیته نیز انتقال انرژی از یک سر رسانا به سر دیگر آن با سرعت نور ($۳\times۱۰^{۸}\ \frac{m}{s}$) انجام می‌شود، اما الکترون‌ها با سرعت خیلی کمتری ($۱۰^{-۵}\ \frac{m}{s}$) این مسیر را طی می‌کنند.

فکر کنید

چرا هنگامی که کلید لامپ را فشار می‌دهید، بلافاصله لامپ روشن می‌شود؟

نکته

حامل‌های بار در رساناها الکترون‌ها 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.

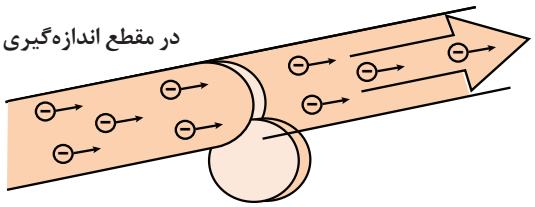


اکنون می‌خواهیم تعریفی کمّی از جریان الکتریکی ارائه نماییم: به مقدار بار الکتریکی خالصی که از یک مقطع رسانا، در زمان معینی عبور می‌کند، شدت جریان الکتریکی متوسط گویند. شدت جریان الکتریکی متوسط را با نماد $\bar{I}$ نشان می‌دهند و یکای آن آمپر(A) است.

اگر جریان در طول زمان تغییر نکند جریان متوسط و جریان لحظه‌ای با هم برابرند.

$$\bar{I}=\frac{\Delta q}{\Delta t} \qquad (۱\text{ـ}۵)$$

در رابطه بالا Δq مقدار بار جابه‌جا شده برحسب کولن (C) و Δt زمان برحسب ثانیه (s) می‌باشد.



شکل ۵ـ۵ جریان الکتریکی

آندره‌ماری آمپر

دانشمند فرانسوی در دهکده‌ای نزدیک شهر لیون به‌دنیا آمد. چون در آن دهکده مدرسه‌ای نبود، آمپر به خودآموزی پرداخت. آمپر استاد ریاضیات در دانشگاه پاریس شد و در تکامل علوم فیزیک، ریاضی و فلسفه سهم بسزایی ایفا کرد. آمپر پس از آزمایش‌های بسیار متوجه شد که دو سیم موازی حامل جریان به یکدیگر نیرو وارد می‌کنند.

بیشتر بدانید

جریان DC

ساده‌ترین نوع جریان الکتریکی جریان مستقیم (Direct Current) است که در آن ولتاژ با گذشت زمان تغییر نمی‌کند؛ بارهای الکتریکی همواره در یک جهت عبور می‌کنند. تمامی باتری‌ها و پیل‌های الکتریکی جریان مستقیم تولید می‌کنند.

بیشتر بدانید

در رابطه $\Delta q = \bar{I}(\Delta t)$ اگر $\bar{I}$ برحسب آمپر و Δt برحسب ساعت باشد، یکای Δq آمپرساعت می‌شود. باتری خودروها یا گوشی‌های همراه عموماً با آمپرساعتِ آنها مشخص می‌شود و هر چه آمپرساعتِ یک باتری بیشتر باشد، حداکثر باری که باتری می‌تواند از مدار عبور دهد تا به‌طور ایمن تخلیه شود، بیشتر است.

مثال

هنگامی که یک ماشین حساب جیبی روشن می‌شود از باتری آن جریان ۰/۱۵mA می‌گذرد. اگر این ماشین حساب ۱۰ دقیقه روشن باشد، چه مقدار بار خالص از مدار ماشین حساب عبور می‌کند؟

پاسخ :

$$\Delta t = ۱۰ \times ۶۰ = ۶۰۰s \ , \ \bar{I} = ۰/۱۵mA \ , \ \Delta q = ?$$

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} \rightarrow \Delta q = I\Delta t \rightarrow \Delta q = ۰/۱۵ \times ۱۰^{-۳} A \times ۶۰۰s = ۹ \times ۱۰^{-۲} A.s = ۹ \times ۱۰^{-۲} C$$

شکل ۵ ـ۶ نمونه‌هایی از آمپرسنج

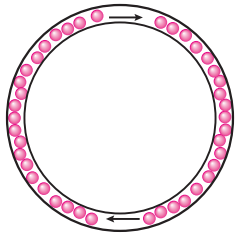
در مدارهای الکتریکی برای اندازه‌گیری شدت جریان الکتریکی از وسیله‌ای به نام آمپرسنج استفاده می‌شود.

کاربرد در صنعت و فناوری: قوس الکتریکی در جوش‌کاری

جریان الکتریکی از جاری‌شدن الکترون‌ها در یک مسیر رسانا به وجود می‌آید. هرگاه در چنین مسیری یک شکاف هوا (گاز) ایجاد شود جریان الکترونی و در نتیجه جریان الکتریکی قطع خواهد شد. چنانچه شکاف هوا به اندازه کافی باریک و اختلاف پتانسیل و شدت جریان زیاد باشد، گاز میان شکاف یونیزه شده و قوس الکتریکی برقرار می‌شود. هنگام جوش‌کاری نیز، الکترود انبر نقش پایانه مثبت و قطعه کار نقش پایانه منفی را دارد. زمانی که الکترود با قطعهٔ کار برخورد می‌کند جرقه‌ای ایجاد می‌شود که همان قوس الکتریکی است.

۵ـ۳ مدار الکتریکی

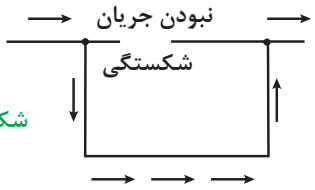
اگر بخواهیم الکترون‌ها در یک جهت خاص و از مکان معینی شارش کنند، باید مسیر مناسبی برای حرکت آنها ایجاد کنیم، این مسیر باید یک مسیر بسته باشد، که آن را مدار الکتریکی می‌گویند (شکل ۵ـ۷).
هرگونه قطع‌شدگی در مدار مانع حرکت الکترون‌ها می‌گردد (شکل ۵ـ۸).



شکل ۵ ـ ۷ مسیر بسته برای عبور جریان (مدار)

شکل ۵ـ۸ قطع شدگی در مدار

برای ارتباط دو نقطهٔ قطع شده می‌توانیم از سیم دیگری استفاده کنیم و شارش الکترون‌ها را دوباره برقرار نماییم (شکل ۵ـ۹).



شکل ۵ـ۹ با سیم دیگری می توان ارتباط دو نقطه قطع شده را برقرار کرد

بیشتر بدانید

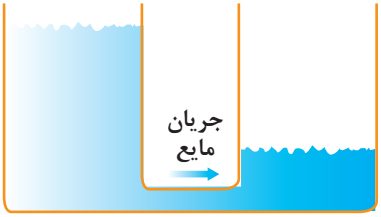
جریان الکتریکی همواره مسیری را برای عبور انتخاب می‌کند که کوتاه‌ترین و سریع‌ترین مسیر ممکن باشد. از آنجا که ۷۰ درصد بدن ما را آب تشکیل داده و آب رسانای بسیار خوبی برای گذر جریان الکتریکی است، هنگامی که انگشت ما با یک چرخهٔ جریان تماس پیدا می‌کند یعنی کوتاه‌ترین راه برای گذر جریان الکتریکی پیدا شده است. لازمهٔ برق‌گرفتگی، عبور جریان الکتریکی از بدن است. یعنی اگر قسمتی از بدن جاندار، در مسیر ورود جریان الکتریسیته قرار بگیرد ولی جریان از بدن آن خارج نشود، برق‌گرفتگی رخ نخواهد داد؛ زیرا عبور برق است که موجب این امر می‌شود، نه ورود آن. وقتی یک پرنده بر روی سیم حامل جریان می‌نشیند، برق به بدن او وارد شده است، اما راهی برای خروج ندارد. در نتیجه جریان ورودی به بن‌بست رسیده و پدیدهٔ برق‌گرفتگی اتفاق نمی‌افتد. درهمین موقع، اگر بدن پرنده به هرصورت ممکنی با زمین یا دیوار یا سیم دیگر برخورد نماید، دچار برق‌گرفتگی خواهد شد.

۵ـ۴ اختلاف پتانسیل الکتریکی (ولتاژ)

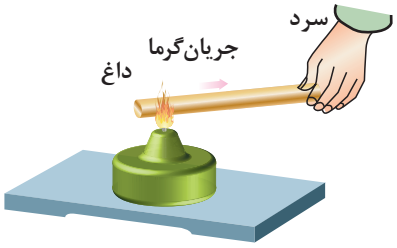
اختلاف پتانسیل الکتریکی را می‌توان با اختلاف دما که سبب انتقال گرما در یک جسم می‌شود یا اختلاف سطح مایع بین دو ظرف به هم پیوسته که سبب جاری شدن مایع بین دو ظرف می‌گردد، مقایسه کرد. همان‌طور که اختلاف دما جهت انتقال گرما و اختلاف فشار مایع جهت حرکت مایع را مشخص می‌کند، اختلاف پتانسیل الکتریکی نیز جهت جریان را نشان می‌دهد (شکل ۵ـ۱۰). جریان آب در شکل ۵ـ۱۰ الف، بعد از

مدتی قطع خواهد شد. برای برقراری مداوم این جریان وجود پمپ الزامی است(شکل ۵ـ۱۱). باتری خشک، باتری اتومبیل و... منابع تولید اختلاف پتانسیل در مدار هستند، و نقش آنها همانند پمپ آب است که باعث تداوم جریان الکتریکی در مدار می‌شود.

