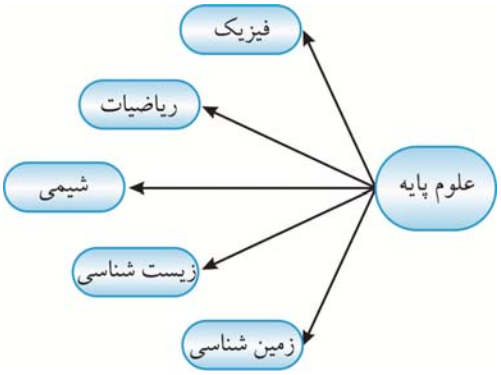
فصل یکم

فیزیک و اندازه گیری

درس‌نامه

فیزیک چیست؟

فیزیک یکی از علوم پایه است که در آن به بررسی پدیده‌های طبیعی پرداخته می‌شود.



- مانند بسیاری از علوم دیگر، فیزیک نیز بر پایهٔ آزمایش بنا نهاده شده است.
- هدف علم فیزیک **دستیابی به قوانین محدودی** است که پدیده‌های طبیعی تحت آن قوانین عمل می‌کنند و سپس استفاده از آن قوانین برای **پیش‌بینی نتایج آزمایش‌های آتی**.
- فیزیک‌دان‌ها تلاش می‌کنند که نحوهٔ کار دنیا و پدیده‌ها را بر پایهٔ قوانین، مدل‌ها و نظریه‌ها شرح دهند.
- علم فیزیک شامل گسترهٔ وسیعی از فرایندها است که باید بر پایهٔ تعداد محدودی از قوانین بیان شوند.
- هیچ نظریهٔ فیزیکی صحیح مطلق و تمام شده نیست. **مدل‌ها و نظریه‌ها ممکن است دستخوش تغییر شوند.**
- علم چرخه‌ای از نظریه و آزمایش است. نظریه‌های علمی وضع شده‌اند برای توجیه نتایج آزمایش‌هایی که در شرایط خاصی انجام می‌شوند. یک نظریهٔ خوب و موفق باید بتواند موارد جدیدی را پیش‌بینی کند و آزمایش‌های جدید باید این پیش‌بینی‌ها را به بوتهٔ نقد و بررسی بکشد.

- اگر آزمایشی نتایج نظریه را اثبات نکند، باید نظریه را مورد تجدید نظر قرار داد نه آزمایش را.
- نظریه باید دارای دو بال توجیه و پیش‌بینی باشد. یک نظریه زمانی مورد پذیرش واقع می‌شود که بتواند مواردی را که قابل آزمایش است پیش‌بینی کند.
- **آزمایش باید این قابلیت را داشته باشد که بتوان آن را مجدداً انجام داد.** به آزمایشی که فقط یک نفر آن را انجام داده یا در جایی معین تنها قابل انجام است نمی‌توان اعتماد کرد. هرکس که مهارت داشته باشد باید با ابزار کافی بتواند آزمایش را انجام دهد.
- هنگامی که بین فرضیه و آزمایش اختلافی بوجود می‌آید، فرضیه‌های جدیدی باید مطرح شوند تا آن اختلاف از بین برود.
- **نقطهٔ قوت علم فیزیک ویژگی آزمون‌پذیری و اصلاح نظریه‌های آن است.**
- **برای بیان قوانین فیزیکی باید از گزاره‌های کلی و مختصر استفاده کنیم.**
- **ویژگی قوانین فیزیکی این است که در دامنهٔ وسیعی از پدیده‌های فیزیکی معتبر هستند.**

اگر گزاره‌ای دامنه‌اش محدود باشد به آن اصل فیزیکی گفته می‌شود. پس دامنهٔ اصل فیزیکی از قانون فیزیکی محدودتر است.

خواندنی‌ها

ریاضی پل ارتباطی فرضیه و آزمایش است. فیزیک و ریاضی ارتباط تنگاتنگی با هم دارند. ریاضیات یک اختراع ذهنی بشر است که توانایی خلاصه کردن ایده‌ها را به ما داده است، در حالی که فیزیک به جهان واقعی می‌پردازد. مفاهیم ریاضی توسط ریاضی‌دانان کشف می‌شود، در حالی که آنها نمی‌توانند از کشف خود در خارج از حوزهٔ ریاضی بهره ببرند و این فیزیک‌دانان هستند که از این کشفیات ریاضی در دنیای واقعی سود می‌برند. شلدون گلاشو، فیزیک‌دانی که موفق به دریافت جایزهٔ نوبل فیزیک شده است، می‌گوید: «این برای من یک راز است، که مفاهیم ریاضی (چیزهایی مانند اعداد حقیقی و مختلط، نظریهٔ گروه‌ها و ...) که تماماً ساخته و پرداختهٔ ذهن بشر هستند، برای توصیف جهان واقعی ضروری به نظر می‌رسند.» گاهی اوقات فیزیک‌دانان روش‌های ریاضی مفیدی برای توصیف جهان ابداع کرده‌اند. نیوتن حساب دیفرانسیل و انتگرال را برای حل مسئلهٔ نیروی جاذبهٔ زمین به اجسام اطراف خود، گسترش داد. سپس ریاضی‌دانان حساب دیفرانسیل و انتگرال را گسترش دادند تا به چیزی که امروزه وجود دارد رسیدند. پس می‌توان گفت ریاضی ابزار فیزیک است. تنها زبانی که باعث درک جهان می‌شود.

سیستم‌های مجزا و مدل سازی

دانشمندان برای مطالعهٔ یک پدیده، ابتدا آن را از دیگر موارد مجزا می‌کنند. به عنوان مثال اگر در ابتدای بحث حرکت بخواهیم سقوط یک برگ از درخت را بررسی کنیم مسلماً امکان پذیر نیست، چرا که برگ علاوه بر حرکت سقوط رو به پایین، به دور خودش نیز می‌چرخد و همچنین جریان هوا و مقاومت هوا نیز بر روی آن اثرگذار است.

