

 **فصل ۸**
مغناطیس ۱۹۷

 **فصل ۹**
القای الکترومغناطیسی و جریان متناوب ۲۱۸

 **فصل ۱۰**
حرکت بر خط راست ۲۳۷

 **فصل ۱۱**
دینامیک و حرکت دایره‌ای ۲۶۸

 **فصل ۱۲**
نوسان و موج ۳۰۲

 **فصل ۱۳**
برهم‌کنش‌های موج ۳۳۳

 **فصل ۱۴**
آشنایی با فیزیک اتمی ۳۵۹

 **فصل ۱۵**
آشنایی با فیزیک هسته‌ای ۳۷۸

 **فصل ۱**
فیزیک و اندازه‌گیری ۷

 **فصل ۲**
کار، انرژی و توان ۲۳

 **فصل ۳**
ویژگی فیزیکی مواد ۴۲

 **فصل ۴**
دما و گرما ۷۵

 **فصل ۵**
ترمودینامیک ۱۰۶

 **فصل ۶**
الکتریسیته ساکن ۱۳۰

 **فصل ۷**
جریان الکتریکی و مدارهای جریان مستقیم ۱۶۲

فیزیک و اندازه‌گیری

درس ۱

مبانی فیزیک



«علامه جعفری»

ارزش هر انسانی به اندازه چیزی است که دوستش دارد.

روش علم

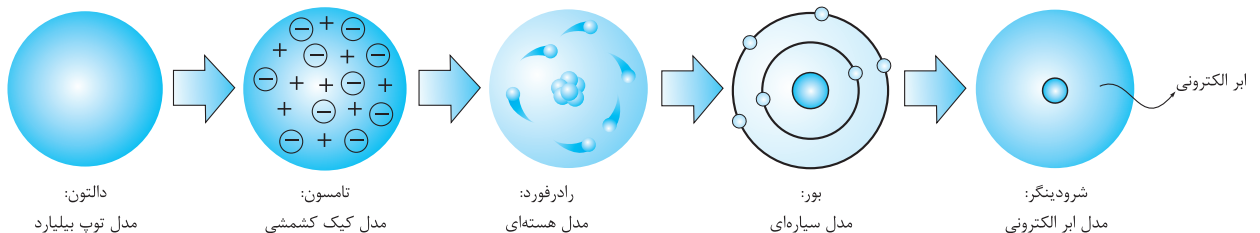
نظریه‌پردازان فیزیک برای خلق یک نظریه یا قانون کارهای زیر را انجام می‌دهند:

الف) پدیده‌های طبیعی را مشاهده می‌کنند (منظور از مشاهده، بررسی دقیق یک پدیده و عوامل تأثیرگذار بر آن پدیده است). **ب)** پدیده‌های طبیعی، بی‌حساب و کتاب و بی‌ارتباط به هم نیستند. آن‌ها در این مرحله سعی می‌کنند نظم موجود در پدیده‌ها و ارتباط بین آن‌ها را مشخص کنند. **پ)** نتیجه تحقیق خود را به شکل قانون، مدل یا نظریه فیزیکی بیان می‌کنند. **ت)** قانون‌ها، مدل‌ها یا نظریه‌های ارائه‌شده زمانی معتبرند که درستی آن‌ها توسط مشاهدات و آزمایش‌های جدید تأیید شوند، در غیر این صورت، باید آن‌ها را کنار بگذاریم.

اصلاح نظریه‌های فیزیکی

با رشد تکنولوژی و افزایش دقت وسایل اندازه‌گیری، مشاهده و آزمایش‌های دقیق‌تری را می‌توان انجام داد که این آزمایش‌های جدید ممکن است باعث ابطال یا تصحیح یک مدل یا نظریه فیزیکی شوند. بنابراین نظریه‌های فیزیکی آزمون‌پذیرند و می‌توانند اصلاح شوند؛ این ویژگی اصلاً چیز بدی نیست! خیلی هم خوب است و به قول کتاب درسی «نقطه قوت دانش فیزیک است».

نمونه نظریه اتمی یکی از معروف‌ترین نظریه‌هایی است که بارها تغییر کرده، طوری که هر نظریه نسبت به نظریه قبلی کامل‌تر شده و شناخت ما را نسبت به دنیای اتم‌ها بیشتر کرده است. شکل زیر مراحل دگرگونی این نظریه را نشان می‌دهد:



قانون

قانون‌ها معمولاً به شکل گزاره‌هایی کلی و در عین حال واضح و مختصر بیان می‌شوند و نشان می‌دهند پدیده‌ها چگونه اتفاق می‌افتند. قوانین فیزیک معمولاً روابط ریاضی بین کمیت‌های فیزیکی را بیان و دامنه وسیعی از پدیده‌های طبیعی را توصیف می‌کنند.

نمونه قانون دوم نیوتون ($F = ma$) ارتباط ریاضی سه کمیت نیرو، جرم و شتاب را بیان می‌کند و در تمام شاخه‌های فیزیک کاربرد دارد.

اصل

معمولاً برای توصیف پدیده‌هایی که عمومیت کم‌تری دارند و دامنه محدودتری از پدیده‌های طبیعی را شامل می‌شوند به جای قانون از اصطلاح «اصل» استفاده می‌کنیم.

نمونه طبق اصل پاسکال اگر به بخشی از شاره ساکن و محصور، فشار وارد کنیم، فشار در همه نقاط شاره به یک اندازه تغییر می‌کند. محدودیتی که برای ویژگی‌های شاره قائل شده‌ایم، باعث شده از اصطلاح اصل استفاده کنیم.

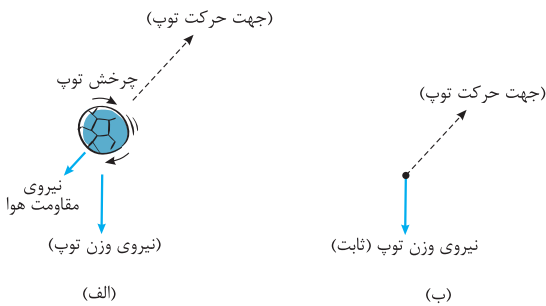
مدل‌سازی در فیزیک

اکثر پدیده‌های فیزیکی آن‌قدر پیچیده هستند که بررسی همه جانبه آن‌ها خیلی سخت و گاهی نشدنی است. به طور مثال تحلیل حرکت یک برگ اصلاً کار ساده‌ای نیست. برگ با حرکت‌های انتقالی، پیچشی و چرخشی به سمت پایین سقوط می‌کند؛ تازه مقاومت هوا و وزش باد هم روی حرکت برگ اثر می‌گذارد و همه این عوامل باعث می‌شوند نتوانیم تحلیل دقیقی از حرکت برگ ارائه دهیم. به همین خاطر باید یک سری عواملی را که در حرکت برگ چندان اثرگذار نیستند، نادیده بگیریم. به این کار، یعنی ساده کردن یک پدیده فیزیکی تا حدی که امکان بررسی و تحلیل آن فراهم شود، می‌گوییم «مدل‌سازی».

نمونه

وقتی توپی را مطابق شکل (الف) پرتاب می‌کنیم، عوامل جزئی زیادی حرکت توپ را پیچیده می‌کنند که در مدل‌سازی حرکت توپ از آن‌ها چشم می‌پوشیم:

- توپ را به صورت یک ذره در نظر می‌گیریم؛ با این ساده‌سازی، از چرخش توپ به دور خود و اندازه و شکل آن صرف‌نظر می‌کنیم (شکل ب).
- مقاومت هوا و باد به توپ نیرو وارد می‌کنند، وجود آن‌ها را نادیده می‌گیریم و فرض می‌کنیم توپ در خلأ حرکت می‌کند (شکل ب).
- وقتی توپ بالا می‌رود، وزن آن به طور جزئی کاهش می‌یابد، فرض می‌کنیم وزن توپ در ارتفاع‌های مختلف یکسان است (شکل ب).



پرسش آیا در مدل‌سازی حرکت توپ می‌توانیم از وزن توپ صرف‌نظر کنیم؟

پاسخ اصلاً اگر نیروی جاذبه زمین نباشد، توپ از مدار زمین خارج و حرکت توپ کاملاً متفاوت با حرکت واقعی آن می‌شود.

در مدل‌سازی باید اثرهای جزئی را حذف کنیم، نه عوامل مهم و تعیین‌کننده در آن پدیده را.

پرسش‌های چهارگزینه‌ای

(برگرفته از متن کتاب درسی)

۱- کدام یک از عبارات‌های زیر درست است؟

- مدل‌ها و نظریه‌های فیزیکی در طول زمان همواره ثابت و معتبر هستند.
- یک اصل در دامنه وسیعی از پدیده‌ها معتبر است، اما یک قانون فیزیکی برای توصیف دامنه محدودتری از پدیده‌های فیزیکی استفاده می‌شود.
- آزمایش و مشاهده بیشترین نقش را در پیشبرد و تکامل علم فیزیک ایفا کرده است.
- ویژگی آزمون‌پذیری و اصلاح نظریه‌های فیزیکی، نقطه قوت دانش فیزیک است.

(متن کتاب درسی)

۲- در شکل مقابل، شخصی در حال هل دادن یک جسم بزرگ است. برای مدل‌سازی این پدیده، کدام فرض مناسب است؟



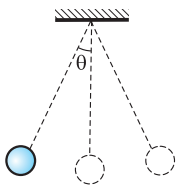
- نیروی وزن وارد بر شخص و جسم را نادیده می‌گیریم.
- جسم را به صورت یک ذره در نظر می‌گیریم.
- از نیروی اصطکاک وارد بر شخص و جسم صرف‌نظر می‌کنیم.
- فرض می‌کنیم جسم همواره ساکن باقی می‌ماند.

۳- خودرویی که در حال حرکت است، ترمز کرده و پس از طی مسافتی متوقف می‌شود. برای مدل‌سازی این پدیده کدام یک از ساده‌سازی‌های زیر نامناسب است؟



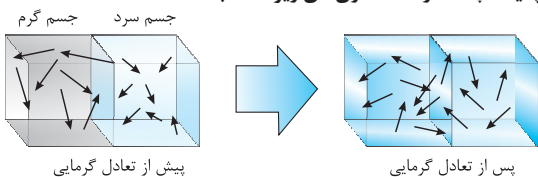
- با صرف‌نظر از اندازه و شکل خودرو آن را به صورت یک ذره در نظر می‌گیریم.
- از چرخش چرخ‌ها صرف‌نظر کرده و خودرو را همانند یک جسم صلب در نظر می‌گیریم.
- فرض می‌کنیم خودرو در خلأ حرکت می‌کند و از مقاومت هوا چشم‌پوشی می‌کنیم.
- از اصطکاک بین خودرو و زمین صرف‌نظر می‌کنیم.

۴- شکل زیر، گلوله کوچکی را نشان می‌دهد که به وسیله نخ از سقف آویزان شده است. گلوله را اندکی از وضع تعادل خود جابه‌جا کرده و رها می‌کنیم تا حرکت رفت و برگشتی انجام دهد. برای مدل‌سازی این پدیده کدام ساده‌سازی مناسب نیست؟



- از نیروی وزن نخ در مقابل نیروی وزن گلوله صرف‌نظر می‌کنیم.
- از مقاومت هوا و اصطکاک چشم‌پوشی می‌کنیم.
- فرض می‌کنیم زاویه انحراف گلوله از وضع تعادل (θ) خیلی کوچک باشد.
- مسیر حرکت گلوله را به صورت قسمتی از یک دایره در نظر می‌گیریم.

۵- شکل زیر، تعادل گرمایی بین دو جسم با دمای متفاوت را نشان می‌دهد. برای مدل‌سازی این پدیده، چندتا از ساده‌سازی‌های زیر مناسب است؟



- دو جسم را به صورت دو ذره در نظر می‌گیریم که در حال مبادله گرما هستند.
- فرض می‌کنیم دو جسم هیچ گرمایی با محیط مبادله نمی‌کنند.
- گرمای ویژه دو جسم را یکسان در نظر می‌گیریم.
- فرض می‌کنیم در هر لحظه، دمای قسمت‌های مختلف هر یک از جسم‌ها یکسان است.

۴ (۴)

۳ (۳)

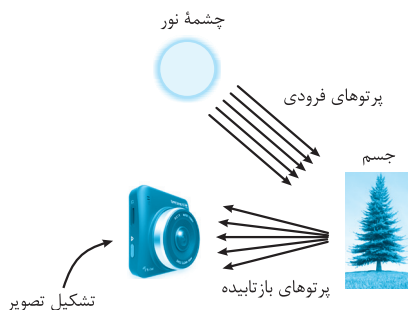
۲ (۲)

۱ (۱)

۶- شکل مقابل، چگونگی تشکیل تصویر را در یک دوربین عکاسی نشان می‌دهد. درباره مدل‌سازی این پدیده، کدام فرض نادرست است؟

(پرسش کتاب درسی)

- از مدل پرتوی نور برای مدل‌سازی انتشار نور استفاده می‌کنیم.
- باریکه نور را به صورت پرتوهای موازی نور مدل‌سازی می‌کنیم.
- فرض می‌کنیم پرتوهایی که از یک چشمه نور خیلی دور می‌آیند، با هم موازی‌اند.
- فرض می‌کنیم پرتوهایی که از یک جسم حقیقی بازتاب می‌شوند، همگرا هستند و یک تصویر تشکیل می‌دهند.



کمیت‌های فیزیکی و دستگاه پیمایشی یکاها



طبقه‌بندی کمیت‌ها

در فیزیک به هر چیزی که قابل اندازه‌گیری باشد، «کمیت» می‌گوییم؛ مثل دما، سرعت و ... کمیت‌ها را از یک لحاظ کلی می‌توان به دو دسته «نرده‌ای» و «بردار» تقسیم کرد:

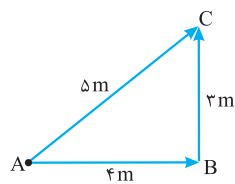
کمیت نرده‌ای

کمیت‌هایی که صرفاً با یک عدد و یکای مناسب شناسایی می‌شوند، «کمیت نرده‌ای» می‌گوییم. این کمیت‌ها از قواعد جمع جبری (همانی که در دوره دبستان خوانده‌اید) پیروی می‌کنند.

نمونه جرم، یک کمیت نرده‌ای است که با یک عدد و یکای مناسب (مثل 65 kg) بیان می‌شود. ضمن این‌که جرم از قواعد جمع معمولی پیروی می‌کند (مثلاً همیشه $3 \text{ kg} + 4 \text{ kg} = 7 \text{ kg}$ است).

کمیت برداری

این کمیت‌ها یک چیز اضافه‌تر از کمیت‌های نرده‌ای دارند: جهت، بنابراین از قواعد جمع برداری پیروی می‌کنند.



نمونه اگر از شخصی آدرس محلی را بپرسید و او جواب بدهد 2 km ، آن محل را نمی‌توانید پیدا کنید! جهت رسیدن به آن مکان نیز باید مشخص شود؛ پس جابه‌جایی و مکان، کمیت‌هایی برداری هستند. فرض کنید شخصی مطابق شکل روبه‌رو، ابتدا فاصله $AB = 4 \text{ m}$ و سپس $BC = 3 \text{ m}$ را طی می‌کند. شخص در این حرکت 5 m جابه‌جا می‌شود: $AC = 5 \text{ m}$

همان‌طور که می‌بینید جابه‌جایی را نمی‌توانیم با استفاده از جمع معمولی حساب کنیم.

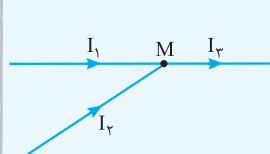
کمیت‌های برداری را به کمک پیکانی بالای نماد آن کمیت نشان می‌دهیم؛ مثل \vec{F} که نماد نیرو و \vec{v} که نماد سرعت است. حذف پیکان از روی نماد یک کمیت برداری به معنی بیان اندازه آن کمیت است. مثلاً اگر نیروی وارد بر جسمی 2 N است، این موضوع باید به شکل $F = 2 \text{ N}$ مطرح شود (نماد $\vec{F} = 2 \text{ N}$ اشتباه است).

نست در کدام یک از گزینه‌های زیر، همه کمیت‌ها برداری هستند؟

- (۱) گرما، انرژی جنبشی، فشار (۲) جریان الکتریکی، جرم، نیرو (۳) تندی، جابه‌جایی، مسافت (۴) وزن، شتاب، سرعت

پاسخ گزینه:

به سه تا نکته توجه کنید. یکی این‌که وقتی کمیتی از جنس نرده‌ای یا برداری است، تمام اعضای خانواده آن کمیت از همان جنس‌اند. مثلاً همه انرژی‌ها نرده‌ای‌اند؛ انرژی جنبشی، انرژی پتانسیل، انرژی گرمایی و خلاصه همه انرژی‌ها. با این حساب «وزن» هم



که از جنس نیرو است، برداری است. نکته دوم در مورد «جریان الکتریکی» است. با این‌که برای جریان جهت قائل می‌شویم، اما این کمیت برداری نیست! چون تابع قاعده جمع برداری نیست. به طور مثال در شکل روبه‌رو، جریان‌های I_1 و I_2 به گره M وارد و I_3 از آن خارج می‌شود. سیم‌های حامل جریان‌های I_1 و I_2 هر زاویه‌ای با هم بسازند، تساوی $I_1 + I_2 = I_3$ برقرار است؛ یک کمیت برداری چنین خاصیتی ندارد.

و اما نکته سوم: از تقسیم یک کمیت برداری به یک کمیت نرده‌ای، یک کمیت برداری ایجاد می‌شود. مثلاً شتاب، حاصل تقسیم کمیت برداری نیرو بر کمیت نرده‌ای جرم است: $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$

جابه‌جایی برداری است؛ مسافت نرده‌ای. سرعت برداری است؛ تندی نرده‌ای.

یکا (واحد)

به مقدار مشخصی از یک کمیت «یکا (یا واحد)» آن کمیت می‌گویند. اندازه‌گیری یک کمیت به معنی مقایسه آن کمیت با یکای آن است (به طور مثال وقتی می‌گوییم «طول جسمی 3 m است»، یعنی طول جسم 3 برابر یکای اندازه‌گیری طول است).

ویژگی‌های یکای استاندارد اندازه‌گیری

- تغییرناپذیر باشد.
- قابل بازتولید در مکان‌های مختلف باشد.

نمونه یکای «یارد» به صورت فاصله نوک بینی تا نوک انگشتان دست کشیده هنری اول (پادشاه انگلستان) تعریف شد و هنوز هم در بعضی کشورها برای اندازه‌گیری طول به کار می‌رود. بدترین یکای ممکن! نه ویژگی اول را دارد، نه ویژگی دوم را! (هنری اول حدود ۹۰۰ ساله مرده!)

کمیت‌های اصلی و فرعی

مجمع عمومی اوزان و مقیاس‌ها، طبقه‌بندی جدیدی از کمیت‌ها ارائه داد و آن‌ها را به دو دسته اصلی و فرعی تقسیم کرد.

کمیت‌های اصلی

کمیت‌هایی هستند که یکای آن‌ها به طور مستقل تعریف می‌شود. به مجموعهٔ یکاهای این کمیت‌ها «یکاهای اصلی» می‌گویند. تعداد این کمیت‌ها ۷ تا است که همراه با یکای آن‌ها در دستگاه بین‌المللی یکاها (SI) در جدول زیر فهرست شده‌اند.

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

کمیت‌های فرعی

کمیت‌هایی هستند که یکاهای آن‌ها حاصل ضرب یا تقسیم دو یا چند یکای اصلی است. به یکاهای این کمیت‌ها «یکاهای فرعی» می‌گویند. به طور مثال، سرعت یک کمیت فرعی است که یکای آن حاصل تقسیم دو یکای اصلی (m/s) است.

