فهرست

فصل اول: فیزیک و اندازه‌گیری ۷

پاسخ‌نامهٔ فصل اول ۲۷

فصل دوم: ویژگی‌های فیزیکی مواد ۳۱

پاسخ‌نامهٔ فصل دوم ۶۵

فصل سوم: کار، انرژی و توان ۷۴

پاسخ‌نامهٔ فصل سوم ۹۶

فصل چهارم: دما و گرما ۱۰۵

پاسخ‌نامهٔ فصل چهارم ۱۳۴

آزمون‌های نوبت اول ۱۴۱

آزمون‌های نوبت دوم ۱۴۹

همین اول ماجراهای فیزیک بگویم که ماجرای این فصل، یک ماجرای دنباله‌دار است. یعنی فکر نکنید که در آخر فصل، ماجرای آن تمام می‌شود. در همهٔ فصل‌های بعدی و تا وقتی فیزیک می‌خوانید و حتی خیلی وقت‌ها در زندگی روزمرهٔ خودتان مطالب این فصل را لازم دارید. پس آن را خوب یاد بگیرید و *البته حواستون به ریاضی هم باشه که تو فیزیک خیلی مهمه!*

امیدوارم ماجراهای به‌یادموندنی و شیرینی رو در فیزیک تجربه کنید

فیزیک، دانش بنیادی

هر روز در اطراف ما اتفاقات زیادی رخ می‌دهد. هر کدام از این اتفاق‌ها یک **پدیده** است. تابش نور خورشید، حرکت عقربه‌های ساعت، حرف‌زدن معلم و شنیدن شما، ترمزکردن یک اتومبیل، راه‌رفتن، افتادن برگ از درختان و ... هر کدام یک پدیده هستند. اگر به سادگی از کنار این پدیده‌ها عبور نکنیم و بخواهیم علت آن‌ها را با روش‌های علمی مطالعه کنیم، نیازمند **علم فیزیک** خواهیم بود.

فیزیک را یکی از علوم پایه می‌دانیم. فیزیک از بنیادی‌ترین دانش‌ها و پایه و اساس تمام مهندسی‌ها و فناوری‌هاست و به همین دلیل است که مطالعه و یادگیری آن برای ما اهمیت زیادی دارد.

مدل، نظریه و قانون فیزیکی

فیزیک‌دانان برای بررسی پدیده‌های طبیعت، بیشتر وقت‌ها[1] به شکل زیر عمل می‌کنند:

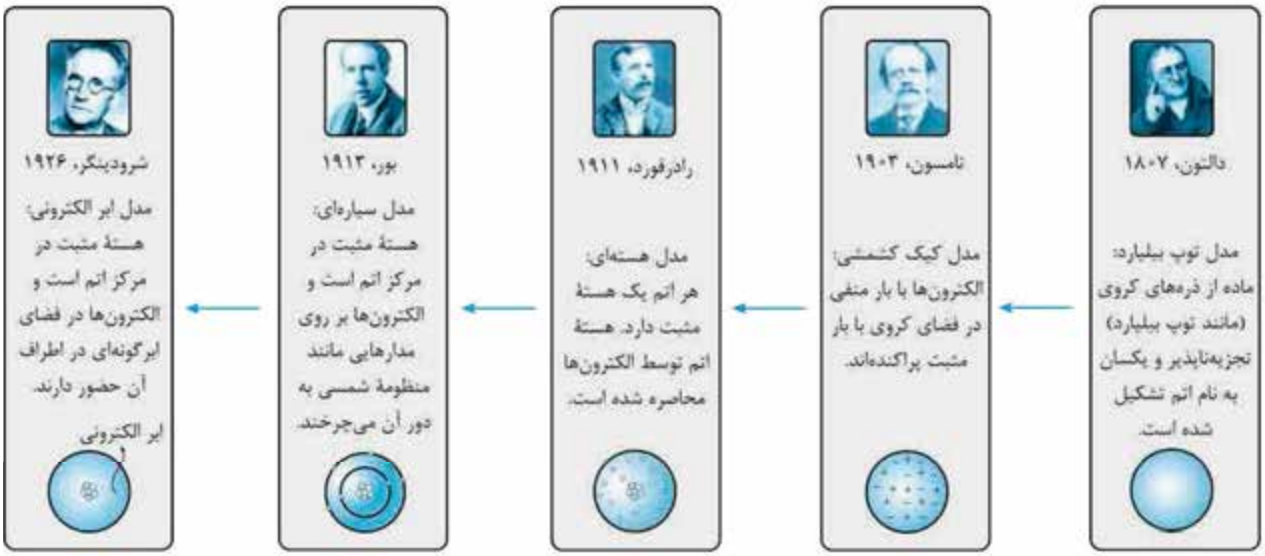
آن‌ها ابتدا یک پدیده را به دقت مشاهده و بررسی کرده و سعی می‌کنند آن را براساس یک مدل شبیه‌سازی کنند. **مدل** نوعی مقایسه و شبیه‌سازی یک پدیدهٔ فیزیکی واقعی با چیزی است که ما با آن آشنا هستیم. وقتی یک مدل ساخته شد، فیزیک‌دان‌ها تلاش می‌کنند با انجام آزمایش‌ها و مشاهدات دقیق‌تر، آن مدل را اصلاح کرده و گسترش دهند و به جزئیات بیشتری از آن پدیده دست یابند. در این مرحله است که یک **نظریهٔ فیزیکی** ساخته می‌شود. نظریهٔ فیزیکی می‌تواند به ساختن مدل‌های جدید نیز کمک کند. هنگامی که یک نظریه کاملاً تثبیت شده و از تمام آزمایش‌ها سربلند بیرون بیاید، به یک **قانون فیزیکی** تبدیل می‌شود.

