

انرژی:

با مفهوم انرژی از قبل آشنایی دارید. تقریباً می‌توان گفت انرژی عامل ایجاد همه چیز است. انرژی کمیته عددی است و یکای اندازه‌گیری آن در SI ژول J می‌باشد. در مورد انرژی قانون پایستگی وجود دارد که می‌گوید انرژی خود بخود خلق یا نابود نمی‌شود بلکه از جایی به جای دیگر می‌رود و از شکلی به شکل دیگر در می‌آید. بنابر این شکل‌های مختلفی از انرژی وجود دارد:

۱- **انرژی جنبشی:** به انرژی اجسام در حال حرکت انرژی جنبشی گفته می‌شود. هر جسم متحرکی انرژی جنبشی دارد.

انرژی جنبشی به سرعت و جرم جسم بستگی دارد. هر چه سرعت یک جسم بیشتر باشد، انرژی جنبشی‌اش بیشتر است.

۲- **انرژی پتانسیل:** به انرژی ذخیره شده در اجسام انرژی پتانسیل گفته می‌شود. این انرژی می‌تواند در شرایط مناسب به

شکل‌های دیگر انرژی (جنبشی، نور، گرما،...) تبدیل شود. انرژی پتانسیل هم انواع گوناگونی دارد مانند پتانسیل

شیمیایی، گرانشی، الکتریکی، هسته‌ای،

۳- **انرژی درونی:** به مجموع انرژی جنبشی و پتانسیل یک جسم، انرژی درونی یا انرژی کل جسم گفته می‌شود.

کار: با انجام کار بر روی یک سیستم می‌توان از آن سیستم انرژی گرفت یا به آن انرژی داد. کار هم کمیته عددی است و یکای اندازه‌گیری‌اش ژول می‌باشد.

ویژگی‌های ماده

چگالی: به مقدار جرم واحد حجم چگالی گفته می‌شود. چگالی نشان می‌دهد که ذرات تشکیل دهنده یک ماده چقدر به هم

فشرده‌اند. یکای اندازه‌گیری چگالی در SI کیلوگرم بر متر مکعب $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ است. چگالی را معمولاً با نماد ρ (رو) نشان می‌دهند.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

در این رابطه، m جرم ماده بر حسب کیلوگرم kg و V حجم ماده بر حسب متر مکعب m^3 است.

حالت‌های مختلف ماده

همان‌طور که از علوم دبستان می‌دانید کوچک‌ترین جزء ماده که هنوز خاصیت آن ماده را دارد، مولکول است. بر اساس حرکت و قرار گرفتن مولکول‌ها نسبت به هم، مواد در سه حالت یا فاز جامد، مایع و گاز وجود دارند.

فاز گاز: در فاز گاز فاصله‌ی مولکول‌ها از یکدیگر بسیار بیشتر از فازهای مایع و جامد است. بنابر این چگالی گازها بسیار کمتر از

چگالی مایعات و جامدات است. در گاز مولکول‌ها به راحتی و با سرعت زیادی حرکت می‌کنند. آنها در حین حرکت دائم با

یکدیگر یا با دیواره‌های ظرف برخورد می‌نمایند. از این رو مسیر حرکت یک مولکول گاز به صورت زیگ‌زاگ (خط مستقیم

شکسته) است. این شکل حرکت را حرکت براونی می‌گویند. این نمونه حرکت را حتما دیده‌اید. پیچیدن دود در فضا، نمونه‌ای از این

حرکت است. بیشتر انرژی گاز به خاطر انرژی جنبشی مولکول‌هاست و سهم انرژی پتانسیل در فاز گاز اندک است که گاهی صفر در

نظر گرفته می‌شود.

مایع: در فاز مایع فاصله مولکول‌ها از یکدیگر بسیار کمتر از فاز گاز و نیروهای بین مولکولی بسیار (به خاطر فاصله کم) قوی‌تر از فاز گاز است. به همین علت مولکول‌ها نمی‌توانند مانند حالت گاز به راحتی و با سرعت زیاد حرکت کنند اما با این حال هنوز هم مولکول‌های مایع می‌توانند به راحتی روی هم لغزیده و جابجا شوند. به همین علت با آنکه حجم مایع ثابت است اما شکل آن ثابت نیست. مانند پخش شدن جوهر در آب یا حل شدن شکر در آب.

جامد: در فاز جامد فاصله مولکول‌ها تقریباً مانند فاز مایع است اما با این تفاوت که نیروهای بین مولکولی در جامد قوی‌تر بوده و باعث می‌شود مولکول‌ها در محل‌های تقریباً ثابتی نسبت به یکدیگر قرار گرفته و حول نقطه تعادل خود نوسان کنند. در نتیجه جامدات حجم و شکل تقریباً ثابتی دارند. جامدات را می‌توان به دو دسته جامدات بلورین و جامدات بی‌شکل تقسیم بندی نمود. در جامدات بلورین مولکول‌ها به طور منظم در کنار هم قرار گرفته‌اند و کل جسم جامد از تکرار یک طرح حاصل می‌شود. مانند الماس، گرافیت، نمک طعام، این جامدات از سرد شدن آرام مایع به وجود می‌آیند. هنگامی که یک مایع به آرامی سرد شود مولکول‌ها فرصت دارند تا طرح منظمی ایجاد کنند. مولکول‌ها این طرح‌های منظم را طوری انتخاب می‌کنند که در نهایت به کمترین سطح انرژی درونی برسند. جامدات بی‌شکلی مانند شیشه از سرد شدن سریع مایع به وجود می‌آیند. در این حالت مولکول‌ها فرصت نمی‌کنند تا نظم پیدا کنند و در نتیجه در همان حالت نامنظمی که در فاز مایع داشته‌اند باقی می‌مانند.