بعضی یکاهای فرعی را با نام به‌خصوصی بیان می‌کنیم؛ مثل نیوتون، ژول و ...؛ بعضی هم اسم ندارند (مثل m/s).

برای تشخیص رابطهٔ یکای فرعی با یکاهای اصلی باید رابطهٔ ریاضی که کمیت‌های مربوط به یکاها را به هم ربط می‌دهد پیدا کنیم و سپس جای کمیت‌های به کار رفته در رابطه را به یکای آن‌ها بدهیم.

نمونه می‌خواهیم رابطهٔ یکای نیرو در SI (یعنی نیوتون) را با یکاهای اصلی مشخص کنیم. با توجه به قانون دوم نیوتون می‌نویسیم:

$$F = ma \rightarrow \text{(یکای } F) = \text{(یکای } a) \cdot \text{(یکای } m) \rightarrow N = \text{kg} \times \text{m} / \text{s}^2$$

تست یکاهای ژول و پاسکال کدام رابطه را با یکدیگر دارند؟

$$\text{Pa} = J \cdot m \quad (1) \quad \text{Pa} = J / m^2 \quad (2) \quad \text{Pa} = J \cdot m^3 \quad (3) \quad \text{Pa} = J / m \quad (4)$$

پاسخ گزینهٔ ۲

با توجه به رابطهٔ فشار و نیرو:

$$P = \frac{F}{A} \rightarrow P \text{ (یکای } P) = \frac{F \text{ (یکای } F)}{A \text{ (یکای } A)} \rightarrow Pa = \frac{N}{m^2} \rightarrow N = Pa \cdot m^2 \quad (I)$$

$$W = Fd \rightarrow W \text{ (یکای } W) = (F \text{ (یکای } F)) \cdot (d \text{ (یکای } d)) \rightarrow J = N \cdot m \quad (II)$$

$$J = (Pa \cdot m^2) \times m \rightarrow Pa = J / m^3$$

و با توجه به رابطهٔ کار و جابه‌جایی:

از مقایسهٔ (I) و (II) نتیجه می‌گیریم:

سازگاری یکاها

دو طرف یک رابطهٔ فیزیکی قطعاً از جنس یک کمیت فیزیکی‌اند (مثلاً نمی‌شود یک طرف رابطه از جنس نیرو باشد و طرف دیگر از جنس انرژی)، بنابراین یکای دو طرف یک تساوی فیزیکی برابر است.

تست شتاب (a)، فاصله (x) و زمان (t) یک متحرک با رابطهٔ $a = \gamma x t^P$ به یکدیگر مربوط هستند (۲ عددی بدون یکا است). P چه عددی باشد تا معادلهٔ

این متحرک درست باشد؟

$$\frac{1}{2} \quad (1)$$

$$-\frac{1}{2} \quad (2)$$

$$2 \quad (3)$$

$$-2 \quad (4)$$

پاسخ گزینهٔ ۴

با توجه به سازگاری یکاهای دو طرف رابطه، می‌نویسیم:

$$P \text{ (یکای } t) \text{ (یکای } x) = \text{یکای } a$$

$$m / s^2 = m \times s^P \rightarrow s^{-2} = s^P \rightarrow P = -2$$

بررسی سه یکای اصلی (متر-کیلوگرم-ثانیه)

طول

مطالب زیر سیر تکامل یکای طول (متر) را در گذر زمان نشان می‌دهد:

(الف) یک ده‌میلیونیم ($\frac{1}{10^7}$) فاصلهٔ استوا تا قطب شمال. **(ب)** فاصلهٔ میان دو خراش ظریف در نزدیکی دو انتهای میله‌ای از جنس پلاتین- ایریدیم در دمای صفر درجهٔ سلسیوس. **(پ)** مسافتی که نور در مدت $\frac{1}{299792458}$ s در خلأ طی می‌کند.

یکای متر برای مقاصد نجومی یکای کوچکی است و در این زمینه از یکاهای بزرگتری مثل «یکای نجومی» و «سال نوری» استفاده می‌شود.

یکای نجومی (AU)

برابر میانگین فاصله زمین تا خورشید است. با توجه به این که نور با تندی تقریبی $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ فاصله خورشید تا زمین را در مدت تقریبی ۸ دقیقه و ۲۰ ثانیه طی می‌کند، یکای نجومی برابر است با:

$$x = vt \rightarrow 1 \text{ AU} = 3 \times 10^8 \times (8 \times 60 + 20) = 3 \times 10^8 \times 500 \rightarrow 1 \text{ AU} \approx 1.5 \times 10^{11} \text{ m}$$

سال نوری (ly)

مسافتی است که نور در مدت یک سال در خلأ طی می‌کند. برای محاسبه این فاصله به روش زیر عمل می‌کنیم:

$$1 \text{ year} = 365 \text{ day} = 365 \times 24 \text{ h} = 365 \times 24 \times 3600 \text{ s} = 31536000 \text{ s}$$

$$x = vt \rightarrow 1 \text{ ly} = 3 \times 10^8 \times 31536000 = 94608 \times 10^{11} \text{ m} \rightarrow 1 \text{ ly} \approx 9.5 \times 10^{15} \text{ m}$$

تست تقریباً ۸ دقیقه طول می‌کشد تا نور از سطح خورشید به زمین برسد. با این فرض، یک سال نوری چند برابر یکای نجومی است؟

$$\frac{1 \text{ ly}}{1 \text{ AU}} = \frac{94608 \times 10^{11} \text{ m}}{1.5 \times 10^{11} \text{ m}} = 630720$$

پاسخ گزینه ۳

جرم

یکای جرم در SI کیلوگرم است. یک کیلوگرم جرم استوانه‌ای از جنس آلایژ پلاتین-ایریدیم است که در موزه سور فرانسه نگهداری می‌شود و نمونه‌های مشابهی از آن برای هر کشور ارسال شده است.

زمان

در هر رویدادی که به طور منظم و در بازه‌های زمانی یکسان اتفاق می‌افتد، می‌توان برای تعریف یکای زمان استفاده کرد. طبق یک تعریف قدیمی «یک ثانیه $\frac{1}{86400}$ میانگین روز خورشیدی است». چون زمان یک شبانه‌روز ثابت نیست، این تعریف منسوخ شده و در حال حاضر ثانیه براساس ساعت‌های اتمی تعریف می‌شود.

تبدیل یکاها

ضریب تبدیل

اگر یکای y با یکای x رابطه $y = ax$ را داشته باشند، به نسبت $(\frac{y}{ax})$ یا $(\frac{ax}{y})$ «ضریب تبدیل» یکاهای y و x می‌گوییم. در واقع ضریب تبدیل، نسبتی از یکاها است که برابر ۱ است.

نمونه هر ساعت ۳۶۰۰ ثانیه است؛ پس $(\frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}})$ یا $(\frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}})$ ضریب تبدیل این دو یکا به یکدیگر هستند.

با فرض $y = ax$ ، برای تبدیل عددی برحسب یکای y به یکای x کافی است عدد موردنظر را در ضریب تبدیل $(\frac{ax}{y})$ ضرب کنیم. به این روش در تبدیل یکاها به یکدیگر می‌گوییم «تبدیل زنجیره‌ای».

نمونه فرض کنیم با استفاده از ضریب تبدیل مناسب می‌خواهیم ببینیم 24 h چند ثانیه است. با توجه به این که هر ساعت 3600 s است، می‌نویسیم:

$$24 \text{ h} = (24 \text{ h})(1) = (24 \text{ h}) \left(\frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} \right) = 24 \times 3600 \text{ s} = 86400 \text{ s}$$

توجه کنید که اگر در نمونه بالا از ضریب تبدیل $(\frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}})$ استفاده می‌کردیم، یکاهای h با هم ساده نمی‌شدند. همیشه باید از ضریب تبدیلی استفاده کنید که صورت آن برحسب یکایی باشد که دست آوریم و مخرج آن شامل یکایی باشد که می‌خواهیم آن را حذف کنیم.

تست طول زمینی 100 یارد است. طول این زمین تقریباً چند سانتی‌متر است؟ (۱ یارد برابر ۳ فوت و هر فوت برابر ۱۲ اینچ و هر اینچ تقریباً $\frac{2}{5}$ سانتی‌متر است.)

$$\frac{100 \text{ yd}}{1 \text{ yd}} = \frac{3 \text{ ft}}{1 \text{ ft}} = \frac{12 \text{ in}}{1 \text{ in}} = \frac{2}{5} \text{ cm} \rightarrow 100 \times 3 \times 12 \times \frac{2}{5} \text{ cm} = 9600 \text{ cm}$$

پاسخ گزینه ۲ رابطه مستقیم یکاهای یارد و سانتی‌متر مطرح نشده است. باید سه‌تا ضریب تبدیل به کار ببریم. یکی از آن‌ها یارد (yd) را به فوت (ft)، دیگری فوت را به اینچ (in) و آخری اینچ را به سانتی‌متر (cm) تبدیل کند:

$$1 = 100 \text{ yd} = (100 \text{ yd})(1)(1)(1) \\ 1 = (100 \text{ yd}) \left(\frac{3 \text{ ft}}{1 \text{ yd}} \right) \left(\frac{12 \text{ in}}{1 \text{ ft}} \right) \left(\frac{2}{5} \text{ cm} \right) = 100 \times 3 \times 12 \times \frac{2}{5} \text{ cm} = 9600 \text{ cm}$$

تست سه اتومبیل A, B و C به ترتیب با تندی های ۳۰ متر بر ثانیه، ۷۲ کیلومتر بر ساعت و ۳ مایل بر دقیقه حرکت می کنند. کدام مقایسه بین تندی سه اتومبیل درست است؟ (هر مایل ۱۶۰۹ m است).

$v_C > v_A > v_B$ (۴) $v_A > v_C > v_B$ (۳) $v_C > v_B > v_A$ (۲) $v_A > v_B > v_C$ (۱)

پاسخ گزینه ۲: تندی اتومبیل های B و C را بر حسب متر بر ثانیه به دست می آوریم تا بتوانیم به راحتی آن ها را مقایسه کنیم:

$$v_B = 72 \text{ km/h} = (72 \frac{\text{km}}{\text{h}})(1)(1) = (72 \frac{\text{km}}{\text{h}})(\frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}})(\frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}}) = \frac{72}{3.6} \text{ m/s} = 20 \text{ m/s}$$

$$v_C = 3 \frac{\text{mi}}{\text{min}} = (3 \frac{\text{mi}}{\text{min}})(1)(1) = (3 \frac{\text{mi}}{\text{min}})(\frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}})(\frac{1609 \text{ m}}{1 \text{ mi}}) = \frac{1609}{20} \text{ m/s} \approx 80 \text{ m/s} \Rightarrow v_C > v_A > v_B$$

پیشوندهای یکاها

یکی از خوبی های دستگاه SI این است که می توانید با اضافه کردن پیشوندهایی به یکاهای اصلی، آن یکاها را به اندازه کافی کوچک یا بزرگ کنید. این پیشوندها در جدول روبهرو فهرست شده اند. (پیشوندهایی که کاربرد بیشتری دارند با رنگ مشخص شده اند).

پیشوندهای کاهنده			پیشوندهای افزاینده		
نام پیشوند	نماد	ضریب	نام پیشوند	نماد	ضریب
دسی	d	۱۰ ^{-۱}	دکا	da	۱۰ ^۱
سانتی	c	۱۰ ^{-۲}	هکتو	h	۱۰ ^۲
میلی	m	۱۰ ^{-۳}	کیلو	k	۱۰ ^۳
میکرو	μ	۱۰ ^{-۶}	مگا	M	۱۰ ^۶
نانو	n	۱۰ ^{-۹}	گیگا (جیگا)	G	۱۰ ^۹
پیکو	p	۱۰ ^{-۱۲}	ترا	T	۱۰ ^{۱۲}
فمتو	f	۱۰ ^{-۱۵}	پتا	P	۱۰ ^{۱۵}

نمونه اضافه کردن پیشوند میکرو در کنار یکای اصلی، آن یکا را یک میلیون بار کوچک تر و اضافه کردن پیشوند مگا در کنار یکای اصلی، آن یکا را یک میلیون بار بزرگ تر می کند:

$1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$, $1 \text{ Mm} = 10^6 \text{ m}$

۱ μm را یک «میکرون» می نامند.

تست جرم یک گیره کاغذ ۱۰^{-۴} kg است. جرم این گیره چند میلی گرم است؟

10^{-7} (۴) 10^{-3} (۳) 10^{-1} (۲) 10^2 (۱)

پاسخ گزینه ۱: راه اول با استفاده از تبدیل زنجیره ای داریم:

$$10^{-4} \text{ kg} = (10^{-4} \text{ kg})(1)(1) = (10^{-4} \text{ kg})(\frac{10^3 \text{ g}}{1 \text{ kg}})(\frac{1 \text{ mg}}{10^{-3} \text{ g}}) = 10^{-4} \times 10^6 \text{ mg} = 10^2 \text{ mg}$$

راه دوم در واقع می خواهیم بدانیم $\frac{10^{-4} \text{ kg}}{1 \text{ mg}}$ چه مقدار است. می نویسیم:

$$\frac{10^{-4} \text{ kg}}{1 \text{ mg}} = \frac{10^{-4} \times 10^3 \text{ g}}{1 \times 10^{-3} \text{ g}} = 10^2$$

هنگام تبدیل یکاهای توان دار به یکدیگر، مضرب معادل پیشوند را هم باید به توان برسانید.

نمونه به روش تبدیل یکاهای m^2 به cm^2 و m^3 به cm^3 توجه کنید:

$(1 \text{ m})^2 = (10^2 \text{ cm})^2 \rightarrow 1 \text{ m}^2 = 10^4 \text{ cm}^2$ $(1 \text{ m})^3 = (10^2 \text{ cm})^3 \rightarrow 1 \text{ m}^3 = 10^6 \text{ cm}^3$

یک هکتومتر مربع را یک «هکتار» می نامیم. طبق محاسبات زیر هر هکتار ۱۰ هزار متر مربع است:

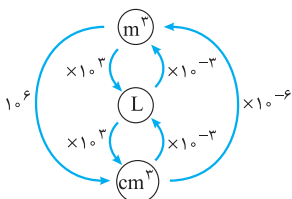
$1 \text{ hm} = 10^2 \text{ m} \rightarrow (1 \text{ hm})^2 = (10^2 \text{ m})^2 \rightarrow 1 \text{ hm}^2 = 10^4 \text{ m}^2 \rightarrow 1 \text{ hm}^2 = 10000 \text{ m}^2$

هر لیتر (L) معادل 1000 cm^3 است؛ بنابراین برای تبدیل یکاهای m^3 و L و cm^3 به یکدیگر می توانید

از شکل روبهرو استفاده کنید.

تغییرات یک کمیت در واحد زمان را **آهنگ تغییر** آن کمیت می نامند.

نمونه وقتی می گوئیم آهنگ رشد گیاهی $10 \mu\text{m/s}$ است، یعنی این گیاه در هر ثانیه $10 \mu\text{m}$ رشد می کند.



نکته از یک شلنگ آب با آهنگ ۵۰ لیتر بر دقیقه خارج می‌شود. چند ساعت طول می‌کشد تا توسط این شلنگ، استخری به ابعاد $5\text{ m} \times 6\text{ m} \times 2\text{ m}$ از آب پر شود؟

پاسخ گزینه ۳ حجم استخر برابر است با:

$$V = 5 \times 6 \times 2 = 60\text{ m}^3$$

آهنگ خروج آب از شلنگ را برحسب متر مکعب بر دقیقه حساب می‌کنیم:

$$50 \frac{\text{L}}{\text{min}} = 50 \times \frac{10^{-3}\text{ m}^3}{\text{min}} = 5 \times 10^{-2}\text{ m}^3 / \text{min}$$

پس هر دقیقه $5 \times 10^{-2}\text{ m}^3$ آب به آب استخر اضافه می‌شود و زمان پرشدن استخر (t) را می‌توان به صورت زیر حساب کرد:

$$V = \text{زمان} \times \text{آهنگ خروج آب} \rightarrow (60\text{ m}^3) = (5 \times 10^{-2} \frac{\text{m}^3}{\text{min}}) \times t \rightarrow t = 1200\text{ min} = 20 \times 60\text{ min} = 20\text{ h}$$

نمادگذاری علمی

نمادگذاری علمی روش مناسبی برای نوشتن اعداد بسیار بزرگ یا بسیار کوچک است. در این روش هر عدد را به شکل حاصل ضرب عددی از ۱ تا ۱۰ در توان صحیحی از ۱۰ می‌نویسند. بنابراین، عدد X با استفاده از نمادگذاری علمی به شکل زیر نوشته می‌شود:

$$x = a \times 10^n \quad (1 \leq a < 10, n \in \mathbb{Z})$$

نمونه سرعت نور در خلأ 299792458 m/s است. این عدد به کمک نمادگذاری علمی به شکل $2.99792458 \times 10^8\text{ m/s}$ نوشته می‌شود. (توان ۸ برابر تعداد رقم‌هایی است که بعد از ممیز قرار داده‌ایم). قطر میانگین یک گلبول فرمز 0.0000071 m است. این عدد با استفاده از نمادگذاری علمی به شکل $7.1 \times 10^{-6}\text{ m}$ نوشته می‌شود (عدد ۶ بیانگر تعداد رقم‌هایی است که ممیز به سمت راست رفته است).

پرسش‌های چهارگزینه‌ای

۷- کدام عبارت دربارهٔ یک کمیت فیزیکی نادرست است؟

- (۱) به هر چیزی که بتوان آن را اندازه گرفت، کمیت فیزیکی می‌گوییم.
- (۲) یکای هر کمیت، مقدار معینی از همان کمیت است.
- (۳) همهٔ کمیت‌های فیزیکی دارای یکا هستند.
- (۴) کمیت‌هایی که یکای آن‌ها به طور مستقل تعریف شده است را کمیت‌های اصلی می‌نامیم.

۸- آیا لازم است برای هر یک از کمیت‌های فیزیکی یکای مستقلی تعریف شود؟ چرا؟

- (۱) بله، چون تعداد کمیت‌های فیزیکی محدود است.
- (۲) بله چون هر کمیتی یکای مخصوص به خود را دارد.
- (۳) خیر، چون در عمل با تمام کمیت‌های فیزیکی سروکار نداریم.
- (۴) خیر، چون رابطه‌ها و تعریف‌های فیزیکی کمیت‌ها را به هم مربوط می‌کند.

۹- در دستگاه SI از کمیت‌های اصلی و از کمیت‌های فرعی می‌باشند.

- (۱) حجم و جرم - زمان و انرژی
- (۲) جرم و زمان - طول و نیرو
- (۳) طول و جرم - مساحت و نیرو
- (۴) نیرو و دما - سرعت و شدت جریان

۱۰- کدام یک از گزینه‌های زیر از یکاهای اصلی در SI نمی‌باشد؟

- (۱) آمپر
- (۲) مول
- (۳) گرم
- (۴) کندلا

۱۱- از میان کمیت‌های زیر، دو تا جزو کمیت‌های اصلی هستند. یکای این دو کمیت در SI مطابق کدام گزینه است؟

نیرو، فشار، مقدار ماده، انرژی، شدت روشنایی و توان

۱۲- می‌دانیم نیوتون (N) یکای نیرو، پاسکال (Pa) یکای فشار، ژول (J) یکای انرژی و وات (W) یکای توان در SI هستند. کدام کمیت برحسب یکاهای اصلی به درستی بیان نشده است؟

$$N = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} \quad (1) \quad Pa = \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2} \quad (2) \quad J = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2} \quad (3) \quad W = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^3} \quad (4)$$

۱۳- چندتا از کمیت‌های زیر نرده‌ای هستند؟

مسافت، جابه‌جایی، سرعت، تندی، جرم و وزن

- (۱) ۲
- (۲) ۳
- (۳) ۴
- (۴) ۵

۱۴- کدام گروه از کمیت‌های زیر همگی برداری هستند؟

(۱) توان، اندازه حرکت، سرعت

(۳) شتاب، انرژی، نیرو

۱۵- کدام یک از عبارتهای زیر درباره کمیت‌های برداری کامل‌تر است؟

(۱) هر کمیتی که قابل اندازه‌گیری باشد، برداری است.

