

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، لازم نیست جای خیلی 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 و دقت در اندازه‌گیری آشنا خواهید شد. در پایان فصل نیز نگاهی به چگالی و کاربردهای آن خواهد شد.

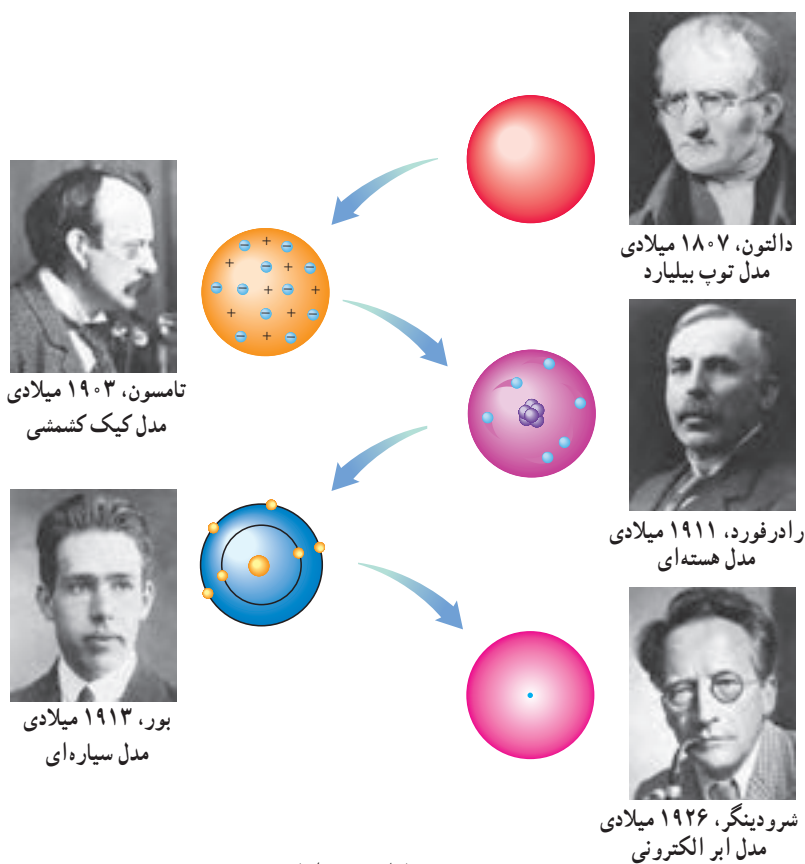
۱-۱ فیزیک: دانش بنیادی

مطالعه و یادگیری فیزیک به این دلیل اهمیت دارد که فیزیک 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.



شکل ۱-۱ تغییر مدل اتمی در طول زمان

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.

واژه فیزیک، ریشه در یونان باستان دارد و به معنای شناخت طبیعت است. تا آنجا که تاریخ مدون علم نشان می‌دهد، فیلسوفان دوران باستان 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 به‌ویژه 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 به‌خصوص 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)



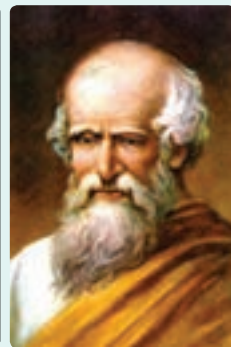
ابوعلی سینا
(۱۰۳۷-۹۸۰ م)



ابوریحان بیرونی
(۱۰۴۸-۹۷۳ م)



ابن هیشم
(۱۰۴۰-۹۶۵ م)



ارشمیدس
(۲۸۷ تا ۲۱۲ قبل از میلاد)



برج کج پیزا واقع در فلورانس ایتالیا



گالیلئو 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 کم‌مصرف 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.

۱- تمامی مطالب «خوب است بدانید» در تمامی فصل‌های کتاب، جزء ارزشیابی نیستند.



(ب)



(ب)



(الف)



(ج)



(ث)



(ت)

شکل ۱-۱ الف (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) نشتاب‌دهنده ذرات سازنده اتم 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 تانکون، کشف ذره بوزون هیگز است که خبر تأیید آن در تابستان ۱۳۹۱ اعلام شد. (پ) سامانه موقعیت‌یابی 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 براساس نظریه نسبیت اینشتین کار می‌کند. (ت) ترابری مگ لو (maglev)، یکی از دستاوردهای فیزیک ابررساناست. این وسیله نقلیه موسوم به قطار مغناطیسی حامل پیچه‌های ابررسانا در زیر خود است. همین امر سبب می‌شود تا قطار چند سانتی‌متر بالاتر از ریل به صورت شناور درآید و با تندی‌ای فراتر از ۴۰۰ کیلومتر بر ساعت حرکت کند. (ث) این عکس نمای بزرگ شده 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 به کار رفته است.^۱

فعالیت ۱-۱

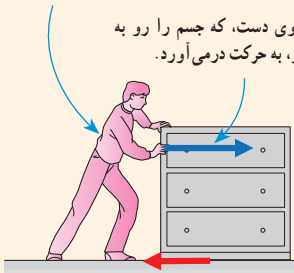
افزون بر فهرست بالا، شما نیز به اتفاق اعضای گروه خود، فهرست دیگری از کاربردهای فیزیک در فناوری تهیه کنید که نقش مهمی در زندگی ما دارند. (این فهرست را می‌توانید به صورت پوستر، برده‌نگار (پاورپوینت)، فیلم‌های کوتاه و ... تهیه و ارائه کنید.)