طبق قرارداد، جریان از پتانسیل بیشتر(پایانه مثبت باتری) به سمت پتانسیل کمتر(پایانه منفی باتری) شارش می‌کند.



الف) جریان آب به دلیل اختلاف سطح

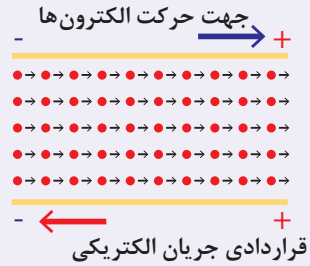


ب) انتقال گرما در میله به دلیل اختلاف دما

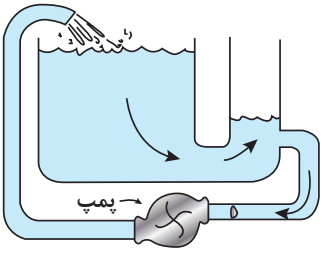
شکل ۵ـ۱۰ همواره اختلاف پتانسیل بین دو نقطه باعث به‌وجود آمدن جریان الکتریکی می‌شود.

نکته

جهت جریان الکتریکی



جهت قراردادی جریان الکتریکی



شکل ۵ـ۱۱ پمپ آب عامل تداوم جریان

بیشتر بدانید

پیل الکتریکی در ایران باستان در فاصله سال‌های ۲۵۰ ق.م تا ۲۲۴ پ.م در تیسفون ساخته شده است. در سال ۱۳۱۷ خورشیدی باستان‌شناس آلمانی، ویلهلم کونیک و همکارانش، ابزارهایی را در نزدیکی تیسفون، پایتخت ایران، در زمان اشکانیان یافتند. پس از بررسی معلوم شد، این ابزارها پیل‌های الکتریکی هستند و در دوره اشکانی ساخته شده‌اند. او این پیل‌ها را باتری **پارتی** نامید که برای آبکاری و انتقال لایه‌ای از طلا یا نقره از سطحی به سطح دیگر به کار می‌رفته است.

کاربرد در صنعت و فناوری : فازمتر

فازمتر وسیله‌ای برای تشخیص وجود ولتاژ الکتریکی است. برای تشخیص سیم فاز از سیم نول نیز به‌کار می‌رود. هرگاه نوک فازمتر را داخل یکی از خانه‌های پریز یا سر سیمی که برق در آن جریان دارد بگذاریم و انگشت دست را روی پیچ انتهایی دسته آن قرار دهیم، اگر لامپ آن روشن شد آن سیم فاز است. وقتی که فازمتر را وارد پریز برق می‌نمایید بخش بسیار کمی از الکترون‌ها که از مقاومت فازمتر عبور می‌کنند وارد بدن فرد شده و لامپ درون فازمتر در اثر عبور این جریانِ کم روشن می‌شود. بدن ما نقش سیم را ایفا می‌کند و زمین نقش نول، اگر ما کفش عایق پوشیده باشیم، ارتباط ما با زمین قطع شده و لامپ روشن نمی‌شود.

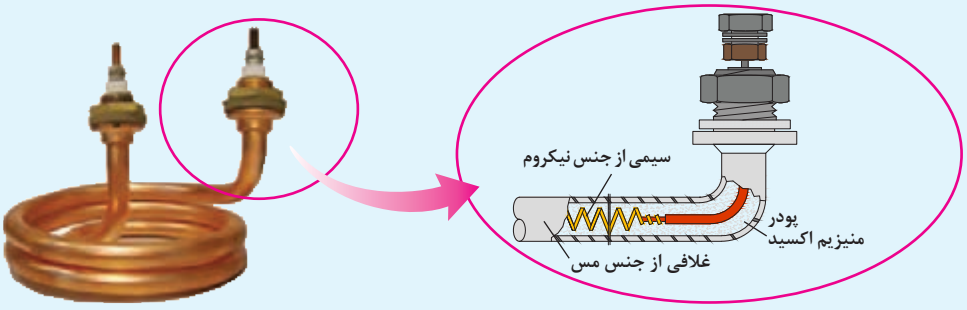
۵ــ۵ مقاومت الکتریکی

شکل ۵ــ۱۲ حرکت الکترون در اتم

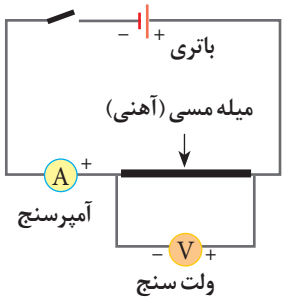
در مسیر حرکت الکترون‌ها درون مواد موانعی وجود دارد (اتم‌های جسم ماده، الکترون‌های آزاد دیگر و ...). هرچه این موانع کمتر باشند عبور جریان بهتر صورت می‌گیرد و می‌گوییم جسم مقاومت کمتری دارد و رسانای بهتری است. الکترون‌ها در مسیر حرکت خود، طی برخوردهایی که با اتم‌های جسم رسانا دارند، با انتقال انرژی جنبشی به اتم‌ها، باعث گرم شدن قطعه می‌شوند (شکل ۵ــ۱۲). گاهی این گرما به قدری است که باعث تابش نور می‌گردد؛ همانند نور تابش شده از فیلامان لامپ‌های رشته‌ای. گاهی مقاومت مانند مقاومت سیم‌های رابط به صورت ناخواسته و مزاحم باعث اتلاف انرژی الکتریکی می‌شود و گاهی می‌تواند به‌عنوان عاملی از پیش تعیین‌شده به صورت یک مصرف‌کننده در مدارهای الکتریکی مورد استفاده قرار گیرد، مانند فیلامان داخل سماور برقی، اتو، بخاری برقی و ... که در اثر مقاومت زیاد، گرما ایجاد می‌شود و مورد استفاده قرار می‌گیرد. مقاومت الکتریکی را با نماد R نشان می‌دهند و یکای آن اهم است که با حرف یونانی Ω نمایش داده می‌شود.

بیشتر بدانید

سماورها و کتری‌های برقی یکی از انواع گرم‌کن‌های الکتریکی به‌شمار می‌آیند که با تبدیل انرژی الکتریکی دریافتی به گرما منجر به گرم شدن آب درون مخزن خود می‌شوند. در ساختمان اینگونه گرم‌کن‌ها به طور معمول از المنت های حرارتی حلزونی شکلی با غلافی از مس استفاده شده است. در درون این غلاف رشته سیمی از جنس نیکروم (معمولاً ۸۰ درصد نیکل و ۲۰ درصد کروم) قرار دارد که وظیفه آن تبدیل انرژی الکتریکی به گرما است. آلیاژ نیکروم به دلیل داشتن نقطه ذوب بالا (در حدود $1400\,^{\circ}C$)، عدم اکسید شدن، انبساط طولی ناچیز و داشتن مقاومت الکتریکی نسبتاً بالا و ثابت جزء مرسوم‌ترین آلیاژهای انتخابی در ساخت بخش داخلی المنت‌های حرارتی به‌شمار می‌آید. همچنین برای عایق کردن این سیم از بخش بیرونی المنت‌های حرارتی از پودر سفید رنگی به‌نام منیزیم اکسید استفاده شده است. این پودر یک عایق الکتریکی به‌شمار می‌آید که توانایی انتقال حرارت خوبی دارد و باعث عایق شدن سیم نیکروم و عدم تماس الکتریکی آن با بدنه المنت و آب درون کتری یا سماور می‌شود.



۵ــ۵ــ۱ قانون اُهم: شما در کتاب علوم و کار و فناوری پایه هشتم با قانون اهم آشنا شده‌اید. در این بخش آشنایی بیشتری با این قانون پیدا خواهید کرد. هنرجویی مداری را مطابق شکل ۵ــ۱۳ بسته و کلید را برای لحظه‌ای کوتاه می‌بندد، سپس اعداد آمپرسنج و ولت سنج را یادداشت کرده و بلافاصله کلید را قطع می‌کند. برای بار دوم، او دو باتری را



شکل ۵ــ۱۳ مدار ساده قانون اُهم

جدول ۵ــ۱ نمادهای مربوط به مدار

قطعه	نماد در مدار
باتری	
مقاومت	
آمپرسنج	
ولت‌سنج	
کلید	

پشت سرهم قرار داده و آزمایش را تکرار می‌کند. این آزمایش را برای باتری‌های دیگر نیز تکرار کرده ولی در مدت آزمایش، جسمی را که در مدار قرار داده، تغییر نمی‌دهد.

فکر کنید

اعداد آمپرسنج و ولت‌سنج آزمایشی که هنرجو انجام داده در جدول زیر آمده است.

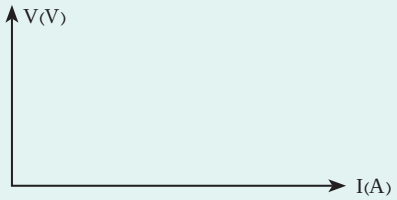
الف) نمودار زیر را برای اعداد به‌دست آمده در جدول رسم کنید.

ب) چه رابطه‌ای بین V و I وجود دارد؟

پ) خانه‌های ستون سوم جدول را کامل کنید.