(۳) کمیتی است که علاوه بر بزرگی، جهت هم دارد.

(آزمون پیش‌دانشگاهی ریاضی ■ ۷۷)

(۲) سرعت، نیرو، شتاب

(۴) مکان، اندازه حرکت، کار

(۲) کمیتی است که تنها بزرگی دارد.

(۴) کمیتی است که از قاعده جمع برداری پیروی می‌کند.

۱۶- می‌توان برای زمان جهت قائل شد (از گذشته به حال مثبت)، هم‌چنین جریان الکتریکی در یک سیم دارای جهت است. با این وصف کمیت‌های زمان و جریان

الکتریکی به ترتیب از چه نوع‌اند؟

(۱) برداری، برداری

(۳) برداری، عددی

(۲) عددی، برداری

(۴) عددی، عددی

۱۷- مکان یک ذره (x) نسبت به زمان (t) با تابع $x = At - t^2$ بیان شده است. A چه کمیتی است؟

(۱) مکان (۲) سرعت

(۳) شتاب

(۴) زمان

۱۸- شعاع اتم هیدروژن برابر 5.3×10^{-9} / آنگستروم است. شعاع این اتم با نمادگذاری علمی چند متر است؟

(۱) 5.3×10^{-9}

(۲) 5.3×10^{-10}

(۳) 5.3×10^{-11}

(۴) 5.3×10^{-11}

۱۹- با توجه به پیشوندهای یکاها، کدام عبارت نادرست است؟

(۱) هر دقیقه معادل 6×10^1 نانوثانیه است.

(۲) هر متر مربع معادل 10^4 سانتی‌متر مربع است.

(۳) هر لیتر معادل یک دسی‌متر مکعب است.

(۴) هر کیلومتر مربع معادل 10^3 هکتار است.

۲۰- در کدام گزینه، تبدیل یکاها نادرست است؟

(۱) $1 \text{ m/s} = 3.6 \text{ km/h}$

(۲) $1 \text{ g/cm}^3 = 1000 \text{ kg/m}^3$

(۳) $1 \text{ cm}^3/\text{s} = 0.6 \text{ L/min}$

(۴) $1 \text{ g/L} = 1 \text{ kg/m}^3$

۲۱- حداکثر سرعت مجاز در یک جاده کوهستانی، ۴۵ مایل بر ساعت است. اگر هر مایل برابر ۱۶۰۰ متر باشد، این سرعت چند متر بر ثانیه است؟ (تمرین فیزیک پایه ■)

(۱) ۷/۸

(۲) ۱۲/۵

(۳) ۲۰

(۴) ۲۸/۱

۲۲- از شلنگی آب با آهنگ $75 \text{ cm}^3/\text{s}$ خارج می‌شود. آهنگ خروج آب از این شلنگ چند لیتر بر دقیقه است؟ (تمرین کتاب درسی ■)

(۱) ۳

(۲) ۴/۵

(۳) ۱۵

(۴) ۲۵

۲۳- هواپیمایی در فاصله ۳۰۰۰۰ فوت) از سطح آزاد دریاها در حال پرواز است. ارتفاع پرواز این هواپیما چند کیلومتر است؟ ($1 \text{ in} = 2.54 \text{ cm}$, $1 \text{ ft} = 12 \text{ in}$)

(۱) ۳

(۲) ۵

(۳) ۹

(۴) ۳۰

(تمرین کتاب درسی ■)

۲۴- ذرع و فرسنگ از جمله یکاهای قدیمی ایرانی برای طول هستند. هر ذرع 10^4 سانتی‌متر و هر فرسنگ 6000 ذرع است. یک فرسنگ مربع تقریباً چند هکتار است؟

(۱) ۶/۲۴

(۲) ۳۹

(۳) ۳۹۰۰

(۴) ۶۲۴۰

(تمرین کتاب درسی ■)

۲۵- جرم الماس کوه نور ۱۸۲ قیراط است. اگر هر قیراط ۲۰۰ میلی‌گرم و هر مثقال معادل $4/68$ گرم باشد، جرم این الماس تقریباً چند مثقال است؟

(۱) ۷/۷۸

(۲) ۸/۳۱

(۳) ۳۶/۴

(۴) ۳۸/۹

(تمرین کتاب درسی ■)

۲۶- خروار، از جمله یکاهای قدیمی ایران برای اندازه‌گیری جرم است. هر خروار تقریباً معادل چند کیلوگرم است؟

(۱ خروار = 100 من تبریز، ۱ من تبریز = 640 مثقال و ۱ مثقال = $4/68$ گرم)

(۱) ۳

(۲) ۱۰

(۳) ۱۰۰

(۴) ۳۰۰

(فعالیت کتاب درسی ■)

۲۷- گیاهی در مدت ۵ روز، $21/6$ سانتی‌متر رشد می‌کند. آهنگ رشد این گیاه چند میکرومتر بر ثانیه است؟ (تمرین کتاب درسی ■)

(۱) ۰/۵

(۲) ۱

(۳) ۲/۵

(۴) ۵

(تمرین کتاب درسی ■)

۲۸- سال نوری (ly) واحد اندازه‌گیری چه کمیتی است و اگر 500 ثانیه طول بکشد تا نور از خورشید به زمین برسد، یک یکای نجومی (AU) معادل چند متر است؟ ($c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$)

(۱) طول، 6×10^5

(۲) طول، $1/5 \times 10^{11}$

(۳) زمان، 6×10^5

(۴) زمان، $1/5 \times 10^{11}$

(تمرین کتاب درسی ■)

۲۹- اتومبیلی برای پیمودن 100 مایل، $\frac{1}{3}$ گالن بنزین مصرف می‌کند. این اتومبیل با مصرف هر لیتر سوخت چند کیلومتر را طی می‌کند؟ (هر گالن برابر با $3/75$ لیتر و هر مایل معادل $1/6$ کیلومتر است.)

(۱) ۵

(۲) ۸

(۳) ۱۰

(۴) ۱۶

(تمرین فیزیک دانشگاهی ■)

۳۰- کالایی برای رسیدن به مقصد باید 50 مایل را با قطاری با تندی 40 km/h و 45 مایل را با یک کشتی با تندی 15 گره دریایی طی کند. کل زمانی که برای حمل کالا صرف می‌شود، چند ساعت است؟ (هر مایل در خشکی تقریباً 1600 متر و در دریا تقریباً 1800 متر است و هر گره دریایی تقریباً معادل 0.5 m/s است.)

(۱) ۲

(۲) ۳

(۳) ۴

(۴) ۵

(برگرفته از تمرین کتاب درسی ■)



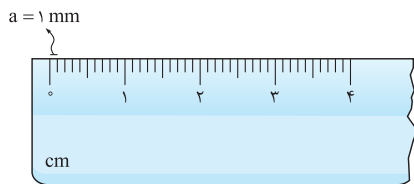
هیچ اندازه‌گیری‌ای نمی‌تواند بی‌نقص باشد و به دلیل محدودیت در ساخت ابزارهای اندازه‌گیری و خطاهای انسانی، همه اندازه‌گیری‌ها با خطا و عدم قطعیت همراه هستند؛ اما با اتخاذ تدابیری می‌توان این خطاها را تا حد امکان کاهش داد.

- عوامل مؤثر در افزایش دقت اندازه‌گیری
- ۱ استفاده از وسیله‌ای با دقت اندازه‌گیری بالاتر
 - ۲ کاهش خطاهای انسانی (مهارت شخصی آزمایشگر)
 - ۳ افزایش تعداد دفعات اندازه‌گیری

دقت اندازه‌گیری

دقت وسیله اندازه‌گیری

به کم‌ترین مقداری که با یک وسیله اندازه‌گیری می‌توان اندازه گرفت «دقت اندازه‌گیری» آن وسیله می‌گویند و در این کتاب آن را با a نشان می‌دهیم.



(الف)



(ب)

نمونه کوچک‌ترین طولی که توسط خط‌کش شکل (الف) می‌توان اندازه گرفت ۱ mm است. پس دقت اندازه‌گیری این خط‌کش ۱ mm است:

در واقع، دقت اندازه‌گیری وسایل مدرج، برابر کمینه درجه‌بندی آن وسیله است. فرض کنید دماسنج رقمی (دیجیتال) شکل (ب) در محیطی با دمای $^{\circ}\text{C}$ قرار دارد. به تدریج محیط را گرم می‌کنیم. همراه با افزایش دمای محیط، عددی که دماسنج نشان می‌دهد بالا و بالاتر می‌رود. اولین عددی که نشان می‌دهد چه قدر است؟ $^{\circ}\text{C}/1$ ، عدد بعدی: $^{\circ}\text{C}/2$ ، $^{\circ}\text{C}/3$ ، $^{\circ}\text{C}/4$ و ...؛ پس فاصله بین عددهای متوالی که با دماسنج نشان می‌دهد $^{\circ}\text{C}/1$ است و دقت اندازه‌گیری با این دماسنج همین مقدار است.

در واقع، دقت اندازه‌گیری در وسایل رقمی، برابر یک واحد از آخرین رقمی است که وسیله نشان می‌دهد.

خطای اندازه‌گیری

اگر شخصی اصول اندازه‌گیری با وسایل مدرج را بلد باشد، حداکثر اشتباهی که در اندازه‌گیری با آن وسیله ممکن است مرتکب شود برابر نصف کمینه درجه‌بندی آن وسیله است. اصطلاحاً می‌گوییم **خطای اندازه‌گیری با وسایل مدرج (e) برابر مثبت یا منفی نصف دقت اندازه‌گیری با آن وسیله است:**

$$e = \pm \frac{a}{2}$$

$$e = \pm a$$

$$e = \pm \frac{a}{2} = \pm \frac{1}{2} \text{ mm}$$

$$e = \pm a = \pm 0.1^{\circ}\text{C}$$

به همین ترتیب می‌توانیم استدلال کنیم **خطای اندازه‌گیری در وسایل رقمی برابر مثبت یا منفی دقت آن وسیله است:**

نمونه در نمونه قبلی، دقت اندازه‌گیری با خط‌کش برابر است با:

و خطای اندازه‌گیری با دماسنج:

رقم‌های بامعنا

به رقم‌های حاصل از اندازه‌گیری، «رقم‌های بامعنا» می‌گویند.

نمونه فرض کنید نتیجه اندازه‌گیری طول میله‌ای با یک خط‌کش ۳/۴ m و با خط‌کش دیگری ۳/۴۰ m باشد. تعداد رقم‌های بامعنا در اندازه‌گیری اول ۲ و در اندازه‌گیری دوم ۳ است (یعنی ۰ را هم به حساب می‌آوریم). واضح است که هر چه تعداد ارقام بامعنا در یک اندازه‌گیری بیشتر باشد، دقت آن اندازه‌گیری بالاتر است. در هنگام تبدیل یک‌کاه به یکدیگر نباید تعداد ارقام بامعنا تغییر کند.

نمونه فرض کنید طول جسمی ۴۲ mm گزارش شده است. طول این جسم ۰/۴۲ m است. هر دوی این اعداد (۴۲ mm, ۰/۴۲ m) دو رقم بامعنا دارند، به این معنی که در عدد ۰/۴۲ m صفرهای سمت چپ عدد ۴ جزو ارقام بامعنا حساب نمی‌شوند.

صفرهایی که سمت چپ اولین عدد غیرصفر هستند، بامعنا نیستند (قبول دارید این صفرها، با صفری که از اندازه‌گیری به دست می‌آید، فرق می‌کنند؟!)

نمونه فرض کنید طول جسمی ۴۲ m گزارش شده است. طول این جسم چند میلی‌متر است؟ اگر جوابتان ۴۲۰۰۰ mm است، سخت در اشتباهید! ۴۲ m دو رقم بامعنا دارد و ۴۲۰۰۰ mm پنج رقم بامعنا! در ضمن، دقت این دو عدد با هم خیلی فرق دارند! درستش این است که بنویسیم: $42 \text{ m} = 42 \times 10^3 \text{ mm}$ و در شمارش ارقام بامعنا (در عدد $42 \times 10^3 \text{ mm}$) فقط به عدد ۴۲ توجه کنیم.

اگر عدد ثبت‌شده در یک اندازه‌گیری به شکل $ab \dots \times 10^x$ مطرح شود ($x \in \mathbb{Z}$)، این عدد دارای n رقم بامعنا است و عدد صحیح x تأثیری در تعداد ارقام بامعنا ندارد.

رقم حدسی

به آخرین رقم سمت راست حاصل از یک اندازه‌گیری که آن را حدس می‌زنیم، «رقم حدسی» یا «رقم غیرقطعی» می‌گوییم. این رقم‌ها هم جزو ارقام بامعنا به حساب می‌آیند.

در وسایل اندازه‌گیری رقمی هم آخرین رقم سمت راست، مشکوک و غیرقطعی است (یعنی امکان دارد اشتباه باشد).

گزارش نتیجه اندازه‌گیری

نتیجه حاصل از یک اندازه‌گیری به صورت «خطای وسیله \pm عدد حاصل از اندازه‌گیری» نوشته می‌شود.

عدد حاصل از اندازه‌گیری در ابزارهای مدرج شامل عدد حدسی شخص آزمایشگر نیز می‌باشد.

تعداد رقم‌های اعشاری خطا باید با تعداد رقم‌های اعشاری عدد حاصل از اندازه‌گیری برابر باشد.

نمونه

از نظر فیزیکی نتیجه یک اندازه‌گیری را اجازه نداریم به شکل مقابل بنویسیم:

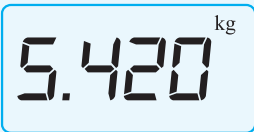
چون $4/2$ یک رقم اعشار دارد و $0/25$ دوتا، باید عدد $0/25$ را گرد کنیم و عدد $0/3$ را جای آن قرار دهیم:

$$4/2 \pm 0/25$$

$$4/2 \pm 0/3$$

تست

صفحه نمایشگر یک ترازوی دیجیتال مطابق شکل روبه‌رو است. کدام یک از اعداد زیر، گزارش درست‌تری از این اندازه‌گیری است؟



$$(5/42 \pm 0/01) \text{ kg (2)}$$

$$(5420 \pm 0/5) \text{ g (4)}$$

$$5/420 \text{ kg (1)}$$

$$(5420 \pm 1) \text{ g (3)}$$

پاسخ گزینه ۳

ترازو 5420 g را نشان می‌دهد. نزدیک‌ترین اعداد به این عدد که ممکن است ترازو نشان دهد، اعداد 5419 g و 5421 g است؛

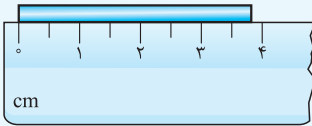
پس فاصله بین مقادیر متوالی که ترازو نشان می‌دهد 1 g است:

$$e = a = 1 \text{ g} \Rightarrow \text{گزارش نمایشگر ترازو} = 5420 \pm 1 \text{ g}$$

(توجه بفرمایید که عدد صفر در خوانده ترازو جزو ارقام بامعنا است و حق نداریم آن را نادیده بگیریم و گزارشی مانند ۲ را ارائه دهیم.)

تست

در شکل روبه‌رو، طول چوبی را توسط یک خط‌کش اندازه گرفته‌ایم. نتیجه این اندازه‌گیری (برحسب سانتی‌متر) به کدام صورت باید بیان شود؟



$$3/84 \pm 0/02 \text{ (2)}$$

$$3/8 \pm 0/3 \text{ (4)}$$

$$3/84 \pm 0/25 \text{ (1)}$$

$$3/8 \pm 0/25 \text{ (3)}$$

پاسخ گزینه ۲

شاید شخصی طول چوب را نزدیک به $3/7$ و شخص دیگری نزدیک به $3/8$ بیان کند. هر دوی این اعداد محترم‌اند! رقم ۳ قطعی

و رقم‌های ۷ و ۸ غیرقطعی‌اند. ما مجاز نیستیم از دو رقم غیرقطعی برای گزارش نتیجه یک اندازه‌گیری استفاده کنیم. پس ۱ و ۲ قابل قبول نیستند. از

طرفی فاصله درجه‌های متوالی خط‌کش و در نتیجه دقت اندازه‌گیری توسط آن $0/5 \text{ cm}$ است:

$$e = \pm \frac{a}{4} = \pm 0/25 \text{ cm}$$

خطای اندازه‌گیری توسط این خط‌کش برابر است با:

عدد گزارش شده ($3/8$) یک رقم اعشار دارد؛ خطای اندازه‌گیری هم باید یک رقم اعشار داشته باشد. پس e را گرد می‌کنیم ($e = \pm 0/3 \text{ cm}$) و طول

چوب را $(3/8 \pm 0/3) \text{ cm}$ بیان می‌کنیم.

مهارت شخص آزمایشگر

مهارت شخص آزمایشگر در به کارگیری ابزار اندازه‌گیری روی دقت اندازه‌گیری تأثیرگذار است. یکی از این مهارت‌ها نحوه خواندن نتیجه اندازه‌گیری با ابزارهای اندازه‌گیری مدرج است که با یک نمونه توضیح داده می‌شود.

نمونه

در شکل روبه‌رو سه شخص A، B و C از سه منظر مختلف، دمای نشان داده شده توسط یک دماسنج را

می‌خوانند. شخص B که در یک تراز افقی با سطح مایع دماسنج قرار دارد، عدد دماسنج را 20°C و اشخاص A و C که

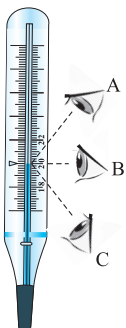
به طور مایل به سطح مایع نگاه می‌کنند، عدد دماسنج را به ترتیب 22°C و 18°C تشخیص می‌دهند. واضح است که

شخص B در موضعی قرار گرفته که گزارش دقیق‌تری از دما را بیان می‌کند.

تعداد دفعات اندازه‌گیری

برای اطمینان از نتیجه یک اندازه‌گیری آن اندازه‌گیری را معمولاً چند بار تکرار می‌کنند. نتایجی را که اختلاف زیادی با

بقیه دارند، حذف و میانگین بقیه اعداد را به عنوان نتیجه نهایی گزارش می‌دهند.