- به عمل ساده‌سازی و آرمانی کردن یک فرایند در فیزیک مدل‌سازی گفته می‌شود تا امکان بررسی و تحلیل آن فرایند ایجاد شود.
- برای مدل سازی باید اثرهای جزیی را نادیده بگیریم و نمی‌توانیم آثار مهم و تعیین کننده را حذف کنیم. مثلاً در سقوط برگ نمی‌توانیم از مقاومت هوا چشم پوشی کنیم ولی در سقوط توپ می‌توانیم از مقاومت هوا چشم پوشی کنیم.

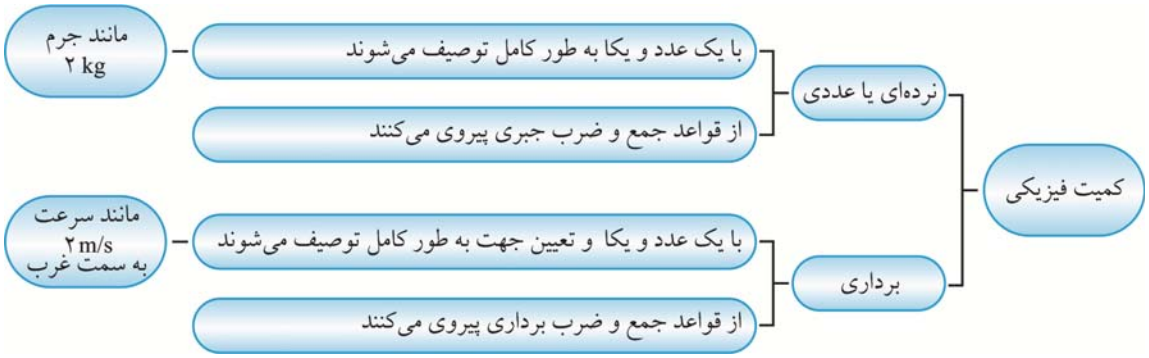
خواندنی‌ها

اجازه بدهید با تأثیر تاریخی مدل‌سازی در فیزیک بیشتر آشنا شویم. همگی می‌دانیم که اگر کمی شکر در آب حل کنیم، آب غلیظ‌تر شده و کمی از روانی آن کمتر می‌شود و زیاد به این پدیده توجه نمی‌کنیم. اما یک دانشمند کنجکاو به این پدیده توجه کرد. آلبرت اینشتین یک سال پس از فارغ التحصیلی به پدیدهٔ حل شدن شکر در آب توجه کرد. اینشتین به طور ساده این گونه تصور کرد که مولکول‌های شکر در مایع بی‌شکل شناورند. این ساده‌سازی باعث شد او بتواند محاسباتی را انجام دهد که تا آن زمان غیرممکن بود و توانست توضیح دهد که چگونه شکر حل شده در آب باعث بیشتر شدن چسبندگی (ویسکوزیته) آب می‌شود. این برای یک محقق ۲۲ ساله کافی نبود. او اعداد واقعی مربوط به چسبندگی محلول‌های متفاوت

شکر در آب را مقایسه کرد و با قرار دادن این مقادیر در فرضیه‌اش توانست اندازهٔ مولکول شکر را تعیین کند! اینشتین یک مقالهٔ علمی تحت عنوان «تعیین اندازهٔ مولکول‌ها به روش جدید» به رشتهٔ تحریر درآورد. در پایان این مقاله، اینشتین خاطر نشان کرد که مقالهٔ مهم دیگری در مورد حرکت مولکول‌ها که در آن حرکت بی‌نظم (کاتوره‌ای) و زیگ‌زاگ مولکول‌های دود در هوا را شرح می‌دهد، منتشر خواهد کرد. اینشتین به کمک همین حرکت‌ها مدرک مستقیمی دال بر وجود مولکول‌ها و اتم‌ها ارائه کرد.

اندازه‌گیری

- اندازه‌گیری عبارت است از نشان دادن یک مشخصه به کمک عدد و یکای مناسب.
- به هر مشخصهٔ قابل اندازه‌گیری در فیزیک، کمیت گفته می‌شود.
- تعریف یک کمیت زمانی کامل می‌شود که برای آن یکایی در نظر گرفته شود و برای اندازه‌گیری آن روشی بیان شود.
- یکای اندازه‌گیری هر کمیت، مقدار معینی از همان کمیت است.



- برای نشان دادن یک کمیت برداری از یک حرف انگلیسی که بر روی آن یک علامت بردار کوچک گذاشته شده است استفاده می‌کنیم. مانند: $\vec{A}$، اگر علامت بردار را از روی آن برداریم (مثلاً بنویسیم A) در واقع جهت آن را حذف کرده‌ایم و تنها بزرگی آن مد نظر ما است.

دستگاه SI

پس از انقلاب فرانسه و علاقه‌مندی مردم به علم، دستگاهی اندازه‌گیری بر مبنای عدد ۱۰ به نام متریک متولد شد. واژهٔ متریک از کلمهٔ یونانی «مترون» به معنی اندازه‌گیری گرفته شده است.

- دستگاه بین‌المللی یکاها (SI) در سال ۱۹۶۰ پایه‌گذاری شد. از دستگاه SI در علم فیزیک استفاده می‌شود.
- دستگاه SI بر اساس دستگاه قدیمی متریک که در فرانسه استفاده می‌شد پایه‌گذاری شده است. اکنون از این دستگاه در حدود ۹۵ درصد از کشورهای جهان استفاده می‌شود.
- در دستگاه SI کمیت‌ها به دو دستهٔ اصلی و فرعی تقسیم می‌شوند.

به کمیت‌های مستقل، کمیت‌های اصلی و به یکای آنها یکای اصلی گفته می‌شود. در ادامه جدول کمیت‌های اصلی و یکاهای متناظر با آنها را آورده‌ایم:

کمیت‌های فرعی به کمیت‌هایی گفته می‌شود که بر حسب کمیت‌های اصلی تعریف می‌شوند.

به یکای کمیت‌های فرعی یکای فرعی گفته می‌شود.

تعداد کمیت‌های فرعی در فیزیک بسیار زیاد است. مانند سرعت (با یکای متر بر ثانیه) و حجم (با یکای متر مکعب) و ... .

