

فصل چهارم

دما و گرما



درز انبساط پل در عملکرد سازه پل بسیار مهم است. وقتی که درز عملکرد مناسب خود را از دست بدهد، می تواند مشکلاتی بزرگ تر از اندازه خودش به وجود آورد. به نظر شما چرا انتخاب درز انبساط مناسب در سازه اهمیت بسیاری دارد؟ و این درزها چگونه عمل می کنند؟



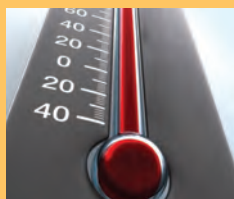
انبساط گرمایی



انتقال گرما



گرما



دما

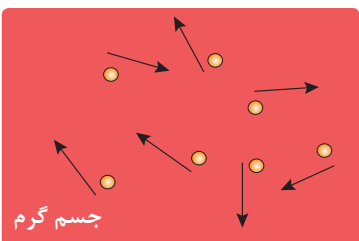
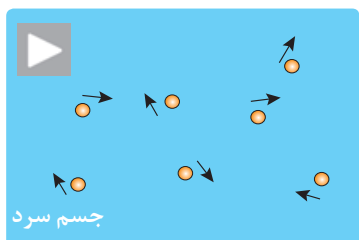


در کتاب **علوم تجربی پایه هفتم** با موضوعاتی نظیر دما، دماسنجی، گرما و روش‌های انتقال گرما آشنا شدید. در این فصل به برخی از این مفاهیم در ابعاد میکروسکوپی و اندازه‌گیری محاسبه مقدار آنها می‌پردازیم. همچنین با پدیده دیگری به نام «انبساط گرمایی» آشنا خواهید شد.

۴-۱ دما



شکل ۱-۴ جرقه‌های فشفشه دارای دمای بالاتر از ۲۰۰۰ درجه سلسیوس هستند.



شکل ۲-۴ نمایش میکروسکوپی دما

فشفشه‌هایی که در جشن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند، دمای بالایی دارند (شکل ۱-۴). گرچه دمای این جرقه‌ها از ۲۰۰۰ درجه سلسیوس تجاوز می‌کند، اما گرمایی که هنگام برخورد به پوست کودک منتقل می‌کنند بسیار کم است. این تجربه نشان می‌دهد که دما و گرما مفاهیمی متفاوت‌اند.

۴-۱-۱ مفهوم دما: اگر بخواهید در مورد مقدار گرمی یا سردی اجسام صحبت کنید، چگونه آن را توصیف می‌کنید؟ احتمالاً از کلماتی مثل داغ، گرم یا سرد استفاده می‌کنید. اما این واژگان نمی‌توانند اطلاع دقیقی از میزان گرمی یا سردی اجسام بدهند. کمیت فیزیکی مناسب برای این منظور، «دما» است. **دما کمیتی مقایسه‌ای است که میزان گرمی یا سردی اجسام را نشان می‌دهد.** همان‌طور که در فصل ۳ آموختید همه مواد (جامد، مایع، گاز) از اتم‌ها یا مولکول‌هایی تشکیل شده‌اند که همواره در حرکتند. اتم‌ها و مولکول‌های ماده به دلیل این حرکت دارای انرژی جنبشی هستند. **میانگین انرژی جنبشی ذرات ماده تعیین‌کننده دمای آن است،** یعنی هرچه میانگین انرژی جنبشی ذرات ماده بیشتر باشد، دمای آن نیز بیشتر خواهد بود (شکل ۲-۴). مثلاً ضربه زدن به فلز با چکش باعث سرعت بیشتر ذرات تشکیل‌دهنده فلز می‌شود و در نتیجه دمای آن را بالاتر می‌برد.

تجربه کنید

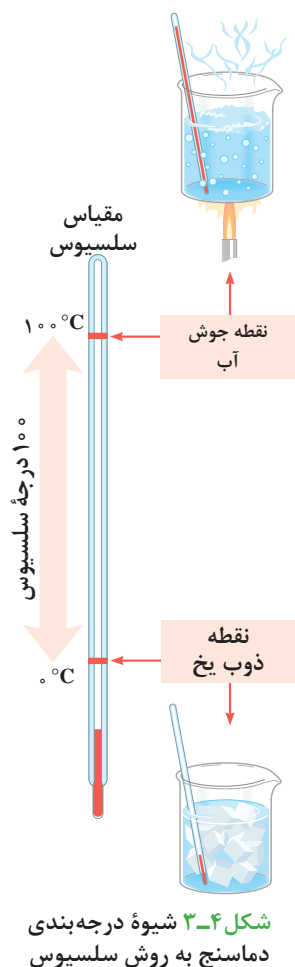


آب داغ و آب سرد را در لیوان‌های جداگانه‌ای بریزید. سپس با قطره‌چکان به اندازه مساوی در آنها جوهر بریزید. پیش‌بینی می‌کنید چه اتفاقی بیفتد؟ دلیل این اتفاق چیست؟

۴-۱-۲ اندازه‌گیری دما: اولین وسیله اندازه‌گیری دما یا همان دماسنج، را گالیله در سال ۱۶۰۲ اختراع کرد. دماسنج‌های معمولی جیوه‌ای و الکلی، هفتاد سال بعد از آن کاربرد گسترده‌ای یافتند.



در کتاب **علوم تجربی پایه هفتم** با انجام دادن آزمایشی دیده‌اید که حس لامسه برای اندازه‌گیری دقیق دما مناسب نیست. با توجه به معیارهای تعریف یک کمیت فیزیکی که در فصل ۱ به آن پرداخته شده است، فکر می‌کنید چرا این روش مناسب نیست؟



شکل ۳-۴ شیوه درجه‌بندی دماسنج به روش سلسیوس

با شیوه درجه‌بندی و ساخت دماسنج در کتاب علوم هفتم آشنا شدید. در این نوع مدرج‌سازی، طبق قرارداد، عدد ۰ مربوط به دمایی است که یخ ذوب می‌شود و عدد ۱۰۰ به دمای جوشیدن آب خالص در فشار هوای استاندارد اختصاص دارد. فاصله بین این دو، به ۱۰۰ قسمت مساوی به نام سانتی‌گراد تقسیم شده است (شکل ۳-۴). اکنون به افتخار آندرس سلسیوس، منجم سوئدی، کسی که اولین بار این مقیاس را پیشنهاد داد، آن را درجه سلسیوس می‌نامند و این یکا را با نماد °C نشان می‌دهند.

لوله دماسنج معمولاً بلند و نازک انتخاب می‌شود تا یک تغییر کوچک در حجم جیوه یا الکل بتواند به تغییر ارتفاع قابل ملاحظه‌ای در لوله بینجامد.

