فصل اول: فیزیک و اندازه‌گیری

بخش اول: مدل‌سازی – اندازه‌گیری و کمیت‌های فیزیکی

فیزیک، دانش بنیادی

- فیزیک علمی تجربی است.
- فیزیک از دانش‌های بنیادی است.
- فیزیک شالوده‌ی تمامی علوم مهندسی و فناوری‌هاست.
- فیزیک به طور مستقیم و غیرمستقیم در زندگی روزمره‌ی ما حضور دارد.
- برای بررسی پدیده‌ها اغلب از قانون، مدل و نظریه‌ی فیزیکی استفاده می‌شود.

پرسش: **آیا مدل‌ها، قانون‌ها و نظریه‌های فیزیکی همواره معتبر هستند؟**

پاسخ: خیر، مدل‌های فیزیکی می‌توانند دستخوش تغییر شوند. سیر تحول نظریه‌های فیزیکی در مورد اتم، نمونه‌ی خوبی از تحول یک مدل فیزیکی است.

مدل دالتون (توپ بیلیارد، ۱۸۰۷) ← مدل تامسون (کیک کشمشی، ۱۹۰۳) ← مدل رادرفورد (مدل هسته‌ای، ۱۹۱۱) ← مدل بور (مدل سیاره‌ای، ۱۹۱۳) ← مدل شرودینگر (مدل ابر الکترونی، ۱۹۲۶)

عامل اصلی پیشبرد و تکامل علم فیزیک، **تفکر نقاد و اندیشه‌ورزی فعال فیزیکدان‌ها** در مورد پدیده‌هاست.

مدل‌سازی در فیزیک

تعریف ◀ **مدل‌سازی در فیزیک فرایندی است که طی آن یک پدیده‌ی فیزیکی آن‌قدر ساده و آرمانی می‌شود تا امکان بررسی و تحلیل آن فراهم شود.**

- چند نمونه ساده‌سازی: صرف نظر کردن از مقاومت هوا، اصطکاک، ابعاد جسم و ذره‌ای بررسی کردن اجسام بزرگ.

در بررسی سقوط یک جسم مانند یک قطعه سنگ بزرگ از مقاومت هوا، اندازه یا شکل جسم صرف نظر کرده و قطعه سنگ را به صورت یک ذره فرض می‌کنیم. اما دقت کنید که نمی‌توان از گرانش زمین صرف نظر کرد، زیرا در این صورت دلیلی برای حرکت قطعه سنگ رو به پایین وجود ندارد.

- هنگام مدل‌سازی یک پدیده‌ی فیزیکی باید اثرهای جزئی‌تر را نادیده بگیریم و فقط اثرهای مهم و تعیین کننده را در محاسبات دخالت دهیم.
- نمونه‌ی دیگر مدل‌سازی در بررسی پدیده‌های نوری به کار می‌رود و پرتوهای نور را بر خط راست مانند یک خط که در هندسه به کار می‌رود، بررسی می‌کند و پرتوهایی که از خورشید به زمین می‌رسد را با آن که از یک مکان شروع می‌شوند موازی فرض می‌کنند.

اندازه‌گیری و کمیت‌های فیزیکی

هدف فیزیک بررسی پدیده‌های فیزیکی است و اساس این بررسی و شناخت، **اندازه‌گیری** می‌باشد.

تعریف کمیت فیزیکی: در فیزیک هر چیزی را که بتوان اندازه‌گیری کرد، مانند طول، جرم، تندی و ... **کمیت فیزیکی** می‌نامند.

در بیان اندازه‌گیری یک کمیت به طور معمول از **عدد و یکای مناسب** استفاده می‌شود.

کمیت‌های فیزیکی دو نوع هستند:

۱) کمیت عددی یا نرده‌ای (اسکالر): این کمیت‌ها تنها دارای اندازه و یکا هستند، مانند جرم، زمان و... .

۲) کمیت برداری[۱]: این کمیت‌ها افزون بر اندازه و یکا، دارای جهت هستند. مانند جابه‌جایی، نیرو، شتاب، سرعت متوسط و... .