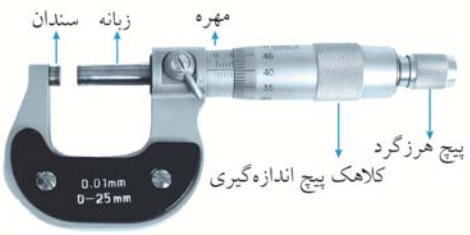
یکای اندازه‌گیری باید دارای دو ویژگی تغییرناپذیری و قابلیت بازتولید (دسترس‌پذیری) باشد.

برخی ابزارهای اندازه‌گیری طول:

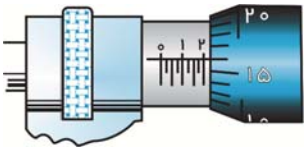
برای اندازه‌گیری طول‌های بسیار کوچک از ابزارهایی مانند ریزسنج (میکرومتر) و کولیس ورنیه استفاده می‌شود.

طرز کار ریزسنج: ریزسنج از ترکیب یک پیچ و یک مهرهٔ مدرج ساخته شده است. معمولاً اعداد روی مهره بر حسب میلی‌متر هستند. اگر دور لبهٔ کلاهک پیچ به پنجاه درجه تقسیم شده باشد و پای پیچ نیز نیم میلی‌متر باشد، اگر پیچ یک دور بپیچد دهانهٔ ریزسنج نیم میلی‌متر باز می‌شود. بنابراین وقتی پیچ به اندازهٔ یک درجه بپیچد، دهانهٔ ریزسنج یک پنجاهم از نیم میلی‌متر یعنی به اندازهٔ یک صدم میلی‌متر باز می‌شود. در نتیجه می‌توان طول‌هایی تا یک صدم میلی‌متر را با ریزسنج اندازه گرفت.

با خواندن عددهای پیچ و مهره آنها را با هم جمع می‌کنیم.

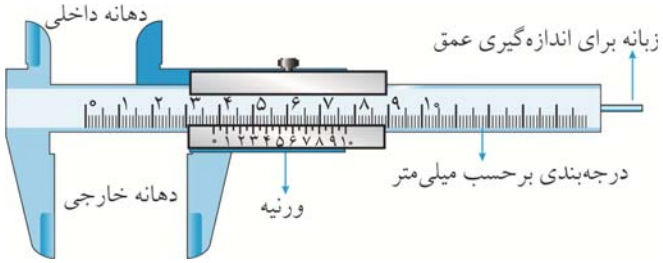


مثال در شکل روبه‌رو، ریزسنج چه عددی را نشان می‌دهد؟ (پیچ به ۲۵ قسمت تقسیم شده است.)

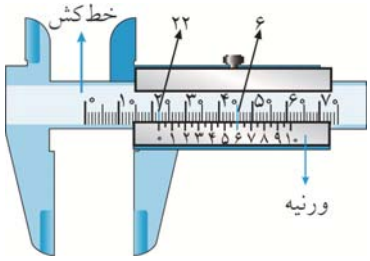


پاسخ با توجه به توضیحاتی که داده شد، اعداد روی مهره بر حسب میلی‌متر هستند. پس هر نشانه بر روی مهره ۰٫۲۵ میلی‌متر است. پس عددی که مهره نشان می‌دهد تقریباً ۲٫۰۰ میلی‌متر است. پیچ نیز عدد ۱۶ را نشان می‌دهد که برابر است با ۰٫۱۶ میلی‌متر. پس این ریزسنج عدد ۲٫۱۶ میلی‌متر را نشان می‌دهد.

طرز کار کولیس: کولیس از ترکیب یک خط‌کش مدرج فولادی و یک ورنیهٔ متحرک ساخته شده است. خط‌کش فولادی بر حسب میلی‌متر مدرج شده است. روی ورنیه درجه‌بندی کوچکی وجود دارد که تقسیم میلی‌متر را نشان می‌دهد، به عنوان مثال اگر درجه‌بندی تا ۱۰ باشد، یعنی ورنیه تا ۰٫۱ میلی‌متر را اندازه‌گیری می‌کند و اگر تا ۲۰ باشد، یعنی ورنیه تا یک بیستم میلی‌متر را اندازه‌گیری می‌کند. هنگام اندازه‌گیری با کولیس، جسم را میان گیرهٔ ثابت و گیرهٔ متحرک قرار می‌دهیم. خط‌کش تا میلی‌متر را نشان می‌دهد. برای اندازه‌گیری کسر میلی‌متر باید ببینیم چندمین خط ورنیه بر درجات خط‌کش منطبق شده است. حال دو عدد را با هم جمع می‌کنیم.



مثال طول قطعه‌ای را با یک کولیس اندازه گرفته‌ایم (شکل زیر). طول قطعه چند میلی‌متر است؟



پاسخ همان طور که مشاهده می‌کنید، صفر ورنیه پس از عدد ۲۲ بر روی خط‌کش قرار دارد. پس خط‌کش عدد ۲۲ میلی‌متر را نشان می‌دهد. نشان عدد ۶ ورنیه بر یکی از نشان‌های خط‌کش منطبق شده است. پس ورنیه نیز عدد ۰٫۶ میلی‌متر را نشان می‌دهد. در مجموع طول قطعه ۲۲٫۶ میلی‌متر است.

اندازه‌گیری زمان:

- زمان از دو دیدگاه قابل بررسی است. هر یکایی که برای زمان انتخاب می‌شود باید به دو پرسش پاسخ‌گو باشد. یک پدیده چه زمانی رخ داده است؟ و یک پدیده چه مدت زمانی طول کشیده است؟ به پاسخ پرسش دوم یعنی مدت زمان یک رویداد، بازهٔ زمانی گفته می‌شود.
- هر پدیدهٔ تکرار شونده‌ای می‌تواند یکای زمان باشد. چرخش زمین مدت‌ها برای این منظور به کار گرفته شده است.

خواندنی‌ها

یکاها را با حروف کوچک انگلیسی می‌نویسند (مانند m برای متر)، به جز در مواردی که نام یکا مشتق از نام یک شخص باشد (مانند V برای ولت). از آن جایی که نماد یکاها بین‌المللی هستند حق نداریم از خودمان چیزی به آنها اضافه یا از آنها کم کنیم. مثلاً نمی‌توانیم برای ثانیه بنویسیم sec به جای s یا این که بنویسیم cc به جای mL، یا بنویسیم hrs به جای h، یا بنویسیم lit به جای L یا Liter.

