از خلاء تا کهکشان راه‌شیری
انرژی

روح‌الله خلیلی‌بروجنی

مقدمه

یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین مفاهیمی که در تمامی شاخه‌های علوم و مهندسی و حتی زندگی روزمره با آن سروکار داریم، مفهوم «انرژی» است. ابداع مفهوم انرژی در اواسط قرن نوزدهم میلادی (حدود ۱۷۰ سال قبل) یکی از برجسته‌ترین نمونه‌های خلاقیت دانشمندان در زمینهٔ علمی است. تا پیش از آن، از مفهومی به نام «نیروی زنده» استفاده می‌شد.[1] مطالعه و شناخت مفهوم انرژی، شکل‌های متنوع آن و نحوهٔ تبدیل شکل‌های گوناگون انرژی به یکدیگر، این امکان را برای ما فراهم می‌سازد که درک بهتری از پدیده‌های فیزیکی و زیستی پیرامون خود داشته باشیم.

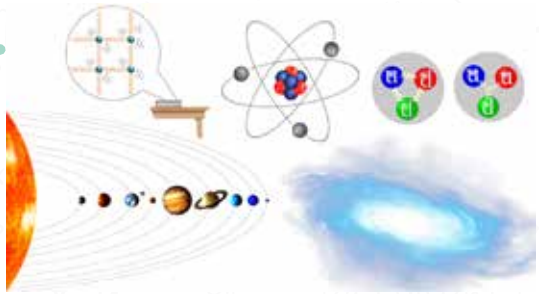
مطالعهٔ دنیای فیزیکی پیرامون، از هر نوعی که باشد، در نهایت سر از مفاهیم ماده و انرژی درمی‌آورد. این دو مفهوم در کنار یکدیگر عالم را تشکیل می‌دهند. درک شهودی ما از ماده در همان سال‌های آغازین زندگی شکل می‌گیرد، اما ایدهٔ انرژی مفهومی کاملاً انتزاعی است که در آموزش مدرسه‌ای و به تدریج با آن آشنا می‌شویم؛ گرچه ممکن است درک و شناخت درستی از آن پیدا نکنیم.

انرژی تعریف ندارد!

بر خلاف تعریف رایجی که از ده‌ها سال قبل برای انرژی ارائه می‌دهند و انرژی را به صورت «توانایی انجام کار» تعریف می‌کنند، انرژی دارای تعریفی سر راست و مستقیم نیست! همان‌طور که در مقدمه گفته شد، انرژی مفهومی انتزاعی است و اساساً نمی‌توان برای آن تعریفی یک جمله‌ای ارائه داد. در عوض با بررسی ویژگی‌های انرژی می‌توان به شناخت و درک مفهوم آن نزدیک شد. در کتاب‌های علوم دورهٔ ابتدایی و همچنین در کتاب علوم تجربی پایهٔ هفتم با برخی از ویژگی‌های انرژی به تدریج آشنا می‌شویم.

ویژگی‌های انرژی

یکی از ویژگی‌های انرژی این است که «در همه‌چیز و همه‌جا وجود دارد». از کوچک‌ترین اجزای ماده، یعنی اتم، بگیرید تا سیاره‌هایی که به دور خورشید در حرکت‌اند. از اتم‌های تشکیل‌دهندهٔ کتابی که روی میز ساکن به نظر می‌رسد بگیرید تا ذرات تشکیل‌دهندهٔ پروتون‌ها و نوترون‌ها؛ یعنی کوارک‌ها، انرژی در همه‌چیز و همه‌جا وجود دارد. همچنین، از خورشید که نسبت به میلیون‌ها ستارهٔ کهکشان راه شیری در حرکت است بگیرید تا میلیون‌ها کهکشانی که خود از صدها میلیون ستاره تشکیل شده‌اند، انرژی در همه‌چیز و همه‌جا وجود دارد (شکل ۱). حتی در خلأ هم که فرض می‌شود در آنجا چیزی وجود ندارد، انرژی وجود دارد و دمای منفی ۲۷۰ درجهٔ سانتی‌گراد نشان‌دهندهٔ آن است که در خلأ هم چیزهای وجود دارند که انرژیِ ناشی از آن چیزها، سبب این دمای بسیار کم شده است!



شکل ۱. انرژی در همه‌چیز و همه‌جا وجود دارد؛ از اجزای بسیار ریز تشکیل‌دهندهٔ اتم‌ها بگیرید تا سیاره‌ها و ستارگان و کهکشان‌ها.