برای این‌که از پدیده‌های فیزیکی به قانون‌های فیزیکی برسیم، نیازمند مشاهده[2] و آزمایش هستیم. فیزیک علمی تجربی است و **مشاهده و آزمایش** در پیشبرد و تکامل علم فیزیک، نقش و اهمیت زیادی دارد، اما این به تنهایی کافی نیست. **تفکر نقادانه** و **اندیشه‌ورزی فعال** فیزیک‌دانان نسبت به پدیده‌های طبیعی، نقش بیشتری در این زمینه ایفا کرده است. از طرفی باید بدانیم که ممکن است مدل‌ها و نظریه‌های فیزیکی در طول زمان همواره معتبر نباشند و گاهی بنا بر نتایج آزمایش‌های جدید، دستخوش تغییر و بازنگری شوند. همین ویژگی، یعنی **آزمون‌پذیری** و **اصلاح نظریه‌های فیزیکی**، نقطهٔ قوت دانش فیزیک است.

۱ـ رسیدن به نظریه‌های فیزیکی همیشه با مشاهده یا مدل‌سازی همراه نیست. به طور مثال، دانشمندانی چون اینشتین و مکسول نظریه‌هایی ارائه کردند که سال‌ها بعد در پدیده‌های طبیعت مشاهده شد و مورد آزمایش قرار گرفت.

۲ـ منظور از مشاهده، هرگونه اطلاعاتی است که بتوانیم راجع به یک پدیده به دست آوریم و فقط به نگاه‌کردن محدود نمی‌شود.

نمونه **تغییر مدل اتمی در طول زمان**. مدل اتمی یکی از نمونه‌های خوبی است که تأثیر مشاهده، آزمایش و اندیشه‌ورزی فیزیک‌دانان را در طول زمان نشان می‌دهد.



تمرین

۱- در جمله‌های زیر جاهای خالی را با کلمه یا عبارت مناسب کامل کنید.

الف) نقطهٔ قوت دانش فیزیک، دو ویژگی ..... و ..... است.

ب) آن‌چه بیش از مشاهده و آزمایش در پیشبرد و تکامل علم فیزیک نقش داشته، ..... و ..... فیزیک‌دانان نسبت به پدیده‌های طبیعی است.

۲- در چه صورتی مدل‌ها و نظریه‌های فیزیکی دچار تغییر می‌شوند؟

مدل‌سازی در فیزیک

فرض کنید شما یک فیزیک‌دان هستید که می‌خواهید یک پدیدهٔ به ظاهر ساده مانند سقوط یک جسم از بالای یک ساختمان بلند را بررسی و مطالعه کنید و در نهایت، الگو و نظم خاص حاکم بر آن را به دست آورید.

اگر مشاهدات شما دقیق باشد، خواهید دید که عوامل مختلفی مانند مقاومت هوا، تغییر نیروی جاذبه بر اثر تغییر ارتفاع و ... روی زمان سقوط اجسام تأثیر می‌گذارند. اگر بخواهید همهٔ این عوامل را با هم در نظر بگیرید، با پیچیدگی‌هایی روبه‌رو می‌شوید که کار شما را سخت خواهد کرد. برای همین مجبور خواهید شد به جای یک پدیدهٔ واقعی، یک مدل ساده‌شده و آرمانی را بررسی کنید.

در این مدل ساده‌شده، شما از تأثیر مقاومت هوا و تغییر نیروی جاذبه بر اثر تغییر ارتفاع چشم‌پوشی می‌کنید.

روشی را که شما برای ساده‌سازی پدیدهٔ فیزیکی مورد مطالعه‌تان به کار بردید، **مدل‌سازی** نامیده می‌شود. **مدل‌سازی** فرایندی است که در آن یک پدیدهٔ فیزیکی را آن‌قدر ساده و آرمانی در نظر می‌گیریم تا امکان بررسی و تحلیل آن فراهم شود.

از مدل‌سازی تقریباً در تمام موضوعات علم فیزیک استفاده می‌شود.

در ادامه، دو مثال از کاربرد مدل‌سازی در مکانیک را با هم می‌بینیم. مکانیک شاخه‌ای از فیزیک است که حرکت اجسام و نیروهای وارد بر آن‌ها را بررسی می‌کند.

مثال و پاسخ

مثال **یک دروازه‌بان فوتبال، توپ کاشته‌ای را شوت می‌کند. یک فیزیک‌دان می‌خواهد نحوهٔ حرکت این توپ را بررسی کند.**

الف **چه عواملی باعث می‌شوند که تحلیل حرکت این توپ پیچیده شود؟**

ب **چگونه می‌توان حرکت این توپ را مدل‌سازی کرد؟**

پاسخ **الف** این عوامل باعث پیچیده‌شدن تحلیل حرکت توپ می‌شوند:

- درزها و برجستگی‌های ریزی روی توپ فوتبال وجود دارد که باعث می‌شود این توپ یک کرهٔ دقیق نباشد.
- توپ در هنگام حرکت به دور خود می‌چرخد.
- باد و مقاومت هوا بر حرکت توپ اثر می‌گذارند.
- وزن توپ با تغییر فاصله از زمین تغییر می‌کند.

ب برای مدل‌سازی حرکت توپ و کاهش پیچیدگی‌های بالا، این فرض‌ها را در نظر می‌گیریم:

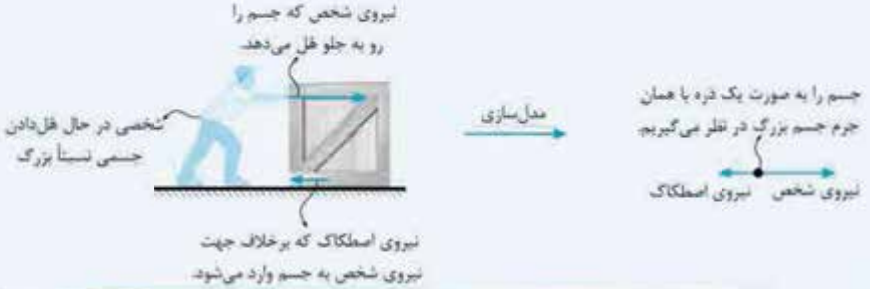
- از اندازه و شکل توپ صرف‌نظر کرده و آن را به صورت یک جسم نقطه‌ای یا ذره در نظر می‌گیریم.
- از مقاومت هوا و اثر وزش باد صرف‌نظر کرده و فرض می‌کنیم که توپ در خلأ حرکت می‌کند.
- فرض می‌کنیم با تغییر فاصلهٔ توپ از زمین، وزن آن ثابت می‌ماند.

