

جنبشی<sup>۱</sup> و پتانسیل<sup>۲</sup>. انرژی جنبشی وابسته به جنبش و حرکت جرم است؛ درحالی که انرژی پتانسیل به موقعیت نسبی جرم بستگی دارد.

برای نمونه هنگامی که جسمی به جرم  $m$ ، با سرعت  $v$  حرکت انتقالی دارد، انرژی جنبشی انتقالی آن برابر با  $\frac{1}{2}mv^2$  است. اگر جرم بر حسب  $kg$  و سرعت بر حسب  $m \cdot s^{-1}$  باشد، یکای انرژی جنبشی انتقالی  $(m \cdot s^{-1})^2 \cdot kg$  یا ژول (J) خواهد بود.

بر این اساس اگر میانگین سرعت یک اتم هلیوم به جرم  $6/65 \times 10^{-27} kg$  در نمونه‌ای از این گاز در دمای  $27^\circ C$ ، برابر با  $1368 m \cdot s^{-1}$  باشد، میانگین انرژی جنبشی انتقالی آن برابر است با:

$$\begin{aligned} \text{میانگین انرژی جنبشی انتقالی یک اتم هلیوم در } 27^\circ C &= \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}(6/65 \times 10^{-27} kg)(1368 m \cdot s^{-1}) \\ &= 6/22 \times 10^{-21} J \end{aligned}$$

از آنجا که جرم هر اتم هلیوم ناچیز است، انرژی جنبشی هر اتم آن نیز بسیار اندک است؛ اما هنگامی که انرژی جنبشی یک مول از هلیوم را به دست می‌آوریم:

$$\begin{aligned} \text{انرژی جنبشی انتقال یک مول هلیوم در } 27^\circ C &= \underbrace{(6/02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1})}_{\text{ثابت آووگادرو}} \times (6/22 \times 10^{-21} J) \\ &= 3/74 \times 10^3 J \cdot \text{mol}^{-1} \end{aligned}$$

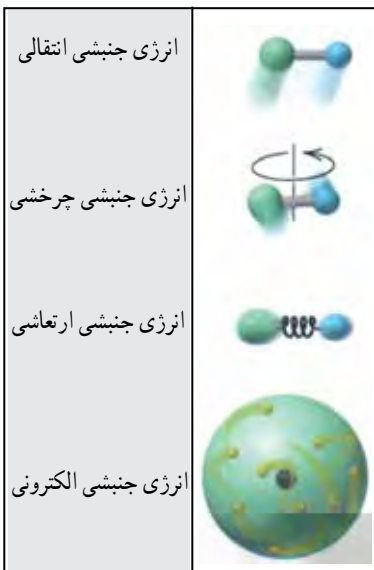
آنگاه انرژی آن قابل ملاحظه خواهد شد.

برای اتم‌های مجزا در یک نمونه از گاز نجیب مانند هلیوم، انرژی جنبشی تنها از نوع انرژی جنبشی انتقالی است؛ اما مولکول‌های دو یا چند اتمی (مانند  $CO_2$ ،  $Cl_2$  و ...) افزون بر جنبش‌های انتقالی، جنبش‌های چرخشی و ارتعاشی نیز دارند (در دمای اتاق جنبش‌های الکترونی و هسته‌ای چندان محسوس نیست).

مولکول‌های دو یا چند اتمی می‌توانند به دور محوری نیز بچرخند از این رو دارای انرژی جنبشی چرخشی هم هستند. در این مولکول‌ها ممکن است طول و زاویه پیوندها کم و زیاد شود و ارتعاش رخ دهد. از این رو دارای انرژی جنبشی ارتعاشی نیز هستند (شکل ۲).

انرژی پتانسیل، هم‌ارز با انرژی ذخیره شده یا نهفته در ماده است. برای نمونه هنگامی که گلوله‌ای به جرم  $5 kg$  را تا ارتفاع  $1 m$  بالا می‌کشید، برای این کار، انرژی صرف کرده‌اید و این انرژی در گلوله ذخیره می‌شود. این نمونه نشان می‌دهد که انرژی پتانسیل وابسته به موقعیت گلوله نسبت به حالت آغازی آن است. چون منشأ این انرژی پتانسیل، گرانش زمین است، از آن به‌عنوان انرژی پتانسیل گرانشی یاد می‌شود.

دژه‌ها در حالت جامد تنها جنبش‌های ارتعاشی دارند، ولی در حالت مایع افزون بر جنبش‌های انتقالی، چرخش‌های درگیرانه و ارتعاش نیز دیده می‌شود.