۱- در تعریف دقیق کمیت برداری باید بیان شود «کمیت برداری کمیتی است که دارای اندازه، یکا و جهت بوده و از قاعده‌ی جمع برداری نیز پیروی می‌کند».

اندازه‌گیری و دستگاه بین المللی یکاها

- برای اندازه‌گیری نیاز به یکای مناسب است. ویژگی یکای مناسب آن است که تغییر نکند و قابلیت باز تولید در مکان‌های مختلف را داشته باشد.
- دستگاه یکاهای مورد استفاده دستگاه متریک است که امروزه به آن دستگاه بین المللی یکاها (SI) گویند.
- در فیزیک هفت کمیت (در سال ۱۹۷۱) به عنوان کمیت اصلی انتخاب شده‌اند. هفت کمیت اصلی و یکاهای آن‌ها (یکاهای اصلی) در جدول زیر نشان داده شده‌اند.

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

برای بیان یکای کمیت‌های دیگر که به آن‌ها کمیت فرعی می‌گویند، از روابط بین این کمیت‌ها و کمیت‌های اصلی استفاده می‌شود.

تعریف متر، یکای طول

- یک ده میلیونیم فاصله‌ی استوا تا قطب شمال
- فاصله‌ی میان دو خط نازک حک شده در نزدیکی دو سر میله‌ای از جنس پلاتین - ایریدیوم در دمای $0^\circ C$.
- مسافتی که نور در مدت زمان $\frac{1}{299792458}$ ثانیه در خلأ می‌پیماید.[1]

یکاهای دیگر اندازه‌گیری طول

یکای نجومی (AU): برابر میانگین فاصله‌ی زمین تا خورشید $(1\,AU \simeq 1/50\times10^{11}\,m)$

سال نوری (ly): مسافتی که نور در مدت یک سال در خلأ می‌پیماید $(1ly = 9\times10^{15}\,m)$

$$1\,ly = 3\times10^{8}\times365\times24\times3600 = 9/46\times10^{5}\times10^{10} \simeq 9\times10^{15}\,m$$

مسأله ۱ **قطر کره‌ی زمین $1/2\times10^{7}$ متر است. قطر کره‌ی زمین را بر حسب یکای نجومی و سال نوری به‌دست آورید.**

(تندی نور: $3\times10^{8}\ \frac{m}{s}$)

راه‌حل:

$$1/2\times10^{7}\,m = 1/2\times10^{7}\,m\times\frac{1AU}{1/5\times10^{11}\,m} = 8\times10^{-5}\,AU$$

$$1/2\times10^{7}\,m = 1/2\times10^{7}\,m\times\frac{1ly}{9\times10^{15}} = 1/3\times10^{-9}\,ly$$

تعریف کیلوگرم، یکای جرم

یک کیلوگرم برابر جرم استوانه‌ای فلزی از جنس آلیاژ پلاتین - ایریدیوم است که به عنوان نمونه در موزه‌ی سِور در داخل دو حباب شیشه‌ای قرار دارد.

۱- نیازی به حفظ کردن این تعریف تخصصی نیست.

تعریف ثانیه، یکای زمان

- یک ثانیه برابر $\frac{۱}{۸۶۴۰۰}$ میانگین روز خورشیدی است.
- **یک روز خورشیدی**: زمان بین ظاهر شدن‌های متوالی خورشید در بالاترین نقطه‌ی آسمان در هر روز است.
- مدت زمان بین شروع و پایان یک رویداد را **بازه‌ی زمانی** آن رویداد می‌گویند.

