بسم الله الرحمن الرحیم

فیزیک حرارت

دانشگاه آزاد اسلامی

واحد خفر

تابستان ۱۳۹۴

دما و دماسنجی

دما:

معیاری است که میزان سردی و گرمی اجسام را مشخص می‌کند. دما یکی از ۷ کمیت اصلی در دستگاه بین‌المللی یکاهای SI است. واحد اندازه‌گیری دما در این سیستم سلسیوس است.

دماسنجی:

راه و روش اندازه‌گیری و تعیین دما را دماسنجی می‌گوییم.

با افزایش دما تغییراتی در اجسام مختلف رخ می‌دهد. همراه با افزایش دما به حجم مایع افزوده می‌شود، طول میله‌ی فلزی اندکی بلندتر می‌شود، مقاومت الکتریکی سیم افزایش می‌یابد و ...

نقطه‌ی سه‌گانه آب:

آب مایع، یخ جامد و بخار آب (آب گازی به وجود آمده در اثر تبخیر سطحی) فقط به ازای یک مجموعه از مقادیر فشار (۶۱۲ پاسکال) و دما می‌توانند همزمان در کنار هم تعادل گرمایی داشته باشند.

دماسنج:

وسیله‌ای که با آن دما اندازه‌گیری می‌شود. اساس کار دماسنج بر انبساط مایعات است.

دماسنج جیوه‌ای و الکلی:

ساده‌ترین و رایج‌ترین نوع دماسنج‌ها هستند. از این نوع دماسنج‌ها برای اندازه‌گیری دماهای بالای نقطه‌ی ذوب و زیر نقطه‌ی جوش استفاده می‌شود. این دماسنج‌ها از یک لوله‌ی شیشه‌ای نازک سربسته‌ی (خالی از هوا) متصل به یک مخزن تشکیل شده است. مخزن پر از جیوه یا الکل می‌باشد.

مدرج نمودن دماسنج‌ها:

۱- دماسنج را درون مقداری یخ خرد شده‌ی در حال ذوب قرار می‌دهیم به گونه‌ای که مخزن دماسنج کاملا درون یخ قرار گیرد. پس از آنکه سطح جیوه در لوله‌ی باریک در پایین‌ترین ارتفاع ثابت شد، محل آن را علامت می‌زنیم و عدد صفر کنار آن ثبت می‌کنیم.

۲- دماسنج را بالای سطح آب خالص در حال جوش به گونه‌ای قرار می‌دهیم که قسمت مخزن دماسنج در تماس کامل با بخار آب قرار گیرد. این بار نیز محل قرار گرفتن سطح جیوه را علامت می‌زنیم و عدد ۱۰۰ را کنار آن علامت می‌زنیم.

۳- فاصله‌ی بین درجه‌ی صفر و درجه‌ی ۱۰۰ را به صد قسمت تقسیم می‌کنیم و هر قسمت را یک درجه‌ی سلسیوس ($^{\circ}C$) می‌نامیم.

دماسنج گازی:

دماسنج استانداردی است که تمام دماسنج‌های دیگر با آن واسنجیده (مدرج) می‌شوند. بر اساس فشار گاز که حجم ثابتی دارد کار می‌کند. این دماسنج از یک حباب پر از گاز که با لوله‌ای به یک فشارسنج جیوه‌ای متصل شده است تشکیل

می‌شود. با بالا و پایین بردن مخزن جیوه می‌توانیم ارتفاع جیوه را در شاخه‌ی سمت چپ لوله‌ی U شکل تغییر دهیم و سطح آن را همیشه در مقابل صفر خط‌کش مقیاس نگه داریم تا حجم گاز ثابت بماند. دمای نقطه‌ی سه گانه‌ی آب دقیقا برابر ۲۷۳/۱۵ کلوین است.

دستور اندازه‌گیری دما با استفاده از دماسنج گازی (برای زمانی که مقدار گاز درون حباب به یک گاز کامل نزدیک باشد)، از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$T = (۲۷۳/۱۵\, k)(\lim_{\text{گاز}\to ۰} \frac{P}{P_۳})$$

$P_۳$ فشار گاز در نقطه‌ی سه گانه‌ی آب است. P فشار گاز در دمای T است که با توجه به دماسنج گازی از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$P = P_۰ + \rho g h$$

$P_۰$ فشار جو، ρ چگالی جیوه موجود در فشارسنج و h اختلاف ارتفاع اندازه‌گیری شده‌ی بین ترازهای جیوه در دو شاخه‌ی لوله‌ی شکل است.