مواد می‌توانند هر یک از سه حالت گاز، مایع و جامد و یا ترکیبی از هر یک از این حالات را داشته باشند. البته این امر بستگی به دما و فشار ماده و محیط دارد.

سیال: به مجموعه‌ای از مولکول‌ها که حرکت و مکان‌شان نسبت به هم تصادفی بوده (و به وسیله نیروهای چسبندگی ضعیف و نیروهای وارده از طرف دیواره ظرف پیش هم نگه داشته می‌شوند)، و نیروهای بین مولکولی‌شان ضعیف است سیال گفته می‌شود. مایعات و گازها سیال هستند.

فشار:

تا به حال به برندگی چاقوهای مختلف توجه کرده‌اید؟ دیده‌اید که لبه‌ی یک چاقوی کند را می‌تراشند تا لبه‌اش نازک شده و بهتر مواد را ببرد. یک تیغه‌ی پهن حتی نان را هم به راحتی نمی‌برد. چرا؟ یا مثلاً چرا اسکیموها برای راه رفتن در برف از کفش‌هایی استفاده می‌کنند که کف پهنی دارد؟ وقتی از چنین کفشی استفاده شود کمتر از حالتی که از کفش معمولی استفاده کرده باشند، در برف فرو می‌روند. چرا؟

در تمام این حالات ما (با چاقو، کفش، ...) به جسمی نیرو وارد می‌کنیم. وقتی سطح مقطعی که نیرو بر روی آن وارد می‌شود (تیغه چاقو، کف کفش، ...) کم یا باریک باشد، برندگی چاقو بهتر و فرو رفتن در برف بیشتر می‌شود. اما وقتی سطح مقطع بیشتر باشد، ... در اینجا ما با مفهوم فشار مواجه هستیم که دو کمیت نیرو و سطح مقطع را درگیر می‌کند. به نیروی عمودی که بر واحد سطح وارد می‌شود، فشار گفته می‌شود. اگر فشار را با P ، نیرو را با F و سطح مقطع را با A نشان دهیم:

$$P = \frac{F}{A}$$

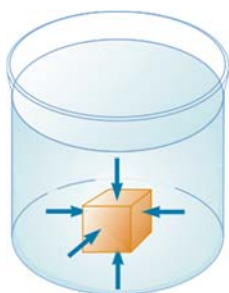
نیرو بر حسب نیوتن N و سطح بر حسب متر مربع m^2 اندازه گیری می شود. بنابر این یکای اندازه گیری فشار در SI نیوتن بر متر مربع $\frac{N}{m^2}$ است که به اختصار پاسکال Pa گفته می شود. از رابطه فوق مشخص است که برای یک نیروی معین اگر سطح مقطع کاهش یابد، فشار افزایش خواهد یافت و اگر سطح بزرگ شود، فشار کم خواهد شد. توجه: اگر چه نیرو و مساحت هر دو کمیت هایی برداری می باشند اما فشار در اینجا کمیتی عددی است.

در صورتی که نیروی وزن یک جسم فشار را ایجاد کند $F = mg$. که m جرم جسم و g شتاب گرانش است. در این صورت فشار

$$P = \frac{mg}{A}$$

اگر چگالی و حجم جسمی را داشته باشیم، می توانیم جرمش $m = \rho V$ را تعیین کنیم. در این صورت فشار ناشی از وزن این جسم:

$$P = \frac{V\rho g}{A}$$



محاسبه فشار در مایعات:

هنگامی که جسمی را درون یک سیال قرار دهیم، از طرف سیال نیرویی بر سطوح جسم وارد می شود که این نیرو همیشه بر سطوح جسم عمود است.

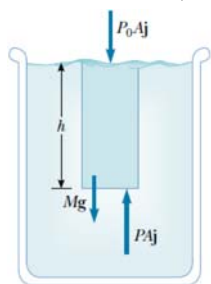
فشاری که به وسیله یک سیال ایجاد می شود، به ارتفاع از سطح آزاد (عمق) سیال بستگی دارد. یعنی با تغییر ارتفاع (عمق) فشار ایجاد شده توسط سیال تغییر می کند.

تغییر فشار با عمق:

همان طور که غواصان هم می دانند، با افزایش عمق فشار آب افزایش می یابد. برعکس، فشار جو با افزایش ارتفاع کاهش می یابد. چرا که در پروازهای ارتفاع بالا باید فشار کابین ها را بالا برد.

در اینجا نشان خواهیم داد که چگونه فشار در مایع با عمق افزایش می یابد. (حجم مواد به دما وابسته است). (توجه: در شرایط استاندارد (دمای صفر درجه سانتیگراد و فشار یک اتمسفر) چگالی گازها یک هزارم چگالی مایعات و جامدات است. چنین تفاوتی یعنی فاصله متوسط میان مولکول های گاز ده برابر مایعات و جامدات است).

سیال ساکنی با چگالی ρ که در فضای جو قرار دارد را در نظر بگیرید. فرض می کنیم چگالی سیال ثابت باشد. ثابت بودن چگالی یعنی سیال تراکم ناپذیر است. قسمتی از سیال به شکل استوانه با سطح مقطع A و ارتفاع h را در نظر بگیرید. این ارتفاع از سطح آزاد سیال محاسبه می شود. همان طور که می دانید حجم استوانه برابر است با $V = Ah$. در نتیجه جرم استوانه برابر است با $m = \rho Ah$. فشاری که بر سطح آزاد سیال وارد می شود، فشار جو P_0 است و فشاری که سیال در کف استوانه ی فرضی ایجاد می کند P است. سیالی که در پایین این استوانه قرار دارد، نیروی به سمت بالایی به اندازه PA ، به کف استوانه وارد می کند. نیرویی هم که اتمسفر زمین بر سطح سیال وارد می کند برابر است با P_0A . از آنجا که استوانه در حال تعادل (ساکن) است، برآیند نیروهای وارد بر آن صفر است. یعنی برآیند نیروهای وزن استوانه، نیروی وزن اتمسفر و نیروی واکنش سیالی که در پایین استوانه قرار گرفته:



