دما کمّیتی است که میزان سردی و گرمی اجسام را مشخص می‌کند.

**کمّیت دماسنجی** هر مشخصهٔ قابل اندازه‌گیری که با گرمی و سردی جسم تغییر می‌کند.

تغییر کمّیت دماسنجی، اساس کار دماسنج‌هاست.

ساده‌ترین و رایج‌ترین نوع دماسنج، دماسنج‌های جیوه‌ای[1] و الکلی است در این دماسنج‌ها، کمّیت دماسنجی، ارتفاع مایع درون لولهٔ دماسنج است؛ زیرا به جز چند مورد استثنا تمام مواد با افزایش دما، منبسط و با کاهش ان منقبض می‌شوند.

**مقیاس‌های دما :** یکی از مقیاس‌های متداول دما، مقیاس دما برحسب درجهٔ سلسیوس است. این مقیاس مبتنی بر دو نقطهٔ ثابت است : یکی دمایی که در آن آب خالص در فشار جوّ متعارف (۱atm) شروع به یخزدن می‌کند و دیگری دمایی که آب خالص در فشار جوّ متعارف در حال جوشیدن است. به نقطهٔ اوّل، عدد صفر و به نقطهٔ دوم، عدد ۱۰۰ را اختصاص می‌دهند و فاصلهٔ بین این دو را به ۱۰۰ قسمت مساوی تقسیم می‌کنند و هر قسمت را ۱ درجه می‌نامند (شکل ۴ـ۲). قبلاً به چنین دماسنجی، دماسنج با مقیاس سانتی‌گراد[2] گفته می‌شد. یکای درجهٔ سلسیوس را با نماد $^{\circ}\mathrm{C}$ ، و دما برحسب درجهٔ سلسیوس را معمولاً با $\theta$ نمایش می‌دهند.

از سال ۱۹۵۴ میلادی، یکای دیگری به نام کلوین به عنوان مقیاس بین‌المللی دما انتخاب شد. این یکا، با نماد K نمایش داده می‌شود. دما برحسب کلوین را معمولاً با $T$ نشان می‌دهند. رابطهٔ میان دما در مقیاس‌های سلسیوس و کلوین به صورت زیر است :

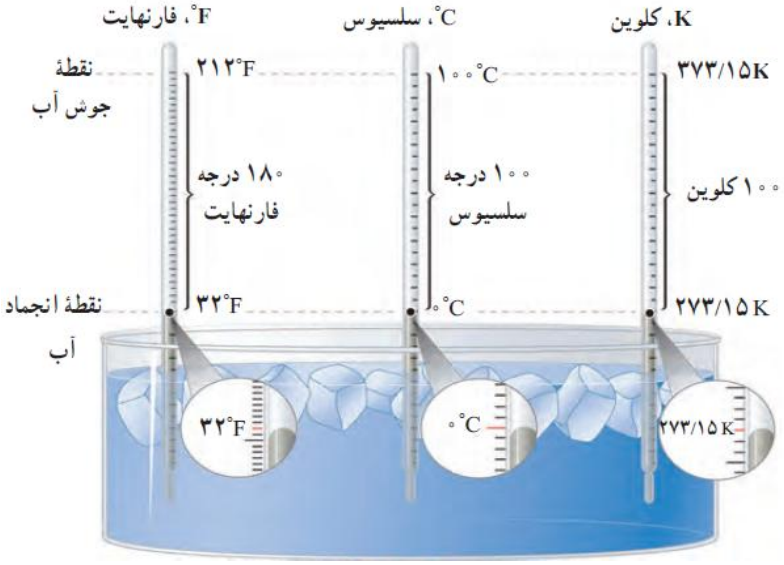
$$T = \theta + ۲۷۳/۱۵$$

صفرِ کلوین برابر $-۲۷۳/۱۵^{\circ}\mathrm{C}$ است که این کمترین دمای ممکن نیز هست

نشان دهید که تغییر دما در مقیاس‌های سلسیوس و کلوین با هم برابر است ($\Delta T = \Delta\theta$).

یکای رایج دیگر دما که هنوز هم در صنعت و هواشناسی کاربرد دارد، فارنهایت است. شکل روبرو مقایسه‌ای از این سه یکای دما را نشان می‌دهد.

با کمی دقت متوجه می‌شویم که رابطهٔ مقیاس دمای فارنهایت ($F$) و سلسیوس ($\theta$) به صورت $F=\frac{۹}{۵}\theta+۳۲$ است.

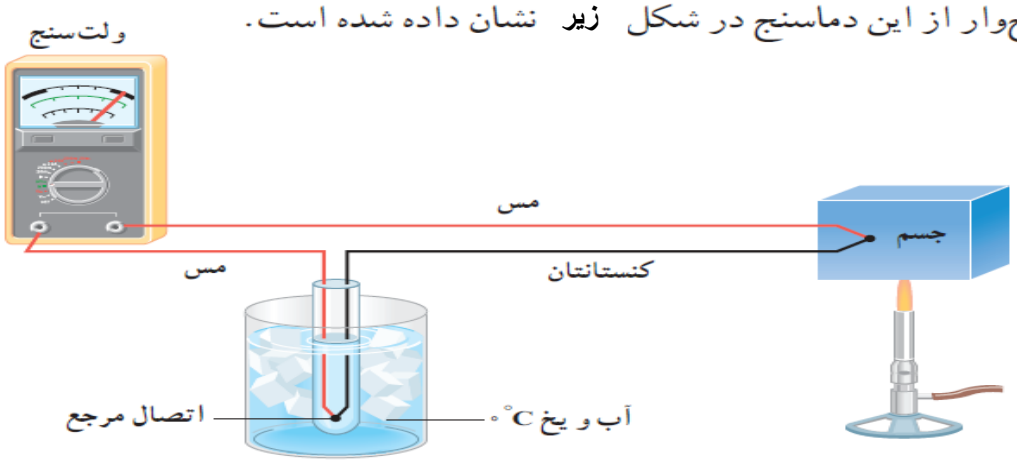



الف) دمای بدن یک انسان سالم تقریباً ۳۷°C است. این دما را برحسب کلوین و فارنهایت بنویسید.

ب) گرم‌ترین نقطهٔ روی زمین، ناحیه‌ای در کویر لوت است که دمای آن تا حدود ۷۰°C و سردترین نقطه در قطب جنوب است که دمای آن تا ۸۹°C– گزارش شده است. این دماها را برحسب کلوین و فارنهایت به‌دست آورید.

