

فیزیک و اندازه‌گیری

فصل ۱



یکی از وجوه مشترک فیزیک و معماری، اندازه‌گیری است. معماران هنرمند ایرانی از صدها سال پیش با بهره‌گیری از روش‌ها و فنون اندازه‌گیری، اثرهای بدیع و ماندگاری به یادگار گذاشته‌اند.

اگر به دنبال رد پای فیزیک در زندگی خود باشید، کجا را باید جست‌وجو کنید؟ درست حدس زدید! لازم نیست جای خیلی دوری بروید؛ زیرا فیزیک با زندگی روزانه ما عجین شده است. وسایل برقی، خودروها، گوشی‌های تلفن همراه و بسیاری از وسایل و ابزارهای ساخته‌شده اطراف ما، با بهره‌گیری از اصول و قانون‌های فیزیکی ساخته شده‌اند. فیزیک‌دانان، گستره وسیعی از پدیده‌ها را بررسی می‌کنند. این گستره، اندازه‌های خیلی کوچک (مانند اتم‌ها و ذرات سازنده آنها) تا اندازه‌های خیلی بزرگ (مانند کهکشان‌ها و اجزای تشکیل‌دهنده آنها) را در بر می‌گیرد. در این فصل، پس از آشنایی با فیزیک و نظریه‌های فیزیکی، به اهمیت مدل‌سازی در فیزیک پی خواهید برد. با کمیت‌های فیزیکی، دستگاه بین‌المللی یکاها، چگونگی تبدیل یکاها، خطا و دقت در اندازه‌گیری و همچنین با فرایند تخمین مرتبه بزرگی در حل برخی از مسائل فیزیکی آشنا خواهید شد. در پایان فصل، نگاهی به چگالی و کاربردهای آن خواهد شد.

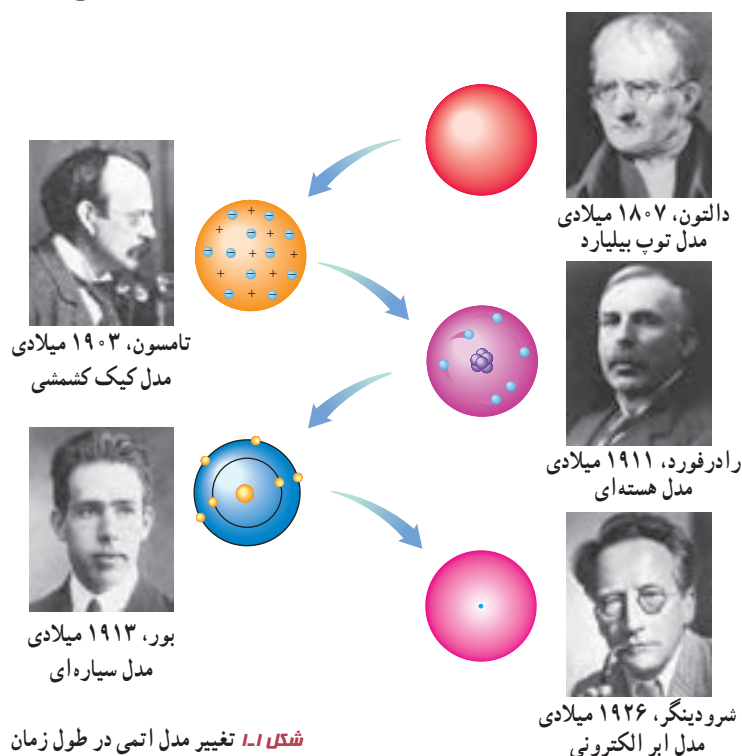
۱-۱ فیزیک: دانش بنیادی

مطالعه و یادگیری فیزیک به این دلیل اهمیت دارد که فیزیک یکی از بنیادی‌ترین دانش‌ها و شالوده‌تمامی مهندسی‌ها و فناوری‌هایی است که به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم در زندگی ما نقش دارند. فیزیک‌دانان، پدیده‌های گوناگون طبیعت را مشاهده می‌کنند و می‌کوشند الگوها و نظم‌های خاصی میان این پدیده‌ها بیابند. دانشمندان فیزیک برای توصیف و توضیح پدیده‌های مورد بررسی، اغلب از قانون، مدل و نظریه فیزیکی استفاده می‌کنند. از آنجا که فیزیک، علمی تجربی است، لازم است این قوانین، مدل‌ها و نظریه‌های فیزیکی توسط آزمایش مورد آزمون قرار گیرند.

مدل‌ها و نظریه‌های فیزیکی در طول زمان همواره معتبر نیستند و ممکن است دستخوش تغییر شوند. به بیان دیگر همواره این امکان وجود دارد که نتایج آزمایش‌های جدید منجر به بازنگری مدل یا نظریه‌ای شود و حتی ممکن است نظریه‌ای جدید جایگزین آن شود. مثلاً در دهه‌های آغازین قرن گذشته، نظریه اتمی با توجه به مشاهده‌ها و کسب اطلاعات جدید در خصوص رفتار اتم‌ها، بارها اصلاح شد (شکل ۱-۱).



آزمایش و مشاهده در فیزیک، اهمیت زیادی دارد؛ اما آنچه بیش از همه در پیشبرد و تکامل علم فیزیک نقش ایفا کرده و می‌کند، تفکر نقادانه و اندیشه‌ورزی فعال فیزیک‌دانان نسبت به پدیده‌هایی است که با آنها مواجه می‌شوند.



ویژگی آزمون‌پذیری و اصلاح نظریه‌های فیزیکی، نقطه قوت دانش فیزیک است و نقش مهمی در فرایند پیشرفت دانش و تکامل شناخت ما از جهان پیرامون داشته است. دانشمندان برای بیان قانون‌های فیزیکی، اغلب از گزاره‌های کلی و در عین حال مختصر استفاده می‌کنند. قانون‌های فیزیکی، معمولاً رابطه بین برخی از کمیت‌های فیزیکی را توصیف می‌کنند و در دامنه وسیعی از پدیده‌های گوناگون طبیعت معتبرند (مانند قانون‌های نیوتون که در علوم نهم با آنها آشنا شدید). برای توصیف دامنه محدودتری از پدیده‌های فیزیکی، که عمومیت کمتری دارند، اغلب از اصطلاح اصل استفاده می‌شود (مانند اصل پاسکال که برای شاره‌های ساکن و محصور معتبر است و در علوم نهم با آن آشنا شدید).

واژه فیزیک، ریشه در یونان باستان دارد و به معنای شناخت طبیعت است. تا آنجا که تاریخ مدون علم نشان می‌دهد، فیلسوفان آسیای صغیر در سده هفتم قبل از میلاد مسیح نخستین کسانی بودند که پرسش‌هایی درباره طبیعت مطرح ساختند. اندیشه‌های علمی این فیلسوفان در سده پنجم قبل از میلاد در یونان و پس از آن در مناطقی مانند مقدونیه، سوریه، مصر و به ویژه در شهر اسکندریه پیگیری شد. کارهای ارشمیدس و برخی دیگر از دانشمندان یونان باستان به همین دوره مربوط می‌شود. بررسی‌های انجام‌شده توسط تاریخ‌نگاران علم نشان می‌دهد روش ارشمیدس به روش‌های علمی امروزه نزدیک بوده است. پس از ظهور و گسترش اسلام، دانشمندان مسلمان و به خصوص ایرانی مانند ابوریحان بیرونی، ابن هیشم، خواجه نصیرالدین طوسی، ابن سینا و بسیاری دیگر در زمینه‌های نجوم، نورشناسی و مکانیک، دانش فیزیک را گسترش دادند که بعدها بخشی از این نتایج پایه‌ای برای کارهای گالیله و دیگران شد.



خواجه نصیرالدین طوسی
(۱۲۷۴-۱۲۰۱ م)



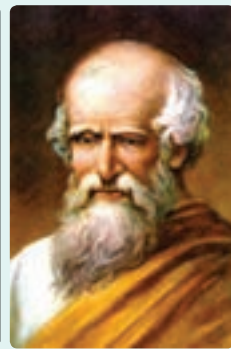
ابوعلی سینا
(۱۰۳۷-۹۸۰ م)



ابوریحان بیرونی
(۱۰۴۸-۹۷۳ م)



ابن هیشم
(۱۰۴۰-۹۶۵ م)



ارشمیدس
(۲۸۷ تا ۲۱۲ قبل از میلاد)



برج کج پیزا واقع در فلورانس ایتالیا



گالیلهو گالیله
(۱۶۴۲-۱۵۶۴ م)

در کتاب‌های تاریخ علم، روایت کرده‌اند که گالیله جسم‌های سبک و سنگین را از بالای برج کج پیزا رها کرد تا دریابد که آیا زمان سقوط آنها یکسان است یا متفاوت. گالیله تشخیص داد که تنها یک بررسی تجربی می‌تواند به این پرسش پاسخ دهد. وی با تعمق زیاد روی نتیجه آزمایش‌های خود، گام بلندی به سوی این اصل برداشت که شتاب جسم در حال سقوط، مستقل از جرم آن است.

فیزیک، پایه و اساس تمامی مهندسی‌ها و فناوری‌هاست. هیچ مهندسی نمی‌توانست بدون آنکه نخست قانون‌های اساسی فیزیک را درک کند، یک تلویزیون با صفحه تخت، یک فضایمای میان‌سیاره‌ای، یک لامپ کم مصرف LED یا حتی یک ابزار ساده طراحی کند. شکل ۱-۲ الف تا ج، بخش بسیار کوچکی از دستاوردهای دانش و فناوری‌های نوین را نشان می‌دهند که فیزیک، شالوده تمامی آنهاست.



(ب)



(ب)



(الف)



(ج)



(ث)



(ت)

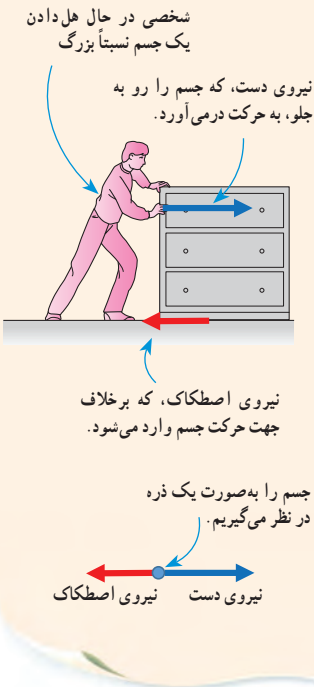
شکل ۱-۱ (الف) جُونو (Juno)، کاوشگری که ناسا به سوی مشتری (برجیس)، بزرگ‌ترین سیاره منظومه شمسی پرتاب کرد و پس از پنج سال، در اوایل تابستان ۱۳۹۵ به مداری نزدیک این سیاره رسید. این مدارگرد که به ابزارهای پیشرفته‌ای مجهز شده، اطلاعاتی دربارهٔ جو مشتری، ویژگی‌های مغناطیسی و گرانشی و همچنین چگونگی شکل‌گیری این سیاره به زمین ارسال می‌کند. (ب) شتاب‌دهنده ذرات زیر اتمی در تونلی به طول ۲۷ کیلومتر که در عمق ۱۷۵ متری زمین و در مرز کشورهای فرانسه و سوئیس ساخته شده است. در این مرکز پژوهشی بیش از ۳۰۰۰ دانشمند و فیزیک‌دان مشغول به کارند. بزرگ‌ترین دستاورد این آزمایشگاه تاکنون، کشف ذره بوزون هیگز است که خبر تأیید آن در تابستان ۱۳۹۱ اعلام شد. (پ) سامانه مکان‌یابی جهانی (GPS) مکان اجسام را با دقت قابل ملاحظه‌ای روی زمین پیدا می‌کند. بخشی از دقت این سامانه، به این دلیل حاصل می‌شود که GPS بر اساس نظریهٔ نسبیت اینشتین کار می‌کند. (ت) ترابری مگ‌لو (maglev)، یکی از دستاوردهای فیزیک اَبَرساناست. این وسیلهٔ نقلیه موسوم به قطار مغناطیسی حامل پیچه‌های ابرسانا در زیر خود است. همین امر سبب می‌شود تا قطار چند سانتی‌متر بالاتر از ریل به‌صورت شناور درآید و با تندی‌ای فراتر از ۴۰۰ کیلومتر بر ساعت حرکت کند. (ث) این عکس نمای بزرگ‌شده از یک حشره را نشان می‌دهد که با میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) گرفته شده است. در این نوع میکروسکوپ‌ها، به جای نور مرئی، از باریکه‌ای از الکترون‌ها برای تصویربرداری استفاده می‌شود. (ج) پردازنده یا واحد پردازش مرکزی (CPU) متشکل از صدها میلیون تا چندین میلیارد ترانزیستور بسیار کوچک و ظریف است که در یک محفظهٔ سرامیکی جای گرفته‌اند. این شکل یکی از پردازنده‌های نسل جدید را نشان می‌دهد که فراتر از یک میلیارد ترانزیستور ۲۲ نانومتری در آن به‌کار رفته است.^۱

فعالیت ۱-۱

افزون بر فهرست بالا، شما نیز به اتفاق اعضای گروه خود، فهرست دیگری از کاربردهای فیزیک در فناوری تهیه کنید که نقش مهمی در زندگی ما دارند. (این فهرست را می‌توانید به‌صورت پوستر، پاورپوینت، فیلم‌های کوتاه و ... تهیه و ارائه کنید.)

۱- مطالب آمده در زیرنویس شکل ۱-۲ جزء ارزشیابی نیست.

