انرژی و شاگرد حیران: نحوهٔ بیان

جی.دبلیو.جوت
ترجمه: مرضیه هرمزی‌نژاد،
مربی کانون زبان ایران، مرکز شاهین‌شهر و دستان هرمزی‌نژاد
کارشناس ارشد فیزیک اتمی و مدرس فیزیک دانشگاه پیام نور، مرکز شاهین‌شهر

کلیدواژه‌ها: انرژی، انرژی پتانسیل، گرما، انتقال انرژی، تبدیل انرژی، اتلاف انرژی

مقدمه

انرژی مفهومی کلیدی در حل مسائل فیزیک است اما ار معلمان یا کتاب‌های درسی آن را به درستی ارائه نکنند، باعث سردرگمی شاگردان خواهد شد. این حیرانی می‌تواند حاصل استفادهٔ نادرست از زبان در مباحث انرژی باشد. شاگردان آگاهانه یا ناآگاهانه از بیان معلم خود تقلید می‌کنند؛ بنابراین، اگر معلمان از واژه‌ها و مفاهیم نادرست استفاده کنند، باعث سردرگمی خود و آن‌ها می‌شوند. در مقالهٔ سوم از این مجموعه به مثال‌های متداول این مورد نگاهی می‌اندازیم.

کار انجام‌شده روی... به‌وسیلهٔ...

باید مواظب باشیم که از گزاره‌های ناقصی مانند «کار انجام‌شده در این فرایند»، استفاده نکنیم. عبارت معتبرتر «کار انجام‌شده توسط گرانی طی این فرایند» نیز کامل نیست؛ چون دریافت‌کنندهٔ کار را مشخص نمی‌کند. بهتر است نیرویی که کار را انجام می‌دهد و دستگاه دریافت‌کنندهٔ کار را مشخص کنیم. برای مثال، به کار انجام‌شده به‌وسیلهٔ نیروی گرانشی روی توپ» و «کار انجام شده به‌وسیلهٔ نیروی الکتریکی روی الکترون «و» کار انجام‌شده توسط نیروی اعمال شده با پیستون «روی گاز توجه کنید؛ این گزاره‌ها به‌روشنی این معنی را می‌رسانند که کار توسط نیرویی روی دستگاه انجام‌شده و اساساً مبنایی برای این مفهوم فراهم می‌آورد که کار، نشان‌دهندهٔ انرژی مبادله‌شده بین یک دستگاه و محیط اطراف آن است.

این نحوهٔ بیان، درست شبیه بیان به‌کار رفته در بحث‌های قبلی نیروست. عبارت «چکش نیرویی وارد کرد.» کامل نیست. مهم این است که مشخص کنیم چه چیزی نیرو را وارد می‌کند و نیرو بر چه چیزی وارد می‌شود. «نیروی چکش بر میخ»، «نیروی وارد از سطح بر پا» و عبارت‌های شبیه این درست‌اند.

برای استفاده از کامل‌ترین نحوهٔ بیان، باید مفهوم دیگری را به عبارت‌های ذکر شده دربارهٔ انرژی بیفزاییم و آن، چشمهٔ انرژی است. وقتی محیط اطراف روی دستگاه کار انجام می‌دهد، دستگاه مقدار انرژی‌ای برابر با همان اندازه انرژی که محیط اطراف از دست داده است، به دست می‌آورد. بنابراین، «کاری را که فنر روی قطعه انجام می‌دهد، می‌توان این‌طور بیان کرد: «انرژی توسط کاری که قطعه روی فنر انجام داد، به قطعه منتقل شد.» در بسیاری موارد، مانند قطعه و فنر، منبع انرژی برای شاگرد مشخص است. مثالی دیگر؛ وقتی شاگرد یک گاری را هل می‌دهد، انرژی جنبشی گاری ناشی از انرژی پتانسیل ذخیره‌شده در بدن شاگرد به واسطهٔ غذایی

است که خورده است. اما در بعضی موارد، چشمهٔ انرژی مشخص نیســت؛ مثلاً اگر توپی را که در حوالی ســطح زمین فرو می‌افتد به‌عنوان دســتگاه در نظر بگیریم، محیطی که آن انرژی جنبشی فزاینده را فراهم می‌کند و باعث سقوط هرچه تندتر توپ می‌شود، چیست؟ «زمین» پاســخ خوبی برای این پرسش نیست. درواقع، انرژی جنبشــی زمین هم افزایش پیدا می‌کند؛ اگرچه این مقدار ناچیز است. پس باید محیطی را مشخص کنیم که انرژی‌اش کم می‌شود. در چنین مواردی انرژی میدان گرانشی است که کاهش می‌یابــد. در حالی که انرژی موجود در میدان‌های مغناطیســی و الکتریکی در بسیاری از مباحث الکترومغناطیسی مورد بحث قرار می‌گیرد، انرژی میدان‌های گرانشی اغلب بررسی نمی‌شود.

انرژی پتانسیل

در بحث‌های انرژی پتانســیل، یک کار گمراه‌کنندهٔ متداول اســتفاده از عبارت‌هایی مثل «انرژی پتانسیل توپ» است که در آن انرژی پتانسیل جســم به جای دستگاه متشکل از دو یا چند جسمِ برهم‌کنش‌کننده در نظر گرفته می‌شود. این عبارت به‌لحاظ مفهومی گمراه‌کننده است و اهمیت دستگاه را که در مقالهٔ دوم از این مجموعه مورد بحث قرار گرفت، نادیده می‌گیرد[1]. مهم اســت تأکید کنیم که انرژی پتانســیل ویژگی دســتگاه است نه جسم. این مربوط به نیرویی اســت که بین دو عضو یک دســتگاه عمل می‌کنــد و بنابراین نمی‌توان آن را فقط به یک عضو نســبت داد. یک جسم منفرد نمی‌تواند انرژی پتانسیل داشته باشد[2]. بنابراین، عبارت بهتر برای انرژی پتانسیل گرانشی «انرژی پتانسیل دستگاه توپ- زمین» اســت. گزارهٔ گمراه‌کنندهٔ دیگر آن است که بگوییم انرژی پتانســیل مربوط به مکان اجسام برهم‌کنش‌کننده در یک دســتگاه است. این ادعایی است که در مسئله‌های مکانیکی ساده مشکل چندانی به‌وجود نمی‌آورد. اما بعدها، وقتی شاگرد به مطالعهٔ الکترومغناطیس می‌پردازد، باید در آن تجدیدنظر کرد. یک دوقطبی الکتریکی را در میدان الکتریکی یا یک دوقطبی مغناطیسی را در میدان مغناطیســی در نظر بگیرید که هــر دوی آن‌ها را می‌توان بدون جابه‌جایی، چرخاند. اگرچه محل مرکز دوران دوقطبی، ثابت می‌ماند، انرژی پتانسیل دستگاه دوقطبی - میدان تغییر می‌کند. این تغییر ناشــی از تغییر سمت‌گیری دوقطبی است، نه تغییر در مکان آن.

در نتیجه، امکان بررسی‌های آتی در مکانیک را می‌سازد که در آن‌ها انرژی پتانسیل مربوط به پیکربندی اجسام برهم‌کنش‌کننده در یک دستگاه است. این موضوع امکان تغییر هم برای مکان و هم سمت‌گیری را فراهم می‌سازد.

در موردی مشابه، در مکانیک متداول است بگوییم که «انرژی پتانسیل در انتهای سطح شیب‌دار صفر است.» این نشان می‌دهد که انرژی پتانسیل مثل یک میدان است که مقدار منحصربه‌فردی در همهٔ نقاط فضا دارد. درســت‌تر آن اســت کــه بگوییم «انرژی پتانسیل برای پیکربندی دستگاهی که در آن اتومبیل در انتهای سطح شیب‌دار قرار دارد، صفر است.»

گرما

بــا پرداختن بــه ترمودینامیک بیشــترین اســتفادهٔ غلط از واژهٔ فیزیکــی گرما صورت می‌گیرد. مهم اســت که تأکید کنیم فیزیک‌دانــان از کلمهٔ گرمــا در دو مورد اســتفاده می‌کنند: (۱) فرایندی که در آن انرژی منتقل می‌شود و (۲) مقدار انرژی‌ای که در این فرایند منتقل می‌شود و آن را معمولاً با Q نشان می‌دهند. گرما مفهومی نیست که منتقل شود (گرما منتقل نمی‌شود؛ بلکه انرژی است که منتقل می‌شود). حتی فراتر از آن، محتوای انرژی یک دستگاه با دمای مشخص نیست (که به درستی به عنوان انرژی درونی توصیف می‌شــود). رومر[3] مدعی آن است که گرما را نباید به‌عنوان اسم به کار برد.

«گرچه من با روح استفادهٔ درست از گرما موافقم، اما با اینکه گرما اسم نیست مخالفم. گرما درواقع اسم است اما اسم یک فرایند است نه نام چیزی که منتقل می‌شود.» بومن[4] نیز دربارهٔ استفاده از واژهٔ گرما و تفسیر آن به‌عنوان دما و انرژی درونی بحث کرده است.

بعضی عبارت‌هایی را که در بیان عادی اســتفاده می‌شود، در نظر بگیرید؛ مثل «انتقال گرما»، «جریان گرما» و «گرمایی که به خارج تابیده است». این عبارت‌ها مربوط به انتقال انرژی هستند اما استفادهٔ نادرست از واژهٔ گرما را نشان می‌دهند. آن‌ها را می‌توان با قــرار دادن «انتقال انرژی» به جای گرما، امتحان کرد. این عبارات بی‌ربط جلوه می‌کند. مثلاً «انتقال گرما»، به «انتقال انرژی» تبدیل شود. جمله‌های کلی دیگر شامل «گرمای روز» و «گرمای زیاد در هوا» اســت. در چنین مواردی از گرما به جای دما اســتفاده شده اســت. گزارهٔ متداول دیگر «گرما بالا می‌رود» است. در این مورد گرما به‌جای هوای گرم به‌کار رفته است!

باروو[5] این پیشنهاد افراطی را مطرح کرده است که واژه‌های کار و گرما باید «از صحنهٔ ترمودینامیک حذف شوند.»

وی تأکید می‌کند که ترمودینامیک باید بر انرژی تمرکز کند نه بر کار و گرما. من از صمیم قلب موافقم که ترمودینامیک باید بر انرژی تمرکز کند، در حقیقت، همهٔ شاخه‌های فیزیک باید بر انرژی به‌عنوان جوهری که منتقل می‌شود، تمرکز کنند اما با اینکه خود را از شــر واژه‌هایی مانند کار و گرما خلاص کنیم، موافق نیستم. فکر می‌کنم که شــاگردان به روشــنی بین (۱) وارد شدن نیرو به دســتگاه و (۲) قرار دادن یک دستگاه سرد در محیط گرم تفاوت قائل می‌شوند. پس به واژه‌هایی نیاز داریم که بین این دو وضعیت متفاوت فرق بگذارند. در حالی که انتظار نداریم بتوانیم جامعه را در

در مکانیک متداول است بگوییم که «انرژی پتانسیل در انتهای سطح شیب‌دار صفر است.» این نشان می‌دهد که انرژی پتانسیل مثل یک میدان است که مقدار منحصربه‌فردی در همهٔ نقاط فضا دارد

مورد نحوهٔ استفاده از واژهٔ گرما دگرگون کنیم، می‌توانیم بخشی از جمعیت، یعنی شاگردانمان را در استفادهٔ صحیح از واژه یاری کنیم. در موردی که انرژی بین دستگاهی در یک دما و با محیط اطراف آن با دمای دیگر حرکت می‌کند، فرایندی که رخ می‌دهد، «انتقال انرژی توسط گرما» است. من عبارت کمی متفاوت «انرژی توسط گرما منتقل می‌شود» را دوست ندارم؛ چون نشان می‌دهد که گرما نوعی ذخیرهٔ انرژی است نه روش انتقال انرژی.

انتقال و تبدیل انرژی

پس از بحث اهمیت دستگاه در مقالهٔ دوم، اکنون دربارهٔ اهمیت فرق گذاشتن بین انتقال انرژی و تبدیل انرژی بحث می‌کنیم، یک کتاب درسی پرطرفدار[۶] بیان می‌کند که (۱) انرژی از انرژی جنبشی به انرژی پتانسیل گرانشی تبدیل می‌شود. این مثال موردی است که شاگردان را گیج می‌کند، به ویژه وقتی آن را با جملهٔ دیگری در همان کتاب مقایسه کنیم که می‌گوید: (۲) انرژی از نوعی به نوع دیگر تبدیل و از جسمی به جسم دیگر منتقل می‌شود. جملهٔ (۲) صحیح است اما کامل نیست (تأکید بیشتر بر جسم است تا یک دستگاه) اما جملهٔ (۱) نادرست است.

باید برای شاگردان روشن باشد که تبدیل‌های انرژی در محدودهٔ دستگاه صورت می‌گیرد و باعث تبدیل یک نوع انرژی به نوع دیگر می‌شود. برای مثال، در دستگاه توپ- زمین، هنگامی که توپ پرتاب شده بالا می‌رود، انرژی جنبشی دستگاه، به انرژی پتانسیل گرانشی تبدیل می‌شود. در این مورد متداول، انرژی جنبشی دستگاه فقط مربوط به یک جسم متحرک (در چارچوب مرجع زمین است)، اما به‌طور کلی، درواقع این انرژی کل دستگاه است که تبدیل می‌شود. وقتی یک تکه دینامیت منفجر می‌شود، انرژی پتانسیل شیمیایی به انرژی جنبشی و درونی تکه‌های حاصل از انفجار تبدیل می‌شود. وقتی قطعه‌ای روی سطح زمین سر می‌خورد و متوقف می‌شود، انرژی جنبشی دستگاه قطعه- سطح به انرژی درونی در سطح و قطعه تبدیل می‌گردد. اگر دستگاه منزوی باشد، فقط تبدیل‌های انرژی می‌توانند رخ دهند و انرژی کل دستگاه، ثابت می‌ماند.

برخلاف آن، انتقال‌های انرژی در مرز دستگاه رخ می‌دهند و می‌توانند به تغییر انرژی کل دستگاه بینجامند. این سازوکارهای انتقال شامل کار، گرما و تابش الکترومغناطیسی و موارد دیگری است که در مقالهٔ چهارم این مجموعه مورد بحث قرار خواهد گرفت[۷].

بیان‌های نادرست دیگر، شامل گزاره‌هایی مانند «انرژی به‌صورت الکتریسیته وارد لامپ می‌شود و به شکل گرما و نور درمی‌آید.»، سه نقطه ضعف در نحوهٔ بیان دارد: نخست اینکه، انرژی به هیچ وسیلهٔ الکتریکی «به صورت الکتریسیته» وارد نمی‌شود. این نشان می‌دهد که الکتریسیته نوعی انرژی است. همین‌طور، ایرادهای دوم و سوم مربوط به این گزاره است که انرژی «به شکل گرما و نور» درمی‌آید؛ چون «به شکل در آمدن» درواقع به معنی «تبدیل شدن» است. این نشان می‌دهد که نور و گرما شکل‌هایی از انرژی هستند تا سازوکارهایی برای انتقال انرژی. گزارهٔ محکم‌تر و دقیق‌تر آن است که بگوییم: «انرژی بر اثر تراگسیل الکتریکی وارد لامپ می‌شود و به‌وسیلهٔ تابش الکترومغناطیسی و گرما به خارج از دستگاه منتقل می‌گردد.» باید توجه داشت که تغییر «به صورت» به «توسط» گام مهمی به سوی شناخت الکتریسیته، نور و گرما به عنوان ساز و کارهای انتقال به جای شکل ذخیره‌سازی انرژی است.

اتلاف و از دست رفتن انرژی

در بررسی مدارهای الکتریکی مثالی از کاربرد یک کلمهٔ متداول اما نامناسب این است: انرژی «در یک مقاومت تلف می‌شود». در حالی که معلمان فیزیک می‌دانند که این به معنی آن است که مقاومت گرم می‌شود و انرژی توسط گرما و تابش به محیط منتقل می‌گردد و شاید شاگردان فکر کنند که انرژی از بین رفته است. یک تعریف فرهنگ از کلمهٔ «تلف شدن» به صورت «پخش شدن در محیط تا محو شدن» است. شاید شاگرد این معنی را استنباط کند و به این نتیجه برسد که انرژی به‌گونه‌ای محو می‌شود.

بهتر است بگوییم که انرژی به مقاومت تحویل داده می‌شود تا مفهوم انتقال انرژی به دستگاه را تقویت کند. به واسطهٔ این انتقال، انرژی درونی مقاومت افزایش می‌یابد که به نوبهٔ خود طبیعتاً انتقال انرژی به‌وسیلهٔ گرما و تابش الکترومغناطیسی از مقاومت گرم به محیط خنک‌تر را به دنبال دارد.

جمله‌بندی مشابه دیگری که در کتاب‌های درسی به چشم می‌خورد، «از دست رفتن انرژی» است. این حوزه‌ای خطرناک برای گیج شدن شاگردان است. به‌ویژه وقتی که انرژی به‌طور درست قبلاً در این کتاب‌ها مطرح باشد؛ به این صورت که انرژی خودبه‌خود به وجود نمی‌آید و از بین نمی‌رود. اگر انرژی را نتوان به وجود آورد و از بین برد، پس چگونه می‌تواند از دست برود؟ پس بهتر است که ثبات کلام داشته باشیم و درمورد انتقال‌های انرژی و تبدیل‌های آن صحبت کنیم و واژهٔ «از دست دادن» را کنار بگذاریم.

شرایط اعتبار

یک موضوع مهم دیگر در مورد نحوهٔ بیان هنگام بحث دربارهٔ انرژی یا هر موضوع فیزیکی دیگر، ارائه اصول فیزیکی به همراه شرایط اعتبار آن‌هاست. برای مثال، در مکانیک بی‌معنی است که بگوییم که «یک جسم که در حال حرکت در همان حالت حرکت باقی می‌ماند»، بدون اینکه اضافه کنیم: «در صورتی که هیچ نیرویی بر جسم وارد نشود».

گزارهٔ دیگری که هنگام حل مسئله در بعضی کتاب‌های درسی دیده می‌شود، این گزارهٔ مبهم است که «انرژی پایسته است»، بدون اینکه به دستگاهی که دربارهٔ آن صحبت می‌کنیم اشاره شود. درواقع، درست است که انرژی در مقیاس کلی پایسته است

انرژی به مقاومت تحویل داده می‌شود تا مفهوم انتقال انرژی به دستگاه را تقویت کند. به واسطهٔ این انتقال، انرژی درونی مقاومت افزایش می‌یابد که به نوبهٔ خود طبیعتاً انتقال انرژی به‌وسیلهٔ گرما و تابش الکترومغناطیسی از مقاومت گرم به محیط خنک‌تر را به دنبال دارد

اما این گزاره در مجموعه شرایطی معتبر است و بدین‌ترتیب برای حل مسئله مفید نیست. در یک مسئلهٔ خاص مهم‌تر آن است که شرایط خاص برای دستگاه موجود در مسئله را مشخص کنیم: آیا دستگاه منزوی است یا غیرمنزوی؟ بنابراین، به‌جای اینکه بگوییم «انرژی پایسته است»، بهتر است بگوییم «انرژی دستگاه منزوی ثابت می‌ماند» یا «دستگاه منزوی نیست چون می‌توانیم یک یا چند انتقال انرژی را مشخص کنیم.» بنابراین انرژی دستگاه ثابت نمی‌ماند».

واژهٔ «کلی» اغلب در کتاب‌ها درست به کار نمی‌رود. برای مثال، یک کتاب درسی مدعی آن است که شکل کلی قانون پایستگی انرژی برای یک دستگاه عبارت است از:

$$\Delta k + \Delta U + \Delta E_{\text{داخلی}}\ \text{int} = ۰$$

این یک گزارهٔ کلی برای پایستگی انرژی نیست؛ معادله‌ای در یک مورد خاص است که فقط در یک دستگاه منزوی صدق می‌کند. معادلهٔ کلی پایستگی انرژی که در هر دستگاهی به کار می‌رود، در مقالهٔ چهارم این مجموعه ارائه شده است[۷]. این معادلهٔ کلی نه‌تنها شامل ذخیره‌سازی انرژی در دستگاه است بلکه سازوکارهایی را هم که انرژی توسط آن‌ها می‌تواند از مرز دستگاه منتقل شود، دربرمی‌گیرد.

به‌عنوان اظهارنظر نهایی دربارهٔ شرایط اعتبار معادلهٔ $W=\Delta k$ را در نظر بگیرید. این را اغلب قضیه و کار - انرژی می‌نامند و بسیاری از شاگردان با این فکر مکانیک را به پایان می‌رسانند که این یک معادلهٔ بنیادی انرژی است. مهم است به شاگردان تأکید کنیم که این یک معادلهٔ حالت خاص است. - همان‌طور که در مقالهٔ چهارم این مجموعه یادآوری می‌کنیم- این معادله را فقط می‌توان در شرایط محدود زیر به کار برد: (۱) کار تنها سازوکار انتقال باشد که انرژی به وسیلهٔ آن وارد دستگاه می‌شود و (۲) انرژی جنبشی دستگاه تنها انرژی موجود در دستگاه باشد که تغییر می‌کند. دربارهٔ استفاده از جمله قضیهٔ کار - انرژی جنبشی، برای این معادله بحث می‌کنیم تا تأکید کنم که ارتباط بین کار و انرژی جنبشی است، نه انرژی به‌طور کلی.

جرم به انرژی تبدیل می‌شود

یک گزارهٔ متداول در سخنرانی‌ها و کتاب‌های درسی مربوط به نسبیت این است که «در این فرایند، جرم به انرژی تبدیل می‌شود». چون می‌گوید یک جوهر می‌تواند به جوهر دیگری تبدیل شود که کاملاً متفاوت است. جوهری که با معیار کیلوگرم سنجیده می‌شود، نمی‌تواند به جوهر دیگری تبدیل شود که با ژول اندازه‌گیری می‌شود.

رهیافت بهتر به این فرایند تبدیل آن است که به دقت بگوییم انرژی حالت سکون به انواع دیگری از انرژی تبدیل می‌شود. برای مثال، در یک واپاشی هسته‌ای، انرژی حالت سکون دستگاه کاهش می‌یابد که این به دلیل تبدیل بخشی از آن انرژی سکون به انرژی جنبشی ذرات خروجی است.

درست است که جرم دستگاه هم کاهش می‌یابد اما کاهش جرم فقط مربوط به کاهش انرژی است نه برابر با کاهش انرژی، بایرلین[۸] دربارهٔ تبدیل جرم به انرژی به تفصیل بحث کرده است.

پرسش‌ها

با توجه این مباحثات پرسش‌های درست - نادرست زیر را بررسی کنید.

(۱) درست یا نادرست؟ جسم ۱۰ کیلوگرمی به اندازهٔ ۱/۰ متر از سطح میز بالا برده می‌شود. نسبت به سطح میز، جسم دارای انرژی پتانسیل گرانشی ۹۸ ژولی است.

(۲) درست یا نادرست؟ کار انجام شده روی یک جسم مساوی تغییر انرژی جنبشی آن جسم است.

گزارهٔ پرسش (۱) نادرست است؛ چون انرژی پتانسیل به درستی مشخص نشده است. انرژی پتانسیل باید در دستگاهی تعریف شود که شامل اجسام برهم‌کنش‌کننده است، در این مورد، دستگاه شامل جسم و زمین است. بنابراین، بهتر است بگوییم «نسبت به پیکربندی انرژی صفر وقتی که جسم روی میز است، دستگاه انرژی گرانشی برابر با ۹۸ ژول دارد.»