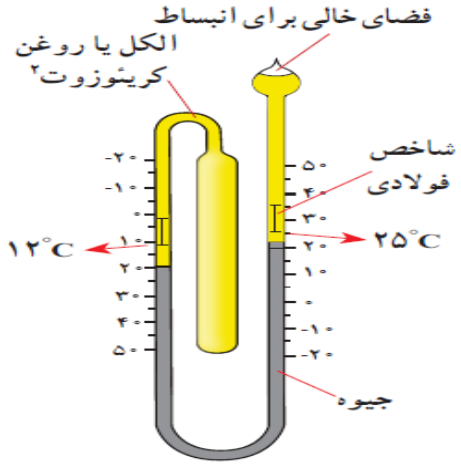
دانشمندان برای کارهای علمی، سه دماسنج را به‌عنوان دماسنج‌های معیار برای اندازه‌گیری گسترهٔ دماهای مختلف پذیرفته‌اند : دماسنج گازی، دماسنج مقاومت پلاتینی و تف‌سنج (پیرومتر).

یکی از دماسنج‌های مهم دیگر که تا پیش از سال ۱۹۹۰ میلادی جزو دماسنج‌های معیار شمرده می‌شد، دماسنج ترموکوپل است که به دلیل دقت کمتر آن نسبت به دماسنج‌های بیان شده، از مجموعه دماسنج‌های معیار کنار گذاشته شد؛ ولی این دماسنج همچنان کاربرد فراوانی در صنعت و آزمایشگاه‌ها دارد. از این‌رو، در ادامه به معرفی این دماسنج می‌پردازیم. کمیت دماسنجی این دماسنج، ولتاژ است. نمونه‌ای طرح‌وار از این دماسنج در شکل **زیر** نشان داده شده است.



مزیت ترموکوپل این است که به دلیل جرم کوچک محل اتصال، خیلی سریع با دستگاهی که دمای آن اندازه‌گیری می‌شود به حالت تعادل گرمایی می‌رسد و به علاوه می‌تواند در مدارهای الکترونیکی به‌کار رود که در بسیاری از وسایل صنعتی، گرمایشی و سرمایشی یافت می‌شود.

نوع ویژه‌ای از دماسنج‌های مایعی که بیشینه و کمینهٔ دما را در یک مدت زمان معیّن نشان می‌دهد، دماسنج بیشینه ــ کمینه نام دارد. از این دماسنج‌ها معمولاً در مراکز پرورش گل و گیاه، باغداری، هواشناسی و . . . استفاده می‌شود. در مورد چگونگی کار این دماسنج‌ها تحقیق کنید.




۱ دماهای زیر را بر حسب درجهٔ سلسیوس و فارنهایت مشخص کنید :

الف) ۰K ب) ۲۷۳K

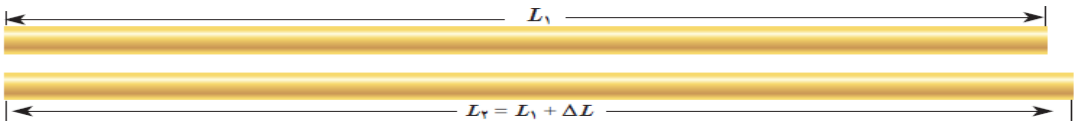
پ) ۳۷۳ K ت) ۵۴۶K

۲ برای اندازه‌گیری دمای یک جسم توسط دماسنج به چه نکاتی باید توجه کنیم؟ (راهنمایی : به نکاتی که در فصل ۱ خواندید نیز توجه کنید)

## انبساط گرمایی

بیشتر اجسام با افزایش دما حجمشان زیاد و با کاهش دما حجمشان کم می‌شود. همان‌طور که دیدیم این پدیده اساس ساخت بعضی از دماسنج‌هاست. بی‌توجهی به پدیدهٔ انبساط در ساختن پل‌ها، ساختمان‌ها، خط‌آهن‌ها، خطوط انتقال نیرو، خطوط انتقال سوخت و . . . می‌تواند مشکل‌هایی را ایجاد کند.

**انبساط طولی :** میله‌ای فلزی به طول اوّلیهٔ $L = L_1$ را در نظر بگیرید. اگر دمای میله را به اندازهٔ $\Delta T$ افزایش دهیم، تجربه نشان می‌دهد که طول میله به اندازهٔ $\Delta L = L_2 - L_1$ افزایش می‌یابد (شکل زیر ب).




آزمایش‌ها نشان می‌دهند که هرچه تغییر دمای میلهٔ فلزی بیشتر باشد، افزایش طول بیشتر است و هرچه طول اوّلیهٔ میله بزرگ‌تر باشد، به ازای یک تغییر دمای مشخص افزایش طول بیشتر خواهد بود. همچنین اگر دمای دو میلهٔ هم‌اندازه که جنس‌های آنها با هم متفاوت است را به یک اندازه افزایش دهیم، میزان افزایش طول آنها متفاوت است. بنابراین، در تغییرات دمایی به نسبت کوچک، $\Delta L$ را می‌توان از رابطهٔ زیر به‌دست آورد :

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

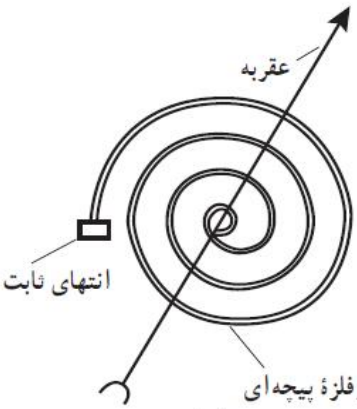
به $\alpha$ ضریب انبساط طولی میله می‌گویند که به جنس میله بستگی دارد.

در رابطهٔ بالا $\Delta L$ و $L_1$ برحسب متر (m)، $\Delta T$ برحسب کلوین (K) یا درجهٔ سلسیوس (°C) و از آنجا یکای $\alpha$، برکلوین (1/K) یا بر درجهٔ سلسیوس (1/°C) تعیین می‌شود.

ضریب انبساط طولی $\alpha$ علاوه بر جنس ماده، به دما نیز اندکی وابسته است، اما به دلیل اینکه این وابستگی ناچیز است، معمولاً آن را در محاسبات معمولی نادیده می‌گیریم.

**دماسنج نواری دوفلزه :** نوار دوفلزه (بی‌متال[1]) از دو تیغهٔ فلزی متفاوت، مانند برنج و آهن ساخته شده است که سرتاسر به هم جوش داده شده یا پرچ شده‌اند. هرگاه این نوار، گرم یا سرد شود، نوار مانند شکل زیر (الف) خم می‌شود (شکل با اندکی اغراق رسم شده است). از این ویژگی می‌توان برای دماسنجی و ساختن دماسنج استفاده کرد. به این نوع دماسنج‌ها، دماسنج نواری دوفلزه گفته می‌شود. شکل زیر (ب)، طرحی از این دماسنج را که در آن از یک نوار دوفلزهٔ پیچه‌ای استفاده شده است، نشان می‌دهد و شکل زیر (پ)، تصویری واقعی از این نوع دماسنج است.