مقیاس کلوین:

در این مقیاس نقطه‌ی سه گانه‌ی آب (یخ، آب، بخار آب) برابر ۲۷۳/۱۵ کلوین و نقطه‌ی جوش آب۳۷۳/۱۵ کلوین است که بین این دو نقطه به ۱۰۰ قسمت مساوی تقسیم شده است و هر قسمت یک کلوین می‌باشد. دمای معمولی اتاق در حدود ۲۹۰ کلوین است. یعنی این دما به اندازه‌ی ۲۹۰ کلوین از **صفر مطلق**[۱] بالاتر است.

مقیاس سلسیوس:

در این مقیاس نقطه‌ی سه گانه‌ی آب (یخ، آب، بخار آب) برابر صفر درجه سلسیوس و نقطه‌ی جوش آب ۱۰۰ درجه‌ی سلسیوس است. فاصله‌ی بین این دو نقطه به صد قسمت مساوی تقسیم شده و هر قسمت یک درجه‌ی سلسیوس است. این مقیاس تقریبا در تمام کشورهای دنیا در فعالیت‌های علمی به کار برده می‌شود.

اندازه‌ی هر درجه‌ی سلسیوس برابر با اندازه‌ی یک کلوین است. اما صفر مقیاس سلسیوس نسبت به صفر مطلق (صفر کلوین) جابه‌جا شده است. اگر T_c نشاندهنده‌ی دمای سلسیوس و T_k معرف دمای کلوین باشد آنگاه

$$T_c = T_k - ۲۷۳/۱۵^{\circ}$$

مقیاس فارنهایت:

در این مقیاس نقطه‌ی سه گانه‌ی آب (یخ، آب، بخار آب) برابر $۳۲^{\circ}F$ ونقطه‌ی جوش آب $۲۱۲^{\circ}F$ است که بین این دو نقطه به ۱۸۰ قسمت مساوی تقسیم شده است و هر قسمت یک درجه‌ی فارنهایت است.

این مقیاس در بعضی از کشورهای دنیا استفاده می‌شود. نسبت به مقیاس سلسیوس دارای درجاتی با اندازه‌ی کوچک‌تر و نقطه‌ی صفر متفاوت است. ارتباط این مقیاس با مقیاس سلسیوس چنین است:

[۱] در صفر مطلق آنتروپی (بی‌نظمی و آشفتگی) و آنتالپی صفر است.

$$T_F = \frac{۹}{۵}T_C + ۳۲^\circ$$

به عنوان مثال $۳۲^\circ F = ۰^\circ C$ یا $۴۱^\circ F = ۵^\circ C$ است.

تمرین ۱:

مقیاس فارنهایت در چه دمایی الف) دو برابر درجه‌ی مقیاس سلسیوس را نشان می‌دهد؟ ب) نصف درجه‌ی مقیاس سلسیوس را نشان می‌دهد؟

الف) $T_F = \frac{۹}{۵}T_C + ۳۲^\circ \xrightarrow{T_F=۲T_C} T_F = \frac{۹}{۵}(\frac{۱}{۲}T_F) + ۳۲^\circ \Rightarrow T_F = ۳۲۰\ K$

ب)

تعبیر مولکولی دما:

انرژی درونی هر جسم مجموع انرژی‌های مولکولی تشکیل دهنده‌ی آن از جمله انرژی جنبشی این ذره‌ها است. افزایش انرژی درونی هر جسم غالبا به صورت افزایش دمای آن جسم ظاهر می‌شود.

گرما:

انرژی است که به دلیل اختلاف دما بین دو جسم مبادله می‌شود.

رسانش:

شارش یا انتقال گرما را رسانش گرمایی می‌گوییم.

مواد رسانای گرما، گرما را بسیار سریع و مواد نارسانای گرما، گرما را به کندی منتقل می‌کنند.

تعادل گرمایی:

دو جسم زمانی با هم در تعادل گرمایی هستند که اگر در تماس کامل با یکدیگر قرار بگیرند دمای آن‌ها تغییر نکند.

قانون صفرم ترمودینامیک:

اگر هریک از اجسام A و B با جسم سوم C تعادل گرمایی داشته باشند، در این صورت جسم‌های A و B نیز با هم در تعادل گرمایی هستند.