۱- مطالب آمده در شرح قسمت‌های مختلف 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 سوم، از این مدل‌سازی استفاده زیادی خواهیم کرد.

شخصی در حال هل دادن یک جسم نسبتاً بزرگ

نیروی دست، که جسم را رو به جلو، به حرکت درمی‌آورد.



نیروی اصطکاک، که برخلاف جهت حرکت جسم وارد می‌شود.

جسم را به صورت یک ذره در نظر می‌گیریم.

نیروی دست نیروی اصطکاک

پدیده‌هایی مانند پرتاب توپ، افتادن برگ درخت، تشکیل رنگین کمان، 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، حرکت یک توپ پرتاب شده را بررسی می‌کنیم (شکل ۳-۱ 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 ۳-۱ ب). اینک مسئله ما به قدر کافی ساده شده است و می‌توانیم حرکت آن را بررسی و تحلیل کنیم.

توجه داریم 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، آن‌گاه مدل ما پیش‌بینی می‌کرد که وقتی تویی به بالا پرتاب شود در یک خط مستقیم بالا می‌رود!

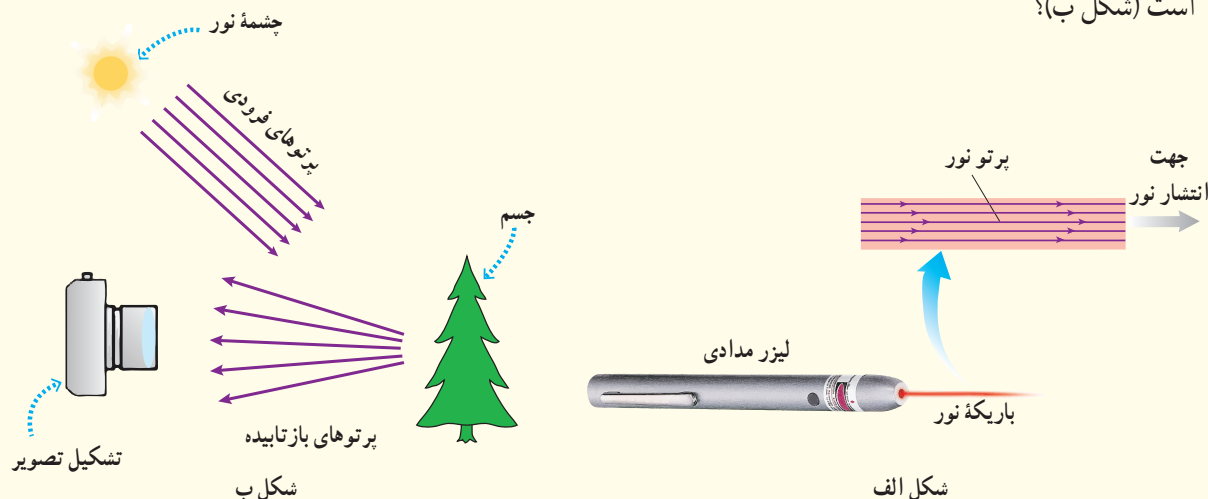


ب) مدل آرمانی توپ بسکتبال

الف) توپ بسکتبال در هوا

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

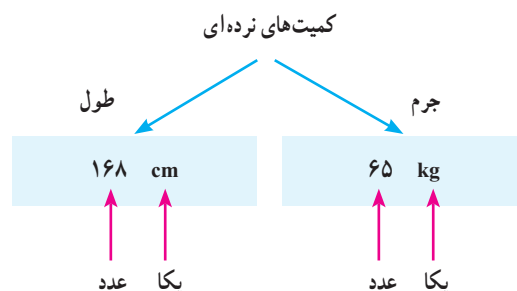
شکل الف براساس آنچه در علوم سال هشتم در زمینه نورشناسی خواندید آمده است. اجزای این شکل را توضیح دهید و بگویید که در آن، چه چیزی مدل سازی شده است. این مدل سازی چگونه در تشکیل تصویر در یک دوربین عکاسی به کار رفته است (شکل ب)؟



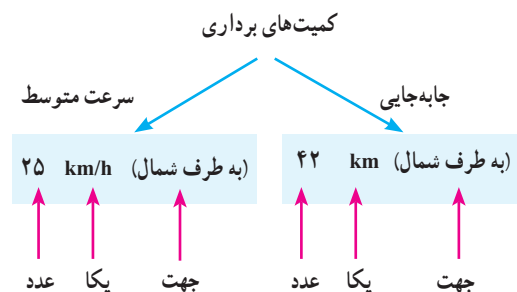
۳-۱ اندازه گیری و کمیت های فیزیکی

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** 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		
نماد یکا	نام یکا	کمیت
m	متر	طول
kg	کیلوگرم	جرم
s	ثانیه	زمان
K	کلوین	دما
mol	مُل	مقدار ماده
A	آمپر	جریان الکتریکی
cd	کندِلا (شمع)	شدت روشنایی