(الف)




(ب)

(پ)

توجیه انبساط گرمایی، مبتنی بر دیدگاه میکروسکوپی است. انبساط گرمایی یک جسم پیامد تغییر فاصلهٔ بین اتم‌ها یا مولکول‌های تشکیل‌دهندهٔ آن است.

با افزایش دمای جامد، فاصلهٔ متوسط بین اتم‌ها افزایش می‌یابد و در نتیجه، جسم جامد منبسط می‌شود.

در مایع با افزایش دما حرکت کاتوره‌ای اتم‌ها و مولکول‌ها بیشتر می‌شود. این افزایش حرکت‌ها باعث دورشدن اتم‌ها و مولکول‌ها از هم می‌شود و حجم مایع افزایش می‌یابد.

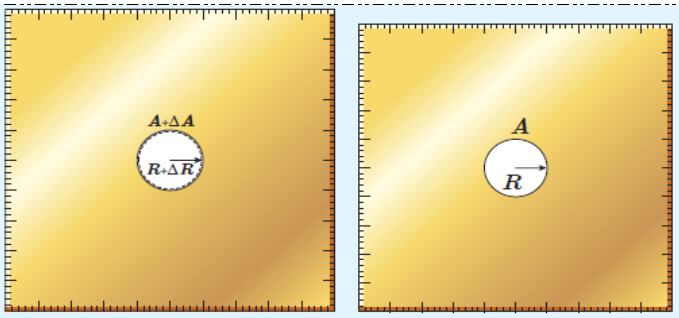
**انبساط سطحی و حجمی :** سطح و حجم بیشتر اجسام با افزایش دما زیاد می‌شود. تجربه نشان می‌دهد با انبساط جسم جامد، شکل آن عوض نمی‌شود و همهٔ ابعاد آن به تناسب افزایش می‌یابد.

در اینجا ابتدا به انبساط سطحی می‌پردازیم. اگر مساحت اولیهٔ جسم جامد $A_1$ و افزایش دما $\Delta T$ باشد، افزایش مساحتی به اندازهٔ $\Delta A$ پیدا می‌کند

افزایش مساحت به‌طور تقریبی از رابطهٔ زیر به دست می‌آید :

$$\Delta A = 2\alpha A_1 \Delta T$$

در این رابطه، $\alpha$ ضریب انبساط طولی جسم جامد با یکای بر کلوین $(1/K)$ یا بر درجهٔ سلسیوس $(1/^\circ C)$ است، یکای $\Delta A$ و $A_1$، مترمربع $(m^2)$ و یکای $\Delta T$، کلوین $(K)$ یا درجهٔ سلسیوس $(^\circ C)$ است.



(ب) (الف)

شکل‌های (الف) و (ب) نشان می‌دهند که وقتی روی یک ورقهٔ فلزی حفره‌ای دایره‌ای داشته باشیم و ورقه را گرم کنیم، قطر (یا مساحت) حفره بزرگ می‌شود. فرض کنید جنس ورقه، برنجی است و حفره‌ای به قطر یک اینچ (2/54 cm) درون آن ایجاد شده است. وقتی دمای ورقه، $200^\circ C$ افزایش یابد، افزایش مساحت حفره چقدرخواهد شد؟

حجم بیشتر اجسام با افزایش دما زیاد می‌شود. اگر حجم اولیهٔ جسم (جامد یا مایع) $V_1$ و افزایش دما $\Delta T$ باشد، جسم افزایش حجمی به اندازهٔ $\Delta V$ پیدا می‌کند که از رابطهٔ زیر به دست می‌آید :

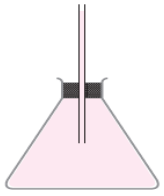
$$\Delta V = \beta V_1 \Delta T$$

در این رابطه، $\beta$ ضریب انبساط حجمی جامد یا مایع است. یکای $\Delta V$ و $V_1$ مترمکعب ($m^3$)، یکای $\Delta T$ ، کلوین (K) یا درجهٔ سلسیوس ($^\circ C$) و از آنجا یکای $\beta$، بر کلوین ($1/K$) یا بر درجهٔ سلسیوس ($1/^\circ C$) است.

انبساط طولی بیشترجامدها در راستاهای مختلف، با ضریب انبساط طولی یکسان صورت می‌گیرد. می‌توان نشان داد که ضریب انبساط حجمی این جامدها با تقریب مناسبی سه برابر ضریب انبساط طولی آنهاست.

$$\beta_{\text{جامد}} = 3\alpha$$

چون مایع‌ها شکل معینی ندارند، انبساط آنها را فقط به‌صورت حجمی بررسی می‌کنیم.



ارلنی شیشه‌ای با ضریب انبساط طولی $9/0 \times 10^{-6}/^\circ C$ را که در دمای $20/0^\circ C$ گنجایشی برابر با $200 cm^3$ دارد، مطابق شکل با گلیسیرین در همان دما پر کرده‌ایم. اگر دمای ظرف و گلیسیرین را به $60^\circ C$ برسانیم

الف) آیا گلیسیرین از ظرف بیرون می‌ریزد؟

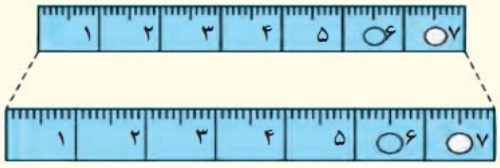
ب) اگر پاسخ قسمت (الف) مثبت است، حجم گلیسیرین سرریز شده چقدر است؟

افزایش دما که به طور معمول موجب افزایش حجم اجسام می‌شود، بر جرم آنها تأثیری ندارد. به همین دلیل انتظار داریم که چگالی اجسام با افزایش دما کاهش یابد. رابطهٔ چگالی با تغییر دما به صورت $\rho_2 = \rho_1/(1+\beta\Delta T)$ است که در آن $\rho_1$ و $\rho_2$ به ترتیب چگالی ماده در دماهای $T_1$ و $T_2$، $\beta$ ضریب انبساط حجمی و $\Delta T = T_2 - T_1$ است.

الف) رابطهٔ چگالی با تغییر دما را به دست آورید.

ب) نشان دهید با تقریب مناسبی می‌توان چگالی جسم را از رابطهٔ $\rho_2 = \rho_1(1-\beta\Delta T)$ نیز به دست آورد.