(الف) توپ فوتبال در هوا (ب) مدل آرمانی توپ فوتبال

مثال و پاسخ

مثال **شخصی جسم نسبتاً بزرگی را روی زمین هُل می‌دهد. برای بررسی حرکت جسم و نیروهای وارد بر آن، چگونه از مدل‌سازی استفاده می‌کنیم؟**

پاسخ برای بررسی راحت‌تر، در نظر می‌گیریم که نیروها به یک نقطه اثر می‌کنند؛ بنابراین جسم را به صورت یک ذره با همان جرم جسم بزرگ‌تر در نظر می‌گیریم. شخصی که نیرو وارد می‌کند و نحوهٔ واردکردن نیرو نیز برای ما مهم نیست. نحوهٔ مدل‌سازی این پدیده را در زیر ببینید:



توجه برای ساختن یک مدل درست از یک پدیدهٔ فیزیکی، باید تعداد اندکی از اثرهای جزئی‌تر را نادیده بگیریم تا روی مهم‌ترین ویژگی‌ها تمرکز کنیم. باید مراقب بود که بیش از حد چشم‌پوشی نکرده و ویژگی‌های اساسی را در مدل خود حفظ کرده باشیم. مثلاً اگر در مثال شوت‌کردن توپ فوتبال به جای نادیده‌گرفتن مقاومت هوا از نیروی جاذبهٔ زمین چشم‌پوشی می‌کردیم، براساس مدل ما توپ پس از پرتاب، در یک مسیر مستقیم برای همیشه به حرکت خود ادامه می‌داد!

تمرین

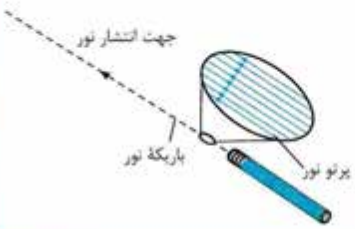
۳- مدل‌سازی را تعریف کنید.

۴- ویژگی یک مدل‌سازی خوب چیست؟

۵- لیزر مدادی وسیله‌ای است که با آن می‌توان باریکهٔ نور تولید کرد. یکی از کاربردهای باریکهٔ نور، استفاده از آن در آزمایش‌های مربوط به نور است.

الف) در شکل مقابل چه چیزی مدل‌سازی شده است؟

ب) در مسائل تشکیل تصویر توسط پرتوهای نور معمولاً از چه فرض‌های ساده‌کننده‌ای استفاده می‌شود؟



اندازه‌گیری و کمیت‌های فیزیکی

دیدیم که فیزیک علمی تجربی است و تجربه نیازمند مشاهده و آزمایش است. مشاهدات و آزمایش‌های دقیق فقط از طریق اندازه‌گیری درست انجام می‌شود؛ بنابراین اندازه‌گیری در فیزیک از اهمیت بالایی برخوردار است.

کمیت فیزیکی

در هر اندازه‌گیری، کمیت‌های فیزیکی اندازه‌گیری می‌شوند. در واقع **کمیت فیزیکی** چیزی است که قابل اندازه‌گیری باشد و بتوان مقدار آن را با یک عدد مشخص کرد. طول میز، وزن کیف و دمای کلاس هر کدام یک کمیت هستند ولی احساس گرما، احساس خواب‌آلودگی و مهربانی هیچ‌کدام کمیت نیستند؛ چون مقدار آن‌ها را نمی‌توان با یک عدد مشخص کرد.

مثلاً هیچ‌وقت نمی‌گیم ۲ تا گرمه یا ۲۰ تا خوابم میاد یا مادر من ۲۰۰ تا مهربونه!

یکای اندازه‌گیری

به اندازه‌گیری‌هایی که هر روز در اطرافتان اتفاق می‌افتد، دقت کنید. مثلاً ممکن است به دوستتان بگویید که از خانهٔ ما تا خیابان ۱۵۰ قدم است. در این اندازه‌گیری، شما فاصلهٔ خانه تا خیابان را با طول قدمتان مقایسه کرده و نتیجه را به صورت یک عدد (در این‌جا ۱۵۰) و یک یکا (در این‌جا طول قدم خودتان) بیان کرده‌اید.

یکای هر کمیت، مقدار مشخصی از آن کمیت است که به عنوان مقیاس اندازه‌گیری انتخاب می‌شود.

وقتی کمیتی را اندازه می‌گیریم، در واقع داریم آن کمیت را با یکای آن کمیت مقایسه می‌کنیم تا معلوم شود بزرگی آن چند برابر یکاست.

کمیت‌های نرده‌ای و برداری

فرض کنید معلمتان از شما می‌پرسد که از مدرسه تا خانه چند دقیقه در راه هستید؟ و شما پاسخ می‌دهید ۲۰ دقیقه. این جواب کامل است و معلمتان منتظر اطلاعات جدیدی نیست. حالا اگر معلمتان بپرسد که خانهٔ شما کجاست؟ و شما بگویید ۲ کیلومتر دورتر از مدرسه، جواب کاملی نداده‌اید. برای این‌که جواب شما به سؤال دوم کامل باشد، باید علاوه بر طول مسیر، جهت حرکت را هم مشخص کنید. در واقع سؤال اول از یک کمیت عددی (زمان) پرسیده شده و جواب آن تنها یک عدد به همراه یکای آن است، اما در سؤال دوم از یک کمیت برداری (مکان) سؤال شده و جواب آن باید علاوه بر عدد و یکا، جهت را نیز مشخص کرده باشد؛ بنابراین:

کمیت‌های نرده‌ای یا عددی یا اسکالر کمیت‌هایی هستند که می‌توان آن‌ها را به طور کامل توسط یک عدد و یک یکا توصیف کرد.