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

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 همهٔ 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 همهٔ 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

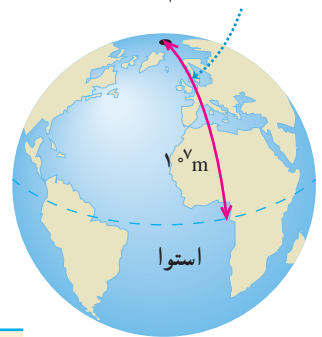
یکاهای اصلی طول (m) و زمان (s) مرتبط می‌شود. در جدول ۲-۱ نمونه‌هایی از یکاهای فرعی آمده است که در این کتاب از آنها استفاده می‌کنیم. همان‌طور که در این جدول نیز دیده می‌شود برای برخی از یکاهای پرکاربرد فرعی، نامی مخصوص قرار داده‌اند، مثلاً یکای نیرو (kgm/s²) را نیوتون (N) نامیده‌اند. در این صورت گفته 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، همایشی بین‌المللی در پاریس در زمینهٔ سنجش تشکیل شد و ۱۷ دولت قرارداد متر را امضا کردند. امضاکنندگان تصمیم گرفتند که یک مؤسسهٔ 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 نقطهٔ اتصال کشور به دستگاه اندازه‌گیری جهانی، وظیفهٔ ارتباط با این سازمان جهانی را دارد.

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

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



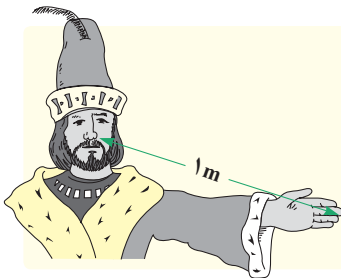
شکل ۱-۷ اولین تعریف متر در سال ۱۷۹۱ میلادی

طول: به لحاظ تاریخی، در اواخر قرن هجدهم، یکای طول (متر) به صورت یک ده میلیونیوم 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.

جدول ۱-۳ مقادیر تقریبی برخی طول‌های اندازه‌گیری شده

جسم	طول (m)	جسم	طول (m)
فاصله منظومه شمسی تا نزدیک‌ترین کهکشان	$2/8 \times 10^{21}$	طول زمین فوتبال	9×10^1
فاصله منظومه شمسی تا نزدیک‌ترین ستاره	4×10^{16}	طول بدن نوعی مگس	5×10^{-3}
یک سال نوری	9×10^{15}	اندازه ذرات کوچک گرد و خاک	1×10^{-4}
شعاع مدار میانگین زمین به دور خورشید	$1/50 \times 10^{11}$	اندازه باخته‌های بیشتر موجودات زنده	1×10^{-5}
فاصله میانگین ماه از زمین	$3/84 \times 10^8$	اندازه بیشتر میکروب‌ها	$0/2 \times 10^{-6}$
شعاع میانگین زمین	$6/40 \times 10^6$	قطر اتم هیدروژن	$1/06 \times 10^{-10}$
فاصله ماهواره‌های مخابراتی از زمین	$3/6 \times 10^7$	قطر هسته اتم هیدروژن (قطر پروتون)	$1/75 \times 10^{-15}$

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؟

تمرین ۱-۱

الف) یکای نجومی^۲ 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^۳. اخترشناسان دورترین اجرام شناخته شده از منظومه شمسی هستند و به عبارتی در دورترین محل قابل مشاهده کیهان قرار دارند. فاصله اخترشناسان 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^۴ $3/00 \times 10^8$ متر بر ثانیه بگیرید.

۱- نیازی به حفظ کردن این تعریف تخصصی نیست.

۲- Astronomical Unit

۳- light year

۴- Quasars



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

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 سیور فرانسه نگاه‌داری می‌شود^۱. 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.

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	1×10^2	الکترون	$9/11 \times 10^{-31}$

جدول ۵-۱ مقادیر تقریبی برخی از بازه‌های زمانی اندازه‌گیری شده

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}

زمان: در طول سال‌های ۱۲۶۸ تا ۱۳۴۶ ه.ش، یکای زمان، ثانیه (s) به صورت $\frac{1}{86400}$ میانگین روز خورشیدی تعریف می‌شد^۲. استاندارد کنونی زمان که از سال ۱۳۴۶ ه.ش به کار گرفته شد براساس دقت بسیار زیاد ساعت‌های اتمی تعریف شده است که در کتاب‌های پیشرفته‌تر فیزیک می‌توانید با آن آشنا شوید^۳.
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 ۵-۱ آمده است.