تست

طول میله‌ای را ۵ بار اندازه گرفته‌ایم و مقادیر ۲۴، ۳۱، ۲۲، ۱۷ و ۲۳ (همگی بر حسب سانتی‌متر) به دست آمده است. کدام عدد زیر را (برحسب

سانتی‌متر) باید به عنوان نتیجه اندازه‌گیری طول این میله بیان کنیم؟

$$25 \text{ (4)}$$

$$23/4 \text{ (3)}$$

$$23 \text{ (2)}$$

$$21/5 \text{ (1)}$$

پاسخ گزینه ۲

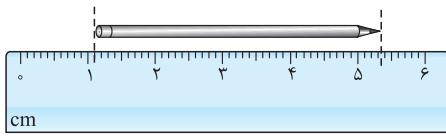
اعداد ۳۱ و ۱۷ فاصله زیادی با سه عدد دیگر دارند و آن‌ها را به حساب نمی‌آوریم. میانگین سه عدد باقی‌مانده برابر است با:

$$\frac{24 + 22 + 23}{3} = 23 \text{ cm}$$

پرسش‌های چهارگزینه‌ای

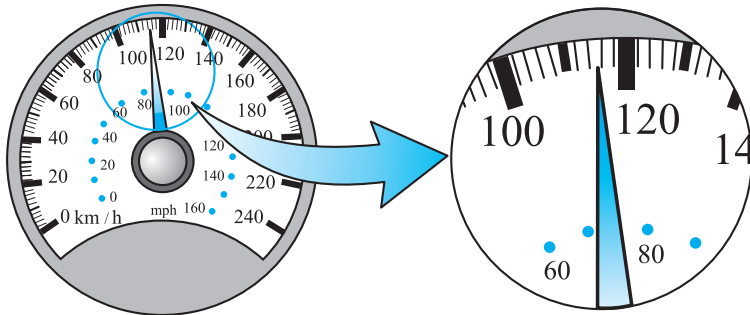


۳۱- دانش‌آموزی برای اندازه‌گیری طول مدادی مطابق شکل روبه‌رو عمل کرده است. کدام گزینه گزارش درست‌تری از این اندازه‌گیری است؟



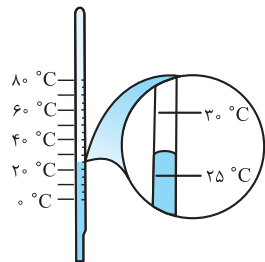
- (۱) $5.32 \text{ cm} \pm 0.05 \text{ cm}$
- (۲) $5.32 \text{ cm} \pm 0.1 \text{ cm}$
- (۳) $4.22 \text{ cm} \pm 0.05 \text{ cm}$
- (۴) $4.22 \text{ cm} \pm 0.1 \text{ cm}$

۳۲- شکل روبه‌رو، صفحه‌تندی سنج یک خودرو را نشان می‌دهد. کدام گزینه تندی این اتومبیل را درست‌تر نشان می‌دهد؟



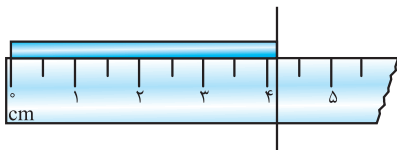
- (۱) $115 \text{ km} \pm 2 \text{ km}$
- (۲) $115 \text{ km} \pm 1 \text{ km}$
- (۳) $110 \text{ km} \pm 5 \text{ km}$
- (۴) $110 \text{ km} \pm 10 \text{ km}$

۳۳- کدام گزینه نتیجه‌اندازه‌گیری توسط دماسنج شکل مقابل را درست‌تر نشان می‌دهد؟



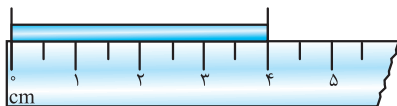
- (۱) $27^\circ \text{C} \pm 3^\circ \text{C}$
- (۲) $27^\circ \text{C} \pm 2/5^\circ \text{C}$
- (۳) $25^\circ \text{C} \pm 5^\circ \text{C}$
- (۴) $25^\circ \text{C} \pm 2/5^\circ \text{C}$

۳۴- در شکل روبه‌رو، نتیجه‌اندازه‌گیری طول جسم مطابق کدام گزینه است؟



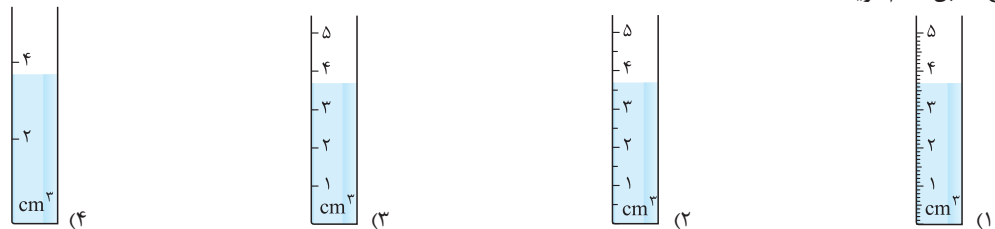
- (۱) $4.2 \text{ cm} \pm 0.25 \text{ cm}$
- (۲) $4.2 \text{ cm} \pm 0.3 \text{ cm}$
- (۳) $4 \text{ cm} \pm 0.25 \text{ cm}$
- (۴) $4 \text{ cm} \pm 0.3 \text{ cm}$

۳۵- در شکل زیر، به وسیله‌ی یک خط‌کش، طول جسمی را اندازه گرفته‌ایم. خطای اندازه‌گیری با این خط‌کش و تعداد ارقام بامعنای حاصل از این اندازه‌گیری مطابق کدام گزینه است؟



- (۱) $1.0 \pm 0.25 \text{ cm}$
- (۲) $2.0 \pm 0.25 \text{ cm}$
- (۳) $1.0 \pm 0.3 \text{ cm}$
- (۴) $2.0 \pm 0.3 \text{ cm}$

۳۶- مقداری مایع در یک استوانه‌ی مدرج وجود دارد. اگر نتیجه‌اندازه‌گیری حجم مایع با این استوانه‌ی مدرج به صورت $3/7 \text{ cm}^3 \pm 0.3 \text{ cm}^3$ باشد، شکل استوانه‌ی مدرج مطابق کدام گزینه است؟



۳۷- با یک خط‌کش میلی‌متری طولی را اندازه گرفته‌ایم. کدام گزینه می‌تواند نتیجه‌ی این اندازه‌گیری برحسب سانتی‌متر باشد؟

- (۱) $7/3 \pm 0.1 \text{ cm}$
- (۲) $7/3 \pm 0.05 \text{ cm}$
- (۳) $7/29 \pm 0.1 \text{ cm}$
- (۴) $7/29 \pm 0.05 \text{ cm}$

۳۸- ضخامت جسمی به صورت $2/40 \text{ mm} \pm 0.05 \text{ mm}$ اندازه‌گیری شده است. وسیله‌ی این اندازه‌گیری کدام است؟ (دقت اندازه‌گیری متر نواری، خط‌کش، کولیس و ریزسنج به ترتیب یک سانتی‌متر، یک میلی‌متر، 0.1 میلی‌متر و 0.01 میلی‌متر فرض شود).

- (۱) ریزسنج
- (۲) کولیس
- (۳) خط‌کش
- (۴) متر نواری

۳۹- با یک ریزسنج مدرج، طولی را اندازه گرفته‌ایم. نتیجه‌ی این اندازه‌گیری به صورت $0.0005 \text{ m} \pm 0.000020 \text{ m}$ گزارش شده است. کمینه‌ی تقسیم‌بندی این ریزسنج و تعداد ارقام بامعنای نتیجه‌ی این اندازه‌گیری مطابق کدام گزینه است؟

- (۱) $4.0/0.1 \text{ mm}$
- (۲) $3.0/0.1 \text{ mm}$
- (۳) $4.0/0.05 \text{ mm}$
- (۴) $3.0/0.05 \text{ mm}$

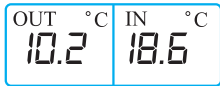
۴۰- شکل زیر، یک آمپرسنج رقمی (دیجیتال) را نشان می‌دهد. دقت اندازه‌گیری و تعداد ارقام بامعنای این اندازه‌گیری مطابق کدام گزینه است؟



- (۱) ۳.۱ mA
- (۲) ۴.۱ mA
- (۳) ۳.۰/۵ mA
- (۴) ۴.۰/۵ mA

۴۱- شکل زیر یک دماسنج دیجیتال را نشان می‌دهد که دمای داخل و خارج گلخانه‌ای را می‌خواند. کدام عبارت دربارهٔ این اندازه‌گیری نادرست است؟

(تمرین کتاب درسی ۵)



(۱) خطای اندازه‌گیری برابر $\pm 0.1^\circ\text{C}$ است.

(۲) دقت اندازه‌گیری برابر 0.2°C است.

(۳) حداقل اختلاف دمای داخل و خارج گلخانه برابر $8/2^\circ\text{C}$ است.

(۴) حداکثر اختلاف دمای داخل و خارج گلخانه برابر $8/6^\circ\text{C}$ است.

۴۲- به وسیلهٔ یک ترازوی آشپزخانه، جرم توپ فوتبالی را ده بار اندازه گرفته‌ایم. نتایج این اندازه‌گیری در جدول زیر آورده شده است. کدام گزینه (برحسب گرم) را باید به عنوان نتیجهٔ اندازه‌گیری جرم این توپ بیان کنیم؟

۴۲۵ g	۴۱۸ g	۴۲۳ g	۴۶۴ g	۴۱۶ g
۴۲۰ g	۴۷۶ g	۴۱۴ g	۴۲۰ g	۴۲۴ g

- (۱) ۴۱۸
- (۲) ۴۲۰
- (۳) ۴۲۵
- (۴) ۴۳۰

۴۳- با یک خطکش سانتی‌متری، دو ضلع عمود بر هم یک ورق فلزی مربع‌شکل را اندازه‌گیری کرده‌ایم. اگر نتیجهٔ هر دو اندازه‌گیری $10/0\text{ cm}$ باشد، حداکثر مساحت ممکن برای این ورق فلزی چند سانتی‌متر مربع بیشتر از حداقل مساحت ممکن آن است؟

- (۱) ۵
- (۲) ۱۰
- (۳) ۲۰
- (۴) ۴۰

درس ۴

تخمین مرتبهٔ بزرگی در فیزیک

تخمین

منظور از تخمین، بیان اندازهٔ یک کمیت به طور تقریبی است.

- موارد استفاده از تخمین
- ۱) اطلاعات لازم برای تعیین مقدار دقیق کمیت را نداشته باشیم.
 - ۲) نخواهیم زمان زیادی را برای محاسبات خود صرف کنیم.
 - ۳) دنبال دقت بالایی از اندازهٔ کمیت موردنظر نباشیم.

تخمین مرتبهٔ بزرگی

نوعی از تخمین است که در آن جواب نهایی به شکل توانی از 10 بیان می‌شود. برای انجام این نوع تخمین، عدد موردنظر را با استفاده از نمادگذاری علمی به شکل $a \times 10^n$ می‌نویسیم ($1 \leq a < 10, n \in \mathbb{Z}$) و سپس a را مطابق روش زیر گرد می‌کنیم:

اگر $1 \leq a < 5$ باشد: $a \sim (10^0 = 1)$
 اگر $5 \leq a < 10$ باشد: $a \sim (10^1 = 10)$

نمونه به نحوهٔ تخمین مرتبهٔ بزرگی دو عدد در زیر توجه بفرمایید:

$$x = 6340 \text{ m} \rightarrow x = 6/340 \times 10^3 \text{ m} \xrightarrow{(6/340 > 5)} x \sim 10^1 \times 10^3 \text{ m} \rightarrow x \sim 10^4 \text{ m}$$

$$x = 0/00491 \text{ m} \rightarrow x = 4/91 \times 10^{-3} \text{ m} \xrightarrow{(4/91 < 5)} x \sim 1 \times 10^{-3} \text{ m} \rightarrow x \sim 10^{-3} \text{ m}$$

تست جرم کرهٔ زمین $5/98 \times 10^{24} \text{ kg}$ و جرم الکترون $9/11 \times 10^{-31} \text{ kg}$ است. مرتبهٔ بزرگی جرم زمین چند برابر مرتبهٔ بزرگی جرم الکترون است؟

- (۱) 10^{53}
- (۲) 10^{54}
- (۳) 10^{55}
- (۴) 10^{56}

پاسخ گزینهٔ ۳

$$\begin{cases} M_E = 5/98 \times 10^{24} \sim 10 \times 10^{24} = 10^{25} \text{ kg} \\ m_e = 9/11 \times 10^{-31} \sim 10 \times 10^{-31} = 10^{-30} \text{ kg} \end{cases} \rightarrow \frac{M_E}{m_e} = \frac{10^{25}}{10^{-30}} = 10^{55}$$

تست جرم آب اقیانوس‌های کره زمین چند کیلوگرم تخمین زده می‌شود؟ (شعاع کره زمین را 6400 km و عمق متوسط اقیانوس‌ها را 4 km در نظر بگیرید.)

- (۱) 10^{18} (۲) 10^{21} (۳) 10^{24} (۴) 10^{27}

پاسخ گزینه ۲ گاهی برای تخمین لازم می‌شود از اطلاعات عمومی خود اندکی استفاده کنیم! مثلاً برای حل این تست باید بدانیم که حدود 0.7% مساحت سطح زمین را اقیانوس‌ها فرا گرفته‌اند. بنابراین:

$$A_{\text{زمین}} = 0.7 A_{\text{اقیانوس}}$$

$$A_{\text{اقیانوس}} = 0.7 (\pi R^2) = 0.7 \times (12/5) \times (6/4 \times 10^6)^2$$

بهتر است تا رسیدن به بخش محاسباتی نهایی از تقریب‌هایی با فاصله زیاد از اعداد اصلی (مانند تخمین مرتبه بزرگی) پرهیز کنیم.

$$A_{\text{اقیانوس}} = 10 \times 40 \times 10^{12} = 4 \times 10^{14} \text{ m}^2 \quad \text{در این صورت:} \quad (6/4)^2 \text{ و } 10 \text{ را با عدد } 40 \text{ تقریب بزنیم.}$$

$$V = Ah = (4 \times 10^{14}) \times (4 \times 10^3) = 1/6 \times 10^{18} \text{ m}^3 \quad \text{حجم آب اقیانوس را از حاصل ضرب مساحت در عمق آن حساب می‌کنیم:}$$

چگالی آب 1000 kg/m^3 است؛ یعنی هر متر مکعب آب 1000 kg جرم دارد. پس:

$$m = \rho V = 1000 \times 1/6 \times 10^{18} = 1/6 \times 10^{21} \text{ kg} \sim 1 \times 10^{21} \text{ kg} \rightarrow m \sim 10^{21} \text{ kg}$$

اگر در محاسبات خود اندکی اشتباه کنید (!) ممکن است به پاسخ‌های 10^{20} kg یا 10^{22} kg برسید که با توجه به اختلاف قابل توجه گزینه‌ها باید نزدیک‌ترین گزینه به این اعداد یعنی ۲ را انتخاب کنید. این نوع طراحی گزینه‌ها باعث می‌شود اشتباهات جزئی با جریمه همراه نباشند!

تست در یک روز بارانی، ظرف استوانه‌شکلی به شعاع قاعده 20 cm و ارتفاع 50 cm را در هوای آزاد قرار می‌دهیم. تعداد قطره‌های بارانی که این ظرف را از آب پر می‌کند، به کدام یک از اعداد زیر نزدیک‌تر است؟

- (۱) 10^2 (۲) 10^4 (۳) 10^6 (۴) 10^8

پاسخ گزینه ۳ ابتدا حجم استوانه را حساب می‌کنیم:

$$V = Ah = (\pi R^2)h = 3 \times (20 \times 10^{-2})^2 \times 50 = 6 \times 10^{-2} \text{ m}^3$$

هر قطره باران را به شکل کره‌ای به قطر 4 mm در نظر می‌گیریم. در این صورت حجم تقریبی هر قطره برابر است با:

$$V_1 = \frac{4}{3} \pi r^3 \approx \frac{4}{3} \times 3 \times (2 \times 10^{-3})^3 = 32 \times 10^{-9} = 3/2 \times 10^{-8} \approx 3 \times 10^{-8} \text{ m}^3$$

برای تشخیص تعداد قطره‌هایی که در سطل جای می‌گیرند، کافی است حجم سطل را به حجم هر قطره تقسیم کنیم:

$$n = \frac{V}{V_1} = \frac{6 \times 10^{-2}}{3 \times 10^{-8}} = 2 \times 10^6 \sim 10^6$$

پرسش‌های چهارگزینه‌ای

۴۴- مرتبه فشاری که یک شخص بالغ بر یک سطح افقی وارد می‌کند، چند پاسکال است؟

- (۱) 10^2 (۲) 10^4 (۳) 10^6 (۴) 10^8

۴۵- مرتبه حجم خونی که قلب یک انسان در طول عمرش پمپ می‌کند، چند لیتر است؟ (قلب در هر ضربه به طور میانگین 70 cm^3 خون به سرخرگ آئورت پمپ می‌کند.)

- (۱) 10^5 (۲) 10^8 (۳) 10^{11} (۴) 10^{14}

۴۶- مرتبه بزرگی تعداد نفس‌هایی که یک شخص در طول عمرش می‌کشد، به کدام گزینه نزدیک‌تر است؟

- (۱) 10^9 (۲) 10^{12} (۳) 10^{15} (۴) 10^{18}

۴۷- اگر کل کشور ایران را به صورت مسطح در نظر بگیریم، مرتبه تعداد اسکناس‌های 10 هزار تومانی لازم برای فرش کردن کل ایران به کدام گزینه نزدیک‌تر است؟

- (۱) 10^{14} (۲) 10^{17} (۳) 10^{20} (۴) 10^{23} (تمرین فیزیک دانشگاهی ▲)

۴۸- شهر رشت با مساحتی حدود 180 km^2 در زمینی مسطح و هموار در شمال ایران واقع است. در یک روز طوفانی حدود 10 mm باران در این شهر باریده است. مرتبه تعداد قطره‌های بارانی که در این روز روی شهر رشت باریده است، مطابق کدام گزینه است؟

- (۱) 10^{10} (۲) 10^{14} (۳) 10^{18} (۴) 10^{22}

۴۹- اطراف کره زمین لایه‌ای از هوا وجود دارد. به این لایه که از گازهای مختلفی تشکیل شده است، جو زمین گفته می‌شود. اگر شعاع زمین 6400 km و فشار جو در تمام نقاط سطح زمین 10^5 Pa باشد، مرتبه بزرگی جرم جو زمین چند کیلوگرم است؟

- (۱) 10^{16} (۲) 10^{19} (۳) 10^{22} (۴) 10^{25}

۵۰- مرتبه بزرگی حجم بنزینی که کل خودروهای ایران در یک سال مصرف می‌کنند، چند لیتر است؟

- (۱) 10^7 (۲) 10^{10} (۳) 10^{13} (۴) 10^{16}

۵۱- تخمین بزنید در هر شبانه‌روز چند لیتر بنزین، به صورت بخار وارد هوای شهر تهران می‌شود؟ (جرم مولی بنزین حدود 80 گرم بر مول است و چگالی بنزین 680 گرم بر لیتر است.)

- (۱) 10^3 (۲) 10^5 (۳) 10^7 (۴) 10^9

۵۲- قطر متوسط سلول‌های بدن انسان در حدود $10 \mu\text{m}$ است. مرتبهٔ تعداد سلول‌های بدن یک انسان بالغ به کدام گزینه نزدیک‌تر است؟

- (مثال کتاب گیاهپایستا) 10^{25} (۴) 10^{21} (۳) 10^{17} (۲) 10^{13} (۱)

۵۳- تخمین بزنید در یک سکهٔ ۵۰۰ تومانی چند اتم وجود دارد؟ (جرم اتمی نیکل $58/71$ گرم بر مول است.)

- (مثال فیزیک اوهانپیان) 10^{23} (۴) 10^{19} (۳) 10^{15} (۲) 10^{11} (۱)

۵۴- تخمین بزنید در اتاقی به ابعاد $3 \text{ m} \times 8 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ چند مولکول هوا وجود دارد؟ (مولکول 6×10^{23} عدد آووگادرو)

- (تمرین کتاب درسی) 10^{27} (۴) 10^{24} (۳) 10^{21} (۲) 10^{18} (۱)

۵۵- یکای مورد استفاده برای جرم در فیزیک هسته‌ای، یکای جرم اتمی (u) است که تقریباً برابر با جرم یک پروتون است. مرتبهٔ بزرگی یکای جرم اتمی

بر حسب کیلوگرم به کدام گزینه نزدیک‌تر است؟ (اتم 6×10^{23} عدد آووگادرو)

- 10^{-27} (۴) 10^{-23} (۳) 10^{-19} (۲) 10^{-15} (۱)

۵۶- چگالی یک فلز فرضی 8 g/cm^3 و جرم اتمی آن 60 g/mol است. مرتبهٔ فاصلهٔ متوسط بین اتم‌های مجاور این فلز بر حسب متر، به کدام گزینه نزدیک‌تر است؟

- 10^{-16} (۴) 10^{-13} (۳) 10^{-10} (۲) 10^{-7} (۱)

درس ۵ چگالی

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

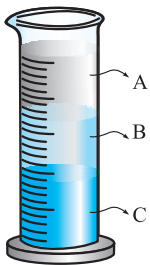
جرم موجود در واحد حجم یک ماده را چگالی می‌نامند و با ρ نشان می‌دهند.