ت) از محاسبه اعداد ستون سوم چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

I(A)	V(V)	$\frac{V}{I}$
۰/۲	۲	
۰/۴	۴	
۰/۶	۶	
۰/۸	۸	



همان‌طور که از «فکر کنید» بالا مشخص شد، چنانچه دمای رسانا ثابت باشد و جنس جسم تغییر نکند، نسبت $\frac{V}{I}$ ثابت است و نمودار V بر حسب I خط راستی است که از مبدأ می‌گذرد. جرج سیمون اُهم، ریاضی‌دان آلمانی، در سال ۱۸۲۷ براساس تجربیات و آزمایش‌های فراوان ارتباط بین ولتاژ V، جریان I و مقاومت R را در یک مدار به‌دست آورد. نتایج آزمایش‌های اهم به نام قانون اهم شناخته شده است که رابطه آن چنین بیان می‌شود:

نسبت ولتاژ دوسر مقاومت به شدت جریان گذرنده از آن در دمای ثابت مقدار ثابتی است که این مقدار همان مقاومت الکتریکی است.

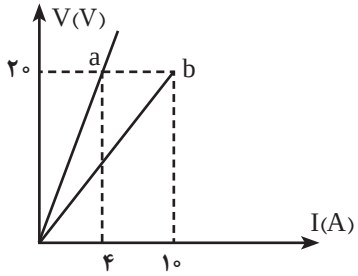
$$R = \frac{V}{I} \qquad (۲\text{ـ}۵)$$

نکته

معادله $R = \frac{V}{I}$ اشاره به تعریف مقاومت دارد (و نه لزوماً قانون اهم). این معادله برای همه رساناها به کار می‌رود، خواه آن رسانا از قانون اهم پیروی کند یا پیروی نکند.

مثال

شکل مقابل مربوط به دو نوع رسانا در دمای ثابت است. مقاومت کدام رسانا بیشتر است؟



پاسخ:

$$R_a = \frac{V_a}{I_a} = \frac{۲۰V}{۴A} = ۵\Omega \qquad R_b = \frac{V_b}{I_b} = \frac{۲۰V}{۱۰A} = ۲\Omega$$

نتیجه: مقاومت a بیشتر شد و همان‌طور که از شکل مشخص است شیب نمودار a نیز بیشتر است.

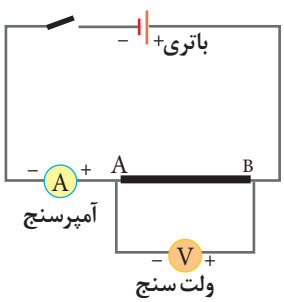
در نتیجه در نمودار V- I شیب نمودار بیانگر مقاومت است؛ هرچه شیب بیشتر باشد، مقاومت نیز بیشتر است.

۵ـ۵ـ۲ عوامل مؤثر بر مقاومت رساناهای فلزی در دمای ثابت

آزمایش کنید

وسایل آزمایش: منبع تغذیه، سیم رابط، سیم‌هایی از جنس تنگستن، نیکروم(یا آلیاژهای مختلف دیگر)، آمپرسنج، ولت‌سنج و کلید.

شرح آزمایش



۱ـ در مداری مطابق شکل روبه‌رو بین دو نقطه B و A قطعه‌ای با طول معین مثلاً ۱متر(از سیم تنگستن) را قرار دهید. پس از بستن کلید، به مدت خیلی کوتاه، اختلاف پتانسیل دو سر سیم (برحسب ولت) و جریانی که از مدار می‌گذرد را (برحسب آمپر)، اندازه بگیرید. سپس با استفاده از تعریف مقاومت $R=\frac{V}{I}$ مقاومت قطعه سیم را (برحسب اُهم) به دست آورید و در جدول زیر ثبت کنید.

۲ـ آزمایش را اکنون با همان سیم (تنگستن) اما با قطعه‌ای به طول ۲متر انجام دهید و با اندازه‌گیری I و V مقاومت قطعهٔ اخیر را به دست آورید. نتیجه را در جدول زیر ثبت کنید.

۳ـ حال آزمایش را با دو قطعه سیم هم طول و با سطح مقطع یکسان، یکی از جنس تنگستن و دیگری از جنس نیکروم تکرار کنید و نتیجه را در جدول زیر بنویسید.

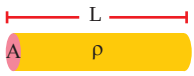
۴ـ سرانجام با انجام دادن آزمایش با سیم‌های هم طول از یک جنس ولی با سطح مقطع‌های متفاوت، به همان ترتیب، نتیجه‌های به دست آمده را با یکدیگر مقایسه کنید و به کلاس گزارش دهید.

مقاومت هریک از سیم‌ها را به دست آورید و نتیجه را در جدول زیر ثبت کنید.

شماره آزمایش	جنس	طول	سطح مقطع	I	V	$R=\frac{V}{I}$

همان‌گونه که آزمایش نشان می‌دهد، مقاومت رساناهای فلزی در دمای ثابت به طول، سطح مقطع و جنس رسانا بستگی دارد. اگر سطح مقطع سیم در تمام طول آن یکسان باشد، مقاومت سیم از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$R=\frac{\rho L}{A} \qquad (۳ـ۵)$$



شکل ۵-۱۴ عوامل مؤثر بر مقاومت رسانا

که در آن L طول سیم برحسب متر(m) و A مساحت مقطع سیم برحسب مترمربع (m^2) و R مقاومت الکتریکی سیم برحسب اُهم(Ω) است. در این رابطه ρ کمیتی به نام مقاومت ویژهٔ رساناست که برای رساناهایی که از قانون اهم پیروی می‌کنند فقط به جنس رسانا و دمای آن بستگی دارد.

جدول ۵ـ۲ مقاومت ویژه مواد مختلف در دمای $20^\circ C$

ماده (رسانای‌الکتریکی)	مقاومت ویژه $\rho(\Omega m)$
نقره	$1/62\times10^{-8}$
مس	$1/69\times10^{-8}$
طلا	$2/35\times10^{-8}$
آلومینیوم	$2/75\times10^{-8}$
تنگستن	$5/60\times10^{-8}$
آهن	$9/68\times10^{-8}$
پلاتین	$10/6\times10^{-8}$
نیکروم	100×10^{-8}

وقتی دمای یک رسانای فلزی افزایش می‌یابد ارتعاشات کاتوره‌ای اتم‌ها و یون‌های آن نیز افزایش می‌یابد و موجب افزایش برخورد الکترون‌های آزاد با شبکه اتمی رسانای فلزی می‌شود. به‌این‌ترتیب، مقاومت ویژه رسانا در برابر عبور جریان افزایش می‌یابد.

فکر کنید

یکای ρ را با توجه به مطالب فصل اول به‌دست آورید.

فکر کنید

چرا در «آزمایش کنید» صفحهٔ قبل توصیه شده به مدت خیلی کوتاه کلید وصل و سپس قطع شود؟

فکر کنید

موادی که دارای مقاومت ویژه کم هستند، مانند نقره و مس در چه مواردی کاربرد دارند؟ موادی که مقاومت ویژه بالایی دارند چه کاربردی می‌توانند داشته باشند؟

استانداردهای مهندسی سیم‌ها: در استانداردهای مهندسی، سیم‌ها را برحسب قطر و مساحت مقطع آنها نمره‌بندی می‌کنند. در صنعت تولید سیم، سیم‌ها را با ضخامت‌های معینی می‌سازند و معلوم می‌کنند هر سیم چه جریان بیشینه‌ای را می‌تواند تحمل کند. به هر سیم با ضخامت معین کد مشخصی را اختصاص می‌دهند. جدول زیر برخی از این کدگذاری‌ها با جریان مجاز بیشینهٔ هر سیم را براساس یکی از استانداردها نشان می‌دهد.

جدول ۵ـ۳ کدگذاری سیم‌ها

نمرهٔ سیم	قطر سیم (اینچ)	جریان بیشینهٔ مجاز (آمپر)	نمرهٔ سیم	قطر سیم	جریان بیشینهٔ مجاز
۰۰۰۰	۰/۴۶	۳۸۰	۲۱	۰/۰۲۸۴۶	۹
۰۰۰	۰/۴۰۹۶۵	۳۲۸	۲۲	۰/۰۲۵۳۵	۷
۰۰	۰/۳۶۴۸	۲۸۳	۲۳	۰/۰۲۲۵۷	۴/۷
۰	۰/۳۲۴۸۵	۲۴۵	۲۴	۰/۰۲۰۱	۳/۵
۱	۰/۲۸۹۳	۲۱۱	۲۵	۰/۰۱۷۹	۲/۷
۲	۰/۲۵۷۶۳	۱۸۱	۲۶	۰/۰۱۵۹۴	۲/۲
۳	۰/۲۲۹۴۲	۱۵۸	۲۷	۰/۰۱۴۲	۱/۷
۴	۰/۲۰۴۳۱	۱۳۵	۲۸	۰/۰۱۲۶۴	۱/۴
۵	۰/۱۸۱۹۴	۱۱۸	۲۹	۰/۰۱۱۲۶	۱/۲
۶	۰/۱۶۲۰۲	۱۰۱	۳۰	۰/۰۱۰۰۲	۰/۸۶
۷	۰/۱۴۴۲۸	۸۹	۳۱	۰/۰۰۸۹۳	۰/۷
۸	۰/۱۲۸۴۹	۷۳	۳۲	۰/۰۰۷۹۵	۰/۵۳
۹	۰/۱۱۴۴۳	۶۴	۳۳	۰/۰۰۷۰۸	۰/۴۳
۱۰	۰/۱۰۱۸۹	۵۵	۳۴	۰/۰۰۶۳	۰/۳۳
۱۱	۰/۰۹۰۷۴	۴۷	۳۵	۰/۰۰۵۶۱	۰/۲۷
۱۲	۰/۰۸۰۸	۴۱	۳۶	۰/۰۰۵	۰/۲۱
۱۳	۰/۰۷۱۹۶	۳۵	۳۷	۰/۰۰۴۴۵	۰/۱۷
۱۴	۰/۰۶۴۰۸	۳۲	۳۸	۰/۰۰۳۹۶	۰/۱۳
۱۵	۰/۰۵۷۰۷	۲۸	۳۹	۰/۰۰۳۵۳	۰/۱۱
۱۶	۰/۰۵۰۸۲	۲۲	۴۰	۰/۰۰۳۱۴	۰/۰۹
۱۷	۰/۰۴۵۲۶	۱۹			
۱۸	۰/۰۴۰۳	۱۶			
۱۹	۰/۰۳۵۸۹	۱۴			
۲۰	۰/۰۳۱۹۶	۱۱	* American Wire Gauge		