فعالیت ۱-۲

در خصوص چگونگی اندازه‌گیری زمان از دوران باستان تا عصر حاضر مطالبی را به‌طور مستند تهیه کنید^۴.
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.

۱- در بیست و ششمین مجمع عمومی اوزان و مقیاس‌ها که در آبان ۱۳۹۷ برگزار شد تعریف یکاهای کیلوگرم، آمپر، کلوین و مول تغییر کرد. براساس تعریف‌های جدید کیلوگرم براساس ثابت پلانک (h)، آمپر براساس بار بنیادی (e)، کلوین براساس ثابت بولتزمان (k) و مول براساس ثابت آووگادرو (N_A) باز تعریف شدند.
۲- یک روز خورشیدی، زمان بین ظاهر شدن‌های متوالی خورشید در بالاترین نقطه آسمان در هر روز است.
۳- ساعت‌های اتمی پس از چندین میلیون سال، تنها یک ثانیه جلو یا عقب می‌افتند!
۴- خوب است نگاهی به وبگاه موزه علوم و فناوری www.irstm.ir نیز داشته باشید.

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 به‌عنوان 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 100 cm است، داریم:

$$\frac{1\text{ m}}{100\text{ cm}} = 1 \quad \text{و} \quad \frac{100\text{ cm}}{1\text{ m}} = 1$$

بنابراین، هر دو کسر بالا را که برابر یک هستند می‌توان به‌عنوان 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 را تغییر نمی‌دهد، هرگاه ضریب تبدیلی را مناسب بدانیم می‌توان از آن استفاده کرد. برای مثال، یکای cm را در 85 cm ، به صورت زیر به یکای m تبدیل می‌کنیم:

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

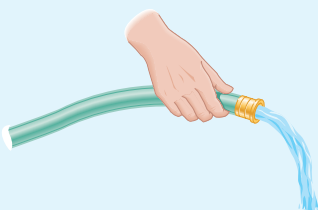
← ضریب تبدیل

همچنین در مثالی دیگر، تبدیل یکای کمیت 36 km/h را بر حسب یکای m/s به صورت زیر انجام

می‌دهیم:

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

تمرین ۱-۲



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

خروار، من تبریز، سیر، مثقال، نخود و گندم از جمله یکاهای قدیمی ایرانی برای اندازه‌گیری جرم است^۱. این یکاها به صورت زیر به یکدیگر مرتبط اند:

$$۱ \text{ خروار} = ۱۰۰ \text{ من تبریز}$$

$$۱ \text{ من تبریز} = ۴۰ \text{ سیر} = ۶۴۰ \text{ مثقال}$$

$$۱ \text{ مثقال} = ۲۴ \text{ نخود} = ۹۶ \text{ گندم}$$

با توجه به اینکه هر مثقال اندکی بیش از $\frac{۴}{۶}$ گرم است، هر کدام از این یکاها را برحسب گرم و کیلوگرم بیان کنید.

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 ۳۲۵g و شتاب آن $۱/۷۵\text{m/s}^2$ 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.

$$F = ma = (۰/۳۲۵ \text{ kg})(۱/۷۵ \text{ m/s}^2) = ۰/۵۶۹ \text{ N}$$

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 ۱۰ 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 ($۱\mu\text{m}$) که به آن میکرون نیز می‌گویند برابر $۱ \times ۱۰^{-۶}\text{m}$ است یا سه مگاوات (۳MW) برابر $۳ \times ۱۰^۶\text{W}$ است.

۱- در تمامی فصل‌های کتاب، به‌خاطر سپردن یکاهای قدیمی ضرورتی ندارد و نباید مورد ارزشیابی قرار گیرد.

نمادگذاری علمی: در پاره‌ای از 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 ۱-۶ 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	مگا	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.

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	$26\ 000\ 000\ 000\ 000\ L$	$2/60 \times 10^{13} L$
تندی نور در هوا	$300\ 000\ 000\ m/s$	$3/00 \times 10^8 m/s$
طول کل خطوط انتقال نفت خام، گاز و سایر فراورده‌های سوختی در ایران	$38\ 900\ 000\ m$	$3/89 \times 10^7 m$
حجم یک بشکه نفت	$159 L$	$1/59 \times 10^2 L$
قطر موی انسان	$0/000\ 008\ 01\ m$	$8/01 \times 10^{-6} m$
قطر اتم هیدروژن	$0/000\ 000\ 000\ 106\ m$	$1/06 \times 10^{-10} m$

مثال ۱-۱

مقدار بار الکتریکی الکترون $1.6 \times 10^{-19} \mu\text{C}$ است. مقدار این بار را برحسب کولن و با نمادگذاری علمی بنویسید.