مکانیک، یکی از شاخه‌های فیزیک است که در آن به بررسی حرکت اجسام و نیروهای وارد شده به آنها می‌پردازد. شکل زیر، مثالی ساده از کاربرد مدل‌سازی در مکانیک است. در فصل دوم، از این مدل‌سازی استفاده زیادی خواهیم کرد.

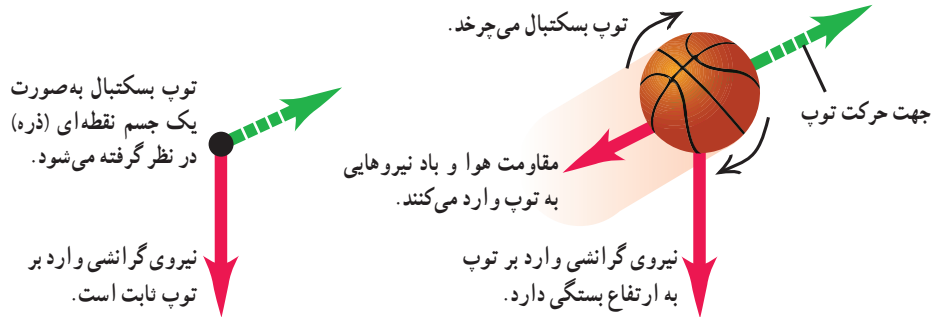


پدیده‌هایی مانند پرتاب توپ، افتادن برگ درخت، تشکیل رنگین‌کمان، آذرخش و ... ممکن است برای ما عادی شده باشند؛ ولی بررسی و تحلیل آنها در فیزیک معمولاً با پیچیدگی‌هایی همراه است. به همین دلیل فیزیک‌دانان برای بررسی پدیده‌ها، از مدل‌سازی استفاده می‌کنند. مدل‌سازی در فیزیک فرایندی است که طی آن یک پدیده فیزیکی، آن قدر ساده و آرمانی می‌شود تا امکان بررسی و تحلیل آن فراهم شود.

برای شناخت بهتر فرایند مدل‌سازی در فیزیک، فرض کنید بخواهیم حرکت یک توپ پرتاب شده را بررسی کنیم (شکل ۱-۳ الف). ممکن است در نگاه اول، بررسی و تحلیل حرکت توپ، ساده به نظر برسد، ولی واقعیت برخلاف این است. توپ، یک کره کامل نیست (درزها و برجستگی‌هایی روی توپ وجود دارد) و در حین حرکت به دور خود می‌چرخد، باد و مقاومت هوا بر حرکت آن اثر می‌گذارند. وزن توپ با تغییر فاصله آن از مرکز زمین تغییر می‌کند. اگر بخواهیم تمام این موارد را هنگام بررسی و تحلیل حرکت توپ در نظر بگیریم، تحلیل ما پیچیده خواهد شد.

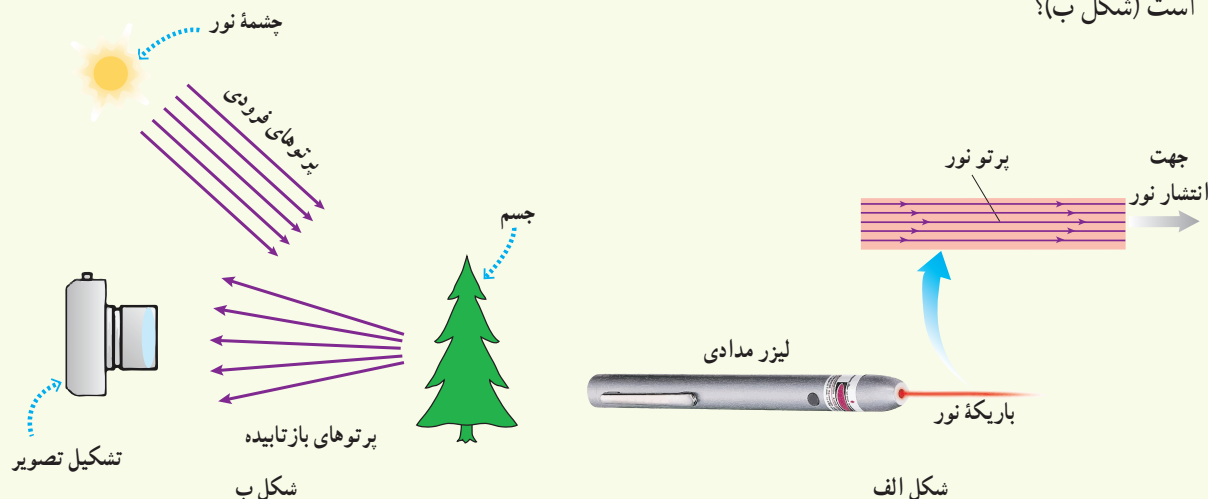
با مدل‌سازی حرکت توپ، می‌توانیم تا حدود زیادی این پیچیدگی‌ها را کاهش دهیم و بررسی و تحلیل حرکت توپ را به طور ساده، امکان‌پذیر سازیم. با چشم پوشیدن از اندازه و شکل توپ، آن را به صورت یک جسم نقطه‌ای یا ذره در نظر می‌گیریم. همچنین با فرض اینکه توپ در خلأ حرکت می‌کند، از مقاومت هوا و اثر وزش باد صرف‌نظر می‌کنیم. سرانجام فرض می‌کنیم با تغییر فاصله توپ از مرکز زمین، وزن آن ثابت می‌ماند (شکل ۱-۳ ب). اینک مسئله ما به قدر کافی ساده شده است و می‌توانیم حرکت آن را بررسی و تحلیل کنیم.

توجه: هنگام مدل‌سازی یک پدیده فیزیکی، باید اثرهای جزئی‌تر را نادیده بگیریم نه اثرهای مهم و تعیین‌کننده را. برای مثال، اگر به جای مقاومت هوا، نیروی جاذبه زمین را نادیده می‌گرفتیم، آن گاه مدل ما پیش‌بینی می‌کرد که وقتی تویی به بالا پرتاب شود در یک خط مستقیم بالا می‌رود!



الف) توپ بسکتبال در هوا
ب) مدل آرمانی توپ بسکتبال
شکل ۱-۳ استفاده از یک مدل آرمانی برای ساده‌سازی تحلیل حرکت یک توپ بسکتبال در هوا

شکل الف براساس آنچه در علوم سال هشتم در زمینه نورشناسی خواندید آمده است. اجزای این شکل را توضیح دهید و بگویید که در آن، چه چیزی مدل سازی شده است. این مدل سازی چگونه در تشکیل تصویر در یک دوربین عکاسی به کار رفته است (شکل ب)؟

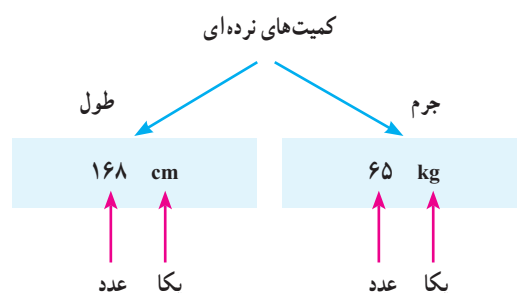


۳-۱ اندازه گیری و کمیت های فیزیکی

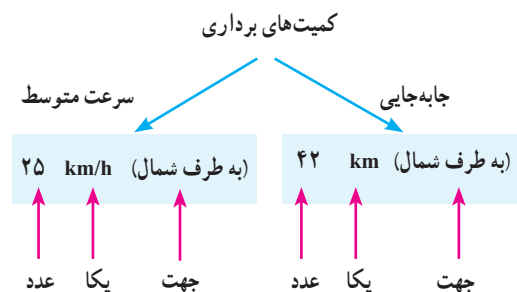
همان طور که پیش از این گفتیم فیزیک علمی تجربی است و هدف آن بررسی پدیده های فیزیکی در جهان پیرامون است. اساس تجربه و آزمایش، اندازه گیری است و برای بیان نتایج اندازه گیری، به طور معمول از عدد و یکای مناسب آن استفاده می کنیم. در فیزیک به هر چیزی که بتوان آن را اندازه گرفت، مانند طول، جرم، تندی، نیرو و زمان سقوط یک جسم، کمیت فیزیکی گفته می شود.

برای بیان برخی از کمیت های فیزیکی، تنها از یک عدد و یکای مناسب آن استفاده می شود. این گونه کمیت ها، **کمیت نرده ای (اسکالر)** نامیده می شوند. برای مثال، وقتی می گوئیم جرم و طول قد شخصی به ترتیب، 65 kg و 168 cm است، از دو کمیت فیزیکی نرده ای برای توصیف این شخص استفاده کرده ایم (شکل ۱-۴).

برای بیان برخی دیگر از کمیت های فیزیکی، افزون بر یک عدد و یکای مناسب آن، لازم است به جهت آن نیز اشاره کنیم. این دسته از کمیت ها را، **کمیت برداری** می نامند. با برخی از این کمیت ها مانند جابه جایی، سرعت، شتاب و نیرو در علوم سال نهم آشنا شدید. برای مثال، وقتی می گوئیم جابه جایی دوچرخه سواری 42 km به طرف شمال و سرعت متوسط آن 25 km/h به طرف شمال است، از دو کمیت برداری برای توصیف حرکت این دوچرخه سوار استفاده کرده ایم (شکل ۱-۵). برای نوشتن کمیت های برداری، مانند نیرو \vec{F} و شتاب \vec{a} ، از علامت پیکان بالای نماد آن کمیت استفاده می کنیم. اگر علامت پیکان بالای یک کمیت برداری نیاید، مانند F و a ، تنها اندازه آن کمیت برداری (شامل عدد و یکا) بیان شده است.



شکل ۱-۴ هر کمیت نرده ای را باید با عدد و یکای مناسب آن بیان کنیم. بیان یک کمیت فیزیکی، بدون ذکر یکای آن، معنایی ندارد!



شکل ۱-۵ هر کمیت برداری را باید با عدد، یکای مناسب و جهت آن بیان کنیم. بیان یک کمیت فیزیکی برداری بدون ذکر یکا و جهت آن، معنایی ندارد!

جدول ۱-۱ کمیت‌های اصلی و یکای آنها		
کمیت	نام یکا	نماد یکا
طول	متر	m
جرم	کیلوگرم	kg
زمان	ثانیه	s
دما	کلوین	K
مقدار ماده	مول	mol
جریان الکتریکی	آمپر	A
شدت روشنایی	کندلا (شمع)	cd

جدول ۲-۱ چند مثال از یکاهای فرعی که در فصل‌های این کتاب استفاده شده‌اند		
کمیت	یکای SI	یکای فرعی
تندی و سرعت	m/s	m/s
نیرو	نیوتون (N)	kg m/s ²
فشار	پاسکال (Pa)	kg/ms ²
انرژی	ژول (J)	kg m ² /s ²
توان	وات (W)	kg m ² /s ²
گرمای ویژه	J/kg K	m ² /s ² K

برای انجام اندازه‌گیری‌های درست و قابل اطمینان به یکاهای اندازه‌گیری‌ای نیاز داریم که **تغییر نکنند** و دارای **قابلیت بازتولید** در مکان‌های مختلف باشند. دستگاه یکاهایی که امروزه بیشتر مهندسان و دانشمندان علوم در سراسر جهان به کار می‌برند را اغلب دستگاه متریک می‌نامند، ولی این دستگاه یکاها از سال ۱۹۶۰ میلادی، به‌طور رسمی، دستگاه بین‌المللی (SI) نامیده شده است.^۱

در سال ۱۹۷۱ میلادی، مجمع عمومی اوزان و مقیاس‌ها، هفت کمیت را به‌عنوان کمیت اصلی انتخاب کرد که اساس دستگاه بین‌المللی یکاها را تشکیل می‌دهند (جدول ۱-۱). یکای این کمیت‌ها را یکاهای اصلی می‌نامند. سایر یکاهای دیگر را که برحسب یکاهای اصلی بیان می‌شوند، یکاهای فرعی می‌نامند. تعداد کمیت‌های فیزیکی، آن‌چنان زیاد است که تعیین یکای مستقل برای همه آنها در عمل ناممکن است. خوشبختانه، بسیاری از کمیت‌های فیزیکی مستقل از یکدیگر نیستند و توسط رابطه‌ها و تعریف‌های فیزیکی به یکدیگر وابسته‌اند. این وابستگی به ما کمک می‌کند تا لازم نباشد برای همه کمیت‌های فیزیکی، یکای مستقل تعریف کنیم. برای مثال، همان‌طور که در علوم سال نهم دیدید، تندی متوسط به‌صورت نسبت مسافت به زمان تعریف می‌شود. اگر مسافت را که از جنس طول است، با یکای متر (m) و زمان را با یکای ثانیه (s) بیان کنیم، آن‌گاه یکای تندی متوسط در SI، متر بر ثانیه (m/s) خواهد شد. به این ترتیب، یکای فرعی متر بر ثانیه (m/s)، با یکاهای اصلی طول (m) و زمان (s) مرتبط می‌شود. در جدول ۲-۱ نمونه‌هایی از یکاهای فرعی

آمده است که در این کتاب از آنها استفاده می‌کنیم. همان‌طور که در این جدول نیز دیده می‌شود برای برخی از یکاهای پرکاربرد فرعی، نامی مخصوص قرار داده‌اند، مثلاً یکای نیرو (kgm/s²) را نیوتون (N) نامیده‌اند. در این صورت گفته می‌شود: یکای SI نیرو، نیوتون است. معرفی این یکاهای خاص در SI، ضمن احترام به فعالیت‌های علمی دانشمندان گذشته، سبب سهولت در گفتار و نوشتار نیز می‌شود.