تبدیل یکاها

- در تبدیل یکاها از یک عامل تبدیل (نسبتی از یکاها که برابر عدد یک است) استفاده می‌شود.
- عامل تبدیل دقیقه به ثانیه به شکل $\frac{۱\,\text{min}}{۶۰\,\text{s}}=\frac{۶۰\,\text{s}}{۱\,\text{min}}=۱$ و عامل تبدیل کیلومتر به متر به شکل $\frac{۱۰۰۰\,\text{m}}{۱\,\text{km}}=\frac{۱\,\text{km}}{۱۰۰۰\,\text{m}}=۱$ است.
- در تبدیل یکاها از روش **تبدیل زنجیره‌ای** استفاده می‌شود.

مسأله ۲ **تندی یک متحرک ۲۰ متر بر ثانیه است. تندی آن چند کیلومتر بر ساعت است؟**

راه‌حل: به کمک روش تبدیل زنجیره‌ای و ضرب عامل تبدیل، مسأله را حل می‌کنیم:

$$۲۰\frac{\text{m}}{\text{s}}=۲۰\frac{\text{m}}{\text{s}}\times\underbrace{\frac{۱\text{km}}{۱۰۰۰\text{m}}}_{\text{عامل تبدیل}}\times\underbrace{\frac{۳۶۰۰\text{s}}{۱\text{h}}}_{\text{عامل تبدیل}}=۷۲\frac{\text{km}}{\text{h}}$$

تعریف آهنگ: در فیزیک تغییرات هر کمیت را نسبت به زمان، معمولاً آهنگ آن کمیت می‌نامیم.

تست ۱: تماشاگران یک بازی فوتبال با آهنگ ۵۰ نفر در دقیقه از هر کدام از درهای خروجی یک ورزشگاه خارج می‌شوند. اگر ورزشگاه ۱۰ در خروجی داشته باشد، حساب کنید در یک بازی که ۱۰۰۰۰۰ نفر تماشاگر دارد چند دقیقه طول می‌کشد که تمام تماشاگران از ورزشگاه خارج شوند؟

۱) ۶۰ دقیقه ۲) ۱۲۰ دقیقه ۳) ۱۸۰ دقیقه ۴) ۲۰۰ دقیقه

پاسخ: با توجه به تعداد درها و آهنگ خروج تماشاگر، در هر یک دقیقه $(\frac{\text{نفر}}{\text{دقیقه}})$ ۵۰×۱۰=۵۰۰ از ورزشگاه خارج می‌شوند.

$$۵۰۰=\frac{\text{تعداد تماشاگران}}{\text{زمان کل خروج}}=\frac{۱۰۰۰۰۰}{t_{\text{کل}}}\Rightarrow t=۲۰۰\ \text{دقیقه}$$

بنابراین گزینه‌ی (۴) درست است.

سازگاری یکاها

در کاربرد روابط و معادله‌ها باید یکای کمیت‌های فیزیکی در این روابط و معادله‌ها سازگار باشد. به مسأله‌ی زیر توجه کنید:

مسأله ۳ **تندی جسمی در مدت ۰/۵ دقیقه از $۵۴\frac{\text{km}}{\text{h}}$ به $۱۰۸\frac{\text{km}}{\text{h}}$ می‌رسد. شتاب متوسط آن در SI را حساب کنید.**

راه‌حل: در SI یکای زمان ثانیه (s) و یکای طول متر (m) است. بنابراین باید تندی‌ها را به متر بر ثانیه $(\frac{\text{m}}{\text{s}})$ و دقیقه را به ثانیه تبدیل کنیم تا شتاب متوسط در SI و بر حسب متر بر مجذور ثانیه $(\frac{\text{m}}{\text{s}^۲})$ به‌دست آید:

$$۵۴\frac{\text{km}}{\text{h}}\times\frac{۱\text{h}}{۳۶۰۰\text{s}}\times\frac{۱۰۰۰\text{m}}{۱\text{km}}=۱۵\frac{\text{m}}{\text{s}}\ ,\ ۱۰۸\frac{\text{km}}{\text{h}}\times\frac{۱\text{h}}{۳۶۰۰\text{s}}\times\frac{۱۰۰۰\text{m}}{۱\text{km}}=۳۰\frac{\text{m}}{\text{s}}\ ,\ ۰/۵\,\text{min}\times\frac{۶۰\text{s}}{۱\,\text{min}}=۳۰\text{s}$$

$$\text{شتاب}=\frac{\text{تغییر سرعت}}{\text{زمان}}=\frac{۳۰-۱۵}{۳۰}=۰/۵\frac{\text{m}}{\text{s}^۲}$$

بنابراین هر کمیت را با هر یکای دلخواه نمی‌توان در معادله‌های فیزیکی قرار داد و باید بین یکاها سازگاری برقرار باشد.