پاسخ: با توجه به جدول ۱-۶، پیشوند میکرو (μ) برابر 10^{-6} است. به این ترتیب داریم:

$$1.6 \times 10^{-19} \mu\text{C} = 1.6 \times 10^{-25} \text{C} = 1/6 \times 10^{-19} \text{C}$$





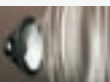
پرسش ۳-۱

کدام گزینه جرم یک زنبور عسل ($15 \times 10^{-5} \text{ kg}$) را به صورت نمادگذاری علمی درست بیان می‌کند؟

- $15 \times 10^{-5} \text{ kg}$
 $1/5 \times 10^{-5} \text{ kg}$
 $1/5 \times 10^{-4} \text{ kg}$
 $0.15 \times 10^{-2} \text{ kg}$

تمرین ۳-۱

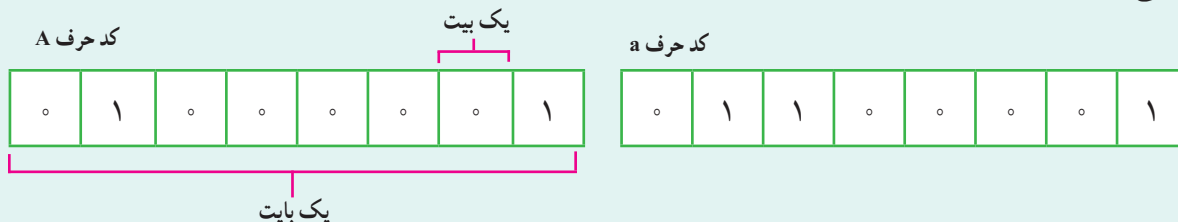
با توجه به پیشوندهای یکاهای SI و نمادگذاری علمی جدول زیر را کامل کنید.

	قطر میانگین یک گویچه (گلبول) قرمز	$7/0 \times 10^{-6} \text{ m}$	..... mm	..... μm
	قطر هسته اتم اورانیوم	$1/17 \times 10^{-14} \text{ m}$	..... pm	..... fm
	جرم یک گیره کاغذ	$1/0 \times 10^{-4} \text{ kg}$	..... g	..... mg
	زمانی که نور مسافت ۳/۰ متر را در هوا طی می‌کند.	$1/0 \times 10^{-9} \text{ s}$	..... μs}	..... ns
	زمانی که صوت مسافت ۳۵/۰ متر را در هوا طی می‌کند.	$1/0 \times 10^{-3} \text{ s}$	..... 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 ($1\text{B} = 8\text{b}$). 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 نویسه (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 $۱۰^۳$ است در مبنای دوتایی هر کیلو برابر $۱۰۲۴ = ۲^{۱۰}$ 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.

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

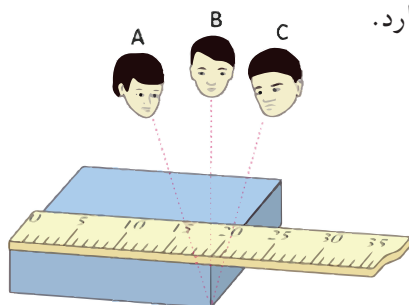


۵-۱ اندازه‌گیری و دقت وسیله‌های اندازه‌گیری

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 درجه‌بندی شده است.

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 ۸-۱ 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.



شکل ۸-۱ خطای مشاهده، ناشی از اختلاف منظر، در خواندن و گزارش نتیجه اندازه‌گیری تأثیر مهمی دارد.

دقت ابزارهای اندازه‌گیری مدرج، برابر کمیته درجه‌بندی آن ابزار است. برای مثال، دقت خط‌کشی که کمیته درجه‌بندی آن مطابق شکل زیر تا میلی‌متر است برابر ۱mm است.

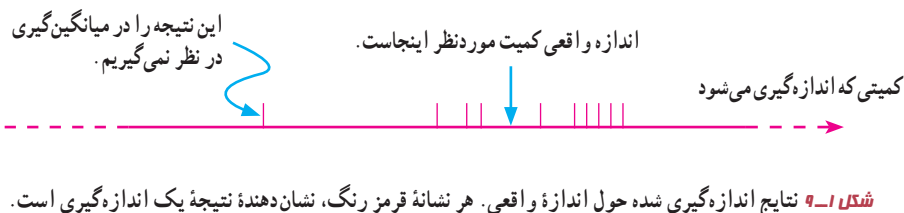
کمیته درجه‌بندی این خط‌کش، ۱mm است.



دقت این خط‌کش ۱mm است.

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 ۱-۹).

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 0.2°C و دقت آن 0.1°C است.

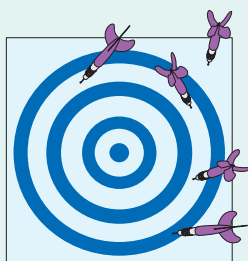


فعالیت ۴-۱

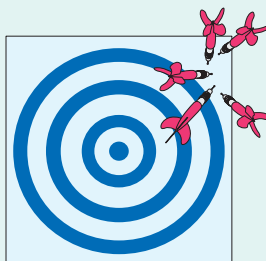
الف) آزمایشی طراحی و اجرا کنید که به کمک آن بتوان جرم و حجم یک قطره آب را اندازه‌گیری کرد.
ب) تکه‌ای سیم لاک‌پلاستیکی یا نخ قرقره به طول تقریبی یک متر تهیه کنید. آزمایشی طراحی و اجرا کنید که به کمک یک خط کش میلی‌متری بتوان قطر این سیم یا نخ را اندازه‌گیری کرد.