یکای چگالی در SI «کیلوگرم بر متر مکعب» (kg/m^3) است. از یکای «گرم بر سانتی‌متر مکعب» (g/cm^3) نیز برای بیان چگالی استفاده می‌شود. هر گرم

بر سانتی‌متر مکعب، 1000 کیلوگرم بر متر مکعب است.

$$1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 1 \times \frac{10^3 \text{ g}}{10^6 \text{ cm}^3} = 10^{-3} \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \rightarrow 1 \text{ g/cm}^3 = 10^3 \text{ kg/m}^3$$

(چگالی آب 1 g/cm^3 است؛ حفظ کنید!)



اگر چند مایع مخلوط‌نشده را در یک ظرف بریزیم، مایعی که چگالی آن از بقیه بیشتر است در کف و مایعی که چگالی آن از

$$\rho_C > \rho_B > \rho_A$$

بقیه کم‌تر است در سطح قرار می‌گیرد. بنابراین، در شکل روبه‌رو داریم:

تست سه مایع مخلوط‌نشده A، B و C با چگالی‌های $\rho_A = 4 \text{ g/cm}^3$ ، $\rho_B = 600 \text{ kg/m}^3$ و $\rho_C = 1200 \text{ g/L}$ را در یک لولهٔ آزمایش می‌ریزیم و پس از تعادل، مایع پایین‌تر و مایع بالاتر از بقیهٔ مایع‌ها قرار می‌گیرند.

پاسخ گزینه ۱

۱) B و A (۱) ۲) C و A (۲) ۳) A و C (۳) ۴) B و C (۴)

پاسخ گزینه ۱

$$1 \text{ g/cm}^3 = 10^3 \text{ kg/m}^3 \Rightarrow \rho_A = 4000 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_C = 1200 \frac{\text{g}}{\text{L}} = 1200 \times \frac{10^{-3} \text{ kg}}{10^{-3} \text{ m}^3} = 1200 \text{ kg/m}^3 \Rightarrow \rho_A > \rho_C > \rho_B$$

با توجه به چگالی مایع‌ها، A در صدر و B در قعر قرار می‌گیرند!

برای محاسبهٔ حجم حفرهٔ داخل یک جسم توخالی می‌توانیم با در اختیار داشتن جرم و چگالی جسم، حجم واقعی جسم را حساب و آن را از حجم ظاهری جسم کم کنیم.

تست درون یک قطعه طلا به حجم ظاهری 12 cm^3 و جرم $199/5 \text{ g}$ حفره‌ای وجود دارد. اگر چگالی طلا 19000 kg/m^3 باشد، حجم حفرهٔ خالی چند سانتی‌متر مکعب است؟

پاسخ گزینه ۲

چگالی طلا برابر است با:

$$\rho = 19000 \text{ kg/m}^3 = 19 \text{ g/cm}^3$$

حالا حجم واقعی طلا را حساب می‌کنیم:

$$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow V = \frac{m}{\rho} = \frac{199/5 \text{ (g)}}{19 \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right)} = 10/5 \text{ cm}^3$$

حجم حفره (V') از تفاضل حجم واقعی طلا از حجم ظاهری آن به دست می‌آید:

$$V' = 12 - 10/5 = 1/5 \text{ cm}^3$$



اگر چند ماده با جرم‌های m_1, m_2, \dots و حجم‌های V_1, V_2, \dots و ... را با یکدیگر مخلوط کنیم، چگالی مخلوط را می‌توان از رابطه زیر حساب کرد:

$$\rho_{\text{مخلوط}} = \frac{m_1 + m_2 + \dots}{V_{\text{مخلوط}}}$$

$$\rho_{\text{مخلوط}} = \frac{m_1 + m_2 + \dots}{V_1 + V_2 + \dots}$$

اگر حجم مواد در اثر اختلاط تغییر نکند، می‌توان گفت:

تست جواهر فروشی در ساختن یک قطعه جواهر به جای طلای خالص، مقداری نقره نیز به کار برده است. اگر حجم قطعه ساخته شده ۵ سانتی‌متر مکعب و چگالی آن $13/6 \text{ g/cm}^3$ باشد، جرم نقره به کار رفته چند گرم است؟ (چگالی نقره و طلا به ترتیب 10 g/cm^3 و 19 g/cm^3 فرض شود).

(۱) ۸ (۲) ۳۰ (۳) ۳۴ (۴) ۳۸ (سراسری ریاضی ۹۵ قاجار)

پاسخ گزینه ۲ ویژگی‌های طلا و نقره را به ترتیب با زیرنویس‌های ۱ و ۲ نشان می‌دهیم و می‌نویسیم:

$$\rho = \frac{m_1 + m_2}{V} = \frac{\rho_1 V_1 + \rho_2 V_2}{V} \Rightarrow 13/6 = \frac{19V_1 + 10V_2}{5} \Rightarrow 19V_1 + 10V_2 = 68$$

$$\text{فرض تست: } V_1 + V_2 = 5 \Rightarrow V_1 = 5 - V_2 \Rightarrow 19(5 - V_2) + 10V_2 = 68 \Rightarrow 95 - 9V_2 = 68$$

$$\Rightarrow V_2 = 27 \Rightarrow V_2 = 3 \text{ cm}^3$$

$$m_2 = \rho_2 V_2 = 10 \times 3 = 30 \text{ g}$$

پرسش‌های چهارگزینه‌ای

۵۷- کره توپری به شعاع ۱۰ سانتی‌متر، ۸ کیلوگرم جرم دارد. چگالی ماده سازنده این کره چند واحد SI است؟ ($\pi = 3$)

(سراسری تهرنی ۷۵)

(۱) ۲ (۲) $\frac{1}{3}$ (۳) ۲۰۰۰ (۴) $\frac{10000}{3}$

۵۸- می‌خواهیم از فلزی به چگالی 6 g/cm^3 کره توپری به شعاع ۵ cm بسازیم. جرم این کره چند کیلوگرم می‌شود؟

(سراسری ریاضی ۹۶)

(۱) $1/57$ (۲) $2/36$ (۳) $3/14$ (۴) $4/71$

۵۹- برای تعیین چگالی یک جسم جامد، ابتدا جرم و حجم آن را مطابق

شکل مقابل پیدا کرده‌ایم. چگالی این جسم چند واحد SI است؟

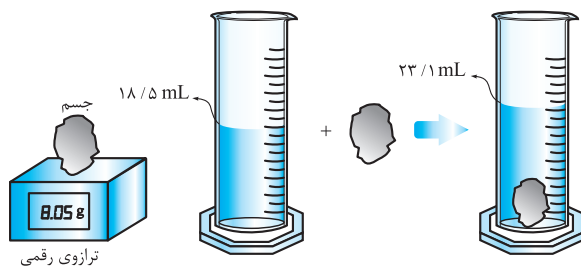
(تمرین کتاب درسی ۷۵)

(۱) $1/75$

(۲) $1/75 \times 10^3$

(۳) $1/60$

(۴) $1/60 \times 10^3$



۶۰- یک قطعه فلز به جرم ۹۰ g را درون استوانه مدرجی می‌اندازیم. با این عمل فلز کاملاً در آب فرو می‌رود و سطح آب درون استوانه به اندازه ۱/۵ cm بالا

(سراسری ریاضی ۸۲)

می‌آید. اگر سطح مقطع استوانه 12 cm^2 باشد، چگالی فلز چند واحد SI است؟

(۱) ۵ (۲) ۶ (۳) ۵۰۰۰ (۴) ۶۰۰۰

۶۱- مطابق شکل یک پرتقال با پوست و یک پرتقال بدون پوست را به درون ظرف محتوی آب

(فعالیت کتاب درسی ۷۵)

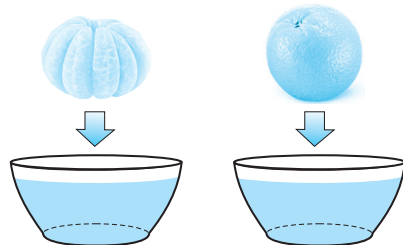
می‌اندازیم. کدام یک به درون آب فرو می‌روند؟ چرا؟

(۱) پرتقال بدون پوست، زیرا جرم بیشتری دارد.

(۲) پرتقال بدون پوست، زیرا چگالی بیشتری دارد.

(۳) پرتقال با پوست، زیرا جرم بیشتری دارد.

(۴) پرتقال با پوست، زیرا چگالی بیشتری دارد.



۶۲- کره توپری به شعاع R از ماده A داریم که جرمش ۲ برابر استوانه‌ای به شعاع داخلی $\frac{R}{4}$ و شعاع خارجی R از ماده B است. اگر ارتفاع استوانه برابر $\frac{2}{3}R$ باشد، چگالی ماده A چند برابر چگالی ماده B است؟

(۱) $\frac{3}{4}$ (۲) $\frac{4}{3}$ (۳) $\frac{2}{3}$ (۴) $\frac{3}{2}$

۶۳- چگالی مایع A، $\frac{4}{5}$ برابر چگالی مایع B است. اگر حجم ۸ کیلوگرم از مایع A برابر ۱۰ لیتر باشد، حجم ۵ کیلوگرم از مایع B چند لیتر است؟

(سراسری تهرنی ۸۴)

(۱) $3/2$ (۲) ۴ (۳) ۵ (۴) $6/4$

۶۴- جرم یک ظرف فلزی توخالی ۳۰۰ گرم است. اگر این ظرف را پر از مایعی به چگالی $1/2 \text{ g/cm}^3$ نماییم، جرم مجموعه ۵۴۰ گرم و در صورتی که پر از نوعی

(سراسری ریاضی ۹۵)

روغن نماییم، جرم مجموعه ۴۶۰ گرم می‌شود. چگالی این روغن چند گرم بر لیتر است؟

(۱) ۹۵۰ (۲) ۹۰۰ (۳) ۸۵۰ (۴) ۸۰۰

- ۶۵- چگالی متوسط زمین $5/5 \text{ g/cm}^3$ و شعاع آن حدود 6400 km است. جرم زمین تقریباً چند کیلوگرم است؟
 (۱) 6×10^{21} (۲) 6×10^{24} (۳) 6×10^{27} (۴) 6×10^{30}
 (تمرین فیزیک دانشگاهی ▲)
- ۶۶- ستاره‌های کوتوله سفید بسیار چگال هستند و چگالی آن‌ها در SI حدود 10^9 میلیون است. تخمین بزنید اگر شما یک قوطی کبریت از ماده تشکیل دهنده این ستاره‌ها در اختیار داشتید، جرم آن چند کیلوگرم می‌شد؟
 (۱) ۲۰ (۲) ۲۰۰ (۳) ۲۰۰۰ (۴) ۲۰۰۰۰
 (تمرین کتاب درسی ■)
- ۶۷- در یک روز بارانی، 40 میلی‌متر باران روی سطحی به مساحت 2500 کیلومتر مربع باریده است. اگر چگالی آب باران 1000 kg/m^3 باشد، جرم این مقدار باران چند کیلوگرم است؟
 (۱) 10^8 (۲) 10^9 (۳) 10^{10} (۴) 10^{11}
 (سراسری تهرنی ■ ۸۷ فارغ)
- ۶۸- جرم یک گلوله آهنی 3900 گرم و چگالی آن 7800 kg/m^3 است. اگر گلوله آهنی را به آرامی در ظرف پر از الکل فرو ببریم و چگالی الکل 800 گرم بر لیتر باشد، چند گرم الکل از ظرف خارج می‌شود؟
 (۱) ۴۰۰ (۲) ۵۰۰ (۳) ۴۰۰۰ (۴) ۵۰۰۰
 (سراسری تهرنی ■ ۹۰ فارغ)
- ۶۹- یک گلوله فلزی که 800 گرم جرم دارد را به آرامی داخل ظرفی پر از روغن مایع می‌اندازیم و 160 گرم روغن از ظرف بیرون می‌ریزد. اگر چگالی روغن 0.8 g/cm^3 باشد، چگالی فلز چند واحد SI است؟
 (۱) ۴ (۲) ۴۰۰۰ (۳) ۵ (۴) ۵۰۰۰
 (سراسری تهرنی ■ ۹۰ فارغ)
- ۷۰- یک مکعب چوبی به ضلع 4 cm را به آرامی داخل ظرفی پر از آبی می‌اندازیم. اگر 40 سانتی‌متر مکعب آب از ظرف بیرون بریزد، چگالی چوب چند کیلوگرم بر متر مکعب است؟ ($\rho_{\text{آب}} = 1 \text{ g/cm}^3$)
 (۱) ۴۰۰ (۲) ۶۲۵ (۳) ۶۴۰ (۴) ۱۶۰۰
 (سراسری تهرنی ■ ۹۱ فارغ)
- ۷۱- با 3 لیتر مایع A به چگالی 3 g/cm^3 و 3 لیتر مایع B به چگالی 1 g/cm^3 محلولی می‌سازیم. اگر تغییر حجم ناچیز باشد، چگالی محلول چند واحد SI است؟
 (۱) ۲ (۲) $1/5$ (۳) ۲۰۰۰ (۴) ۱۵۰۰
 (سراسری ریاضی ■ ۹۱ فارغ)
- ۷۲- با 3 کیلوگرم مایع A به چگالی 3 g/cm^3 و 3 کیلوگرم مایع B به چگالی 1 g/cm^3 محلولی می‌سازیم. اگر تغییر حجم ناچیز باشد، چگالی محلول چند واحد SI است؟
 (۱) ۲ (۲) $1/5$ (۳) ۲۰۰۰ (۴) ۱۵۰۰
 (سراسری ریاضی ■ ۹۱ فارغ)
- ۷۳- مخلوطی از دو نوع مایع با چگالی‌های ρ_1 و ρ_2 درست شده است. اگر $1/3$ حجم آن از مایعی با چگالی ρ_1 بوده و $2/3$ باقی‌مانده از مایعی با چگالی ρ_2 باشد، چگالی مخلوط برابر با کدام است؟
 (۱) $\frac{\rho_1 + 2\rho_2}{3}$ (۲) $\frac{\rho_2 + 2\rho_1}{3}$ (۳) $\frac{3\rho_1\rho_2}{\rho_2 + 2\rho_1}$ (۴) $\frac{3\rho_1\rho_2}{\rho_1 + 2\rho_2}$
 (سراسری ریاضی ■ ۹۱ فارغ)
- ۷۴- چگالی مخلوط دو مایع A و B با حجم‌های اولیه V_A و V_B ، برابر 75 و 60 گرم بر سانتی‌متر مکعب است. اگر چگالی مایع A برابر 600 g/L و چگالی مایع B برابر 800 g/L باشد، V_A چند برابر V_B است؟
 (۱) ۳ (۲) ۴ (۳) $1/3$ (۴) $1/4$
 (سراسری ریاضی ■ ۹۲ فارغ)
- ۷۵- طول هر ضلع یک مکعب فلزی 10 cm و جرم آن 6 kg است. اگر چگالی فلز 8 g/cm^3 باشد، مکعب:
 (۱) توپر و حجم آن 750 cm^3 است. (۲) توپر و حجم آن 1000 cm^3 است.
 (۳) حفره‌ای خالی دارد و حجم حفره 750 cm^3 است. (۴) حفره‌ای خالی دارد و حجم حفره 250 cm^3 است.
 (سراسری ریاضی ■ ۸۸ فارغ)
- ۷۶- مکعبی به ضلع 10 cm داریم که جرم آن 1800 g است. اگر چگالی ماده سازنده این مکعب 2000 kg/m^3 باشد، در حفره داخل این مکعب چند گرم آب جای می‌گیرد؟ ($\rho_{\text{آب}} = 1 \text{ g/cm}^3$)
 (۱) ۵۰ (۲) ۱۰۰ (۳) ۲۰۰ (۴) ۴۰۰
 (سراسری ریاضی ■ ۹۳ فارغ)
- ۷۷- شعاع یک کره فلزی 5 سانتی‌متر و جرم آن 1080 گرم و چگالی آن $2/7 \text{ g/cm}^3$ است. درون این کره یک حفره وجود دارد. حجم این حفره چند درصد حجم کره را تشکیل می‌دهد؟ ($\pi = 3$)
 (۱) ۱۰ (۲) ۱۵ (۳) ۲۰ (۴) ۲۵
 (سراسری ریاضی ■ ۹۳ فارغ)
- ۷۸- یک قطعه طلا که $199/5$ گرم جرم دارد را درون ظرفی پر از روغن مایع می‌اندازیم و 12 گرم روغن از ظرف بیرون می‌ریزد. اگر چگالی روغن و طلا به ترتیب 0.8 g/cm^3 و 19 g/cm^3 باشد، حجم حفره خالی درون قطعه طلا چند سانتی‌متر مکعب است؟
 (۱) $1/5$ (۲) ۲ (۳) ۴ (۴) $4/5$
 (سراسری ریاضی ■ ۸۷ فارغ)
- ۷۹- قطعه فلزی آلیاژی از طلا و مس است. این قطعه فلز 30 cm^3 حجم و 470 g جرم دارد. اگر چگالی طلا و مس به ترتیب 19 g/cm^3 و 9 g/cm^3 باشد، این قطعه فلز چند گرم طلا دارد؟
 (۱) ۱۹۰ (۲) ۲۳۵ (۳) ۲۸۵ (۴) ۳۸۰