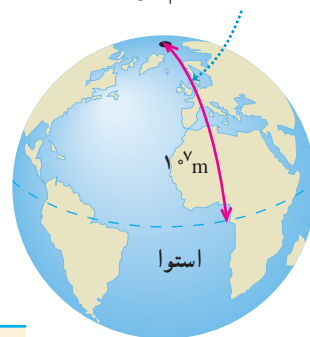
خوب است بدانید

در اواسط قرن نوزدهم نیاز به یک دستگاه مقیاس جهانی کاملاً آشکار شد. در سال ۱۸۷۵ میلادی، کنفرانسی بین‌المللی در پاریس در زمینه سنجش تشکیل شد و ۱۷ دولت قرارداد کنوانسیون متر را امضا کردند. امضاکنندگان تصمیم گرفتند که یک مؤسسه علمی دائمی به نام دفتر بین‌المللی اوزان و مقیاس‌ها تأسیس کنند. ایران نیز کنوانسیون متر را در سال ۱۳۵۴ امضا کرد و به عضویت این دفتر در آمد. مرکز اندازه‌شناسی سازمان ملی استاندارد ایران به‌عنوان نقطه اتصال کشور به دستگاه اندازه‌گیری جهانی، وظیفه ارتباط با این سازمان جهانی را دارد.

۱- SI سرحرف عبارت فرانسوی (Systeme International) به معنای دستگاه بین‌المللی است.

طول: به لحاظ تاریخی، در اواخر قرن هجدهم، یکای طول (متر) به صورت یک ده میلیونیم فاصله استوا تا قطب شمال تعریف شد (شکل ۱-۶). تا سال ۱۹۶۰ میلادی، فاصله میان دو خط نازک حک شده در نزدیکی دو سر میله‌ای از جنس پلاتین - ایریدیوم، وقتی میله در دمای صفر درجه سلسیوس قرار داشت، برابر یک متر تعریف شده بود. بنابر آخرین توافق جهانی مجمع عمومی وزن‌ها و مقیاس‌ها در سال ۱۹۸۳ میلادی، یک متر برابر مسافتی تعریف شد که نور در مدت زمان $\frac{1}{299792458}$ ثانیه در خلأ طی می‌کند. این تعریف، تخصصی است و برای اندازه‌گیری‌های بسیار دقیق به کار می‌رود^۱. در جدول ۱-۳ مقادیر تقریبی برخی طول‌ها آمده است.

متر در آغاز به صورت یک ده میلیونیم این فاصله تعریف شد



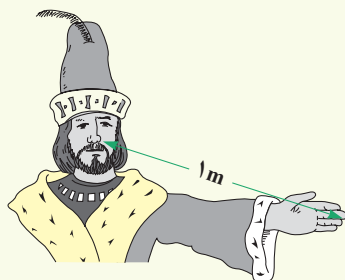
شکل ۱-۷ اولین تعریف متر در سال ۱۷۹۱ میلادی

جدول ۱-۳ مقادیر تقریبی برخی طول‌های اندازه‌گیری شده

طول (m)	جسم	طول (m)	جسم
9×10^1	طول زمین فوتبال	10^{22}	فاصله منظومه شمسی تا نزدیک‌ترین کهکشان
5×10^{-2}	طول بدن نوعی مگس	4×10^{16}	فاصله منظومه شمسی تا نزدیک‌ترین ستاره
1×10^{-4}	اندازه ذرات کوچک گرد و خاک	9×10^{15}	یک سال نوری
1×10^{-5}	اندازه سلول‌های بیشتر موجودات زنده	$1/50 \times 10^{11}$	شعاع مدار میانگین زمین به دور خورشید
1×10^{-10}	قطر اتم هیدروژن	$3/84 \times 10^8$	فاصله میانگین ماه از زمین
$1/75 \times 10^{-14}$	قطر هسته اتم هیدروژن	$6/40 \times 10^6$	شعاع میانگین زمین
1×10^{-15}	قطر پروتون	$3/6 \times 10^7$	فاصله ماهواره‌های مخابراتی از زمین

پوشش ۱-۲

اگر مطابق شکل روبه‌رو، یکای طول را به صورت فاصله نوک بینی تا نوک انگشتان دست کشیده شده بگیریم، چه مزایا و چه معایبی دارد؟



فعالیت ۱-۲



ذرع و فرسنگ از جمله یکاهای قدیمی ایرانی برای طول است. هر ذرع 10^4 سانتی‌متر و هر فرسنگ 6000 ذرع است^۲. قشم، بزرگ‌ترین جزیره خلیج فارس است که مساحت آن از بیست کشور جهان بزرگ‌تر است. طول این جزیره حدود 120 کیلومتر برآورد شده است. این طول را بر حسب ذرع و فرسنگ بیان کنید.

۱- نیازی به حفظ کردن این تعریف تخصصی نیست.

۲- به خاطر سپردن یکاهای قدیمی و غیر SI در فعالیت‌ها و مسئله‌های این فصل برای دانش‌آموزان ضرورتی ندارد و نباید مورد ارزشیابی قرار بگیرند.

الف) یکای نجومی^۱ برابر میانگین فاصله زمین تا خورشید است ($1 \text{ AU} \approx 1/50 \times 10^{11} \text{ m}$). فاصله زمین (منظومه شمسی) تا نزدیک‌ترین ستاره بعد از خورشید، بر حسب یکای نجومی چقدر است؟
 ب) مسافتی را که نور در مدت یک سال در خلأ می‌پیماید یک سال نوری می‌نامند و آن را با نماد ly نمایش می‌دهند.
 کوازارها^۲ دورترین اجرام شناخته‌شده از منظومه شمسی هستند و به عبارتی در دورترین محل قابل مشاهده کیهان قرار دارند. فاصله کوازارها از منظومه شمسی $1/00 \times 10^{26}$ متر برآورد شده است. این فاصله را بر حسب سال نوری بیان کنید. تندی نور را در خلأ^۳ $3/00 \times 10^8$ متر بر ثانیه بگیرید.



جرم: یکای جرم در SI، کیلوگرم (kg) نامیده می‌شود و به صورت جرم استوانه‌ای فلزی از جنس آلیاژ پلاتین-ایریدیوم تعریف شده است. جرم این استوانه که به دقت درون دو حباب شیشه‌ای جای گرفته، کیلوگرم استاندارد بین‌المللی است که در موزه سور فرانسه نگهداری می‌شود.^۴ نسخه‌های کاملاً مشابهی از این نمونه ساخته و برای کشورهای دیگر ارسال شده است (شکل ۱-۷).
 در علوم سال هفتم با ابزارهای اندازه‌گیری جرم آشنا شدید. مقادیر تقریبی برخی جرم‌ها در جدول ۴-۱ آمده است.

شکل ۱-۷ استاندارد ملی کیلوگرم که نسخه دقیقی از استاندارد بین‌المللی سور فرانسه است. این نمونه، در مرکز اندازه‌شناسی در سازمان ملی استاندارد ایران نگهداری می‌شود.

جدول ۴-۱ مقادیر تقریبی برخی جرم‌های اندازه‌گیری شده			
جسم	جرم (kg)	جسم	جرم (kg)
عالم قابل مشاهده	1×10^{52}	انسان	7×10^1
کهکشان راه شیری	7×10^{41}	قورباغه	1×10^{-1}
خورشید	2×10^{30}	پشه	1×10^{-5}
زمین	6×10^{24}	باکتری	1×10^{-15}
ماه	$7/34 \times 10^{22}$	اتم هیدروژن	$1/67 \times 10^{-27}$
کوسه	1×10^3	الکترون	$9/11 \times 10^{-31}$

خروار، من تبریز، سیر، مثقال، نخود و گندم از جمله یکاهای قدیمی ایرانی برای اندازه‌گیری جرم است. این یکاها به صورت زیر به یکدیگر مرتبط اند:

$$1 \text{ خروار} = 100 \text{ من تبریز}$$

$$1 \text{ من تبریز} = 40 \text{ سیر} = 640 \text{ مثقال}$$

$$1 \text{ مثقال} = 24 \text{ نخود} = 96 \text{ گندم}$$

با توجه به اینکه هر مثقال معادل $4/86$ گرم است، هر کدام از این یکاها را بر حسب گرم و کیلوگرم بیان کنید.

۱- Astronomical Unit

۲- light year

۳- Quasars

۴- یک استاندارد اتمی برای جرم می‌توانست بنیادی‌تر باشد ولی در حال حاضر نمی‌توانیم جرم را در مقیاس اتمی با دقتی همانند مقیاس ماکروسکوپی اندازه بگیریم.

زمان: در طول سال‌های ۱۲۶۸ تا ۱۳۴۶ ه.ش، یکای زمان، ثانیه (s) به صورت $\frac{1}{86400}$ میانگین روز خورشیدی تعریف می‌شد^۱. استاندارد کنونی زمان که از سال ۱۳۴۶ ه.ش به کار گرفته شد بر اساس دقت بسیار زیاد ساعت‌های اتمی تعریف شده است که در کتاب‌های پیشرفته‌تر فیزیک می‌توانید با آن آشنا شوید^۲.

در بسیاری موارد نیاز به اندازه‌گیری مدت زمان بین شروع و پایان یک رویداد داریم. این مدت زمان را بازه زمانی می‌نامیم. مقادیر تقریبی برخی بازه‌های زمانی در جدول ۱-۵ آمده است.

بازه زمانی	ثانیه
سن عالم	5×10^{17}
سن زمین	$1/43 \times 10^{17}$
میانگین عمر یک انسان	2×10^9
یک سال	$3/15 \times 10^7$
یک روز	$8/6 \times 10^4$
زمان بین دو ضربان عادی قلب	8×10^{-1}

فعالیت ۱-۴

در خصوص چگونگی اندازه‌گیری زمان از دوران باستان تا عصر حاضر مطالبی را به طور مستند تهیه کنید^۳.

مطالب تهیه‌شده را با توجه به مهارت و علاقه‌مندی افراد گروه خود، به یکی از شکل‌های روزنامه دیواری، پاورپوینت، قطعه فیلم کوتاه و... به کلاس درس ارائه دهید.

خوب است بدانید

چندین هزار سال از توجه جوامع بشری به ضرورت اندازه‌گیری و کاربرد آن در زندگی روزمره می‌گذرد. ایجاد تقویم، تعیین زمان، اندازه‌گیری فاصله، مساحت، ساخت وزنه و پیمانه تنها نمونه‌ای از شواهدی هستند که نقش اندازه‌گیری را در زندگی انسان‌های دوره‌های مختلف نشان می‌دهد. اولین قانون اندازه‌گیری در ایران، سال ۱۳۰۴ ه.ش به تصویب رسید. با تصویب این قانون دستگاه متریک به عنوان دستگاه رسمی اندازه‌گیری در کشور تعیین شد. اجرای قانون اندازه‌گیری در کشور به عهده مرکز اندازه‌شناسی سازمان ملی استاندارد ایران است. این مرکز شامل بخش‌هایی مربوط به اندازه‌گیری‌های مکانیکی، فیزیکی و الکتریکی است.

تبدیل یکاها: اغلب در حل مسئله‌های فیزیک، لازم است یکای کمیتی را تغییر دهیم. برای مثال، ممکن است لازم باشد کیلوگرم (kg) را به میکروگرم (μg)، یا متر بر ثانیه (m/s) را به کیلومتر بر ساعت (km/h) تبدیل کنیم. این کار با روش تبدیل زنجیره‌ای انجام می‌شود. در این روش، اندازه کمیت را در یک ضریب تبدیل (نسبتی از یکاها که برابر عدد یک است) ضرب می‌کنیم. برای مثال، چون ۱ m برابر 10^2 cm است، داریم:

$$\frac{1 \text{ m}}{10^2 \text{ cm}} = 1 \quad \text{و} \quad \frac{10^2 \text{ cm}}{1 \text{ m}} = 1$$

بنابراین، هر دو کسر بالا را که برابر یک هستند می‌توان به عنوان ضریب تبدیل به کار برد (ذکر یکاها در صورت و مخرج کسر الزامی است). از آنجا که ضرب کردن هر کمیت در عدد یک، اندازه آن کمیت

۱- یک روز خورشیدی، زمانی بین ظاهرشدن‌های متوالی خورشید در بالاترین نقطه آسمان در هر روز است.

۲- ساعت‌های اتمی پس از چندین میلیون سال، تنها یک ثانیه جلو یا عقب می‌افتند!

۳- خوب است نگاهی به سایت موزه علوم و فناوری www.irstm.ir نیز داشته باشید.

را تغییر نمی‌دهد، هرگاه ضریب تبدیلی را مناسب بدانیم می‌توان از آن استفاده کرد. برای مثال، یکای cm را در ۸۵cm، به صورت زیر به یکای m تبدیل می‌کنیم:

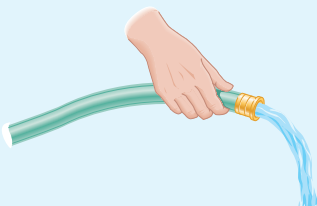
$$85\text{cm} = (85\text{cm})(1) = (85\cancel{\text{cm}}) \left(\frac{1\text{m}}{100\cancel{\text{cm}}} \right) = 0.85\text{m}$$

ضریب تبدیل ←

همچنین در مثالی دیگر، تبدیل یکای کمیت ۳۶km/h را بر حسب یکای m/s به صورت زیر انجام می‌دهیم:

$$36\text{km/h} = \left(36 \frac{\text{km}}{\text{h}} \right) (1)(1) = \left(36 \frac{\cancel{\text{km}}}{\cancel{\text{h}}} \right) \left(\frac{1\cancel{\text{h}}}{3600\text{s}} \right) \left(\frac{1000\text{m}}{1\cancel{\text{km}}} \right) = 10\text{m/s}$$

تمرین ۱-۲



در فیزیک، تغییر هر کمیت را نسبت به زمان، معمولاً آهنگ آن کمیت می‌نامیم. از شلنگ شکل روبه‌رو، آب با آهنگ $125\text{cm}^3/\text{s}$ خارج می‌شود. این آهنگ را به روش تبدیل زنجیره‌ای، برحسب یکای لیتر بر دقیقه (L/min) بنویسید. (هر لیتر معادل 1000 سانتی‌متر مکعب است.)