نمادگذاری علمی:

برای سهولت در محاسبات عددی و سهولت در گزارش اندازه‌گیری‌ها از نمادگذاری علمی استفاده می‌کنیم. عددهای بسیار بزرگ یا بسیار کوچک را می‌توان به کمک توان‌های ده به صورت بسیار ساده نوشت. وقتی یک عدد را به صورت نماد علمی می‌نویسیم در واقع آن را به صورت $M\times10^{n}$ می‌نویسیم که در آن M یک عدد حقیقی است ($1\le M<10$) و n یک عدد صحیح است.

مثال

$۳۰۰۰۰۰=۳\times۱۰^{?}\Rightarrow ۳۰۰۰۰۰\rightarrow ۳,۰۰۰۰۰=۳\times۱۰^{۵}$

$۲۵۰۰=۲,۵\times۱۰^{?}\Rightarrow ۲۵۰۰\rightarrow ۲,۵۰۰=۲,۵\times۱۰^{۳}$

$۰,۰۰۰۰۰۴۵=۴,۵\times۱۰^{?}\Rightarrow ۰,۰۰۰۰۰۴۵\rightarrow ۰,۰۰۰۰۰۴,۵=۴,۵\times۱۰^{-۵}$

$۰,۰۰۳۴۵=۳,۴۵\times۱۰^{?}\Rightarrow ,۰۰۳۴۵\rightarrow ۰,۰۰۳,۴۵=۳,۴۵\times۱۰^{-۳}$

همان طور که مشاهده کردید؛

- وقتی n مثبت است نشان دهندهٔ تعداد ارقامی است که ممیز به سمت چپ رفته است
- وقتی n منفی است نشان دهندهٔ تعداد ارقامی است که ممیز به سمت راست رفته است.

پیشوندهای SI

مبحث اندازه‌گیری مختص علم فیزیک و مهندسان و دانشمندان نمی‌شود. بلکه مردم عادی نیز باید با این مبحث تا حدودی آشنایی داشته باشند. فرض کنید شخصی برای خرید سیم به مغازه رفته و بگوید من ۲۰×۱۰^{-۲} متر سیم می‌خواهم!! دانشمندان جهت سهولت در خواندن و بیان کردن اعداد بسیار بزرگ و کوچک پیشوندهای SI را ابداع کرده اند. هر پیشوند در واقع یک ضریب است. این پیشوندها عبارتند از:

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

(به خاطر سپردن تمام جدول فوق الزامی نیست، ولی بخش رنگی را به دلیل کاربرد بسیار زیاد حفظ کنید.)

اندازهٔ هر کمیت فیزیکی که به صورت نماد علمی نوشته می‌شود باید دارای سه بخش باشد. بخش اول عدد، بخش دوم تـوان صحیحی از ده و بخش سوم یکا. (به مثال زیر توجه کنید.)

یکا | توان ده | عدد

$1/34 \times 10^{4}\ \mathrm{kg}$

عدد: $1/34$ — توان ده: 10^{4} — یکا: kg

تبدیل یکاها:

یکاها نیز مانند اعداد معمولی ضرب و تقسیم می‌شوند. مطلبی که گفته شد این امکان را به ما می‌دهد تا به سادگی به روشی موسوم به **روش زنجیره‌ای**، یکاها را به یکدیگر تبدیل کنیم. به عنوان مثال وقتی می‌گوییم $1\mathrm{m}=100\mathrm{cm}$ به این معنی نیست که ۱ برابـر اسـت بـا ۱۰۰! بدین معنی است که ۱ متر همان مقداری از طول است که ۱۰۰ سانتی‌متر است. پس نسبت $\frac{100\mathrm{cm}}{1\mathrm{m}}=1$ است. این نسـبت $\frac{1\mathrm{m}}{100\mathrm{cm}}$ که مقدار آن برابر است با یک، **ضریب تبدیل** برای تبدیل یکای سانتی‌متر به متر و برعکس است. در تبدیل یکـا بـه روش زنجیـره‌ای باید از ضریب تبدیلی استفاده کنیم که یکایی را که می‌خواهیم به وجود بیاورم در صورت، و یکایی که مـی‌خـواهیم از بـین ببـریم در مخرج آن قرار داشته باشد. به عنوان مثال می‌خواهیم ۵۰ سانتی‌متر را به متر تبـدیل کنـیم. عـدد ۵۰ را در ضـریب تبـدیل یکـا ضـرب می‌کنیم:

$$50\,\mathrm{cm}\times\frac{1\mathrm{m}}{100\,\mathrm{cm}}$$

ضریب تبدیلی انتخاب کردیم که سانتی‌متر در مخرج و متر در صورت قرار داشته باشد. سانتی‌متـر از صـورت و مخـرج کسـر سـاده می‌شود و می‌ماند:

$$50\times\frac{1}{100}=0/5\,\mathrm{m}$$

مثال در تبدیل یکای زیر مـی‌خـواهیم میکرومتـر را بـه متـر تبـدیل کنـیم. پـس ضـریب تبـدیل یکـای مـورد نظـر مـی‌توانـد بـه صورت $\frac{1\mathrm{m}}{10^{6}\,\mu\mathrm{m}}$ یا به صورت $\frac{10^{-6}\mathrm{m}}{1\,\mu\mathrm{m}}$ باشد. از ضریب تبدیل $\frac{10^{-6}\mathrm{m}}{1\mu\mathrm{m}}$ استفاده می‌کنیم: $500\mu\mathrm{m}=\ldots\ldots\ldots\ldots\mathrm{m}$

$$500\,\mu\mathrm{m}\times\frac{10^{-6}\mathrm{m}}{1\,\mu\mathrm{m}}=5\times10^{2}\times10^{-6}\mathrm{m}=5\times10^{-4}\mathrm{m}$$

مثال به لحاظ تاریخ یکای جرم تنها یکای اصلی سیستم SI است که در حالت عادی دارای پیشوند است!

$$۱۰۰\,g = \ldots\ldots\ldots\ldots kg$$

$$۱۰۰\,\not{g} \times \frac{۱\,kg}{۱۰^{۳}\,\not{g}} = ۱۰۰ \times ۱۰^{-۳}\,kg = ۰/۱\,kg$$