- ۱- **گزینه ۲** مدل‌ها و نظریه‌های فیزیکی در طول زمان همواره معتبر نیستند و همواره این امکان وجود دارد که نتایج آزمایش‌های جدید منجر به بازنگری مدل یا نظریه‌ای شود. در حقیقت همین ویژگی آزمون‌پذیری و اصلاح نظریه‌های فیزیکی، نقطه قوت دانش فیزیک است. در (۲) جای قانون و اصل برعکس بیان شده است. از طرف دیگر، هر چند 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.
- ۲- **گزینه ۲** برای مدل‌سازی در مکانیک، معمولاً با چشم‌پوشی از اندازه و شکل جسم، آن را به صورت یک جسم نقطه‌ای یا ذره در نظر می‌گیریم. اگر نیروی اصطکاک را نادیده بگیریم، شخص نمی‌تواند جعبه را هل بدهد. صرف‌نظر کردن از نیروی وزن هم موجب نادیده‌گرفتن نیروی اصطکاک می‌شود. هم‌چنین برای به دست آوردن شتاب و سرعت جسم نمی‌توان فرض کرد که همواره ساکن باقی می‌ماند.
- ۳- **گزینه ۲** برای مدل‌سازی ترمز کردن خودرو، ابتدا از چرخش چرخ‌ها صرف‌نظر کرده و خودرو را مانند جسمی صلب (جسمی که اجزایش نسبت به هم حرکت ندارند) در نظر می‌گیریم که روی زمین می‌لغزند. برای ساده‌سازی همین جسم صلب را به صورت یک ذره در نظر می‌گیریم و از مقاومت هوا که سبب پیچیده‌شدن مسئله می‌شود، صرف‌نظر می‌کنیم. همان‌طور که گفتیم در مدل‌سازی نمی‌توان اثرهای مهم و تعیین‌کننده را نادیده گرفت. اگر اصطکاک بین خودرو و زمین را نادیده بگیریم، مدل ما پیش‌بینی می‌کند که خودرو اصلاً متوقف نمی‌شود که نشان می‌دهد (۴) نادرست است.
- ۴- **گزینه ۲** برای مدل‌سازی نوسانات آونگ ساده، آن را به صورت یک ذره در نظر می‌گیریم که به وسیله نخ سبکی به یک نقطه آویخته شده است؛ به عبارت دیگر از نیروی وزن نخ در مقابل نیروی وزن گلوله صرف‌نظر می‌کنیم. هم‌چنین نیروی مقاومت هوا و اصطکاک که سبب پیچیده‌شدن مسئله می‌شوند را نادیده می‌گیریم. به منظور ساده‌سازی تحلیل حرکت گلوله آونگ، زاویه انحراف گلوله از وضع تعادل (θ) را به اندازه کافی کوچک در نظر می‌گیریم که در این صورت مسیر حرکت گلوله تقریباً یک پاره‌خط افقی است. اگر مسیر حرکت گلوله را قسمتی از یک دایره در نظر بگیریم، مسئله پیچیده و دشوار می‌شود که نشان می‌دهد این فرض برای ساده‌سازی این پدیده مناسب نیست.
- ۵- **گزینه ۲** برای مدل‌سازی تعادل گرمایی بین دو جسم، فرض می‌کنیم دو جسم هیچ گرمایی با محیط مبادله نمی‌کنند؛ به عبارت دیگر تمام گرمایی که جسم گرم از دست می‌دهد، جذب جسم سرد می‌شود. به هنگام مبادله گرما، ابتدا دمای نقاطی از جسم سرد که در تماس با جسم داغ قرار دارند، افزایش می‌یابند، سپس با گذشت زمان و انتقال گرما، دمای سایر نقاط آن بالا می‌رود، اما برای ساده‌سازی می‌توان دمای قسمت‌های مختلف جسم‌ها را یکسان در نظر گرفت و برای هر جسم در هر لحظه یک دما فرض کرد. لزومی ندارد گرمای ویژه دو جسم یکسان باشد یا هر یک از آن‌ها را به صورت یک ذره در نظر گرفت.
- ۶- **گزینه ۲** همان‌طور که در علوم هشتم خواندیم، برای بررسی انتشار نور، از مدل پرتوی نور استفاده می‌کنیم. در این مدل هر باریکه نور به صورت پرتوهای موازی نور در نظر گرفته می‌شود، هم‌چنین پرتوهایی که از یک چشمه نور خیلی دور مانند خورشید می‌آیند، با هم موازی هستند. این پرتوها پس از بازتاب از یک جسم حقیقی (مانند درخت) واگرا می‌شوند و پس از شکست در عدسی دوربین عکاسی، به صورت پرتوهای همگرا درآمده و یک تصویر حقیقی تشکیل می‌دهند.
- ۷- **گزینه ۳** کمیت‌هایی مانند مزیت مکانیکی و ضریب اصطکاک وجود دارند که از نسبت دو کمیت هم‌جنس به دست می‌آیند. این کمیت‌ها بدون یکا (بی‌بعد) هستند. (۱)، (۲) و (۴) تعریف‌های درستی از کمیت فیزیکی، یکای یک کمیت و کمیت‌های اصلی هستند.
- تمرین الف** یکای هر کمیت باید دارای چه ویژگی‌هایی باشد؟ تغییر نکند و دارای قابلیت بازتولید در مکان‌های مختلف باشد. (ب) اگر یکای طول را به صورت فاصله نوک بینی تا نوک انگشتان دست کشیده‌شده بگیریم، چه مزیت و چه عیبی دارد؟ مزیت: قابلیت بازتولید دارد. عیب: تغییرپذیری بین اشخاص مختلف.
- ۸- **گزینه ۲** در عمل نیاز نیست برای همه کمیت‌های فیزیکی، یکای مستقلی تعریف شود و به کمک رابطه‌ها و تعریف‌های فیزیکی و کمیت‌های اصلی، برای کمیت‌های فرعی یک‌گانه‌ها را در نظر می‌گیریم.
- ۹- **گزینه ۳** در (۱) حجم کمیتی فرعی و زمان کمیتی اصلی است. در (۲) طول کمیتی اصلی است. در (۳) همه چیز مرتب است، اما در (۴) نیرو کمیتی فرعی و شدت جریان کمیتی اصلی است.
- ۱۰- **گزینه ۳** آمپر یکای جریان الکتریکی، مول یکای مقدار ماده و گندلا (شمع) یکای شدت روشنایی می‌باشند که همگی از یکاهای اصلی در SI هستند. اما باید توجه کرد که یکای جرم در SI، کیلوگرم است نه گرم.
- ۱۱- **گزینه ۲** از میان کمیت‌های داده‌شده، دو کمیت مقدار ماده و شدت روشنایی جزو کمیت‌های اصلی هستند که یکای آن‌ها در SI به ترتیب مول و گندلا (شمع) می‌باشند.
- ۱۲- **گزینه ۳** برای به دست آوردن یکای هر کمیت، از یک رابطه فیزیکی استفاده می‌کنیم:

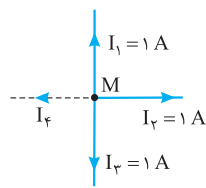
$$F = ma \rightarrow N = \text{kg} \times \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \rightarrow N = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}, P = \frac{F}{A} \rightarrow \text{Pa} = \frac{N}{\text{m}^2} \rightarrow \text{Pa} = \frac{\text{s}^2}{\text{m}^2} \rightarrow \text{Pa} = \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}$$

$$W = Fd \rightarrow J = N \cdot \text{m} \rightarrow J = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} \times \text{m} \rightarrow J = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}, P = \frac{W}{t} \rightarrow W = \frac{J}{s} \rightarrow W = \frac{\text{s}^2}{s} \rightarrow W = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^3}$$

- ۱۳- **گزینه ۲** مسافت پیموده‌شده کمیتی نرده‌ای است؛ پس تندى، یعنی نسبت مسافت به زمان هم کمیتی نرده‌ای است. هم‌چنین جابه‌جایی کمیتی برداری است، پس سرعت یعنی نسبت جابه‌جایی به زمان هم کمیتی برداری است. از طرف دیگر جرم کمیتی نرده‌ای است، در حالی که نیروی گرانشی زمین بر یک جرم، یعنی نیروی وزن، کمیتی برداری است.
- ۱۴- **گزینه ۲** بسیاری از کمیت‌های حرکت‌شناسی مانند مکان، جابه‌جایی، سرعت، اندازه حرکت، شتاب و نیرو ماهیت برداری دارند. هم‌چنین کار، انرژی و توان کمیت‌های نرده‌ای هستند.

۱۵- گزینه ۲

اگر کمیتی قابل اندازه‌گیری نباشد، کمیت فیزیکی به حساب نمی‌آید و بحث بر سر عددی یا برداری بودن آن کمیت، بیهوده است. کمیت‌های برداری علاوه بر بزرگی، جهت هم دارند، اما هر کمیتی که بزرگی و جهت داشته باشد، الزاماً برداری نیست. مثلاً جریان الکتریکی گذرا از یک سیم راست، علاوه بر بزرگی جهت هم دارد، اما همان‌طور که خواهیم گفت، کمیتی عددی است. شرط لازم و کافی برای آن که کمیتی برداری باشد، آن است که از قاعده جمع برداری پیروی کند.



۱۶- گزینه ۲

اگر کمیتی دارای جهت باشد، الزاماً کمیتی برداری به حساب نمی‌آید. اگر کمیتی بخواهد برداری باشد، الزاماً باید از قاعده جمع برداری پیروی کند. در مورد زمان باید گفت که ممکن نیست مجموع دو زمان با تفاضل آن دو زمان یکسان باشد در حالی که اگر دو بردار بر هم عمود باشند، بزرگی برآیند و تفاضل بردارها یکسان است. این به آن معناست که زمان از قاعده جمع برداری پیروی نمی‌کند و بنابراین زمان کمیتی عددی است. در مورد جریان الکتریکی، گره M در شکل مقابل را در نظر بگیرید. اگر جریان کمیتی برداری باشد، جریان‌های I_1 و I_2 یکدیگر را خنثی کرده و جریان I_3 باید برابر با جریان I_4 (یعنی ۱ A) باشد؛ در حالی که بنا بر قانون جریان‌ها (گره)، جریان I_4 مجموع کل جریان‌های خروجی یعنی برابر ۳ A (به طرف راست) است، بنابراین جریان الکتریکی کمیتی عددی است، زیرا از قاعده جمع برداری تبعیت نمی‌کند.

۱۷- گزینه ۲

با توجه به سازگاری یکاها، یکای جمله‌های مختلف یک رابطه فیزیکی یکسان است، بنابراین یکای جمله At با یکای جمله x یعنی طول یکسان است. چون t معرف زمان است. می‌توان نتیجه گرفت که یکای کمیت A طول بر زمان بوده است و می‌دانیم طول بر زمان معرف کمیت سرعت می‌باشد.

۱۸- گزینه ۲

انگستروم واحد طول در مقیاس اتمی است و داریم: $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$ ، حالا به کمک روش زنجیره‌ای داریم:

$$0.53 \text{ \AA} = 0.53 (\text{ \AA}) \left(\frac{10^{-10} \text{ m}}{1 \text{ \AA}} \right) = 0.53 \times 10^{-10} \text{ m} = 5.3 \times 10^{-11} \text{ m}$$

توجه کنید که در نمادگذاری علمی، قسمت اول باید عددی بین ۱ و ۱۰ باشد که در (۲) این گونه نیست.

تمرین یک میکرون چند انگستروم است؟ $1 \mu\text{m} = 10^4 \text{ \AA}$

۱۹- گزینه ۲

هر دقیقه ۶۰ ثانیه و هر ثانیه 10^9 نانوثانیه است؛ پس هر دقیقه معادل 6×10^{10} نانوثانیه است. یک متر مربع، مربعی به ابعاد یک متر در یک متر است و از آن‌جا که هر متر ۱۰۰ سانتی‌متر است، یک متر مربع معادل $100 \times 100 = 10^4$ سانتی‌متر مربع می‌شود. لیتر واحد اندازه‌گیری حجم و برابر با 10^{-3} متر مکعب است. از طرف دیگر دسی (d) پیشوندی معادل 10^{-1} است؛ پس یک دسی‌متر مکعب معادل 10^{-3} متر مکعب است که نشان می‌دهد یک لیتر معادل یک دسی‌متر مکعب است. اما هکتار (هکتومتر مربع) واحد اندازه‌گیری مساحت معادل 10^4 متر مربع است. یک کیلومتر مربع $10^6 = (10^3)^2$ متر مربع است که نشان می‌دهد هر کیلومتر مربع معادل ۱۰۰ هکتار است.

در هر مورد، برای تبدیل یکاها، از روش زنجیره‌ای استفاده می‌کنیم:

۲۰- گزینه ۳

$$1 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 1 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right) \left(\frac{1 \text{ km}}{1000 \text{ m}} \right) \left(\frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} \right) = 3.6 \text{ km/h}, \quad 1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 1 \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right) \left(\frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \right) \left(\frac{10^6 \text{ cm}^3}{1 \text{ m}^3} \right) = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$1 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} = 1 \left(\frac{\text{cm}^3}{\text{s}} \right) \left(\frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ cm}^3} \right) \left(\frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \right) = 0.06 \text{ L/min}, \quad 1 \frac{\text{g}}{\text{L}} = 1 \left(\frac{\text{g}}{\text{L}} \right) \left(\frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \right) \left(\frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} \right) = 1 \text{ kg/m}^3$$

$$45 \frac{\text{mi}}{\text{h}} = 45 \left(\frac{\text{mi}}{\text{h}} \right) \left(\frac{1600 \text{ m}}{1 \text{ mi}} \right) \left(\frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \right) = 20 \text{ m/s}$$

۲۱- گزینه ۳

با توجه به تساوی‌های $1 \text{ L} = 1000 \text{ cm}^3$ و $1 \text{ min} = 60 \text{ s}$ ، از روش زنجیره‌ای استفاده می‌کنیم:

۲۲- گزینه ۲

$$75 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} = 75 \left(\frac{\text{cm}^3}{\text{s}} \right) \left(\frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ cm}^3} \right) \left(\frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \right) = 75 \times 60 \left(\frac{\text{L}}{\text{min}} \right) = 4.5 \text{ L/min}$$

$$30000 \text{ ft} = 30000 \left(\text{ft} \right) \left(\frac{12 \text{ in}}{1 \text{ ft}} \right) \left(\frac{2.5 \text{ cm}}{1 \text{ in}} \right) \left(\frac{1 \text{ km}}{10^5 \text{ cm}} \right) = 9 \text{ km}$$

۲۳- گزینه ۳

هر فرسنگ معادل $6000 \times 1/10 = 6240$ متر است، پس یک فرسنگ مربع معادل $39 \times 10^6 = (6240)^2$ متر مربع می‌شود.

۲۴- گزینه ۳

از طرف دیگر هر هکتار (هکتومتر مربع) معادل 10^4 متر مربع است؛ پس هر فرسنگ مربع تقریباً معادل $\frac{39 \times 10^6}{10^4} = 3900$ هکتار می‌شود.

$$182 \text{ قیراط} = 182 \left(\frac{200 \text{ میلی‌گرم}}{1 \text{ قیراط}} \right) \left(\frac{1 \text{ گرم}}{1000 \text{ میلی‌گرم}} \right) \left(\frac{1 \text{ مثقال}}{4/68 \text{ گرم}} \right) = 7/78 \text{ مثقال}$$

۲۵- گزینه ۱

تمرین با توجه به این که هر مثقال معادل ۲۴ نخود است، نشان دهید هر قیراط تقریباً برابر با یک نخود است.

به کمک تساوی‌های داده‌شده، ضریب تبدیل‌های مناسب را نوشته و از روش تبدیل زنجیره‌ای استفاده می‌کنیم:

۲۶- گزینه ۲

$$1 \text{ خروار} = 1 \left(\frac{100 \text{ من}}{\text{خروار}} \right) \left(\frac{640 \text{ مثقال}}{1 \text{ من}} \right) \left(\frac{4/68 \text{ گرم}}{1 \text{ مثقال}} \right) \left(\frac{1 \text{ کیلوگرم}}{1000 \text{ گرم}} \right) = 299/52 \approx 300 \text{ کیلوگرم}$$

$$21/6 \frac{\text{cm}}{\text{day}} = 21/6 \frac{\text{cm}}{\text{day}} \left(\frac{10^4 \mu\text{m}}{1 \text{ cm}} \right) \left(\frac{1 \text{ day}}{86400 \text{ s}} \right) = 0.5 \mu\text{m/s}$$

۲۷- گزینه ۱

۲۸- گزینه ۲ همان طور که گفتیم یکای نجومی (AU) و سال نوری (ly)، هر دو واحد اندازه گیری طول هستند که توسط اخترشناسان به کار می روند. یکای نجومی میانگین فاصله زمین تا خورشید است، پس با توجه به سرعت نور و زمان داده شده داریم:

$$x = vt \xrightarrow{\frac{x=AU}{v=c}} 1 AU = 3 \times 10^8 \times 500 \rightarrow AU = 1.5 \times 10^{11} \text{ m}$$

تمرین الف) یک دقیقه نوری چند متر است؟ $1 \text{ lm} = 1/8 \times 10^8 \text{ m}$ (ب) یک سال نوری چند برابر یکای نجومی است؟ $1 \text{ ly} \approx 63000 \text{ AU}$ (پ) سرعت

انتشار نور چند AU/s است؟ $c = 0.002 \text{ AU/s}$

۲۹- گزینه ۲ به کمک روش زنجیره‌ای، مقدار مصرف سوخت اتومبیل را از گالن بر مایل به لیتر بر کیلومتر تبدیل می کنیم:

$$\frac{\frac{1}{3} \text{ gal}}{100 \text{ mi}} = \frac{1}{300} \left(\frac{\text{gal}}{\text{mi}} \right) \left(\frac{3.75 \text{ L}}{1 \text{ gal}} \right) \left(\frac{1 \text{ mi}}{1.6 \text{ km}} \right) = \frac{1}{16} \text{ L/km}$$

این اتومبیل برای پیمودن هر کیلومتر $\frac{1}{16}$ لیتر سوخت مصرف می کند، پس با مصرف ۱ لیتر سوخت، می تواند ۱۶ کیلومتر را طی کند.

۳۰- گزینه ۲ مایل در خشکی با مایل در دریا اندازه متفاوتی دارد، پس مسافت پیموده شده در دریا و خشکی را جداگانه حساب می کنیم:

$$\text{خشکی: } 50 \text{ mi} = 50 \left(\frac{\text{mi}}{1} \right) \left(\frac{1.6 \text{ km}}{1 \text{ mi}} \right) = 80 \text{ km} \quad \text{دریا: } 45 \text{ mi} = 45 \left(\frac{\text{mi}}{1} \right) \left(\frac{1.8 \text{ km}}{1 \text{ mi}} \right) = 81000 \text{ m}$$

حالا به کمک رابطه حرکت یکنواخت، زمان کل حمل کالا در خشکی و دریا را حساب می کنیم:

$$\left. \begin{aligned} \text{خشکی: } \Delta x_1 = v_1 t_1 \rightarrow 80 \text{ km} = 40 \frac{\text{km}}{\text{h}} \times t_1 \rightarrow t_1 = 2 \text{ h} \\ \text{دریا: } \Delta x_2 = v_2 t_2 \rightarrow 81000 \text{ m} = (15 \times 10^3 / 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}) \times t_2 \rightarrow t_2 = 10800 \text{ s} = 3 \text{ h} \end{aligned} \right\} \rightarrow t = t_1 + t_2 = 5 \text{ h}$$

تمرین نشان دهید هر گره دریایی تقریباً معادل یک مایل دریایی بر ساعت است.

۳۱- گزینه ۳ انتهای چپ خط کش دقیقاً روی $1/10 \text{ cm}$ قرار دارد و انتهای راست آن بین $5/3 \text{ cm}$ و $5/4 \text{ cm}$ قرار گرفته، پس می توان مکان

انتهای راست خط کش را $5/32 \text{ cm}$ حدس زد. از طرف دیگر کمیته درجه بندی این خط کش برابر 1 mm است، بنابراین دقت آن نیز برابر $a = 1 \text{ mm}$ است و

خطای اندازه گیری برابر $5 \text{ cm} \pm 0.5 \text{ mm} = \pm 0.5 \text{ mm} = \pm 0.5 \text{ cm}$ می باشد. از آنجا که موقعیت جسم نسبت به ابزار اندازه گیری تغییر نکرده است، کافی است

فقط یک بار این خطا را گزارش کنیم. حالا می توان طول مداد را چنین اعلام کرد: $4/22 \text{ cm} \pm 0.5 \text{ cm} = (5/32 - 1/10) \text{ cm} \pm 0.5 \text{ cm} = 5/32 \text{ cm} \pm 0.5 \text{ cm}$ طول مداد

۳۲- گزینه ۲ عددی که تندی سنج نشان می دهد، بین 114 km و 116 km است که می توان آن را 115 km حدس زد. کمیته درجه بندی سرعت سنج

$a = 2 \text{ km}$ است، بنابراین خطای اندازه گیری تندی سنج برابر $1 \text{ km} \pm 1 \text{ km} = \pm 1 \text{ km}$ است و نتیجه اندازه گیری را می توان به صورت $115 \text{ km} \pm 1 \text{ km}$ گزارش کرد.

۳۳- گزینه ۱ عددی که دماسنج نشان می دهد، بین 25°C و 30°C است که آن را 27°C حدس می زنیم. کمیته درجه بندی دماسنج برابر

5°C است، در نتیجه دقت اندازه گیری هم برابر 5°C است و خطای اندازه گیری برابر $5^\circ \text{C} \pm 2.5^\circ \text{C} = \pm 2.5^\circ \text{C}$ می شود. برای این که تعداد ارقام اعشاری

خطای اندازه گیری بیشتر از تعداد ارقام اعشاری عدد حاصل از اندازه گیری نشود، آن را به صورت $27^\circ \text{C} \pm 3^\circ \text{C}$ گرد کرده و دمای دماسنج را به صورت

$27^\circ \text{C} \pm 3^\circ \text{C}$ گزارش می کنیم.

