فصل اول: فیزیک و اندازه‌گیری

فیزیک: دانش بنیادی – مدل‌سازی در فیزیک

سؤال ۱: در این فصل به چه مباحثی می‌پردازیم؟

جواب:

۱- معنی فیزیک و اهمیت آن
۲- اندازه‌گیری و کمیت
۳- تقسیم‌بندی کمیت‌ها: نرده‌ای و برداری – اصلی و فرعی
۴- یکا (واحد) – دستگاه بین‌المللی یکاها (SI) – تبدیل یکاها به یکدیگر
۵- نمایش اعداد بسیار بزرگ و بسیار کوچک
۶- عوامل مؤثر در دقت اندازه‌گیری
۷- چگالی

سؤال ۲: معنی کلمهٔ **فیزیک** چیست؟

جواب: فیزیک (physic) یک واژهٔ یونانی است به معنی **طبیعت**. علم فیزیک، **پدیده**‌های گوناگون طبیعت را بررسی می‌کند.

سؤال ۳: فیزیکدانان چه پدیده‌هایی را بررسی می‌کنند؟

جواب: آنان گسترهٔ وسیعی از پدیده‌ها را بررسی می‌کنند. این گستره، اندازه‌های خیلی کوچک (اتم‌ها و ذرات سازندهٔ آنها) تا اندازه‌های خیلی بزرگ (کهکشان‌ها و اجزای تشکیل‌دهندهٔ آنها) را شامل می‌شود.

سؤال ۴: چرا فیزیک، یک **دانش بنیادی** به حساب می‌آید؟

جواب: زیرا زیربنای تمامیِ تکنولوژی‌ها (فناوری‌ها) و مهندسی‌هایی است که به طور مستقیم و غیرمستقیم در زندگیِ ما نقش دارند.

سؤال ۵: تعدادی از کاربردهای فیزیک در زندگیِ روزمره را بیان کنید.

جواب: ۱- وسایل برقی ۲- خودروها ۳- گوشی‌های تلفن همراه و ... همگی با بهره‌گیری از **اصول** و **قوانین** فیزیکی ساخته شده‌اند.

سؤال ۶: مراحل بررسیِ یک پدیده در فیزیک چیست؟

جواب:

۱- **مشاهدهٔ پدیده:** منظور، جمع‌آوری اطلاعات راجع به پدیده می‌باشد.
۲- **ارائهٔ قانون، مدل و نظریهٔ فیزیکی:** تفکر و تجزیه و تحلیل اطلاعات مرحلهٔ (۱)
۳- **آزمایش:** آزمون درستی یا نادرستیِ قانون، مدل و نظریهٔ طرح شده در مرحلهٔ (۲)

سؤال ۷: هدف فیزیکدانان از مشاهدهٔ پدیده‌های گوناگون طبیعت چیست؟

جواب: پیدا کردنِ **الگوها** و **نظم‌های خاصی** بین آنها.

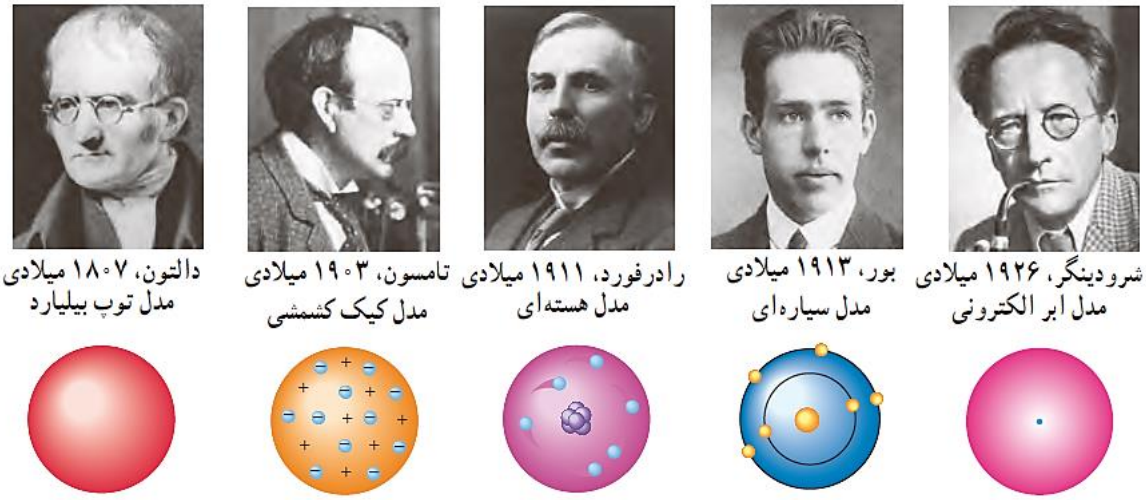
سؤال ۸: از میان مراحل بررسیِ یک پدیده کدام مهم‌تر است؟

جواب: مشاهده (مرحلهٔ۱) و آزمایش (مرحلهٔ۳) اهمیت زیادی دارند؛ اما: آنچه بیش از همه در پیشبرد و تکامل علم فیزیک نقش ایفا کرده و می‌کند **تفکر نقّادانه** و **اندیشه‌ورزیِ فعالِ** فیزیکدانان نسبت به پدیده‌ها می‌باشد. بنابراین: به نظر می‌آید مرحلهٔ (۲) مهم‌تر از دیگر مراحل می‌باشد.

سؤال ۹: آیا مدل‌ها و نظریه‌های فیزیکی همواره معتبراند؟

جواب: خیر. ممکن است در طول زمان دستخوش تغییر شوند. همواره ممکن است نتایج آزمایش‌های جدید منجر به بازنگریِ مدل یا نظریه شود. حتی ممکن است نظریه‌ای جدید جایگزینِ آن شود.

سؤال ۱۰: نظریهٔ اتمی طی چه مراحلی اصلاح شده و به تکامل رسیده است؟



سؤال ۱۱: نقاط قوّت دانش فیزیک چه ویژگی‌هایی است؟

جواب: ۱- آزمون‌پذیری ۲- اصلاح نظریه‌های فیزیکی

سؤال ۱۲: در فیزیک چه تفاوتی بین **قانون** و **اصل** وجود دارد؟

جواب: قوانینِ فیزیکی رابطهٔ برخی از کمیت‌های فیزیکی را در دامنهٔ وسیعی از پدیده‌ها بیان می‌کند؛ مانند قوانین نیوتون و قانون پایستگی انرژی اما **اصل**، مربوط به دامنهٔ محدودتری از پدیده‌ها بوده و عمومیت کمتری دارد؛ مانند اصل پاسکال (برای شاره‌های ساکن) و اصل برنولی (برای شاره‌های متحرک)

نکته: قانون، شرط ندارد و همواره صادق است اما اصل، همواره همراه با شرط است.