$$\sum F_y = PA - Mg - P_0A = 0 \quad \Rightarrow \quad PA - Mg - P_0A = 0$$

$$PA = Mg + P_0A$$

$$P = \rho hg + P_0$$

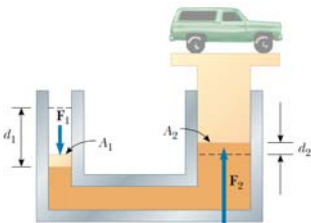
هر سه نیرو در راستای عمود (محور y) هستند. این رابطه نشان می‌دهد فشار در نقطه‌ای به عمق h از سطح مایعی که با جو در ارتباط است، به اندازه ρhg بیشتر می‌باشد. نکته دیگری که این رابطه نشان می‌دهد، آن است که فشار درون سیال تنها به ارتفاع از سطح آزاد سیال بستگی دارد و شکل ظرف تأثیری بر فشار درون سیال ندارد. فشار جو معمولاً $P_0 = 1 \text{ atm} = 1.013 \times 10^5 \text{ pa}$ در نظر گرفته می‌شود. بنابر این فشار درون سیال به **عمق** (ارتفاع عمود) از سطح سیال و فشار خارج سیال بستگی دارد.



اصل پاسکال: **تغییر فشار** وارد بر یک سیال محصور بدون هیچ کاهش به تمام نقاط سیال و دیواره‌های ظرف منتقل می‌شود.

یا: هنگامی که فشار در هر قسمت از یک سیال محصور **تغییر** کند، این تغییر فشار بدون هیچ کاهش به تمام قسمت‌های سیال و دیواره‌های ظرف منتقل خواهد شد.

کاربرد مهم اصل پاسکال در پرس هیدرولیک است. نیرویی به اندازه F_1 به سطح پیستون کوچک A_1 وارد می‌شود. تغییر فشار $\frac{F_1}{A_1}$ از طریق سیال به سطح پیستون بزرگ‌تر منتقل می‌شود. طبق اصل پاسکال تغییر فشار $\frac{F_1}{A_1}$ به طور یکسان به تمام قسمت‌های سیال و دیواره‌ها از جمله سطح پیستون بزرگ‌تر منتقل می‌شود. بنابراین



$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

از آنجا که سطح A_2 بزرگتر است بنابر این نیروی F_2 هم با ضریب $\frac{A_2}{A_1}$ بزرگ‌تر می‌باشد. یعنی یک

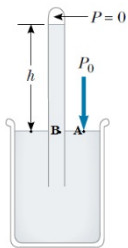
نیروی اندک با استفاده از اصل پاسکال می‌تواند به نیروی بزرگی تبدیل شود. از آنجا که از این محفظه سیال خارج یا داخل نمی‌شود، حجمی که در پیستون کوچک به اندازه d_1 پایین رفته است با حجم بالا رفته به اندازه d_2 در پیستون بزرگ‌تر برابر است (یعنی: $d_1 A_1 = d_2 A_2$). ترمز هیدرولیک، بالابر ماشین، جک‌های هیدرولیکی و جرثقیل‌ها با استفاده از این اصل ساخته می‌شوند.

فشار هوا:

هوای اطراف زمین هم، بر روی سطح زمین فشاری ایجاد می‌کند. فشار هوا در سطح دریا را معمولاً با P_0 نشان می‌دهند و مقدار آن در سطح دریا برابر است با $P_0 = 1 \text{ atm} = 1.013 \times 10^5 \text{ pa}$. فشار هوا با افزایش ارتفاع از سطح زمین کاهش می‌یابد اما از آنجا که چگالی هوا بسیار کم است کاهش فشار نیز اندک می‌باشد.

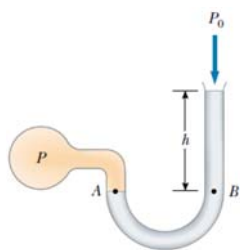
اندازه‌گیری فشار:

یک وسیله ساده برای اندازه گیری فشار برامتر است که توریسلی توریچلی آن را اختراع نموده است. برامتر از یک لوله بلند (حدود ۱ متر) که کاملاً پر از جیوه است و در یک ظرف پر از جیوه وارونه شده، تشکیل شده است. ظرف جیوه با فضای اتمسفر در ارتباط است. بنابراین فشار روی سطح جیوه فشار اتمسفر P_0 می باشد. بالای جیوه داخل لوله تقریباً خلا است بنابراین این فشار روی سطح جیوه در داخل لوله $P = 0$. پس فشار در نقطه B برابر است با $P_B = \rho gh$. که چگالی جیوه و h ارتفاع ستون جیوه در داخل لوله است. از طرفی در یک سیال ساکن نقاط هم عمق هم فشارند. بنابراین $P_A = P_B = \rho gh = P_0$.



فشار یک اتمسفر فشاری است که در دمای 0°C و در محلی که شتاب گرانش $g = 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ است، یک ستون جیوه به ارتفاع ۷۶cm درون لوله بارومتر ایجاد می کند.