۳۴- گزینه ۲ طول جسم بین 4 cm و $4/5 \text{ cm}$ است، پس می توان آن را به صورت $4/2 \text{ cm}$ حدس زد. کمیته درجه بندی خط کش برابر

$5/10 \text{ cm}$ است، پس دقت اندازه گیری آن هم برابر $5/10 \text{ cm}$ است و خطای اندازه گیری توسط این خط کش به صورت $25/10 \text{ cm} \pm 5/10 \text{ cm}$ بیان

می شود. برای این که تعداد ارقام اعشاری خطا بیشتر از تعداد ارقام اعشاری حاصل از اندازه گیری نباشد، آن را به صورت $3 \text{ cm} \pm 0.3 \text{ cm}$ گرد کرده و نتیجه

اندازه گیری را چنین اعلام می کنیم: $4/2 \text{ cm} \pm 0.3 \text{ cm}$ طول جسم

۳۵- گزینه ۲ کمیته درجه بندی خط کش برابر $5/10 \text{ cm}$ است، پس خطای اندازه گیری برابر $25/10 \text{ cm} \pm 5/10 \text{ cm}$ می شود که باید به

صورت $3 \text{ cm} \pm 0.3 \text{ cm}$ گرد شود تا تعداد ارقام بامعنا خطا و نتیجه اندازه گیری یکسان شود. در نهایت نتیجه اندازه گیری به صورت $3 \text{ cm} \pm 0.3 \text{ cm}$ بیان

می شود که دارای دو رقم با معنای ۰ و ۴ است که رقم حدسی و غیرقطعی است.

۳۶- گزینه ۲ خطای اندازه گیری برابر $3 \text{ cm} \pm 0.3 \text{ cm} = \pm 0.3 \text{ cm}$ است، بنابراین دقت اندازه گیری برابر $6/10 \text{ cm}^3$ است و کمیته درجه بندی

استوانه باید برابر $6/10 \text{ cm}^3$ باشد که در هیچ کدام از گزینه ها این گونه نیست. از این جا معلوم می شود که خطای اندازه گیری گرد شده است و در حقیقت برابر

$25/10 \text{ cm}^3 \pm 0.3 \text{ cm}^3 = \pm 0.3 \text{ cm}^3$ بوده است، پس داریم $5/10 \text{ cm}^3 \pm 0.3 \text{ cm}^3$ استوانه باید برابر $5/10 \text{ cm}^3$ باشد که نشان می دهد ۲ درست است.

تمرین نتیجه اندازه گیری را برای سایر گزینه ها بنویسید. ۱) $5 \text{ cm}^2 \pm 0.5 \text{ cm}^2$ ۲) $3/68 \text{ cm}^2 \pm 0.5 \text{ cm}^2$ ۳) $3/7 \text{ cm}^2 \pm 0.5 \text{ cm}^2$ ۴) $1 \text{ cm}^2 \pm 1 \text{ cm}^2$

۳۷- گزینه ۲ کمیته درجه بندی خط کش میلی متری برابر 1 mm و در نتیجه دقت اندازه گیری آن نیز برابر $a = 1 \text{ mm}$ است. بنابراین خطای

اندازه گیری با خط کش میلی متری برابر $5 \text{ mm} \pm 0.5 \text{ mm} = \pm 0.5 \text{ mm}$ است. از طرف دیگر به کمک خط کش میلی متری عدد 72 mm را می خوانیم و رقم

9 mm را حدس می زنیم، یعنی در مجموع عددی که گزارش می کنیم به صورت $72/9 \text{ mm} \pm 0.5 \text{ mm}$ یا $72/29 \text{ cm} \pm 0.5 \text{ cm}$ است.

۳۸- گزینه ۲

خطای اندازه‌گیری برابر $e = \pm 0.5 \text{ mm}$ است و می‌دانیم خطای اندازه‌گیری با وسایل مدرج، برابر مثبت و منفی نصف دقت

اندازه‌گیری است، پس می‌توان نوشت:

$$e = \pm 0.5 \text{ mm} = \pm \frac{a}{2} \rightarrow \frac{a}{2} = 0.5 \text{ mm} \rightarrow a = 1 \text{ mm}$$

یعنی دقت اندازه‌گیری (a) وسیله اندازه‌گیری برابر 1 mm است و بنابراین ضخامت جسم را با کولیس اندازه‌گیری کرده‌ایم.

۳۹- گزینه ۱

خطای اندازه‌گیری برابر $e = \pm \frac{a}{2} = \pm 0.00005 \text{ m} = \pm 0.05 \text{ mm}$ داده شده است، پس دقت اندازه‌گیری این ریزسنج برابر

$a = 0.1 \text{ mm}$ می‌باشد و از این‌جا می‌توان دریافت کمیته تقسیم‌بندی این ریزسنج برابر 0.1 mm است. می‌دانیم صفرهای سمت چپ قبل از اولین رقم

غیرصفر، جزو رقم‌های بامعنا به حساب نمی‌آیند، پس نتیجه این اندازه‌گیری دارای ۴ رقم بامعنا ۵، ۰، ۲، ۰ (سمت راست) است.

۴۰- گزینه ۲

می‌دانیم دقت اندازه‌گیری با وسایل رقمی (دیجیتال) برابر با یک واحد از آخرین رقمی است که آن وسیله می‌خواند، بنابراین دقت

اندازه‌گیری آمپرسنج داده‌شده، برابر $a = 0.001 \text{ A} = 1 \text{ mA}$ است. از طرف دیگر، صفرهای سمت چپ اولین رقم غیرصفر بامعنا نیستند، اما صفرهای سمت راست بامعنا هستند، پس نتیجه این اندازه‌گیری دارای ۴ رقم بامعنا (۶، ۴، ۵ و صفر سمت راست) است.

تمرین در این اندازه‌گیری: الف) رقم غیرقطعی (مشکوک) کدام است؟ صفر سمت راست ب) خطای اندازه‌گیری چه قدر است؟ $e = \pm 1 \text{ mA}$ پ) نتیجه

این اندازه‌گیری را چگونه گزارش می‌کنید؟ $6450 \text{ mA} \pm 1 \text{ mA}$

۴۱- گزینه ۲

دقت اندازه‌گیری با وسایل رقمی (دیجیتال) برابر با یک واحد از آخرین رقمی است که آن وسیله می‌خواند، پس دقت اندازه‌گیری دماسنج

رقمی داده‌شده برابر $a = 0.1^\circ \text{C}$ است، پس **۲** نادرست و جواب سؤال است. خطای اندازه‌گیری وسایل رقمی مثبت و منفی دقت اندازه‌گیری است، یعنی

داریم: $e = \pm a = \pm 0.1^\circ \text{C}$ ، از این‌جا نتیجه می‌گیریم که دمای داخل گلخانه به صورت $(18/6 \pm 0.1)^\circ \text{C}$ است، یعنی دمای داخل گلخانه بین $18/7^\circ \text{C}$

و $18/5^\circ \text{C}$ است. به طریق مشابه دمای خارج گلخانه به صورت $(10/2 \pm 0.1)^\circ \text{C}$ یعنی بین $10/3^\circ \text{C}$ و $10/1^\circ \text{C}$ است. از این‌جا نتیجه می‌شود حداقل

اختلاف دمای گلخانه با بیرون برابر $\Delta\theta_{\min} = 18/5 - 10/3 = 8/2^\circ \text{C}$ و حداکثر اختلاف دما برابر $\Delta\theta_{\max} = 18/7 - 10/1 = 8/6^\circ \text{C}$ است.

۴۲- گزینه ۲

دو عدد 476 g و 464 g اختلاف زیادی با اندازه‌گیری‌های دیگر دارند، پس آن‌ها را به حساب نمی‌آوریم و میانگین هشت اندازه‌گیری

دیگر را به عنوان نتیجه اندازه‌گیری در نظر می‌گیریم. محاسبه نشان می‌دهد که میانگین این هشت اندازه‌گیری برابر 420 g است و **۲** درست است. برای

ساده‌تر شدن محاسبات، فرض می‌کنیم **۳** درست باشد و جرم توپ 425 g باشد. اختلاف سایر گزینه‌ها از 425 g را حساب کرده و اصلاحات لازم را انجام

$$\frac{-5}{8} = \frac{-1-5-11-9-2-7-0}{8} = \frac{-45}{8}$$

می‌دهیم:

این محاسبه نشان می‌دهد میانگین این هشت اندازه‌گیری، 5 g از 425 g کم‌تر است و **۲** درست است.

تمرین دقت یک اندازه‌گیری به چه عواملی بستگی دارد؟ دقت وسیله اندازه‌گیری، مهارت شخص آزمایشگر و تعداد دفعات اندازه‌گیری

۴۳- گزینه ۳

کمیته درجه‌بندی خط‌کش سانتی‌متری، برابر 1 cm و در نتیجه دقت آن نیز برابر $a = 1 \text{ cm}$ است، بنابراین خطای اندازه‌گیری توسط

این خط‌کش برابر $e = \pm \frac{a}{2} = \pm 0.5 \text{ cm}$ است. از این‌جا نتیجه می‌شود که طول هر ضلع این مربع $10/5 \text{ cm} \pm 0.5 \text{ cm}$ است و با کمک گرفتن از اتحادهای

$$S_{\max} - S_{\min} = (10 + 0.5)^2 - (10 - 0.5)^2 = (a+b)^2 - (a-b)^2 = 4ab \rightarrow S_{\max} - S_{\min} = 4 \times 10 \times 0.5 = 20 \text{ cm}^2$$

جبری داریم:

کف پای یک انسان بالغ را به صورت مستطیلی به ابعاد $25 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ در نظر می‌گیریم، پس مساحتی که فشار بر آن وارد می‌شود

برابر $A = 2 \times 25 \times 10 = 500 \text{ cm}^2 = 0.05 \text{ m}^2$ می‌شود. حالا اگر جرم یک انسان بالغ را برابر $m = 60 \text{ kg}$ فرض کنیم، با توجه به رابطه فشار داریم:

$$P = \frac{F}{A} = \frac{mg}{A} = \frac{60 \times 10}{0.05} = 12000 \text{ Pa} \sim 10^4 \text{ Pa}$$

۴۵- گزینه ۲

طول عمر میانگین انسان‌ها حدود ۷۵ سال است، پس مرتبه طول عمر انسان برحسب دقیقه برابر است با:

$$\text{دقیقه} = 10^7 = 100 \times 100 \times 100 \times 100 \times 100 \times 100 \times 100 \sim 75 \times 365 \times 24 \times 60$$

طول عمر برحسب دقیقه

می‌دانیم قلب یک انسان در هر دقیقه به طور متوسط ۷۵ ضربان انجام می‌دهد و در هر ضربان 70 cm^3 خون را پمپ می‌کند، پس کل حجم خونی که قلب

در طول عمرمان پمپ می‌کند، برابر است با:

$$10^8 \text{ L} = 10^3 \times 10^2 \times 10^2 \times 10^2 \times 10^3 \sim 10^7 \times 75 \times 70 \times 10^3$$

حجم خون در هر ضربان \times تعداد ضربان در هر دقیقه \times طول عمر برحسب دقیقه = حجم خون پمپ‌شده

هر شخص به طور متوسط در هر ۴ ثانیه یک بار نفس می‌کشد، به عبارت دیگر هر شخص به طور متوسط در یک دقیقه ۱۵ بار نفس

می‌کشد و اگر عمر هر شخص را ۷۵ سال در نظر بگیریم، خواهیم داشت:

$$\text{نفس} = 10^9 \sim 5/9 \times 10^8 = (75 \times 365 \times 24 \times 60) \times 15$$

تعداد نفس‌ها در هر دقیقه \times زمان برحسب دقیقه = تعداد نفس‌ها

تمرین یک شخص در طول عمرش: الف) چند ثانیه را سپری می‌کند؟ $(2 \times 10^9 \text{ s})$ ب) چند بار پلک می‌زند؟ $(2 \times 10^8 \text{ p})$ چه حجمی هوا تنفس می‌کند؟

$$= 2 \times 10^8 \text{ L}$$

۴۷- گزینه ۱

مساحت ایران 1648195 km^2 است و یک اسکناس 10 هزار تومانی مستطیلی به ابعاد $8 \text{ cm} \times 17 \text{ cm}$ است، پس می‌توان نوشت:

$$\text{اسکناس} = 10^{14} \sim 8 \times 10^{13} = \frac{1648195 \text{ km}^2}{8 \text{ cm} \times 17 \text{ cm}} \sim \frac{1/6 \times 10^6 \times 10^6 \text{ m}^2}{0.1 \times 0.2 \text{ m}^2}$$

تعداد اسکناس‌ها = $\frac{\text{مساحت ایران}}{\text{مساحت یک اسکناس}}$



۴۸- گزینه ۲ مساحت شهر (A) برابر است با:

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

ارتفاع باران برابر $d = 10 \text{ mm} = 10^{-2} \text{ m}$ است، پس حجم باران باریده شده برابر است با:
هر قطره باران را به صورت کره‌ای به قطر 4 mm در نظر می‌گیریم، پس حجم هر قطره باران برابر است با:

$$V_p = \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{4}{3} \pi (2 \times 10^{-3})^3 \xrightarrow{\pi \approx 3} V_p \approx 4 \times 2^3 \times 10^{-9} = 32 \times 10^{-9} \rightarrow V_p \sim 10^{-8} \text{ m}^3$$

بنابراین مرتبه بزرگی تعداد قطره‌های باران برابر است با:
ابتدا مرتبه بزرگی مساحت سطح زمین را تخمین می‌زنیم:

$$N = \frac{V_1}{V_p} \sim \frac{10^8}{10^{-8}} = 10^{16}$$

$$A = 4\pi R^2 \approx 4\pi \times (6400 \times 10^3)^2 \sim 10 \times (6 \times 10^6)^2 \sim 10 \times 6^2 \times 10^{12} \sim 10 \times 10 \times 10^{12} = 10^{14} \text{ m}^2$$

حالا برای به دست آوردن جرم جو زمین، از رابطه $P = \frac{F}{A}$ استفاده می‌کنیم که در این رابطه به جای F، وزن جرم زمین (mg) و به جای A، مساحت سطح زمین را قرار می‌دهیم:

$$P = \frac{F}{A} \rightarrow F = PA \Rightarrow mg = PA \rightarrow m \times 10 = 10^5 \times 10^{14} \rightarrow m \sim 10^{18} \text{ kg}$$

می‌دانیم در حل مسئله‌ها به روش تخمین بزرگی، برخی اوقات ممکن است مرتبه بزرگی پاسخ، با پاسخ واقعی مسئله یک یا دو مرتبه بزرگی متفاوت باشد، پس (۲) که کم‌ترین اختلاف را با جواب ما دارد، انتخاب می‌کنیم.

۵۰- گزینه ۲ جمعیت ایران حدود ۸۰ میلیون نفر است و اگر فرض کنیم هر خانواده ۴ نفره دارای یک خودرو است، تعداد کل خودروهای کشور در حدود ۲۰ میلیون می‌شود. از طرف دیگر هر خودرو در هر روز به طور متوسط 50 km را طی می‌کند. اگر مصرف میانگین خودرو را 10 لیتر به ازای هر 100 کیلومتر فرض کنیم، هر خودرو در هر روز حدود 5 لیتر بنزین مصرف می‌کند و داریم:

$$\text{لیتر} \sim 10^8 \sim 365 \times 10^8 \sim 5 \times 365 \times 20 \times 10^6 \sim 20 \times 10^6 \times 5 \times 365 \times 20 \times 10^6 \times \text{تعداد روزها} \times \text{مصرف هر خودرو در هر روز} \times \text{تعداد خودروها} = \text{حجم بنزین مصرفی}$$

۵۱- گزینه ۲ جمعیت شهر تهران حدود 10 میلیون نفر است. سرانه خودرو در تهران بیشتر از متوسط کل ایران است و اگر فرض کنیم در تهران به ازای هر $2/5$ نفر، یک خودرو وجود دارد، تعداد کل خودروهای تهران در حدود 4 میلیون دستگاه می‌شود. وقتی بنزین خودرویی به تدریج مصرف می‌شود، بالای بنزین درون باک، بخار بنزین تشکیل می‌شود. وقتی خودرو برای سوخت‌گیری دوباره به جایگاه پمپ بنزین می‌رود، با ورود بنزین به باک، بخار بنزین از آن خارج و به هوای بیرون رانده می‌شود. حجم متوسط باک خودروها در حدود 50 لیتر است و حجم یک مول گاز کامل در روزهای عادی حدود 25 لیتر است، پس در بالای هر باک نزدیک به 2 مول بنزین وجود دارد که معادل 160 گرم بنزین یا تقریباً $2/20$ لیتر بنزین است. حالا اگر فرض کنیم از 4 میلیون خودروی موجود در تهران، در هر روز 1 میلیون خودرو سوخت‌گیری کنند، حجم بنزین بخار شده برابر $L = 2 \times 10^5 \times 20/10^6$ می‌شود و (۲) درست است.

تخمین مرتبه مصرف روزانه بنزین خودروهای شهر تهران را تخمین بزنید. $L \sim 10^7$

۵۲- گزینه ۱ جرم یک انسان بالغ را 60 kg در نظر بگیرید. بیش از 70 درصد بافت‌های بدن از آب تشکیل شده است و چگالی بدن انسان بسیار نزدیک به چگالی آب (1000 kg/m^3) است. پس حجم بدن یک انسان برابر است با:

$$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow V_1 = \frac{m}{\rho} = \frac{60}{1000} = 0/06 \text{ m}^3$$

اگر سلول‌های بدن انسان را کروی در نظر بگیریم، حجم هر سلول برابر است با:

$$V_p = \frac{4}{3} \pi R^3 = \frac{4}{3} \pi \times (10 \times 10^{-6})^3 \approx 4 \times 10^{-15} \text{ m}^3$$

بنابراین مرتبه تعداد سلول‌های انسان برابر است با:

$$N = \frac{V_1}{V_p} \sim \frac{0/06}{4 \times 10^{-15}} = 1/5 \times 10^{13} \sim 10^{13} \text{ (سلول)}$$

۵۳- گزینه ۲ جرم هر سکه 500 تومانی حدود 10 گرم است و اگر فرض کنیم از نیکل خالص ساخته شده است، هر سکه شامل $2/2$ مول $\frac{10}{58/71}$ نیکل است. می‌دانیم هر مول از یک ماده، شامل عدد آووگادرو ($N_A = 6/022 \times 10^{23}$) اتم یا مولکول از آن است، بنابراین تعداد اتم‌های موجود در سکه برابر است با:

$$\text{اتم} \sim 10^{23} \sim 1 \times 10^{23} \sim (6/022) \times 10^{23} \times (2/2 \times 6/022 \times 10^{23}) = \text{تعداد اتم‌های موجود در سکه}$$

۵۴- گزینه ۲ می‌دانیم در شرایط معمول، هر مول از یک گاز کامل حجمی در حدود $V_1 = 25 \text{ L} = 0/025 \text{ m}^3$ دارد، پس تعداد مول‌های گاز موجود

در اتاق برابر است با:

$$V_p = 3 \times 8 \times 3 = 72 \text{ m}^3 \rightarrow n = \frac{V_1}{V_p} = \frac{72}{0/025} = 2880$$

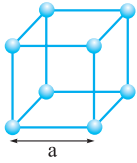
هر مول از یک گاز شامل عدد آووگادرو مولکول از آن گاز است، پس داریم:

$$n = \frac{N}{N_A} \rightarrow N = n \times N_A \rightarrow N = 2880 \times 6 \times 10^{23} = 2/88 \times 6 \times 10^{23} \times 10^{23} \sim 10 \times 10^{26} = 10^{27} \text{ مولکول}$$

تخمین با توجه به این که جرم مولکولی متوسط هوا 29 g/mol است، جرم هوای موجود در این اتاق را تخمین بزنید. $m \sim 100 \text{ kg}$

۵۵- گزینه ۲ می‌دانیم اتم هیدروژن دارای یک الکترون و یک پروتون است. جرم الکترون خیلی کم‌تر از جرم پروتون است، پس می‌توان جرم اتم هیدروژن را با جرم پروتون (و در نتیجه یکای جرم اتمی) برابر در نظر گرفت. جرم یک مول (عدد آووگادرو) اتم هیدروژن برابر 1 g است؛ پس جرم یک اتم

$$N_A m_H = 1 \text{ g} = 10^{-3} \text{ kg} \rightarrow m_H = \frac{10^{-3}}{6 \times 10^{23}} = \frac{1}{6} \times 10^{-26} \text{ kg} \sim (0/1) \times 10^{-26} = 10^{-27} \text{ kg} \rightarrow u \approx m_H \sim 10^{-27} \text{ kg}$$



۵۶- گزینه ۲ ما ساختار اتمی این فلز را نمی دانیم، بنابراین ساده ترین ساختار ممکن را در نظر می گیریم. فرض کنید مانند شکل مقابل، اتم های فلز دارای یک ساختار مکعبی باشند. فاصله متوسط بین اتم های مجاور در حقیقت طول ضلع این مربع است. حجم این ساختار برابر $V_1 = a^3$ است. هر یک از اتم هایی که در گوشه مکعب قرار دارند، به ۸ مکعب که در کنار هم چیده شده باشند، تعلق دارند؛ بنابراین تعداد اتم های موجود در هر شبکه برابر $8 \times \frac{1}{8} = 1$ اتم است.