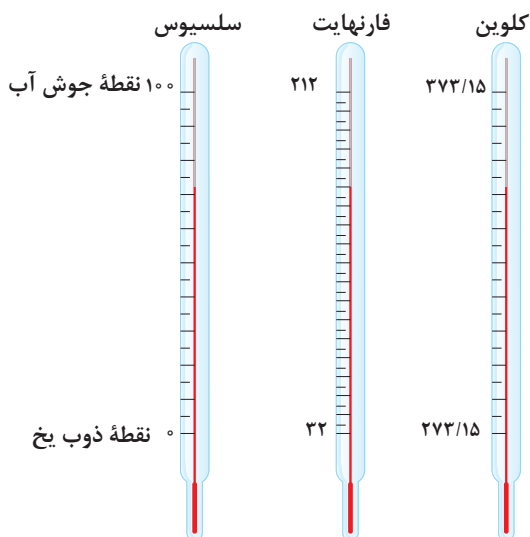


۳-۱-۴ مقیاس‌های دما: با متداول‌ترین مقیاس دما یعنی سلسیوس در قسمت قبل آشنا شدید. دمایی که بر حسب سلسیوس بیان شده باشد با نماد θ (تا) نوشته می‌شود. مثلاً اگر دمای آب رادیاتور یک خودرو ۸۰ درجه سلسیوس باشد آن را به صورت $\theta = 80^\circ\text{C}$ نشان می‌دهیم. مقیاس دیگر دما، که از آن در صنعت بیشتر استفاده می‌شود. مقیاس فارنهایت است. در این مقیاس عدد ۳۲ به دمای ذوب یخ اختصاص دارد و عدد ۲۱۲ به دمای جوش آب خالص نسبت داده شده است. این مقیاس به افتخار گابریل دانیل فارنهایت، پایه‌گذار آن، نام‌گذاری شده و با نماد F نشان داده می‌شود. با کمک رابطه زیر می‌توان ارتباط دما در مقیاس سلسیوس و دما در مقیاس فارنهایت را برقرار کرد:

$$F = \frac{9}{5}\theta + 32 \quad (۱-۴)$$

بنابر آنچه در فصل اول نیز گفته شد، مقیاس پذیرفته شده برای اندازه‌گیری در SI مقیاس کلون است. در این مقیاس نقطه پایینی را دمایی در نظر می‌گیریم که انرژی ذرات ماده کمترین مقدار خود را دارند و به آن عدد ۰ را نسبت می‌دهیم در نتیجه عدد ۰ مربوط به پایین‌ترین دمای ممکن (صفر مطلق) است. صفر مطلق^۱ برابر 273°C - است. در مقیاس کلون هیچ عدد منفی وجود ندارد. دما در مقیاس کلون را با نماد T و کلون را با نماد K نشان می‌دهند. مثلاً دمای ذوب یخ، یعنی ۲۷۳ کلون را به شکل

۱- مقدار دقیق صفر کلون $273/15^\circ\text{C}$ - است.



زیر نمایش می‌دهند:

$$T = 273K$$

برای ارتباط دما در مقیاس کلوین و سلسیوس می‌توان نوشت:

$$T = \theta + 273 \quad (2-4)$$

شکل ۴-۴ مقایسه مقیاس‌های دما

مثال



در موتور خودرو اگر حرارت توسط دستگاه خنک کننده گرفته نشود، به موتور آسیب خواهد رسید. از طرفی کمبود حرارت نیز باعث خرابی موتور می‌شود. دمای مناسب موتور خودرو بین $9^{\circ}C$ تا $90^{\circ}C$ است. این بازه دمایی را در مقیاس کلوین و فارنهایت محاسبه و باهم مقایسه کنید.

پاسخ:

$$\theta_1 = 9^{\circ}C \text{ و } \theta_2 = 90^{\circ}C \Rightarrow \Delta\theta = \theta_2 - \theta_1 = 90 - 9 = 81^{\circ}C$$

با توجه به رابطه ۲-۴ داریم:

$$T = \theta + 273 \Rightarrow T_1 = \theta_1 + 273 = 9 + 273 = 282K$$

$$T_2 = \theta_2 + 273 = 90 + 273 = 363K \Rightarrow \Delta T = T_2 - T_1 = 363 - 282 = 81K$$

با توجه به رابطه ۱-۴ داریم:

$$F = \frac{9}{5}\theta + 32 \Rightarrow F_1 = \frac{9}{5}\theta_1 + 32 = \frac{9}{5} \times 9 + 32 = 16/2 + 32 = 48/2^{\circ}F$$

$$F_2 = \frac{9}{5}\theta_2 + 32 = \frac{9}{5} \times 90 + 32 = 162 + 32 = 194^{\circ}F$$

$$\Delta F = F_2 - F_1 = 194 - 48/2 = 145/2^{\circ}F$$

با توجه به ارتباط مقیاس‌های دما، جدول زیر را کامل کنید.

تمرین کنید

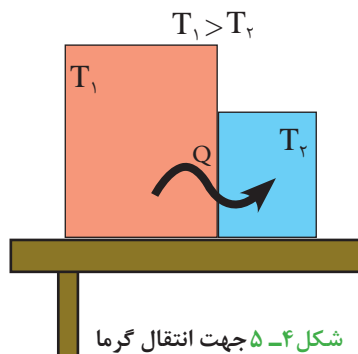


جسم	دما بر حسب درجه سلسیوس	دما بر حسب کلوین	دما بر حسب درجه فارنهایت
دمای سطح خورشید	.....	۵۷۷۸	.....
دمای جوش روغن سرخ کردنی	۲۲۰	.....	.....
دمای آب در حال جوش	.....	.....	۲۱۲
دمای یخ در حال ذوب	۰	.....	.....
دمای صفر مطلق	-۲۷۳	۰	.....

همان طور که در مثال بالا و شکل ۴-۴ می‌بینید بازه‌های دمایی در مقیاس کلوین و سلسیوس یکسان‌اند. اما در مقیاس فارنهایت به دلیل کوچک‌تر بودن فواصل درجات، مقدار بیشتری برای آن بازه دمایی به دست آمده است.



۴-۲ گرما



شکل ۴-۵ جهت انتقال گرما

اگر دست خود را زیر آب گرم بگیرید، دست شما گرم می‌شود چون آب گرم‌تر از دست شما است. اما اگر قطعه یخی را لمس کنید، دست شما سرد می‌شود و گرما از دست شما به یخ که سردتر است منتقل می‌شود. جهت انتقال گرما چگونه است؟ آیا قانون ویژه‌ای بر تمام موارد حاکم است؟ باید گفت بله، جهت شارش گرما به‌طور خودبه‌خودی همواره از جسم با دمای بیشتر (گرم‌تر) به جسم با دمای کمتر (سردتر) است (شکل ۴-۵).

۴-۲-۱ مفهوم گرما: ماده دارای گرما نیست بلکه دارای انرژی درونی است. مجموع انرژی جنبشی مولکولی و پتانسیل مولکولی ذرات جسم را انرژی درونی می‌نامند، که هنگام انتقال از جسمی به جسم دیگر اصطلاحاً گرما گفته می‌شود. در واقع انرژی‌ای را که بر اثر اختلاف دما از جسمی به جسم دیگر جابه‌جا می‌شود، گرما می‌نامند و آن را با نماد Q نمایش می‌دهند. یکای گرما در SI، ژول است.

دیگر اصطلاحاً گرما گفته می‌شود. در واقع انرژی‌ای را که بر اثر اختلاف دما از جسمی به جسم دیگر جابه‌جا می‌شود، گرما می‌نامند و آن را با نماد Q نمایش می‌دهند. یکای گرما در SI، ژول است.



کالری (Calorie) برای اولین بار در سال ۱۸۲۴ میلادی توسط نیکلاس کلمان به‌عنوان واحدی از گرما تعریف شد. واژه کالری از واژه لاتین Calor به معنی گرما گرفته شده است. کالری به دو صورت تعریف می‌شود:

- **کالری کوچک** یا گرم کالری با نماد cal که برابر است با مقدار انرژی مورد نیاز برای افزایش دمای ۱ گرم آب در فشار هوای ۱ atm به اندازه 1°C .
- **کالری بزرگ** یا کیلوگرم کالری با نماد Cal یا kcal که همان **کالری غذایی** است و مقدار آن برابر است با مقدار انرژی مورد نیاز برای افزایش دمای 1°C یک کیلوگرم آب. یک کالری بزرگ برابر است با ۱۰۰۰ کالری کوچک. میزان انرژی غذایی که می‌خوریم با کیلو کالری اندازه‌گیری می‌شود.