مثال اگر هر دو طرف تبدیل یکا دارای پیشوند باشند، باید روش زنجیره‌ای را چندین بار به کار ببریم. به عنوان مثال در تبدیل یکای زیر ابتدا کیلوگرم را به گرم و سپس به میلی گرم تبدیل می‌کنیم:

$$۱۰۰\,kg = \ldots\ldots\ldots\ldots mg$$

$$۱۰۰\,\not{kg} \times \frac{۱۰^{۳}\,g}{۱\,\not{kg}} = ۱۰^{۵}\,\not{g} \times \frac{۱\,mg}{۱۰^{-۳}\,\not{g}} = ۱۰^{۸}\,mg$$

مثال

$$۱۰۰\,cm^{۲} = \ldots\ldots\ldots\ldots m^{۲}$$

$$۱۰۰\,cm^{۲} \times \left(\frac{۱۰^{-۲}\,m}{۱\,cm}\right)^{۲} = ۱۰۰\,\not{cm^{۲}} \times ۱۰^{-۴}\,\frac{m^{۲}}{\not{cm^{۲}}} = ۱۰^{-۲}\,m^{۲}$$

مثال هر لیتر یک دسی متر مکعب است.

$$۲\,\frac{g}{cm^{۳}} = \ldots\ldots\ldots\ldots \frac{kg}{L}$$

$$۲\,\frac{\not{g}}{cm^{۳}} \times \frac{۱\,kg}{۱۰۰۰\,\not{g}} = \frac{۲}{۱۰۰۰}\,\frac{kg}{cm^{۳}} \times \left(\frac{۱\,cm}{۱۰^{-۲}\,m}\right)^{۳} = \frac{۲}{۱۰۰۰}\,\frac{kg}{\not{cm^{۳}}} \times ۱۰^{۶}\,\frac{\not{cm^{۳}}}{m^{۳}} = ۲ \times ۱۰^{۳}\,\frac{kg}{m^{۳}} \times \left(\frac{۱۰^{-۱}\,m}{۱\,dm}\right)^{۳} =$$

$$۲ \times ۱۰^{۳}\,\frac{kg}{\not{m^{۳}}} \times ۱۰^{-۳}\,\frac{\not{m^{۳}}}{dm^{۳}} = ۲\,\frac{kg}{dm^{۳}} = ۲\,\frac{kg}{L}$$

نکته برخی تبدیل یکاها مانند یکاهای زیر، در فیزیک دبیرستانی از اهمیت فوق العاده‌ای برخوردار هستند. بنابراین سعی کنید تبدیل یکاهای زیر را حفظ کنید:

	یکا (نماد)	ضریب تبدیل به SI
مساحت	سانتی متر مربع ($cm^{۲}$)	$۱۰^{-۴}$
	میلی متر مربع ($mm^{۲}$)	$۱۰^{-۶}$
حجم	سانتی متر مکعب ($cm^{۳}$)	$۱۰^{-۶}$
	میلی متر مکعب ($mm^{۳}$)	$۱۰^{-۹}$
	لیتر (L)	$۱۰^{-۳}$
چگالی	گرم بر سانتی‌متر مکعب ($\frac{g}{cm^{۳}}$)	$۱۰^{۳}$

نکته برای تبدیل یکا، گاهی اوقات می‌توانیم از رابطهٔ مقابل استفاده کنیم.

$$\text{عدد} \times \left(\frac{\text{پیشوند قدیم}}{\text{پیشوند جدید}}\right)^{\text{مرتبهٔ یکا}}$$

پیشوند قدیم، پیشوندی است که باید حذف شود و پیشوند جدید، پیشوندی است که باید ایجاد شود.

مثال می‌خواهیم تبدیل واحدی را که پیش‌تر به روش زنجیره‌ای انجام شد، به شیوهٔ فوق دوباره انجام دهیم:

$۱۰۰\,kg = ... mg$

$$\text{عدد} \times (\frac{\text{پیشوند قدیم}}{\text{پیشوند جدید}})^{\text{مرتبهٔ یکا}} = ۱۰۰ \times (\frac{۱۰^{۳}}{۱۰^{-۳}})^{۱} = ۱۰۰ \times ۱۰^{۶} = ۱۰^{۸}\,mg$$

یا:

$۱۰۰\,cm^{۲} = ... m^{۲}$

$$\text{عدد} \times (\frac{\text{پیشوند قدیم}}{\text{پیشوند جدید}})^{\text{مرتبهٔ یکا}} = ۱۰۰ \times (\frac{۱۰^{-۲}}{۱})^{۲} = ۱۰۰ \times ۱۰^{-۴} = ۱۰^{-۲}\,m^{۲}$$

سازگاری یکاها (تحلیل ابعادی):

- واژهٔ **بُعد** در فیزیک معنی و تعبیر ویژه‌ای دارد. واژهٔ بُعد در فیزیک ماهیت یک کمیت را تعیین می‌کند. فاصله چه بر حسب متر باشد، یا سانتی‌متر یا فوت، باز هم فاصله است. می‌گوییم بعد آن از جنس طول است. ابعاد دیگری مانند جرم و زمان و ... نیز وجود دارند.
- در یک رابطهٔ فیزیکی (فرمول) باید ابعاد در دو طرف تساوی یکسان باشند در غیر این صورت آن رابطه صحیح نیست.

مثال می‌خواهیم رابطهٔ $d = vt$، (جابه‌جایی × تندی = مسافت)را از نظر ابعادی تحلیل کنیم و ببینیم آیا یکاها در دو طرف تساوی با یکدیگر سازگار هستند یا خیر.

پاسخ می‌دانیم یکای مسافت، m (متر) و یکای تندی (متر بر ثانیه) و یکای زمان s (ثانیه) می‌باشد.

$$m = \frac{m}{\cancel{s}} \times \cancel{s}$$

با ساده کردن ثانیه از صورت و مخرج مشاهده می‌شود که رابطهٔ فوق از نظر ابعادی سازگار است.

- توجه داشته باشید، تنها سازگاری یکاها دلیل بر درستی یک رابطه نیست.
- برخی از یکاهای فرعی دستگاه SI که کاربرد بیشتری در علم فیزیک دارند، دارای نام و نماد خاصی هستند. که برخی از آنها را در جدول زیر آورده ایم.

