# انرژی

" انرژی[1] " از جملهٔ کلمات آشناست، کلماتی که در جاهای زیادی کاربرد دارد و از جمله مفـاهیم اساسی علم است. شاید شنیده باشید که مثلاً فلان مادهٔ غذایی به ازای هر گرمش فلان قدر کیلوکـالری انرژی دارد. یعنی اینکه اگر هضم شود آن مقدار انرژی به بدن می‌دهد.

اما این انرژی چیست؟ مثل جرم است؟ در باتری‌ها موجـود اسـت؟ در سـوخت‌هـا هـست؟ کـلاً چیست؟

تا بحال توانسته‌ایم انرژی را به نام انرژی جنبشی برای یک ذره به سرعت $V$ و جـرم $m$ بـه طـور دقیق تعریف کنیم.

$$K = \frac{1}{2} mV^2$$

خوب برای یک سیستم چه کنیم؟

در فیزیک کلاسیک هر سیستمی را مجموعه‌ای از ذرات در نظر می‌گیریم خوب با این فـرض چـه تعریفی برای انرژی جنبشی مناسب است؟

باید تعریفی ارایه دهیم که کار نیروهـا مقـدار تغییـرات آن را بدهـد. مـی‌دانـیم بـرای هـر ذره $d K_i = d W_i$ که

$$K_i = \frac{1}{2} m_i V_i^2 \qquad , \qquad d W_i = \vec{F}_i \cdot d\vec{r}_i$$

که

$\vec{F}_i$ : برآیند نیروهای وارد بر ذره $i$ ام

جابجایی ذره ( در مدتی کوتاه) : $d\vec{r}_i$

است.

خوب کار کل روی سیستم خواهد بود:

$$dW = \sum dW_i$$

$$= \sum dK_i = d\sum K_i = dK$$

پس یک راه خوب تعریف انرژی جنبشی کل یک سیستم جمع انرژی‌های جنبشی تک تک آنها است.

$$K = \sum K_i = \sum \frac{1}{2} m_i V_i^2$$

و طبق قضایایی که داشته‌ایم.

$$\Delta K = \Delta W \quad \text{که} \quad \Delta W = \sum_i \int \vec{F}_i \cdot d\vec{r}_i$$

کار را می‌بایست برای مسیرهای ممکن هر یک از ذرات حساب کرد.

اما آیا می‌توان این رابطه را بگونه‌ای ساده کرد. همان‌طور که برای یک سیستم به این نتیجه رسیدیم که

$$\vec{F}_{\text{کل خارجی}} = M \vec{A}_{Cm}$$

برای اینکار روابط را دوباره بازنویسی می‌کنیم به گونه‌ای که

$$d\vec{r}_i = d\vec{r}_i' + d\vec{R}_{cm}$$

$$\vec{V}_i = \vec{V}_i' + \vec{V}_{cm}$$

که $d\vec{r}_i'$ و $\vec{V}_i'$، جابجایی دیفرانسیلی و سرعت ذره $i$ ام نسبت به $cm$ (مرکز جرم) است.

$$K=\sum \frac{1}{2} m_i V_i^2 = \sum \frac{1}{2} m_i (\vec{V}_i' + \vec{V}_{cm})^2$$

$$= \sum \frac{1}{2} m_i V_i'^2 + \sum \frac{1}{2} m_i V_{cm}^2 + \sum m_i \vec{V}_{cm} \cdot \vec{V}_i'$$

$$= \sum \frac{1}{2} m_i V_i'^2 + \frac{1}{2} (\sum m_i) V_{cm}^2 + \vec{V}_{cm} \cdot (\sum m_i \, \vec{V}_i')$$

$\sum m_i = M$ **جرم کل**

**اما جمله آخر صفر خواهد شد زیرا:**

$$\sum m_i \vec{V}_i' = \sum m_i (\vec{V}_i - \vec{V}_{cm}) = \sum m_i \vec{V}_i - M \vec{V}_{cm}$$

$$\sum m_i \vec{V}_i' = 0 \quad \Leftarrow \quad \sum m_i \vec{V}_i = M \vec{V}_{cm} \quad \text{اما}$$

**پس :**

$$K=\sum \frac{1}{2} m_i V_i'^2 + \frac{1}{2} M V_{cm}^2$$

**یعنی انرژی جنبشی ترکیبی از یک جمله که نشان از حرکت ذره‌ای به جرم کل سیستم با سرعت مرکز جرم است به علاوهٔ جمله‌ای که انرژی جنبشی ذرات بر حسب مرکز جرم است. این رابطه در دینامیک اجسام صلب بسیار کاربرد دارد زیرا جمله سمت چپ را $(\sum \frac{1}{2} m_i V_i'^2)$ بر حسب حرکت زاویه و اینرسی دورانی جسم نوشت.**