۳ شکل زیر، یک خط‌کش فلزی را که در آن سوراخی ایجاد شده است در دو دمای متفاوت نشان می‌دهد (برای روشن بودن مطلب، انبساط به‌صورت اغراق آمیزی رسم شده است.) از این شکل چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

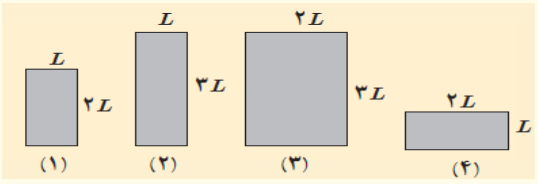



۴ شکل زیر چهار صفحهٔ فلزی هم‌جنس به اضلاع متفاوت را در یک دما نشان می‌دهد. اگر دمای همهٔ آنها را به اندازهٔ یکسان زیاد کنیم،

الف) ارتفاع کدام صفحه یا صفحه‌ها بیشتر افزایش پیدا می‌کند؟

ب) مساحت کدام یک بیشتر افزایش پیدا می‌کند؟

پ) اگر در هر چهارتای آنها روزنهٔ کوچک هم‌اندازه‌ای وجود داشته باشد، افزایش قطر چهار روزنه در اثر افزایش دمای یکسان را با هم مقایسه کنید.




۵ یک بزرگراه از بخش‌های بتونی به طول ۲۵/۰ m ساخته شده است. این بخش‌ها در دمای ۱۰/۰°C، بتون‌ریزی و عمل آورده شده‌اند. برای جلوگیری از تاب برداشتن بتون در دمای ۵۰/۰°C، مهندسان باید چه فاصله‌ای را بین این قطعه‌ها در نظر بگیرند؟ $(\alpha_{\text{بتون}} \approx 14 \times 10^{-6} K^{-1})$

۶ یک ظرف آلومینیمی با حجم $400\ cm^3$ در دمای $20/0^\circ C$ به‌طور کامل از گلیسیرین پر شده است. اگر دمای ظرف و گلیسیرین به $30/0^\circ C$ برسد، چقدر گلیسیرین از ظرف بیرون می‌ریزد؟

۷ مقداری بنزین در مخزنی استوانه‌ای به ارتفاع $h=10\ m$ ریخته شده است. در دمای $-10^\circ C$ فاصلهٔ بین سطح بنزین تا بالای ظرف برابر $\Delta h=50\ cm$ است. اگر از انبساط ظرف در نتیجهٔ افزایش دما چشم‌پوشی شود، در چه دمایی بنزین از ظرف سرریز می‌شود؟

۸ در شکل زیر با کاهش دما، نوار دوفلزه به طرف پایین خم می‌شود. اگر یکی از نوارها، برنجی و نوار دیگر فولادی باشد؛

الف) نوار بالایی از چه جنسی است؟

ب) اگر نوارها را گرم کنیم به کدام سمت خم می‌شوند.

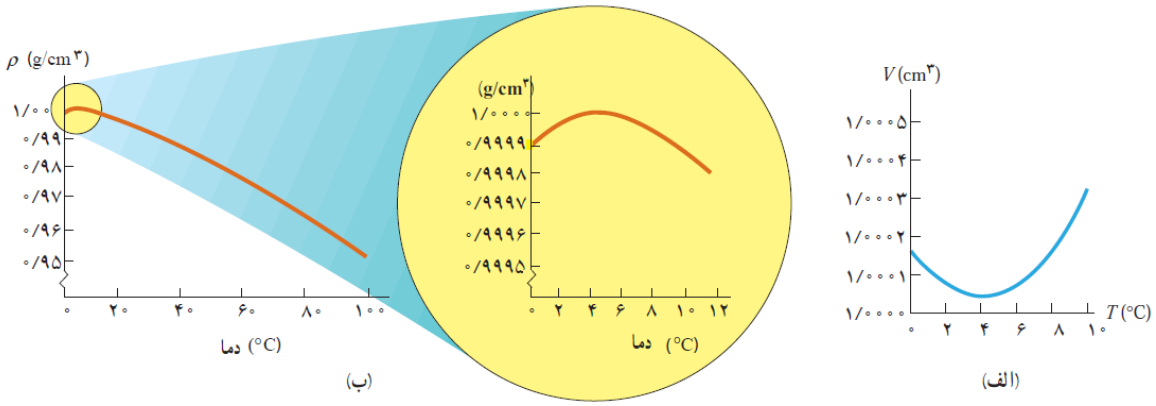
۹ طول خط‌های لولهٔ گاز، نفت و فراورده‌های نفتی در کشورمان که عمدتاً مواد سوختی را از جنوب کشور به مرکز و شمال منتقل می‌کند به چند هزار کیلومتر می‌رسد. دمای هوا در زمستان ممکن است تا $-10^\circ C$ و در تابستان تا $+50^\circ C$ برسد. جنس این لوله‌ها عموماً از فولاد با $\alpha \approx 10 \times 10^{-6} K^{-1}$ است. طول خط لوله، بین دو ایستگاه تهران ــ اصفهان تقریباً $230\ km$ است.

الف) در اثر این اختلاف دما، این خط چقدر منبسط می‌شود؟

ب) چگونه می‌توان تأثیر این انبساط را برطرف کرد؟

۱۰ در یک روز گرم یک باری مخزنی حامل سوخت با ۳۰,۰۰۰L بنزین بارگیری شده است. دمای هوا در محل تحویل سوخت ۲۰/۰°C کمتر از محلی، است که در آنجا سوخت بار زده شده است. راننده چند لیتر سوخت را در این محل تحویل می‌دهد؟

**انبساط غیرعادی آب :** در زمستان‌های سرد، سطح آب آبگیرها و دریاچه‌های کوچک یخ می‌زند و به تدریج یخ ضخیم‌تر می‌شود؛ اما در ته آبگیرها، دمای آب بالاتر از ۰°C بوده و برای موجودات زنده‌ای که آنجا زندگی می‌کنند، نسبتاً گرم و مناسب است. در واقع حجم بیشتر مایع‌ها با کم شدن دما کاهش و در نتیجه چگالی آنها افزایش می یابد، ولی رفتار آب در محدودهٔ دمایی ۰°C تا ۴°C متفاوت است؛ یعنی در این محدوده با کاهش دما، حجم آب افزایش و در نتیجه چگالی آن کاهش می‌یابد.




هرگاه جسمی با دمای بیشتر در تماس گرمایی با جسمی با دمای کمتر قرار گیرد، بر اثر اختلاف دمای دو جسم، انرژی از جسم گرم‌تر به جسم سردتر منتقل می شود. به این انرژی انتقال یافته بر اثر اختلاف دمای دو جسم، گرما گفته می‌شود.

چون گرما، انرژی انتقال یافته است، پس باید همان یکای انرژی (ژول) را داشته باشد. یکای دیگر گرما، کالری است که در موارد خاصی مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱ cal=۴/۱۸۶۰ J).

وقتی دو جسم سرد و گرم در تماس با یکدیگر قرار می‌گیرند، از دیدگاه میکروسکوپی، انچه که اتفاق می‌افتد کاهش انرژی‌های پتانسیل و جنبشی مربوط به حرکت‌های کاتوره‌ای اتم‌ها، مولکول‌ها و سایر اجزای میکروسکوپی داخل جسم گرم، و افزایش همین انرژی‌ها در داخل جسم سرد است تا آنکه دو جسم به تعادل گرمایی برسند (شکل زیر ').