یک وسیله ساده دیگر برای اندازه گیری فشار، فشارسنجی به صورت یک لوله ی یو شکل می باشد. یک شاخه لوله به محفظه ای که می خواهیم فشارش را تعیین کنیم وصل است. درون لوله مایعی با چگالی معلوم ρ وجود دارد و سر دیگر لوله با فضای آزاد (جو) در ارتباط است. با توجه به اینکه نقاط هم ارتفاع در یک سیال هم فشارند،



$$P_A = P_B$$

فشار در نقطه A همان فشار گاز P مورد نظر است:

$$P = \rho gh + P_0$$

P فشار گاز محفظه بر حسب پاسکال Pa، ρ چگالی سیال درون لوله بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ، g شتاب گرانش، h ارتفاع سیال در لوله ی فشارسنج و P_0 فشار اتمسفر است. ρgh اختلاف فشار میان گاز درون محفظه و فشار اتمسفر است که فشار پیمانه ای گفته می شود. آنچه اغلب فشارسنج ها در اندازه گیری فشار یک محیط نشان می دهند، فشار پیمانه ای است. مثلاً فشاری که فشارسنج برای تایر ماشین نشان می دهد، همین فشار پیمانه است.

دما و گرما

اجسام از مولکول ها، یون ها، اتم ها، الکترون و... تشکیل شده اند. ذرات تشکیل دهنده هر ماده ای حرکت و جنب و جوش دارند که این جنب و جوش بخشی از انرژی درونی ماده را تشکیل می دهد. ما حرکت و جنبش و نوسان ذرات تشکیل دهنده اجسام را نمی بینیم اما اثراتشان را مشاهده می کنیم. مثلاً سردی و گرمی اجسام یکی از اثرات جنبش مولکول ها است که ما معمولاً تحت عنوان دمای جسم از آن صحبت می کنیم. به عبارتی دمای یک جسم متناسب است با متوسط انرژی جنبشی ذرات جسم. هنگامی که دمای جسمی تغییر کند، متوسط انرژی جنبشی ذرات تشکیل دهنده جسم تغییر کرده است. در عین حال می توان گفت انرژی درونی جسم هم تغییر نموده. می توانیم دما را با نماد T نشان دهیم.

دما و قانون صفرم ترمودینامیک:

همه به خوبی می دانیم هنگامی که دو جسم که ابتدا دماهای مختلفی دارند را در تماس با یکدیگر قرار دهیم، بعد از گذشت مدتی به یک دمای مشترک می رسند. برای مثال هنگامی که یک اسکوپ بستنی را در داخل یک ظرف در اتاق قرار دهیم، بستنی آب شده و دمای ظرف کاهش می یابد.

برای فهمیدن مفهوم دما خوب است دو عبارتی که اغلب استفاده می‌شوند را معنی کنیم: تماس گرمایی و تعادل گرمایی.

تماس گرمایی: دو جسم را در نظر بگیرید که در یک محفظه عایق قرار دارند و از بقیه محیط جدا شده‌اند و فقط با یکدیگر می‌توانند برهمکنش داشته باشند. اگر این دو جسم در دماهای متفاوتی باشند، حتی اگر با یکدیگر در تماس فیزیکی نباشند، انرژی میان آنها مبادله می‌شود. بنابر این **گرما انرژی است که به علت اختلاف دما میان دو جسم مبادله می‌شود**. در اینجا فرض می‌شود دو جسم در **تماس گرمایی** با یکدیگرند اگر انرژی بتواند میان آنها مبادله شود. از واژه گرما برای بیان مقدار انرژی که از این طریق به جسم منتقل شده است، هم استفاده می‌شود.

تعادل گرمایی: انرژی دائما میان دو جسمی که با یکدیگر در تماس گرمایی هستند مبادله می‌شود. اگر تبادل انرژی خالص میان دو جسم صفر شود، دو جسم به **تعادل گرمایی** رسیده‌اند.

قانون صفرم ترمودینامیک: اگر دو جسم A و B به طور جداگانه در تعادل گرمایی با جسم C باشند، در این صورت جسم‌های A و B در تعادل گرمایی با یکدیگر هستند.

این قانون به ما امکان تعریف دما به عنوان معیاری برای تعیین تعادل گرمایی یک جسم با اجسام دیگر را می‌دهد. زیرا **دو جسمی که با یکدیگر تعادل گرمایی دارند، هم دما هستند و برعکس**. اگر دمای دو جسم یکسان نباشد، با یکدیگر تعادل گرمایی ندارند.

دماسنج: دماسنج وسیله‌ای است که برای تعیین و اندازه‌گیری دما استفاده می‌شود. همه‌ی گرماسنج‌ها بر پایه این اصل ساخته می‌شوند که با تغییر دمای یک سیستم، برخی از خصوصیات فیزیکی آن سیستم تغییر می‌کند. برخی از خصوصیات فیزیکی که با دما تغییر می‌کنند، عبارت‌اند از: (۱) حجم مایعات (۲) طول جامدات (۳) فشار یک گاز در حجم ثابت (۴) حجم گاز در فشار ثابت (۵) مقاومت الکتریکی رسانا (۶) رنگ جسم. با استفاده از هر یک از این خصوصیات فیزیکی می‌توان برای یک ماده معین و بازه دمایی مشخص، یک مقیاس دما ساخت.