B	C	A

انبساط گرمایی:

درب فلزی شیشه‌ی مربا که محکم بسته شده باشد با نگه داشتن در زیر آب گرم می‌توان شُل کرد. درب فلزی ظرف بیشتر از شیشه منبسط و در نتیجه شُل می‌شود. این گونه انبساط گرمایی مواد که در پی افزایش دما حاصل می‌شود، در بسیاری امور رخ می‌دهد و باید پیش‌بینی کرد.

انبساط خطی:

اگر دمای میله‌ای فلزی به طول L به اندازه‌ی ΔT افزایش یابد، آزمایش نشان می‌دهد که طول آن به اندازه‌ی زیر افزایش می‌یابد:

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

α ضریب انبساط خطی نامیده می‌شود.

تمرین ۲:

یک میله‌ی پرچم از جنس آلومینیوم به طول ۳۳ m را در نظر بگیرید. اگر دما به اندازه‌ی $^{\circ}C$ ۱۵ افزایش یابد، چقدر به طول میله اضافه می‌شود؟ (ضریب انبساط خطی آلومینیوم برابر $۲۳ \times ۱۰^{-۶} /°C$ است.)

$$\Delta L = L\alpha\Delta T = (۳۳\ m)(۲۳ \times ۱۰^{-۶} /°C)(۱۵\ °C) =$$

انبساط حجمی:

اگر تمام ابعاد جسمی با افزایش دما منبسط شود حجم آن جسم هم باید منبسط شود. در مورد مایعات انبساط حجمی تنها پارامتر انبساط با معنی است. اگر دمای یک جسم جامد یا مایع به حجم V به اندازه‌ی ΔT افزایش یابد، در این صورت افزایش حجم آن چنین است:

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

β ضریب انبساط حجمی نامیده می‌شود.

ضریب انبساط حجمی جسم جامد به صورت زیر با ضریب انبساط خطی آن ارتباط دارد:

$$\beta = ۳\alpha$$

تمرین ۳:

نفت‌کشی در یک روز داغ، مقدار ۳۷۰۰۰ لیتر گازوئیل را از پالایشگاه آبادان بارگیری می‌کند و آن را در ایلام با دمای هوای ۲۳ k کمتر تخلیه می‌کند. مقدار گازوئیل تخلیه شده چند لیتر است؟ ضریب انبساط حجمی گازوئیل $۹/۵ \times ۱۰^{-۴} /°C$ و ضریب انبساط خطی مخزن فولادی $۱۱ \times ۱۰^{-۶} /°C$ است. (ΔT= -۲۳)

میزان کاهش حجم گازوئیل را چنین به دست می‌آوریم.

$$\Delta V = V\beta\Delta T = (۳۷۰۰۰L)(۹/۵ \times ۱۰^{-۴} /°C)(-۲۳k) = -۸۰۸L$$

پس مقدار گازوئیل تحویل شده برابر است با

$$V_{\text{تحویلی}} = V + \Delta V = ۳۷۰۰۰L - ۸۰۸L = ۳۶۱۹۰L$$

باید توجه داشت که انبساط گرمایی مخزن فولادی هیچ نقشی در این مسئله ندارد.

دما و گرما:

انرژی گرمایی:

نوعی انرژی داخلی است و از انرژی‌های جنبشی و پتانسیل مربوط به حرکت‌های کاتوره‌ای اتم‌ها، مولکول‌ها و سایر اجزای خرد مقیاس جسم تشکیل می‌شود.

سیستم (سامانه) و محیط: فرض کنید یک قوطی نوشابه از یخچال بیرون می‌آوریم و روی میز آشپزخانه می‌گذاریم. پس از مدتی دمای قوطی با دمای محیط برابر می‌شود. قوطی نوشابه را سیستم یا سامانه (با دمای T_S) و قسمت‌های مرتبط با آشپزخانه به عنوان محیط (با دمای T_E) آن سیستم (سامانه) در نظر می‌گیریم. چنین تغییر دمایی از تغییر انرژی گرمایی سامانه ناشی می‌شود.

گرما ($\mathbf{Q}$):

انرژی مبادله شده بین سامانه و محیط سامانه گرما می‌نامند و با نماد Q نشان می‌دهند.

هرگاه انرژی از محیط اطراف سامانه به انرژی گرمایی سامانه انتقال پیدا کند، گرما را مثبت در نظر می‌گیریم و می‌گوییم سامانه گرما جذب کرده است ($T_E > T_S$). هرگاه انرژی از انرژی گرمایی سامانه به محیط آن انتقال پیدا کند گرما را منفی در نظر می‌گیریم و می‌گوییم گرما آزاد شده است یا سامانه گرما را دفع کرده است ($T_S > T_E$).