همان طور که تاریکی از نبودن نور است، سرما نیز ناشی از نبودن گرما است. در فیزیک کمیتی به نام سرما وجود ندارد.

۴-۲-۲ محاسبه مقدار گرما: به نظر شما مقدار گرمای منتقل شده به جسم به چه عواملی ارتباط دارد؟

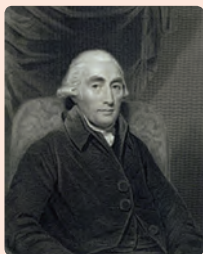
اگر بخواهید چای را فوری درست کنید ترجیح می‌دهید آب گرم در کتری بریزید یا آب سرد؟ چرا؟



در عمل می‌بینید که هرچه اختلاف دمای اولیه و پایانی جسم بیشتر باشد، باید مقدار گرمای بیشتری به جسم داده شود. علاوه بر مقدار تغییر دما، مقدار گرما با مقدار ماده نیز ارتباط دارد. مثلاً بشکه‌ای پر از آب، بیشتر از یک فنجان آب نیاز به گرما دارد تا دمای آنها به یک اندازه بالا برود.



یک میخ کوچک و یک پیچ بزرگ آهنی را روی شعله داغ کنید. آنها را داخل ظرف‌های محتوی مقدار آب با دمای یکسان بیندازید، کدام یک، دمای آب را بیشتر بالا می‌برد؟ چرا؟



جوزف بلک

جوزف بلک دانشمند و فیزیک‌دان اسکاتلندی و کاشف گاز کربن دی‌اکسید، کاشف گرمای نهان و بنیان‌گذار کمیت فیزیکی ظرفیت گرمایی ویژه بود. او پروفیسور رشته پزشکی در دانشگاه گلاسگو بود و در همان دانشگاه به تدریس شیمی نیز می‌پرداخت. در همان زمان جیمز وات برای دانشگاه گلاسگو ابزارها و ماشین‌آلات آزمایشی می‌ساخت؛ او به کمک جوزف بلک آزمایش‌هایی بر روی بخار انجام داد که در نهایت منجر به اختراع و تکمیل موتور بخار گردید.

حالا باید دلیل اینکه چرا جرعه‌ها دست کودک را نمی‌سوزانند، متوجه شده باشید. دمای جرعه‌ها بسیار زیاد و حدود 200°C است. این انرژی به‌ازای تعداد اندکی مادهٔ محترقه جرعه تولید می‌شود. گرمای منتقل شده به دست کودک به دلیل جرم کم جرعه، کمتر از آن است که دست او را بسوزاند.

ظرفیت گرمایی ویژه: مواد مختلف ظرفیت‌های متفاوتی برای ذخیرهٔ انرژی درونی دارند. بالابردن دمای جرم‌های یکسان از مواد مختلف (مثلاً دو کیلوگرم آب یا آهن) به میزانی مشخص (مثلاً از دمای 25 تا 100 درجه سلسیوس) به مقدارهای متفاوت گرما نیاز دارد. در این مثال، آب نسبت به آهن مقدار گرمای بیشتری جذب می‌کند و اصطلاحاً می‌گوییم آب دارای ظرفیت گرمایی ویژه بالاتری است. **ظرفیت گرمایی ویژه، مقدار گرمایی است که باید به یک کیلوگرم از ماده بدهیم تا یک درجه سلسیوس افزایش دما پیدا کند و با نماد C نشان داده می‌شود.** همان‌طور که تجربه کردید، سه عامل با مقدار گرمای منتقل شده به جسم در ارتباط است: اختلاف دما - مقدار ماده - ظرفیت گرمایی ویژه (وابسته به جنس ماده) بنابراین معادلهٔ گرما به شکل زیر خواهد بود:

تغییر دما \times ظرفیت گرمایی ویژه \times جرم = گرمای منتقل شده

$$Q = mc(\theta_f - \theta_i) = mc\Delta\theta \quad (3-4)$$

براساس رابطهٔ ۳-۴ یکای ظرفیت گرمایی ویژه $\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}}$ است که مقدار آن را برای مواد مختلف در جدول

۱-۴ مشاهده می‌کنید.

جدول ۱-۴ ظرفیت گرمایی ویژه مواد مختلف بر حسب $\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}}$

ماده	ظرفیت گرمایی ویژه	ماده	ظرفیت گرمایی ویژه
آب	۴۲۰۰	گرانیت	۸۰
آب دریا	۲۹۰۰	مس	۳۸۰
یخ	۲۱۰۰	سرب	۱۲۶
اتانول	۲۵۰۰	آلومینیوم	۹۰۰
روغن پارافین	۲۱۰۰	سدیم	۱۲۴۰
هیدروژن	۱۴۳۰۰	جیوه	۱۵۰
هوا	۹۹۳	آهن	۲۹۰
هلیوم	۵۲۴۰	فولاد	۴۲۰
اکسیژن	۹۳۰	سنگ مرمر	۹۰۰



الف) ظرفیت گرمایی ویژه، یک کمیت فرعی است یا اصلی؟ چرا؟
ب) چرا وقتی یک قاچ هندوانه و یک ساندویچ را در یک روز داغ برای رفتن به گردش از یخچال خارج می‌کنیم، هندوانه، مدت بیشتری نسبت به ساندویچ خنک می‌ماند؟
ج) برای خنک کردن موتور اتومبیل از آب استفاده می‌شود. دلیل این انتخاب چیست؟



شکل ۴-۶ انرژی مورد نیاز برای گرم کردن ۵ لیوان آب تا نقطه جوش تقریباً برابر با انرژی مورد نیاز برای شتاب گرفتن یک خودرو کوچک تا سرعت تقریباً ۹۶ کیلومتر بر ساعت است.

ظرفیت ذخیره‌سازی انرژی آب از تمام مواد، بیشتر است. مقدار نسبتاً اندکی آب با تغییر دمای مختصر مقدار زیادی گرما جذب می‌کند (شکل ۴-۶). از این رو، آب عملاً خنک‌کننده مناسبی است. همین طور خنک‌شدن آب نیز با خروج گرمای زیادی از آن همراه است و مدت بیشتری نسبت به بقیه مواد طول می‌کشد تا آب خنک شود. از این واقعیت در کیسه‌های آب جوش سنتی و شفاژ منازل استفاده می‌شود. این ویژگی آب سبب بهبود شرایط زیستی بسیاری از مکان‌ها شده است. مکان‌هایی همچون شمال کشور، که مجاور آب هستند، تغییر دماهای شدید در زمستان و تابستان ندارند. در این مناطق، در ماه‌های تابستان که هوا داغ است، آب با گرفتن مقدار زیادی گرما از هوا، آن را خنک می‌کند و در ماه‌های زمستان که هوا سرد است، آب با دادن مقدار زیادی گرما به ازای تغییر دمای اندک، هوا را گرم می‌کند. دماهای بسیار زیاد در طول روز و دمای خیلی سرد در طول شب برای مناطق کویری، ناشی از نبودن توده‌های بزرگ آب در مجاورت آنهاست.