خوب است بدانید

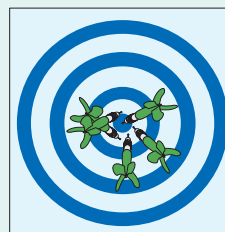
تفاوت دقت و درستی: دقت همواره به معنای صحت و درستی نیست. برای مثال، یک ساعت رقمی معمولی که $10:35:17$ را نشان می‌دهد بسیار دقیق است (زمان را تا ثانیه اعلام می‌کند)، ولی اگر این ساعت چند دقیقه آهسته کار کند، دیگر مقداری که نشان می‌دهد درست نیست. از سوی دیگر، یک ساعت قدیمی دیواری ممکن است زمان صحیح را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



(پ)



(ب)



(الف)

محاسبه‌های جبری با رقم‌های بامعنا

رقم‌هایی را که بعد از اندازه‌گیری یک کمیت فیزیکی ثبت می‌کنید رقم‌های بامعنا می‌گویند. 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 $4/8 + 41/41 + 245/41$ باید به صورت $250/2$ بیان شود. اگر نتیجه به صورت $250/21$ بیان شود نادرست است. همچنین حاصل عبارت $21/4356 - 41/342 + 12/0$ 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 230 mm 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 سه رقم بامعنا است. نوشتن $230 \text{ mm} = 2/30 \times 10^2 \text{ mm}$ اگر به صورت 230 mm نوشته شود دارای سه رقم بامعنا است. در برخی از کتاب‌های درسی، برای سادگی، تمام صفرهای سمت راست اعداد را بامعنا فرض می‌کنند. در کتاب فیزیک (۱) نیز ما از این فرض استفاده کرده‌ایم. بنابراین وقتی طول میله‌ای 230 mm گزارش شده باشد، تعداد رقم‌های بامعنا در این گزارش را سه رقم می‌گیریم.

۶-۱ چگالی

چگالی هر ماده یکی از ویژگی‌های مهم آن به شمار می‌رود که کاربردهای گوناگونی دارد. برای مثال با توجه به دستورالعمل مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، چگالی شیرخام تحویلی در کارخانه‌های شیر و لبنیات باید در دمای 15°C درجه سلسیوس بین 1029 تا 1032 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 می‌شود:

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

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

جدول ۸-۱ چگالی برخی مواد متداول

ماده	$\rho (\text{kg/m}^3)$	ماده	$\rho (\text{kg/m}^3)$
یخ	$0/917 \times 10^3$	آب	$1/000 \times 10^3$
آلومینیم	$2/70 \times 10^3$	گلیسرین	$1/26 \times 10^3$
آهن	$7/86 \times 10^3$	اتیل الکل	$0/806 \times 10^3$
مس	$8/92 \times 10^3$	بنزن	$0/879 \times 10^3$
نقره	$10/5 \times 10^3$	جیوه	$13/6 \times 10^3$
سرب	$11/3 \times 10^3$	هوا	$1/29$
اورانیم	$19/1 \times 10^3$	هلیوم	$1/79 \times 10^{-1}$
طلا	$19/3 \times 10^3$	اکسیژن	$1/43$
پلاتین	$21/4 \times 10^3$	هیدروژن	$8/99 \times 10^{-2}$

داده‌های این جدول در دمای صفر درجه (0°C) سلسیوس و فشار یک اتمسفر اندازه‌گیری و گزارش شده‌اند.

تمرین ۴-۱

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

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

پرسش ۴-۱

چگالی بنزین $6/80 \times 10^2 \text{ kg/m}^3$ است. توضیح دهید چرا آب مایع مناسبی برای خاموش کردن بنزین شعله‌ور نیست.

مثال ۲-۱

فلز آسمیم ($\rho = 22/5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$) یکی از چگال‌ترین مواد یافت شده روی زمین است. جرم قطعه‌ای از این ماده به حجم $23/0 \text{ cm}^3$ ، چند کیلوگرم است؟

پاسخ: از رابطه ۱-۱ داریم:

$$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow m = \rho V = (22/5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3) \times (23/0 \times 10^{-6} \text{ m}^3) = 0/518 \text{ kg}$$

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

تمرین ۵-۱

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

تمرین ۶-۱

جرم و وزن تقریبی هوای درون کلاستان را پیدا کنید.

فعالیت ۵-۱



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.

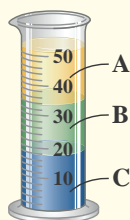
فعالیت ۱-۶



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.