سازگاری یکاها: هر کمیت فیزیکی را با نماد مشخصی نشان می‌دهیم. برای مثال اندازه شتاب را با a و جرم را با m نشان می‌دهیم. همچنین برای بیان ارتباط بین کمیت‌های فیزیکی، از روابط و معادله‌ها استفاده می‌کنیم. یکی از این رابطه‌های فیزیکی، قانون دوم نیوتون، $F = ma$ ، است که در علوم سال نهم با آن آشنا شدید. هنگام استفاده از این رابطه و جایگذاری اندازه هر کمیت در آن، باید به سازگاری یکاها در دو طرف رابطه توجه کنیم. اگر بخواهیم حاصل دو طرف رابطه برحسب یکاهای SI بیان شود باید یکای کمیت‌های داده شده را نیز به یکاهای SI تبدیل کنیم. برای مثال، اگر جرم جسمی 325g و شتاب آن $1/75\text{m/s}^2$ باشد، برای سازگاری یکاها در دو طرف معادله، باید یکای جرم جسم را به کیلوگرم تبدیل کنیم. در این صورت مقدار حاصل را می‌توان برحسب یکای نیوتون بیان کرد.

$$F = ma = (0.325\text{ kg})(1/75\text{ m/s}^2) = 0.0043\text{ N}$$

یکای دو طرف معادله با هم سازگار است.
(جدول ۱-۲ را ببینید.)

پیشوندهای یکاها: هرگاه در اندازه‌گیری‌ها با اندازه‌های بسیار بزرگ‌تر یا بسیار کوچک‌تر از یکای اصلی آن کمیت مواجه شویم، از پیشوندهایی استفاده می‌کنیم که در جدول ۱-۶ فهرست شده‌اند. همان‌طور که از ضرایب تبدیل جدول پیداست هر پیشوند، توان معینی از 10 را نشان می‌دهد که به صورت یک عامل ضرب به کار می‌رود (به بزرگ و کوچک بودن حروف نمادها توجه کنید). یعنی وقتی پیشوندی به یکایی افزوده می‌شود، آن یکا در ضریب مربوطه ضرب می‌شود، مثلاً یک میکرومتر ($1\mu\text{m}$) که به آن میکرون نیز می‌گویند برابر 10^{-6}m است یا سه مگاوات ($3/00\text{MW}$) برابر $3/00 \times 10^6\text{W}$ است.

جدول ۱-۶ پیشوندهای یکاها

ضریب	پیشوند	نماد	ضریب	پیشوند	نماد
10^{24}	یوتا	Y	10^{-24}	یوکتو	y
10^{21}	زتا	Z	10^{-21}	زپتو	z
10^{18}	اِگزا	E	10^{-18}	آتو	a
10^{15}	پتا	P	10^{-15}	فمتو	f
10^{12}	ترا	T	10^{-12}	پیکو	p
10^9	گیگا (جیگا)	G	10^{-9}	نانو	n
10^6	میگا	M	10^{-6}	میکرو	μ
10^3	کیلو	k	10^{-3}	میلی	m
10^2	هکتو	h	10^{-2}	سانتی	c
10^1	دکا	da	10^{-1}	دسی	d

پیشوندهایی که کاربرد بیشتری دارند و بهتر است آنها را به خاطر بسپارید با رنگ قرمز نشان داده شده‌اند.

نمادگذاری علمی: درباره‌ی اندازه‌گیری‌ها با مقدارهای

خیلی بزرگ یا خیلی کوچک سرو کار داریم؛ مثلاً برای نوشتن جرم زمین برحسب کیلوگرم باید تعداد ۲۲ صفر را بعد از عدد ۵۹۸ بنویسیم. یا برای نوشتن جرم یک الکترون برحسب کیلوگرم باید بعد از ممیز، ۳۰ عدد صفر قرار دهیم و پس از آن عدد ۹۱۰۹ را بنویسیم.

بدیهی است نوشتن چنین عددهایی به صورت اعشاری یا با صفرهای زیاد، علاوه بر دشواری در خواندن و نوشتن، احتمال اشتباه را نیز افزایش می‌دهد. از این رو، با استفاده از روشی که آن را نمادگذاری علمی می‌نامند، نوشتن و محاسبه مقدارهای خیلی بزرگ یا خیلی کوچک ساده‌تر می‌شود.

اندازه هر کمیت فیزیکی، که به صورت نمادگذاری علمی بیان می‌شود، باید شامل سه قسمت باشد. قسمت‌های اول و دوم، در برگیرنده حاصل ضرب عددی از ۱ تا 10^1 در توان صحیحی از 10^0 است و در قسمت سوم، یکای آن کمیت نوشته می‌شود. برای آشنایی بیشتر با نمادگذاری علمی، به مثال‌های جدول ۱-۷ توجه کنید.

جدول ۱-۷ بیان اندازه چند کمیت به صورت نمادگذاری علمی

نمونه	اندازه کمیت (شامل عدد و یکا)	بیان به صورت نمادگذاری علمی
حجم بنزین مصرفی در ایران در سال ۱۳۹۴	۲۶۰۰۰۰۰۰۰۰۰ L	$2.6 \times 10^{10} \text{ L}$
تندی نور در هوا	۳۰۰۰۰۰۰۰۰ m/s	$3 \times 10^8 \text{ m/s}$
طول کل خطوط انتقال نفت خام، گاز و سایر فراورده‌های سوختی در ایران	۳۸۹۰۰۰۰۰۰ m	$3.89 \times 10^7 \text{ m}$
حجم یک بشکه نفت	۱۵۹ L	$1.59 \times 10^2 \text{ L}$
قطر موی انسان	۰/۰۰۰۰۰۸۰۱ m	$8.01 \times 10^{-6} \text{ m}$
قطر اتم هیدروژن	۰/۰۰۰۰۰۰۰۰۱۰۶ m	$1.06 \times 10^{-10} \text{ m}$

مثال ۱-۱

مقدار بار الکتریکی الکترون $۱۶۰ \times ۱۰^{-۱۹} \mu\text{C}$ است. مقدار این بار را برحسب کولن و با نمادگذاری علمی بنویسید.
پاسخ: با توجه به جدول ۱-۶، پیشوند میکرو (μ) برابر $۱۰^{-۶}$ است. به این ترتیب داریم:

$$۱۶۰ \times ۱۰^{-۱۹} \mu\text{C} = ۱۶۰ \times ۱۰^{-۲۵} \text{C} = ۱/۶۰ \times ۱۰^{-۱۹} \text{C}$$

پرسش ۳-۱

کدام گزینه جرم یک زنبور عسل ($۱۵ \text{ kg} / ۰/۰۰۰۱۵$) را به صورت نمادگذاری علمی درست بیان می‌کند؟





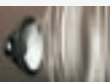
$۱۵ \times ۱۰^{-۹} \text{kg}$

$۱/۵ \times ۱۰^{-۴} \text{kg}$

$۰/۱۵ \times ۱۰^{-۲} \text{kg}$

تمرین ۳-۱

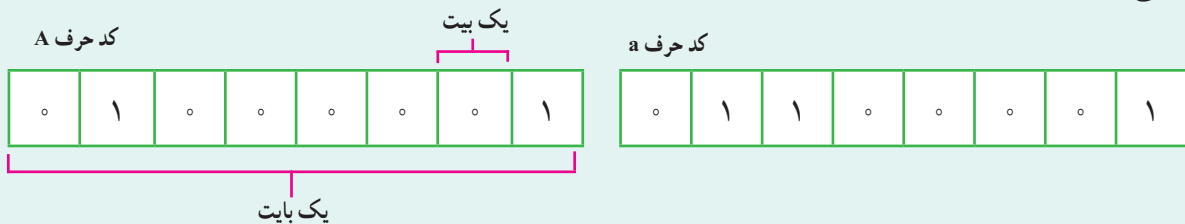
با توجه به پیشوندهای یکاهای SI و نمادگذاری علمی جدول زیر را کامل کنید.

	قطر میانگین یک گلبول (گویچه) قرمز	$۷/۰ \times ۱۰^{-۶} \text{m}$	..... mm	..... μm
	قطر هسته اتم اورانیوم	$۱/۷۵ \times ۱۰^{-۱۴} \text{m}$	..... pm	..... fm
	جرم یک گیره کاغذ	$۱/۰ \times ۱۰^{-۴} \text{kg}$	..... g	..... mg
	زمانی که نور مسافت $۰/۳$ متر را در هوا طی می‌کند.	$۱/۰ \times ۱۰^{-۹} \text{s}$	..... μs}	..... ns
	زمانی که صوت مسافت $۰/۳۵$ متر را در هوا طی می‌کند.	$۱/۰ \times ۱۰^{-۳} \text{s}$	..... ms	..... μs

خوب است بدانید

یکای پایه یا بنیادی اطلاعات در رایانه و ارتباطات، بیت (bit) است. هر بیت تنها با دو مقدار ۰ و ۱ تعریف می‌شود. این دو مقدار می‌توانند به صورت مقدارهای منطقی (درست/ نادرست، آری/ نه)، علائم جبری (+/-) یا حالت‌های راه‌اندازی (روشن/ خاموش) تفسیر شوند.

به دسته‌های ۸ تایی از بیت‌ها، بایت می‌گویند ($۱\text{B} = ۸\text{b}$). یک بایت می‌تواند نشان‌دهنده یک کاراکتر (یک حرف، یک عدد صحیح بین ۰ تا ۹، یا یک علامت نشانه‌گذاری و غیره) باشد. برای مثال، کد حرف A و a به صورت‌های زیر است:



با کمی دقت متوجه می‌شویم که هر بایت می‌تواند ۲۵۶ ترکیب ۸ تایی از صفرها و یک‌ها بسازد که هر کدام نماینده یک کاراکتر هستند.

پیشوندهای بزرگ‌تر یکای بنیادی اطلاعات به صورت کیلوبیت (kb)، مگابیت (Mb)، گیگابیت (Gb)، ترابیت (Tb) و غیره است. بر خلاف پیشوندهای یکای SI که در آن هر کیلو برابر 10^3 است در مبنای دوتایی هر کیلو برابر $1024 = 2^{10}$ است (جدول روبه‌رو را ببینید).

توجه داشته باشید که ظرفیت ذخیره داده و اطلاعات در حافظه‌های SD، USB، DVD و ... را برحسب پیشوندهایی از بایت (B) اعلام می‌کنند.

$2^{10} \text{ b} = 1024 \text{ b} = 1 \text{ kb}$	کیلوبیت
$2^{20} \text{ b} = 1024 \text{ kb} = 1 \text{ Mb}$	مگابیت
$2^{30} \text{ b} = 1024 \text{ Mb} = 1 \text{ Gb}$	گیگابیت
$2^{40} \text{ b} = 1024 \text{ Gb} = 1 \text{ Tb}$	ترابیت
$2^{50} \text{ b} = 1024 \text{ Tb} = 1 \text{ Pb}$	پتابیت
$2^{60} \text{ b} = 1024 \text{ Pb} = 1 \text{ Eb}$	اگزابیت
$2^{70} \text{ b} = 1024 \text{ Eb} = 1 \text{ Zb}$	زتتابیت
$2^{80} \text{ b} = 1024 \text{ Zb} = 1 \text{ Yb}$	یوتابیت



۵-۱ اندازه‌گیری: خطا و دقت

در اندازه‌گیری کمیت‌های فیزیکی مانند طول، جرم، زمان و ... قطعیت وجود ندارد و همواره مقداری خطا وجود دارد. با انتخاب وسیله‌های دقیق و روش صحیح اندازه‌گیری، تنها می‌توان خطای اندازه‌گیری را کاهش داد، ولی هیچ‌گاه نمی‌توان آن را به صفر رساند. با وجود این، توجه به عوامل زیر نقش مهمی در افزایش دقت اندازه‌گیری دارد.

۱- دقت وسیله اندازه‌گیری: یکی از عوامل مهم در دقت اندازه‌گیری، دقت و حساسیت وسیله اندازه‌گیری است. برای مثال، دقت خط‌کشی که تا میلی‌متر مدرج شده، بیشتر از دقت خط‌کشی است که تا سانتی‌متر مدرج شده است. بنابر یک قاعده کلی، خطای اندازه‌گیری توسط خط‌کش و سایر وسیله‌های درجه‌بندی شده، $\pm \frac{1}{p}$ کمینه تقسیم‌بندی مقیاس آن وسیله است و برای وسیله‌های رقمی (دیجیتال) مثبت و منفی یک واحد از آخرین رقمی است که می‌خوانند. به این ترتیب، خطای اندازه‌گیری خط‌کشی که تا سانتی‌متر مدرج شده، برابر $\pm 0.5 \text{ cm}$ (شکل ۸-۱ الف)، خط‌کشی که تا میلی‌متر درجه‌بندی شده برابر $\pm 0.5 \text{ mm}$ (شکل ۸-۱ ب)، خطای دماسنج رقمی در شکل ۸-۱ پ، که 26.8°C را می‌خواند برابر $\pm 0.1^\circ \text{C}$ و خطای دماسنج رقمی شکل ۸-۱ ت، که 32°C را می‌خواند برابر $\pm 1^\circ \text{C}$ است.