تست ۲: واحد فشار در SI پاسکال است. این واحد بر حسب یکاهای اصلی کدام است؟

۱) $\frac{kg.m}{s^2}$ ۲) $\frac{kg}{m.s^2}$ ۳) $\frac{N}{m^2}$ ۴) $\frac{kg.N}{m}$

پاسخ: با توجه به فرمول فشار و سازگاری یکاها خواهیم داشت:

$$P=\frac{F}{A}\Rightarrow \text{پاسکال}=\frac{\text{نیوتن}}{\text{متر مربع}}$$

و با توجه به فرمول $F=ma$ داریم:

$$N=kg\times\frac{m}{s^2}$$

در این صورت:

$$Pa=\frac{kg\frac{m}{s^2}}{m^2}\Rightarrow Pa=\frac{kg}{m.s^2}$$

بنابراین گزینه‌ی (۲) درست است.

- کمیت‌های یکسان را می‌توان با هم جمع یا تفریق کرد. البته باید دارای یکای یکسانی نیز باشند.

پیشوندهای SI

برای بیان اندازه‌گیری‌ها با اندازه‌های بسیار بزرگ‌تر یا بسیار کوچک‌تر از یکاهای اصلی از پیشوندها استفاده می‌کنیم.

هر پیشوند توان معینی از ۱۰ را نشان می‌دهد که به صورت یک عامل ضرب به کار می‌رود. به طور مثال یک میکروگرم یعنی 10^{-6} گرم.

پیشوندهای یکاهای SI					
ضریب	پیشوند	نماد	ضریب	پیشوند	نماد
10^{24}	یوتا	Y	10^{-24}	یوکتو	y
10^{21}	زِتا	Z	10^{-21}	زِپتو	z
10^{18}	اِگزا	E	10^{-18}	اَتو	a
10^{15}	پِتا	P	10^{-15}	فِمتو	f
10^{12}	تِرا	T	10^{-12}	پیکو	p
10^{9}	گیگا (جیگا)	G	10^{-9}	نانو	n
10^{6}	مِگا	M	10^{-6}	میکرو	μ
10^{3}	کیلو	k	10^{-3}	میلی	m
10^{2}	هِکتو	h	10^{-2}	سانتی	c
10^{1}	دِکا	da	10^{-1}	دِسی	d
پیشوندهایی که کاربرد بیش‌تری دارند و بهتر است آن‌ها را به خاطر بسپارید، رنگی شده‌اند.					

نمادگذاری علمی

برای نمایش اعداد خیلی بزرگ و یا اعداد خیلی کوچک از نمادگذاری علمی استفاده می‌شود.

در نوشتن به صورت نمادگذاری علمی، عدد را به صورت حاصل‌ضرب یک عدد بین ۱ تا ۱۰ در توان صحیحی از ۱۰ می‌نویسند:

$a\times10^{b}\ ,1\le a<10\ ,\ b\in\mathbb{Z}$ $\qquad \mathbb{Z}=\{\dots,-2,-1,0,1,2,\dots\}$

مسأله ۴ **جرم الکترون** $۹۱۰۹\times۱۰^{-۲۸}\,mg$ **است. مقدار این جرم را بر حسب کیلوگرم و با نماد علمی بنویسید.**