سؤال ۱۳: مدل‌سازی در فیزیک چیست؟

جواب: فرایندی است که طی آن، یک پدیدهٔ فیزیکی، آن‌قدر **ساده و آرمانی (ایده‌آل)** می‌شود تا امکان بررسی و تحلیل آن فراهم شود.

توضیح: بررسی پدیده‌هایی مانند پرتاب توپ، افتادن برگ درخت، تشکیل رنگین‌کمان، آذرخش و ... در فیزیک، اغلب، بسیار پیچیده و در مواردی غیرممکن است. به همین دلیل برای ساده‌تر شدن کار، چشممان را بر روی عواملی که اثر جزئی دارند می‌بندیم و فقط عوامل مهم و سرنوشت‌ساز را در نظر می‌گیریم. به این کار، مدل‌سازی می‌گوییم.

سؤال ۱۴: فرایند مدل‌سازی را برای پرتاب یک توپ بیان کنید.

جواب:

الف) توپ بسکتبال در هوا

ب) مدل آرمانی توپ بسکتبال

پیچیدگی‌ها:

۱- توپ، کرهٔ کامل نیست. (درزها و برجستگی‌هایی روی توپ وجود دارد.)

۲- در حین حرکت، به دور خود می‌چرخد.

۳- باد و مقاومت هوا روی حرکت آن اثر دارد.

۴- وزن توپ در ارتفاع‌های مختلف، متفاوت است.

مدل‌سازی:

۱- چشمپوشی از اندازه و شکل توپ (آن را یک جسم نقطه‌ای – ذره – در نظر می‌گیریم.)

۲- شرایط را خلأ فرض می‌کنیم. (یعنی از مقاومت هوا و وزش باد صرفنظر می‌کنیم.)

۳-فرض می‌کنیم وزن آن، در ارتفاع‌های مختلف، ثابت است.

تذکر: نمی‌توان وزن توپ را نادیده گرفت زیرا مهم‌ترین عامل در حرکت توپ است.

سؤال ۱۵: فرایند مدل‌سازی را برای هُل دادن میز روی زمین (تند شونده) بیان کنید.

جواب:

پیچیدگی: نیروی شخص به یک نقطه از میز و نیروی اصطکاک به نقطهٔ دیگری وارد می‌شود.

مدل‌سازی: جسم را به صورت یک ذره در نظر گرفته و فرض می‌کنیم هر دو نیرو به این نقطه اثر می‌کنند. (نیروی شخص را بلندتر رسم می‌کنیم زیرا حرکتِ میز، تندشونده است.)

تذکر: اگر میز، به‌رغمِ نیروی شخص، ساکن بوده و یا با سرعت ثابت در حرکت باشد، نیروهای شخص و اصطکاک باید هم‌اندازه رسم شوند.

اندازه‌گیری و کمیت

مقدمه: می‌دانیم فیزیک، یک علم تجربی است. هدف آن بررسیِ پدیده‌های طبیعت از راهِ تجربه و آزمایش است. اساسِ تجربه و آزمایش، اندازه‌گیری است؛ لذا با کمیت‌ها سر و کار داریم.

کمیت: به هر چیزی که قابل اندازه‌گیری باشد کمیت می‌گوییم.

سؤال: برای اندازه‌گیریِ یک کمیت، به چه چیزهایی نیازمندیم؟

۱- ابزار اندازه‌گیری
۲- یکایِ مناسب
۳- مقایسهٔ کمیت مورد نظر با یکای انتخاب شده

یکا (واحد): به مقدار معین و قراردادی از یک کمیت، یکای آن کمیت می‌گوییم.

سؤال: یکای یک کمیت باید دارای چه ویژگی‌هایی باشد؟

۱- تغییرناپذیر باشد.
۲- قابلیت بازتولید (تکثیر) داشته باشد.

نکته: بعضی کمیت‌ها یکا ندارند. مانند بازده (کارآیی-راندمان)، مزیت مکانیکی، ثابت دی‌الکتریک، ضریب اصطکاک و ضریب شکست نور

سؤال:

اگر مطابق شکل روبه‌رو، یکای طول را به‌صورت فاصلهٔ نوک بینی تا نوک انگشتان دست کشیده‌شده بگیریم، چه مزایا و چه معایبی دارد؟

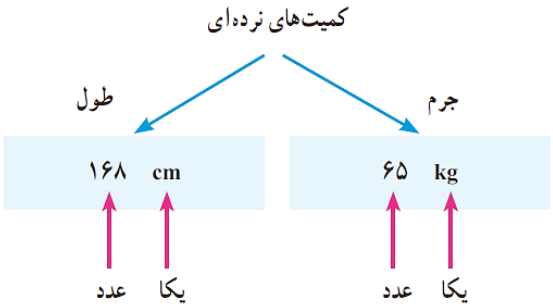
حُسن (مزیت) : در دسترس بودن

عیب : متفاوت بودن بین اشخاص مختلف (تغییرپذیری)

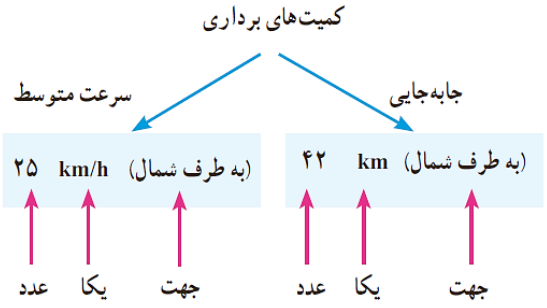
تقسیم‌بندی کمیت‌ها – نرده‌ای و برداری

۱- کمیت‌های نرده‌ای (عددی-اسکالر): کمیت‌هایی هستند که فقط با اندازه و یکای مناسب بیان شده و جهت ندارند. مانند طول، تندی(متوسط و لحظه‌ای)، جرم و زمان.

۲- کمیت‌های برداری: کمیت‌هایی هستند که علاوه بر اندازه و یکای مناسب باید جهتشان نیز مشخص شود. مانند جابه‌جایی، سرعت(متوسط و لحظه‌ای) و نیرو



هر کمیت نرده‌ای را باید با عدد و یکای مناسب آن بیان کنیم.
بیان یک کمیت فیزیکی، بدون ذکر یکای آن، معنایی ندارد!



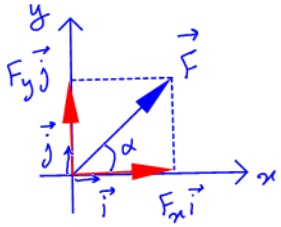
هر کمیت برداری را باید با عدد، یکای مناسب و جهت آن بیان کنیم. بیان یک کمیت فیزیکی برداری بدون ذکر یکا و جهت آن، معنایی ندارد!