مانند: جرم، طول، زمان، دما و ... .

توجه در آینده با بعضی از کمیت‌های نرده‌ای آشنا خواهید شد که فقط با یک عدد بیان می‌شوند و یکا ندارند. مثل: ضریب اصطکاک، ضریب شکست نور و ... . در واقع یکای این کمیت‌ها، حاصل تقسیم دو یکای هم‌جنس است که با هم ساده می‌شوند و کمیت، در نهایت بدون یکا است. مثلا ممکن است کمیتی از تقسیم دو نیرو بر هم به دست بیاید $(\frac{N}{N})$ که پس از ساده‌سازی، بدون یکا خواهد بود.

کمیت‌های برداری کمیت‌هایی هستند که برای توصیف کامل آن‌ها باید به طور هم‌زمان از عدد، یکا و جهت استفاده کرد. مانند: مکان، جابه‌جایی، سرعت متوسط، نیرو و ... .

مثال کمیت‌های فیزیکی نرده‌ای (اسکالر)

جرم		دما		زمان	
۶۰	kg	۲۵	°C	۳۰	s
↑	↑	↑	↑	↑	↑
عدد	یکا	عدد	یکا	عدد	یکا

مثال کمیت‌های فیزیکی برداری

جابه‌جایی			سرعت متوسط		
به‌طرف شرق	۶ km	۸ به‌طرف شرق	۳۰	km / h	به‌طرف شرق
↑	↑	↑	↑	↑	↑
جهت	یکا	عدد	عدد	یکا	جهت

نکته وقتی می‌خواهیم یک کمیت برداری را نشان دهیم، بالای نماد آن کمیت یک علامت پیکان می‌گذاریم. اگر این علامت پیکان نباشد، منظورمان فقط اندازهٔ آن کمیت برداری است.

نمونه $\vec{F}$: بردار نیرو F: اندازهٔ بردار نیرو $\vec{a}$: بردار شتاب a: اندازهٔ بردار شتاب

نکته کمیت‌های برداری را نمی‌توا ن مثل دو عدد معمولی با هم جمع کرد؛ بلکه هنگام جمع و تفریق آن‌ها باید جهت را هم در نظر گرفت. اصطلاحاً می‌گوییم که کمیت‌های برداری از قواعد جمع برداری تبعیت می‌کنند.

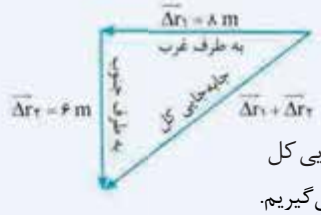
کاربرد دو نکتهٔ بالا را در مثال زیر ببینید:

مثال و پاسخ

مثال **متحرکی ابتدا ۸ m به طرف غرب و سپس ۶ m به طرف جنوب رفته است. اگر جابه‌جایی‌های آن را به ترتیب با $\overrightarrow{\Delta r_1}$ و $\overrightarrow{\Delta r_2}$ نشان دهیم، حاصل عبارت‌های زیر را تعیین کنید.**

الف $\overrightarrow{\Delta r_1} + \overrightarrow{\Delta r_2}$ **ب** $\Delta r_1 + \Delta r_2$

پاسخ الف در جمع دو بردار، باید جهت آن‌ها را در نظر گرفت. حرکتِ داده‌شده مطابق شکل مقابل است و طبق قضیهٔ فیثاغورس داریم:



به طرف جنوب غربی $\overrightarrow{\Delta r_1} + \overrightarrow{\Delta r_2} = \sqrt{8^2 + 6^2} = \sqrt{64 + 36} = \sqrt{100} = 10\ m$:جابه‌جایی کل

ب وقتی علامت پیکان را نگذاریم، فقط با اندازهٔ جابه‌جایی سروکار داریم و جهت را در نظر نمی‌گیریم.

$\Delta r_1 + \Delta r_2 = 8\ m + 6\ m = 14\ m$:مسافت پیموده‌شده

در این مثال، تفاوت «جابه‌جایی» و «مسافت پیموده‌شده» را هم به خوبی می‌بینیم.

تمرین

۶- کمیت فیزیکی را تعریف کنید.

۷- یکا چیست؟

۸- نرده‌ای یا برداری بودن هر یک از کمیت‌های زیر را تعیین کنید.

الف) طول **ب) زمان** **پ) مکان** **ت) جرم**

ث) نیرو **ج) دما** **چ) فشار** **ح) جریان الکتریکی**

۹- تفاوت کمیت‌های عددی و برداری در چیست؟

اندازه‌گیری و دستگاه بین‌المللی یکاها

در قسمت قبل دیدیم که ممکن است شما به دوستتان بگویید که از خانهٔ شما تا خیابان ۱۵۰ قدم است. یکای مورد استفاده در این اندازه‌گیری، طول قدم است. به نظر شما انتخاب این یکا برای کمیت طول چه مزایا و چه معایبی دارد؟

در زمان‌های دور برخی پارچه‌فروش‌ها فاصلهٔ نوک بینی تا نوک انگشتان دست کشیده‌شده را به عنوان یکای طول استفاده می‌کردند. این کار آن‌ها چه مزایا و چه معایبی داشت؟

اگر یکای طول را به اندازهٔ طول قدم یا فاصلهٔ نوک بینی تا نوک انگشتان دست تعریف کنید، این مزیت را دارد که همیشه در دسترس است، اما دقیق نیست و از فردی تا فرد دیگر دچار تغییر می‌شود.

برای این‌که اندازه‌گیری‌های درست و قابل اطمینانی داشته باشیم، باید یکاهایی را انتخاب کنیم که:

۱) تغییر نکنند. ۲) دارای قابلیت بازتولید در مکان‌های مختلف باشند.

انتخاب یکاها در طول تاریخ دچار تغییر و تحولاتی شده و حتی در کشورهای مختلف، یکاهای متفاوتی مورد استفاده قرار گرفته است، اما این تغییر و تحول به سمت انتخاب یک دستگاه مناسب و مورد قبول همهٔ کشورها پیش رفته است.