راه‌حل: پیشوند میلی (m) برابر $۱۰^{-۳}$ است و هر گرم نیز $۱۰^{-۳}\,kg$ است. از این رو:

$$۹۱۰۹\times۱۰^{-۲۸}\,mg=۹۱۰۹\times۱۰^{-۲۸}\,mg\times\frac{۱\,g}{۱۰^{۳}\,mg}\times\frac{۱\,kg}{۱۰^{۳}\,g}=۹۱۰۹\times۱۰^{-۳۴}\,kg$$

نماد علمی آن به صورت مقابل می‌باشد:

$$۹۱۰۹\times۱۰^{-۳۴}\,kg=۹/۱۰۹\times۱۰^{۳}\times۱۰^{-۳۴}=۹/۱۰۹\times۱۰^{-۳۱}\,kg$$

مسأله ۵ **تبدیل یکاهای زیر را انجام دهید و به صورت نمادگذاری علمی بنویسید.**

الف) $۴۶۵\times۱۰^{-۶}\,Gm$ **چند میکرومتر است؟**

ب) یک دقیقه چند نانوثانیه است؟

پ) ۲۵۰ سانتی‌متر مکعب چند متر مکعب است؟

راه‌حل: الف)

$$۴۶۵\times۱۰^{-۶}\,Gm=۴۶۵\times۱۰^{-۶}\,Gm\times\frac{۱۰^{۹}\,m}{۱\,Gm}\times\frac{۱\,\mu m}{۱۰^{-۶}\,m}=۴۶۵\times۱۰^{۹}\,\mu m=۴/۶۵\times۱۰^{۱۱}\,\mu m$$

ب)

$$۱\,min=۱\,min\times\frac{۶۰\,s}{۱\,min}\times\frac{۱۰^{۹}\,ns}{۱\,s}=۶\times۱۰^{۱۰}\,s$$

پ)

$$۲۵۰\,cm^{۳}=۲۵۰\,cm^{۳}\times\frac{۱\,m^{۳}}{(۱۰^{۲})^{۳}\,cm^{۳}}=۲۵۰\times۱۰^{-۶}\,m^{۳}=۲/۵\times۱۰^{-۴}\,m^{۳}$$

اندازه‌گیری، خطا و دقت

به دلیل وجود خطا در هر اندازه‌گیری هرگز نمی‌توان اندازه‌ی قطعی یک کمیت را به کمک اندازه‌گیری به‌دست آورد.

عامل‌های مؤثر در افزایش دقت اندازه‌گیری:

۱- دقت وسیله‌ی اندازه‌گیری

۲- مهارت شخص آزمایشگر

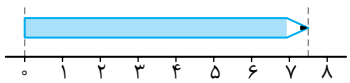
۳-تعداد دفعات اندازه‌گیری.

- هر چه تعداد دفعات اندازه‌گیری با وسیله‌ی مناسب بیش‌تر باشد، دقت اندازه‌گیری بالاتر است.

نتیجه‌ی اندازه‌گیری برابر میانگین اندازه‌های به‌دست آمده در تکرار آزمایش است. البته باید اعدادی که دارای اختلاف زیادی با بقیه‌ی اندازه‌گیری‌ها هستند، حذف شوند.

- نتیجه‌ی اندازه‌گیری با یک عدد و یکای آن بیان می‌شود، به تعداد رقم‌های آن عدد رقم‌های با معنا گویند و اولین رقم سمت راست را رقم غیرقطعی گویند. زیرا این رقم در اندازه‌گیری مشکوک است و آن را حدس می‌زنیم.

- اگر طول یک مداد را مطابق شکل با یک خط‌کش که بر حسب سانتی‌متر درجه‌بندی شده، اندازه بگیرید، شما تشخیص می‌دهید که طول مداد از هفت سانتی‌متر بیش‌تر و از هشت سانتی‌متر کم‌تر است و ممکن است عدد ۷/۴ سانتی‌متر را برای طول آن پیشنهاد دهید. در این صورت نتیجه‌ی اندازه‌گیری شما دارای دو رقم با معنا است و رقم ۴ در سمت راست عدد، رقم غیرقطعی است.