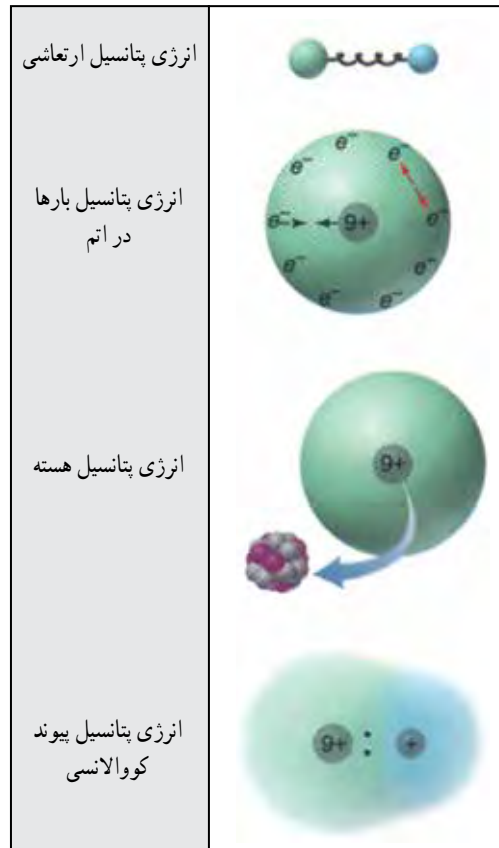
شکل ۲- انواع انرژی‌های جنبشی اتم‌ها و مولکول‌ها

۱- Kinetic

۲- Potential

ارزش غذایی (cal)	ماده غذایی (۱۰۰g)
۴۰۰	پروتئین
۴۰۰	کربوهیدرات
۹۰۰	چربی
۵۰	سیب
۷۰	موز
۲۵۰	نان
۶۰۰	شکلات کاکائویی
۱۴۰	تخم مرغ
۲۰۰	بستنی
۲۵۰	بادام زمینی
۷۰	سیب زمینی
۳۶۰	برنج
۲۲۰	گوشت
۳۰۰	همبرگر

انرژی پتانسیل می‌تواند در فتر فشرده و هم‌چنین میان بارهای الکتریکی ناهم‌نام همانند ابر الکترونی و هستهٔ یک اتم به دلیل برهم‌کنش جاذبه میان آنها و نیز در یک پیوند شیمیایی، ذخیره شده باشد (شکل ۳).



شکل ۳- انواع انرژی‌های پتانسیل اتم‌ها و مولکول‌ها

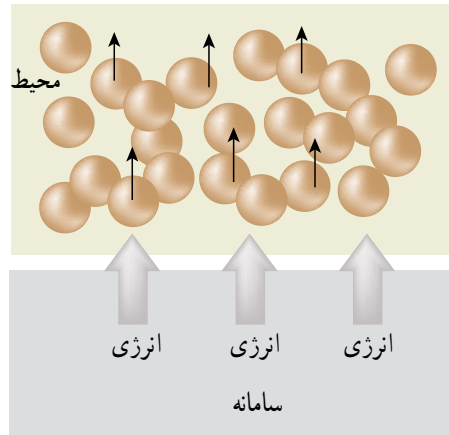
می‌دانید که انرژی می‌تواند شکل‌های گوناگونی داشته باشد؛ مانند انرژی مکانیکی، الکتریکی، گرمایی، شیمیایی، تابشی و... هر یک از این شکل‌های انرژی می‌توانند از نوع جنبشی، پتانسیل یا هر دو باشند. انرژی گرمایی یک ماده وابسته به جنبش‌های نامنظم (انتقالی، چرخشی، ارتعاشی) ذره‌های سازندهٔ آن است؛ به گونه‌ای که می‌توان انرژی گرمایی یک نمونه ماده را مجموع انرژی‌های جنبشی انتقال، چرخش و ارتعاش ذره‌های سازندهٔ آن دانست (انرژی گرمایی شکلی از انرژی بوده که از نوع انرژی جنبشی است).