به عنوان مثال می‌توان از مایعی (معمولا الکل یا جیوه) که در اثر حرارت در یک لوله شیشه‌ای باریک منبسط می‌شود دماسنج ساخت. تغییر حجم مایع خصوصیت فیزیکی است که این دماسنج‌ها بر پایه آن کار می‌کنند. هر تغییر دمایی را می‌توان با تغییر ارتفاع ستون مایع تعیین نمود. می‌توان با قرار دادن دماسنج در تماس گرمایی با یک سیستم طبیعی که در دمای ثابت است، دماسنج را کالیبره کرد. یک نمونه از چنین سیستمی، مخلوط آب و یخ است که در فشار اتمسفر به تعادل گرمایی رسیده‌اند. در مقیاس دمای سلسیوس دمای مخلوط متعادل آب و یخ، صفر درجه سلسیوس 0°C تعریف می‌شود. به این دما نقطه انجماد آب گفته می‌شود. سیستم دیگری که معمولا استفاده می‌شود، مخلوط در تعادل گرمایی آب جوش و بخار آب در فشار اتمسفر است. دمای این مخلوط صد درجه سلسیوس 100°C تعریف می‌شود. وقتی سطح مایع داخل دماسنج در این دو حالت مشخص شود، فاصله میان این دو نقطه به صد قسمت مساوی تقسیم شده و هر قسمت یک درجه سلسیوس نامیده می‌شود. به این مقیاس، مقیاس دمای سلسیوس گفته می‌شود. از آنجا که فاصله بین دو نقطه انجماد و جوش آب به صد قسمت درجه بندی شد، به این مقیاس، مقیاس سانتیگراد (یعنی یک صدم درجه) هم گفته می‌شود. می‌توانیم دما بر حسب سانتیگراد را با T_C نشان دهیم.

یک معیار دیگر برای دما که مقیاس مطلق می‌باشد، مقیاس کلونین است. این مقیاس بر اساس تغییر فشار گاز با دما در حجم ثابت به دست آمده است. مقیاس کلونین در سیستم اندازه‌گیری‌های بین المللی استفاده می‌شود. در این مقیاس نقطه انجماد آب 273.15K و

نقطه جوش آب $373/15K$ است. صفر کلون دمای است که عملاً دستیابی به دمای کمتر از آن ممکن نیست. دمای صفر مطلق بر حسب سانتیگراد $T_C = -273/15^\circ C$ است. رابطه‌ی زیر رابطه‌ی تبدیل سانتیگراد به کلون است. T_C دمای جسم بر حسب سانتیگراد و T دمای جسم بر حسب کلون می‌باشد.

$$T = T_C + 273/15$$

اختلاف دما بر حسب کلون با اختلاف دما بر حسب سانتیگراد برابر است. $\Delta T = \Delta T_C$

کلون یکایی است که در کارهای علمی استفاده می‌شود اما در کارهای روزمره و عادی معمولاً از یکاهای سانتیگراد و فارنهایت استفاده می‌گردد. فارنهایت مقیاسی است که بیشتر در ایالات متحده آمریکا مورد استفاده قرار می‌گیرد.

اگر دما بر حسب فارنهایت را با T_F و دما بر حسب سانتیگراد را با T_C نشان دهیم، رابطه میان سانتیگراد و فارنهایت:

$$T_F = \frac{9}{5} T_C + 32$$

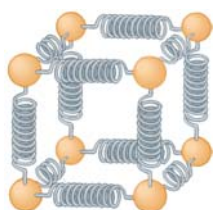
اگر اختلاف دو دما بر حسب سانتیگراد $\Delta T_C = T_{C1} - T_{C2}$ باشد، می‌توانیم با استفاده از رابطه فوق رابطه‌ای برای تبدیل اختلاف دما از سانتیگراد به فارنهایت پیدا کنیم:

$$\Delta T_F = \frac{9}{5} \Delta T_C$$

انبساط گرمایی جامدات و مایعات:

دماسنج مایع بر پایه‌ی یکی از شناخته شده ترین خصوصیت مواد ساخته شده است: هرگاه دمای جسمی افزایش یابد حجمش هم تقریباً همیشه افزایش خواهد یافت. (در برخی مواد با افزایش دما، حجم کاهش می‌یابد.) به این پدیده انبساط گرمایی گفته می‌شود.

تغییر فاصله متوسط اتم‌های تشکیل دهنده‌ی یک جسم باعث انبساط گرمایی جسم می‌شود. برای فهم بهتر این مطلب فرض کنید اتم‌ها به وسیله فنرهای سفتی به هم متصل‌اند. در دمای عادی اتم‌های جامد حول نقطه تعادل خود نوسان می‌کنند. یک اتم به طور



متوسط در حدود $10^{-11} m$ از نقطه تعادل خود دور شده و دوباره به سمت نقطه تعادلش بازمی‌گردد. به حداکثر

فاصله از وضعیت تعادل در حرکت نوسانی، دامنه نوسان گفته می‌شود. در جسم جامد اتم به طور متوسط در هر

ثانیه 10^{13} بار حول نقطه تعادل خود نوسان می‌کند و فاصله‌ی اتم‌ها از یکدیگر در حدود $10^{-10} m$ است.

هنگامی که دما افزایش یابد، دامنه‌ی نوسان اتم‌ها بیشتر می‌شود. در نتیجه فاصله‌ی متوسط اتم‌ها بیشتر شده و جسم منبسط می‌شود.

اگر انبساط گرمایی در مقایسه با اندازه‌های اولیه‌ی جسم به اندازه کافی کوچک باشد، تغییر طول‌های جسم با تغییر دما متناسب است.

فرض کنید طول اولیه جسمی در یکی از سه راستای x, y یا z ، (طول، عرض، ارتفاع) L_1 باشد و در اثر تغییر دمای ΔT ، طولش به

اندازه ΔL تغییر کند. ضریب انبساط خطی که با α نشان داده می‌شود، به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_1 \Delta T}$$

یکای اندازه گیری طول و تغییر طول در SI، متر m و یکای اندازه گیری تغییرات دما در SI کلون K است. بنابر این یکای

اندازه گیری ضریب انبساط خطی یک بر کلون $\frac{1}{K}$ یا یک بر درجه ی سلسیوس $\frac{1}{^{\circ}C}$ می باشد. آزمایش ها نشان می دهند α برای تغییرات کم دما ثابت است. معمولاً در مسائل معادله بالا به صورت زیر مورد استفاده قرار می گیرد:

$$\Delta L = \alpha L_1 \Delta T$$

یا

$$L_2 - L_1 = \alpha L_1 (T_2 - T_1)$$

که L_2 طول نهایی جسم بر حسب متر m، T_1 دمای اولیه و T_2 دمای نهایی جسم بر حسب کلون K یا درجه سانتیگراد $^{\circ}C$ و α ضریب انبساط خطی بر حسب یک بر کلون $\frac{1}{K}$ یا یک بر درجه ی سلسیوس $\frac{1}{^{\circ}C}$ می باشد.