دیگر ویژگی انرژی آن است که «شکل‌های متفاوتی دارد». در یک نگاه کلی، انرژی یا به صورت مکانیکی است یا به صورت امواج الکترومغناطیسی (مانند نوری که از خورشید به ما می‌رسد). برای انتقال انرژی مکانیکی، به محیط مادی نیاز داریم، در حالی که انرژی امواج الکترومغناطیسی در محیط غیرمادی نیز می‌توانند منتقل و منتشر شوند (شکل ۲).

شکل ۲. نقشهٔ مفهومی انرژی. انرژی نورانی نوعی انرژی الکترومغناطیسی است که در ردهٔ انرژی مکانیکی قرار نمی‌گیرد، ولی به سادگی می‌تواند با یک محیط مادی (ماده) برهم‌کنش کند و به شکل‌های دیگر انرژی تبدیل شود.

انرژی جنبشی وابسته به حرکت جسم است و هر جسمی که در حال حرکت باشد، دارای انرژی جنبشی یا حرکتی است. انرژی پتانسیل یا ذخیره‌ای انواع متفاوتی دارد که پس از آزادشدن می‌توانند برای ما کار انجام دهند و به شکل‌های دیگر انرژی تبدیل شوند (شکل ۳).

سومین ویژگی انرژی آن است که «شکل‌های گوناگون آن می‌توانند به یکدیگر تبدیل شوند». برای تبدیل انرژی از شکلی به شکل دیگر

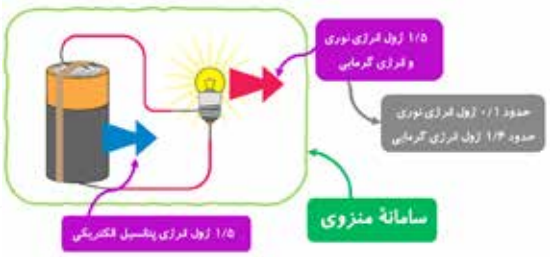
شکل ۳. نقشهٔ مفهومی انرژی پتانسیل

باید کار انجام شـــود. به عبارت دیگر، وقتی روی جسمی کار انجام می‌شود، انرژی به آن جسم منتقل می‌شود. به همین دلیل است که می‌گویند: «کار انرژی را بین دو جسم منتقل می‌کند» و هنگام انتقال انرژی، شکل آن نیز معمولاً تغییر می‌کند.

برای روشن‌شدن موضوع به توپ ساکنی روی زمین فکر کنید که قرار است آن را پرتاب (شوت) کنیم. در زمان کوتاهی، نیروی نسبتاً بزرگی از طرف پای ما به توپ وارد می‌شود. وقتی این نیرو به توپ وارد آید، توپ در هنگام تماس پا با آن، اندکی جابه‌جا می‌شـــود و روی آن کار انجام می‌گیـــرد. کار انجام‌گرفته روی توپ، انرژی پتانسیل شیمیایی بدن ما را به توپ منتقل می‌کند. اگر توپ پس از شوت‌شـــدن تنها روی زمین حرکت کند، دارای انرژی جنبشی می‌شود و اگر به هوا پرتاب شود، هم دارای انرژی جنبشی خواهد بود و هم انرژی پتانسیل گرانشی به دست می‌آورد (شکل ۴).

شـــکل ۴. انرژی پتانسیل شیمیایی بدن ورزشکار ســـبب انجام کار روی توپ می‌شود و به شکل‌های دیگر انرژی تبدیل می‌یابد.

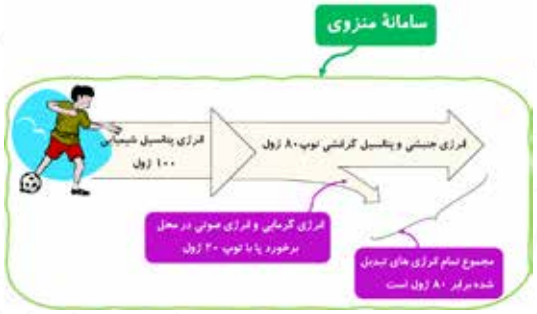
آخرین ویژگی انرژی آن است که «مقدار کل انرژی در یک سامانهٔ منزوی پایسته اســـت.» این بیانی از قانون پایستگی انرژی است که کاربرد فراوانی در حل مسائل علوم دارد. برای روشن‌تر شدن مفهوم این قانون به شکل‌های ۵ و ۶ توجه کنید.