**خوب برویم سراغ رابطهٔ کار:**

$$W=\sum \int \vec{F}_i \cdot d\vec{r}_i = \sum \int \vec{F}_i \cdot (d\vec{r}_i' + d\vec{R}_{cm})$$

$$W=\sum \int \vec{F}_i \cdot d\vec{r}_i' + \int (\sum \vec{F}_i) \cdot d\vec{R}_{cm}$$

$$= \sum W_i' + \int \vec{F}_{\text{کل خارجی}} \cdot d\vec{R}_{cm}$$

که باز شامل دو نوع جمله است. اما طبق رابطهٔ $\vec F_{\text{کل خارجی}} = M\,\vec A_{cm}$

$$\int \vec F_{\text{کل خارجی}} \cdot d\vec R_{cm} = \int M\,\vec A_{cm} \cdot d\vec R_{cm}$$

$$\vec A_{cm} = \frac{d\vec V_{cm}}{dt} \qquad \Rightarrow \qquad \vec A_{cm} \cdot d\vec R_{cm} = d\vec V_{cm} \cdot \frac{d\vec R_{cm}}{dt} = \vec V_{cm} \cdot d\vec V_{cm}$$

$$\Rightarrow \qquad = \frac{1}{2}\, d\,V_{cm}^{2}$$

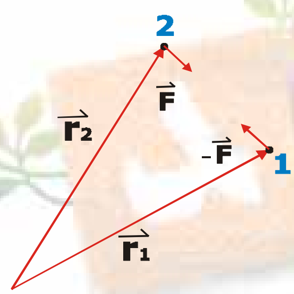
$$\Rightarrow \qquad \int \vec F_{\text{کل خارجی}} \cdot d\vec R_{cm} = D\left(\frac{1}{2} M V_{cm}^{2}\right)$$

پس:

$$\Sigma W_i' = \Delta\Sigma K_i' \quad \text{که} \quad K_i' = \frac{1}{2} m_i V_i'^2$$

اگر نیروی خارجی صفر باشد $DV_{cm} = 0$ خواهد بود. اما آیا این به این معناست که انرژی جنبشی سیستم تغییر نخواهد کرد؟

در این تنها جملات $K'$ و $W'$ می‌ماند که به انرژی و کار بر حسب مکان نسبی نسبت به مرکز جرم تعریف می‌شوند. درست است که برای نیروهای داخلی ما همواره به ازای هر نیرویی قرینهٔ آن را داریم ولی دلیلی ندارد که جابجایی‌های این دو نیرو یکسان شود. مثلاً یک سیستم دو ذره‌ای را در نظر بگیرید: از نیروهای خارجی صرف‌نظر کنید.



بین این دو در هر زمانی نیروهای $\vec{F}$ و $-\vec{F}$ وجود خواهد داشت، ولی کار انجام شده در حرکت‌ها خواهد بود:

$$dW = \vec{F} \cdot d\vec{r}_2 - \vec{F} \cdot d\vec{r}_1 = \vec{F} \cdot (d\vec{r}_2 - d\vec{r}_1) = \vec{F} \cdot d\vec{r}_{21}$$

یعنی این کار به اختلاف جابجایی‌های آنها یعنی جابجـایی نـسبی آنهـا بـستگی دارد. اگـر ایـن جابجایی نسبی صفر باشد آنگاه نیروی داخلی، کاری انجام نمی‌دهد و انرژی جنبشی را تغییر نمی‌دهـد و الا در حالت کلی چنین نیست.

پس حالا تصویری از انرژی یک سیستم داریم یعنی جمع انرژی‌های جنبشی ذرات آن کـه شـیوهٔ تغییر این انرژی را بررسی کردیم. بحث‌های بنیادی‌تر را به بخش بقای انرژی موکول می‌کنم.

گرچه هم چنان معنای جملات ابتدای بخش که در مورد انرژی گفتیم مجهول است. بحث کامـل را بعد از بخش بقای انرژی باید به ترمودینامیک و قانون اول آن سپرد بـا دانـستن آن مفهـوم مناسـبی از انرژی درک خواهید کرد و تبدیلات و تغییرات انرژی برایتان معنا پیدا خواهد نمود.

---

[1] *Energy*