مقدار α برای بیشتر مواد مثبت است که نشان می دهد با افزایش دما طول ماده افزایش می یابد. البته استثناهایی وجود دارند. برخی مواد نظیر کلسیت ($CaCO_3$) هنگامی که دمایشان افزایش یابد، در راستای یک طول منبسط (α مثبت) شده و در راستای طول دیگر منقبض (α منفی) می شوند.

از آنجا که طول های یک جسم با دما تغییر می کند، بنابر این مساحت و حجم جسم نیز با دما تغییر خواهد کرد. تغییر حجم ΔV یک جسم در فشار ثابت با حجم اولیه جسم V_1 و تغییر دمای جسم ΔT متناسب است:

$$\Delta V = \beta V_1 \Delta T$$

که β ضریب انبساط حجمی است و در SI بر حسب یک بر کلون $\frac{1}{K}$ اندازه گیری می شود. حجم و تغییر حجم بر حسب متر مکعب m^3 و دما بر حسب کلون K تعیین می شوند. برای جامدات، ضریب انبساط حجمی تقریباً سه برابر ضریب انبساط خطی است: $\beta = 3\alpha$. فرض می شود ضریب انبساط خطی جامدات در همه راستاها یکسان است.

تغییر مساحت یک صفحه مستطیلی برابر است با: $\Delta A = 2\alpha A_1 \Delta T$ که A مساحت بر حسب متر مربع است.

هر ماده ای ضریب انبساط مخصوص به خود را دارد که تعیین کننده جنس آن ماده است. مثلاً دو میله برنجی و فولادی که در ابتدا در یک دما هستند و طول های یکسانی دارند، دمایشان را به یک اندازه تغییر می دهیم اما از آنجا که ضریب انبساط برنج بیشتر از فولاد است، میله برنجی بیشتر منبسط می شود.

رفتار غیرعادی آب:

ضریب انبساط حجمی مایعات تقریباً ۱۰ برابر ضریب انبساط حجمی جامدات است. حجم مایعات با افزایش دما افزایش می یابد. البته آب از این قاعده تا اندازه ای مستثنی است. هنگامی که دما از $0^{\circ}C$ به $4^{\circ}C$ افزایش می یابد، آب منقبض شده و در نتیجه چگالی اش افزایش می یابد. در دمای بیشتر از $4^{\circ}C$ ، با افزایش دما آب نیز منبسط شده و چگالی اش کاهش می یابد. به عبارتی در دمای $4^{\circ}C$ چگالی آب به مقدار ماکزیم $1000 \frac{kg}{m^3}$ می رسد.

انرژی درونی و گرما:

انرژی درونی، انرژی کل ذرات تشکیل دهنده (اتم‌ها و مولکول‌ها) یک جسم است. به عبارتی انرژی درونی مجموع انرژی جنبشی کل مولکول‌ها و انرژی پتانسیل هر مولکول و انرژی پتانسیل آنها نسبت به یکدیگر است.

گرما انرژی است که به خاطر **اختلاف دمای** جسم با محیط اطرافش از طریق سطح جسم **منتقل** می‌شود. هنگامی که یک جسم را گرم می‌کنید آن را در تماس با محیطی که دمای بالاتر دارد قرار می‌دهید و از این طریق به آن انرژی منتقل می‌کنید.

یکاهای اندازه‌گیری گرما:

یک یکای قدیمی برای اندازه‌گیری گرما کالری cal است. یک کالری مقدار انرژی است که لازم است به یک گرم آب منتقل شود تا دمای آن از 14°C به 15°C برسد. Calorie که با C بزرگ نوشته می‌شود و برای تعیین مقدار انرژی مواد غذایی به کار می‌رود، در حقیقت کیلوکالری است.

یکای انرژی در SI ژول J است. برای تعیین انرژی درونی، گرما و کار از این یکا استفاده می‌شود. البته باید توجه داشته باشید که گرما و کار روش‌های انتقال انرژی هستند و نباید آنها را با خود انرژی اشتباه گرفت.

رابطه میان ژول و کالری: $1 \text{ cal} = 4/186 \text{ J}$ است.

ظرفیت گرمایی و گرمای ویژه:

مقدار انرژی که لازم است به ماده‌ای منتقل شود تا دمای آن 1°C افزایش یابد، ظرفیت گرمایی C گفته می‌شود. اگر گرمای Q باعث تغییر دمای یک ماده به اندازه ΔT شود:

$$Q = C\Delta T$$

که Q گرما بر حسب ژول J، ΔT تغییر دما بر حسب کلون K یا درجه سانتیگراد $^{\circ}\text{C}$ و C ظرفیت گرمایی بر حسب ژول بر کلون $\frac{\text{J}}{\text{K}}$ یا ژول بر درجه سانتیگراد $\frac{\text{J}}{^{\circ}\text{C}}$ است.

ظرفیت گرمایی یک ماده در واحد جرم گرمای ویژه گفته می‌شود. اگر گرمای منتقل شده Q به ماده‌ای به جرم m باعث تغییر دمای آن به اندازه ΔT شود:

$$Q = mc\Delta T$$

گرمای ویژه تعیین می‌کند یک کیلوگرم از یک ماده چقدر انرژی باید دریافت کند تا دمای آن 1°C تغییر کند. گرمای ویژه هر ماده ویژگی مشخصه آن ماده است و توانایی ماده در جذب انرژی از طریق گرما را نشان می‌دهد.