نکات:

۱- برای آن‌که کمیتی، برداری باشد باید علاوه بر داشتنِ اندازه و جهت، از خاصیت جمع برداری تبعیّت کند.

۲- کار، فشار و جریان الکتریکی از قواعد جمع و تفریق معمولی پیروی می‌کنند؛ لذا همگی، نرده‌ای‌اند.

۲- برای نمایش کمیت‌های برداری از علامت پیکان بالای نماد آن کمیت استفاده می‌کنیم. مانند نیرو: $\vec{F}$
کمیت‌های برداری به کمک بردارهای یکّهٔ $\vec{i}$ و $\vec{j}$ بیان می‌شوند:



$$\vec{F} = F_x\vec{i} + F_y\vec{j}$$
$$F_x = F\cos\alpha \quad F_y = F\sin\alpha$$

۳- اگر علامت پیکان از بالای کمیت برداری برداشته شود فقط اندازهٔ آن کمیت مطرح است. مانند اندازهٔ نیرو: F
اندازهٔ کمیت برداری با استفاده از رابطهٔ فیثاغورس به دست می‌آید:

$$F^2 = F_x^2 + F_y^2 \Rightarrow F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$

۴- کمیت‌ها چه نرده‌ای باشند و چه برداری هنگامی با هم جمع یا از هم کم می‌شوند که از یک جنس باشند.

۵- برای جمع دو یا چند بردار کافی است مؤلفه‌های متناظر آن‌ها را با هم جمع کنیم و برای تفاضل دو بردار کافی است مؤلفه‌های متناظر آن‌ها را از هم کم کنیم. همچنین اگر یک عدد در یک بردار ضرب شود، آن عدد در هر یک از مؤلفه‌ها ضرب می‌شود.

۶- چنانچه دو کمیت را در هم ضرب یا بر هم تقسیم کنیم، کمیت جدیدی با ماهیت جدید به دست می‌آید که از جنس کمیت‌های اولیه نیست. به عنوان مثال اگر جرم (m) را در شتاب (a) ضرب کنیم حاصل آن نه از جنس جرم است و نه از جنس شتاب، بلکه از جنس کمیت جدیدی به نام نیرو (F) است:

دستگاه بین‌المللی یکاها (SI = Systeme International)**:** به مجموعهٔ یکاهایی که امروزه اغلب مهندسان و دانشمندان علوم در سراسر جهان برای کمیت‌ها به کار می‌برند دستگاه متریک یا دستگاه بین‌المللی یکاها (SI) گفته می‌شود.

تقسیم‌بندی کمیت‌ها – اصلی و فرعی

۱- کمیت‌های اصلی: به کمیت‌هایی که یکای آنها مستقلاً تعریف می‌شود کمیت‌های اصلی می‌گوییم.

۲- کمیت‌های فرعی: به کمیت‌هایی که یکای آنها از روی یکای کمیت‌های اصلی تعریف می‌شود کمیت‌های فرعی می‌گوییم.

نکات:

۱- در سال ۱۹۷۱ میلادی مجمع عمومی اوزان و مقیاس‌ها هفت کمیت را به عنوان کمیت اصلی انتخاب نمود. بقیهٔ کمیت‌ها فرعی هستند. هفت کمیت اصلی عبارت‌اند از:

طول (l) - جرم (m) - زمان (t) - دما (T) - مقدار ماده (تعداد مول‌ها) (n) - جریان الکتریکی (I) - شدت نور (؟)

۲- در حقیقت تعداد کمیت‌ها به قدری زیاد است که تعریف یکای مستقل برای هر یک از آنها غیرممکن است؛ اما با توجه به اینکه اکثر کمیت‌های فیزیکی با رابطه‌هایی به هم مرتبط‌اند می‌توان برای آنها یکای فرعی معرفی کرد. همانند یکای سطح (m^2) و یکای حجم (m^3) که از روی یکای طول (m) تعریف می‌شوند. و یا یکای تندی ($\frac{m}{s}$) که از روی یکای مسافت (m) و یکای زمان (s) تعریف می‌شود.

۳- به یکای کمیت‌های اصلی، یکاهای اصلی و به یکای کمیت‌های فرعی، یکاهای فرعی گفته می‌شود.

۴- کمیت‌های اصلی و فرعی هر یک، یک یکا در دستگاه بین‌المللی یکاها دارند.

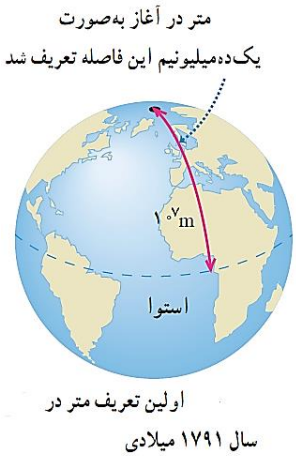
۵- برای راحتی و سهولت در بیان یکاها و همچنین احترام به فعالیت‌های علمی دانشمندان بزرگ تاریخ، اغلب، نام آنها روی یکاها گذاشته می‌شود.

کمیت‌های اصلی و یکای آنها

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

بررسی یکاهای طول، جرم و زمان در SI:

الف) یکای طول (متر)



۱- در اواخر قرن ۱۸: یک متر، $\frac{1}{10,000,000}$ فاصلهٔ استوا تا قطب شمال تعریف شد.

۲- تا سال ۱۹۶۰ میلادی: فاصلهٔ بین دو علامت روی میله‌ای از جنس آلیاژ پلاتین-ایریدیوم در دمای صفر درجهٔ سلسیوس تعریف شد.

۳- از سال ۱۹۸۳ میلادی به بعد: مسافتی تعریف شد که نور در مدت $\frac{1}{299,792,458}$ ثانیه در خلأ طی می‌کند. (تعریفی تخصصی برای اندازه‌گیری‌های دقیق)

نکته: یکای نجومی (AU = Astronomical Unit): برابر است با میانگین فاصلهٔ زمین تا خورشید:

$$1AU \approx 1/5 \times 10^{11} m$$

نکته: سال نوری (ly = light year): مسافتی است که نور در مدت یک سال در خلأ می‌پیماید:

$$\Delta x = v_{نور} \Delta t \Rightarrow 1 ly = \underbrace{3\times10^8}_{\frac{m}{s}} \times \underbrace{365\times24\times3600}_{s} = 9460800\times10^{10} m \simeq 9/46\times10^{15} m \approx 10^{16} m$$

ب) یکای جرم (کیلوگرم):

یک کیلوگرم، جرم استوانه‌ای فلزی از جنس پلاتین-ایریدیوم است که درونِ دو حباب شیشه‌ای در موزهٔ سِوْر فرانسه نگهداری می‌شود.