بر همین پایه جنبش‌های نامنظم ذره‌های سازندهٔ ماده را جنبش‌های گرمایی<sup>۳</sup> نیز می‌نامند، با این توصیف، گرماً<sup>۲</sup> به آن مقدار انرژی گرمایی می‌گویند که در اثر اختلاف دما از یک ماده به مادهٔ دیگر یا از یک نقطه به نقطهٔ دیگر انتقال می‌یابد. اینک می‌توان گفت هرچه جنبش‌های گرمایی یک نمونه

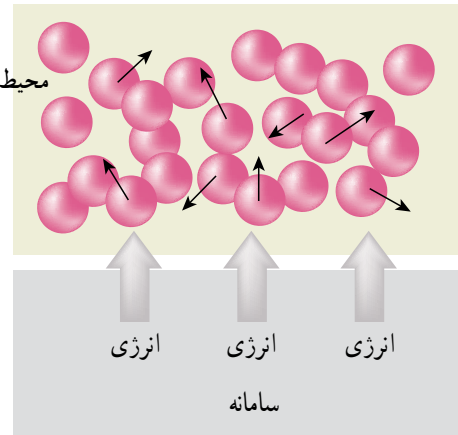
۱- Thermal motions

۲- Heat

ماده شدیدتر باشد، ماده پر انرژی تر است. پس هنگامی که یک ماده (یا یک سامانه) محیط خود را گرم می‌کند، ذره‌های سازنده سامانه، جنبش‌های گرمایی ذره‌های محیط را تشدید می‌کنند (شکل ۴).



شکل ۵ - هنگامی که سامانه کار انجام می‌دهد، حرکت منظمی را در محیط ایجاد می‌کند. به عنوان مثال، اتم‌های نشان داده شده در این شکل می‌توانند بخشی از وزنه‌ای باشند که بالا آمده است. حرکت منظم اتم‌ها در وزنه سقوط کننده بر روی سامانه کار انجام می‌دهد.



شکل ۴ - هنگامی که انرژی به صورت گرما به محیط داده می‌شود، حرکت در هم برهم اتم‌ها در محیط تشدید می‌شود. انتقال انرژی از محیط به سامانه از حرکت نامنظم (حرکت گرمایی) مولکول‌ها در محیط ناشی می‌شود.

گرما، آن انرژی گرمایی است که به دلیل تفاوت دما از جسمی به جسم دیگر انتقال می‌یابد. کار، انرژی‌ای است که به دلیل نیرویی که میان دو جسم عمل می‌کند، از یک جسم به جسم دیگر انتقال می‌یابد.

افزون بر گرما، کار<sup>۱</sup> نیز راهی برای انتقال انرژی است. کار، انتقال انرژی‌ای است که به صورت حرکت سازمان یافته ذره‌های سازنده سامانه در یک جهت معین توصیف می‌شود. برای نمونه هنگامی که یک گلوله آهنی بالا یا پایین می‌رود، اتم‌های سازنده آن به صورت سازمان یافته در یک جهت بالا یا پایین می‌روند (شکل ۵). به همین دلیل گفته می‌شود، هنگامی که کار روی سامانه‌ای انجام می‌شود، مولکول‌های محیط باعث انتقال انرژی سازمان یافته‌ای به سامانه می‌شود.

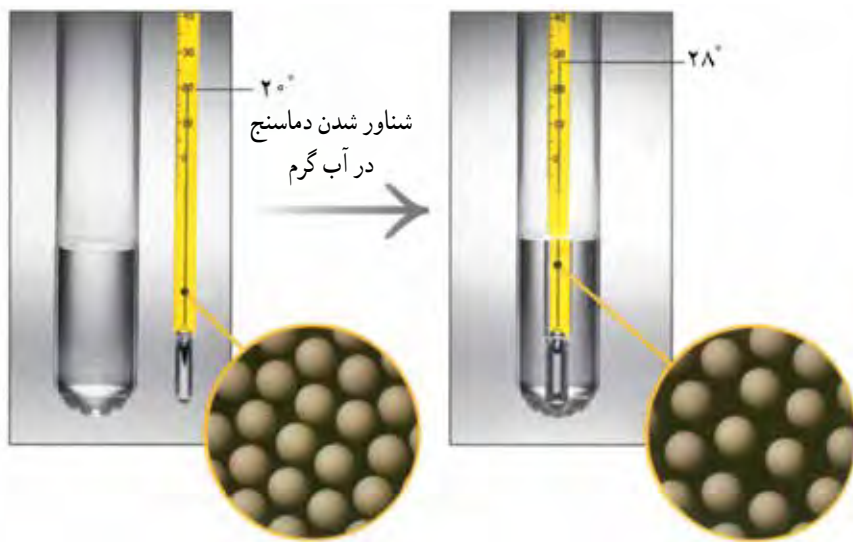
توجه کنید کار می‌تواند از نوع کار انبساطی (تغییر حجم سامانه در فشار ثابت)، کار کشش فنر، کار الکتریکی و... باشد.