هنگامی که دمای جسم کاهش یابد، تغییر دما ΔT و گرما Q منفی هستند: یعنی انرژی به صورت گرما از سیستم خارج شده است.

بقای انرژی: کالریمتری (گرماسنجی):

وقتی دو جسم با دماهای مختلف در تماس گرمایی با یکدیگرند، جسم گرم‌تر مقداری انرژی از دست داده و جسم سردتر مقداری انرژی به دست می‌آورد. در صورتی که این دو جسم **فقط** با یکدیگر در تبادل انرژی از طریق گرما باشند، مقدار انرژی که جسم گرم (hot) از دست داده برابر است با انرژی که جسم سرد (cold) به دست آورده است.

یک روش برای تعیین گرمای ویژه اجسام، آن است که جسم مورد نظر را تا دمای معلوم T_x گرم کرده و سپس آن را در آب با جرم معلوم m و دمای معلوم T_w قرار دهیم. دمای آب کمتر از دمای جسم است. دمای آب بعد از رسیدن به تعادل اندازه گیری می شود. از آنجا که در این فرآیند، کار مکانیکی انجام شده روی سیستم بسیار ناچیز است، قانون بقای انرژی ایجاب می کند مقدار انرژی که از جسم (با ظرفیت گرمایی نامعلوم) بیرون رفته با انرژی که وارد آب شده برابر باشد:

$$Q_{\text{cold}} = -Q_{\text{hot}}$$

علامت Q_{hot} منفی است زیرا جسم انرژی از دست می دهد. علامت Q_{cold} مثبت است زیرا جسم سرد (آب) انرژی به دست می آورد. به این روش کالریتری (گرماسنجی) گفته می شود و به وسایلی که تبادل انرژی در آنها انجام شده، کالریتر (گرماسنج) گفته می شود. فرض کنید m_x جرم جسمی است که می خواهیم گرمای ویژه اش c_x را به دست آوریم و دمایش T_x باشد. جرم آب را با m_w ، ظرفیت ویژه اش را با c_w و دمایش را با T_w نشان می دهیم. اگر دمای تعادل مجموعه T_f باشد، گرمای منتقل شده به آب $m_w c_w (T_f - T_w)$ است که با توجه به اینکه $T_w < T_f$ است این مقدار گرما مثبت است. یعنی آب انرژی گرمایی دریافت کرده است. انرژی منتقل شده از جسم برابر است با $m_x c_x (T_f - T_x)$ که مقدارش منفی می باشد. اگر این عبارات در معادله بقای انرژی جایگذاری کنیم:

$$m_w c_w (T_f - T_w) = -m_x c_x (T_f - T_x)$$

برای اندازه گیری دقیق باید ظرف حاوی آب را هم در محاسبات وارد کنیم زیرا آن هم با جسم تبادل انرژی دارد. برای این منظور، لازم است جرم و جنس ظرف (گرمای ویژه اش) معلوم باشد. اگر جرم آب بسیار بیشتر از جرم ظرف باشد، می توان انرژی رسیده به ظرف را نادیده گرفت. اگر گرمای منتقل شده به ظرف Q_c نشان دهیم، معادله قانون بقای انرژی به صورت زیر خواهد بود:

$$Q_c + Q_w = -Q_{\text{hot}}$$

در صورتی که جرم ظرف را با m_c و گرمای ویژه اش را با c_c نشان دهیم و دمای اولیه ظرف با دمای آب برابر باشد و دمای نهایی اش T_f باشد، انرژی منتقل شده به ظرف برابر است با $Q_c = m_c c_c (T_f - T_w)$.

انتقال حرارت

میزان انرژی منتقل شده میان یک سیستم و محیط اطرافش و چگونگی انتقال انرژی مهم است. در اینجا سه روش متداول انتقال انرژی که می توانند باعث تغییر انرژی درونی سیستم شوند را مطالعه می کنیم:

هدایت گرمایی (رسانش):

در این روش گرما در اثر برخورد ذرات تشکیل دهنده جسم (مولکول ها، اتم ها و الکترون ها) به یکدیگر منتقل می شود. ذراتی که انرژی جنبشی بیشتری دارند به ذرات با انرژی جنبشی کمتر برخورد کرده و مقداری انرژی از طریق برخورد به ذره کم انرژی منتقل می شود. انرژی جنبشی ذره افزایش یافته و دامنه ی نوسانش بیشتر شده و با ذرات مجاورش برخورد کرده و از این طریق به آنها نیز انرژی منتقل می کند.

میزان رسانش گرمایی یک جسم به خصوصیات جسم بستگی دارد. مثلاً فلزات رسانای گرمایی خوبی هستند اما اجسامی مانند پنبه، کاغذ و چوب و گازها رساناهای گرمایی ضعیفی می باشند. زیرا فلزات تعداد زیادی الکترون آزاد دارند که به راحتی در میان اتم ها

حرکت کرده و می‌توانند انرژی را منتقل کنند. بنابر این در یک فلز انرژی هم از طریق نوسان اتم‌های جسم و هم از طریق حرکت الکترون‌های آزاد منتقل می‌شود.