استاندارد ملی کیلوگرم که نسخهٔ دقیقی از استاندارد بین‌المللی سِور فرانسه است. این نمونه، در مرکز اندازه‌شناسی در سازمان ملی استاندارد ایران نگه‌داری می‌شود.

تذکر: نمونه‌های مشابهی از کیلوگرمِ موزهٔ سِوْر برای سایر کشورها ارسال شده است.

ج) یکای زمان (ثانیه):

۱- در طی سال‌های ۱۲۶۸ تا ۱۳۴۶ هجری شمسی: یک ثانیه، $\frac{1}{86400}$ میانگین روز خورشیدی است. (روز خورشیدی: زمان بین ظاهر شدنِ متوالیِ خورشید در بالاترین نقطهٔ آسمان)

۲- از سال ۱۳۴۶ ه.ش تا کنون: بر اساس دقت زیاد ساعت‌های اتمی.

پیدا کردن یکای کمیت مجهول

برای پیدا کردن یکای کمیت مجهول، به ترتیب زیر عمل می‌کنیم:

۱- فرمولِ فیزیکیِ مناسب را می‌نویسیم.

۲- آن را به گونه‌ای تغییر می‌دهیم که کمیت مجهول در یک طرف و بقیهٔ کمیت‌ها در طرف دیگر باشند.

۳- به جای کمیت‌ها، یکای آنها را قرار داده و تا جای ممکن ساده می‌کنیم.

مثال: تعدادی از یکاهای فرعی در SI به شرح زیرانند:

کمیت	رابطهٔ مناسب	یکا
تندی و سرعت	$s = \ell / \Delta t$	$m/s \Rightarrow$ یکای فرعی: m/s، یکای SI: m/s
شتاب	$a = \frac{\Delta V}{\Delta t}$	$\frac{m/s}{s} = \frac{m}{s^2} \Rightarrow$ یکای فرعی: $\frac{m}{s^2}$، یکای SI: $\frac{m}{s^2}$
نیرو	$F = ma$	$kg \cdot \frac{m}{s^2} = N$ (نیوتون) $\Rightarrow$ یکای فرعی: $kg \cdot m/s^2$، یکای SI: N
فشار	$P = F/A$	$\frac{N}{m^2} = \frac{kg \cdot m}{s^2 \cdot m^2} = \frac{kg}{m \cdot s^2} = Pa$ (پاسکال) $\Rightarrow$ یکای فرعی: $kg/m \cdot s^2$، یکای SI: Pa
انرژی	$W = F \cdot d$	$N \cdot m = \frac{kg \cdot m}{s^2} \times m = \frac{kg \cdot m^2}{s^2} = J$ (ژول) $\Rightarrow$ یکای فرعی: $kg \cdot m^2/s^2$، یکای SI: J
توان	$P = \frac{W}{t}$	$\frac{J}{s} = \frac{kg \cdot m^2}{s^2 \cdot s} = \frac{kg \cdot m^2}{s^3} = W$ (وات) $\Rightarrow$ یکای فرعی: $kg \cdot m^2/s^3$، یکای SI: W
گرمای ویژه	$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$	$\frac{J}{kg \cdot K} = \frac{kg \cdot m^2}{s^2 \cdot kg \cdot K} = \frac{m^2}{s^2 \cdot K} \Rightarrow$ یکای فرعی: $m^2/s^2 \cdot K$، یکای SI: $m^2/s^2 \cdot K$

سازگاری یکاها

هنگام استفاده از یک فرمول، یکای کمیت‌های موجود در آن فرمول باید با هم سازگار باشند. به عنوان مثال در قانون دوم نیوتون یعنی $F = ma$، نمی‌توان جرم را بر حسب گرم و شتاب را بر حسب $\frac{cm}{s^2}$ قرار داده و انتظار داشته باشیم نیرو بر حسب نیوتون به دست آید.

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

یکای دو طرف معادله با هم سازگار است.

تبدیل یکاها

برای تبدیل یکاها به یکدیگر از روش تبدیل زنجیره‌ای استفاده می‌کنیم. در این روش، اندازهٔ کمیت را در یک ضریب تبدیل ضرب می‌کنیم. ضریب تبدیل نسبتی از یکاها است که برابرِ یک می‌باشد. (ضرب کردن هر کمیت در عددِ یک، اندازهٔ آن کمیت را تغییر نمی‌دهد.) نکتهٔ مهم در این عملیات پیدا کردن ضریب تبدیل مناسب است.

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

۱ خروار = ۱۰۰ من تبریز

۱ من تبریز = ۴۰ سیر = ۶۴۰ مثقال

۱ مثقال = ۲۴ نخود = ۹۶ گندم

با توجه به اینکه هر مثقال اندکی بیش از ۴/۶ گرم است، هرکدام از این یکاها را برحسب گرم و کیلوگرم بیان کنید.

$$۱\ \text{خروار} = ۱\ \text{خروار} \times \frac{۱۰۰\ \text{من تبریز}}{۱\ \text{خروار}} \times \frac{۶۴۰\ \text{مثقال}}{۱\ \text{من تبریز}} \times \frac{۴٫۶\ \text{گرم}}{۱\ \text{مثقال}} = ۲۹۴,۴۰۰\ g = ۲۹۴٫۴\ kg$$

$$۱\ \text{من تبریز} = ۱\ \text{من تبریز} \times \frac{۶۴۰\ \text{مثقال}}{۱\ \text{من تبریز}} \times \frac{۴٫۶\ \text{گرم}}{۱\ \text{مثقال}} = ۲,۹۴۴\ g = ۲٫۹۴۴\ kg$$

$$۱\ \text{سیر} = ۱\ \text{سیر} \times \frac{۶۴۰\ \text{مثقال}}{۴۰\ \text{سیر}} \times \frac{۴٫۶\ \text{گرم}}{۱\ \text{مثقال}} = ۷۳٫۶\ g$$

$$۱\ \text{نخود} = ۱\ \text{نخود} \times \frac{۱\ \text{مثقال}}{۲۴\ \text{نخود}} \times \frac{۴٫۶\ \text{گرم}}{۱\ \text{مثقال}} = ۰٫۱۹۱\overline{۶}\ g$$

$$۱\ \text{گندم} = ۱\ \text{گندم} \times \frac{۱\ \text{مثقال}}{۹۶\ \text{گندم}} \times \frac{۴٫۶\ \text{گرم}}{۱\ \text{مثقال}} \simeq ۰٫۰۴۸\ g$$

نمایش اعداد بسیار بزرگ و بسیار کوچک

روش اول: استفاده از پیشوندهای بزرگ کننده (افزاینده) و کوچک کننده (کاهنده)