ا وقتی دو جسم با دمای متفاوت را در تماس با یکدیگر قرار می‌دهیم، انرژی از جسم گرم به جسم سرد، منتقل می‌شود. با رسیدن به تعادل گرمایی، دیگر گرمایی منتقل نمی شود.

**ظرفیت گرمایی :** اگر جسمی با محیط اطراف خود گرمای $Q$ را مبادله کند و در اثر این مبادلهٔ گرما، دمایش به اندازهٔ $\Delta T$ تغییر کند، $Q$ متناسب با $\Delta T$ است که ضریب این تناسب را با $C$ نشان می‌دهند، به‌طوری‌که :

$$Q = C\,\Delta T$$

به $C$، ظرفیت گرمایی جسم گفته می‌شود که به جنس جسم و جرم آن بستگی دارد. در رابطهٔ زیر یکای $Q$، ژول (J) و یکای $\Delta T$، کلوین (K) است؛ بنابراین، یکای $C$، ژول بر کلوین (J/K) می‌شود.

**گرمای ویژه** مقدار گرمایی است که باید به یک کیلوگرم از آن جسم داده شود تا دمای آن یک درجهٔ سلسیوس (یا یک کلوین) افزایش یابد. گرمای ویژه را با $c$ نشان می‌دهند

$$Q = mc\Delta T$$

در رابطهٔ بالا یکای $Q$، ژول (J) و یکای $m$، کیلوگرم (kg) و یکای $\Delta T$، کلوین (K) است؛ بنابراین، یکای $c$ در SI، ژول بر کیلوگرم ـ کلوین (J/kg.K) است.
گرمای ویژهٔ یک جسم به جنس مادّهٔ تشکیل دهندهٔ آن و دما بستگی دارد.

**دمای تعادل :** اگر دو یا چند جسم با دماهای مختلف در تماس با یکدیگر قرارگیرند، پس از مدتی هم‌دما می‌شوند، یعنی دمای آنها به مقدار یکسانی می‌رسد. به این دما، دمای تعادل می‌گویند

با استفاده از قانون پایستگی انرژی $Q_1 + Q_2 + Q_3 + \ldots = 0$

هرگاه چند جسم متفاوت با گرماهای ویژهٔ $c_1$، $c_2$، $c_3$ و ... به جرم‌های $m_1$، $m_2$، $m_3$ و ... با دماهای اولیهٔ $\theta_1$، $\theta_2$، $\theta_3$ و ... را در تماس با یکدیگر قرار دهیم با استفاده از رابطهٔ زیر معادله‌ای به دست می‌آوریم که می‌توان دمای تعادل $\theta$ را از آن محاسبه کرد.

$$m_1 c_1(\theta - \theta_1) + m_2 c_2(\theta - \theta_2) + m_3 c_3(\theta - \theta_3) + \ldots = 0$$

**گرماسنج و گرماسنجی :** گرماسنج که به آن کالری‌متر نیز می‌گویند شامل ظرفی است درپوش‌دار که به خوبی عایق‌بندی گرمایی شده است ( شکل روبر ) این ظرف در آزمایش‌های گرماسنجی مانند تعیین گرمای ویژهٔ اجسام، به‌کار می‌رود. در گرماسنج مقداری آب با جرم معین می‌ریزیم و پس از هم‌دما شدن آب و گرماسنج، دمای آب را اندازه می‌گیریم. سپس جسمی را که می‌خواهیم گرمای ویژه‌اش را پیدا کنیم و جرم و دمای اولیهٔ آن معلوم است، درون گرماسنج قرار می‌دهیم. آنگاه به کمک همزن آب را به هم می‌زنیم تا مجموعه سریع‌تر به دمای تعادل برسد. پس از برقراری تعادل گرمایی، دمای تعادل را اندازه می‌گیریم.

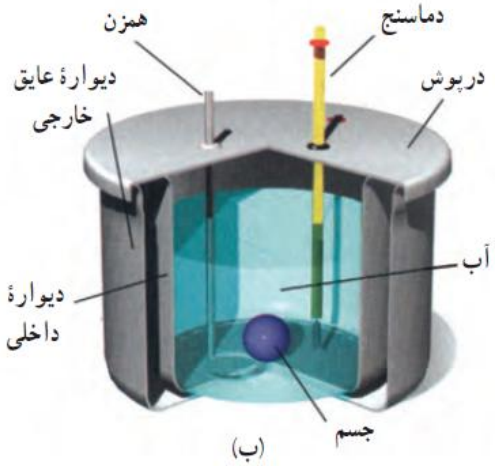
با استفاده از رابطه‌های بالا و با چشم‌پوشی از اثر ناچیز دماسنج و همزن در مبادلهٔ گرما داریم :

$$Q_{\text{آب}} + Q_{\text{جسم}} + Q_{\text{ظرف}} = 0$$

$$m_{\text{آب}} c_{\text{آب}}(\theta - \theta_{\text{آب}_1}) + m_{\text{جسم}} c_{\text{جسم}}(\theta - \theta_{\text{جسم}_1}) + m_{\text{ظرف}} c_{\text{ظرف}}(\theta - \theta_{\text{ظرف}_1}) = 0$$

به کمک این رابطه می‌توانیم گرمای ویژهٔ جسم را به دست آوریم. معمولاً در مورد گرماسنج به جای آنکه جرم و گرمای ویژهٔ ظرف گرماسنج را جداگانه معلوم کنند، ظرفیت گرمایی ظرف گرماسنج را مشخص می‌کنند.

(الف)




(ب)

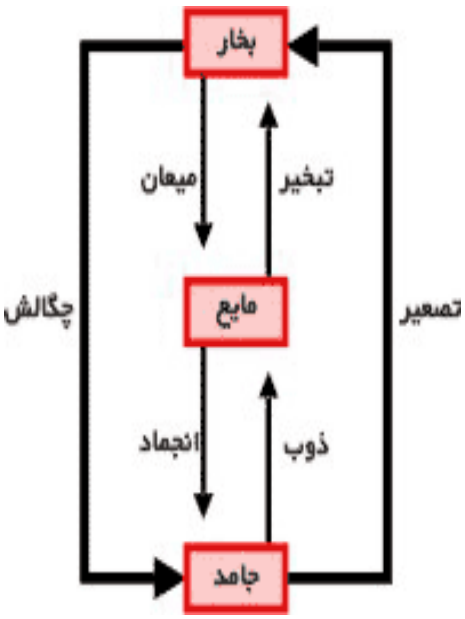
(الف) عکسی واقعی و (ب) طرحی از نمای داخلی یک گرماسنج

**۱۱** برای گرم کردن ۲۰۰g آب جهت تهیهٔ چای، از یک گرمکن الکتریکی غوطه‌ور در آب استفاده می‌کنیم. روی برچسب گرمکن ۲۰۰W نوشته شده است. با نادیده گرفتن اتلاف گرما، زمان لازم برای رساندن دمای آب از ۳۰/۰°C به ۱۰۰°C را محاسبه کنید.