مثال

سیمی از جنس تنگستن با مقاومت ویژه تقریباً $۵/۶\times۱۰^{-۸}\Omega m$ به طول $۳۱/۴m$ و به قطر $۰/۴mm$ را در نظر بگیرید. الف)مقاومت الکتریکی سیم چقدر است؟ ب) اگر اختلاف پتانسیل (ولتاژ) $۲۲۴V$ در دو سر سیم برقرار شود چه جریانی از سیم می‌گذرد؟

پاسخ:

$\rho=۵/۶\times۱۰^{-۸}\Omega.m \quad , \quad L=۳۱/۴m \quad , \quad r=۰/۲mm \quad , \quad V=۲۲۴v \quad , \quad R=? \quad , \quad I=?$

الف)

$$A=\pi r^{۲}=۳/۱۴\times(۰/۲\times۱۰^{-۳})^{۲}=۱۲/۵۶\times۱۰^{-۸}m^{۲}$$

$$R=\frac{\rho L}{A}=\frac{۵/۶\times۱۰^{-۸}\Omega m\times۳۱/۴m}{۱۲/۵۶\times۱۰^{-۸}m^{۲}}=۱۴\Omega$$

ب)

$$I=\frac{V}{R}=\frac{۲۲۴V}{۱۴\Omega}=۱۶A$$

مثال

مهندس ناظر برق یک ساختمان در حال ساخت، به استادکار موارد زیر را یادآوری می‌کند:

نمره سیم‌های مسی مورد استفاده در سیم‌های لامپ روشنایی ۱۵ (قطر ۰/۰۵۷۰۷ اینچ) معادل $۱/۴۴\times۱۰^{-۳}m$

نمره سیم‌های مسی مورد استفاده در سیم‌های لامپ پریز ۱۳ (قطر ۰/۰۷۱۹۶ اینچ) معادل $۱/۸۲\times۱۰^{-۳}m$

نمره سیم‌های مسی مورد استفاده در سیم‌های لامپ برق اصلی ۱۲ (قطر ۰/۰۸۰۸ اینچ) معادل $۲/۰۵\times۱۰^{-۳}m$

مقاومت $۲۰m$ از هر کدام از سیم‌ها، در دمای اتاق چند اهم است؟

سیم لامپ روشنایی $A=\pi r^{۲}=\pi(\frac{D^{۲}}{۴})=۱/۶۲\times۱۰^{-۶}m^{۲}$

$$R=\frac{\rho L}{A}=\frac{۱/۶۹\times۱۰^{-۸}\times۲۰}{۱/۶۲\times۱۰^{-۶}}=۲/۰۸\times۱۰^{-۱}\Omega$$

سیم پریز $A=\pi r^{۲}=۲/۶\times۱۰^{-۶} \Rightarrow R=۱/۳\times۱۰^{-۱}\Omega$

سیم اصلی $A=\pi r^{۲}=۳/۲\times۱۰^{-۶} \Rightarrow R=۱/۰۵\times۱۰^{-۱}\Omega$

۵ـ۵ـ۳ انواع مقاومت: در بسیاری از مدارها، به خصوص در وسایل الکترونیکی مقاومت‌ها برای کنترل جریان و ولتاژ استفاده می‌شوند. اندازهٔ یک مقاومت می‌تواند کمتر از ۱ اهم تا میلیون‌ها اُهم (مگا اُهم) باشد. مقاومت‌های اهمی با توجه به نوع استفاده به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند: الف) مقاومت‌های ثابت[۱]

ب) مقاومت‌های متغیر[۲] که خود شامل دو دسته هستند: مقاومت‌های معمولی و مقاومت‌های وابسته.

الف) مقاومت‌های ثابت

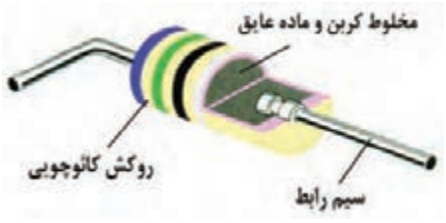
همان‌طور که از اسم آنها بر می‌آید، مقاومت‌هایی هستند که مقدار آنها ثابت است. شکل ۵ـ ۱۵ نمونه‌ای از این مقاومت‌ها و ساختار داخلی آنها را نشان می‌دهد. این مقاومت‌ها ترکیبی از کربن با یک نوع چسب هستند که هر اندازه میزان کربن بیشتر باشد، مقاومت کمتر خواهد بود.

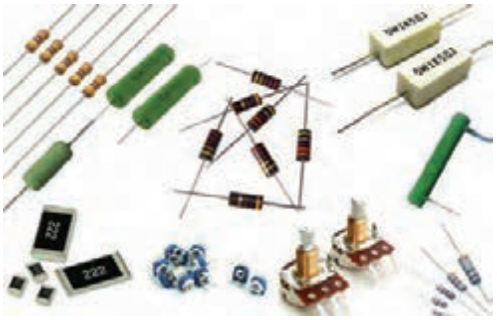
۱ـ Fixed Resistors ۲ـ Variable Resistors

در مقاومت‌هایی که توان بالایی دارند، عدد مقاومت بر روی بدنه نوشته می‌شود ولی در مقاومت‌هایی با توان کمتر از ۲ وات، به‌دلیل ساخته شدن آنها در ابعاد کوچک، جایی برای نوشتن مقدار مقاومت روی بدنه وجود ندارد. به همین منظور برای تشخیص مقدار مقاومت بر روی بدنهٔ آنها معمولاً از ۴ نوار رنگی استفاده می‌کنند (نوار چهارم درصد خطا را نشان می‌دهد). هر نوار با توجه به رنگ خود، مبیّن یک کد یا عدد است(شکل ۵ـ۱۶). برای پیداکردن عدد مقاومت طبق شکل ۵ـ۱۶ و با کمک جدول ۵ـ۴ عمل می‌کنیم.

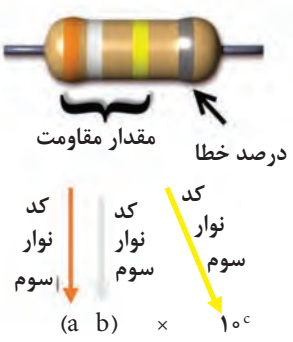
جدول ۵ـ۴ کدهای رنگی مقاومت‌ها

رنگ	کد رنگ	درصد خطا
سیاه	۰	–
قهوه‌ای	۱	۱ درصد
قرمز	۲	۲ درصد
نارنجی	۳	۳ درصد
زرد	۴	۴ درصد
سبز	۵	–
آبی	۶	–
بنفش	۷	–
خاکستری	۸	–
سفید	۹	–
طلایی	–	۵ درصد
نقره‌ای	–	۱۰ درصد





شکل ۵ـ۱۵ انواع مقاومت ثابت

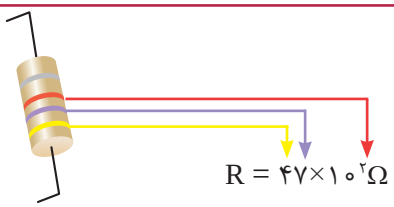


شکل ۵ـ۱۶ نحوه خواندن مقاومت رنگی

مثال

با توجه به کد هر رنگ، مقاومت روبه‌رو چند اهم است؟

پاسخ:



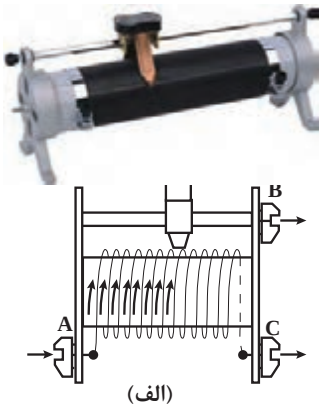
تمرین کنید

اگر مقدار مقاومت نمایش داده شده در شکل، ۳۴۰۰ اهم باشد، رنگ نوارها را تعیین کنید.

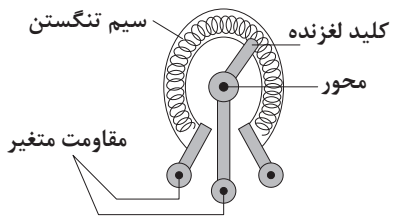
ب) مقاومت‌های متغیر

مقاومت‌هایی هستند که مقدار آنها را می‌توان توسط عوامل مختلف مانند تغییر مشخصه مکانیکی (متغیر معمولی)، یا تغییر نور (تابع نور) و حرارت (متغیر وابسته) تغییر داد.

مقاومت‌های متغیر معمولی مقاومت‌هایی هستند که مقدار مقاومت آنها را می‌توان با تغییر مکان یا تغییر زاویهٔ محور متحرکی که دارند تنظیم کرد. یکی از انواع مشهور این نوع از مقاومت‌ها، رئوستا نام دارد که در مدارهای الکترونیکی پتانسیومتر[1] نامیده می‌شود. یک رئوستا از سیمی با مقاومت ویژهٔ نسبتاً زیاد ساخته شده است. این سیم روی استوانه‌ای نارسانا پیچیده شده و با استفاده از دکمه‌ای لغزنده که روی ریلی در بالای استوانه قرار دارد و انتهای آن با سیم در تماس است می‌تواند قسمت دلخواهی از سیم را در مسیر جریان قرار دهد و بنابراین مقدار مقاومت را تغییر دهد و به‌این ترتیب جریان را در مدار تنظیم و کنترل کند. شکل ۵ـ۱۷ طرحی از یک رئوستا را نشان می‌دهد.