پیشوندهای یکاها					
ضریب	پیشوند	نماد	ضریب	پیشوند	نماد
$۱۰^{۱۲}$	تِرا	T	$۱۰^{-۱۲}$	پیکو	p
$۱۰^{۹}$	گیگا (جیگا)	G	$۱۰^{-۹}$	نانو	n
$۱۰^{۶}$	مِگا	M	$۱۰^{-۶}$	میکرو	μ
$۱۰^{۳}$	کیلو	k	$۱۰^{-۳}$	میلی	m
$۱۰^{۲}$	هِکتو	h	$۱۰^{-۲}$	سانتی	c
$۱۰^{۱}$	دِکا	da	$۱۰^{-۱}$	دِسی	d

تذکر: به یک میکرومتر، میکرون گفته می‌شود:

$$۱\mu m = ۱۰^{-۶} m$$

تذکر: هر آنگستروم برابر است با: $۱\mathring{A} = ۱۰^{-۱۰} m$

روش دوم: استفاده از نمادگذاری علمی: در این روش، عدد مورد نظر را به صورت حاصلضرب دو عدد می‌نویسیم. اولین عدد (x) باید بین ۱ تا ۱۰ باشد. $(۱ \le x < ۱۰)$ و دومین عدد باید یکی از توان‌های صحیح عدد ۱۰ باشد:

$$X = x \times ۱۰^{n}$$

تذکر: n در حقیقت تعداد ارقامی است که ممیز را جابه‌جا می‌کنیم:

۱- اگر ممیز را عقب ببریم: $n > ۰$

۲- اگر ممیز را جلو بکشیم: $n < ۰$

بیان اندازهٔ چند کمیت به‌صورت نمادگذاری علمی		
نمونه	اندازهٔ کمیت (شامل عدد و یکا)	بیان به‌صورت نمادگذاری علمی
حجم بنزین مصرفی در ایران در سال ۱۳۹۴	۲۶ ۰۰۰ ۰۰۰ ۰۰۰ L	$۲/۶۰ \times ۱۰^{۱۰} L$
تندی نور در هوا	۳۰۰ ۰۰۰ ۰۰۰ m/s	$۳/۰۰ \times ۱۰^{۸} m/s$
طول کل خطوط انتقال نفت خام، گاز و سایر فراورده‌های سوختی در ایران	۳۸ ۹۰۰ ۰۰۰m	$۳/۸۹ \times ۱۰^{۷} m$
حجم یک بشکه نفت	۱۵۹L	$۱/۵۹ \times ۱۰^{۲} L$
قطر موی انسان	۰/۰۰۰ ۰۰۸ ۰۱ m	$۸/۰۱ \times ۱۰^{-۶} m$
قطر اتم هیدروژن	۰/۰۰۰ ۰۰۰ ۰۰۰ ۱۰۶ m	$۱/۰۶ \times ۱۰^{-۱۰} m$

سؤال: کدام گزینه جرم یک زنبور عسل (۰/۰۰۰۱۵ kg) را به‌صورت نمادگذاری علمی درست بیان می‌کند؟

☐ $۰/۱۵\times۱۰^{-۳}kg$ ☐ $۱/۵\times۱۰^{-۴}kg$ ☐ $۱/۵\times۱۰^{-۵}kg$ ☐ $۱۵\times۱۰^{-۵}kg$

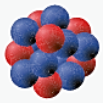
$۰/۰۰۰۱۵\,kg = ۱/۵\times۱۰^{-۴}\,kg$

۴ رقم جابه‌جایی میز

سؤال: مقدار بار الکتریکی الکترون $۱۶۰\times۱۰^{-۱۵}\mu C$ است. مقدار این بار را برحسب کولن و با نمادگذاری علمی بنویسید.

$۱۶۰\times۱۰^{-۱۵}\,\mu C = \underbrace{۱/۶\times۱۰^{۲}}_{۱۶۰}\times۱۰^{-۱۸}\times\underbrace{۱۰^{-۶}}_{\mu}\,C = \underline{۱/۶\times۱۰^{-۱۹}\,C}$

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

	قطر میانگین یک گویچهٔ (گلبول) قرمز	$۷/۰\times۱۰^{-۶}m$	..... mm	..... μm
	قطر هستهٔ اتم اورانیوم	$۱/۱۷\times۱۰^{-۱۴}m$	..... pm	..... fm
	جرم یک گیرهٔ کاغذ	$۱/۰\times۱۰^{-۴}kg$	..... g	..... mg
	زمانی که نور مسافت ۰/۳ متر را در هوا طی می‌کند.	$۱/۰\times۱۰^{-۹}s$	..... μs	..... ns
	زمانی که صوت مسافت ۰/۳۵ متر را در هوا طی می‌کند.	$۱/۰\times۱۰^{-۳}s$	..... ms	..... μs

$f = ۱۰^{-۱۵}$ ← فمتو

(۱)
$$\begin{cases} ۷\times۱۰^{-۶}m = ۷\times۱۰^{-۶}m\times\frac{۱\,mm}{۱۰^{-۳}m} = ۷\times۱۰^{-۳}mm \\ ۷\times۱۰^{-۶}m = ۷\times۱۰^{-۶}m\times\frac{۱\,\mu m}{۱۰^{-۶}m} = ۷\,\mu m \end{cases}$$

(۲)
$$\begin{cases} ۱/۱۷\times۱۰^{-۱۴}m = ۱/۱۷\times۱۰^{-۱۴}m\times\frac{۱\,pm}{۱۰^{-۱۲}m} = ۱/۱۷\times۱۰^{-۲}pm \\ ۱/۱۷\times۱۰^{-۱۴}m = ۱/۱۷\times۱۰^{-۱۴}m\times\frac{۱\,fm}{۱۰^{-۱۵}m} = ۱/۱۷\times۱۰^{۱}fm \end{cases}$$

(۳)
$$\begin{cases} ۱\times۱۰^{-۴}kg = ۱\times۱۰^{-۴}kg\times\frac{۱۰۰۰\,g}{۱\,kg} = ۱۰^{-۱}g \\ ۱\times۱۰^{-۴}kg = ۱۰^{-۱}g\times\frac{mg}{۱۰^{-۳}g} = ۱۰^{۲}mg \end{cases}$$

(۴)
$$\begin{cases} ۱\times۱۰^{-۹}s = ۱\times۱۰^{-۹}s\times\frac{۱\,\mu s}{۱۰^{-۶}s} = ۱۰^{-۳}\mu s \\ ۱\times۱۰^{-۹}s = ۱\times۱۰^{-۹}s\times\frac{۱\,ns}{۱۰^{-۹}s} = ۱\,ns \end{cases}$$