۱۲ دمای یک قطعه فلز ۰/۶۰ کیلوگرمی را توسط یک گرمکن ۵۰ واتی در مدت ۱۱۰s از ۱۸°C به ۳۸°C رسانده‌ایم. این آزمایش برای گرمای ویژهٔ فلز چه مقداری را به‌دست می‌دهد؟ حدس می‌زنید که این پاسخ از مقدار واقعی گرمای ویژه فلز بیشتر باشد یا کمتر؟ توضیح دهید.

۱۳ گرماسنجی به جرم ۲۰۰ گرم از مس ساخته شده است. یک قطعهٔ ۸۰ گرمی از یک مادهٔ نامعلوم همراه با ۵۰ گرم آب به درون گرماسنج ریخته می‌شود. اکنون دمای این مجموعه ۳۰°C شده است. در این هنگام ۱۰۰ گرم آب ۷۰°C به گرماسنج اضافه می‌شود، دمای تعادل ۵۲°C می‌شود. گرمای ویژهٔ قطعه را محاسبه کنید.

**تغییر حالت‌های ماده** موادی که در اطراف ما وجود دارند معمولاً در سه حالت (فاز) جامد، مایع و گاز (بخار[۱]) یافت می‌شوند. گذار از یک حالت (فاز) به یک حالت (فاز) دیگر را یک تغییر حالت (گذار فاز) می‌نامند. تغییر حالت‌ها معمولاً با گرفتن و یا از دست دادن گرما همراه‌اند.




تبدیل جامد به مایع را ذوب، تبدیل مایع به بخار را تبخیر و تبدیل مایع به جامد را انجماد و تبدیل بخار به مایع را چگالش بخار به مایع یا میعان می‌نامیم. امکان دارد که تغییر حالت از جامد به بخار و وارون آن از بخار به جامد نیز به‌طور مستقیم و بدون گذر از حالت مایع صورت گیرد. تغییر حالت از جامد به بخار، تصعید و تغییر حالت وارون آن، یعنی از بخار به جامد چگالش بخار به جامد گفته می‌شود. برای مثال، نفتالین در دمای اتاق به طور مستقیم از جامد به بخار تبدیل می‌شود، یا در صبح‌های بسیار سرد زمستان، برفکی که روی گیاهان و یا روی شیشهٔ پنجره می‌نشیند، بخار آبی است که به‌طور مستقیم به بلورهای یخ تبدیل شده است.

**تغییر حالت جامد ــ مایع :** دیدیم که اگر به جسم جامدی گرما دهیم، دمای آن افزایش می‌یابد. اگر عمل گرما دادن را برای جامدهای خالص و بلورین ادامه دهیم، وقتی دمای جسم به مقدار مشخصی برسد، افزایش دما متوقف می‌شود و دما ثابت باقی می‌ماند. در این حالت، جسم شروع به ذوب شدن می‌کند و به مایع تبدیل می‌شود. این دمای ثابت را نقطهٔ ذوب یا دمای گذار جامد به مایع می‌نامند که به جنس جسم و فشار وارد بر آن بستگی دارد. به استثنای چند مورد خاص، حجم جامدهای بلوری هنگام ذوب شدن افزایش می‌یابد؛ زیرا حجمی که بلور با آرایش منظم مولکول‌ها در حالت جامد اشغال می‌کند، نسبت به این حجم در حالت مایع که آرایش مولکولی نامنظمی دارد، کمتر است.

برخلاف جامدهای خالص و بلورین، جامدهای بی‌شکل مانند شیشه و جامدهای ناخالصی مانند قیر نقطهٔ ذوب کاملاً مشخصی ندارند. در واقع وقتی این مواد را گرم می‌کنیم، پیش از ذوب شدن خمیری‌شکل می‌شوند. این مواد در گستره‌ای از دما به‌تدریج ذوب می‌شوند.

معمولاً افزایش فشار وارد بر جسم سبب بالا رفتن نقطهٔ ذوب جسم می‌شود. اما در برخی مواد *مانند یخ*، افزایش فشار به *کاهش نقطهٔ ذوب می‌انجامد* که این در مورد یخ بسیار ناچیز است.

عمل ذوب، فرایندی گرماگیر است؛ یعنی به جسم جامدی که به دمای ذوب خود رسیده باشد باید گرما بدهیم تا به مایع تبدیل شود، زیرا مولکول‌های جامد باید از ساختار صلب قبلی خود رها شوند. **این گرما، دمای جسم را تغییر نمی‌دهد**

انجماد یک مایع و تبدیل آن به یک جامد، عکس فرایند ذوب شدن است و لازمهٔ این فرایند گرفتن گرما از مایع است تا مولکول‌ها بتوانند در یک ساختار جدید قرار گیرند. در اینجا نیز تغییر حالت بدون تغییر دما رخ می‌دهد. گرمای منتقل‌شده برای تغییر حالت جسم از جامد به مایع یا از مایع به جامد، با جرم جسم نسبت مستقیم دارد. نسبت این گرما به جرم ای نهان ویژهٔ ذوب می‌گویند که به‌اختصار آن را گرمای نهان ذوب را با $L_F$ نشان می‌دهیم[1].

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

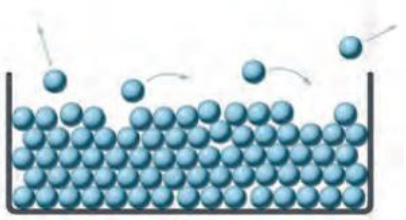
گرمای نهان ذوب بستگی به جنس جسم دارد و یکای آن در SI ژول بر کیلوگرم (J/kg) است. بنابراین، وقتی نمونه‌ای به جرم $m$ کاملاً تغییر فاز دهد گرمای منتقل شده برابر با $Q = mL_F$ است.

وقتی تغییر فاز از جامد به مایع انجام می‌شود، جسم گرما می‌گیرد ($Q > 0$) :

$$Q = +mL_F$$

و اگر تغییر فاز از مایع به جامد انجام شود، جسم گرما از دست می‌دهد ($Q < 0$) :

$$Q = -mL_F$$



در حین تبخیر سطحی، مولکول‌های پرانرژی‌تر از سطح مایع می‌گریزند.