دستگاه یکاهایی که بیشتر دانشمندان و مهندسان از آن استفاده می‌کنند را **دستگاه متریک** می‌نامند.

این دستگاه از سال ۱۳۳۸ (ه.ش) به طور رسمی **دستگاه بین‌المللی** (SI) نامیده شده است. پس در هر مسئله‌ای که با عبارت SI روبه‌رو شدید، منظورمان دستگاه استاندارد بین‌المللی یکاها است.

یکاهای SI را مجمع عمومی اوزان و مقیاس‌ها که در فرانسه قرار دارد، انتخاب و معرفی کرده است. تعیین این‌که چه کمیتی اصلی باشد و چه کمیتی فرعی هم به عهدهٔ همین مجمع است.

کمیت‌های اصلی و فرعی

تعداد کمیت‌های فیزیکی خیلی زیاد است. اگر بخواهیم برای هر یک از آن‌ها یکای مستقلی تعریف کنیم، کار دشواری خواهیم داشت. خوشبختانه نیازی به این کار نیست و بسیاری از کمیت‌های فیزیکی به یکدیگر وابسته‌اند. یکی از کمیت‌های فیزیکی «مساحت» است. فرض کنید می‌خواهیم مساحت یک مستطیل را حساب کنیم. برای این کار، طول و عرض مستطیل را در هم ضرب می‌کنیم؛ در نتیجه کمیت مساحت را با استفاده از کمیت طول به دست آورده‌ایم؛ یعنی مساحت، یک کمیت مستقل نبوده و به کمیت طول وابسته است.

فیزیک‌دانان تعدادی از کمیت‌های فیزیکی را به عنوان کمیت‌های اصلی انتخاب کرده‌اند و بقیهٔ کمیت‌ها را برحسب این کمیت‌ها بیان می‌کنند.

کمیت‌هایی که یکای آن‌ها به طور مستقل تعریف شده‌اند، **کمیت‌های اصلی** نامیده می‌شوند. کمیت‌های اصلی این‌ها هستند:

جدول (۱): کمیت‌های اصلی و یکاهای آن

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

سایر کمیت‌ها که براساس کمیت‌های اصلی تعریف می‌شوند را **کمیت‌های فرعی** می‌نامیم. در جدول زیر، تعدادی از کمیت‌های فرعی پرکاربرد را می‌بینید:

جدول (۲): کمیت‌های فرعی پرکاربرد

کمیت	یکای SI	یکای فرعی براساس یکاهای اصلی
حجم	m^3	m^3
تندی و سرعت	m/s	m/s
شتاب	m/s^2	m/s^2
نیرو	نیوتون (N)	$kg.m/s^2$
فشار	پاسکال (Pa)	$kg/m.s^2$
چگالی	kg/m^3	kg/m^3
انرژی	ژول (J)	$kg.m^2/s^2$
توان	وات (W)	$kg.m^2/s^3$
گرمای ویژه	$J/kg.K$	$m^2/s^2.K$

همان‌طور که در جدول بالا مشاهده می‌کنید، برای برخی از یکاهای فرعی پرکاربرد، یک نام خاص ارائه شده که کار ما را در استفاده از این کمیت‌ها راحت‌تر می‌کند. مثلاً یکای نیرو در SI، نیوتون و یکای فشار، پاسکال است.

مثال و پاسخ

مثال **نشان دهید کمیت‌های فرعی حجم و تندی متوسط، چگونه به کمیت‌های اصلی وابسته‌اند.**

پاسخ حجم یک شکل ساده مثل مکعب‌مستطیل را در نظر می‌گیریم. داریم: حجم مکعب مستطیل = طول × عرض × ارتفاع

طول، عرض و ارتفاع، هر سه از جنس کمیت اصلی طول هستند. بنابراین کمیت فرعی حجم با استفاده از کمیت اصلی طول به دست می‌آید.

برای تندی متوسط هم از رابطه‌ای که در علوم نهم یاد گرفتیم، استفاده می‌کنیم:

$$\text{تندی متوسط} = \frac{\text{مسافت پیموده‌شده}}{\text{مدت‌زمان صرف‌شده}}$$

در این رابطه، مسافت از جنس طول و مدت‌زمان صرف‌شده از جنس زمان است. بنابراین تندی متوسط با کمک کمیت‌های اصلی طول و زمان تعریف می‌شود.

توجه مسافت پیموده‌شده معمولاً برحسب متر (m) یا کیلومتر (km) و زمان صرف‌شده معمولاً برحسب ثانیه (s)، دقیقه (min) و یا ساعت (h) بیان می‌شود. بسته به این‌که از کدام یکاها استفاده کنیم، تندی متوسط می‌تواند یکاهای مختلفی مانند: m / s، km / h، m / min و ... داشته باشد.

در میان هفت کمیت اصلی، سه کمیت از بقیه پرکاربردترند که یکای هر کدام را به طور مختصر معرفی می‌کنیم:

یکای طول

یکای طول در SI **متر** نام دارد که آن را با نماد m نشان می‌دهند. در قدیم یکای طول بر مبنای یک دهمیلیونیم $\left(\frac{۱}{۱۰^{۷}}\right)$ فاصلهٔ استوا تا قطب شمال زمین تعریف شده بود که امروزه بر مبنای مسافت پیموده‌شده توسط نور تعریف می‌شود.

نمونهٔ یکای طول استاندارد (متر)، فاصلهٔ میان دو خط نازک حک‌شده روی میله‌ای از جنس آلیاژ پلاتین ـ ایریدیم در دمای $۰^{\circ}C$ است که در موزه‌ای در فرانسه نگه‌داری می‌شود.

یکای جرم

یکای جرم در SI کیلوگرم و نماد آن kg است.

نمونهٔ جرم استاندارد، استوانه‌ای فلزی از جنس آلیاژ پلاتین ـ ایریدیم است که در موزه‌ای در فرانسه نگه‌داری می‌شود.

نمونه‌های مشابهی از نمونهٔ استاندارد طول و جرم ساخته و به کشورهای مختلف جهان ارسال شده است.