- در وسایلی که مدرج شده‌اند، مانند خط‌کش **خطای اندازه‌گیری نصف کمینه‌ی تقسیم بندی روی وسیله‌ی اندازه‌گیری است**. در مثال بالا، خطای اندازه‌گیری $۰/۵cm$ است و نتیجه‌ی اندازه‌گیری $۷/۴\pm۰/۵cm$ می‌باشد.

در وسایل دیجیتال، خطای اندازه‌گیری برابر یک واحد از آخرین رقمی است که خوانده می‌شود (یعنی رقم اول سمت راست عدد روی نمایشگر).

در خواندن عدد روی وسایل اندازه‌گیری درجه‌بندی شده مانند کولیس، ریزسنج و... باید به صورت عمود به آن‌ها نگاه کرد تا خطای آزمایش‌گر کم‌تر شود.

مسأله ۶ **با یک ریزسنج طول جسمی را اندازه‌گیری کرده‌اند. نتیجه‌ی اندازه‌گیری عدد $5/260\,mm$ شده است.**

الف) تعداد رقم‌های با معنا و رقم غیرقطعی را مشخص کنید.

ب) خطای اندازه‌گیری دستگاه را مشخص کنید.

راه‌حل: **الف)** تعداد رقم‌های با معنا ۴ رقم و رقم غیرقطعی صفر است.

ب) چون تقسیم‌بندی دستگاه اندازه‌گیری و هم‌چنین نوع آن که دیجیتال یا مدرج می‌باشد، بیان نشده است، نمی‌توان خطای اندازه‌گیری را مشخص کرد.

تخمین مرتبه‌ی بزرگی در فیزیک

در علم یا زندگی روزمره گاهی اوقات در شناخت بهتر یک موضوع و کمیت‌های وابسته به آن، اندازه‌ای غیر دقیق به کار می‌بریم. فرایندی که با آن این عمل را انجام می‌دهیم را فرایند **تخمین یا برآورد** گویند. در موارد زیر از تخمین استفاده می‌کنیم:

۱) دقت بالا در محاسبه‌ها اهمیت چندانی نداشته باشد.

۲) زمان کافی برای محاسبه‌های دقیق نداشته باشیم.

۳) به همه یا بخشی از داده‌های مورد نیاز دسترسی نداشته باشیم.

تخمین مرتبه‌ی بزرگی

عبارت مرتبه‌ی بزرگی اغلب برای ارجاع به توان‌های ۱۰ به کار می‌رود.

برای تخمین مرتبه‌ی بزرگی، قاعده‌ی زیر را استفاده می‌کنیم:

۱) ابتدا عدد را به صورت نمادگذاری علمی می‌نویسیم $(a\times10^{b})$.

۲) اگر $1\le a<5$ باشد، در این صورت a را با 10^{0} تخمین می‌زنیم $(a\sim10^{0})$ و اگر $5\le a<10$ باشد، در این صورت a را با 10^{1} تخمین می‌زنیم $(a\sim10^{1})$.

مسأله ۷ **تخمین مرتبه‌ی بزرگی اعداد زیر را مشخص کنید:**

الف) ۶۳ **ب)** ۱۳۷۵

پ) ۸۷۴۶ **ت)** ۰/۰۰۵۲

راه‌حل: **الف)** عدد را به صورت نماد علمی می‌نویسیم:

$$63=\underbrace{6/3}_{>5}\times10^{1}\xrightarrow{6/3\sim10^{1}}10^{1}\times10^{1}=10^{2}$$

ب)

$$1375=\underbrace{1/375}_{<5}\times10^{3}\xrightarrow{1/375\sim10^{0}}10^{0}\times10^{3}=10^{3}$$

پ)

$$8746=\underbrace{8/746}_{>5}\times10^{3}\xrightarrow{8/746\sim10^{1}}10^{1}\times10^{3}=10^{4}$$

ت)

$$0/0052=\underbrace{5/2}_{>5}\times10^{-3}\xrightarrow{5/2\sim10^{1}}10^{1}\times10^{-3}=10^{-2}$$