(الف)



(ب)

شکل ۵ـ۱۷ نمونه‌ای از الف) رئوستا و ب) پتانسیومتر

مقاومت‌های وابسته به حرارت : به آن دسته از مقاومت‌های متغیری که مقدار آنها توسط عواملی از قبیل نور، حرارت، ولتاژ و ... تغییر می‌کند، مقاومت وابسته گفته می‌شود. این مقاومت‌ها به انواع زیر تقسیم می‌شوند:

مقاومت‌های وابسته به حرارت: مقدار این دسته از مقاومت‌ها که به آنها ترمیستور[2] نیز گفته می‌شود وابسته به حرارت است. این مقاومت‌ها در دو شکل NTC[3] و PTC[4] وجود دارند. مقاومت‌های PTC با افزایش دما مقاومتشان افزایش و با کاهش دما کاهش می‌یابند. مقاومت‌های NTC با افزایش دما مقاومتشان کاهش می‌یابد و برعکس (شکل ۵ـ۱۸). از این مقاومت‌ها در مدارها به صورت حس‌کننده‌های حرارتی در مسیر دستگاه‌های الکتریکی نظیر موتورهای الکتریکی، کوره‌ها، سیستم‌های تهویه و تبرید استفاده می‌شود. همچنین این مقاومت‌ها برای جریان زیاد در لحظه روشن شدن یک دستگاه به‌کار می‌رود. به طور کلی ترمیستورها در مدارهایی که دما را اندازه‌گیری یا کنترل می‌کنند به‌کار می‌روند.

شکل ۵ـ۱۸ مقاومت‌های وابسته به حرارت

مقاومت وابسته به نور(LDR)[5]: این مقاومت‌ها با تغییرات نور تابیده شده به سطح آنها، مقدار مقاومتشان تغییر می‌کند (شکل ۵ـ۱۹). از این مقاومت در ساخت فوتوسل‌ها یا به عنوان سنسور نور در برخی دستگاه‌ها استفاده می‌شود. همچنین در

شکل ۵ـ۱۹ مقاومت نوری

۱ـ Potentiometer
۲ـ Thermistor
۳ـ Negative Temperature coefficient
۴ـ Positive Temperature Coefficient
۵ـ Light Dependent Resistor

مدارهای الکترونیکی به‌عنوان تشخیص‌دهندهٔ نور (نورسنج) مورد استفاده قرار می‌گیرد. از جمله کاربردهای دیگر این مقاومت استفاده از آن در دوربین‌های عکاسی و کلیدهای نوری و چشم‌های الکترونیکی است.

مقاومت وابسته به ولتاژ (VDR)[1]: ولتاژ و مقدار مقاومت در این نوع مقاومت‌ها، با هم رابطهٔ عکس دارند. به این صورت که با افزایش ولتاژ دو سر قطعه، مقاومت آن کاهش می‌یابد. از این مقاومت‌ها برای محافظت از مدار در برابر ولتاژهای بالای زودگذر ناخواسته استفاده می‌شود. در ایستگاه تقویت نیروگاهی نیز برای حفاظت شبکه استفاده می‌شود.

۵ـ۶ انرژی الکتریکی مصرفی

همان‌طور که در قسمت مقاومت ذکر شد، علت تولید گرما در مقاومت در اثر عبور جریان، آن است که الکترون‌ها به اتم‌های درون رسانا برخورد می‌کنند. این برخوردها انرژی جنبشی اتم‌ها و در نتیجه دمای مقاومت را افزایش می‌دهد. هیتر، بخاری برقی و المنت یک سشوار براساس تبدیل انرژی الکتریکی به گرما طراحی شده‌اند. مقدار گرمایی که در یک رسانا ایجاد می‌شود به عوامل زیر بستگی دارد:

ـ مقاومت رسانا

ـ مجذور شدت جریان عبوری از رسانا

ـ مدت زمان عبور جریان

$$U = RI^2t \qquad (۴ـ۵)$$

مثال

مقاومت قسمت گرماده یک سماور برقی ۵۰Ω است. وقتی آن را به برق وصل می‌کنیم شدت جریان ۴A از آن می‌گذرد. انرژی الکتریکی مصرف شده در آن را در مدت ۵ دقیقه حساب کنید.

پاسخ:

$t = ۵ \times ۶۰ = ۳۰۰s \quad , \quad I = ۴A \quad , \quad R = ۵۰\Omega \quad , \quad U = ?$

$U = RI^2t = (۴)^2 \times ۵۰ \times ۳۰۰ = ۲/۴ \times ۱۰^5 J$

۵ـ۶ـ۱ توان مصرفی: توان به معنی سرعت تبدیل انرژی است. در دستگاه‌هایی که برای تبدیل انرژی به‌کار می‌روند، هرچه این سرعت بیشتر باشد، قدرت دستگاه نیز بیشتر است. سرعت تبدیل انرژی از تقسیم مقدار انرژی بر زمانی که آن انرژی تبدیل شده (آهنگ مصرف انرژی) به‌دست می‌آید. توان مصرفی را با نماد P نمایش داده و یکای آن وات با نماد W است.

$$P = \frac{U}{t} \qquad (۵ـ۵)$$

$$P = RI^2 \qquad (۶ـ۵)$$

تمرین کنید

با استفاده از قانون اهم، رابطه‌های دیگری برای توان مصرفی به‌دست آورید.

۱ـ Voltage Dependent Resistor

در دستگاه‌هایی مانند لامپ رشته‌ای، اتو، کتری برقی و... که در قسمت اصلی آنها یک سیم گرماده (المنت حرارتی) وجود دارد، توان مصرفی در صورتی برابر توان نوشته شده روی آن (توان اسمی) است که دستگاه به اختلاف پتانسیل نوشته شده بر روی آن (اختلاف پتانسیل اسمی) وصل شده باشد. اگر دستگاه به اختلاف پتانسیل کمتر یا بیشتری وصل شود توان مصرفی دستگاه تغییر می‌کند.

مثال

روی یک آسیاب برقی دو عدد ۸۰۰W و ۲۰۰V نوشته شده است. این آسیاب برقی را به اختلاف پتانسیل ۲۰۰ V وصل می‌کنیم.

الف) شدت جریانی که از آن می‌گذرد چند آمپر است؟ ب) انرژی الکتریکی مصرفی ماهانهٔ این دستگاه در صورتی که هفته‌ای دو بار و هر بار به مدت ۲۰ دقیقه مورد استفاده قرار گیرد چند ژول و چند کیلووات‌ساعت[1] است؟

پاسخ:

الف) $P = VI \rightarrow ۸۰۰ = ۲۰۰I \rightarrow I = ۴A$

ب) $t = ۴\times۲\times۲۰\times۶۰ = ۹۶۰۰s \simeq ۲/۷h$

$$P = \frac{U}{t} \rightarrow ۸۰۰W = \frac{U}{۹۶۰۰} \rightarrow U = ۷/۶۸\times۱۰^{۶}J$$

$$۸۰۰W = \frac{U}{۲/۷h} \Rightarrow U = ۲۱۶۰Wh = ۲/۱۶kWh$$

تمرین کنید

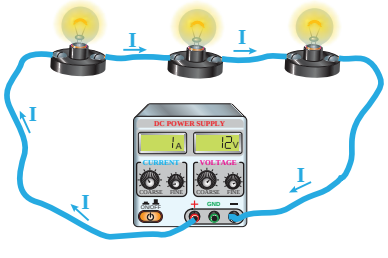
روی لامپی دو عدد ۶۰ وات و ۲۲۰ ولت نوشته شده است. با فرض ثابت ماندن مقاومت لامپ اگر این لامپ را به اختلاف پتانسیل ۱۱۰ ولت وصل کنیم توان مصرفی آن تقریباً چقدر می‌شود؟

۵ـ۷ نحوه به هم بستن مقاومت‌ها

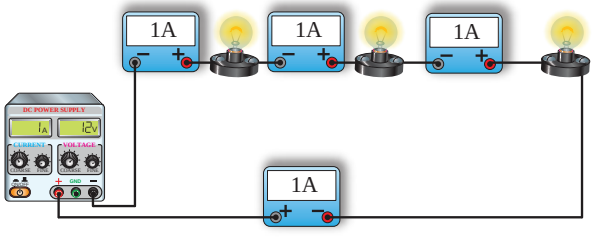
۵ـ۷ـ۱ به هم بستن سری: اتصال متوالی یا سری به معنی بسته شدن مقاومت‌ها یکی پس از دیگری است به طوری که هیچ انشعابی بین آنها وجود نداشته باشد (شکل ۵ـ۲۰)

اگر در مدار شکل ۵ـ ۲۰ در مسیر هر یک از لامپ‌ها آمپرسنج‌هایی را قرار دهیم (شکل ۵ـ۲۱) مشاهده خواهید کرد که همه آمپرسنج‌ها جریان برابری را نشان می‌دهند. پس می‌توان در مدار سری چنین نوشت:

$$I_۱ = I_۲ = I_۳ = I_{eq}^{۲} \qquad (۷ـ۵)$$



شکل ۵ـ۲۰ لامپ‌هایی که به‌طور متوالی به هم بسته شده‌اند

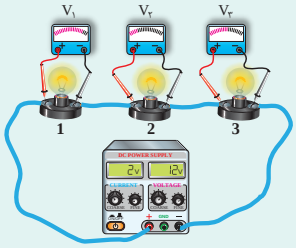


شکل ۵ـ۲۱ قرار دادن آمپرسنج در مدار

۱ـ کیلو وات ساعت: واحد معمول برای انرژی الکتریکی

۲ـ equivalent

فکر کنید



هرگاه مطابق شکل، ولت‌سنج‌هایی را به صورت جداگانه به دو سر لامپ‌ها ببندیم، چه مشاهده خواهید کرد؟

همان‌طور که از «فکر کنید» متوجه شدید ولتاژ معادل به نسبت مقدار مقاومت‌ها بین آنها تقسیم می‌شود، بر پایه همین مطلب می‌توان ولتاژ معادل را از حاصل جمع ولتاژهای دو سر هر مقاومت به‌دست آورد.