وسایل مورد نیاز: دو عدد بادکنک، دو عدد شمع، آب یکی از بادکنک‌ها را با آب و دیگری را با هوا پر کنید. سپس هر دو را روی شعله شمع بگیرید. چه چیزی مشاهده می‌کنید؟ دلیل آن چیست؟

کاربرد در صنعت و فناوری



صنایع آب‌بر، صنعت‌های بزرگی همچون ذوب آهن، تولید فولاد و پتروشیمی هستند که در بسیاری از فرایندهایشان از آب به عنوان خنک‌کننده یا حلال استفاده می‌کنند. چنین صنعت‌هایی باید در مکان مناسب ساخته شوند تا مشکلات زیست‌محیطی ناشی از کمبود آب را ایجاد نکنند. بهترین مکان برای احداث این نوع کارخانه‌ها، سواحل و مکان‌های نزدیک به دریا است تا برای تأمین آب آنها مشکلی نباشد.

مثال



اگر بخواهیم دمای 20°C از یک جسم مجهول را به اندازه 10°C افزایش دهیم، مقدار 200 J گرما لازم است. ظرفیت گرمایی ویژه این جسم چقدر است؟

پاسخ:

$$m = 20\text{ g} = 20\text{ g} \times \frac{1\text{ kg}}{10^3\text{ g}} = 2 \times 10^{-2}\text{ kg} \quad \text{و} \quad \theta_2 - \theta_1 = 10^\circ\text{C} \quad \text{و} \quad Q = 200\text{ J} = 2 \times 10^2\text{ J} \quad \text{و} \quad c = ?$$

$$Q = mc(\theta_2 - \theta_1) \Rightarrow 2 \times 10^2\text{ J} = 2 \times 10^{-2}\text{ kg} \times c \times 10^\circ\text{C} \Rightarrow$$

$$2 \times 10^2\text{ J} = 2 \times 10^{-1}\text{ kg} \cdot ^\circ\text{C} \Rightarrow c = \frac{2 \times 10^2\text{ J}}{2 \times 10^{-1}\text{ kg} \cdot ^\circ\text{C}} = 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

تمرین کنید



آشپزی می‌خواهد زمان لازم برای جوش آمدن آب درون قابلمه را محاسبه کند. توان مصرفی نوشته شده روی اجاق برقی 1400 وات است. اگر او 2 kg آب با دمای 20°C در این قابلمه بریزد و آب در دمای 100°C به جوش برسد، مدت زمانی را که او باید منتظر بماند، محاسبه کنید. (از اتلاف گرما صرف نظر کنید)

۴-۳ انتقال گرما

در علوم تجربی پایه هفتم دیدید که گرما به‌طور خود به خود همواره از اجسام با دمای بالاتر به اجسام با دمای پایین‌تر منتقل می‌شود. این انتقال به سه روش **رسانش**، **همرفت** و **تابش** صورت می‌گیرد.

۴-۳-۱ رسانش گرمایی: دسته یک قاشق فلزی را در دست بگیرید و سر دیگر آن را روی شعله‌ی اجاق قرار دهید. در زمانی کوتاه دسته قاشق که در دست شماست به اندازه‌ی داغ می‌شود که دیگر نمی‌توانید آن را نگه دارید. با توجه به اختلاف دمای دو سر قاشق، گرما از سر داغ به سمت دیگر منتقل می‌شود؛ انتقال گرما به این شیوه را **رسانش** می‌نامند. آتش باعث می‌شود اتم‌های گرم شده سر قاشق تندتر حرکت کنند. این اتم‌ها، اتم‌های مجاورشان را به ارتعاش بیشتر وادار می‌کنند و آنها هم همین کار را برای اتم‌های مجاور خود انجام می‌دهند.



با توجه به ویژگی‌های حالت‌های مختلف مواد (جامد، مایع، گاز) در فصل ۳، مواد در کدام حالت رسانش گرمایی بیشتری دارند؟ دلیل این امر چیست؟

فکر کنید



شکل ۴-۷ لحافی از برف روی دانه‌های درون خاک در زمستان

رسانش خوب گرما در یک جسم به پیوندهای اتمی و مولکولی آن جسم بستگی دارد. به عنوان مثال فلزها رساناهای عالی گرما هستند. از طرف دیگر، پشم، شیشه، چوب، کاغذ، و پلاستیک رسانای ضعیف گرما هستند. **رساناهای ضعیف گرما را «عایق» می‌نامند.**

هوا رسانای بسیار ضعیف گرماست. ویژگی‌های اجسامی چون پشم، پر، فایبرگلاس و پشم شیشه به عنوان عایق خوب گرما بیشتر به دلیل هوای موجود در لایه‌های آنهاست.

آب رسانای ضعیف (عایق خوب) گرماست. برف از آب تشکیل شده است پس برف هم عایق خوبی برای گرما است. بنابراین، در فصل زمستان زمین را گرم نگه می‌دارد. دانه‌های برف از بلورهای تشکیل شده‌اند که شبیه توده‌های



پَر به هم متصل شده و هوا را محبوس می‌سازند، در نتیجه مانع فرار گرما از سطح زمین به هوا می‌شوند. به همین سبب کشاورزان در مناطق سردسیر دانه‌های گندم را در فصل پاییز در خاک می‌پاشند. خاک و برف هردو به خوبی از سرمازدگی دانه‌ها جلوگیری می‌کنند.

آزمایش کنید



وسایل مورد نیاز: میله‌های با جنس و طول متفاوت، شعله آتش، موم، خلال دندان
شرح آزمایش: به نوک دو سر میله‌ها و وسط آنها توسط موم خلال دندان بچسبانید. میله‌ها را از یک نقطه روی شعله قرار دهید. چه چیزی مشاهده می‌کنید؟ از این مشاهده در مورد عوامل مؤثر بر رسانش گرما چه نتیجه‌ای می‌توان گرفت؟

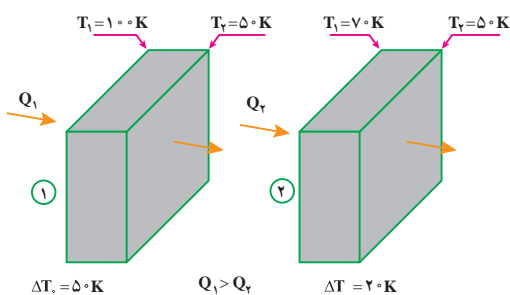
فکر کنید



چرا نانو‌ها می‌توانند دست خود را برای مدتی بدون آسیب در داخل تنور ببرند، اما اگر دستشان به دیواره تنور بخورد، می‌سوزد؟

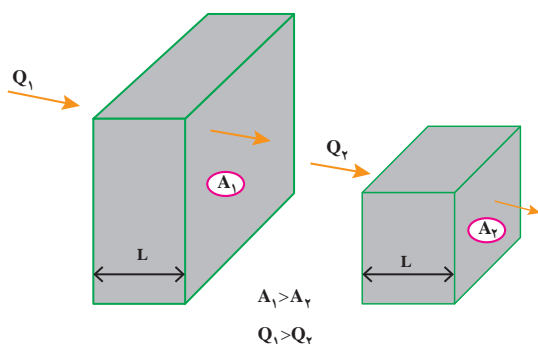
البته هیچ عایقی نمی‌تواند به طور کامل از عبور گرما جلوگیری کند. عایق فقط آهنگ انتقال گرما را کند می‌کند. در زمستان، حتی بهترین خانه‌های گرم عایق‌بندی شده هم به تدریج سرد خواهند شد. عایق‌بندی کردن، انتقال گرما را کند می‌سازد.