(۵)
$$\begin{cases} ۱\times۱۰^{-۳}s = ۱\times۱۰^{-۳}s\times\frac{۱\,ms}{۱۰^{-۳}s} = ۱\,ms \\ ۱\times۱۰^{-۳}s = ۱\times۱۰^{-۳}s\times\frac{۱\,\mu s}{۱۰^{-۶}s} = ۱۰^{۳}\mu s \end{cases}$$

آهنگ یک کمیت فیزیکی

به نسبت تغییرات یک کمیت به مدت زمان آن تغییرات، آهنگ تغییرات آن کمیت (به اختصار: آهنگ آن کمیت) می‌گوییم.

$$\text{آهنگ تغییر کمیت } X = \frac{\Delta X}{\Delta t}$$

مثال:

از شیلنگ شکل روبه‌رو، آب با آهنگ $125\,cm^3/s$ خارج می‌شود. این آهنگ را به روش تبدیل زنجیره‌ای، برحسب یکای لیتر بر دقیقه (L/min) بنویسید. (هر لیتر معادل ۱۰۰۰ سانتی‌متر مکعب است.)

$$\text{آهنگ خروج آب} = 125\ \frac{cm^3}{s} = 125\ \frac{cm^3}{s} \times \frac{1\ Lit}{1000\ cm^3} \times \frac{60\ s}{1\ min} = \frac{125\times 60}{1000}\ \frac{Lit}{min} = 7{,}5\ \frac{Lit}{min}$$

دقت در اندازه‌گیری

در اندازه‌گیری یک کمیت فیزیکی هیچگاه نمی‌توان مقدار دقیق و واقعیِ آن را اندازه گرفت و همواره مقداری خطا وجود دارد. به این واقعیت، اصل عدم قطعیت در اندازه‌گیری گفته می‌شود.

عوامل مؤثر در دقت اندازه‌گیری

با انتخاب ابزار اندازه‌گیری دقیق و مناسب، یادگیریِ روش صحیح اندازه‌گیری و افزایش تعداد دفعات اندازه‌گیری می‌توان میزان خطا را کاهش داد اما نمی‌توان آن را به صفر رساند.

۱- دقت (حساسیت) وسیلهٔ اندازه‌گیری: به کمترین مقداری که با یک وسیله می‌توان اندازه گرفت دقت آن وسیله گفته می‌شود.

نکات:

۱- دقت اندازه‌گیری ابزارهای مدرج، برابر کمترین مقدار تقسیم‌بندی آن وسیله است.

۲- دقت اندازه‌گیری ابزارهای رقمی (دیجیتال) برابر کمترین مقداری است که آن وسیله نشان می‌دهد.

مثال: دقت خط‌کشی که بر حسب cm مدرج شده، برابر ۱cm و دقت خط‌کشی که بر حسب mm مدرج شده است برابر ۱mm است.

مثال: دقت ساعتی که عقربهٔ ثانیه شمار دارد برابر ۱s و دقت ساعتی که عقربهٔ ثانیه شمار ندارد برابر یک دقیقه است.

۳- هنگام گزارش اندازه‌گیری حق نداریم صفرهای پس از ممیز را حذف کنیم زیرا این صفرها نشانهٔ دقت اندازه‌گیریِ وسیلهٔ به کار رفته است.

مثال: عدد ۲۴cm به این معنا است که: $\ell = ۲۴\,cm \Rightarrow ۲۳٫۵\,cm \lesssim \ell < ۲۴٫۵\,cm$

در صورتیکه عدد ۲۴/۰cm به این معنا است که:

$\ell = ۲۴٫۰\,cm = ۲۴۰\,mm \Rightarrow ۲۳۹٫۵\,mm \lesssim \ell < ۲۴۰٫۵\,mm \Rightarrow ۲۳٫۹۵\,cm \lesssim \ell < ۲۴٫۰۵\,cm$

۴- هرچه مقدار دقت یک وسیله، کوچکتر باشد اصطلاحاً می‌گوییم آن وسیله دقیق‌تر است.

۵- هیچ وسیله‌ای نمی‌تواند مقداری کمتر از دقت خود را نشان دهد.

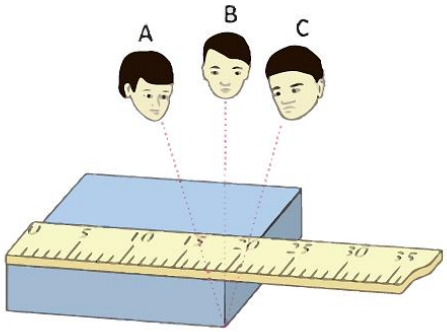
۶- گزارش وسیلهٔ اندازه‌گیری باید مضرب صحیحی از دقت آن وسیله باشد.

۷- اگر گزارش یک اندازه‌گیری را بدهند، کمترین ارزش مکانی آن عدد را دقت اندازه‌گیری آن وسیله فرض می‌کنیم.

۸- اگر نتیجهٔ اندازه‌گیری به صورت نماد علمی یا نظیرِ آن بیان شده باشد ابتدا آن را به صورت $m \times ۱۰^{n}$ (m: عدد طبیعی و n: عدد صحیح) می‌نویسیم؛ در اینصورت دقت وسیلهٔ اندازه‌گیری برابر ۱۰^{n} است.

۹- هنگام تبدیل گزارش اندازه‌گیری به شکل $m \times ۱۰^{n}$ باید مراقب باشیم تعداد ارقام تغییر نکند.

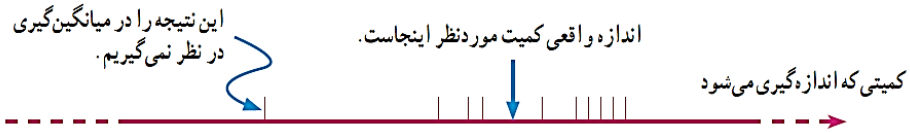
۲- مهارت شخص آزمایشگر: اختلاف مَنظَر (زاویهٔ دید) باعث تفاوت در مقادیر خوانده شده از روی وسیله است. انتخاب منظر مناسب، فوق‌العاده مهم است.



خطای مشاهده، ناشی از اختلاف منظر، در خواندن و گزارش نتیجهٔ اندازه‌گیری تأثیر مهمی دارد.

۳- تعداد دفعات اندازه‌گیری: اندازه‌گیری را چند بار انجام داده و نتایج را ثبت می‌کنیم. میانگین اعداد به دست آمده، نتیجهٔ اندازه‌گیری است.

تذکر: اگر یک یا دو عدد اختلاف زیادی با بقیه داشته باشند آنها را کنار گذاشته و در میانگین‌گیری به حساب نمی‌آوریم.



تذکر: اگر تعداد رقم‌های میانگینِ به دست آمده، از رقم‌های اعداد گزارش شده بیشتر باشد آن را طوری گرد می‌کنیم که تعداد رقم‌هایش با گزارش داده شده برابر باشد.