## دما (Temperature)

اگر سامانه‌ای با یک مرز که رسانای گرماست (دیاترمیک)، از محیط پیرامون خود جدا شده باشد، هنگام برقراری تعادل گرمایی میان سامانه و محیط، می‌توان گفت که سامانه و محیط هم‌دما شده‌اند. پس دما می‌تواند یک خاصیت ترمودینامیکی باشد که نشان می‌دهد، دو ماده در تماس با یکدیگر (مانند سامانه در تماس با محیط) توسط یک دیواره دیاترمیک، در تعادل گرمایی اند یا نه. بدیهی است اگر در تعادل گرمایی نباشند، دما کمی است که جهت جریان انرژی به صورت گرما را نشان

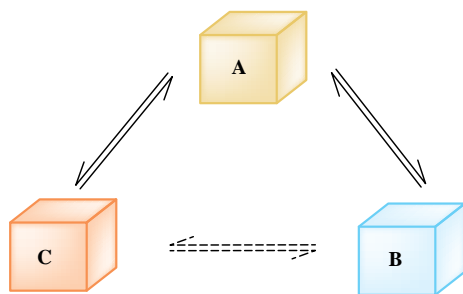
می‌دهد؛ به گونه‌ای که اگر جهت جریان گرما از سامانه (A) به محیط (B) باشد، دمای سامانه (A) از دمای محیط (B) بیشتر است ( $T_A > T_B$ ).

از سوی دیگر دما را می‌توان کمیته دانست که میزان شدت جنبش‌های گرمایی ذره‌های سازنده ماده را بیان می‌کند. هرچه دمای سامانه بالاتر باشد، جنبش‌های گرمایی آن شدیدتر است. برای نمونه جنبش‌های گرمایی (انتقالی، چرخشی و ارتعاشی) اتم‌های جیوه در  $28^\circ\text{C}$ ، شدیدتر از این جنبش‌ها در دمای  $2^\circ\text{C}$  است (شکل ۶).



شکل ۶- دما و جنبش‌های مولکولی

اینک تصور کنید دو سامانه A و B از طریق یک دیوارهٔ دیاترمیک در تعادل گرمایی اند و سامانهٔ A با سامانهٔ C نیز در تعادل گرمایی باشد، پس سامانهٔ B نیز با سامانهٔ C در تعادل گرمایی خواهد بود. به دیگر سخن دمای سامانه‌های B و C نیز یکسان است. (شکل ۷).



شکل ۷- نمایش قانون صفرم ترمودینامیک

این تعمیم از مشاهده‌های تجربی، قانون صفرم ترمودینامیک<sup>۲</sup> نام دارد. نام صفرم پس از آن که قانون‌های اول، دوم و سوم ترمودینامیک ارائه شده بود، مشخص گردید. توجه کنید برای گسترش

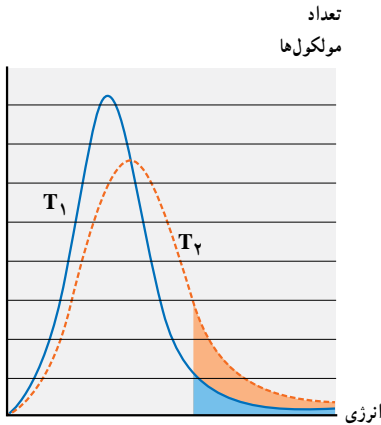
<sup>۱</sup> - the zeroth law of thermodynamic

ترمودینامیک به قانون صفرم نیاز بود و از سوی دیگر قانون صفرم به لحاظ منطقی مقدم بر سه قانون دیگر است.

قانون صفرم ترمودینامیک پایه‌ای برای مفهوم دما و ساخت دماسنج‌هاست. برای نمونه اگر یک دماسنج جیوه‌ای درون یک لیوان آب خالص قرار گیرد و پس از تعادل گرمایی و هم‌دما شدن، دماسنج دمای  $25^{\circ}\text{C}$  را نشان دهد، می‌توان گفت دمای  $25^{\circ}\text{C}$  نشان‌دهنده دمای جیوه، دیواره شیشه‌ای دماسنج و آب درون لیوان است؛ زیرا دیواره شیشه‌ای دماسنج (A) از یک سو در تعادل گرمایی با جیوه (B) است و از سوی دیگر در تعادل گرمایی با آب درون لیوان (C) است، پس جیوه درون دماسنج (B) با آب درون لیوان (C) در تعادل گرمایی است و این سه هم‌دما هستند.