۲-۳-۴ محاسبه آهنگ رسانش گرما: مقدار
 گرمای انتقال یافته از یک جسم به عوامل زیر بستگی دارد:



شکل ۴-۸ وابستگی آهنگ رسانش به اختلاف دمای دو سطح

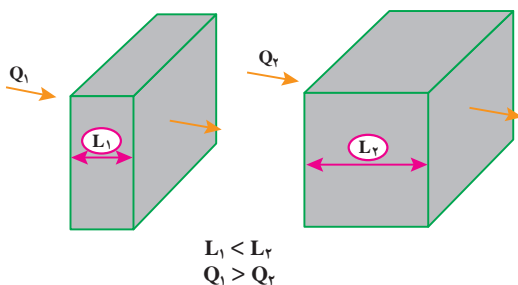
۱- اختلاف دمای دو سطح (نقطه) گرم و سرد
 سرد $(T_2 - T_1)$ یا $(\theta_2 - \theta_1)$: اختلاف دما عامل انتقال گرمات، بنابراین هرچه اختلاف دمای بین دو سطح گرم و سرد بیشتر باشد، گرمای بیشتری جریان می‌یابد. انتقال گرما با اختلاف دمای دو سطح رابطه مستقیم دارد (شکل ۴-۸).



شکل ۴-۹ وابستگی آهنگ رسانش به سطح مقطع جسم

۲- سطح مقطع جسم (A): بدیهی است که هرچه سطح بزرگ‌تر باشد تعداد مولکول‌های بیشتری به طور هم‌زمان کار انتقال گرما را انجام می‌دهند و مقدار گرمای بیشتری منتقل خواهد شد. پس انتقال گرما با سطح مقطع رابطه مستقیم خواهد داشت (شکل ۴-۹).

۳- ضخامت جسم (L): هدایت گرما با ضخامت جسم یا به عبارت دیگر، با فاصله بین سطح گرم و سطح سرد جسم رابطه وارون دارد. یعنی هرچه



شکل ۴-۱۰ وابستگی آهنگ رسانش به ضخامت جسم

ضخامت جسم کمتر باشد، هدایت گرما بیشتر خواهد بود (شکل ۴-۱۰).

۴- زمان عبور گرما (t): هرچه زمان، بیشتر باشد مقدار گرمای بیشتری عبور خواهد کرد. بنابراین، انتقال گرما با زمان رابطه مستقیم دارد.

۵- قابلیت هدایت گرمایی یا رسانندگی گرمایی (K): دیدیم که تمام مواد نمی‌توانند گرما را با آهنگ یکسانی عبور دهند. فلزات رساناهای

خوب گرما هستند و موادی همچون چوب و پلاستیک رساناهای ضعیف گرما هستند و موادی مانند پشم شیشه رساناهای خیلی ضعیف گرما یا عایق گرما هستند. رسانندگی گرمایی برخی از مواد در جدول ۴-۲ آمده است. در نتیجه عوامل مؤثر در انتقال گرما به روش رسانش را می‌توان در معادله زیر خلاصه کرد:

$$Q = \frac{KA t (T_r - T_l)}{L} = \frac{KA \Delta T}{L} \quad (۴-۴ \text{ الف})$$

اگر مقدار گرمای انتقال یافته در واحد زمان را بخواهیم، معادله فوق بر زمان تقسیم می‌شود و اصطلاحاً **آهنگ رسانش** گرما محاسبه می‌گردد.

$$H = \frac{Q}{t} = \frac{KA \Delta T}{L} \quad (۴-۴ \text{ ب})$$

جدول ۴-۲ رسانندگی گرمایی مواد

رسانندگی گرمایی ($\frac{J}{s.m.K}$)	ماده	رسانندگی گرمایی ($\frac{J}{s.m.K}$)	ماده
۸۲	آهن	۳۵	سرب
۴۰۶	نقره	۱	شیشه
۰/۰۲۴	هوا	۰/۰۹	پنبه نسوز
~۰/۶	آجر	۰/۰۴	آب
~۰/۰۸	چوب	۲/۲	یخ
۴۰۰	مس	۰/۰۳	چوب پنبه
		۲۳۸	آلومینیوم

به کمک رابطه ۴-۴ الف، یکای رسانندگی گرمایی را در SI به دست آورید.

تمرین کنید





در ناحیه کویری ایران که روزها گرم و شبها سرد است، در گذشته دیوارهای خانه‌ها را اغلب از گل می‌ساختند.
(الف) چرا این دیوارها را از گل می‌ساختند؟
(ب) اهمیت ضخیم بودن دیوارهای گلی چیست؟

فکر کنید



مثال



شیشه تک جداره پنجره یک آشپزخانه با ابعاد $1\text{ m} \times 2\text{ m}$ و با ضخامت 2 mm است. در یک روز سرد زمستانی که دمای بیرون 0°C و دمای اتاق 20°C است، در مدت 1 s از این پنجره چه مقدار گرما تلف می‌شود؟ (ضریب رسانش گرمایی شیشه تک جداره تقریباً $5 \frac{\text{J}}{\text{s.m.K}}$)

پاسخ:

$$A = 2 \times 1 = 2\text{ m}^2 \quad \text{و} \quad \theta_1 = 0^\circ\text{C} \quad \text{و} \quad \theta_2 = 20^\circ\text{C} \quad \text{و} \quad t = 1\text{ s} \quad \text{و} \quad K = 5 \frac{\text{J}}{\text{s.m.K}}$$

$$\text{و} \quad L = 2\text{ mm} = 2 \times 10^{-3}\text{ m}, Q = ?$$

$$Q = \frac{KA t (\theta_2 - \theta_1)}{L} \rightarrow Q = \frac{5 \times 2 \times 1 \times (20 - 0)}{2 \times 10^{-3}} = \frac{2 \times 10^2}{2 \times 10^{-3}} = 10^5\text{ J} = 10^5\text{ J} \times \frac{1\text{ kJ}}{10^3\text{ J}} = 10^2\text{ kJ}$$

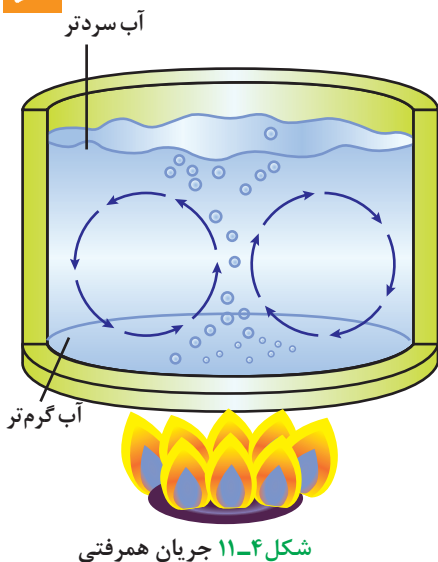
مثال قبل را با استفاده از مقادیر شیشه دوجداره محاسبه نمایید و میزان کاهش اتلاف گرمایی این دو را با هم مقایسه کنید.

تمرین کنید



(ضریب رسانش گرمایی شیشه دوجداره آرگون تقریباً $1 \frac{\text{J}}{\text{s.m.K}}$ است.)

۳-۳-۴ همرفت



مایعات و گازها گرما را بیشتر با روش همرفت منتقل می‌کنند، که ناشی از جابه‌جایی واقعی خود شاره است. در همرفت برخلاف رسانش (که گرما با برخوردهای متوالی الکترون‌ها و اتم‌ها منتقل می‌شود)، حرکت بخش‌های شاره (سیال حرارتی) دخالت دارد. همرفت می‌تواند در همه شاره‌ها، چه مایع و چه گاز، رخ دهد.