یکای گرما:

یکای گرما در دستگاه SI همان یکای مورد استفاده برای انرژی، یعنی ژول است. یکاهای مختلف گرما به صورت زیر با هم مرتبط‌اند:

$$۱\ \text{cal} = ۳/۹۶۸ \times ۱۰^{-۳}\ \text{Btu} = ۴/۱۸۶۸\ \text{j}$$

(Btu واحد انگلیسی گرما و کالری (cal) واحد دیگر انرژی است.)

ظرفیت گرمایی ($\mathbf{C}$):

ظرفیت گرمایی C یک جسم همان ثابت تناسب بین گرمای Q جذب شده یا دفع شده توسط جسم و تغییر دمای ΔT پدید آمده در جسم است؛ یعنی

$$Q = C\Delta T = C(T_f - T_i)$$

در این‌جا T_i و T_f دماهای آغازی و پایانی جسم است.

گرمای ویژه (c):

ظرفیت گرمایی c به ازای واحد جرم را گرمای ویژه می‌نامند.

$$Q = mc\Delta T = mc(T_f - T_i)$$

تمرین ۴:

مقدار معینی گرما (Q)، ۱g از ماده‌ی A را به اندازه‌ی ۳ °C و ۱g از ماده‌ی B را به اندازه‌ی ۴ °C گرم می‌کند. گرمای ویژه‌ی کدام ماده بیشتر است؟

گرماهای تبدیل:

وقتی انرژی به صورت گرما در جسم جامد یا مایع جذب می‌شود، دمای جسم الزاما افزایش پیدا نمی‌کند. به جای افزایش دما، ممکن است با تغییر فاز یا تغییر دمای جسم روبرو شویم. ماده را می‌توان در سه حالت معمولی یافت: حالت جامد، حالت مایع، حالت گاز یا بخار

ذوب کردن جسم جامد به این معنی است که آن را از حالت جامد به مایع تبدیل کنیم. این فرایند نیاز به انرژی دارد.

منجمد کردن (یا انجماد) مایع به این معنی است که آن را از حالت مایع به جامد تبدیل کنیم. این فرایند معکوس ذوب کردن است و نیاز به این دارد که انرژی از مایع خارج شود.

بخار کردن (یا تبخیر) مایع به این معنی است که آن را از حالت مایع به حالت بخار (یا گاز) درآوریم. این فرایند هم مانند ذوب کردن نیاز به انرژی دارد.

مایع کردن (یا میعان) بخار به این معنی است که آن را از حالت بخار به مایع تبدیل کنیم. این فرایند معکوس تبخیر کردن است و نیاز به این دارد که انرژی از گاز خارج شود.

گرمای تبدیل (L):

مقدار انرژیی را که به ازای واحد جرم باید به صورت گرما به نمونه داده شود تا به طور کامل تغییر حالت دهد، گرمای تبدیل L می‌نامند. در نتیجه وقتی نمونه‌ای به جرم m تغییر حالت کاملی را از سر می‌گذراند، کل انرژی مبادله شده برابر است با:

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

گرمای تبخیر $\mathbf{L_v}$: وقتی تغییر حالت از مایع به گاز باشد (جذب گرما) یا وقتی تغییر حالت از گاز به مایع باشد (دفع گرما)، گرمای تبدیل را **گرمای تبخیر $\mathbf{L_v}$** می‌گویند.

گرمای ذوب $\mathbf{L_F}$: وقتی تغییر حالت از جامد به مایع باشد (جذب گرما) یا وقتی تغییر حالت از مایع به جامد باشد (دفع گرما)، گرمای تبدیل را **گرمای ذوب $\mathbf{L_F}$** می‌گویند.

تمرین ۵:

چقدر گرما به قطعه یخی به جرم $m = ۷۲۰\mathrm{g}$ و به دمای $-۱۰^{\circ}\mathrm{C}$ باید بدهیم تا آن را به مایعی به دمای ۱۵°C برسانیم؟

ب) اگر فقط ۲۱۰ کیلوژول انرژی (به صورت گرما) به یخ بدهیم، در این صورت حالت نهایی چیست و دمای آب چقدر است؟

پاسخ) الف)این فرایند گرمایش در سه مرحله انجام می‌شود: (۱) در آغاز هرگونه انرژی که به صورت گرما به یخ داده شود فقط می‌تواند دمای یخ را افزایش دهد تا آن‌که به دمای ۰°C برسد. (۲) در این مرحله هر گونه انرژی که به صورت گرما داده می‌شود فقط می‌تواند یخ را به آب مایع تبدیل کند. (۳) انرژی که به صورت گرما به آب مایع برسد فقط می‌تواند دمای آب مایع را افزایش دهد.