انتقال گرما از طریق رسانش تنها زمانی انجام می‌شود که میان دو بخش یک ماده اختلاف دما وجود داشته باشد. یک قطعه از یک ماده به ضخامت Δx و مساحت سطح مقطع A را در نظر بگیرید. اگر دمای یک وجه این قطعه T_1 و دمای وجه مقابلش T_2 باشد، انرژی منتقل شده Q در مدت زمان Δt از بخش با دمای بیشتر به وجه با دمای کمتر برابر است با:

$$Q = \frac{kA\Delta t|T_2 - T_1|}{\Delta x} = \frac{kA\Delta t\Delta T}{\Delta x}$$

K ضریب هدایت گرمایی است که یکای آن $\frac{W}{^\circ C.m}$ است و $\Delta T = |T_2 - T_1|$ اختلاف دماست. در این معادله T دما بر حسب درجه سانتیگراد $^\circ C$ ، A مساحت سطح مقطع جسم بر حسب متر مربع m^2 ، Δt مدت زمان انتقال انرژی بر حسب ثانیه s ، Δx ضخامت جسم بر حسب متر m است.

به انرژی منتقل شده در واحد زمان، میزان انتقال انرژی گفته می‌شود و به مساحت سطح مقطع جسم و میزان اختلاف دمای دو وجه بستگی دارد. میزان انتقال انرژی با P نشان داده می‌شود و یکای آن در SI وات W است:

$$p = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{kA|T_2 - T_1|}{\Delta x} = \frac{kA\Delta T}{\Delta x}$$

اجسامی که عایق گرمایی هستند، در مقایسه با رساناهای گرمایی ضریب هدایت بسیار کوچکتري دارند.

کنوکسیون (همرفت):

به انتقال انرژی از طریق حرکت ماده‌ی گرم شده کنوکسیون (همرفت) گفته می‌شود.

تابش:

روش سومی که توسط آن انرژی گرمایی منتقل می‌شود، تابش امواج الکترومغناطیس است. (نور مرئی یکی از امواج الکترومغناطیس می‌باشد). تمام اجسام به علت نوسان گرمایی مولکول‌هایشان انرژی را تابش می‌کنند. وقتی جلوی یک آتش می‌ایستید، با جذب تابش گرمایی آتش گرم می‌شوید. انرژی گرمایی آتش کاهش یافته و انرژی گرمایی شما افزایش می‌یابد. برای انتقال تابش (امواج الکترومغناطیس) به هیچ ماده و محیط واسطی نیاز نیست. انرژی به همین صورت از خورشید به زمین می‌رسد. میزان انرژی که یک جسم تابش می‌کند، به توان چهارم دمای مطلق جسم بستگی دارد. منظور از دمای مطلق، دما بر حسب کلون است.

به جسمی که تقریباً تمام انرژی تابیده شده به خود را جذب کند، جسم سیاه می‌گویند. این اجسام علاوه بر اینکه به خوبی انرژی تابشی را جذب می‌کنند، تابشگرهای خوبی نیز هستند.

گرمای نهان (گرمای تغییر حالت):

وقتی به جسمی انرژی به صورت گرما داده شود، لزوماً دمای جسم تغییر نمی‌کند بلکه ممکن است جسم از یک حالت یا فاز به فاز دیگر برود. مواد در سه فاز (جامد، مایع و گاز) وجود دارند. ذوب فرآیندی است که در آن یک ماده جامد انرژی جذب کرده و از

فاز جامد به فاز مایع می‌رود. در طی این فرآیند، مولکول‌ها و ذرات جامد با جذب انرژی، دامنه‌ی نوسان‌شان بیشتر شده و در نهایت موفق می‌شوند تا از قید وابستگی به مولکول‌ها و ذرات مجاور (شبکه جامد) آزاد شوند. مانند ذوب شدن یخ و تبدیل آن به آب. انجماد عکس عمل ذوب است. در این فرآیند با گرفتن انرژی از مایع، مولکول‌های مایع در محل‌های نسبتاً ثابتی شروع به نوسان کرده و به جسم جامد تبدیل می‌شوند. مانند انجماد آب و تبدیل آن به یخ جامد.

تبخیر فرایندی است که در طی آن با دادن انرژی به مایع آن را به فاز گاز می‌برند. میعان عکس عمل تبخیر است. در طی میعان مولکول‌های گاز انرژی از دست می‌دهند و وارد فاز مایع می‌شوند.

در حین تغییر فاز دمای جسم تغییر نمی‌کند. مقدار انرژی که یک ماده برای تغییر فاز نیاز دارد (جذب کند یا از دست بدهد) به نوع جسم و جرم جسم بستگی دارد. مقدار انرژی گرمایی در واحد جرم، که یک جسم لازم دارد تا بدون تغییر دما، تغییر فاز دهد گرمای نهان گفته می‌شود و معمولاً با L نشان داده می‌شود:

$$L = \frac{Q}{m}$$

اگر تغییر فاز جسم از جامد به مایع باشد، به این کمیت گرمای نهان ذوب گفته شده و با L_f نشان داده می‌شود. گرمای نهان تغییر فاز از مایع به جامد گرمای نهان/استحکام (solidification) گفته می‌شود. مقدار گرمای نهان استحکام با مقدار گرمای نهان ذوب برابر است. اگر تغییر فاز از مایع به گاز باشد، به این کمیت گرمای نهان تبخیر گفته شده و با L_v نشان داده می‌شود. گرمای نهان تغییر فاز از گاز به مایع گرمای نهان چگالش (condensation) گفته می‌شود. مقدار گرمای نهان چگالش با مقدار گرمای نهان تبخیر برابر است.

مقدار انرژی که به صورت گرما لازم است به جسمی به جرم m داده شود تا بدون تغییر دما حالتش تغییر کند برابر است با

$$Q = mL$$

که Q انرژی گرمایی بر حسب ژول J ، m جرم جسم بر حسب کیلوگرم kg و L گرمان نهان ذوب یا تبخیر بر حسب ژول بر کیلوگرم

$$\frac{J}{kg} \text{ است.}$$