در شکل ۴-۱۱ می‌بینید که نقطه‌ای از شاره که گرم می‌شود، مولکول‌هایش تندتر حرکت می‌کنند و بیشتر از هم دور می‌شوند، در نتیجه چگالی آنها کاهش می‌یابد و به بالا رانده می‌شوند. قسمت خنک‌تر شاره که چگال‌تر است جای شاره گرم را می‌گیرد. به این ترتیب، جریان‌های همرفتی به وجود می‌آید. جریان‌های همرفتی در ایجاد بادهای و در آب و هوا مؤثرند.



و تَصْرِيفِ الرِّيَّاحِ آيَاتٌ لِّقَوْمٍ يَعْقِلُونَ (جاثیه، ۵)
«و در چرخش بادهای برای افراد اندیشمند استدلال وجود دارد»

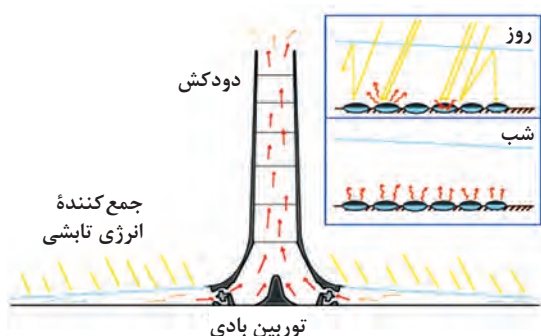
بادهای در یک سیستم جهانی در چرخش اند. آنها هوای گرم را از مناطق استوایی به نواحی قطبی و هوای سرد را از نواحی قطبی به مناطق استوایی منتقل می کنند. به این ترتیب به دمای هوا توازن و تعادل می بخشد. چرخش بادهای چه استدلالی را در بر دارد؟ چیزی که ما امروزه می دانیم این است که چرخش بادهای و وزیدن آنها برخلاف همدیگر باعث می شود ویرانی به بار نیاید. اگر بادهای فقط در یک جهت می وزیدند همه چیز ویران می شد.



شمعی را روشن کرده و به آهستگی دست خود را با احتیاط در نقاط مختلف (از اطراف و بالای شعله) به شعله نزدیک کنید. نتیجه تجربه خود را گزارش دهید.



کاربرد در فناوری و صنعت



در شکل روبه رو یک گلخانه می بینید که با استفاده از انرژی تابشی گرما می گیرد و هوای گرم داخل گلخانه به دلیل جریان های همرفتی از طریق دودکش بلندی به ارتفاع ۵ متر به بالا رانده می شود. جریان باد توربین های تعبیه شده در مسیر را می چرخاند و برق تولید می کند. برق تولید شده برای استفاده در شب ذخیره می شود.

۴-۳-۴ تابش: انرژی خورشید از فضای خلأ و جو زمین عبور می کند و سطح زمین به واسطه تابیدن نور خورشید گرم می شود. انتقال

این انرژی نه به واسطه رسانش است نه همرفت، زیرا هیچ ماده ای در فضای خلأ وجود ندارد که به این روش ها گرما را منتقل کند. پس انرژی باید به صورت دیگری منتقل شده باشد. این نوع انتقال انرژی که توسط امواج الکترومغناطیسی صورت می گیرد، تابش گرمایی نامیده می شود. همه اجسام می توانند انرژی خود را به صورت امواج تابشی منتشر کنند؛ اما اجسام گرم تر، مقدار بیشتری انرژی تابشی منتشر می کنند؛ مثلاً سطح خورشید که دمای بالایی دارد، انرژی تابشی زیادی گسیل می کند.

۴-۴ انبساط گرمایی

مهندسين عمران در طراحی سازه هایی مانند پل های بزرگ فاصله هایی را منظور می کنند و یا یک سر سازه را متحرک و آزاد طراحی می کنند. فکر می کنید دلیل این کار چیست؟ در ادامه این بخش دلیل این موضوع را بیشتر درک خواهید کرد.

۴-۴-۱ تأثیر گرما بر اندازه مواد: در ابتدای فصل دیدید که چگونه وقتی دمای ماده‌ای افزایش یابد، مولکول‌ها و اتم‌های آن به طور میانگین تندتر تکان می‌خورند و بنابراین از هم دورتر می‌شوند که نتیجه آن انبساط ماده است؛ معمولاً تمام مواد (جامد، مایع، گاز) به غیر از چند مورد خاص، هنگام گرم شدن منبسط و هنگام سرد شدن منقبض می‌شوند. در بیشتر مواردی که با جامدها سروکار داریم، این تغییرات حجم چندان زیاد نیست، اما با مشاهده دقیق می‌توان آنها را آشکار کرد.

در یک روز گرم تابستان، طول سیم‌های برق بیشتر از یک روز سرد زمستان است و انحنای (شکم) بیشتری دارند. درپوش فلزی شیشه مربا را می‌توان با گرم کردن آن در زیر آب داغ راحت‌تر باز کرد. اگر بخشی از ظرف شیشه‌ای سریع‌تر از بخش دیگر داغ شود، منجر به شکستن شیشه می‌شود، مخصوصاً اگر شیشه ضخیم باشد. دندان‌پزشک باید از ماده پرکننده‌ای استفاده کند که همان میزان انبساط دندان را داشته باشد. مهندسان ساختمان، در سازه‌های بتونی فولادی به کار می‌برند که میزان انبساط برابر با بتون داشته باشد. مهندسان عمران در ساختن پل‌های بزرگ پل را به صورت قطعه قطعه می‌سازند و بین قطعات شیارهای فاصله‌ای منظور می‌کنند که درزهای انبساط نامیده می‌شوند. گاهی مواقع این شیارها را با قیر پر می‌کنند تا بتوانند در تابستان منبسط و در زمستان به راحتی منقبض شود.



در گذشته، خط‌های آهن قطعه‌هایی ۱۱/۹ متری بودند که با میله‌های اتصال به هم وصل می‌شدند و شکاف‌هایی برای انبساط بین این میله‌های بلند وجود داشت. در تابستان که خط‌های آهن منبسط می‌شدند این شکاف‌ها باریک بودند اما در زمستان شکاف‌ها گشاد می‌شدند و باعث صدای تلق تلق بیشتر هنگام حرکت قطار می‌شدند.

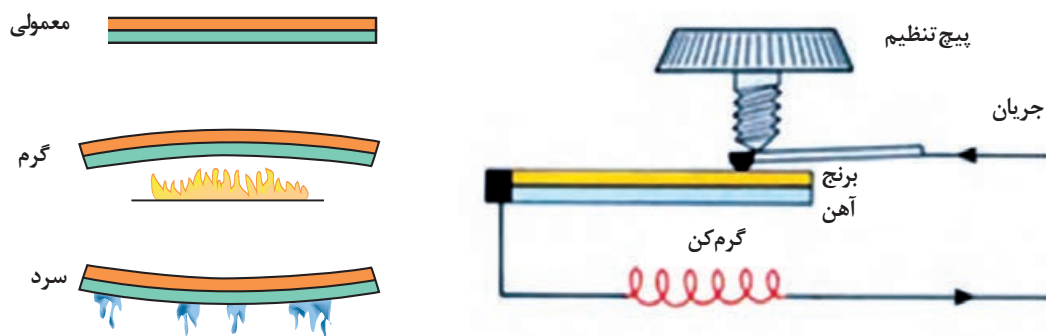
این روزها دیگر صدای تلق تلق را نمی‌شنویم زیرا این اندیشه از ذهن کسی گذشت که با جوش دادن خط‌های آهن به هم این شکاف را حذف کند. به نظر شما آیا انبساط ناشی از گرمای تابستان باعث تاب برداشتن خط‌های آهن به هم جوش داده، مطابق شکل روبه‌رو، نمی‌شود؟ نه! به شرط آنکه خط‌ها در گرم‌ترین روزهای تابستان جوش داده و نصب شوند! کاهش طول خط‌های آهن در هوای سرد باعث کشیدگی آنها می‌شود که کمانش (تاب) به وجود نمی‌آورد و آهن به دلیل خاصیت انعطافی و کششی کشیده شده و مشکلی به وجود نمی‌آورد.