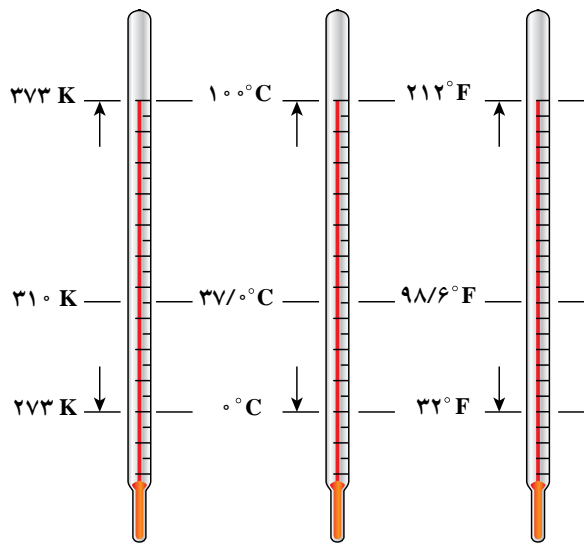
پس از آشنایی با دما، دانستن مقیاس دما و عملکرد دماسنج‌ها اهمیت شایانی دارد. رایج‌ترین مقیاس‌های اندازه‌گیری دما، درجه سلسیوس و کلون هستند. مقیاس سلسیوس یک مقیاس صد قسمتی (از صفر تا صد) است (شکل ۸).

$$T(\theta) = 273/15^{\circ} + \text{دما بر حسب سلسیوس}$$



نمودار ۱- توزیع انرژی جنبشی میان ذره‌های یک مایع ( $T_2 > T_1$ )

مطابق نمودار انرژی همه ذره‌ها یکسان نیست. برخی از مولکول‌ها پر انرژی‌تر از بقیه و برخی از بقیه کم انرژی‌ترند، در حالی که تعداد زیادی از مولکول‌ها، دارای میانگین انرژی هستند. افزایش دما، تعداد مولکول‌های پرانرژی‌تر را افزایش می‌دهد.<sup>۲</sup>



شکل ۸- مقیاس دمای سلسیوس، کلون و فارنهایت

در مقیاس صد قسمتی سلسیوس، نقطه صفر نشان‌دهنده دمای تعادلی آب و یخ در فشار یک اتمسفر (دمای ذوب نرمال یخ معروف به نقطه یخ) و نقطه صد، نشان‌دهنده دمای تعادلی بخار و آب در فشار یک اتمسفر (دمای جوش نرمال آب معروف به نقطه بخار) است. نکته جالب توجه این است که ارزش دمایی یک درجه سلسیوس برابر با یک کلون است. برای نمونه اگر دمای سامانه‌ای  $5^{\circ}\text{C}$

#### ۱- Thermometer

۲- هنگامی که سامانه‌ای مانند یک لیوان محتوی  $20^{\circ}\text{g}$  آب را گرم می‌کنیم، چون موقعیت مولکول‌ها و برهم‌کنش میان آنها در همه سامانه یکسان نیست، توزیع انرژی گرمایی میان آنها یکسان رخ نمی‌دهد (برخی مولکول‌ها نزدیک به سطح، برخی در عمق و برخی در کنار دیواره یا میان سامانه وجود دارند) از این رو میانگین انرژی همه آنها اندازه‌گیری می‌شود (نمودار ۱).

افزایش یابد، همانند این است که دمای سامانه ۵K افزایش یافته است.

ابزار اندازه‌گیری دما، دماسنج است که دو نوع متداول آن دماسنج‌های جیوه‌ای و الکلی هستند. در این دماسنج‌ها حجم مایع با دما به‌طور منظم تغییر می‌کند (دما تابع خطی از حجم مایع است). بدیهی است آب، مایع مناسبی برای دماسنج‌ها نیست، زیرا حجم آب از  $^{\circ}\text{C}$  تا  $^{\circ}\text{C}$  ۴ غیر عادی تغییر می‌کند. با اینکه این دماسنج‌ها بر پایه مقیاس صدقسمتی تنظیم شده‌اند؛ اما برای اندازه‌گیری دماهای کمتر از صفر درجه و بیشتر از صد درجه سلسیوس نیز به کار می‌روند (دماهای کمتر از  $^{\circ}\text{C}$  با علامت منفی گزارش می‌شوند).