دقت ابزارهای اندازه‌گیری مدرج، برابر کمینه درجه‌بندی آن ابزار است. برای مثال، دقت خط‌کشی که کمینه درجه‌بندی آن مطابق شکل زیر تا میلی‌متر است برابر 1 mm و خطای آن $\pm 0.5 \text{ mm}$ است.

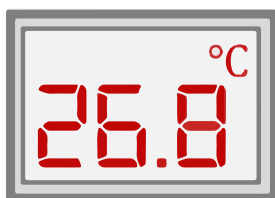
کمینه درجه‌بندی این خط‌کش، 1 mm است.



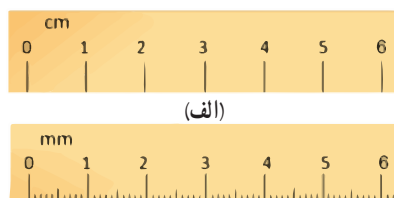
دقت این خط‌کش 1 mm و خطای اندازه‌گیری توسط آن $\pm 0.5 \text{ mm}$ است.



(ت)



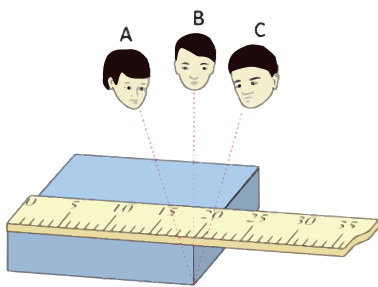
(ب)



(الف)

(ب)

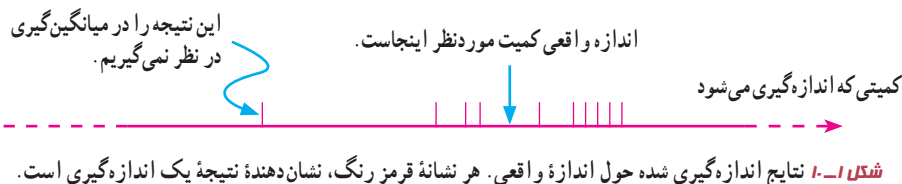
شکل ۸-۱ خطای اندازه‌گیری (الف) با خط‌کش سانتی‌متری برابر $\pm 0.5 \text{ cm}$ ، (ب) با خط‌کش میلی‌متری برابر $\pm 0.5 \text{ mm}$ ، (پ) و (ت) با دماسنج‌های رقمی به ترتیب برابر $\pm 0.1^\circ \text{C}$ و $\pm 1^\circ \text{C}$ است.



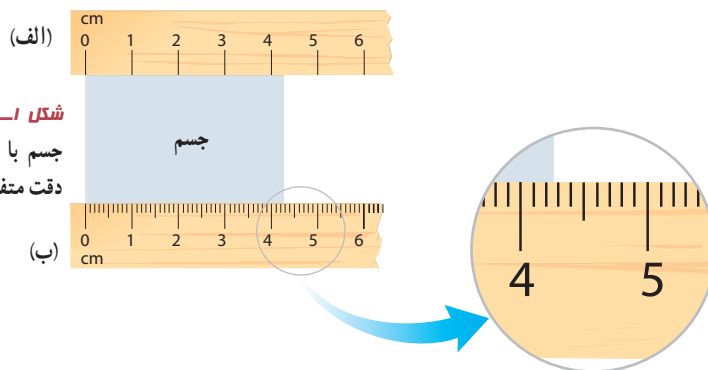
شکل ۱-۹ خطای مشاهده، ناشی از اختلاف منظر، در خواندن و گزارش نتیجه اندازه‌گیری تأثیر مهمی دارد.

۲- مهارت شخص آزمایشگر: یکی دیگر از عوامل مهم و تأثیرگذار روی دقت اندازه‌گیری، مهارت‌های شخص آزمایشگر است. یکی از این مهارت‌ها، نحوه خواندن نتیجه اندازه‌گیری است. شکل ۹-۱ تأثیر اختلاف منظر در خواندن نتیجه اندازه‌گیری را نشان می‌دهد. خواندن نتیجه اندازه‌گیری از منظرهای A و C خطا را افزایش می‌دهد در حالی که گزارش شخصی که از منظر B نتیجه اندازه‌گیری را می‌خواند دقت بیشتری دارد.

۳- تعداد دفعات اندازه‌گیری: برای کاهش خطا در اندازه‌گیری هر کمیت، معمولاً اندازه‌گیری آن را چند بار تکرار می‌کنند. میانگین عددهای حاصل از اندازه‌گیری به‌عنوان نتیجه اندازه‌گیری گزارش می‌شود. البته در میان عددهای متفاوت، اگر یک یا دو عدد اختلاف زیادی با بقیه داشته باشند در میانگین‌گیری به حساب نمی‌آیند (شکل ۱-۱۰).



رقم‌های بامعنا و گزارش نتیجه اندازه‌گیری: رقم‌هایی را که بعد از اندازه‌گیری یک کمیت فیزیکی ثبت می‌کنید رقم‌های بامعنا می‌گویند. رقم آخر، که غیر قطعی و مشکوک است و آن را حدس می‌زنیم نیز جزو رقم‌های بامعنا محسوب می‌شود. برای مثال، فرض کنید می‌خواهید طول جسمی را با دو خط‌کش با درجه‌بندی و دقت متفاوت اندازه‌گیری کنید (شکل ۱-۱۱).



شکل ۱-۱۱ اندازه‌گیری طول یک جسم با دو خط‌کش با درجه‌بندی و دقت متفاوت

خط‌کش شکل ۱-۱۱ الف، برحسب سانتی‌متر مدرج شده است و خطای اندازه‌گیری آن ± 0.5 سانتی‌متر است. به نظر شما خط‌کش الف چه طولی را نشان می‌دهد؟ 4.2 یا 4.3 سانتی‌متر؟ از آنجا که خط‌کش الف برحسب میلی‌متر مدرج نشده است، لذا عددهای ۲ و ۳ قطعی نیستند و آنها را حدس می‌زنیم. در این حالت نتیجه اندازه‌گیری شامل دو رقم بامعناست و آخرین رقم سمت راست، حدسی یا غیرقطعی است. به این ترتیب، نتیجه اندازه‌گیری به صورت زیر ثبت و گزارش می‌شود:

$4.2 \text{ cm} \pm 0.5 \text{ cm}$ یا $4.3 \text{ cm} \pm 0.5 \text{ cm}$

↑ دو رقم بامعنا
↑ خطای وسیله اندازه‌گیری
↑ رقم حدسی و غیرقطعی

دقت اندازه‌گیری در ابزارهای رقمی (دیجیتال)، برابر یک واحد از آخرین رقمی است که آن ابزار می‌خواند. برای مثال، آخرین رقمی که دماسنج شکل زیر نشان می‌دهد 0.6°C و دقت آن 0.1°C است.

خطای اندازه‌گیری در ابزارهای رقمی، برابر مثبت و منفی دقت آن ابزار است. به این ترتیب نتیجه اندازه‌گیری دما توسط دماسنج شکل بالا را باید به صورت زیر گزارش کنیم:

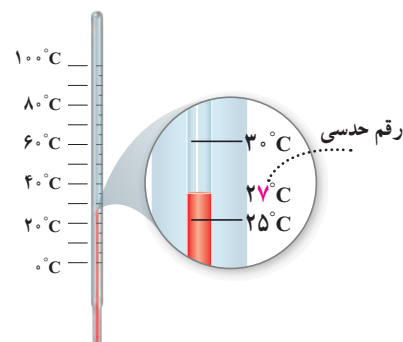
$(22.6 \pm 0.1)^\circ\text{C}$

اندازه‌گیری طول جسم را با خط‌کش دیگری که تا میلی‌متر مدرج شده است انجام می‌دهیم. به نظر شما خط‌کش ب، چه طولی را نشان می‌دهد؟ $42/7$ یا $42/8$ میلی‌متر؟ از آنجا که خط‌کش شکل ۱-۱۱ ب، برحسب میلی‌متر مدرج شده است، لذا عددهای ۷ و ۸ قطعی نیستند و آنها را حدس می‌زنیم. در این حالت نتیجه اندازه‌گیری با سه رقم بامعنا بیان شده است و آخرین رقم سمت راست، حدسی یا غیرقطعی است. به این ترتیب، نتیجه اندازه‌گیری به صورت زیر ثبت و گزارش می‌شود:

$$42/7 \text{ mm} \pm 0/5 \text{ mm} \quad 42/8 \text{ mm} \pm 0/5 \text{ mm}$$

↑ سه رقم با معنا ↑ خطای وسیله اندازه‌گیری ↑ رقم حدسی و غیرقطعی

باید توجه کنید که این موضوع در سایر وسیله‌های اندازه‌گیری درجه‌بندی شده نیز صدق می‌کند و آخرین رقم سمت راست حاصل از اندازه‌گیری، همواره حدسی و غیرقطعی است (شکل ۱-۱۲). در ابزارهای اندازه‌گیری با نمایشگر رقمی (دیجیتال) آخرین رقم سمت راست نتیجه اندازه‌گیری، اگرچه ما آن را حدس نمی‌زنیم و توسط دستگاه گزارش می‌شود، ولی غیرقطعی و مشکوک است. برای مثال، رقم ۸ در دمایی که دماسنج شکل ۱-۸ پ می‌خواند $(26/8 \pm 0/1)^\circ\text{C}$ ، غیرقطعی و مشکوک است.



شکل ۱-۱۲ اندازه‌گیری دما با دماسنج

مثال ۱-۲

نتیجه اندازه‌گیری توسط هر خط‌کش را به همراه خطای آن بنویسید.

پاسخ:

خط‌کش ۱: کمیته درجه‌بندی این خط‌کش، برابر ۱ cm و در نتیجه دقت آن نیز برابر ۱ cm است. مطابق قاعده‌ای که اشاره کردیم، خطای اندازه‌گیری توسط این خط‌کش به صورت $\pm 0/5 \text{ cm}$ بیان می‌شود. بنابراین می‌توان نتیجه اندازه‌گیری توسط این خط‌کش را $3/7 \text{ cm} \pm 0/5 \text{ cm}$ بیان کرد.

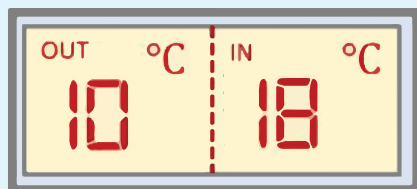
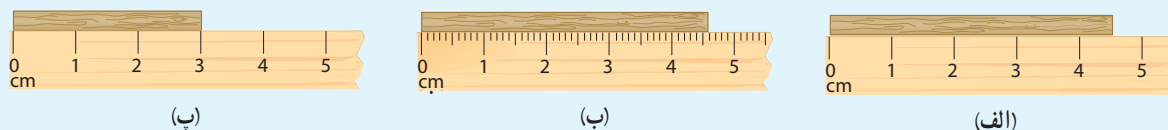
خط‌کش ۲: کمیته درجه‌بندی این خط‌کش، برابر $0/5 \text{ cm}$ و در نتیجه دقت آن نیز برابر $0/5 \text{ cm}$ است. مطابق قاعده‌ای که اشاره

کردیم، خطای اندازه‌گیری توسط این خط‌کش به صورت $\pm 0/25 \text{ cm}$ بیان می‌شود که باید به صورت $\pm 0/3 \text{ cm}$ گرد شود. بنابراین می‌توان نتیجه اندازه‌گیری توسط این خط‌کش را $3/7 \text{ cm} \pm 0/3 \text{ cm}$ بیان کرد. اگر نتیجه اندازه‌گیری را به صورت $3/7 \text{ cm} \pm 0/25 \text{ cm}$ بیان کنید هر چند از نظر ریاضیات مشکلی ندارد ولی از نظر محاسبه‌های فیزیکی نادرست است.

خط‌کش ۳: کمیته درجه‌بندی این خط‌کش، برابر ۱ mm و در نتیجه دقت آن نیز برابر ۱ mm است. مطابق قاعده‌ای که اشاره کردیم، خطای اندازه‌گیری توسط این خط‌کش، $\pm 0/5 \text{ mm}$ یا $\pm 0/05 \text{ cm}$ است. بنابراین می‌توان نتیجه اندازه‌گیری توسط این خط‌کش را $3/68 \text{ cm} \pm 0/05 \text{ cm}$ یا $36/8 \text{ mm} \pm 0/5 \text{ mm}$ بیان کرد.

تمرین ۱-۴

۱- در هر یک از شکل‌های (الف) تا (پ)، طول جسم را چقدر گزارش می‌کنید؟ در گزارش خود، هم عدد غیرقطعی و هم خطای وسیله را مشخص کنید.