کمیت	یکای SI	نام و نماد مخفف
نیرو	$\frac{kgm}{s^{۲}}$	نیوتن ـ N
انرژی و کار	$\frac{kgm^{۲}}{s^{۲}}$	ژول ـ J
توان	$\frac{m^{۲}kg}{s^{۳}}$	وات ـ W
فشار	$\frac{kg}{ms^{۲}}$	پاسکال ـ Pa

برخی یکاها جزء دستگاه SI نیستند اما بسیار ضروری بوده و کاربرد وسیعی دارند. بنابراین در دستگاه SI پذیرفته شده از آن‌ها استفاده شود. در جدول زیر برخی از آنها را نام برده‌ایم:

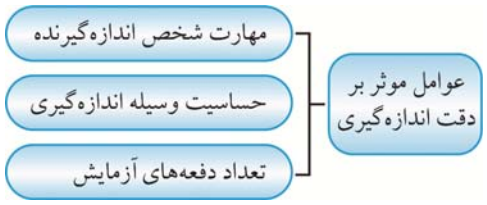
نام	نماد	ضریب تبدیل به یکای SI
دقیقه	min	۶۰s
ساعت	h	۳۶۰۰s
روز	d	۸۶۴۰۰s
هکتار	ha	$1hm^2 = 10^4 m^2$
لیتر	L	$1dm^3 = 10^{-3} m^3$
تن	T	$10^3 kg$
درجه	°	$\frac{\pi}{180} rad$
آنگستروم	A°	$10^{-10} m$
بار	b	$10^5 Pa$
میلی متر جیوه	mmHg	$\approx 133/322 Pa$

دقت اندازه‌گیری و خطای اندازه‌گیری:

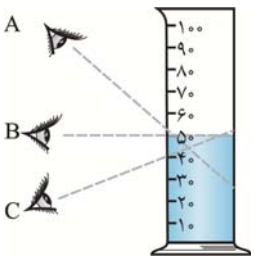
هیچ گاه نمی‌توانیم اندازهٔ واقعی یک کمیت را با اندازه‌گیری به دست آوریم و همواره مقداری **خطا** وجود دارد.

با انتخاب وسیلهٔ اندازه‌گیری مناسب و روش درست اندازه‌گیری می‌توانیم عدد دقیق‌تری به دست آوریم.

هرچه کمترین میزان سنجش یک وسیلهٔ اندازه‌گیری کوچک‌تر باشد و همچنین زودتر به کمیت مورد اندازه‌گیری واکنش نشان دهد (در ابزارهایی مانند دماسنج) می‌گوییم وسیله دقیق‌تر است.



وقتی اندازه‌گیری را چندین بار تکرار می‌کنیم و نتایج اندازه‌گیری متفاوت است باید میانگین اعداد را مد نظر قرار دهیم. البته اگر یکی از اعداد با بقیه بسیار متفاوت باشد از آن عدد در میانگین استفاده نمی‌کنیم.



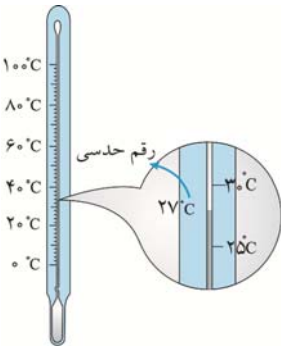
برای خواندن عدد مربوط به یک وسیلهٔ اندازه‌گیری مدرج، باید به طور عمود (شکل روبه‌رو، حالت B) به وضعیت کمیت مورد اندازه‌گیری نگاه کنیم.

در وسایلی که مدرج شده‌اند، خطای اندازه‌گیری نصف کوچک‌ترین مقدار قابل اندازه‌گیری با آن وسیله است.

به عنوان مثال خطای اندازه‌گیری دماسنج شکل مقابل برای درجه‌بندی در مقیاس سلسیوس برابر $\pm 5^{\circ}C$ است، زیرا فاصلهٔ درجه‌بندی‌ها ۱۰ درجهٔ سلسیوس است و برای درجه‌بندی فارنهایت، $\pm 2/5^{\circ}F$ است که آن را به ۳ گرد می‌کنیم (در ادامه توضیح خواهیم داد که چرا باید عدد را گرد کنیم).

- **در وسایل دیجیتال (مانند شکل مقابل)، خطای اندازه‌گیری یک واحد از کمترین مقدار قابل اندازه‌گیری است.** به عنوان مثال در یک دماسنج دیجیتال که تا ۰/۱درجهٔ سلسیوس را نشان می‌دهد، خطای اندازه‌گیری ۰/۱ درجهٔ سلسیوس است.

ارقام با معنی و رقم حدسی یا غیر قطعی:



فرض کنید دماسنجی پنج درجه به پنج درجه مدرج شده است. حال وقتی دقیقاً عمود بر دماسنج به آن نگاه می‌کنید با تصویر روبه‌رو مواجه می‌شوید که الکل درون لوله اندکی بالاتر از ۲۵ درجه است و شما حدس می‌زنید که دما ۲۷ درجه است، در این صورت می‌گوییم عدد ۷ رقم حدسی یا غیر قطعی است. عدد حاصل از اندازه‌گیری باید به صورت $27^{\circ}C \pm 2/5^{\circ}C$ نوشته شود در حالی که مرتبهٔ کمینهٔ خطا نمی‌تواند کوچک‌تر از مرتبهٔ رقم حدسی باشد، پس ۲/۵ را به ۳ گرد می‌کنیم و می‌نویسیم: $27^{\circ}C \pm 3^{\circ}C$.

- به رقم هایی که پس از اندازه‌گیری گزارش می‌کنیم، **ارقام با معنی** گفته می‌شود. در مثال دماسنج، تعداد رقم‌های بامعنی دو است. به آخرین رقم سمت راست، رقم **حدسی یا غیر قطعی** گفته می‌شود.