بیشتر بدانید



کاربرد در فناوری و صنعت

آهنگ انبساط مواد مختلف، متفاوت است. برخی سریع‌تر منبسط شده و برخی کندتر. وقتی دو نوار از فلزهای مختلف - مثلاً برنج و آهن - به هم جوش داده یا پرچ شوند، انبساط بیشتر یکی از آنها باعث خم شدن نوار می‌شود؛ از طرف دیگر، با سرد شدن قطعه، نوار از طرف مقابل خم می‌شود زیرا فلزی که بیشتر منبسط شود، بیشتر هم منقبض می‌شود. از این حرکت نوار می‌توان برای چرخش عقربه، یا خاموش و روشن کردن یک دستگاه استفاده کرد. این قطعه در ترموستات کاربرد یافته است. خم شدن نوار به دو جهت باعث خاموش و روشن شدن مدار الکتریکی می‌گردد. یخچال و اتو به ترموستاتی مجهزند که از سرد یا گرم شدن بیش از حد آنها جلوگیری می‌کند.



۲-۴-۴ محاسبه مقدار انبساط: همان طور که گفتیم، مهندسين عمران بين قطعات پل و ريل‌های آهن فاصله‌هایی را تعبیه می‌کنند. اين فاصله‌ها چقدر باید باشند و چگونه محاسبه می‌شوند؟ در ادامه فصل، میزان انبساط اجسام را بر اثر گرما می‌توانید محاسبه کنید.

انبساط طولی: اجسامی که طول آنها نسبت به ابعاد دیگر بسیار بیشتر باشد، انبساط طولی دارند. اگر طول یک میله در دمای θ_1 برابر L_1 باشد و طول آن در دمای θ_2 برابر L_2 باشد، میزان تغییر طول این میله یعنی $L_2 - L_1$ به سه عامل بستگی خواهد داشت: طول اولیه میله (L_1) - میزان تغییر دما ($\Delta\theta$) - ضریب انبساط طولی (جنس میله) (α)

بنابراین معادله انبساط طولی به شکل زیر خواهد بود:

$$L_2 - L_1 = \alpha L_1 \Delta\theta \quad (\text{الف } ۵-۴)$$

$$L_2 = L_1 (1 + \alpha \Delta\theta) \quad (\text{ب } ۵-۴)$$

یکای ضریب انبساط طولی $\frac{1}{K}$ یا $\frac{1}{^\circ C}$ است.

نکته



جدول ۳-۴ ضریب انبساط طولی مواد مختلف

ماده	ضریب انبساط طولی ($\frac{1}{K}$)
آلومینیوم	23×10^{-6}
آجر	9×10^{-6}
مس	17×10^{-6}
الماس	تقریباً صفر
بتن	12×10^{-6}
آهن	12×10^{-6}
کوارتز	0.2×10^{-6}
روی	31×10^{-6}
برنج	19×10^{-6}

مثال



طول یک سیم نازک برق از جنس مس در دمای 30°C ، 3 m است. اگر در اثر گرما دمای سیم به 40°C افزایش یابد، طول سیم چقدر افزایش خواهد یافت؟

$$(\alpha = 17 \times 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}})$$

پاسخ:

$$\theta_1 = 30^\circ\text{C} \text{ و } L_1 = 3\text{ m} \text{ و } \theta_2 = 40^\circ\text{C} \text{ و } L_2 - L_1 = ?$$

$$L_2 - L_1 = \alpha L_1 \Delta\theta$$

$$L_2 - L_1 = 17 \times 10^{-6} \times 30 \times (40 - 30) = 2/04 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$= 2/04 \text{ cm}$$

انبساط سطحی: همواره انبساط خطی اجسام در همه ابعاد رخ می‌دهد، بنابراین انبساط سطحی و حجمی را می‌توان با استفاده از انبساط خطی در همه ابعاد محاسبه کرد. روابط آنها شبیه به رابطه انبساط طولی است با این تفاوت که ضریب انبساط سطحی دو برابر ضریب انبساط خطی است و به جای طول اولیه و ثانویه، سطح اولیه (A_1) و ثانویه (A_2) خواهیم داشت:

$$A_2 - A_1 = 2\alpha A_1 \Delta\theta \quad (6-4 \text{ الف})$$

$$A_2 = A_1 (1 + 2\alpha \Delta\theta) \quad (6-4 \text{ ب})$$

انبساط حجمی: ضریب انبساط حجمی سه برابر ضریب انبساط خطی است و با β نشان داده می‌شود، بنابراین معادله آن به صورت زیر خواهد بود:

$$V_2 - V_1 = \beta V_1 \Delta\theta = 3\alpha V_1 \Delta\theta \quad (7-4 \text{ الف})$$

$$V_2 = V_1 (1 + 3\alpha \Delta\theta) \quad (7-4 \text{ ب})$$

مثال



دمای یک ورقه را 25°C افزایش می‌دهیم. مساحت آن یک درصد افزایش می‌یابد. ضریب انبساط خطی آن فلز در SI چقدر است؟

$$A_2 - A_1 = \frac{1}{100} A_1 \text{ و } \Delta\theta = 25^\circ\text{C} \text{ و } \alpha = ? \text{ پاسخ:}$$

$$A_2 - A_1 = 2\alpha A_1 \Delta\theta \Rightarrow \frac{1}{100} A_1 = 2\alpha A_1 (25) \Rightarrow$$