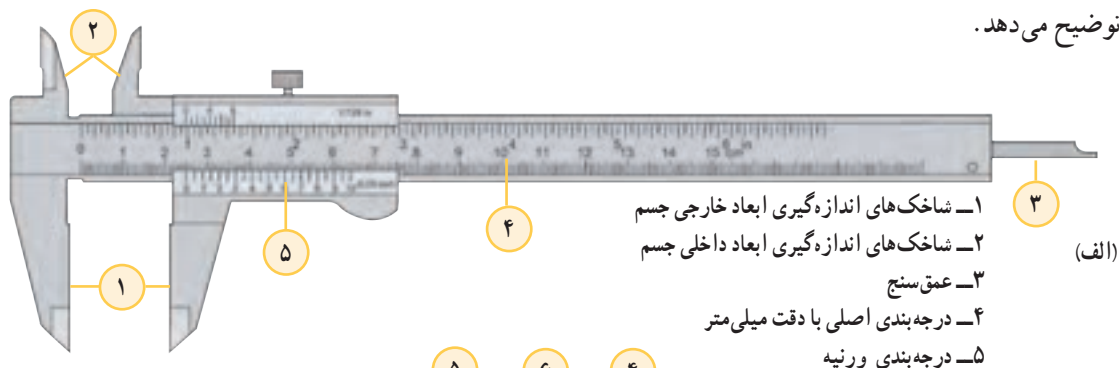


۲- شکل روبه‌رو یک دماسنج رقمی را نشان می‌دهد که دمای خارج و داخل گلخانه‌ای را به ترتیب 10°C و 18°C می‌خواند. عدد غیرقطعی و خطای دماسنج را مشخص کنید.

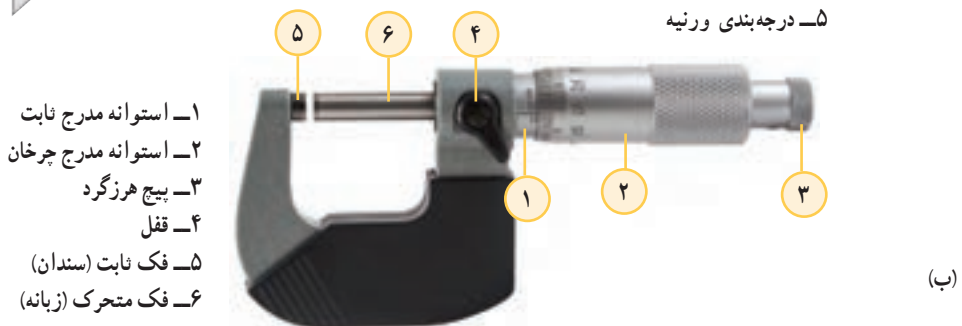
۳- نتیجه اندازه‌گیری توسط دماسنج شکل ۱-۱۲ را به همراه خطای آن بنویسید.

فعالیت ۱-۵

در بسیاری از کارگاه‌های صنعتی مانند تراشکاری‌ها، اندازه‌گیری طول با ابزارهای دقیق‌تر از خط‌کش میلی‌متری انجام می‌شود. این ابزارها، کولیس و ریزسنج نام دارند که اجزای اصلی آنها در شکل‌های الف و ب نشان داده شده است. اگر کمیته تقسیم‌بندی یک کولیس 0.1 mm باشد در این صورت نتیجه نهایی یک اندازه‌گیری نوعی با این کولیس، به صورت $0.05\text{ mm} \pm 0.05/0.6\text{ mm}$ بیان می‌شود. اگر کمیته تقسیم‌بندی کولیس 0.05 mm باشد (شکل الف) در این صورت خطای اندازه‌گیری توسط این کولیس $0.025\text{ mm} \pm 0.025\text{ mm}$ است که باید به صورت $0.03\text{ mm} \pm 0.03\text{ mm}$ گرد شود. به این ترتیب نتیجه یک اندازه‌گیری نوعی با این کولیس، به صورت $0.03\text{ mm} \pm 0.03\text{ mm}$ بیان می‌شود. همچنین کمیته تقسیم‌بندی ریزسنج‌هایی که در اغلب آزمایشگاه‌ها وجود دارد 0.01 mm است (شکل ب) و نتیجه نهایی یک اندازه‌گیری نوعی را می‌توان به صورت $0.005\text{ mm} \pm 0.005\text{ mm}$ ثبت و گزارش کرد. در گروه خود، چند جسم متفاوت انتخاب کنید. ابعاد مختلف این اجسام را به کمک کولیس و ریزسنج اندازه‌گیری کنید. نحوه کار کردن با کولیس و ریزسنج را معلم به شما توضیح می‌دهد.



- (الف)
- ۱- شاخک‌های اندازه‌گیری ابعاد خارجی جسم
 - ۲- شاخک‌های اندازه‌گیری ابعاد داخلی جسم
 - ۳- عمق‌سنج
 - ۴- درجه‌بندی اصلی با دقت میلی‌متر
 - ۵- درجه‌بندی ورنیه



- (ب)
- ۱- استوانه مدرج ثابت
 - ۲- استوانه مدرج چرخان
 - ۳- پیچ هرزگرد
 - ۴- قفل
 - ۵- فک ثابت (سندان)
 - ۶- فک متحرک (زبان)

الف) آزمایشی طراحی و اجرا کنید که به کمک آن بتوان جرم و حجم یک قطره آب را اندازه‌گیری کرد.
 ب) تکه‌ای سیم لاکی نازک یا نخ قرقره به طول تقریبی یک متر تهیه کنید. آزمایشی طراحی و اجرا کنید که به کمک یک خط‌کش میلی‌متری بتوان قطر این سیم یا نخ را اندازه‌گیری کرد.

خوب است بدانید

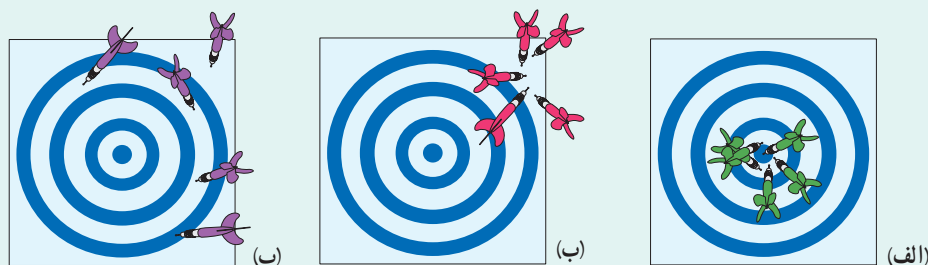
محاسبه‌های جبری با رقم‌های بامعنا: هنگامی که عددها در هم ضرب یا بر هم تقسیم می‌شوند تعداد رقم‌های بامعنا در نتیجه محاسبه نمی‌تواند بیشتر از تعداد رقم‌های بامعنا عددی باشد که کمترین رقم بامعنا را دارد. مثلاً حاصل عبارت $3/1415 \times 2/923 \times 7/12$ هر چند برابر $65/38014404$ می‌شود، ولی باید با سه رقم بامعنا، یعنی $65/4$ بیان شود. در جمع یا تفریق عددها آنچه اهمیت دارد محل ممیز است و نه تعداد رقم‌های بامعنا. برای نمونه، حاصل عبارت $245/41 + 4/8$ باید به صورت $250/2$ بیان شود. اگر نتیجه به صورت $250/21$ بیان شود نادرست است. همچنین حاصل عبارت $12/0 + 41/342 - 21/4356$ باید به صورت $31/9$ بیان شود.

چگونگی تشخیص رقم‌های بامعنا: در جدول زیر و ادامه آن نحوه تعیین تعداد رقم‌های بامعنا به همراه مثال آمده است:

مثال	قاعده
$788/6$ چهار رقم بامعنا دارد.	تمام عددهای غیر صفر بامعنا هستند.
408 سه رقم بامعنا دارد.	تمام صفرهایی که بین اعداد غیر صفر قرار دارند بامعنا هستند.
000907 سه رقم بامعنا دارد.	صفرهایی که در طرف چپ اعداد قرار دارند، بامعنا نیستند.

صفرهایی که در طرف راست اعداد قرار دارند می‌توانند بامعنا باشند یا نباشند. برای مثال، اگر طول میله‌ای 230mm گزارش شده باشد، تعداد رقم‌های بامعنا ممکن است دو یا سه رقم باشد. اگر نتیجه اندازه‌گیری با نمادگذاری علمی، به صورت $230\text{mm} = 2/3 \times 10^2\text{mm}$ نوشته شود، دارای دو رقم بامعنا و اگر به صورت $230\text{mm} = 2/30 \times 10^2\text{mm}$ نوشته شود دارای سه رقم بامعنا است.

تفاوت دقت و صحت: دقت همواره به معنای صحت و درستی نیست. برای مثال، یک ساعت رقمی (دیجیتال) معمولی که $17:35:10$ را نشان می‌دهد بسیار دقیق است (زمان را تا ثانیه اعلام می‌کند)، ولی اگر این ساعت چند دقیقه آهسته کار کند، دیگر مقداری که نشان می‌دهد درست نیست. از سوی دیگر، یک ساعت قدیمی دیواری ممکن است زمان صحیح را نشان دهد، ولی اگر این ساعت عقربه‌ثانیه‌شمار نداشته باشد دقت آن کم است. اندازه‌گیری‌های با کیفیت بالا نظیر اندازه‌گیری‌هایی که برای تعریف استانداردها صورت گرفته‌اند هم دقیق‌اند و هم صحت دارند. برای درک بهتر تفاوت دقت و صحت، به مثالی از بازی پرتاب دارت توجه کنید. در شکل (الف)، دقت و صحت، در شکل (ب) تنها دقت و در شکل (پ) نه دقت و نه صحت وجود دارد.



آیا تاکنون از خود پرسیده‌اید که چگونه می‌توان تعداد کهکشان‌ها و ستارگان کیهان، جرم آب اقیانوس‌ها، جرم جو زمین، یا تعداد درختان روی زمین را برآورد کرد؟ یا چگونه می‌توان تعداد ضربان‌هایی را برآورد کرد که قلب یک شخص در طول عمرش می‌زند؟ یا تعداد موهای سر یک شخص را چگونه می‌توان تخمین زد؟ یا چگونه می‌توان تعداد اتم‌های اکسیژن در بدن یک فرد ۶۰ کیلوگرمی را برآورد کرد؟

برخی اوقات برای شناخت بهتر یک موضوع و کمیت‌های وابسته به آن، نیاز داریم اندازه‌ای هرچند غیر دقیق (تقریبی) را در علم یا حتی زندگی روزمره خود به کار ببریم. برای این کار از فرایند تخمین یا برآورد استفاده می‌کنیم. تخمین نه تنها در علم، بلکه در زندگی روزمره نیز روش مفیدی در حل برخی از مسائل است. معمولاً در موارد زیر از تخمین استفاده می‌کنیم:

- دقت بالا در محاسبه‌ها، اهمیت چندانی نداشته باشد.
- زمان کافی برای محاسبه‌های دقیق نداشته باشیم.
- همه یا بخشی از داده‌های مورد نیاز، در دسترس نباشد.

نوعی از تخمین که در فیزیک کاربرد زیادی دارد، تخمین مرتبه بزرگی نامیده می‌شود. عبارت مرتبه بزرگی، اغلب برای ارجاع به توان‌های 10^x به کار می‌رود، زیرا نتیجه نیز به صورت توانی از 10^x بیان می‌شود. لازم است توجه شود که در حل مسئله‌ها به روش تخمین مرتبه بزرگی، برخی اوقات ممکن است مرتبه بزرگی پاسخ، با پاسخ واقعی مسئله، یک یا دو مرتبه بزرگی متفاوت باشد. در تخمین مرتبه بزرگی، ابتدا همه اعداد به صورت نمادگذاری علمی ($x \times 10^n$) نوشته می‌شوند و آنگاه از قاعده زیر استفاده می‌کنیم:

اگر $1 \leq x < 5$ باشد در این صورت: $x \sim 10^0$ اگر $5 \leq x < 10$ باشد در این صورت: $x \sim 10^1$

برای گرد کردن اعداد در فرایند تخمین مرتبه بزرگی، با توجه به قاعده‌ای که گفته شد مطابق

مثال‌های زیر عمل می‌کنیم:

$$0.000499 \sim 10^{-4} = 4/99 \times 10^{-4}$$

این عدد کوچک‌تر از ۵ است و به صورت 10^0 گرد می‌شود.

$$92137 \sim 10^5 = 9/2137 \times 10^4$$

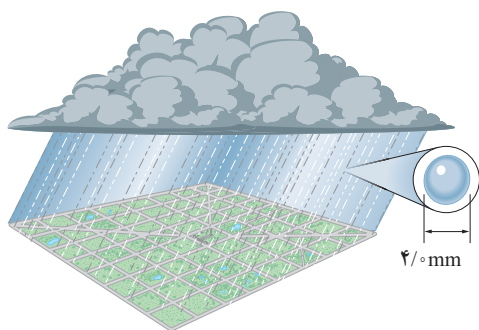
این عدد بزرگ‌تر از ۵ است و به صورت 10^1 گرد می‌شود.

$$136 \sim 10^2 = 1/36 \times 10^2$$

این عدد کوچک‌تر از ۵ است و به صورت 10^0 گرد می‌شود.

مثال ۱-۳

شهر رشت با مساحتی حدود 18^0 کیلومتر مربع در زمینی مسطح و هموار در شمال ایران واقع است. در یک روز طوفانی حدود 10^0 میلی‌متر باران در این شهر باریده است. مرتبه بزرگی تعداد قطره‌های باران را در این روز طوفانی تخمین بزنید.



پاسخ: مساحت شهر را با A و ارتفاع باران باریده شده را با d نشان می‌دهیم.