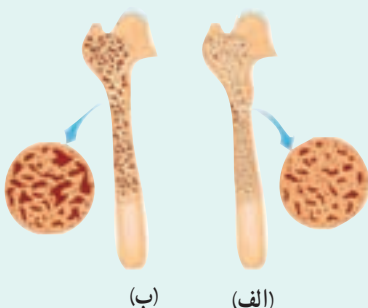
ب) با استفاده از سرنگ مدرج بزرگ و ترازوی با دقت مناسب، چگالی برخی از مایع‌های در دسترس مانند شیر، روغن، مایع ظرفشویی و... را اندازه بگیرید. قبل و بعد از پرکردن سرنگ، جرم آن را اندازه بگیرید و به این روش جرم مایع را تعیین کنید.

پرسش ۱-۵



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

خوب است بدانید



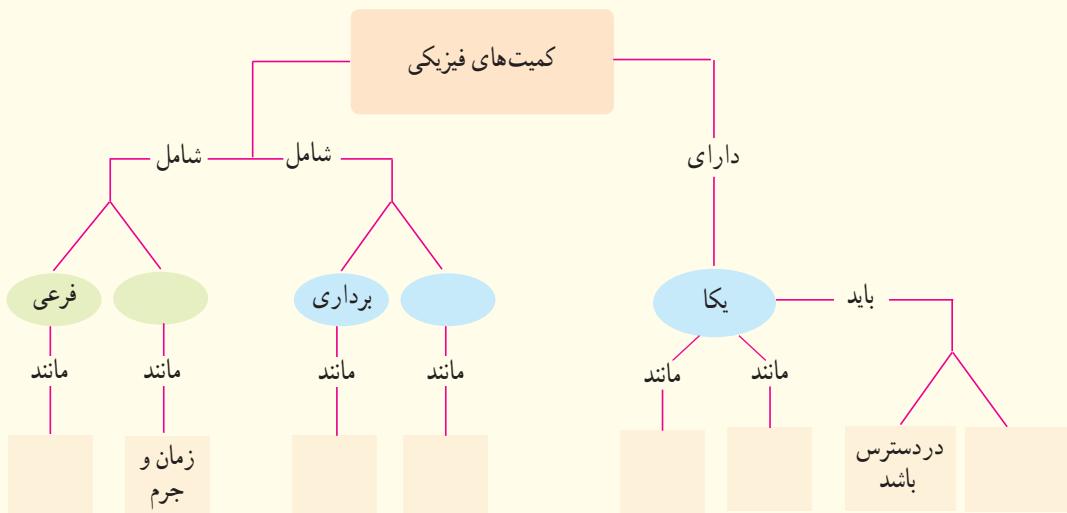
کاهش چگالی استخوان که در پزشکی به نام پوکی استخوان شناخته می‌شود علت اصلی شکستگی‌های مفصل ران و لگن در بیشتر افراد مسن است. به همین دلیل تشخیص به موقع و پیشگیری از پیشرفت آن اهمیت زیادی دارد. چگالی سنجی استخوان یا چگالی سنجی روشی است که با استفاده از آن می‌توان میزان سختی استخوان‌های بدن را تعیین کرد.

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.

الف) اگر زمین را کره‌ای یکنواخت به شعاع 6400 کیلومتر در نظر بگیریم (شکل زیر)، 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؟



۸) یکی از بزرگ‌ترین الماس‌های موجود در ایران، دریای نور به جرم 182 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 108 قیراط دارد و هم اکنون در برج لندن نگه‌داری می‌شود. با توجه به اینکه هر قیراط معادل 200 میلی‌گرم است، جرم الماس دریای نور و کوه نور بر حسب گرم چقدر است؟
 ۹) نقشه مفهومی زیر را کامل کنید.



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) 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؟
 ۴) جرم یک سوزن ته‌گرد را چگونه می‌توان با یک ترازوی آشپزخانه اندازه‌گیری کرد؟
 ۵) گالیلو در برخی از کارهایش از ضربان نبض خود به عنوان زمان‌سنج استفاده کرد. شما نیز چند پدیده تکرار شونده در طبیعت را نام ببرید که می‌توانند به عنوان ابزار اندازه‌گیری زمان به کار روند.
 ۶) الف) هر میکروقرن، تقریباً چند دقیقه است؟
 ب) یک میلیارد ثانیه دیگر، تقریباً چند سال پیرتر می‌شوید؟
 ۷) هکتار، از جمله یکاهای متداول مساحت است. هر هکتار برابر 10^4 متر مربع است.



۱۰ سریع‌ترین رشد گیاه متعلق به گیاهی موسوم به هِسپروئوکا است که در مدت ۱۴ روز، $\frac{3}{7}$ متر رشد می‌کند (شکل زیر). آهنگ رشد این گیاه برحسب میکرومتر بر ثانیه چقدر است؟



۱۳ تندی شناورها در دریا بر حسب یکایی به نام گره بیان می‌شود. هر گره دریایی برابر $\frac{1}{5144}$ 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.