**تغییر حالت مایع ــ بخار :** دیدیم که به تبدیل مایع به بخار تبخیر[1] می‌گویند. خشک شدن لباس خیسی که روی بند رخت آویخته شده است، یا خشک شدن سریع یک زمین خیس در هوای گرم تابستان مثال‌هایی از نوعی تبخیر هستند که به آن تبخیر سطحی[2] گفته می‌شود. تا پیش از رسیدن به نقطهٔ جوش مایع، تبخیر به‌طور پیوسته‌ای از سطح مایع رخ می‌دهد. در پدیدهٔ تبخیر سطحی، تندی برخی از مولکول‌های مایع به حدّی می‌رسد که می‌توانند از سطح مایع فرار کنند (شکل ). تجربه نشان می‌دهد آهنگ رخ دادن این فرایند به عواملی از جمله دما و مساحت سطح مایع بستگی دارد.

وقتی مایعی را روی اجاقی قرار می‌دهیم، با گرم کردن مایع به دمای مشخصی می‌رسیم که در آن حباب‌های گاز از درون مایع بالا می‌آیند که نشانه‌ای از آغاز فرایندی موسوم به جوشیدن[1] است.

در جوشیدن، کلّ مایع در فرایند تبخیر شرکت می‌کند. به فرایند تبخیر تا پیش از رسیدن به نقطهٔ جوش، تبخیر سطحی و به فرایند تبخیر در نقطهٔ جوش، اصطلاحاً جوشیدن می‌گویند، در حالی‌که هر دو فرایند، تبخیرند.

تجربه نشان می‌دهد که گرمای منتقل شده برای تبخیر هر مایع با جرم آن نسبت مستقیم دارد. نسبت این گرما به جرم مایع بخار شده را گرمای نهان ویژه تبخیر می‌نامیم که برای سادگی گرمای نهان تبخیر نامیده می‌شود و آن را با $L_V$[1] نشان می‌دهیم.

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

گرمای نهان تبخیر هر مایع به جنس و دمای آن بستگی دارد و یکای آن در SI ژول بر کیلوگرم (J/kg) است

گرمای لازم برای تبخیر مایعی به جرم $m$ که گرمای تبخیر آن $L_V$ است از رابطهٔ $Q = +mL_V$ به دست می‌آید. علامت مثبت نشان دهندهٔ آن است که مایع هنگام تبخیر گرما می‌گیرد.

جوش هر مایع به جنس و فشار وارد بر آن بستگی دارد. افزایش فشار وارد بر مایع سبب بالا رفتن نقطهٔ جوش آن می‌شود.

الف) چرا غذا در دیگ زودپز، زودتر پخته می‌شود؟

ب) دلیل دیرتر پخته شدن تخم‌مرغ در ارتفاعات چیست؟ کوهنوردان برای رفع این مشکل چه کاری انجام می‌دهند؟

قطعه یخی به جرم ۱/۰kg و دمای اولیهٔ ۲۰°C− را آن قدر گرم می‌کنیم تا تمام آن تبدیل به بخار ۱۰۰°C شود. کل گرمای مورد نیاز برای این تبدیل چند کیلو ژول است؟

تبدیل بخار به مایع نیز در طبیعت رخ می‌دهد و گاهی قطره‌های مایعی از بخار روی سطوح جامد تشکیل می‌شود. به این پدیده، میعان گفته می‌شود. در واقع میعان، وارون فرایند تبخیر است. بنابراین، بخار گرما از دست می‌دهد و به مایع تبدیل می‌شود. گرمای مربوط به میعان مقداری بخار به جرم $m$ و گرمای نهان تبخیر $L_V$ از رابطهٔ $Q = -mL_V$ محاسبه می‌شود. علامت منفی نشان‌دهندهٔ آن است که بخار هنگام میعان گرما از دست می‌دهد و باعث گرم شدن اجسام پیرامون خود می‌شود؛ مثلاً یکی از عواملی که موجب می‌شود در هوایی که رطوبت آن زیاد است، احساس گرمای بیشتری بکنیم، همین میعان بخار آب روی بدنمان است.

۱۴ یکی از روش‌های بالابردن دمای یک جسم، دادن گرما به آن است. اگر به جسمی گرما دهیم، آیا دمای آن حتماً بالا می‌رود؟ توضیح دهید.

۱۵ قبل از تزریق دارو یا سرُم به یک بیمار، محل تزریق را با الکل تمیز می‌کنند. این کار سبب احساس خنکی در محل تزریق می‌شود. علت را توضیح دهید.

۱۶ کدام گزینه دربارهٔ فرایند ذوب نادرست است؟

الف) افزایش فشار وارد بر جسم در بیشتر مواد، سبب پایین‌رفتن نقطهٔ ذوب می‌شود.

ب) افزایش فشار بر روی یخ، سبب کاهش اندک نقطهٔ ذوب آن می‌شود.

پ) فرایند ذوب، عملی گرماگیر است.

ت) گرمایی که جسم جامد در نقطهٔ ذوب خود می‌گیرد تا به مایع تبدیل شود، سبب تغییر دمای آن نمی‌شود.

۱۷ کمترین گرمای لازم برای ذوب کامل ۲۰۰g نقره که در آغاز در دمای ۲۰/۰°C قرار دارد چقدر است؟ (فشار هوا را یک اتمسفر فرض کنید)

۱۸ یک راه برای جلوگیری از سرد شدن بیش از حد یک سالن سربسته در شب‌هنگام، وقتی که دمای زیر صفر پیش‌بینی شده است، قرار دادن تشت بزرگ پر از آب در سالن است. اگر جرم آب درون تشت ۱۵۰kg و دمای اولیهٔ آن ۲۰/۰°C باشد و همهٔ آن به یخ ۰/۰°C تبدیل شود، آب چقدر گرما به محیط پیرامونش می‌دهد؟

۱۹ یک گرمکن ۵۰ واتی به‌طور کامل در ۱۰۰ گرم آب درون یک گرماسنج قرار داده می‌شود.

الف) این گرمکن در مدت یک دقیقه دمای آب و گرماسنج را از ۲۰°C به ۲۵°C می‌رساند. ظرفیت گرمایی گرماسنج را حساب کنید.