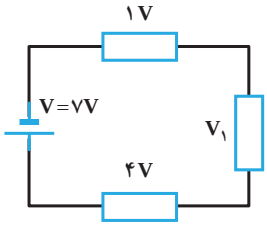
$$V_۱ + V_۲ + V_۳ = V_{eq} \qquad (۸_۵)$$

مقاومت معادل به مقاومتی گفته می‌شود که با جایگزینی‌اش به جای مقاومت‌ها، اثری مشابه و معادل با آن مقاومت‌ها در مدار از خود نشان می‌دهد. اگر ترکیب مقاومت‌ها را با R_{eq} جایگزین کنیم از آنجا خواهیم داشت:

$$R_۱ + R_۲ + R_۳ = R_{eq} \qquad (۹_۵)$$

مثال

در مدار داده شده ولتاژ مجهول را تعیین کنید.

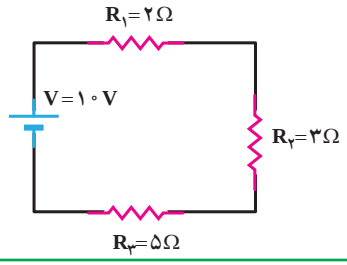


پاسخ:

$$V_۱ + V_۲ + V_۳ = V_{\text{باتری}} \Rightarrow V_۱ + ۱ + ۴ = ۷ \Rightarrow V_۱ = ۲V$$

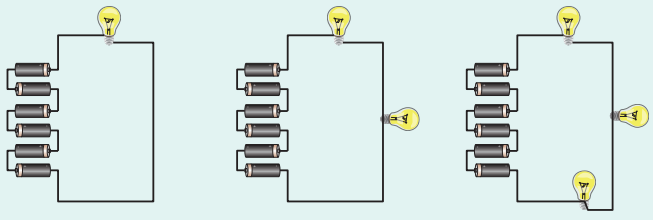
تمرین کنید

مقاومت معادل مدار چقدر می‌شود؟

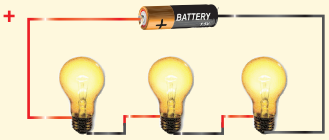


فکر کنید

در سه شکل روبه‌رو، ابتدا یک لامپ، سپس دو لامپ و در نهایت سه لامپ در مدار قرار گرفته است. روشنایی لامپ‌ها را مقایسه کنید. چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟



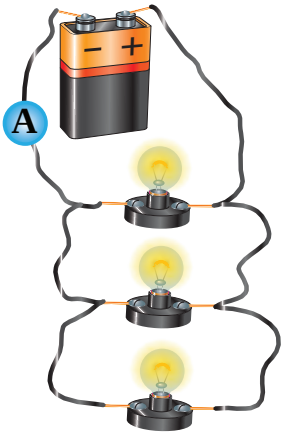
تجربه کنید



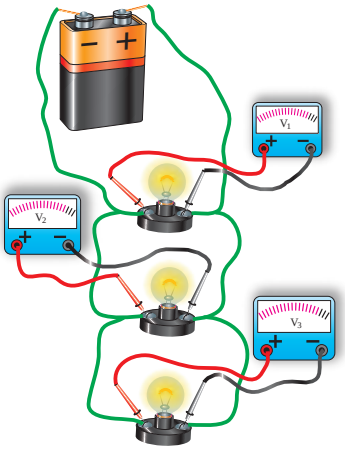
مداری را با ۳ لامپ ببندید. اگر یکی از لامپ‌ها بسوزد برای بقیه لامپ‌ها چه اتفاقی می‌افتد؟ برای برطرف کردن این مشکل چه پیشنهادی دارید؟

۵ـ۷ـ۲ به‌هم بستن موازی: نوع دیگری از به‌هم بستن مقاومت‌ها، حالت موازی است. در این حالت دو سر مقاومت‌ها مستقیماً به هم وصل می‌شود و اختلاف پتانسیل یکسان به دو سر مقاومت‌ها اعمال می‌شود (شکل ۵ـ۲۲). هرگاه مطابق شکل۵ـ۲۳ ولت‌سنج‌هایی را به‌طور جداگانه به دو سر هر یک از لامپ‌ها متصل کنیم، مشاهده می‌کنیم که مقادیر ولت‌سنج‌ها با یکدیگر برابر هستند.

$$V_۱ = V_۲ = V_۳ = V_{eq} \qquad (۱۰ـ۵)$$



شکل۵ـ۲۲ لامپ‌هایی که به‌طور موازی به هم بسته شده‌اند



شکل۵ـ۲۳ ولتاژ در لامپ‌های موازی

در مدارهای موازی بیش از یک مسیر برای عبور جریان وجود دارد، بنابراین جریان به نسبت مقاومت‌ها تقسیم می‌شود.

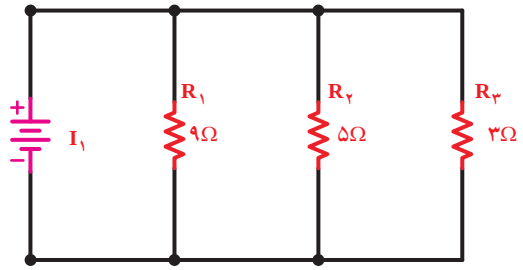
$$I_۱ + I_۲ + I_۳ = I_{eq} \qquad (۱۱ـ۵)$$

مقاومت معادل در این مدارها از رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$\frac{۱}{R_۱} + \frac{۱}{R_۲} + \frac{۱}{R_۳} = \frac{۱}{R_{eq}} \qquad (۱۲ـ۵)$$

مثال

در مدار روبه‌رو مقاومت معادل را به‌دست آورید.



پاسخ:

$$\frac{۱}{R_۱}+\frac{۱}{R_۲}+\frac{۱}{R_۳}=\frac{۱}{R_{eq}} \Rightarrow \frac{۱}{۹}+\frac{۱}{۵}+\frac{۱}{۳}=\frac{۱}{R_{eq}} \Rightarrow \frac{۵+۹+۱۵}{۴۵}=\frac{۱}{R_{eq}} \Rightarrow R_{eq}=\frac{۴۵}{۲۹}\Omega$$

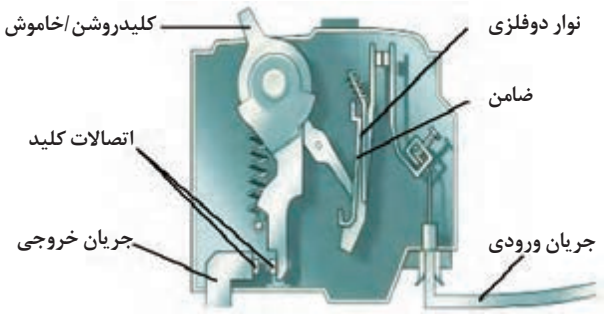
فکر کنید

الف) به نظر شما سیم‌کشی داخل ساختمان‌ها از چه نوعی است؟ متوالی یا موازی؟

ب) روش به هم بسته شدن لامپ‌ها در ریسه‌ها چگونه است؟

پ) آیا می‌توانید نمونه‌هایی از کاربرد اتصال موازی و متوالی را که در زندگی روزمره با آنها برخورد دارید، نام ببرید؟