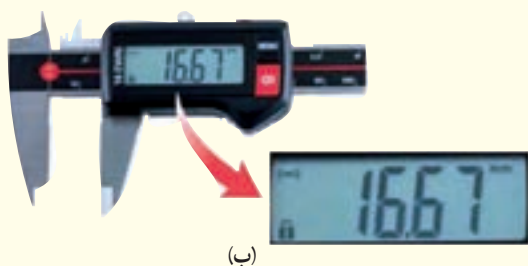
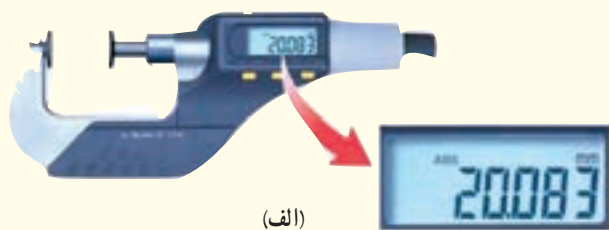
الف) اگر یک کشتی حمل کالا با تندی ۱۴ گره از بندر شهید رجایی به طرف جزیره لاون حرکت کند، تندی آن را برحسب کیلومتر بر ساعت به دست آورید.

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 $\frac{2}{54}$ 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. این مدت برحسب ثانیه چقدر است؟



نتیجه اندازه‌گیری (شامل دقت ابزار و خطای آن) توسط آنها آشنا خواهید شد. شکل‌های (الف) و (ب)، به ترتیب یک ریزسنج و یک کولیس رقمی را نشان می‌دهد. دقت هر یک از این وسیله‌ها را مشخص کنید.



۶- چگالی

۱۷ الف) قطعه‌ای فلزی به شما داده شده است و ادعا می‌شود که از طلا 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 $250/\text{kg}$ توسط یک شرکت ژاپنی ساخته شده است (شکل زیر). چگالی این شمش طلا را به دست آورید.

پ) نتیجه به دست آمده در قسمت (ب) را با چگالی طلا در جدول ۸-۱ مقایسه کنید و دلیل تفاوت این دو عدد را بیان کنید.



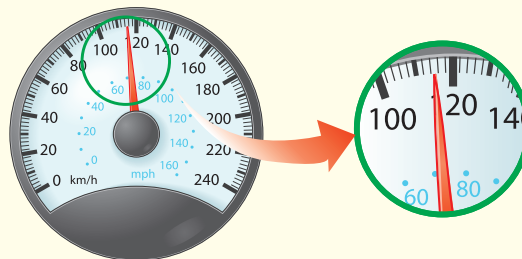
ب) مایل، یکی دیگر از یكاهای متداول طول در دستگاه بریتانیایی است. یک مایل دریایی برابر ۱۸۵۲ متر است^۱. تندی کشتی قسمت (الف) را بر حسب مایل بر ساعت به دست آورید.

۱۲ ذرع و فرسنگ از جمله یكاهای قدیمی ایرانی برای طول است. هر ذرع ۱۰۴ سانتی‌متر و هر فرسنگ ۶۰۰۰ ذرع است. بزرگ‌ترین جزیره خلیج فارس است که مساحت آن از بیش از بیست کشور جهان بزرگ‌تر است. طول این جزیره حدود ۱۲۰ کیلومتر برآورد شده است. این طول را بر حسب ذرع و فرسنگ بیان کنید.



۵- اندازه‌گیری و دقت وسیله‌های اندازه‌گیری

۱۵ شکل زیر، صفحه تندی سنج^۲ یک خودرو را نشان می‌دهد. دقت این تندی سنج چقدر است؟



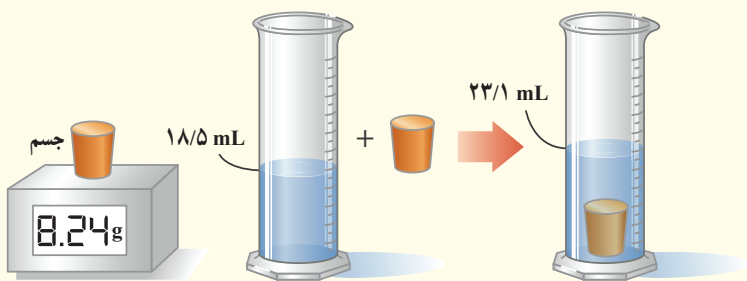
۱۶ در بسیاری از کارگاه‌های صنعتی، مانند تراشکاری‌ها، اندازه‌گیری طول با ابزارهای دقیق‌تر از خط‌کش میلی‌متری انجام می‌شود. این ابزارها، کولیس و ریزسنج نام دارند که به دو صورت مدرج و رقمی (دیجیتال) ساخته می‌شوند. در درس آزمایشگاه علوم، با نحوه کار کولیس و ریزسنج مدرج و ثبت

۱- هر مایل در خشکی ۱۶۰۹ متر است.

۱۹ 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 قوطی کبریت را با خط کش اندازه‌گیری کنید.

ب) اگر جمعیت کره زمین ۷ میلیارد نفر، جرم میانگین هر نفر 60 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؟

۱۸ 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 برحسب g/L و g/cm^3 حساب کنید.



ترازوی رقمی