اکنون مکعبی به ضلع ۱ متر در نظر بگیرید. جرم این مکعب برابر $m = \rho V = 8 \times 10^6$ g است. با توجه به تعریف عدد آووگادرو، تعداد مول های این مکعب

$$\text{برابر } n = \frac{8 \times 10^6}{60} = \frac{4}{3} \times 10^5 \text{ مول می شود و بنابراین تعداد اتم های موجود در این مکعب برابر است با:}$$

$$n = \frac{N}{N_A} \rightarrow N = n \times N_A \rightarrow N = \frac{4}{3} \times 10^5 \times 6 \times 10^{23} = 8 \times 10^{28} \text{ اتم}$$

حجم مکعب برابر $V_1 = 1^3 = 1 \text{ m}^3$ است و چون هر ساختار مکعبی حاوی یک اتم است، می توان نوشت:

$$V_1 = NV_1 \rightarrow 1 = 8 \times 10^{28} \times a^3 \rightarrow a^3 = \frac{1}{8} \times 10^{-28} \sim 10^{-29} \rightarrow a \sim 10^{-10} \text{ m}$$

تمرین از حل این سؤال چه نتیجه ای می گیرید؟ چگالی یک ماده، معیاری از فاصله متوسط بین مولکول های آن ماده است.

۵۷- گزینه ۲ با استفاده از روابط هندسی، حجم کره را به دست می آوریم، سپس از رابطه چگالی استفاده می کنیم:

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3 \xrightarrow{\pi=3} V = \frac{4}{3} \times 3 \times 10^3 = 4000 \text{ cm}^3, \rho = \frac{m}{V} \rightarrow \rho = \frac{8000}{4000} \Rightarrow \rho = 2 \text{ g/cm}^3 \rightarrow \rho = 2000 \text{ kg/m}^3$$

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{4}{3} \pi \times 5^3 = \frac{500}{3} \pi \text{ cm}^3$$

۵۸- گزینه ۲

$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow m = \rho V = 6 \times \frac{500}{3} \pi = 1000 \pi \text{ (g)} = \pi \text{ (kg)} \approx 3/14 \text{ kg}$$

$$V = 23/1 - 18/5 = 4/6 \text{ mL} = 4/6 \text{ cm}^3$$

۵۹- گزینه ۲ حجم جسم، اختلاف حجم مایع در دو حالت است، پس داریم:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{8/5}{4/6} = 1/75 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \xrightarrow{1 \text{ g/cm}^3 = 1000 \text{ kg/m}^3} \rho = 1/75 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

تمرین آیا درست بود که چگالی جسم را 1750 kg/m^3 گزارش می کردیم؟ خیر، زیرا در این حالت تعداد ارقام با معنای چگالی بیشتر از تعداد ارقام با معنای

جرم و حجم جسم می شد.

۶۰- گزینه ۲ حجم آب درون استوانه مدرج به اندازه حجم قطعه فلز افزایش می یابد، بنابراین می توان نوشت:

$$V = Ah \rightarrow V = 12 \times 1/5 = 18 \text{ cm}^3, \rho = \frac{m}{V} \rightarrow \rho = \frac{90}{18} \rightarrow \rho = 5 \text{ g/cm}^3 \xrightarrow{1 \text{ g/cm}^3 = 1000 \text{ kg/m}^3} \rho = 5000 \text{ kg/m}^3$$

۶۱- گزینه ۲ شرط فرورفتن جسم در آب، بیشتر بودن چگالی جسم از چگالی آب است. پرتقال با پوست جرم بیشتری از پرتقال بدون پوست دارد،

اما چگالی پرتقال بدون پوست بیشتر از چگالی آب و چگالی پرتقال با پوست کم تر از چگالی آب است، بنابراین پرتقال بدون پوست به درون آب فرو می رود، اما پرتقال با پوست در سطح آب شناور باقی می ماند.

تمرین چرا آب مایع مناسبی برای خاموش کردن بنزین شعله ور نیست؟ چون چگالی بنزین کم تر از چگالی آب است و بر سطح آب شناور مانده و هم چنان

شعله ور باقی می ماند.

۶۲- گزینه ۱ ابتدا با استفاده از رابطه های هندسی، نسبت حجم دو ماده را پیدا می کنیم، سپس از رابطه چگالی استفاده می کنیم:

$$V_A = \frac{4}{3} \pi R^3, V_B = h \times (\pi R^2 - \pi (\frac{R}{2})^2) \xrightarrow{h=\frac{1}{2}R} V_B = \frac{1}{2} \pi R^3$$

$$\frac{V_B}{V_A} = \frac{\frac{1}{2} \pi R^3}{\frac{4}{3} \pi R^3} = \frac{3}{8}, \rho = \frac{m}{V} \rightarrow \frac{\rho_A}{\rho_B} = \left(\frac{m_A}{m_B}\right) \times \left(\frac{V_B}{V_A}\right) \rightarrow \frac{\rho_A}{\rho_B} = 2 \times \frac{3}{8} = \frac{3}{4}$$

۶۳- گزینه ۲ از فرم مقایسه ای رابطه چگالی استفاده می کنیم: $\rho = \frac{m}{V} \rightarrow \frac{\rho_A}{\rho_B} = \left(\frac{m_A}{m_B}\right) \times \left(\frac{V_B}{V_A}\right) \rightarrow \frac{4}{5} = \left(\frac{1}{1}\right) \times \left(\frac{V_B}{5}\right) \rightarrow V_B = 5 \text{ L}$

۶۴- گزینه ۱ در هر دو حالت حجم مایع و روغن برابر با حجم ظرف و مساوی است. از طرف دیگر در حالت اول جرم مایع برابر $m_1 = 540 - 300 = 240 \text{ g}$

و در حالت دوم جرم روغن برابر $m_2 = 460 - 300 = 160 \text{ g}$ است، پس با استفاده از رابطه چگالی داریم:

$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow V = \frac{m}{\rho} \xrightarrow{V_2=V_1} \frac{m_2}{\rho_2} = \frac{m_1}{\rho_1} \rightarrow \frac{160}{\rho_2} = \frac{240}{1/2} \rightarrow \rho_2 = 0/8 \text{ g/cm}^3 = 800 \text{ kg/m}^3$$

۶۵- گزینه ۲ زمین کره ای شکل است، پس حجمش برابر است با:

$$V = \frac{4}{3} \pi R^3 = \frac{4}{3} \pi (6400 \times 10^3)^3 \sim 10^{21} \text{ m}^3$$

حالا با استفاده از رابطه چگالی می توان نوشت:

۶۶- گزینه ۲ قوطی کبریت را به صورت مکعب مستطیلی به ابعاد $5 \text{ cm} \times 4 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$ در نظر می گیریم. با توجه به رابطه چگالی داریم:

$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow m = \rho V = 10^3 \times (0/05 \times 0/04 \times 0/01) = 10^3 \times 5 \times 4 \times 10^{-6} = 2000 \text{ kg}$$

۶۷- گزینه ۴: حجم آب باریده برابر است با: $V = Ah = (۲۵۰۰ \text{ km}^۲)(۴۰ \text{ mm}) = (۲۵۰۰ \times ۱۰^۶ \text{ m}^۲)(۴۰ \times ۱۰^{-۳} \text{ m}) = ۱۰^۸ \text{ m}^۳$

اکنون از رابطه چگالی استفاده می‌کنیم: $\rho = \frac{m}{V} \rightarrow m = \rho V \rightarrow m = (۱۰۰۰ \text{ kg/m}^۳)(۱۰^۸ \text{ m}^۳) \rightarrow m = ۱۰^{۱۱} \text{ kg}$

۶۸- گزینه ۱: چون ظرف پر از الکل است، حجم الکلی که از ظرف بیرون می‌ریزد، با حجم گلوله برابر است. توجه می‌کنیم که گرم بر لیتر و کیلوگرم بر متر مکعب واحدهای یکسانی هستند. حالا از فرم مقایسه‌ای رابطه چگالی داریم: (آهن: ۲ و الکل: ۱)

$$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow \frac{\rho_۲}{\rho_۱} = \left(\frac{m_۲}{m_۱}\right) \times \left(\frac{V_۱}{V_۲}\right) \xrightarrow{V_۲=V_۱} \frac{۷۸۰۰}{۸۰۰} = \left(\frac{۳۹۰۰}{m_۱}\right) \times ۱ \Rightarrow m_۱ = ۴۰۰ \text{ g}$$

تمرین حجم الکلی که از ظرف بیرون ریخته است، چند سانتی‌متر مکعب است؟ $V_۲ = V_۱ = ۵۰۰ \text{ cm}^۳$

۶۹- گزینه ۲: دقیقاً مانند سؤال قبل، حجم گلوله با حجم روغنی که از ظرف بیرون می‌ریزد، برابر است و داریم:

$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow \frac{\rho_{\text{فلز}}}{\rho_{\text{روغن}}} = \left(\frac{m_{\text{فلز}}}{m_{\text{روغن}}}\right) \times \left(\frac{V_{\text{روغن}}}{V_{\text{فلز}}}\right) \rightarrow \frac{\rho_{\text{فلز}}}{۰/۸} = \left(\frac{۸۰۰}{۱۶۰}\right) \times ۱ \rightarrow \rho_{\text{فلز}} = ۴ \text{ g/cm}^۳ = ۴۰۰۰ \text{ kg/m}^۳$$

۷۰- گزینه ۲: چون حجم مکعب چوبی $(V = a^۳ = ۴^۳ = ۶۴ \text{ cm}^۳)$ بیش از حجم آبی است که از ظرف بیرون ریخته است، چگالی چوب کم‌تر از چگالی آب است و مکعب بر سطح آب شناور می‌ماند. در این حالت جرم آب بیرون‌ریخته از ظرف با جرم مکعب چوبی برابر است:

$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow \frac{\rho_{\text{چوب}}}{\rho_{\text{آب}}} = \left(\frac{m_{\text{چوب}}}{m_{\text{آب}}}\right) \times \left(\frac{V_{\text{آب}}}{V_{\text{چوب}}}\right) \rightarrow \frac{\rho_{\text{چوب}}}{۱} = ۱ \times \frac{۴۰}{۶۴} \rightarrow \rho_{\text{چوب}} = ۰/۶۲۵ \text{ g/cm}^۳ = ۶۲۵ \text{ kg/m}^۳$$

۷۱- گزینه ۳: برای محاسبه چگالی محلول، مجموع جرم اجزای محلول را بر مجموع حجم آن‌ها تقسیم می‌کنیم:

$$\rho_{\text{محلول}} = \frac{m_A + m_B}{V_A + V_B} \rightarrow \rho_{\text{محلول}} = \frac{\rho_A V_A + \rho_B V_B}{V_A + V_B} \rightarrow \rho_{\text{محلول}} = \frac{۳ \times ۳ + ۱ \times ۳}{۳ + ۳} = ۲ \text{ g/cm}^۳ \rightarrow \rho_{\text{محلول}} = ۲۰۰۰ \text{ kg/m}^۳$$

تمرین نشان دهید اگر حجم اجزای تشکیل‌دهنده یک مخلوط مساوی باشد، چگالی مخلوط میانگین چگالی اجزای تشکیل‌دهنده آن است.

۷۲- گزینه ۲: این بار جرم اجزا داده شده است، پس از رابطه چگالی مخلوط می‌توان نوشت:

$$\rho_{\text{محلول}} = \frac{m_A + m_B}{V_A + V_B} \rightarrow \rho_{\text{محلول}} = \frac{m_A + m_B}{\frac{m_A}{\rho_A} + \frac{m_B}{\rho_B}} \rightarrow \rho_{\text{محلول}} = \frac{۳۰۰۰ + ۳۰۰۰}{\frac{۳۰۰۰}{۳} + \frac{۳۰۰۰}{۱}} = \frac{۶۰۰۰}{۴۰۰۰} = ۱/۵ \text{ g/cm}^۳ = ۱۵۰۰ \text{ kg/m}^۳$$

۷۳- گزینه ۱: اگر حجم کل مخلوط را V در نظر بگیریم، داریم: $V_۱ = \frac{۱}{۳}V$ و $V_۲ = \frac{۲}{۳}V$ ، پس از رابطه چگالی مخلوط داریم:

$$\rho_{\text{مخلوط}} = \frac{m_۱ + m_۲}{V_۱ + V_۲} \xrightarrow{m=\rho V} \rho_{\text{مخلوط}} = \frac{\rho_۱ V_۱ + \rho_۲ V_۲}{V_۱ + V_۲} \xrightarrow{\substack{V_۱ = \frac{1}{3}V \\ V_۲ = \frac{2}{3}V}} \rho_{\text{مخلوط}} = \frac{\frac{1}{3}\rho_۱ V + \frac{2}{3}\rho_۲ V}{\frac{1}{3}V + \frac{2}{3}V} = \frac{\rho_۱ + ۲\rho_۲}{۳}$$

تمرین اگر $\frac{۱}{۳}$ جرم مخلوط از مایع $\rho_۱$ و $\frac{۲}{۳}$ جرم باقی‌مانده از مایع $\rho_۲$ باشد، چگالی مخلوط چه قدر است؟ $\rho_{\text{مخلوط}} = \frac{\rho_۱ + ۲\rho_۲}{۳}$

۷۴- گزینه ۳: چگالی مخلوط برابر ۷۵ / گرم بر سانتی‌متر یا ۷۵۰ گرم بر لیتر است. پس برای محاسبه چگالی مخلوط داریم:

$$\rho_{\text{مخلوط}} = \frac{m_A + m_B}{V_A + V_B} \xrightarrow{m=\rho V} \rho_{\text{مخلوط}} = \frac{\rho_A V_A + \rho_B V_B}{V_A + V_B} \rightarrow ۷۵۰ = \frac{۶۰۰ V_A + ۸۰۰ V_B}{V_A + V_B}$$

$$\rightarrow ۷۵۰(V_A + V_B) = ۶۰۰ V_A + ۸۰۰ V_B \rightarrow ۱۵ V_A + ۱۵ V_B = ۱۲ V_A + ۱۶ V_B \rightarrow ۳ V_A = V_B \rightarrow \frac{V_A}{V_B} = \frac{۱}{۳}$$

۷۵- گزینه ۲: حجم ظاهری را به کمک هندسه و حجم واقعی را از رابطه چگالی به دست می‌آوریم: $V_{\text{ظاهری}} = a^۳ = ۱۰^۳ = ۱۰۰۰ \text{ cm}^۳$

$$V_{\text{واقعی}} = \frac{m}{\rho} = \frac{۶۰۰۰}{۸} = ۷۵۰ \text{ cm}^۳ \quad \text{بنابراین این مکعب دارای حفره‌ای به حجم } ۲۵۰ \text{ cm}^۳ = V_{\text{واقعی}} - V_{\text{ظاهری}} = V_{\text{حفره}} \text{ است.}$$

۷۶- گزینه ۲: حجم ظاهری جسم را با استفاده از رابطه‌های هندسی به دست می‌آوریم: $V_{\text{ظاهری}} = a^۳ = ۱۰^۳ = ۱۰۰۰ \text{ cm}^۳$

$$V_{\text{واقعی}} = \frac{m}{\rho} = \frac{۱۸۰۰}{۲} = ۹۰۰ \text{ cm}^۳ \quad \text{حجم واقعی جسم با استفاده از رابطه چگالی برابر است با:}$$

بنابراین حجم حفره برابر $۱۰۰ \text{ cm}^۳ = ۱۰۰۰ - ۹۰۰ = ۱۰۰$ است و درونش ۱۰۰ گرم آب جای می‌گیرد.

$$V_{\text{ظاهری}} = \frac{۴}{۳} \pi r^۳ \xrightarrow{r=۵ \text{ cm}} V_{\text{ظاهری}} = ۴ \times ۵^۳ \rightarrow V_{\text{ظاهری}} = ۵۰۰ \text{ cm}^۳ \quad \text{۷۷- گزینه ۳}$$

$$V_{\text{واقعی}} = \frac{m}{\rho} \rightarrow V_{\text{واقعی}} = \frac{۱۰۸۰}{۲/۷} = ۴۰۰ \text{ cm}^۳, \quad V_{\text{حفره}} = V_{\text{ظاهری}} - V_{\text{واقعی}} = ۱۰۰ \text{ cm}^۳$$

$$\frac{V_{\text{حفره}}}{V_{\text{ظاهری}}} = \frac{۱۰۰}{۵۰۰} = \frac{۲۰}{۱۰۰}$$

بنابراین حفره ۲۰ درصد از حجم کره را تشکیل می‌دهد.

۷۸- گزینه ۲

ابتدا با استفاده از رابطه چگالی حجم واقعی را به دست می‌آوریم:

$$V_{\text{واقعی}} = \frac{m}{\rho} = \frac{199/5}{19} = 10/5 \text{ cm}^3$$

اکنون با جرم روغن بیرون ریخته، حجم ظاهری قطعه طلا را حساب می‌کنیم:

$$V_{\text{ظاهری}} = \frac{m'}{\rho'} = \frac{12}{0/8} = 15 \text{ cm}^3$$

حجم حفره، تفریق حجم ظاهری از حجم واقعی است:

$$V_{\text{حفره}} = V_{\text{ظاهری}} - V_{\text{واقعی}} = 15 - 10/5 = 4/5 \text{ cm}^3$$

۷۹- گزینه ۲

حجم قطعه 30 سانتی‌متر مکعب است، پس داریم: (طلا: ۱ و مس: ۲)

$$V_1 + V_2 = 30 \rightarrow V_2 = 30 - V_1$$

هم‌چنین جرم قطعه 470 گرم است، پس با توجه به رابطه چگالی می‌توان نوشت:

$$470 = m_1 + m_2 \xrightarrow{m=\rho V} 470 = 19V_1 + 9V_2 \xrightarrow{V_2=30-V_1} 470 = 19V_1 + 9(30 - V_1)$$

$$\rightarrow 200 = 10V_1 \rightarrow V_1 = 20 \text{ cm}^3 \rightarrow m_1 = \rho_1 V_1 \rightarrow m_1 = 19 \times 20 = 380 \text{ g}$$