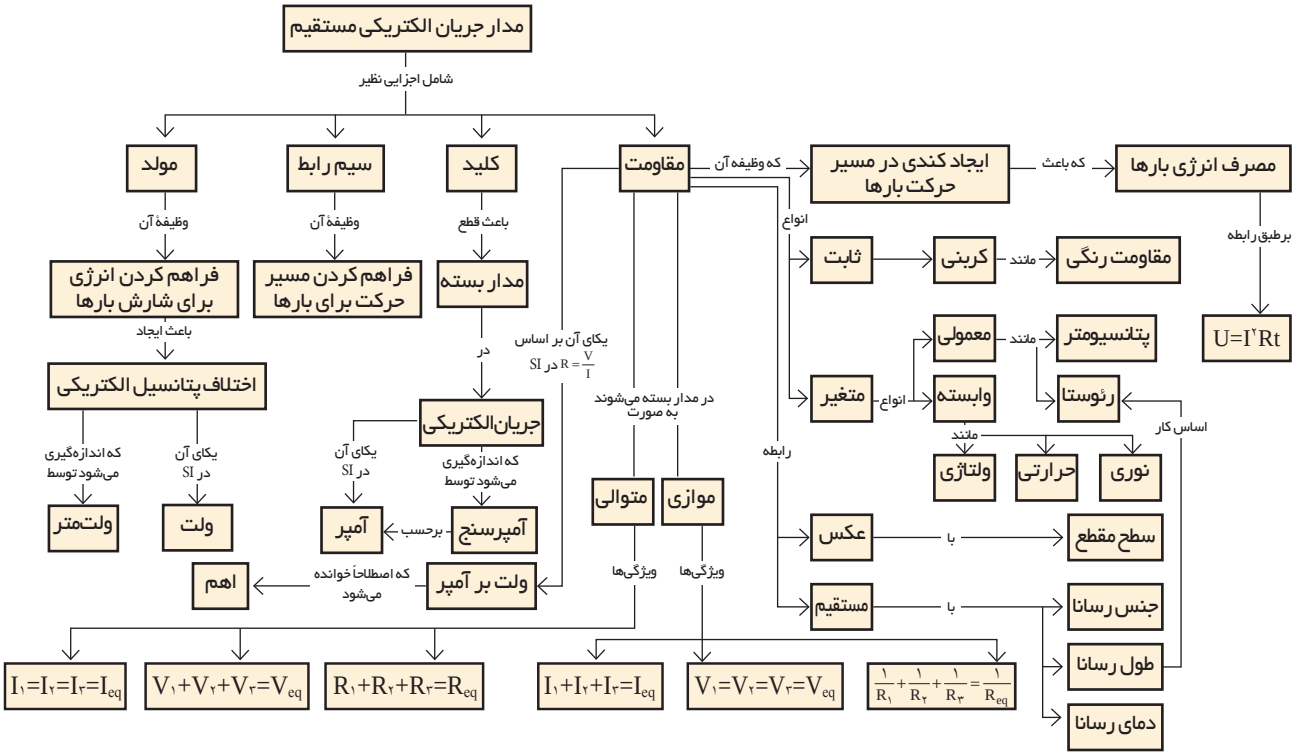
کاربرد در صنعت: فیوز



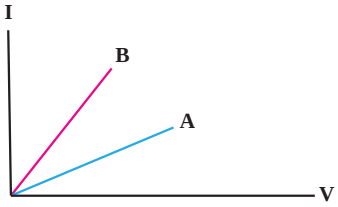
دستگاه‌های الکتریکی در خانه به‌طور موازی با یکدیگر قرار می‌گیرند و یک فیوز را به‌طور متوالی با کل مدار مصرف‌کننده‌های خانگی قرار می‌دهند و این مجموعه به مولد جریان الکتریکی متصل می‌شود. فیوز از سیم باریکی که در اثر جریان الکتریکی بالا ذوب می‌شود تشکیل شده است. بعد از اینکه فیوز ذوب شد باید جایگزین شود (مثل فیوز موتور اتومبیل). امروزه در منازل از فیوزهایی استفاده می‌شود که جریان الکتریکی بالا در آنها سبب قطع مدار می‌گردد و با وصل کردن یک کلید در آنها فیوز دوباره در مدار قابل استفاده است. هرچه تعداد مصرف‌کننده‌ها در خانه بیشتر شود به دلیل موازی بسته‌بودنشان، مقاومت کل مجموعه کمتر خواهد شد و شدت جریان الکتریکی بیشتری از مدار خواهد گذشت. چون فیوز به طور متوالی در مدار قرار دارد جریان الکتریکی بیش از حد مجاز نیز از فیوز می‌گذرد و به قطع شدن جریان (در صورتی که از حد معینی بیشتر شود) می‌انجامد. فیوز به عنوان یک عنصر کنترل‌کننده و پیشگیری از خطر در منازل است.

تحقیق کنید

حتماً تاکنون سه شاخه را دیده‌اید. در شکل روبه‌رو، ساختمان داخلی این سه‌شاخه نشان داده شده است. در مورد مزیت این سه‌شاخه‌ها نسبت به دوشاخه‌ها با هم‌گروهی‌های خود تحقیقی را انجام دهید.

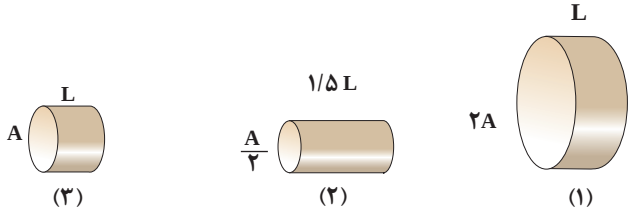

مدار جریان الکتریکی مستقیم
شامل اجزایی نظیر
مولد
سیم رابط
کلید
مقاومت
وظیفهٔ آن
وظیفهٔ آن
باعث قطع
که وظیفه آن
فراهم کردن انرژی برای شارش بارها
فراهم کردن مسیر حرکت برای بارها
مدار بسته
ایجاد کندی در مسیر حرکت بارها
که باعث
مصرف انرژی بارها
انواع
باعث ایجاد
در
یکای آن بر اساس $R=\frac{V}{I}$ در SI
برطبق رابطه
$U=I^2Rt$
اختلاف پتانسیل الکتریکی
جریان‌الکتریکی
در مدار بسته می‌شوند به صورت
ثابت
کربنی
مانند
مقاومت رنگی
متغیر
انواع
معمولی
وابسته
مانند
پتانسیومتر
رئوستا
اساس کار
که اندازه‌گیری می‌شود توسط
یکای آن در SI
یکای آن در SI
که اندازه‌گیری می‌شود توسط
رابطه
مانند
ولتاژی
حرارتی
نوری
ولت‌متر
ولت
آمپر
آمپرسنج
برحسب
متوالی
موازی
عکس
با
سطح مقطع
اهم
که اصطلاحاً خوانده می‌شود
ولت بر آمپر
ویژگی‌ها
ویژگی‌ها
مستقیم
با
جنس رسانا
طول رسانا
دمای رسانا
$I_1=I_2=I_3=I_{eq}$
$V_1+V_2+V_3=V_{eq}$
$R_1+R_2+R_3=R_{eq}$
$I_1+I_2+I_3=I_{eq}$
$V_1=V_2=V_3=V_{eq}$
$\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}=\frac{1}{R_{eq}}$

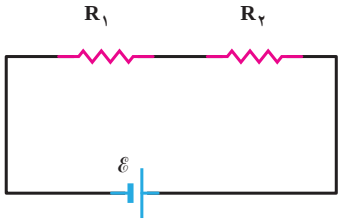
چندپرسش



۱ـ با توجه به نمودار I ـ V که برای دو رسانا در شکل روبه‌رو نشان داده شده، مقاومت کدام رسانا بیشتر است؟

۲ـ در شکل زیر سه رسانای مسی استوانه‌ای بر حسب طول L و مساحت مقطع بر حسب A نشان داده شده است. اگر به دو سر هر یک از آنها اختلاف پتانسیل یکسان اعمال شود این رساناها را با توجه به جریان‌های گذرنده از آنها از بیشترین تا کمترین مقدار مرتب کنید.





۳ـ در مدار شکل روبه‌رو $R_۲>R_۱$ است. کدام‌یک از جمله‌های زیر درست و کدام نادرست است؟

الف) جریان در جهت چرخش عقربه‌های ساعت در مدار شارش می‌کند.

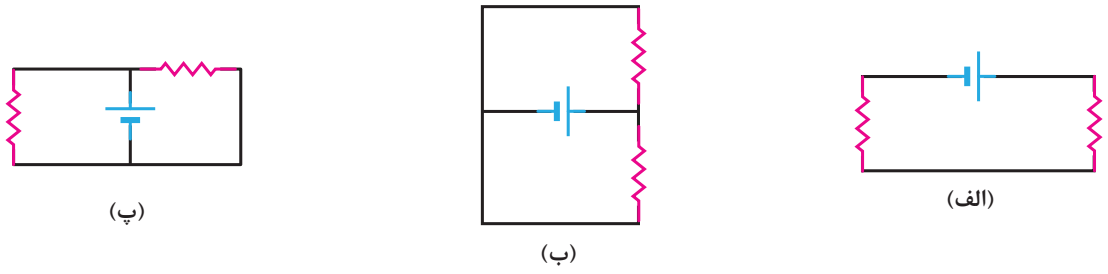
ب) جریان گذرنده از $R_۱$ بیشتر از $R_۲$ است.

پ) اختلاف پتانسیل دو سر $R_۲$ بیشتر از $R_۱$ است.

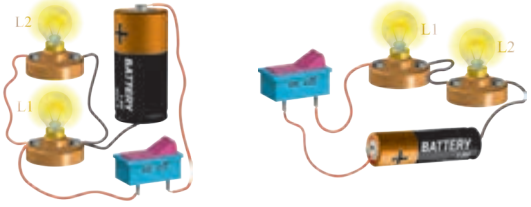
ت) توان مصرفی در مقاومت $R_۲$ بیشتر از $R_۱$ است.

۴ـ یک مهندس نیاز به مقاومت‌های ۶ kΩ و ۹ kΩ دارد. اما فقط مقاومت‌های ۱۸ kΩ را در اختیار دارد. آیا باید مقاومت‌های مورد نیاز او را خریداری کرد؟ توضیح دهید.

۵ـ در سه مدار زیر نوع ترکیب مقاومت‌ها را تعیین کنید: موازی، متوالی یا هیچ کدام.