قواعد محاسبهٔ ارقام با معنی:

اگر با اعداد حاصل از اندازه‌گیری محاسباتی انجام دهیم، تعداد ارقام با معنی حاصل باید با کمترین تعداد ارقام با معنی اعداد اولیه برابر باشد. در نظر بگیرید که می‌خواهید ضخامت یک شیشه را اندازه‌گیری کنید. یک بار از خط‌کش معمولی استفاده می‌کنید و عدد ۳/۷ سانتی‌متر را به‌دست می‌آورید و بار دیگر از کولیس استفاده می‌کنید و عدد ۳/۶۵ سانتی‌متر را بدست می‌آورید. عدد اول دارای دو رقم با معنی و عدد دوم دارای سه رقم با معنی می‌باشد. از آن جایی که عدد آخر در یک اندازه‌گیری مشکوک است به آن رقم غیر قطعی گفته می‌شود. به عنوان مثال، در اندازه‌گیری فوق در عدد اول، عدد ۷ غیر قطعی و در عدد دوم، عدد ۵ غیر قطعی است.

هنگامی که دو عدد را در هم ضرب می‌کنیم یا بر هم تقسیم می‌کنیم، تعداد ارقام با معنی حاصل ضرب یا حاصل تقسیم باید برابر با کمترین تعداد ارقام با معنی اعداد اول باشد. به عنوان مثال می‌خواهیم جرم جسمی را که برابر است با ۲/۱کیلوگرم در سرعت آن که برابر است با $22/4 \times 10^{2} \frac{m}{s}$ ضرب کنیم:

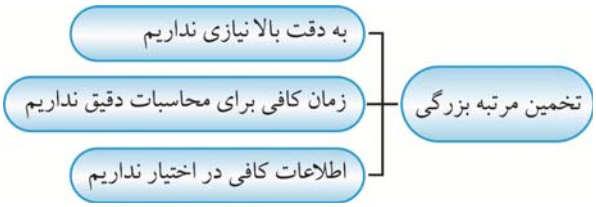
$$2/1 \times 2/24 \times 10^{3} = 4/704 \times 10^{3} = 4/7 \times 10^{3}$$

اگر دو عدد را بخواهیم با هم جمع یا از هم تفریق کنیم. (باید در نظر داشت که هنگام جمع یا تفریق یکاها باید یکسان باشند)، ابتدا آنها را به صورت نماد علمی می‌نویسیم، به طوری‌که توان ۱۰ در آنها یکسان باشد. سپس محاسبات را انجام داده و در نهایت تعداد ارقام بعد از ممیز در عدد حاصل باید با کمترین تعداد ارقام بعد از ممیز در اعداد اولیه برابر باشد. به عنوان مثال می‌خواهیم دو جرم ۲٫۱kg و ۱۱۲۲۳ گرم را با هم جمع کنیم:

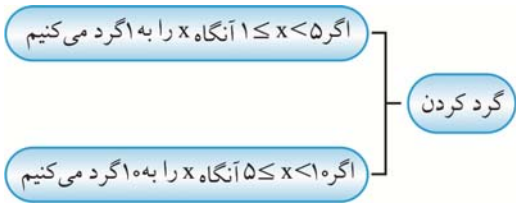
$$۲٫۱\times۱۰^{۳}\text{g}+۱۱٫۲۲۳\times۱۰^{۳}\text{g}=۱۳٫۳۲۳\text{kg}=۱۳٫۳\text{kg}$$

تخمین مرتبهٔ بزرگی:

گاهی اوقات اعداد را به صورت غیر دقیق محاسبه می‌کنیم که به این کار **تخمین زدن** گفته می‌شود. در موارد زیر تخمین می‌زنیم:



در تخمین مرتبهٔ بزرگی عدد حاصل به صورت توانی از ده بیان می‌شود. برای تخمین مرتبهٔ بزرگی باید اعداد را گرد کنیم. گرد کردن را به طریقهٔ زیر انجام می‌دهیم:



مثال مرتبهٔ بزرگی عددهای ۲۳۵۰۰۰ و ۵۶۰۰ و ۰٫۰۴۳۵ را تعیین کنید.

پاسخ

$$۲۳۵۰۰۰=۲٫۳۵\times۱۰^{۵}\sim۱۰^{۵}$$

$$۵۶۰۰=۵٫۶\times۱۰^{۳}\sim۱۰^{۴}$$

$$۰٫۰۴۳۵=۴٫۳۵\times۱۰^{-۲}\sim۱۰^{-۲}$$

مثال فرض کنید حجمی برابر با حجم تمام انسان‌های زمین را به شکل لایه‌ای یکنواخت روی سطح زمین بگذاریم. ضخامت این لایه را تخمین بزنید. (المپیاد)

پاسخ ابتدا حجم تقریبی یک انسان را اندازه‌گیری می‌کنیم:

$$V=۱٫۵\times۰٫۵\times۰٫۳=۲٫۲۵\times۱۰^{-۱}\text{m}^{۳}$$

اگر جمعیت کرهٔ زمین را ۷ میلیارد نفر در نظر بگیریم:

$$V_{\text{کل}}=۲٫۲۵\times۱۰^{-۱}\times۷\times۱۰^{۹}=۱٫۵۷۵\times۱۰^{۹}\text{m}^{۳}$$

حالا مساحت تقریبی کرهٔ زمین را حساب می‌کنیم:

$$S = 4\pi R^2 = 4 \times 3 \times (6/4 \times 10^6)^2 = 4/91 \times 10^{14}$$

$$V = Sh \Rightarrow h = \frac{V}{S} = \frac{1/575 \times 10^9}{4/91 \times 10^{14}} = 3/2 \times 10^{-6} = 3/2 \times 10^{-3}\,m$$

مرتبهٔ بزرگی این عدد $10^{-3}\,m$ یا ۱ میلی‌متر است.

چگالی

چگالی، عبارت است از جرم واحد حجم یک ماده. یکای چگالی در دستگاه **SI** کیلوگرم بر متر مکعب $(\frac{kg}{m^3})$ است. به عبارت دیگر وقتی می‌گوییم چگالی آهن $7800\frac{kg}{m^3}$ است، یعنی جرم هر متر مکعب آهن ۷۸۰۰ کیلوگرم یا ۷/۸ تن است. در حالی که چگالی چوب پنبه تقریباً $220\frac{kg}{m^3}$ است. یعنی هر متر مکعب آن تنها ۲۲۰ کیلوگرم جرم دارد!