استاندارد ملی کیلوگرم
نمونهٔ دقیقی که از روی استاندارد جهانی برای ایران ساخته شده است.

یکای زمان

یکای زمان در SI ثانیه و نماد آن s است.

ثانیه در قدیم برابر $\frac{۱}{۸۶۴۰۰}$ یک شبانه‌روز تعریف شده بود، اما امروزه براساس ساعت‌های اتمی دقیق تعریف می‌شود.

بازهٔ زمانی مدت زمان بین شروع و پایان یک رویداد است.

جمع‌بندی انواع کمیت‌ها در یک نمودار

- **انواع کمیت‌ها**
  - **از نظر ماهیت**
    - **نرده‌ای**: کمیت‌هایی هستند که به طور کامل با یک عدد و یک یکا توصیف می‌شوند.
    - **برداری**: کمیت‌هایی هستند که برای توصیف کامل آن‌ها باید به طور هم‌زمان از عدد، یکا و جهت استفاده کرد.
  - **از نظر قرارداد بین‌المللی**
    - **اصلی**: هفت کمیتی هستند که یکای آن‌ها به طور مستقل تعریف شده است.
    - **فرعی**: کمیت‌هایی هستند که یکای آن‌ها براساس کمیت‌های اصلی تعریف می‌شود.

پیشوندهای یکاها

در اندازه‌گیری کمیت‌های فیزیکی ممکن است با اندازه‌های خیلی بزرگ‌تر یا خیلی کوچک‌تر از یکای اصلی آن کمیت روبه‌رو شویم. در این موارد معمولاً از پیشوندهای یکاها استفاده می‌کنیم. هر کدام از این پیشوندها توان معینی از ۱۰ (یا همان 10^n) است. هر وقت یکی از این پیشوندها را در ابتدای یکای یک کمیت قرار دهیم، آن یکا به همان میزان بزرگ یا کوچک می‌شود. مثلاً اگر کیلو (10^3) را در اول یکای متر به کار ببریم، می‌شود km که هر ۱ km برابر هزار متر است.

پیشوندهایی که کاربرد بیشتری دارند و بهتر است به خاطر سپرده شوند را در جدول (۳) می‌بینید:

جدول (۳): پیشوندهای پرکاربرد برای یکاها

پیشوند	ضریب تبدیل	نماد	پیشوند	ضریب	نماد
دسی	$\frac{1}{10}=10^{-1}$	d	دکا	۱۰	da
سانتی	$\frac{1}{100}=10^{-2}$	c	هکتو	10^2	h
میلی	$\frac{1}{1000}=10^{-3}$	m	کیلو	10^3	k
میکرو	$\frac{1}{10^6}=10^{-6}$	μ	مگا	10^6	M
نانو	$\frac{1}{10^9}=10^{-9}$	n	گیگا	10^9	G
پیکو	$\frac{1}{10^{12}}=10^{-12}$	p	ترا	10^{12}	T

تبدیل یکاها

تبدیل یکاها در فیزیک اهمیت خیلی زیادی دارد. در فصل‌های بعدی، سال‌های آینده و تا هر وقتی که به فیزیک‌خواندن ادامه دهید، نیازمند تبدیل یکاها خواهید بود. در مسائل مختلف با دو نوع تبدیل یکا روبه‌رو می‌شویم:

۱) **تبدیل پیشوندهای یکا به یکدیگر**: این تبدیل‌ها چندان دشوار نیستند و فقط با تبدیل توان‌های ۱۰ به یکدیگر روبه‌رو هستیم.

۲) **تبدیل یکاهای استاندارد و غیراستاندارد**: برای درست انجام دادن این تبدیل‌ها باید مقدارهای عددی معادل را بدانیم. مثلاً این‌که هر ۶۰ ثانیه معادل یک دقیقه است، در تبدیل یکاهای ثانیه و دقیقه به یکدیگر کاربرد دارد.

ما برای تبدیل یکاها از روش تبدیل زنجیره‌ای استفاده می‌کنیم.

روش تبدیل زنجیره‌ای: ابتدا مقدار و یکای اولیه را می‌نویسیم. می‌دانیم که با ضرب هر کمیتی در عدد یک، اندازهٔ آن کمیت تغییر نمی‌کند. بنابراین مقدار و یکای اولیه را در کسری ضرب می‌کنیم که برابر یک است؛ یعنی صورت و مخرج این کسر با این‌که یکاهای متفاوتی دارند ولی با هم برابر هستند؛ چنین کسری را **ضریب تبدیل** می‌نامند.

با ضرب یکای اولیه در یک یا چند ضریب تبدیل و ساده‌کردن کسرها می‌توان به یکای موردنظر دست یافت.

نمونه **ضریب تبدیل.** همهٔ کسرهای زیر برابر یک هستند و می‌توانند به عنوان ضریب تبدیل به کار روند:

$$\frac{1\ \text{m}}{100\ \text{cm}}=1\ ،\ \frac{100\ \text{cm}}{1\ \text{m}}=1\ ،\ \frac{3600\ \text{ثانیه}}{1\ \text{ساعت}}=1\ ،\ \frac{1\ \text{ساعت}}{60\ \text{دقیقه}}=1$$

نمونه **روش تبدیل زنجیره‌ای.** می‌خواهیم ببینیم که ۵ متر مکعب آب برابر چند لیتر است؟

$$\underbrace{5\,\text{m}^3}_{\text{مقدار و یکای اولیه}}\times\underbrace{\frac{1000\,\text{L}}{1\,\text{m}^3}}_{\text{ضریب تبدیل}}=\underbrace{5000\,\text{L}}_{\text{مقدار و یکای موردنظر}}$$

مثال و پاسخ

مثال **هر nm چند km است؟**

پاسخ در این مثال با تبدیل پیشوندهای SI به یکدیگر روبه‌رو هستیم. ابتدا ۱ nm را نوشته و آن را در کسرهایی که برابر یک هستند و فقط تبدیل واحد انجام می‌دهند (ضریب تبدیل)، ضرب می‌کنیم:

$$۱\,nm \times \frac{۱\,m}{۱۰^{۹}\,nm} \times \frac{۱\,km}{۱۰^{۳}\,m} = ۱۰^{-۱۲}\,km$$