شکل ۵. مثالی ساده از قانون پایستگی انرژی

یک ژول چقدر است؟

همان‌طور که می‌دانید انرژی را بر حسب یکای ژول و با نماد J بیان می‌کنند. وقتی برای مثال از شـــما پرسیده شود «یک متر چقدر است؟» از آنجا که با توجه به تجربه‌های زندگی روزمره، نسبت به



شکل ۶. مثالی ساده از قانون پایستگی انرژی

یک متر و اندازهٔ تقریبی آن حســـی دارید معمولاً با بازکردن دو دست خود از یکدیگر، مقدار تقریبی آن را نشان می‌دهید. آیا همین احساس را در خصـــوص یک ژول هم دارید؟ برای به دســـت آوردن این حس، مثالی می‌زنیم. اگر جســـمی به جرم یک کیلوگرم با سرعت یک متر بر ثانیه در حرکت باشـــد، با توجه به رابطهٔ $K=\frac{1}{2}mv^2$ انرژی جنبشی آن برابر یک ژول اســـت. برای آنکه حس خودتان را نسبت به این که «یک ژول چقدر است؟» تقویت کنید با توجه به معادلهٔ انرژی جنبشی می‌توانید تمرین‌هـــای فراوانی برای خودتان طراحی کنید که نتیجهٔ حاصل برای انرژی جنبشی جسم برابر یک ژول باشد. در ادامه تعدادی تمرین در جدول زیر پیشنهاد شده است.

انرژی جنبشی	سرعت جسم	جرم جسم
یک ژول	۵ متر بر ثانیه	.....
یک ژول	۵ متر بر ثانیه	.....
یک ژول	۲ سانتی‌متر بر ثانیه	.....
یک ژول	.....	گلوله‌ای به جرم ۱۰ گرم
یک ژول	.....	توپی به جرم ۴۵۰ گرم
یک ژول	.....	دوچرخه‌سواری به جرم کل ۶۰ کیلوگرم

جمع‌بندی

در علوم معمولاً برای معرفی برخی کمیت‌ها تعریفی ارائه می‌شود که به کمک آن تعریف می‌توان کمیت مورد نظـــر را اندازه گرفت. برای مثال، چگالی هر جسم به صورت نسبت جرم جسم به حجم آن تعریف می‌شود. یعنی اگر جرم جسمی را به کمک ترازو اندازه بگیریم و حجم آن را به دســـت آوریم، به سادگی می‌توانیم بر اساس تعریف، چگالی جســـم را حســـاب کنیم. به تعریف‌کردن یک کمیت در علوم به این شیوه، «تعریف عملیاتی» گفته می‌شود. در مثال چگالی، شما با دانستن تعریف آن، که در واقع یک تعریف عملیاتی است، به سادگی می‌توانید چگالی هر جسمی را پیدا کنید.

وقتی جسمی را روی زمین می‌کشیم یا هُل می‌دهیم و آن را از نقطه‌ای به نقطه‌ای دیگر جابه‌جا می‌کنیم، به سادگی می‌توانیم با محاسبهٔ کار نیرویی که سبب جابه‌جایی جسم شده است، انرژی مصرف‌شده توسط بدنمان را برای جابه‌جایی جسم پیدا کنیم. به عبارت دیگر، با محاسبهٔ کار انجام‌شده می‌توانیم انرژی صرف شده برای جابه‌جایی جسم را به دست آوریم. پس این تعریف رایج که: «انرژی یعنی توانایی انجام کار»، تعریف عملیاتی انرژی اســـت و نه تعریفی که به شناخت و درک ما از مفهوم انرژی منجر شود. بر اساس تعریف عملیاتی انرژی، اگر بخواهیم انرژی مصرف‌شده را، مثلاً هنگام کشیدن یا هُل‌دادن یک جسم، پیدا کنیم تنها از طریق کار انجام‌شده می‌توانیم این انرژی را به دست آوریم.

پی‌نوشت

۱. همان‌طور که اشاره شـــده است مفهوم و ایدهٔ انرژی مفهومی جدید و مربوط به حدود ۷۰ ســـال قبل است. خوب اســـت بدانید دانشمندان مسلمان به امر بررسی حرکت اجسام از مفاهیمی همچون قوه و فعل استفاده می‌کردند که بیشتر مبنای فلسفی داشتند.