- اگر دو ماده دارای حجم برابر باشند، ماده‌ای که جرم بیشتری دارد، چگالی بیشتری نیز خواهد داشت یا به عبارت دیگر چگال‌تر است. پس **چگالی یک ماده با جرم آن نسبت مستقیم دارد.** اگر دو ماده دارای جرم برابر باشند، مادهٔ چگال‌تر دارای حجم کمتر است. **پس چگالی با حجم ماده نسبت عکس دارد.**

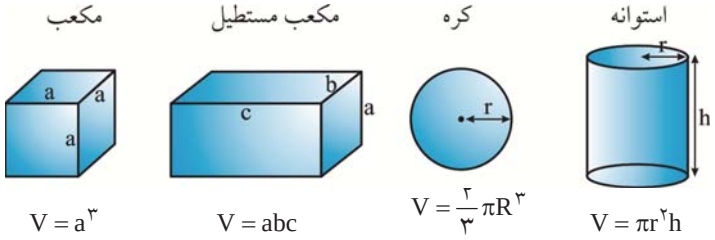
چگالی را با حرف یونانی ρ (رُو) نشان می‌دهیم و یک کمیت نرده‌ای است. چگالی از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود، که در این رابطه m جرم و V حجم ماده است.

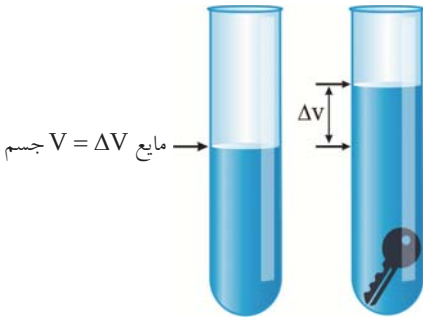
$$\rho = \frac{m}{V}$$

چگونگی اندازه‌گیری چگالی در آزمایشگاه

برای اندازه‌گیری چگالی در آزمایشگاه لازم است جرم و حجم جسم را بدانیم.

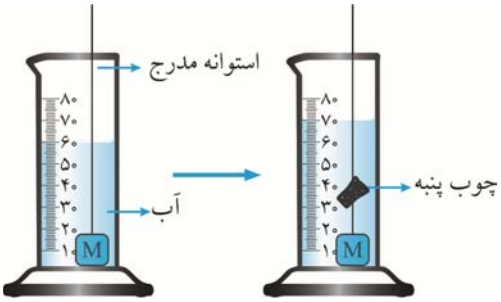
- **برای اندازه‌گیری جرم از ترازو استفاده می‌کنیم.** اگر جسم مورد نظر جامد باشد، به راحتی آن را درون ترازو گذاشته و جرم آن را اندازه‌گیری می‌کنیم. در صورتی که جسم مورد نظر مایع باشد، ابتدا جرم یک ظرف خالی را با ترازو اندازه‌گیری کرده، سپس مایع مورد نظر را درون ظرف ریخته و دوباره جرم ظرف و مایع درون آن را اندازه‌گیری می‌کنیم. با تفاضل جرم ظرف از جرم ظرف دارای مایع، می‌توانیم جرم مایع درون ظرف را اندازه‌گیری کنیم. در مورد گازها در فصل‌های بعد توضیح داده خواهد شد.
- برای اندازه‌گیری حجم، اگر جسم مورد نظر جامدی دارای **شکل معین** باشد، می‌توانیم حجم آن را از رابطه‌های مربوط به حجم محاسبه کنیم.





اما اگر جسم مورد نظر، جامدی دارای **شکل نامعین** باشد، حالت‌های متفاوتی پیش می‌آید. اگر جامد مورد نظر در آب غوطه ور می‌شود (فرو می‌رود) مانند شکل روبه‌رو، می‌توانیم درون استوانهٔ مدرجی مقدار معینی آب بریزیم و جسم را درون استوانه بیندازیم. تغییر حجم آب، حجم جسم را نشان می‌دهد.

اما اگر جسم بر سطح آب شناور شود مانند چوب پنبه، ابتدا به روش فوق حجم یک قطعه آهن را اندازه‌گیری کرده و سپس آن قطعه آهن را به قطعه چوب پنبه می‌بندیم و درون آب غوطه‌ور کرده و حجم چوب پنبه را اندازه‌گیری می‌کنیم.



حال این سؤال پیش می‌آید که اگر جسم در آب حل شود مانند قند، چه کنیم. در این موارد از مایع دیگری مانند الکل یا نفت استفاده می‌کنیم.

مثال یک قطعهٔ فلز به جرم ۹۰ گرم را درون آب در داخل استوانه‌ای می‌اندازیم قطعه فلز کاملاً در آب فرو می‌رود و سطح آب درون استوانه به اندازهٔ $۱/۲\,cm$ بالا می‌آید. اگر سطح مقطع داخلی استوانه $۱۰cm^۲$ باشد چگالی فلز چند گرم بر سانتی‌مترمکعب است؟

۱) ۵/۵ ۲) ۶ ۳) ۷/۵ ۴) ۸

پاسخ ابتدا حجم آب جابه جا شده را به دست می‌آوریم:

$$V = Ah = ۱۰ \times ۱/۲ = ۱۲ cm^۳$$

$$\rho = \frac{m}{v} = \frac{۹۰}{۱۲} = ۷/۵ \frac{g}{cm^۳}$$

چگالی جسم دارای حفره

اگر درون جسمی حفره‌ای باشد که نتوانیم آن را ببینیم، می‌توانیم با محاسبهٔ چگالی، به وجود حفره پی ببریم. به این ترتیب که چگالی تمام اجسام جامد از چگالی هوا بیشتر است. پس **چگالی ظاهری** جسمی که دارای حفره است از چگالی جسمی از همان جنس و با همان اندازه که حفره ندارد کمتر است. برای محاسبهٔ حجم حفرهٔ درون جسم، ابتدا (به کمک جرم جسم و چگالی ماده‌ای که جسم از آن ساخته شده است و به کمک رابطهٔ چگالی) حجم مادهٔ تشکیل دهندهٔ جسم را به دست آورده و از حجم جسم کم کنیم تا حجم حفرهٔ درون آن محاسبه شود.

$$V_{\text{حفره}} = V_{\text{جسم}} - \frac{m}{\rho}$$