۶ـ در مدارهای شکل زیر، لامپ‌ها و باتری‌ها یکسان هستند. با ذکر دلیل بگویید نور لامپ‌ها در کدام مدار (موازی یا سری) بیشتر است؟



چندمسئله

۱ـ انسان در اثر عبور یک جریان ضعیف ۵۰mA از مجاور قلبش دچار برق‌گرفتگی می‌شود. برق‌کاری با دست‌های خیس دو سیم برق را به طور کامل در هر یک از دو دست خود نگه داشته است. اگر در این حالت مقاومت بدن برق‌کار ۲۰۰۰ اهم باشد، ولتاژ لازم برای برق‌گرفتگی چقدر است؟

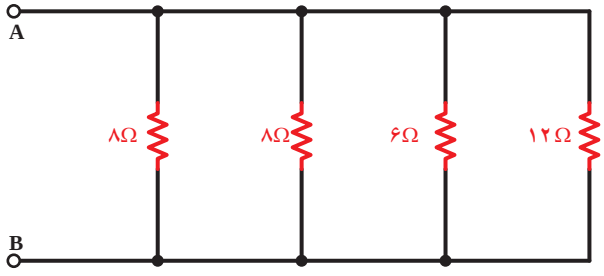
۲ـ هرگاه برای برق‌رسانی به یک موتور الکتریکی که در فاصله ۱ کیلومتری از تابلوی برق قرار دارد، بخواهیم از سیم مسی با مقاومت ۲۰ Ω استفاده کنیم، سطح مقطع سیم را باید چند میلی‌مترمربع انتخاب کنیم؟

۳ـ کابلی شامل ۱۲۵ رشته سیم است که مقاومت هر کدام ۲/۵۶ میکرواهم است. با ایجاد اختلاف پتانسیل یکسان به دو سر کابل جریان کل ۰/۷۵ A در سیم‌ها برقرار می‌شود. الف) جریان در هر رشته سیم چند آمپر است؟ ب) اختلاف پتانسیل اعمال شده چند ولت است؟ ج) مقاومت کابل چند اهم است؟

۴ـ دانش‌آموزی رادیوی ۹V و ۷W خود را از ساعت ۹ بعدازظهر تا ۲ بامداد با بلندترین صدا روشن نگه‌می‌دارد. در این مدت چه مقدار بار الکتریکی به این رادیو وارد می‌شود؟

۵ـ مقاومت یک بخاری که با ولتاژ ۱۲۰V کار می‌کند. در حال کار ۱۴ اهم است. آهنگ تبدیل انرژی الکتریکی به گرما چقدر است؟

۶ـ مقاومت معادل هر یک از مدارهای زیر را به‌دست آورید.



پروژه عملی

۱ـ به کمک یک سیم و یک باتری تلاش کنید تا یک لامپ را روشن کنید (از برش دادن سیم بپرهیزید).

۲ـ با راهنمایی دبیر خود یک چراغ قوه دو لامپی بسازید که با یک کلید دو طرفه کار کند؛ یعنی با فشردن کلید در یک سمت یکی از لامپ‌ها و با فشردن کلید در جهت دیگر، لامپ دوم روشن شود.

یادداشت

واژه نامه فارسی به انگلیسی

فصل اول ـ علم فیزیک و اندازه‌گیری

Physics and Measurement

اندازه‌گیری	Measurement
اینچ	Inch
بردار	Vector
پوند	Pound
دقت	Precision
ریزسنج	Micrometer
صحت	Accuracy
فوت	Foot
کمّیت	Quantity
کولیس	Caliper
گالون	Gallon
نرده ای	Scalar
نمادگذاری علمی	Scientific Notification
یکا	Unit
یکاهای اصلی	Base Units
یکاهای فرعی	Derived Units

فصل دوم ـ مکانیک

Mechanic

تعادل	Equilibrium
جابه‌جایی	Displacement
جرم	Mass
حرکت	Motion
حرکت شتاب دار	Accelerated Motion
حرکت یکنواخت	Uniform Motion
سرعت لحظه‌ای	Instanous Velocity
سرعت متوسط	Average Velocity
شتاب لحظه‌ای	Instanous Acceleration
شتاب متوسط	Average Acceleration
قوانین نیوتن	Newton’s Laws
کنش	Action
لختی	Inertia
مکان	Place
نمودار مسیر حرکت	Motion Diagram
نیرو	Force
نیروسنج	Dynamometer
نیروی اصطکاک ایستایی	Static Fiction Force
نیروی اصطکاک جنبشی	kinetic Fiction Force
نیروی عمودی تکیه‌گاه	Normal Support Force
نیروی گرانش	Gravity Force
نیروی وزن	Weight Force
واکنش	Reaction

فصل سوم ـ حالت‌های ماده و فشار

Properties of Matter and Pressure

اصل ارشمیدس	Archimedes’ Principle
اصل پاسکال	Pascal’s Principle
اصل شناوری	The Principle of Buoyancy
جامد	Solid
چگالی	Density
حالت	Phase
حجم	Volume
شاره	Fluid
فشار	Pressure
فشار سنج	Manometer
گاز	Gas
مایع	Liquid

فصل چهارم ـ دما و گرما

Temperature and Heat

Thermal Expansion	انبساط گرمایی
Transfer Thermal	انتقال گرما
Radiation	تابش
Thermal Equilibrium	تعادل گرمایی
Expansion Joint	درز انبساط
Temperature	دما
Temperature Equilibrium	دمای تعادل
Conductive Heat	رسانای گرما
Heat Conductivity	رسانش گرمایی
Specific Heat Capacity	ظرفیت گرمایی ویژه
Heat Insulator	عایق گرمایی
Temperature Scale	مقیاس دما
Convection	همرفت

فصل پنجم ـ جریان و مدارهای الکتریکی

Electric Current and Circuits

Potential Difference	اختلاف پتانسیل
Ampere Meter	آمپرسنج
Net Charge	بار خالص
Potentiometer	پتانسیومتر
Electric Current	جریان الکتریکی
Direct Current	جریان مستقیم
Electrically Conductive	رسانای الکتریکی
Rheostat	رئوستا
Ohm’s Law	قانون اهم
Free Electron	الکترون آزاد
Electrical Circuit	مدار الکتریکی
Series Circuits	مدارهای سری (متوالی)
Parallel Circuits	مدارهای موازی
Resistor	مقاومت
Electric Resistance	مقاومت الکتریکی
Fixed Resistors	مقاومت ثابت
Thermistor	مقاومت حرارتی
Equivalent Resistance	مقاومت معادل
Resistivity	مقاومت ویژه
Electrical Insulator	نارسانای الکتریکی

منابع فارسی

۱ـ برنامه درسی ملی جمهوری اسلامی ایران، ۱۳۹۱.
۲ـ برنامه‌های درسی رشته‌های فنی و حرفه‌ای و کاردانش، سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی، دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش، ۱۳۹۳.
۳ـ برنامه درسی فیزیک فنی و حرفه‌ای و کاردانش، سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی، دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش، ۱۳۹۴.
۴ـ مبانی فیزیک، دیوید هالیدی، رابرت رزنیک و یرل واکر ، ویرایش نهم، ترجمه محمدرضا خوشبین خوش‌نظر و دیگران، چاپ اول سال ۱۳۹۰.
۵ـ دوره درسی فیزیک جلد اول، گ. س . لندسبرگ، ترجمه لطیف کاشی‌گر و دیگران، چاپ اول ۱۳۷۴، انتشارات فاطمی.
۶ـ اصول فیزیک، اوهانیان، ترجمه یوسف امیر ارجمند و نادر رابط، چاپ اول ۱۳۸۳، نشر دانشگاهی.
۷ـ فیزیک مفهومی، پ. ج. هیوئیت، ویرایش دهم، ترجمه منیژه رهبر، چاپ اول ۱۳۸۸، انتشارات فاطمی.
۸ـ فیزیک دانشگاهی (جلد دوم)، ویرایش دوازدهم، سیزر، زیمانسکی، یانگ و فریدمن، ترجمه اعظم پورقاضی، روح الله خلیلی بروجنی، محمدتقی فلاحی مروستی، مؤسسه نشر علوم نوین.
۹ـ حرارت و ترمودینامیک، مارک زیمانسکی و ریچارد دیتمن، ترجمه حسین توتونچی، حسن شریفیان عطار و محمدهادی هادی زاده، چاپ اول ۱۳۶۴ ، مرکز نشر دانشگاهی.
۱۰ـ دانشنامه فیزیک، جان ریگدن و دیگران، ترجمه محمدابراهیم ابوکاظمی و دیگران، چاپ اول ۱۳۸۱، مرکز تحصیلات تکمیلی زنجان و بنیاد دانشنامه بزرگ فارسی.

منابع لاتین

1. College physics, Raymond A.Serway, Chris Vuille, Jerry S.Faughn, 2009.
2. Dictionary of scientific and technical terms, Parker, Fourth edition, 1989, MC Graw – Hill.
3. Fundamental of Physics, David Halliday, Robert Resnick and Jearl Walker, 2008, John Wiley and Sons.
4. Light and Matter, Benjamin Crowell, 2015, Fullerton California.
5. Everything Science, Mark Homer, Heather Williams, Bridget Nash, Teacher Guide, 2012.
6. Everything Science: Grade 10, 11, 12 Physical Science, Siyavula core team, 2012.
7. The Free High School Science Texts: Textbooks for High School Students Studying the Sciences Physics Grades 10 -12, FHSST Authors, 2008.
8. The People Physics Book, James H Dann, James J Dann, 2006.
9. Holt, McDougal, Physics: Student Edition, A. Serway,Jerry s.Faughn,2012.

هنرآموزان محترم، هنرجویان عزیز و اولیای آنان می‌توانند نظرهای اصلاحی خود را دربارهٔ مطالب این کتاب از طریق نامه به نشانی تهران- صندوق پستی ۴۸۷۴ / ۱۵۸۷۵- گروه درسی مربوط و یا پیام نگار tvoccd@roshd.ir ارسال نمایند.

وب گاه: www.tvoccd.medu.ir

دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش