باورها و اختلاف نظرها در فیزیک

کاربست قانون‌های فیزیک در ادعاهای شبه علمی

نویسنده: میلتون راتمن
ترجمهٔ آرش ظهوریان پُردل

بخش دوم

چطور می‌دانیم که نمی‌توان از هیچ، انرژی به‌دست آورد؟

تاریخچهٔ مفهوم انرژی، نشان می‌دهد که چگونه فرضیه، نظریه، آزمایش دربرهم‌کنش با یکدیگر، معلومات جدید را به‌وجود می‌آورند. پیش از اختراع این مفهوم، خیال‌پردازی‌های خلق حرکت به‌وسیلهٔ سازوکار ناب و بدون نیروی محرک خورشید، باد و یا آتش، تا اندازه‌ای معقول در نظر گرفته می‌شد. به دلیل ناآگاهی از اصول بنیادی، نخستین جویندگان حرکت دائم، دلیلی نداشتند تا بفهمند آنچه را که در تلاش انجامش هستند، طبیعت ممنوع کرده است.

در اینجا، عمداً از اختراع مفهوم انرژی سخن می‌گویم. انرژی، به‌عنوان یک مفهوم انتزاعی، در واقع یک اختراع انسانی است، برخلاف چیزهایی که واقعاً در طبیعت وجود دارند و از نظر دانشمندان، چیزی جز ذرات بنیادی: کوارک‌ها، الکترون‌ها، فوتون‌ها، گلوئون‌ها، و سایر موجودات مینیاتوری هستند.

تمام این‌ها با هم برهم‌کنش می‌کنند و ترکیب می‌شوند تا چیزهایی را به وجود آورند که از طریق حواسمان و یا با وسایل اندازه‌گیری مشاهده می‌کنیم. حتی اگر موجود زنده‌ای در کار نباشد که بخواهد این ذرات را مشاهده کند، باز هم این ذرات وجود خواهند داشت و به حرکت و برهم‌کنش‌هایشان با یکدیگر ادامه می‌دهند. آن‌ها بدون ما نیز به‌خوبی از عهدهٔ کارشان برمی‌آیند. هر چه باشد، برای ستارگان کهکشان‌های دوردست، اساساً اهمیتی ندارد که ما ناظر آن‌ها باشیم یا نه. آن‌ها آنچه را که باید، انجام می‌دهند.

برعکس، کیفیت‌های انتزاعی مانند زیبایی، خوبی، تکانه، و انرژی، صرفاً مفاهیمی هستند که توسط انسان‌ها ابداع شده‌اند تا بتوانند رفتار چیزهای مشاهده شده را توضیح دهند. به محض آنکه این مفاهیم اختراع و تعریف شدند، به‌عنوان ویژگی‌های قابل مشاهده در نظر گرفته می‌شوند و یاری‌رسان ما در تشخیص الگوها و حل مسائل خواهند بود. اما باید توجه داشت که این مفاهیم، مستقل از ذرات بنیادی و تفسیرهای ما از عملکردشان وجود ندارند. به‌عنوان مثال، انرژی هیچ‌گاه مستقیماً اندازه گرفته نمی‌شود: آنچه ما واقعاً مشاهده می‌کنیم، خمیدگی مسیر ذره‌ای باردار در یک میدان مغناطیسی، و یا دامنهٔ یک تپ الکتریکی در یک سیم است. انرژی، به‌عنوان یک کمیت فیزیکی، از چنین مشاهداتی استنباط می‌شود. به‌عبارت دیگر، نوعی انتزاع پیشرفته است.

***

به‌عنوان مثال چرا فیلسوف آلمانی گوتفرید لایب نیتس[1]، لازم دانست اصطلاح ویس ـ ویوا[2] (نیروی زنده) یعنی جرم جسم متحرک ضرب در مجذور سرعتش، را اختراع کند تا بتواند اندازه حرکت جسم را توصیف کند؟ هرچه باشد، قبل از آن، مفهوم سرعت برای توصیف حرکت جسم، در اختیار وی بود. پس چرا باز به خلق یک مفهوم انتزاعی دیگر دست زد؟

لایب نیتس به این مفهوم نیاز داشت زیرا مشاهده کرد هرگاه دو توپ بیلیارد (و یا اجسام کشسان دیگر) به‌هم برخورد کنند، ویس- ویوای کل آن دستگاه تغییر نمی‌کند. این «ثابت حرکت»، برای توصیف حالت دستگاه، مفید به نظر می‌رسید. به‌طور کلی، هرگاه چیزی داشته باشید که هنگام تغییر و حرکت چیزهای اطرافش ثابت بماند، آن‌چیز، مهم و مفید خواهد بود. چنین ویژگی‌ای، قطعاً به ما در حل مسائل مکانیک کمک خواهد کرد. بنابراین، لایب نیتس، ویس ویوا را به‌عنوان کمیت توصیف کنندهٔ حرکت در یک دستگاه در نظر گرفت و آن را به‌گونه‌ای تعریف کرد که دقیقاً دو برابر کمیتی باشد که امروزه آن‌را انرژی جنبشی می‌نامیم.

(می‌توان دانشمندان قرن هفدهم را مجسم کرد که کنار میز

بیلیارد ایستاده‌اند و دربارهٔ رفتار گیج‌کنندهٔ توپ‌های کوچک عاج روی پارچه سبز بحث می‌کنند! مطالعهٔ توپ‌های بیلیارد در فیزیک قرن هفدهم، بحث داغی بود و حتی هنوز هم در بسیاری از بخش‌های فیزیک اتمی و هسته‌ای، کاربرد دارد).

با این همه، چیزی که موضوع را پیچیده می‌کرد، مشاهده‌های قبلی انجام گرفته توسط رنه دکارت[3] (۱۶۵۰-۱۵۹۶) بود که مطابقِ آن، آنچه در برخورد توپ‌های بیلیارد بدونِ تغییر می‌ماند، تکانه دستگاه است. (تکانه یک جسم، به صورت جرم ضرب در سرعت تعریف شده بود، که سرعت در یک جهت، مثبت، و در جهتِ مخالف آن، منفی است). بنابراین، بحث‌های مفصلی بین دکارتی‌ها و لایب نیتسی‌ها در گرفت. دکارتی‌ها اعتقاد داشتند که پایستگی تکانه، یک امر بنیادین است، در حالی که لایب نیتسی‌ها، پایستگی ویس ـ ویوا را قاعده تلقی می‌کردند.

این ابهامات، با کارهای کریستیان هویگنس، ژان دالامبر[4] (۱۷۸۳-۱۷۱۷) و یوهان برنولی[5] (۱۷۴۸- ۱۶۶۷) به‌تدریج برطرف شدند. آن‌ها نشان دادند در واجهش دو جسم کشسان، هم تکانه کل و هم ویس ـ ویوای کل تغییر نمی‌کند. به‌عبارت دیگر، هم لایب نیتس و هم دکارت، هر دو درست می‌گفتند و برای اثبات آن، خون‌های فراوان ریخته شد. هرچه باشد معلومات جدید، آسان به‌دست نمی‌آید.

***

در قرن نوزدهم، ضریب $\frac{1}{2}$ به فرمول ویس ـ ویوا افزوده شد و کمیتی که امروز تحت عنوان انرژی جنبشی ($\frac{1}{2}mv^2$) می‌شناسیم، به‌دست آمد. یکی از نخستین کسانی که نیاز به این ضریب را تشخیص داد، گاسپاردو کوریولیس[6] (۱۸۴۳-۱۷۹۲) بود، که بیشتر با نیروی کوریولیس شناخته می‌شود: نیرویی که توسط ساکنان مستقر در اجسام چرخان احساس می‌شود. اما دلیل اینکه انرژی جنبشی جسم متحرک را نصف ویس‌ویوای کلاسیک در نظر گرفتند این بود که می‌خواستند انرژی جنبشی برابر کار مکانیکی شود که در مرحلهٔ اول جسم را به حرکت درمی‌آورد.

کار هم به نوبهٔ خود، به صورت اندازهٔ نیرو ضربدر مسافتی تعریف می‌شود که جسم در هنگام اعمال نیرو حرکت می‌کند (البته در ساده‌ترین حالت، که جهت نیرو با جهت حرکت یکی است). اما وقتی سرعتی را که جسم هنگام اعمال نیرو در یک مسافت مشخص به‌دست می‌آورد محاسبه می‌کنیم، درمی‌یابیم که مقدار کار لازم برای به‌حرکت درآوردن جسم را می‌توان برحسب جرم جسم (m) و سرعت نهایی (v) نوشت.

محاسبات نشان می‌دهد که نیرو ضربدر مسافت، برابر ($\frac{1}{2}mv^2$) است، که طبق تعریف همان مقدار انرژی جنبشی است.

بگذارید فرایندهای منطقی را که در حین ظهور تدریجی مفهوم انرژی، در ذهن فیزیک‌دان‌ها جریان داشت مجسم کنیم:

* مشاهده‌های مربوط به اجسام متحرک، نشان می‌دهد که برخی نظم‌های ساده و مشخصی در دستگاه‌های پیچیده وجود دارد.

* پس از کلنجار رفتن‌های فراوان، برخی کمیت‌های انتزاعی نظیر جرم و نیرو و تکانه و ویس ـ ویوا، تعریف شدند.

* با به‌کارگیری این مفاهیم، معلوم شد که می‌توان معادله‌هایی را نوشت که حرکت ذرات در شرایط معینی مانند تأثیر نیروی مشخص یا در حال برخورد با یکدیگر را توصیف کند.

این معادله‌ها، قانون‌های کلی طبیعت را نشان می‌دهند. نمونهٔ یک نوع از این قانون‌ها قانون دوم حرکت نیوتون است، که بیان می‌کند چگونه حرکت یک دستگاه متشکل از اجسام را (با داشتن مکان‌های اولیه، سرعت‌های اولیه، و نیز اندازه و جهت نیروهای وارد بر این اجسام) محاسبه کنیم.

* نوع دیگر قانون، با معادله‌هایی نشان داده می‌شود که به‌ویژه ساده‌اند: این معادله‌ها بیانگر آن هستند که اگر دستگاهی منزوی باشد، در این‌صورت حتی با وجود پیچیدگی‌های حرکت اجسام درون آن، برخی ویژگی‌های معین دستگاه (مثل تکانه و انرژی) تغییر نمی‌کنند.

این دستهٔ دوم قانون‌ها، قوانین پایستگی هستند که به کمیت‌های پایسته می‌پردازند. کمیت‌های پایسته، دارای این ویژگی‌اند که در شرایط مشخصی، ثابت می‌مانند (بدون توجه از جزئیات رفتار کلی دستگاه). قانون پایستگی انرژی و قانون پایستگی تکانه، به‌صورت بنیان‌های مکانیک درمی‌آیند. (مکانیک، شاخه‌ای از فیزیک است که به حرکت اجسام می‌پردازد).

واضح است که این فرایند چندان ساده نیست؛ به تکمیل این روند، به سه قرن تلاش بزرگ‌ترین خردمندان جهان متمدن نیاز داشت. کلید این کار تدوین تعریف‌های مناسب برای ویژگی‌های بنیادی فیزیک مانند جرم و تکانه و انرژی بود.

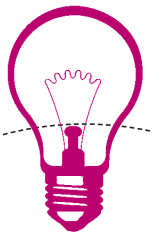
البته معیارهای مفید بودن یک تعریف، دشوار است. می‌توانیم، اگر بخواهیم، دست‌هایمان را تکان بدهیم و بگوییم که یک تعریف خوب، به ما کمک می‌کند تا چگونگی رفتار طبیعت را «درک کنیم». این استدلال تا اندازه‌ای درست است، و در واقع دلیل ابداع تمام تجربه‌هاست. با این همه، در بررسی و درک مبانی فیزیک، به انگیزه‌های دقیق‌تری نیاز داریم، زیرا ماهیت «شناخت»، به خوبی فهمیده نشده است! در این بحث انرژی و تکانه دارای اهمیت بسزایی هستند:

é اولاً، تکانه و انرژی، مفاهیمی کمّی هستند. آن‌ها نمایانگر کمیت‌هایی هستند که می‌توان با ابزار و روش‌های مناسب، آن‌ها را اندازه گرفت (دست‌کم به‌طور غیرمستقیم).

بنابراین، اساس این تعریف‌ها توصیف روش‌های اندازه‌گیری مناسب است. تعریف‌هایی با چنین ماهیتی را تعاریف عملیاتی می‌نامیم.

تعاریف عملیاتی، جزء لازم هر نظریه علمی هستند، چون مبنایی برای توافق بر سر مسئلهٔ مورد بحث را فراهم می‌کنند.

é ثانیاً، تعریف‌های انرژی و تکانه با کمیت‌هایی سروکار دارند



تکانه و انرژی، مفاهیمی کمّی هستند. آن‌ها نمایانگر کمیت‌هایی هستند که می‌توان با ابزار و روش‌های مناسب، آن‌ها را اندازه گرفت

که در طول برهم‌کنش‌های اجسام، پایسته می‌مانند. آن‌ها کمیت‌هایی هستند که با وجود اینکه همه‌چیز در حال تغییر است، ثابت می‌مانند و به این دلیل است که مهم تلقی می‌شوند. این ویژگی، که آن را ناوردایی می‌نامیم، بستر (متن کتاب: محرک) بسیار مهمی برای درک شماری از مهمترین مفاهیم فیزیک مدرن است.

***

در روند توسعهٔ فیزیک، مهم‌ترین کارها توسط کسانی انجام شد (و کماکان انجام می‌گیرد) که در بینِ تمام متغیرهای طبیعت، به دنبال آن‌هایی هستند که کاملاً ثابت و بدون تغییرند. در بین این ثابت‌های بنیادی، می‌توان به سرعت نور، جرم سکون، و بار الکتریکی ذرات بنیادی اشاره کرد. (بار الکتریکی، کمیت دیگری است که از قانون پایستگی پیروی می‌کند: در هر دستگاه بسته، بار الکتریکی کل نمی‌تواند تغییر کند. این قانون برای آن دسته از واکنش‌هایی که ناشی از برهم‌کنش ذرات هستند، محدودیت‌هایی اعمال می‌کند.)

با وجود اینکه قانون‌های پایستگی امکان ساده‌سازی قابل توجه و حل برخی از مسائل فیزیکی خاص را فراهم کردند، برخی از افراد زیرک قرن هجدهم و نوزدهم، دریافتند که در قانون پایستگی انرژی نقاط ضعفی وجود دارد. مثلاً، چگونه می‌توانیم این واقعیت را توضیح دهیم که هیچ ماشین واقعی نمی‌تواند به خودی خود، به حرکتی نامحدود ادامه دهد؟ (بهترین چرخ‌ها، با دقیق‌ترین و روان‌ترین یاتاقان هم، اگر توسط موتور رانده نشوند، سرانجام کند و متوقف می‌شود.)

پس انرژی آن کجا می‌رود؟ بنابراین به نظر می‌رسید نقص بزرگی در قانون پایستگی وجود دارد. گرچه انرژی هیچ‌گاه خودبه‌خود به‌وجود نمی‌آید، اما به نظر می‌رسد؛ همچون آبی که از بشکهٔ شکسته نشت کند، از بین می‌رود.

***

راه‌حل این مسئله در اواخر قرن هجدهم، و در جریان جنبش فلسفی موسوم به فلسفهٔ طبیعت پدید آمد، که در آلمان به رهبری فردریش ویلهلم یوزف فون شلینگ[۷]، به جنبشی تأثیرگذار تبدیل شد. شلینگ، نوشت که تمام نیروهای طبیعت دارای منشا یکسانی هستند. «تمام پدیده‌های مغناطیسی، الکتریکی، شیمیایی، و سرانجام حتی پدیده‌های آلی، همگی در یک مجموعهٔ بزرگ، درهم‌تنیده در کل طبیعت گسترش یافته است.»

با این باور منطقی بود که شاید بتوان مفهوم انرژی را به گستره‌ای فراتر از حرکت مکانیکی گسترش داد تا شامل الکتریسته، گرما، و حتی علوم زیستی نیز بشود. جالب آنکه که در بین شاگردان شلینگ، کسانی بودند که بعدها ایده گسترش و تعمیم مفهوم انرژی را به اوج خود رساندند.

این دانشمندان، انقلاب مفهومی خود را با این مشاهدهٔ معمولی آغاز کردند که به‌طور کلی، گرما زمانی به‌وجود می‌آید که دو جسم برهم ساییده شوند.

مدتی، گرما را نوعی شاره مجسم می‌کردند و آن را کالریک می‌نامیدند. بر مبنای این نظریه، دو جسم بر اثر مالش به یکدیگر، کالریک آزاد می‌کردند و همین، باعث گرم شدنشان می‌شد. ایراد اصلی نظریهٔ کالریک این بود که به نظر می‌رسید مقدار آن نامتناهی است و مادامی که عمل مالش ادامه پیدا می‌کرد، شارهٔ کالریک هم آزاد می‌شد. این همه کالریک از کجا می‌آمد؟ آیا اساساً امکان داشت که این مقدار نامتناهی کالریک بتواند در یک جسمی محدود ذخیره شود؟

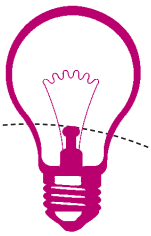
توضیح دیگر را کُنت رامفورد (بنجامین تامسون ۱۸۱۴-۱۷۵۳) مطرح کرد. وی یک ماجراجوی آمریکایی بود که به‌خاطر طرفداری‌اش از پادشاه انگلستان طی انقلاب ۱۷۷۶، تبعید شده بود. وی در سال ۱۷۹۸، در حالی‌که مشغول ساخت مهمات برای پادشاه باواریا بود، مشاهده کرد هنگامی که لوله‌های توپ را با مته سوراخ می‌کردند، به شدت داغ می‌شوند. بر این اساس، رامفورد پیشنهادی را ارائه داد که باعث تغییر رویکرد غالب در بررسی گرما شد.

به‌طور خلاصه، رامفورد با کنار گذاشتن شاره کالریک ـ به عنوان مفهومی نالازم چنین عنوان کرد که گرمای حاصل از سوراخ کردن، چیزی به جز شکل دیگری از انرژی گرمایی نیست که انرژی مکانیکی مته، به‌واسطهٔ اصطکاک، به آن تبدیل شده است. این یک پیروزی بزرگ برای عملگرایی آمریکایی بود.

آزمایش‌هایی که در طی سال‌های ۱۸۴۰، توسط جیمز پرسکات ژول[۸] (۱۸۸۹-۱۸۱۸) انجام شد، نشان داد هرگاه توسط یک مته، یا چرخ‌پره‌داری که در سطل آب می‌چرخد، و یا پیستونی که گاز درون یک سیلندر را فشرده می‌کند، کار مکانیکی انجام شود، مقدار انرژی مکانیکی که در حین این فرایندها «ناپدید» می‌شود، برابر مقدار گرمای تولید شده است. بنابراین، با تشخیص اینکه گرما شکلی از انرژی است (انرژی گرمایی)، فیزیک‌دانان توانستند قانون پایستگی انرژی را نجات دهند. آن‌ها توانستند نشان دهند که مقدار کل انرژی در یک دستگاه ـ انرژی مکانیکی به‌علاوهٔ انرژی گرمایی ـ حین انجام کار، نمی‌کند.

رمز نجات پایستگی انرژی، در تعریف انرژی گرمایی نهفته است: اولاً، مقدار انرژی گرمایی باید با تعیین نحوهٔ اندازه‌گیری آن تعیین می‌شد. تفاوت بین دما و مقدار گرما، قبلاً در سال ۱۷۶۰ توسط جوزف بلک[۹] تشخیص داده شده بود: دما، چیزی بود که بر مبنای افزایش طول ستون جیوه درون لولهٔ شیشه‌ای اندازه می‌گیرید. از سوی دیگر، گرما، بر مبنای افزایش دمای جرم مشخصی آب اندازه‌گیری می‌شد. یکای گرمایی بریتانیایی، (Btu)، از همین تعریف گرفته شده است: مقدار گرمای لازم برای افزایش دمای یک پوند آب، به اندازهٔ یک درجهٔ فارنهایت.

از سوی دیگر، انرژی مکانیکی با فرایندی کاملاً متفاوت اندازه‌گیری می‌شد. یک فوت ـ پوند انرژی، عبارت بود از کار انجام شده توسط نیروی یک پوندی که چیزی را در مسافتی به



رمز نجات پایستگی انرژی، در تعریف انرژی گرمایی نهفته است: اولاً، مقدار انرژی گرمایی باید با تعیین نحوهٔ اندازه‌گیری آن تعیین می‌شد

طول یک فوت به جلو می‌راند.

آنچه ژول با کمک آزمایش‌هایش نشان داد، این بود که طی تبدیل انرژی مکانیکی به گرما، ۷۷۲ فوت ـ پوند انرژی (مکانیکی) لازم است تا آب را به اندازهٔ یک درجه (مثلاً از ۵۵ درجهٔ فارنهایت، به ۵۶ درجه فارنهایت) گرم کند.

ویژگی مهم کشف ژول، این بود: یک Btu انرژی گرمایی، همواره به ازای یک مقدار انرژی مکانیکی (۷۷۲ فوت ـ پوند) به‌وجود می‌آید، بدون توجه به اینکه منشأ انرژی مکانیکی که به انرژی گرمایی تبدیل می‌شود یا اصطکاک یا فشرده کردن گاز باشد.

این ثابت بودن، به آن معنا بود که هم‌ارز مکانیکی گرما (۷۷۲ فوت‌ـ پوند به ازای هر Btu)، صرفاً ویژگی تصادفی یک روش اندازه‌گیری گرما یا انرژی مکانیکی نبود. جالب‌تر آنکه، در مورد گرمای تولید شده در حین عبور جریان الکتریکی از سیم نیز، ضریب تبدیل مشابهی ظاهر می‌شد.

چنین چیزی، کاملاً تازه بود: تبدیل انرژی الکتریکی به انرژی گرمایی.

اما چگونه می‌توانستند انرژی گرمایی حاصل از جریان الکتریکی را اندازه بگیرند؟ کاری بسیار ساده بود: ژول دریافت که وقتی سیم حامل جریان، در آب قرار می‌گرفت، آب گرم‌تر می‌شد. مقدار انرژی گرمایی را که نصیب آب می‌شد را با روشی معمول اندازه می‌گرفتند: با وزن کردن آب و استفاده از یک دماسنج برای اندازه‌گیری تغییر دمای آن. به‌علاوه، ژول دریافت که انرژی گرمایی که در یک زمان معین، توسط سیم به آب داده می‌شود، تنها به دو عامل مقاومت الکتریکی سیم و مربع مقدار جریانی که از سیم می‌گذرد بستگی دارد.

بررسی‌های دقیق‌تر مدار الکتریکی نشان داد که این مقدار انرژی، برابر مقدار کار مکانیکی بود که منبع جریان الکتریکی انجام می‌داد تا بارهای الکتریکی را در مقاومت به حرکت درآورد.

بدین‌ترتیب، رابطهٔ بین انرژی الکتریکی، انرژی گرمایی، و انرژی مکانیکی تثبیت شد. گرم کردن به‌وسیلهٔ جریان الکتریکی را که از یک مقاومت می‌گذرد هنوز گرمایش ژول می‌نامند.

* نکتهٔ مهم داستان ما این است: وقتی مشخص شد بر اثر عبور جریان الکتریکی از یک سیم، انرژی گرمایی تولید می‌شود، فرض را بر این نگذاشتند که این انرژی گرمایی از هیچ به‌وجود آمده است، در عوض، برای حفظ پایستگی انرژی، نوع جدیدی از انرژی تعریف شد که انرژی الکتریکی بود. به‌علاوه، مبنای تعریف انرژی الکتریکی، هم‌ارزی‌اش با کار مکانیکی بود. (منظور از کار مکانیکی، کار انجام شده برای تداوم جریان الکتریکی در مدار بود). با توجه به این تعریف، یک مقدار معین انرژی الکتریکی همواره به مقدار معینی انرژی گرمایی تبدیل می‌شود.

***

این فرایند فکری در طی قرن بعد از آن بارها و بارها تکرار شد. هربار که مشاهده می‌شد نوع شناخته شده‌ای از انرژی، به‌طور اسرارآمیزی پدیدار و یا ناپدید می‌شود، تعریف نوع جدیدی از انرژی، می‌توانست اعتبار قانون پایستگی انرژی را، گاهی در آخرین دقیقه حفظ کند.

به‌عنوان مثال، در نیمهٔ دوم قرن نوزدهم، لازم شد توضیح داده شود که چگونه یک جسم داغ، حتی در صورتی که کاملاً عایق‌بندی شده باشد، می‌تواند خنک شود (انرژی گرمایی‌اش را از دست بدهد)؟ زیرا در صورت عایق‌بندی شدن، اساساً امکان رسانش یا همرفت توسط محیط مادی وجود ندارد. و اما روی دیگر سکه: چگونه نور خورشید می‌توانست گرمای تابشی را در خلأ با سرعت ۹۳۰۰۰۰۰۰ مایل منتقل کند، به‌گونه‌ای که پوست بدن شما را در روی زمین گرم کند؟

در اینجا هم، مفهوم جدیدی ابداع شد: تابش الکترومغناطیسی. بر مبنای کارهای نظری جیمز کلارک ماکسول[10] (۱۸۷۹-۱۸۳۱)، فیزیک‌دانان دریافتند که نور مرئی و انرژی گرمایی تابشی (نور فرو ـ سرخ)، چیزی جز نوسان‌های منتشر شونده در میدان‌های الکترومغناطیسی نیستند که فضای خالی را اشغال می‌کنند، این امواج قادرند انرژی را از دور دست‌ترین ستارگان و در فضایی تقریباً خالی از ماده، با سرعت نور حمل کنند.

بار دیگر، پایستگی انرژی نجات یافت: با ارائهٔ تعریف مناسب برای انرژی تابشی (برحسب شدت میدان الکترومغناطیسی)، می‌توانیم اندازه‌گیری‌های دقیقی انجام دهیم که نشان می‌دهند انرژی گرمایی‌ای که جسم داغ از دست می‌دهد، دقیقاً برابر انرژی‌ای است که به صورت تابش، از جسم خارج می‌شود.

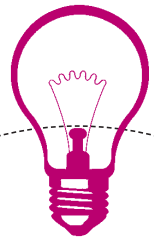
همچون قهرمان فیلم‌های ژانر ماجراجویی ـ ملودرام، پایستگی انرژی نیز مدام در لحظهٔ آخر از نابودی نجات پیدا کرده است: هربار که به‌نظر می‌رسد این قانون نقض شده است، ما نوع جدیدی انرژی را تعریف می‌کنیم که منجر به سازگاری مجدد طبیعت با این قانون می‌شود. در واقع، به نظر می‌رسد که پایستگی انرژی در زمینهٔ هستی تعریف شده است.

پس با توجه به این تفاسیر، چگونه می‌توان ادعا کرد که پایستگی انرژی، قانونی است که آزمایش آن را اثبات کرده است؟

بخش تجربی این قانون، مبتنی بر این واقعیات است:

اولاً، هر بار که در طبیعت دستگاهی را می‌یابیم که در آن، انرژی ظاهراً ناپدید می‌شود (و یا از ناکجا پیدا می‌شود)، می‌توانیم وجود یک پدیدهٔ طبیعی جدید را شناسایی کنیم؛ پدیده‌ای که از لحاظ کمی، هم‌ارز یک نوع شناخته شدهٔ انرژی است.

مثلاً، دیده‌ایم که همواره، انرژی مکانیکی‌ای که بر اثر اصطکاک از دست می‌رود، مجدداً به شکل گرما پدیدار می‌شود. تحقیقات دربارهٔ انرژی از دست رفته، نشان می‌دهند که یک مقدار گرما (یکای گرمایی بریتانیایی) را می‌توان به‌گونه‌ای تعریف کرد که هم‌ارز تعداد خاصی واحد انرژی مکانیکی (فوت ـ پوند) باشد. تبدیل یک واحد انرژی گرمایی به تعداد مشخصی واحد کار مکانیکی، تنها در صورتی ممکن است که یکای گرما و کار، بعد یکسانی داشته باشند.



در نیمهٔ دوم قرن نوزدهم، لازم شد توضیح داده شود که چگونه یک جسم داغ، حتی در صورتی که کاملاً عایق‌بندی شده باشد، می‌تواند خنک شود

همین‌طور یکای انرژی الکترومغناطیسی، که برحسب شدت میدان الکتریکی و مغناطیسی تعریف می‌شود، هم‌ارز واحد کار مکانیکی است. به‌طور کلی، تمام یکاهای انرژی، بدون توجه به نوعشان، به لحاظ ابعادی هم‌ارز یکاهای کار مکانیکی هستند.

* ثانیاً، مطالعهٔ پدیده‌های بزرگ ـ مقیاس (ماکروسکوپی) نشان داده است که می‌توان آن‌ها را بر مبنای کنش‌های میکروسکوپی، به سطحی پایین‌تر و کوچک‌تر فرو کاست.

در اواخر قرن نوزدهم دریافتند که آنچه به عنوان انرژی گرمایی تعریف شـــده اســـت، در واقع یک توصیف انتزاعی سطح بالا از واقعیتی ساده‌تر است. واقعیت این بود که اتم‌ها و مولکول‌ها در سطح میکروسکوپی در اجسام بزرگ ـ مقیاس حرکت می‌کنند و انرژی گرمایی این اجسام، چیزی بیش از کل انرژی جنبشی اتم‌ها و مولکول‌هایشان نیست. هنگامی که این موضوع را درک کردند، دیگر واضح بود که انرژی گرمایی، در واقع تفاوت چندانی با انرژی مکانیکی کلاســـیک ندارد. انرژی گرمایی، تنها به این دلیل انرژی متفاوت به‌نظر می‌رســـید که حرکت تک‌تک ذرات اتمی قابل مشاهده نیســـت. هر چند که (در همان زمان)، این واقعیت که اندازه‌گیری انرژی گرمایی را می‌توان برحسب همان یکایی انجـــام داد که برای اندازه‌گیری انـــرژی مکانیکی به‌کار می‌رود، اجتناب‌ناپذیر بود.

همین‌طور، انرژی الکترومغناطیسی را می‌توان برحسب ذرات بنیادی موســـوم به فوتون توضیـــح داد؛ ذراتی که تا اوایل قرن بیستم، کشف نشـــده بودند. البته چون فوتون، موجودی اصولاً متفاوت از اتم است، انرژی الکترومغناطیسی با انرژی مکانیکی تفاوت دارد. با وجود این، انرژی الکترومغناطیسی می‌تواند کاملاً به انرژی مکانیکی تبدیل شود، چون ماده، شامل ذرات بارداری است که با فوتون برهم‌کنش انجام می‌دهند. این برهم‌کنش‌ها، طبق قواعدی خاصی انجام می‌گیرنـــد که یکی از ویژگی‌های آن‌ها، پایستگی انرژی است.

وقتی روند اندازه‌گیری انرژی مکانیکی، انرژی گرمایی، و انرژی الکترومغناطیسی تعریف و راه‌های تبدیل این شکل‌های انرژی به یکدیگر مشاهده شـــود، درمی‌یابیم که یک مقدار مشخص انرژی مکانیکی، همیشـــه به همان مقدار انـــرژی (گرمایی یا الکترومغناطیســـی) تبدیل می‌شود. تبدیل یک شکل انرژی به شـــکل دیگر، به روشی که برای انجام این کار مورد استفاده قرار می‌گیرد بستگی ندارد و از همه مهم‌تر آنکه (این تبدیل)، هر بار به طرز یکســـانی صورت می‌گیرد. این ثبات یا ناوردایی تبدیل انرژی، ویژگی تجربی و بنیادی قانون پایســـتگی اســـت. وقتی یک ژول انرژی مکانیکی و یک ژول انرژی الکترومغناطیسی را به‌صورت عملی (و تجربی) تعریف کردیم، بعداً هر بار که آن‌ها را اندازه‌گیری کنیم، درمی‌یابیم که کماکان با هم برابرند.

گسترش انواع انرژی این پرسش جدید و مهم را مطرح می‌کند که از کجا می‌توان اطمینان داشـــت که در آینده، شـــاهد نوع جدیـــدی از واکنش نخواهیم بود که در آن، انرژی خلق و نابود می‌شـــود و دیگر نمی‌توانیم برای نجات قانون پایستگی، شکل تازه‌ای از انرژی را پیدا کنیم.

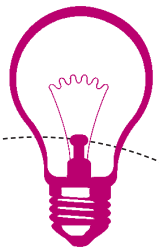
هرچه باشد، ما همهٔ دستگاه‌ها و واکنش‌های ممکن را آزمایش نکرده‌ایم و از لحاظ فیزیکی، اساســـاً امکان چنین کاری را هم نداریـــم. از کجا می‌دانیم که در برخی قســـمت‌های عجیب و ناشناخته جهان، (مثل یک سیاهچاله که در مرکز کهکشان قرار دارد، و یا حتی در فکر خودمـــان)، نمی‌توان قوانین طبیعی را یافت که هنوز کشف نشده‌اند و امکان نقض پایستگی انرژی را فراهم می‌کنند؟

در قرن بیســـتم، چنین تردیدهایی دســـت‌کم در سه مورد، پایســـتگی انرژی را تهدید می‌کردند: یکی کشف پرتوزایی بود، که نشـــان می‌داد انرژی می‌تواند از مادهٔ به ظاهر ساکن، گسیل شود. آیا در این گسیل تابش، انرژی خلق می‌شد؟ دیری نپایید که فهمیدند مادهٔ پرتوزا، آنقدرها هم که تصور می‌شـــد ساکن نیســـت و نیز، انرژی‌ای را که مدت‌ها قبل در آن ذخیره شده را گسیل می‌کند.

چیزی نگذشت که سر و کلهٔ معمایی دیگر این‌بار در ارتباط با نوع خاصی از تابش (ذرات بتا) نمایان شـــد که از موارد پرتوزای به‌خصوصی گسیل می‌شـــد. اندازه‌گیری انرژی ذرات بتا نشان می‌داد که مقدار محدود و مشـــخصی انرژی، ناپدید می‌شـــود. ایـــن انرژی کجا رفته بود؟ حل این معما، به ســـال‌ها زمان نیاز داشت تا سرانجام بتوانند نشان دهند که این انرژی به ظاهر گم شده را ذره‌ای نامرئی و گریزپا به‌نام نوترینو حمل می‌کند. انرژی گم‌گشته پیدا شد.

تردید (تهدید) ســـوم به نظریهٔ حالت ایســـتای عالم در حال انبساط مربوط می‌شد؛ نظریه‌ای که توسط توماس گُلد[11] و فرِد هویل[12] در سال ۱۹۴۸ ارائه شد. طبق این نظریه، به جای آنکه فرض کنیم عالم میلیاردها سال قبل و بر اثر مهبانگ خلق شده است، فرض می‌کنیم به‌طور پیوسته در حال خلق شدن است و در نتیجه آغاز و پایانی ندارد. این نظریه، مستلزم تشکیل ماده و انرژی به میزان اندک در سرتاسر فضاست تا چگالی ماده در حین انبســـاط عالم ثابت بماند. با این همه، تأییدی برای این نظریه به‌دســـت نیامده و هیچ مشاهده‌ای نتوانسته خلق ماده در فضا را ثابت کند. برعکس، تمام شـــواهد، نظریهٔ مهبانگ را تأیید و پشتیبانی می‌کنند. بنابراین، با وجود تمامی تهدیدها، پایستگی انرژی کماکان معتبر باقی مانده است.

به‌علاوه و مهم‌تر از همه، در حالی‌که در نیمه اول قرن بیستم به نظر می‌رسید که انواع انرژی به‌طور بی‌پایان افزایش می‌یابند، در قرن جدید این تمایل به وجود آمد تا مفهوم انرژی را در یک پدیده کلی خلاصه کند: به جای رشد و گسترش «انواع انرژی»، تمامی شکل‌های مختلف آن در یک فرم ادغام می‌شوند. پس در حالی که علم فیزیک، از لحاظ ریاضیاتی پیچیده‌تر می‌شود، از نظر مفهومی ساده‌تر خواهد شد. در نتیجه، برای توضیح عالم، به ایده‌های بنیادی کمتری نیاز خواهیم داشت.



انرژی الکترومغناطیسی را می‌توان برحسب ذرات بنیادی موسوم به فوتون توضیح داد؛ ذراتی که تا اوایل قرن بیستم، کشف نشده بودند

پی‌نوشت‌ها

1. Gottfried Leibniz
2. Vis Viva
3. Rene Descartes
4. Jean d'Alembert
5. Johann Bernoulli
6. Gaspard de Coriolis
7. Friedrich Wilhelm Joseph Von Schelling
8. James Prescott Joule
9. Joseph Black
10. James Clerk Maxwell
11. Thomas Gold
12. Fred Hoyle