مثال **تندی متوسط یک متحرک برابر ۷۲ km / h است. این تندی را در واحد SI به دست آورید.**

پاسخ یکای تندی در SI، m / s است. در این‌جا می‌خواهیم یکای غیراستاندارد را به یکای استاندارد تبدیل کنیم. مقدار اولیه را نوشته و آن را در کسرهای تبدیل یکایی که برابر یک هستند (ضریب تبدیل)، ضرب می‌کنیم:

$$۷۲\,\frac{km}{h} \times \frac{۱۰^{۳}\,m}{۱\,km} \times \frac{۱\,h}{۳۶۰۰\,s} = ۲۰\,m/s$$

مثال و پاسخ

مثال **۱۳۶۰۰ kg/m^3 را به یکای g/cm^3 تبدیل کنید.**

پاسخ

$$۱۳۶۰۰\,\frac{kg}{m^{۳}} \times \frac{۱۰^{۳}\,g}{۱\,kg} \times \frac{۱\,m^{۳}}{۱۰^{۶}\,cm^{۳}} = ۱۳/۶\ g/cm^{۳}$$

مثال **سرعت شناورهای دریایی معمولاً برحسب یکایی به نام گره بیان می‌شود. هر گره دریایی برابر ۰/۵۱۴۴ متر بر ثانیه است. سرعت یک کشتی که برابر ۱۴ گره است را برحسب کیلومتر بر ساعت به دست آورید.**

پاسخ

$$۱۴\,\text{گره} \times \frac{۰/۵۱۴۴\,\frac{m}{s}}{۱\,\text{گره}} \times \frac{۳/۶\,\frac{km}{h}}{۱\,\frac{m}{s}} \simeq ۲۵/۹\ km/h$$

(برای تبدیل یکاهای m / s و km / h به یکدیگر، داریم: $m/s \underset{\times ۳/۶}{\overset{\div ۳/۶}{\rightleftharpoons}} km/h$)

مثال **تغییر یک کمیت نسبت به زمان را آهنگ آن کمیت می‌نامند. یک آتش‌نشان برای خاموش‌کردن آتش، از شیلنگ آبی استفاده می‌کند که آهنگ خروج آب از آن در حدود ۱۷۰۰۰ cm^3/s است. با روش تبدیل زنجیره‌ای، مشخص کنید که در هر دقیقه چند لیتر آب از شیلنگ خارج می‌شود؟**

پاسخ این مثال را با گرامیداشت یاد و خاطرهٔ همهٔ آتش‌نشانان فداکار، مخصوصاً آتش‌نشانان جان‌باخته در حادثهٔ ساختمان پلاسکوی تهران حل می‌کنیم. می‌خواهیم آهنگ خروج آب را برحسب یکای لیتر بر دقیقه (L / min) به دست آوریم:

$$۱۷۰۰۰\,\frac{cm^{۳}}{s} \times \frac{۱\,L}{۱۰^{۳}\,cm^{۳}} \times \frac{۶۰\,s}{۱\,min} = ۱۰۲۰\,L/min$$

نکته اگر یکای یک کمیت توان‌دار باشد، ضریب تبدیل را هم به توان موردنظر می‌رسانیم.

مثال و پاسخ

مثال **مساحت $۲/۴\,m^2$ را برحسب سانتی‌متر مربع به دست آورید.**

پاسخ

$$۲/۴\,m^{۲} \times \underbrace{\frac{۱۰^{۲}\,cm}{۱\,m} \times \frac{۱۰^{۲}\,cm}{۱\,m}}_{\frac{۱۰^{۴}\,cm^{۲}}{۱\,m^{۲}}} = ۲/۴ \times ۱۰^{۴}\,cm^{۲}$$

مثال **هکتار یکی از یکاهای مساحت است. هر هکتار برابر ۱۰ هزار متر مربع است. اگر زمین را کره‌ای به شعاع ۶۴۰۰ km فرض کنیم، مساحت آن چند هکتار است؟**

پاسخ رابطهٔ مساحت کره: $A = ۴\pi r^{۲}$

مساحت کرهٔ زمین: $A = ۴\pi \times (۶۴۰۰\,km)^{۲} \simeq ۵ \times ۱۰^{۸}\,km^{۲}$

$$۵ \times ۱۰^{۸}\,km^{۲} \times \frac{۱۰^{۶}\,m^{۲}}{۱\,km^{۲}} \times \frac{۱\,\text{هکتار}}{۱۰^{۴}\,m^{۲}} = ۵ \times ۱۰^{۱۰}\ \text{هکتار}$$

توجه فقط زمانی اجازه داریم دو واحد را به هم تبدیل کنیم که هر دو از جنس یک نوع کمیت باشند. مثلاً نمی‌توانیم $10\ m$ را که از جنس طول است به متر مربع (از جنس مساحت) تبدیل کنیم.

سازگاری یکاها

از دو دانش‌آموز می‌خواهیم اندازهٔ نیروی وارد بر جسمی به جرم $50\ g$ را که با شتاب $2\ m/s^2$ در حال حرکت است، برحسب نیوتون (N) به دست آورند. هر دو دانش‌آموز از رابطهٔ قانون دوم نیوتون $(F = ma)$ استفاده می‌کنند. جواب آن‌ها را ببینید:

دانش‌آموز اول	دانش‌آموز دوم
$F = ma = (50\ g)(2\ \frac{m}{s^2}) = 100\ N$	$m = 50\ g \times \frac{1\ kg}{1000\ g} = 0/050\ kg$ $F = ma = (0/050\ kg)(2\ \frac{m}{s^2}) = 0/1\ N$

با این‌که هر دو دانش‌آموز از یک رابطه استفاده کرده‌اند، جواب‌های آن‌ها هزار برابر با هم فرق می‌کند! به نظر شما کدام جواب درست است؟

در استفاده از فرمول‌های فیزیک همیشه باید حواسمان به یکاهایی که استفاده می‌کنیم، باشد.