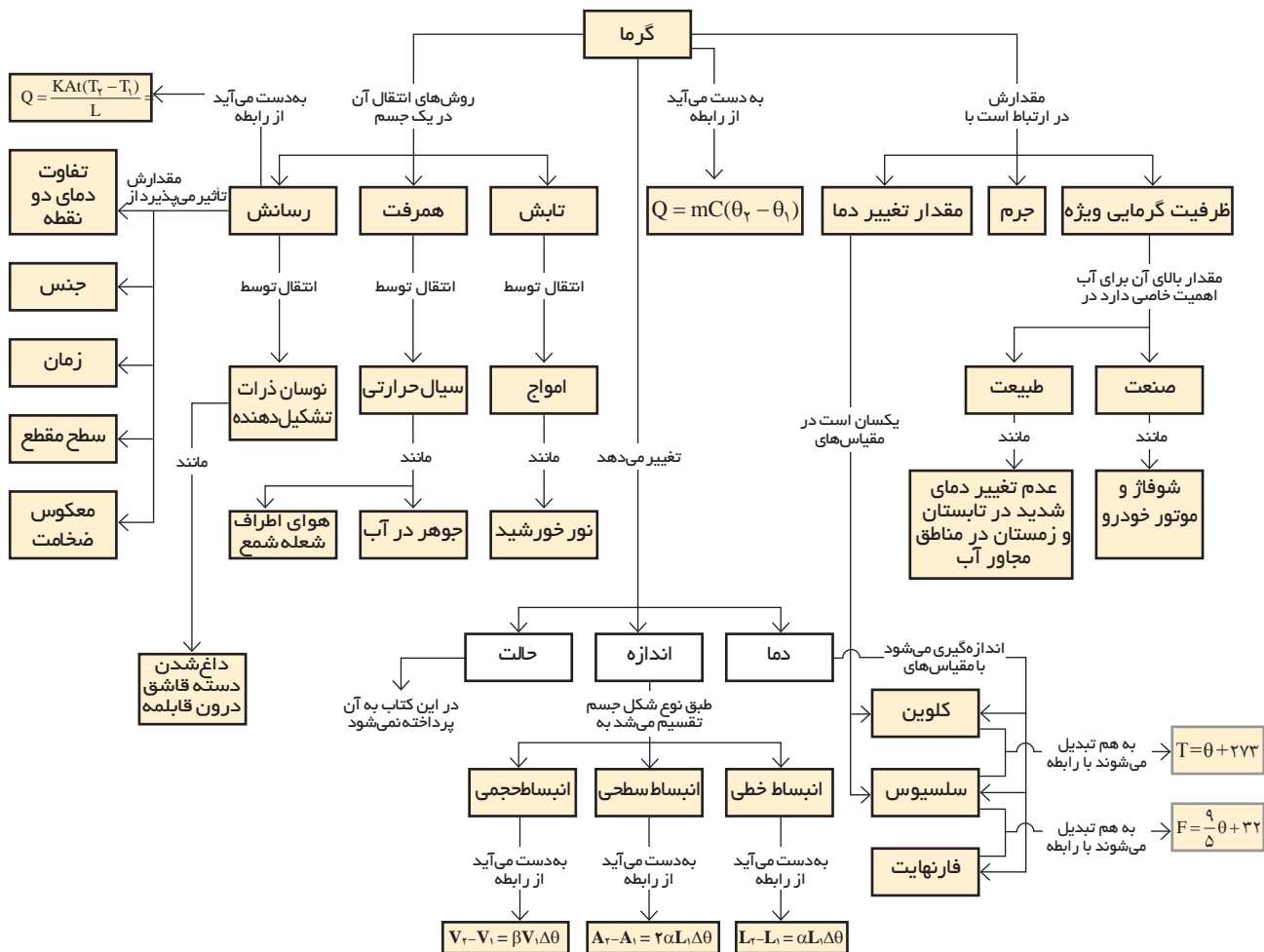
$$\frac{1}{100} = 50\alpha \Rightarrow \alpha = \frac{1}{100 \times 50} = 0/0002 = 2 \times 10^{-4} \frac{1}{\text{K}}$$

تمرین کنید



اگر پنجره‌ای با ابعاد 1×2 متر ساخته شده باشد و شیشه‌بر بخواند در زمستان که دمای هوا 5°C است، شیشه‌ای برای آن نصب کند، چقدر فاصله برای انبساط شیشه در تابستان با دمای 35°C باید در نظر بگیرد؟

$$(\alpha_{\text{شیشه}} = 3/3 \times 10^{-6} \frac{1}{\text{K}})$$



چند پرسش

۱- دو جسم با جرم و دمای متفاوت در تبادل گرما با یکدیگر قرار می گیرند. بهترین گزینه را انتخاب کنید:

انرژی.....

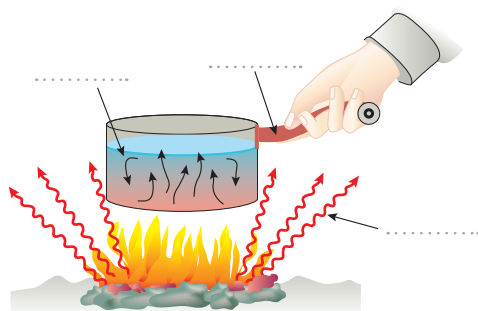
(الف) از جسم با جرم بیشتر به جسم با جرم کمتر منتقل می شود.

(ب) از جسم بزرگ تر به جسم کوچک تر منتقل می شود.

(ج) از جسم با دمای بیشتر به جسم با دمای کمتر شارش می کند.

۲- چرا وقتی سیم های برق و تلفن را در تابستان بین تیرها می کشیم بهتر است بگذاریم کمی شکم دهند و خم داشته باشند؟

۳- در جاهای خالی از سه روش انتقال گرما، روش مناسب را بنویسید.



۴- توضیح دهید چرا در صنعت تراشکاری، هنگام تراش خوردن فلز یا بلور، دائم روی فلز آب ریخته می شود؟

۵- در آب گرم کن ها، چگونه از اتلاف گرمای آب داغ در مخزن جلوگیری می کنند؟

۶- آیا از آب می توان به عنوان مایع دماسنجی استفاده کرد؟ چرا؟

۷- در هوای سرد، تیغه فلزی چاقو از دسته چوبی اش خنک تر به نظر می رسد، چرا؟



چند مسئله

۱- دمای بدن انسان در حالت طبیعی تقریباً 37°C است. این دما بر حسب کلوین و فارنهایت چقدر است؟

۲- قطعه ای از موتور یک خودرو به جرم $1/9$ کیلوگرم، که از ترکیب دو فلز آهن و آلومینیوم ساخته شده است که باید در دمای 150 درجه سلسیوس کار کند. اگر 196 کیلو ژول انرژی لازم باشد تا دمای این آلیاژ را از 20 درجه سلسیوس به 150 درجه سلسیوس برسد، ظرفیت گرمایی ویژه این آلیاژ چه مقدار است؟

۳- در صنایع فلزی برای خنک کردن و تسهیل فرایند برش از روغن های معدنی استفاده می شود. اگر دمای یک قطعه 2 کیلوگرمی آلومینیوم توسط این روغن از 200 درجه سلسیوس به 75 درجه سلسیوس برسد، در طول این فرایند، آلومینیوم چند ژول گرما از دست داده است؟ (ظرفیت گرمایی ویژه آلومینیوم $900 \frac{\text{J}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}}$ است)

۴- طول قطعات یک پل فولادی در دمای 20°C برابر 15 متر است. اگر حداکثر دمای منطقه در تابستان 50°C و حداقل دمای آن در زمستان 10°C - باشد، بیشترین و کمترین طول این قطعات در تابستان و زمستان را حساب کنید.

- ۵ - دو دیسک دایره‌ای شکل A و B به شعاع 20 cm و 40 cm به ترتیب در دمای 200°C و 100°C وجود دارد. در چه دمایی مقدار انبساط سطحی B دو برابر انبساط سطحی A می‌شود؟
- ۶ - سقف یک خانه به ابعاد 9×6 متر از جنس آجر یک لایه با ضخامت 10 cm است. در یک روز زمستانی دمای بیرون خانه 15 درجهٔ سلسیوس کمتر از دمای درون خانه است. اتلاف انرژی از سقف در مدت یک شبانه‌روز چقدر است؟

پروژه پایانی

- ۱- حسگر (سنسور) حرارتی وسیله‌ای برای هشدار حریق است. در مورد انواع مختلف این حسگرها و شیوه کار آنها تحقیق کنید و نتایج آن را با مباحث فصل تحلیل کنید.
- ۲ - با توجه به آموخته‌های این فصل، در مورد عایق‌های گرمایی تحقیق نمایید و با دانش خود وسیله‌ای (مثلاً فلاسک) طراحی کنید.