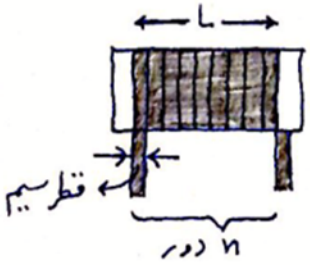
آزمایش:

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.

الف - با قطره چکان، به تعداد ۱۰۰ قطره آب را داخل یک استوانهٔ مدرج و یا یک سرنگ می‌ریزیم. حجم و جرم این مقدار آب را تقسیم بر صد می‌کنیم.

ب - سیم را دور یک استوانه می‌پیچیم طوری که حلقه‌ها روی سیم به هم بچسبند. اگر طول سیم پیچ را به تعداد دورها تقسیم کنیم قطر سیم به دست می‌آید.



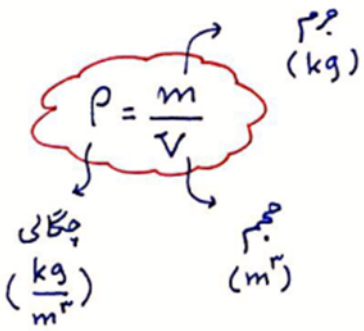
$$L = n \times \text{قطر سیم}$$

$$\Downarrow$$

$$\text{قطر سیم} = \frac{L}{n}$$

چگالی (جرم حجمی): به جرم واحد حجم یک جسم، چگالی آن جسم می‌گوییم.

برای پیدا کردن چگالی یک جسم کافی است جرم آن را بر حجمش تقسیم کنیم:



چگالی برخی مواد متداول

ماده	ρ (kg/m³)	ماده	ρ (kg/m³)
یخ	$0/917 \times 10^3$	آب	$1/00 \times 10^3$
آلومینیم	$2/70 \times 10^3$	گلیسیرین	$1/26 \times 10^3$
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	$19/1 \times 10^3$	هلیم	$1/79 \times 10^{-1}$
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 ($0\,^\circ C$) سلسیوس و فشار یک اتمسفر اندازه‌گیری و گزارش شده‌اند.

نکات:

۱- چگالیِ یک ماده (جامدات و مایعات) از ویژگی‌های مادهٔ سازندهٔ آن ماده است؛ لذا به جرم ماده بستگی ندارد. همچنین در دمای ثابت به حجم ماده بستگی ندارد:

$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow m = \rho V \Rightarrow m \propto V$ (ρ ثابت، V ثابت)

۲- می‌دانیم جامدها و مایع‌ها در اثر گرما منبسط شده و حجمشان افزایش می‌یابد؛ اما جرمشان ثابت است؛ لذا طبق $\rho = \frac{m}{V}$ چگالی آنها کاهش می‌یابد:

(m ثابت) $\rho = \frac{m}{V\uparrow} \Rightarrow \rho\downarrow$

۳- همهٔ جامدها در اثر ذوب، حجمشان افزایش یافته و چگالیشان کاهش می‌یابد به جز یخ. یخ در اثر ذوب حجمش کاهش یافته و چگالی‌اش افزایش می‌یابد:

(m ثابت) $\rho = \frac{m}{V\uparrow} \Rightarrow \rho\downarrow$

۴- همهٔ مایع‌ها در اثر انجماد، حجمشان کاهش یافته و چگالیشان افزایش می‌یابد به جز آب. آب در اثر انجماد حجمش افزایش یافته و چگالی‌اش کاهش می‌یابد.

$\rho_{ice} < \rho_{water} \Rightarrow$ یخ، روی آب شناور می‌ماند.

۵- یکی از یکاهای متداول چگالی، $\frac{g}{cm^3}$ است. برای تبدیل $\frac{g}{cm^3}$ و $\frac{kg}{m^3}$ به یکدیگر از رابطهٔ زیر استفاده می‌کنیم:

$$\frac{g}{cm^3} \xrightarrow{\times 1000} \frac{kg}{m^3} \qquad \frac{g}{cm^3} \xleftarrow{\div 1000} \frac{kg}{m^3}$$

مثال: $\rho_{\text{آهن}} = 7/8 \frac{g}{cm^3} = 7800 \frac{kg}{m^3}$

۶- یکای متداول حجم برای شاره‌ها (مایع‌ها و گازها)، لیتر (L)است؛ لذا یکای $\frac{g}{L}$ برای چگالی مایع‌ها و گازها بسیار متداول است. این یکا با یکای $\frac{kg}{m^3}$ برابر است. همچنین یکای $\frac{kg}{L}$ با یکای $\frac{g}{cm^3}$ برابر است:

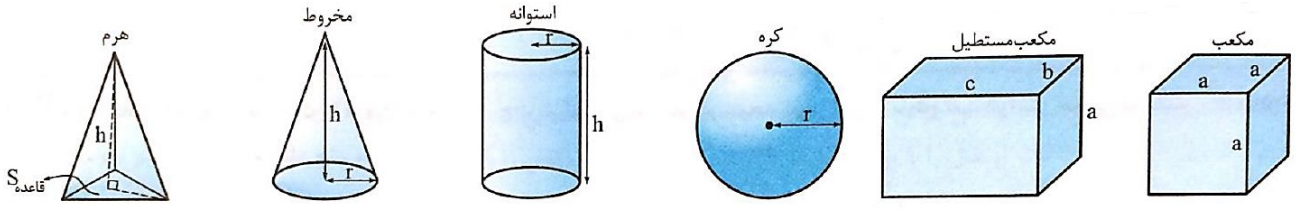
$$cm^3 \xrightarrow{\times 10^{-6}} m^3 \qquad cm^3 \xleftarrow{\times 10^{6}} m^3$$

$$mL \xrightarrow{\times 10^{-3}} L \qquad mL \xleftarrow{\times 10^{3}} L$$

مثال: $\rho_W = 1 \frac{g}{cm^3} = 1000 \frac{kg}{m^3} = 1000 \frac{g}{L}$

$\rho_{Hg} = 13/6 \frac{g}{cm^3} = 13600 \frac{kg}{m^3} = 13600 \frac{g}{L}$

۷- حجم برخی از شکل‌های هندسی منظم به شرح زیر است:



$V = \frac{1}{3} S_{\text{قاعده}} h$ $\quad V = \frac{1}{3}\pi r^2 h$ $\quad V = \pi r^2 h$ $\quad V = \frac{4}{3}\pi r^3$ $\quad V = abc$ $\quad V = a^3$

۸- اگر جسمِ جامد، شکل هندسی منظمی نداشته باشد برای پیدا کردن حجمش آن را درون استوانهٔ مدرج محتوی مایع (مانند آب) می‌اندازیم. حجم مایع جابه‌جا شده، حجم جسم است.