اگر بخواهیم جواب مسئلهٔ ما برحسب یکای SI بیان شود، عددهایی که در فرمول قرار می‌دهیم باید برحسب SI نوشته شوند؛ یعنی یکاهای دو طرف معادله باید با هم سازگار باشند. حالا به راحتی می‌توانیم بگوییم که جواب دانش‌آموز اول اشتباه است و او سازگاری یکاها را رعایت نکرده است. دانش‌آموز دوم با تبدیل یکایی که انجام داد، به جواب درستی رسید.

سازگاری یکاها رعایت شده است

$$F = ma = (0/050\ kg) \times (2\ \frac{m}{s^2}) = 0/10\ N$$

در جدول (۲) دیدیم که $kg.m/s^2$ را نیوتون (N) می‌نامند.

نمادگذاری علمی

در فیزیک با عددهایی روبه‌رو می‌شویم که گاهی بسیار بزرگ و گاهی بسیار کوچک هستند. نوشتن این عددها به صورت معمولی، یا با تعداد زیادی صفر در جلوی عدد همراه است یا با رقم‌های زیاد اعشاری. مثلاً اگر بخواهیم سرعت نور در خلأ را به صورت معمولی بنویسیم، داریم: $300000000\ m/s$ و اگر این عدد بخواهد به توان ۲ برسد (مثلاً در فرمول $E = mc^2$)، یک ۹ داریم با ۱۶ صفر در جلوی آن! نمادگذاری علمی، ما را از شرّ این صفرها راحت می‌کند. در نمادگذاری علمی، هر عدد به صورت عددی بین ۱ تا ۱۰ نوشته می‌شود که در توانی از ۱۰ ضرب شده است؛ یعنی هر عددی در نمادگذاری علمی این شکلی نوشته می‌شود: $a \times 10^n$ که در آن $1 \le a < 10$.

عدد n برابر تعداد ارقامی است که ممیز را جابه‌جا کرده‌ایم تا یک عدد معمولی را به فرم نمادگذاری علمی بنویسیم. اگر ممیز را به سمت چپ برده باشیم، عدد n مثبت و اگر ممیز را به سمت راست ببریم، عدد n منفی است.

$$159\ L \xrightarrow[n=2]{\text{۲ رقم ممیز را به چپ می‌بریم.}} 1/59 \times 10^2\ L$$

$$0/00000801\ m \xrightarrow[n=-6]{\text{۶ رقم ممیز را به راست می‌بریم.}} 8/01 \times 10^{-6}\ m$$

مثال و پاسخ

مثال **عددهای داده‌شده را به صورت نمادگذاری علمی بنویسید.**

الف) $0/0023 = ...$ ب) $879000 = ...$

پ) $0/000715 \times 10^2 = ...$ ت) $313000 \times 10^{-4} = ...$

پاسخ الف) $2/3 \times 10^{-3}$ ب) $8/79 \times 10^5$ پ) $7/15 \times 10^{-2}$ ت) $3/13 \times 10^1$

پاسخ تمرین‌ها

۱- الف) آزمون‌پذیری ـ اصلاح نظریه‌های فیزیکی
ب) تفکر نقادانه ـ اندیشه‌ورزی فعال

۲- ممکن است آزمایش جدیدی انجام شود و نتایج آن نشان دهد که مدل یا نظریهٔ قبلی نیازمند تغییر، بازنگری و یا حتی جایگزینی است.

۳- مدل‌سازی فرایندی است که در آن، یک پدیدهٔ فیزیکی را آن‌قدر ساده و آرمانی در نظر می‌گیریم تا امکان بررسی و تحلیل آن فراهم شود.

۴- در یک مدل‌سازی خوب و درست، باید از تعداد اندکی از اثرهای جزئی‌تر چشم‌پوشی شود تا بتوان روی مهم‌ترین ویژگی‌ها تمرکز نمود.

۵- الف) در شکل نشان داده شده، جهت انتشار نور به صورت یک خط مستقیم و بدون پراکندگی رسم شده که در واقع این‌گونه نیست. در عمل، مقداری پراکندگی نور وجود دارد. پرتوهای نور رسم‌شده در شکل هم کاملاً موازی هستند، در حالی که در عمل، به طور کامل موازی نیستند. در واقع در رسم این شکل، پراکندگی‌های نوری و موازی‌نبودن صددرصدی را نادیده گرفته و شکل ساده‌تری با استفاده از مدل‌سازی رسم کرده‌ایم.

ب) مانند قسمت الف، در مسائل تشکیل تصویر توسط پرتوهای نور هم از پراکندگی‌ها و موازی‌نبودن پرتوها چشم‌پوشی کرده و مدل ساده‌تری رسم می‌کنیم. علاوه بر آن، معمولاً دسترسی به یک پرتو واقعی نیز در آزمایشگاه مقدور نیست و اغلب، باریکهٔ نور را به صورت یک پرتو نور مدل‌سازی می‌کنیم.

۶- هر چیز قابل اندازه‌گیری در فیزیک را کمیت فیزیکی می‌نامند.

۷- یکای هر کمیت، مقدار مشخصی از آن کمیت است که به عنوان مقیاس اندازه‌گیری انتخاب می‌شود. در واقع هر اندازه‌گیری، مقایسهٔ یک کمیت با یکای آن کمیت است.

۸- الف) نرده‌ای ب) نرده‌ای پ) برداری
ت) نرده‌ای ث) برداری ج) نرده‌ای
چ) نرده‌ای ح) نرده‌ای

کمیت‌های فشار و جریان الکتریکی از قواعد جمع معمولی پیروی می‌کنند و به همین دلیل نرده‌ای هستند.

۹- در بیان کمیت‌های عددی یا نرده‌ای از یک مقدار عددی و یک یکا استفاده می‌شود، اما کمیت‌های برداری علاوه بر عدد و یکا، نیازمند تعیین جهت هم هستند.