در حالی که این گزاره نسبت به واژه‌های موجود در پرسش شامل واژه‌های بیشتری است اما ما باید علم فیزیک را به درستی و کامل به شاگردان ارائه دهیم.

گزاره موجود در پرسش (۲) قضیهٔ کار - انرژی جنبشی) در شرایط خاصی درست است نه به‌طور کلی. باید از به‌کار بردن این نوع جمله‌های مطلق که به شرایط هم اشاره‌ای نمی‌کنند، خودداری کرد؛ چون شاگردان را به این باور می‌رسانند که در این مورد قضیهٔ کار - انرژی جنبشی، یک اصل کلی است. در حالی که این گزاره در شرایطی درست است که در آن یک نیروی افقی به جسمی که روی سطح بدون اصطکاک افقی است، اعمال شود. برای موردی که در آن سطح دارای اصطکاک باشد یا هر مورد دیگری که در آن کار انجام شده روی دستگاه باعث تغییر سرعت نشود - مثل برداشتن کتابی از قفسهٔ پایین و گذاشتن آن روی قفسهٔ بالاتر- نادرست است.

نتیجه‌گیری

موارد زیادی وجود دارد که در آن‌ها ما با استفادهٔ نادرست از واژه‌ها، شاگردانمان را به تفسیر نادرست وامی‌داریم. استفادهٔ دقیق و درست از واژه‌ها و تعاریف به پیشرفت درک و فهم شاگردان می‌انجامد و آن‌ها را در حل مسائل یاری می‌کند. در مقالهٔ بعدی از این مجموعه در مورد رهیافت کلی انرژی که می‌تواند با هر مسئله مربوط به انرژی در ارتباط باشد، بحث خواهیم کرد.

پی‌نوشت

1. J.W.Jewett, "Energy and the confused student I: Work," Phys, Teach. 46. 38-43 (Jan.2008).
(متأسفانه دسترسی به این مقاله به علت نیاز به گذرواژه امکان‌پذیر نبود. مترجمان).
* البته پس از پی‌گیری از طریق پست الکترونیک نویسنده به این مهم دست یافتیم.
۲. این عبارت مبنی بر فرض چشم‌پوشی از ساختار داخلی اجسام است.
اجسام با ساختار درونی می‌توانند دارای انرژی پتانسیل باشند. برای مثال، یک فنر می‌تواند حاوی انرژی پتانسیل کشانی و یک قوطی بنزین دارای انرژی پتانسیل شیمیایی باشند. این انرژی‌ها ناشی از مؤلفه‌های ساختاری جسم است و حاصل نیروهای بین جسم و دیگر اجسام نیستند.
3. R.H. Romer, "Heat is not a noun." Am.J. Phys, 69, 107- 109 (Feb. 2001).
4. R.P.Bauman, "Physic that rextbook writers usually get wrong. II. Heat and energy." Phys. Teach. 30, 353-356 (Sept.1992).
5. GM. Barrow, "Termodynamics should be bullt on energy- Not on heat and work," J. Chem, Educ. 65(2). 122-125 (Feb. 1988).
۶. من به‌عنوان نویسندهٔ کتاب‌های درسی در این مجموعه مقاله‌ها نحوهٔ بیان‌های مسئله‌دار در نویسنده‌های کتاب‌های درسی ندیده‌ام. در عین حال، نمی‌خواهم این مجموعهٔ مقاله به‌عنوان یک وسیلهٔ تجاری ظاهر شود، بلکه از آن به مثابه راهی برای برقراری ارتباط حرفه‌ای جهت پیشرفت تدریس انرژی به دانش‌آموزان استفاده می‌کنم. مواردی را هم از چند کتاب درسی به صورت عبارت‌های کلی استفاده می‌کنم نه نقل قول مستقیم.
7. J.W.Jewett, "Energy and the confused student TV: A global approach to energy." Phys. Teach., to be published in Aprill 2008.
8. R. Balerlein, "Does nature convert mass into energy." Am. J. Phys. 75, 320- 325 (Aprill 2007).
PACS codes: 01. 40. gb.45.00.00

منبع

THE PHYSICS TEACHER. VOL. 46. FEBRUARY 2008. 81-86.