به این ترتیب داریم:

$$A = 180 \times 10^6 \text{ m}^2 = 1/8 \times 10^8 \text{ m}^2 \sim 10^8 \text{ m}^2$$

$$d = 4/0 \text{ mm} = 4 \times 10^{-3} \text{ m}$$

به این ترتیب حجم باران باریده شده برابر است با:

$$V_1 = Ad \sim (10^8 \text{ m}^2)(4 \times 10^{-3} \text{ m}) = 4 \times 10^5 \text{ m}^3$$

اگر هر قطره باران را به صورت کُرهای به قطر $4/0 \text{ mm}$ فرض کنیم (شکل

روبه‌رو)، در این صورت حجم هر قطره باران برابر است با:

$$V_2 = \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{4}{3} \pi (2/0 \times 10^{-3} \text{ m})^3 \sim 10^{-8} \text{ m}^3$$

به این ترتیب، مرتبه بزرگی تعداد قطره‌های باران برابر است با:

$$\frac{V_1}{V_2} \sim \frac{4 \times 10^5 \text{ m}^3}{10^{-8} \text{ m}^3} = 4 \times 10^{13}$$

مثال ۴-۱

تخمین بزنید که قلب یک نفر در طول عمرش چند لیتر خون را به سرخرگ آئورت پمپ می‌کند. قلب در هر ضربان (beat) به طور میانگین 70 cm^3 خون به سرخرگ آئورت پمپ می‌کند.

پاسخ: برای حل این مثال لازم است اطلاعاتی را از قبل بدانید. این اطلاعات را ممکن است از کتاب‌های درسی سال‌های

قبل یا از طریق رسانه‌های دیگر کسب کرده باشید.

• با توجه به جدول ۱-۵، قلب یک شخص سالم در هر $1/8 \text{ s}$ یک بار خون را به سرخرگ آئورت پمپ می‌کند که با توجه به

تخمین مرتبه بزرگی، مقدار آن را بر حسب توانی از 10^0 به صورت 10^0 s گرد می‌کنیم.

• طول عمر میانگین انسان‌ها حدود ۷۵ سال (۷۵ year) است که به صورت 10^2 year گرد می‌کنیم.

• هر لیتر (L) برابر با 10^3 cm^3 است.

• از جدول ۱-۴ داریم هر سال تقریباً برابر 3×10^7 ثانیه است. با توجه به تخمین مرتبه بزرگی و بر حسب توانی از 10^0 ، یک

سال را به صورت 10^7 ثانیه گرد می‌کنیم.

به این ترتیب، تعداد ضربان قلب (N) یک انسان در طول عمرش را می‌توان به صورت زیر تخمین زد:

$$N \sim (10^2 \text{ year}) \left(\frac{10^7 \text{ s}}{1 \text{ year}} \right) \left(\frac{10^0 \text{ beat}}{1 \text{ s}} \right) = 10^9 \text{ beat}$$

با توجه به فرض مسئله، مقدار خونی که در هر ضربان به سرخرگ آئورت پمپ می‌شود را به صورت 10^2 cm^3 گرد می‌کنیم.

بنابراین، حجم خون پمپ شده (V) به سرخرگ آئورت برابر است با:

$$V \sim (10^9 \text{ beat}) \left(\frac{10^2 \text{ cm}^3}{\text{beat}} \right) \left(\frac{1 \text{ L}}{10^3 \text{ cm}^3} \right) = 10^8 \text{ L}$$



جو زمین که ضخامت آن به مقیاس رسم نشده است.

اطراف کره زمین، لایه‌ای از هوا وجود دارد. به این لایه که از گازهای متفاوتی تشکیل شده است، جو زمین گفته می‌شود (شکل روبه‌رو). مرتبه بزرگی جرم جو زمین را تخمین بزنید.

فشار جو را در تمام نقاط سطح زمین 10^5 فرض کنید.

پاسخ: برای برآورد مرتبه بزرگی جرم جو زمین، از رابطه $P = F/A$ که در علوم سال نهم با آن آشنا شدید استفاده می‌کنیم. در این رابطه، به جای F ، وزن جو زمین (mg) و به جای A ، مساحت سطح زمین $(4\pi R^2)$ را قرار می‌دهیم. همچنین از جدول ۱-۳ می‌دانیم شعاع تقریبی زمین $R = 6/4 \times 10^6$ m است. به این ترتیب داریم:

$$A = 4\pi R^2 \approx 13(6/4 \times 10^6 \text{ m})^2 \sim 10^{15} \text{ m}^2 \quad (\text{تخمین مرتبه بزرگی مساحت سطح زمین})$$

$$P = \frac{F}{A} \Rightarrow F = PA \Rightarrow F \sim (10^5 \text{ Pa})(10^{15} \text{ m}^2) \Rightarrow F \sim 10^{20} \text{ N} \quad (\text{تخمین مرتبه بزرگی وزن کل جو زمین})$$

$$mg \sim 10^{20} \text{ N} \Rightarrow m \sim 10^{19} \text{ kg} \quad (\text{تخمین مرتبه بزرگی جرم کل جو زمین})$$

تمرین ۱-۵

الف) تخمین بزنید در هر شبانه روز چند لیتر بخار بنزین وارد هوای شهر تهران می‌شود.
 ب) تحقیق کنید در کشورهای دوستدار محیط‌زیست، چه تدابیری می‌اندیشند تا این بخار، که برای محیط‌زیست و همچنین سلامتی انسان‌ها بسیار مضر است، وارد هوا نشود.
 راهنمایی: برای به‌دست آوردن مقدار این تخمین، ابتدا باید راه‌هایی را مورد توجه قرار دهید که سبب تولید بخار بنزین و ورود آن به هوا می‌شود. یکی از راه‌های تولید بخار بنزین و ورود آن به هوا به صورت زیر است:
 وقتی بنزین خودرویی به تدریج مصرف می‌شود بالای بنزین درون باک، بخار بنزین تشکیل می‌شود. وقتی خودرو برای سوخت‌گیری دوباره به جایگاه پمپ بنزین می‌رود، با ورود بنزین به باک، بخار بنزین از آن خارج و به هوای بیرون رانده می‌شود.

خوب است بدانید



انریکو فرمی (۱۹۵۴-۱۹۰۱ م) فیزیک‌دان بزرگ ایتالیایی قرن بیستم بود که بیشتر فعالیت‌های علمی خود را در آمریکا دنبال کرد. فرمی نخستین دانشمندی بود که تبدیل عنصرهای سنگین به سبک‌تر را بر اثر بمباران نوترونی بررسی کرد و جایزه نوبل فیزیک سال ۱۹۳۸ میلادی را برای این کار دریافت کرد. وی همچنین برای توانایی و علاقه‌اش در طرح و حل مسئله‌های تخمینی (از مرتبه بزرگی) مشهور است. به همین جهت در برخی کتاب‌ها، به این گونه مسئله‌ها، مسئله‌های فرمی می‌گویند.

۲-۱ چگالی

چگالی هر ماده یکی از ویژگی های مهم آن به شمار می رود که کاربردهای گوناگونی دارد. برای مثال با توجه به دستورالعمل موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، چگالی شیرخام تحویلی در کارخانه های شیر و لبنیات باید در دمای ۱۵ درجه سلسیوس بین ۱۰۲۹ تا ۱۰۳۲ کیلوگرم بر متر مکعب باشد.

در علوم سال هفتم دیدید که اگر ماده همگنی دارای جرم m و حجم V باشد، چگالی ρ آن به صورت زیر تعریف می شود:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1-1)$$

یکای چگالی در SI کیلوگرم بر متر مکعب (kg/m^3) است. در جدول ۱-۸ چگالی برخی مواد داده شده است.

جدول ۱-۸ چگالی برخی مواد متداول			
ماده	ρ (kg/m^3)	ماده	ρ (kg/m^3)
یخ	0.917×10^3	آب	1.000×10^3
آلومینیم	2.70×10^3	گلیسرین	1.26×10^3
آهن	7.86×10^3	اتیل الکل	0.806×10^3
مس	8.92×10^3	بنزن	0.879×10^3
نقره	10.5×10^3	جیوه	13.6×10^3
سرب	11.3×10^3	هوا	۱/۲۹
اورانیم	19.1×10^3	هلیوم	1.79×10^{-1}
طلا	19.3×10^3	اکسیژن	۱/۴۳
پلاتین	21.4×10^3	هیدروژن	8.99×10^{-2}

داده های این جدول در دمای صفر درجه ($^{\circ}\text{C}$) سلسیوس و فشار یک اتمسفر اندازه گیری و گزارش شده اند.

تمرین ۱-۶

یکی دیگر از یکاهای متداول چگالی، گرم بر سانتی متر مکعب (g/cm^3) است. به روش تبدیل زنجیره ای نشان دهید:

$$1000 \text{ kg/m}^3 = 1 \text{ g/cm}^3$$

پرسش ۱-۴

چگالی بنزین $0.68 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ است. توضیح دهید چرا آب مایع مناسبی برای خاموش کردن بنزین شعله ور نیست.

مثال ۱-۶

فلز آسمیم ($\rho = 22.5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$) یکی از چگال ترین مواد یافت شده روی زمین است. جرم قطعه ای از این ماده به حجم $23/\text{cm}^3$ ، چند کیلوگرم است؟

پاسخ: از رابطه ۱-۱ داریم:

$$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow m = \rho V = (22.5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3) \times (23/\text{cm}^3 \times 10^{-6} \text{ m}^3) = 0.518 \text{ kg}$$

این نتیجه نشان می دهد که اگر قطعه ای مکعبی، به اندازه یک قوطی کبریت، از این فلز داشته باشیم، در این صورت جرم آن کمی بیشتر از نیم کیلوگرم خواهد بود.

تمرین ۱-۷

حجم خون در گردش یک فرد بالغ با توجه به جرمش، می‌تواند بین $4/7^{\circ}L$ تا $5/5^{\circ}L$ باشد. جرم $4/7^{\circ}L$ خون چند کیلوگرم است؟ چگالی خون را $1/05g/cm^3$ بگیرید.

تمرین ۱-۸

جرم و وزن تقریبی هوای درون کلاستان را پیدا کنید.

فعالیت ۱-۷



اگر پرتقالی را درون ظرف محتوی آب بیندازیم پیش‌بینی کنید چه اتفاقی می‌افتد؟ آزمایش را انجام دهید (شکل الف) و نتیجه مشاهده خود را با توجه به مفهوم چگالی توضیح دهید.

اگر پرتقال را بدون پوست درون ظرف محتوی آب بیندازیم دوباره پیش‌بینی کنید چه اتفاقی می‌افتد؟ آزمایش را مطابق شکل (ب) انجام دهید و نتیجه مشاهده خود را با توجه به مفهوم چگالی توضیح دهید.

در آزمایش (الف) پرتقال جرم بیشتری دارد و اصطلاحاً سنگین‌تر است. آیا سنگین‌تر بودن یک جسم دلیلی بر فرو رفتن آن در آب است؟ توضیح دهید.

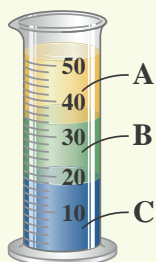
فعالیت ۱-۸



الف) جرم و حجم تعدادی جسم جامد را اندازه بگیرید. در صورتی که شکل جسم‌ها منظم باشد، ابعاد آنها را به کمک کولیس یا ریزسنج اندازه بگیرید. اگر جسم جامد شکل نامنظمی داشته باشد، از روشی که در شکل روبه‌رو نشان داده شده است حجم آن را اندازه بگیرید.

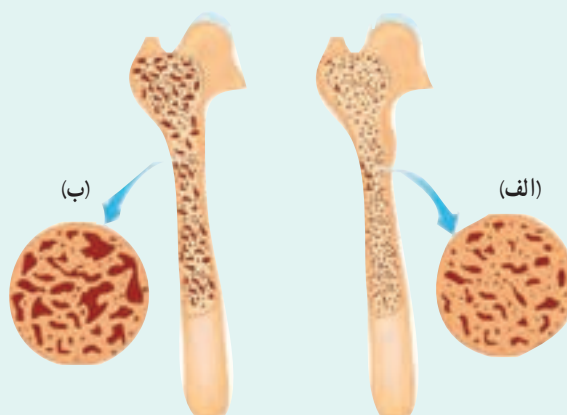
ب) با استفاده از سرنگ مدرج بزرگ و ترازوی با دقت مناسب، چگالی برخی از مایع‌های در دسترس مانند شیر، روغن، مایع ظرفشویی و... را اندازه بگیرید. قبل و بعد از پرکردن سرنگ، جرم آن را اندازه بگیرید و به این روش جرم مایع را تعیین کنید.

پرسش ۱-۵



سه مایع مخلوط‌نشدنی A، B و C که چگالی‌های متفاوتی دارند درون استوانه‌ای شیشه‌ای ریخته شده‌اند. این سه مایع عبارت‌اند از: جیوه (با چگالی $13/6 \times 10^3 kg/m^3$)، روغن زیتون (با چگالی $9/2 \times 10^2 kg/m^3$) و آب (با چگالی $1/0 \times 10^3 kg/m^3$) است. جنس هر یک از مایع‌های A، B و C درون استوانه را مشخص کنید.

کاهش چگالی استخوان که در پزشکی به نام پوکی استخوان شناخته می‌شود علت اصلی شکستگی‌های مفصل ران و لگن در بیشتر افراد مسن است. به همین دلیل تشخیص به موقع و پیشگیری از پیشرفت آن اهمیت زیادی دارد. سنجش تراکم استخوان یا چگالی سنجی روشی است که با استفاده از آن می‌توان میزان سختی استخوان‌های بدن را تعیین کرد. امروزه مشخص شده است که میزان فعالیت بدنی از دوران نوجوانی، مصرف کلسیم (که منبع آن لبنیات است) و عوامل وراثتی نقش مهمی در تراکم استخوان دارد. شکل (الف) استخوانی را در حالت طبیعی و شکل (ب) در حالتی که دچار کاهش چگالی و پوکی شده است نشان می‌دهد.