گرم شدن یخ: $Q_۱ = \mathrm{m}c_{\text{یخ}}(\mathrm{T_f} - \mathrm{T_i})$

$$Q_۱ = (۰/۷۲۰\ \mathrm{kg})(۲۲۲۰\ \mathrm{J/kg.K})[۰\ ^\circ\mathrm{C} - (-۱۰\ ^\circ\mathrm{C})] = ۱۵۹۸۴\ \mathrm{J} \approx ۱۵/۹۸\ \mathrm{kJ}$$

گرمای ذوب شدن یخ:

$$Q_۲ = \mathrm{L_F}m = (۳۳۳\ \mathrm{kJ/kg})(۰/۷۲۰\ \mathrm{kg}) \approx ۲۳۹/۸\ \mathrm{kJ}$$

گرم شدن مایع:

$$Q_۳ = \mathrm{m}c_{\text{مایع}}(\mathrm{T_f} - \mathrm{T_i})$$

$$Q_۳ = (۰/۷۲۰\ \mathrm{kg})(۴۱۹۰\ \mathrm{J/kg.K})[۱۵\ ^\circ\mathrm{C} - ۰\ ^\circ\mathrm{C}] = ۴۵۲۵۲\ \mathrm{J} \approx ۴۵/۲۵\ \mathrm{kJ}$$

گرمای کل:

$$Q_{\text{کل}} = Q_۱ + Q_۲ + Q_۳ = ۱۵/۹۸\ \mathrm{kJ} + ۲۳۹/۸\ \mathrm{kJ} + ۴۵/۲۵\ \mathrm{kJ} \approx ۳۰۰\ \mathrm{kJ}$$

ب) با توجه به قسمت الف می‌دانیم که ۱۵/۹۸ کیلوژول انرژی نیاز داریم تا دمای یخ به نقطه ذوب افزایش یابد. باقی‌مانده‌ی گرما در حدود ۱۹۴ کیلوژول (۱۵/۹۸-۲۱۰) است. با توجه به نتیجه‌ی مرحله‌ی ۲ می‌بینیم که این مقدار گرما برای ذوب یخ کافی نیست. پس چون فرایند ذوب شدن یخ به پایان نمی‌رسد باید با مخلوطی از یخ و مایع سروکار داشته باشیم. دمای مخلوط باید همان دمای نقطه‌ی ذوب یا ۰°C باشد.

جرم m یخ ذوب شده را می‌توان با توجه به مقدار انرژی دسترس‌پذیر معین کرد:

$$m = \frac{Q_{\text{باقی‌مانده}}}{L_F} = \frac{۱۹۴\ kJ}{۳۳۳\ kJ/kg} = ۰/۵۸۳\ kg \approx ۵۸۰\ \mathrm{g}$$

در نتیجه جرم یخ باقی‌مانده در مخلوط برابر است با ۷۲۰ g − ۵۸۰ g یا۱۴۰ g. پس مخلوطی با ۵۸۰ g آب و ۱۴۰ g یخ در دمای ۰°C خواهیم داشت.

تمرین ۶:

کمینه انرژی لازم، بر حسب ژول، را برای ذوب کامل ۱۳۰ g نقره که در ابتدا در دمای ۱۵ $^\circ\mathrm{C}$ است، محاسبه کنید. (گرمای ویژه نقره: ۲۳۶ J/kg. K ، نقطه ذوب نقره: ۱۲۳۵ K ، گرمای ذوب نقره: ۱۰۵ kJ/kg)

$$\mathrm{T_K} = \mathrm{T_c} + ۲۷۳/۱۵^\circ = ۱۵ + ۲۷۳/۱۵ \approx ۲۸۸\ \mathrm{K}$$

$$\mathrm{Q_۱} = \mathrm{m}c_{\text{نقره}}\Delta\mathrm{T} = (۰/۱۳\ \mathrm{kg})(۲۳۶\ \mathrm{J/kg.K})(۱۲۳۵\ \mathrm{K} - ۲۸۸\ \mathrm{K})$$

$$\mathrm{Q_۲} = \mathrm{mL_F} = (۰/۱۳\ \mathrm{kg})(۱۰۵\ \mathrm{kJ/kg}) =$$

$$Q_{\text{کل}} = Q_۱ + Q_۲ =$$