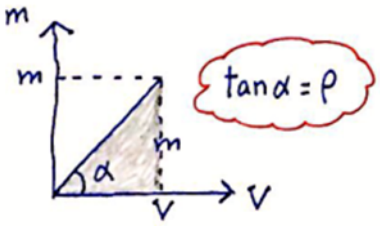
۹- برای مقایسهٔ چگالیِ دو مایع مختلف از رابطهٔ زیر استفاده می‌کنیم:

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{m_2}{m_1} \times \frac{V_1}{V_2}$$

۱۰- نمودار جرم بر حسب حجم $(m - V)$ یک ماده به شکل زیر است:

$$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow m = \rho V + \text{عرض از مبدأ}$$

(ρ: شیب نمودار)



۱۱- برای پیدا کردن حجم حفره و یا حفره‌های یک جسمِ جامد، ابتدا حجمِ ماده (قسمتِ توپُر) را به کمک رابطهٔ چگالی و حجمِ کل (حجم هندسی – حجم ظاهری) را پیدا کرده و سپس آنها را از هم کم می‌کنیم.

۱۲- اگر جسمِ جامد، دارای حفره و یا حفره‌ها باشد (مانند اسفنج) با دو نوع چگالی مواجه هستیم:

$$\rho_{\text{ماده}} = \frac{m}{V_{\text{ماده (توپُر)}}}$$

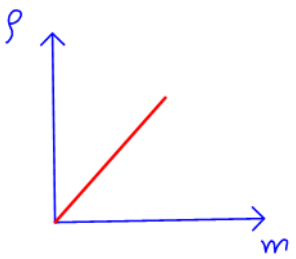
$$\rho_{\text{جسم}} = \frac{m}{V_{\text{جسم (کل)}}}$$

$$V_{\text{جسم}} > V_{\text{ماده}} \Rightarrow \rho_{\text{جسم}} < \rho_{\text{ماده}}$$

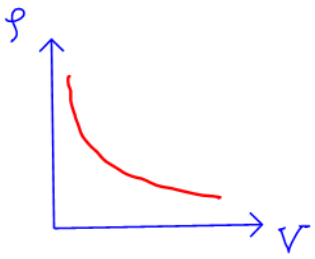
شرطِ شناور ماندنِ یک جسمِ جامد آن است که چگالیِ جسم (و نه مادهٔ تشکیل دهندهٔ جسم) از مایع، کمتر باشد.

۱۳- چگالیِ گازها در دما و فشار ثابت، مستقل از جرم و حجم گاز است.

۱۴- دو نمودار در ارتباط با چگالیِ گازها:



نمودار ρ-m تحت حجم ثابت



نمودار ρ-V تحت جرم ثابت

۱۵- **چگالی مخلوط:** اگر دو یا چند ماده را با هم مخلوط کنیم (و یا دو چند فلز را با هم آلیاژ کنیم) با این شرط که حجم کل تغییر نیابد چگالی مخلوط (آلیاژ) از رابطهٔ زیر به دست می‌آید:

$$\rho = \frac{m_1+m_2+\cdots}{V_1+V_2+\cdots} \quad \begin{cases} \rho_1 = \frac{m_1}{V_1} \\ \rho_2 = \frac{m_2}{V_2} \\ \vdots \end{cases}$$

$$\rho = \frac{\rho_1 V_1 + \rho_2 V_2 + \cdots}{V_1+V_2+\cdots}$$

$$\rho = \frac{m_1+m_2+\cdots}{\frac{m_1}{\rho_1}+\frac{m_2}{\rho_2}+\cdots}$$

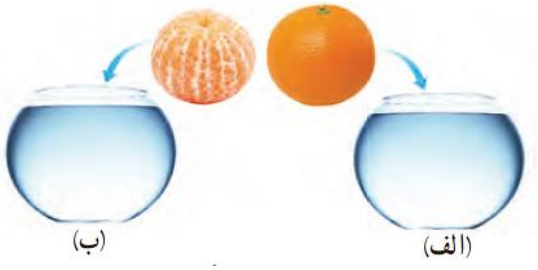
تذکر: اگر دو ماده با حجمِ یکسان را با هم مخلوط کنیم چگالیِ مخلوط از رابطهٔ زیر به دست می‌آید:

$$\rho_{\text{مخلوط}} = \frac{m_1+m_2}{V_1+V_2} = \frac{\rho_1 V + \rho_2 V}{2V} \Rightarrow \rho_{\text{مخلوط}} = \frac{\rho_1+\rho_2}{2}$$

تذکر: اگر دو ماده با جرمِ یکسان را با هم مخلوط کنیم چگالیِ مخلوط از رابطهٔ زیر به دست می‌آید:

$$\rho_{\text{مخلوط}} = \frac{m_1+m_2}{V_1+V_2} = \frac{m}{\frac{m}{2\rho_1}+\frac{m}{2\rho_2}} = \frac{m}{\frac{\rho_1+\rho_2}{2\rho_1\rho_2}} \Rightarrow \rho_{\text{مخلوط}} = \frac{2\rho_1\rho_2}{\rho_1+\rho_2}$$

سؤال: چرا پرتقالِ با پوست روی سطح آب شناور می‌ماند اما وقتی پوست آن را می‌کَنیم، علیرغم اینکه سبک‌تر می‌شود درون آب فرو می‌رود؟



وقتی پوست پرتقال را جدا می‌کنیم چگالی‌اش از آب بیشتر شده و درون آب فرو می‌رود. (آنچه که ملاک است نه جرم پرتقال، بلکه چگالی آن است.)

سؤال: چگالی بنزین $۶/۸۰\times۱۰^{۲}\,kg/m^{۳}$ است. توضیح دهید چرا آب مایع مناسبی برای خاموش‌کردن بنزین شعله‌ور نیست.

چگالی آب ($۱۰۰۰\frac{kg}{m^۳}$) از چگالی بنزین ($۶۸۰\frac{kg}{m^۳}$) بیشتر است؛ بنابراین وقتی روی بنزین ریخته می‌شود بلافاصله به زیر آن رفته و سطح آن را نمی‌پوشاند تا مانع رسیدن هوا (اکسیژن) به آن شود.

سؤال: جرم و وزن هوای درونِ کلاستان چقدر است؟ ($\rho_{هوا}=۱/۲۹\frac{kg}{m^۳}$)

کلاسی را در نظر می‌گیریم به ابعاد $۴\times۵\times۲/۵\,m^۳$: ارتفاع، طول، عرض

$V=۴\times۵\times۲/۵=۵۰\,m^۳$

جرم: $m=\rho V=۱/۲۹\times۵۰=۶۴/۵\,kg$

وزن: $W=mg=۶۴/۵\times۱۰=۶۴۵\,N$