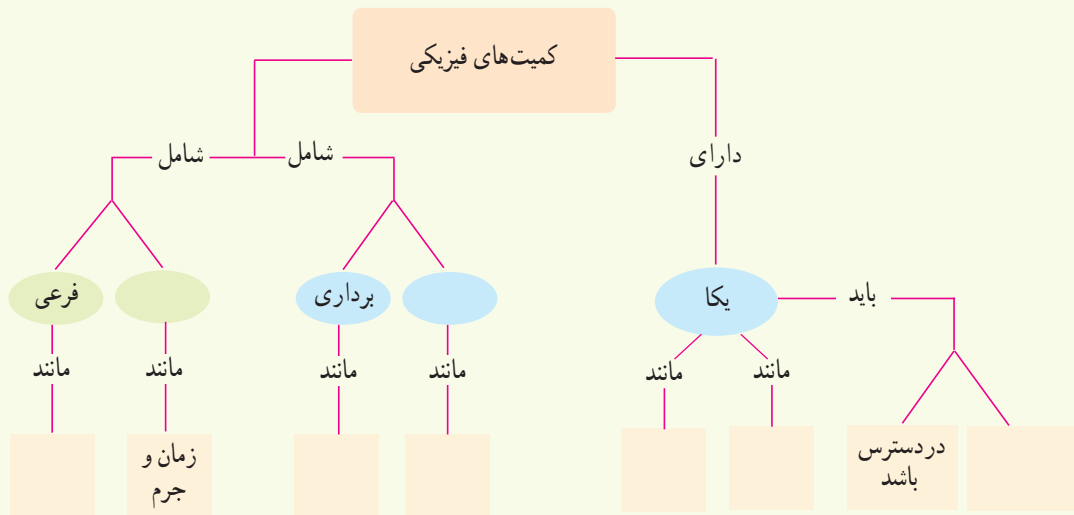


۱-۱ و ۲-۱ فیزیک: دانش بنیادی و مدل‌سازی در فیزیک

- ۱ در چه صورت یک مدل یا نظریه فیزیکی بازنگری می‌شود؟
- ۲ فرایند مدل‌سازی در فیزیک را با ذکر یک مثال توضیح دهید.

۳-۱ و ۴-۱ اندازه‌گیری و کمیت‌های فیزیکی و اندازه‌گیری و دستگاه بین‌المللی یکاها

- ۳ نقشه مفهومی زیر را کامل کنید.



- ۴ سعی کنید با نگاه کردن، طول برخی از اجسامی را که در محیط اطرافتان هستند، بر حسب سانتی‌متر یا متر برآورد کنید. سپس طول آنها را با خط‌کش یا متر اندازه بگیرید. برآوردهای شما تا چه حد درست بوده‌اند؟
- ۵ جرم یک سوزن ته‌گرد را چگونه می‌توان با یک ترازوی آشپزخانه اندازه‌گیری کرد؟
- ۶ گاليله در برخی از کارهایش از ضربان نبض خود به‌عنوان زمان‌سنج استفاده کرد. شما نیز چند پدیده تکرار شونده در طبیعت را نام ببرید که می‌توانند به‌عنوان ابزار اندازه‌گیری زمان به‌کار روند.
- ۷ الف) هر میکروقرن، تقریباً چند دقیقه است؟
ب) یک میلیارد ثانیه دیگر، تقریباً چند سال پیرتر می‌شوید؟
- ۸ هکتار، از جمله یکاهای متداول مساحت است. هر هکتار برابر ۱۰ هزار متر مربع است.
الف) اگر زمین را کره‌ای یکنواخت به شعاع ۶۴۰۰ کیلومتر در نظر بگیریم (شکل روبه‌رو)، مساحت آن چند هکتار است؟
ب) تحقیق کنید مساحت کل سرزمین ایران، شامل خشکی و دریا، چند هکتار است؟ این مساحت چند درصد از مساحت کره زمین است؟
- ۹ یکی از بزرگ‌ترین الماس‌های شناخته‌شده در ایران، دریای نور به جرم ۱۸۲ قیراط، است. این الماس به رنگ کمیاب صورتی شفاف بوده و در خزانه جواهرات ملی نگهداری می‌شود. کوه نور نیز یکی دیگر از الماس‌های مشهور جهان است که جرمی حدود ۱۰۸ قیراط دارد و هم اکنون در برج لندن نگهداری می‌شود. با توجه به اینکه هر قیراط معادل ۲۰۰ میلی‌گرم است، جرم دریای نور و کوه نور بر حسب گرم چقدر است؟





۱۰ سریع‌ترین رشد گیاه متعلق به گیاهی موسوم به هِسپروئوکا است که در مدت ۱۴ روز، ۳/۷ متر رشد می‌کند (شکل روبه‌رو). آهنگ رشد این گیاه برحسب میکرومتر بر ثانیه چقدر است؟

۱۱ دستگاه بریتانیایی یکاها، دستگاهی است که در برخی از کشورها مانند آمریکا و انگلستان همچنان استفاده می‌شود. یکای اصلی طول در این دستگاه پا (فُوت) و یکای کوچک‌تر آن اینچ است به طوری که $1 \text{ ft} = 12 \text{ in}$ است. ارتفاع هواپیمایی را که در فاصله ۳۰۰۰۰ پا از سطح آزاد دریاها در حال پرواز است برحسب متر به دست آورید. هر اینچ $2/54^\circ$ سانتی‌متر است.

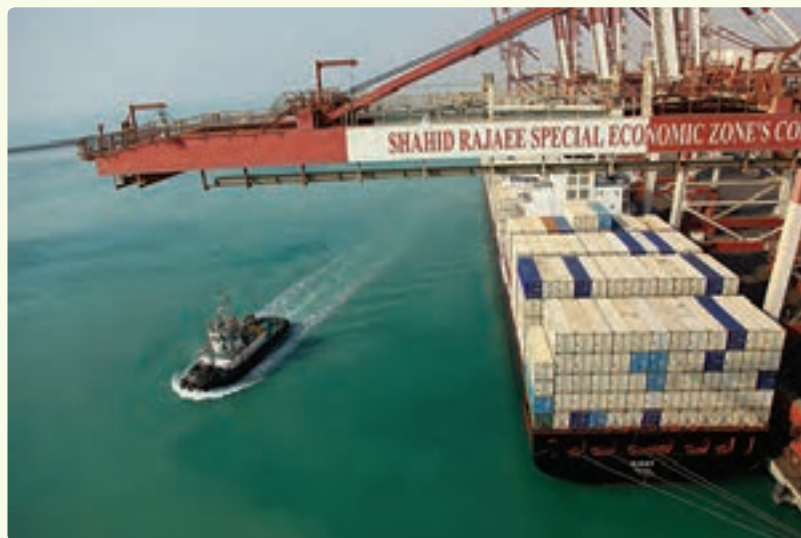


۱۲ قدیمی‌ترین سنگ‌نوشته حقوق بشر که تاکنون یافت شده است به حدود ۲۵۵۰ سال پیش باز می‌گردد که به فرمان کورش، پادشاه ایران در دوره هخامنشیان نوشته شده است. مرتبه بزرگی سن این سنگ‌نوشته برحسب ثانیه چقدر است؟

۱۳ تندی شناورها در دریا بر حسب یکایی به نام گره بیان می‌شود. هر گره دریایی برابر $5/144^\circ$ متر بر ثانیه است. تاریخچه گره دریایی به حدود ۴۰۰ سال پیش باز می‌گردد، زمانی که ملوانان تندی متوسط کشتی خود را با استفاده از وسیله‌ای به نام تندی‌سنج شناور اندازه می‌گرفتند. این وسیله، شامل طنابی بود که در فواصل مساوی، گره‌ای روی آن زده شده بود. در حین کشیده شدن طناب به دریا، تعداد گره‌های رد شده از دست ملوان در یک زمان معین شمرده می‌شد و تندی متوسط کشتی را به دست می‌آوردند. پس از آن، ملوان‌ها از واژه «گره» برای بیان تندی متوسط کشتی استفاده می‌کنند.

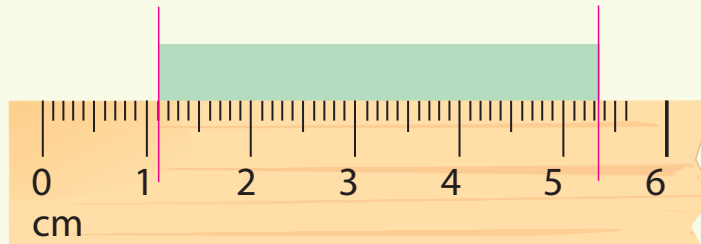
الف) اگر یک کشتی حمل کالا با تندی ۱۴ گره از بندر شهید رجایی به طرف جزیره لاوان حرکت کند، تندی آن را برحسب کیلومتر بر ساعت به دست آورید.

ب) مایل، یکی دیگر از یکاهای متداول طول در دستگاه بریتانیایی است. یک مایل دریایی برابر ۱۸۵۲ متر است. تندی کشتی قسمت الف) را بر حسب مایل بر ساعت به دست آورید.

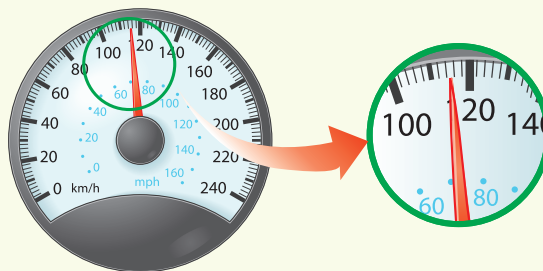


۱-۵ اندازه‌گیری: خطا و دقت

۱۴ دانش‌آموزی برای اندازه‌گیری طول میله‌ای به کمک یک خط‌کش میلی‌متری، مطابق شکل زیر عمل کرده است. طول میله را برحسب میلی‌متر، سانتی‌متر و متر گزارش کنید. در گزارش خود رقم حدسی (غیرقطعی) و خطای خط‌کش را مشخص کنید.



۱۵ شکل زیر، صفحه‌تندی سنج یک خودرو را نشان می‌دهد. تندی خودرو چند کیلومتر بر ساعت است؟ رقم غیرقطعی و خطای تندی سنج را در گزارش مشخص کنید.



۱۶ شکل‌های (الف) و (ب)، به ترتیب یک ریزسنج و یک کولیس رقمی را نشان می‌دهد. رقم غیرقطعی و خطای هر یک از این وسیله‌ها را مشخص کنید.



(ب)



(الف)

۱-۶ تخمین مرتبه بزرگی در فیزیک

۱۷ الف) مرتبه بزرگی تعداد نفس‌هایی را که یک شخص در طول عمرش می‌کشد، تخمین بزنید.

ب) مرتبه بزرگی تعداد پلک‌هایی را که چشم یک شخص در طول عمرش می‌زند، تخمین بزنید.

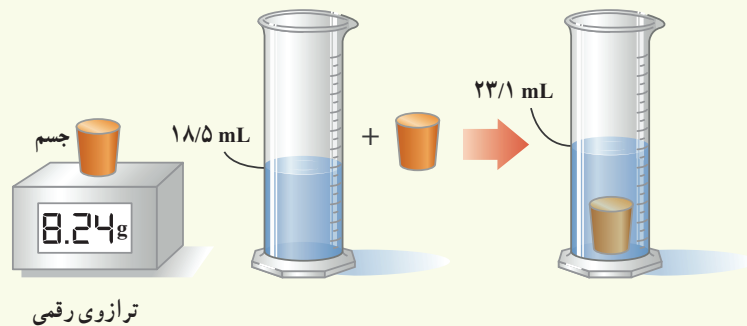
۱۸ مرتبه بزرگی جرم آب اقیانوس‌ها را تخمین بزنید.

۲-۱ چگالی



- ۱۹ الف) قطعه‌ای فلزی به شما داده شده است و ادعا می‌شود که از طلای خالص ساخته شده است. چگونه می‌توانید درستی این ادعا را بررسی کنید؟
- ب) بزرگ‌ترین شمش طلا با حجم $10^4 \text{ cm}^3 \times 1/573$ و جرم 250 kg توسط یک شرکت ژاپنی ساخته شده است (شکل روبه‌رو). چگالی این شمش طلا را به دست آورید.
- پ) نتیجه به دست آمده در قسمت (ب) را با چگالی طلا در جدول ۱-۸ مقایسه کنید و دلیل تفاوت این دو عدد را بیان کنید.

- ۲۰ برای تعیین چگالی یک جسم جامد، ابتدا جرم و حجم آن را مطابق شکل زیر پیدا کرده‌ایم. با توجه به داده‌های روی شکل، چگالی جسم را بر حسب g/L و g/cm^3 حساب کنید.



- ۲۱ الف) ستاره‌های کوتوله سفید بسیار چگال هستند و چگالی آنها در SI حدود 10^9 میلیون است. اگر شما یک قوطی کبریت از ماده تشکیل دهنده این ستاره‌ها در اختیار داشتید، جرم آن چند کیلوگرم می‌شد؟ ابعاد و حجم قوطی کبریت را خودتان تخمین بزنید!
- ب) اگر جمعیت کره زمین ۷ میلیارد نفر، جرم میانگین هر نفر 60 kg کیلوگرم و ماده تشکیل دهنده انسان‌ها از جنس ستاره‌های کوتوله سفید فرض شود (فرضی ناممکن!)، ابعاد یک اتاق چقدر باشد تا همه انسان‌ها در آن جای گیرند؟