ب) چه مدت طول می‌کشد تا دمای آب درون گرماسنج از ۲۵°C به نقطهٔ جوش (۱۰۰°C) برسد؟

پ) چه مدت طول می‌کشد تا ۲۰ گرم آب در حال جوش درون این گرماسنج به بخار تبدیل شود؟

۲۰ گرمکنی در هر ثانیه ۲۰۰/۰ ژول گرما می‌دهد. الف) چقدر طول می‌کشد تا این گرمکن ۰/۱۰۰ کیلوگرم آب ۱۰۰°C را به بخار آب ۱۰۰°C تبدیل کند؟ ب) این گرمکن در همین مدت، چه مقدار یخ ۰°C را می‌تواند به آب ۰°C تبدیل کند؟

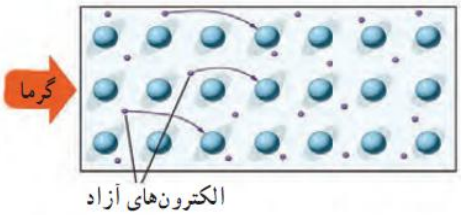
۲۲ در چالهٔ کوچکی ۱/۰۰ kg آب ۰/۰°C قرار دارد. اگر بر اثر تبخیر سطحی قسمتی از آب تبخیر شود و بقیهٔ آن یخ ببندد، جرم آب یخ‌زده چقدر می‌شود؟

۲۳ در گروهی از جانوران خونگرم و انسان، تبخیر عرق بدن، یکی از راه‌های مهم تنظیم دمای بدن است.
الف) چه مقدار آب تبخیر شود تا دمای بدن شخصی به جرم ۵۰/۰ kg به اندازهٔ ۱/۰۰°C کاهش یابد؟ گرمای نهان تبخیر آب در دمای بدن (۳۷°C) برابر $۲/۴۲\times۱۰^{۶}$ J/kg و گرمای ویژهٔ بدن در حدود ۳۴۸۰ J/kg.K است. ب) حجم آبی که شخص باید برای جبران آب تبخیر شده بنوشد، چقدر است؟

**روش‌های انتقال گرما** شارش گرما به سه صورت متفاوت انجام می‌شود که عبارت‌اند از : رسانش گرمایی، همرفت و تابش گرمایی

اختلاف دما باعث شارش گرما از جسم با دمای بالاتر به جسم با دمای پایین‌تر می‌شود.
انتقال گرما، از جسم گرم به جسم سرد تا وقتی ادامه می‌یابد که دو جسم هم‌دما شوند و اصطلاحاً به تعادل گرمایی برسند.

در نافلزات گرما صرفاً از طریق ارتعاش اتم‌ها انتقال می‌یابد. در شکل، این انتقال ارتعاشات توسط فنرها شبیه‌سازی شده است.



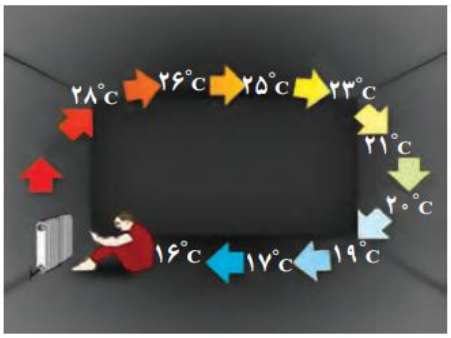

الکترون‌های آزاد با برخورد به یکدیگر و اتم‌ها موجب رسانش بهتری برای گرما می‌شوند.

**رسانش گرمایی :** بسیاری از ما این تجربه را داریم که انتهای قاشق فلزی درون ظرف غذای روی اجاق روشن را با دست گرفته و داغی آن را احساس کرده‌ایم. اما همچنین دیده‌ایم اجسامی دیگر مانند شیشه، چوب و... نیز می‌توانند گرما را تا حدودی انتقال دهند. رسانش گرمایی در این اجسام، به دلیل ارتعاش اتم‌ها و گسترش این ارتعاش‌ها در طول آنهاست (شکل ). به جهت نبودِ الکترون‌های آزاد، این اجسام رساناهای گرمایی خوبی نیستند. به همین دلیل از برخی از این مواد در دیوارها و سقف بناها استفاده می‌کنند تا حتی‌الامکان از خروج گرما در زمستان و ورود آن در تابستان جلوگیری کنند.

اما در فلزات افزون بر ارتعاش‌های اتمی، الکترون‌های آزاد نیز در انتقال گرما نقش دارند. بنابراین، نسبت به سایر اجسام، رساناهای گرمایی بسیار بهتری هستند. در واقع چون الکترون‌ها بسیار کوچک‌اند و به سرعت حرکت می‌کنند با برخورد با سایر الکترون‌ها و اتم‌ها سبب رسانش گرما می‌شوند (شکل ۴ــ ۲۷). بنابراین، در رساناهای فلزی سهم الکترون‌های آزاد در رسانش گرما بیشتر از اتم‌هاست.

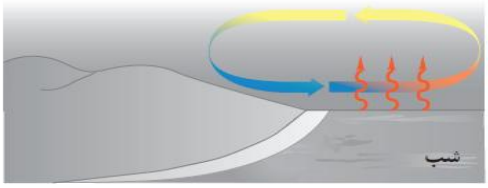
## همرفت :

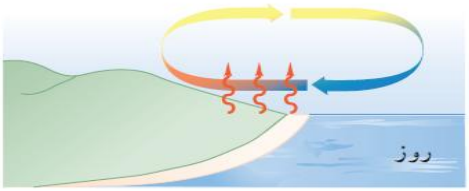
انتقال گرما در مایعات و گازها که معمولاً رساناهای گرمایی خوبی نیستند عمدتاً به روش همرفت، یعنی همراه با جابه‌جایی بخشی از خود ماده، انجام می‌گیرد. همان‌طور که در کتاب علوم هشتم دیدید این پدیده بر اثر کاهش چگالی شاره با افزایش دما صورت می‌گیرد. انتقال گرما به روش همرفت را می‌توان به سادگی با انجام آزمایش نمایش داد.



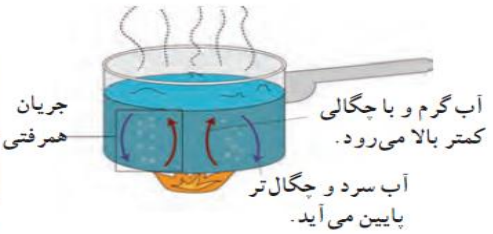

گرم شدن هوای اتاق به روش همرفت

همرفت می‌تواند در همهٔ شاره‌ها، چه مایع و چه گاز، به وقوع بپیوندد. در همرفت، بر خلاف رسانش گرمایی، انتقال گرما با انتقال بخش‌هایی از خود ماده صورت می‌گیرد و وقتی شاره در تماس با جسمی گرم‌تر از خود قرار گیرد، فاصلهٔ متوسط مولکول‌ها در بخشی از شاره که در تماس با جسم گرم است، افزایش می‌یابد؛ بدین‌ترتیب حجم آن زیاد می‌شود، در نتیجه چگالی این قسمت از شاره کاهش می‌یابد؛ چون اکنون چگالی این شارهٔ انبساط‌یافته کمتر از شارهٔ سردتر اطراف خود است. نیروی شناوری (بنا به اصل ارشمیدس) موجب بالا رفتن آن می‌شود. آن‌گاه مقداری از شارهٔ سردتر اطراف آن، جایگزین شارهٔ گرم‌تر می‌شود که بالا رفته است و این فرایند به همین ترتیب ادامه می‌یابد. گرم‌شدن هوای داخل اتاق به وسیلهٔ بخاری و رادیاتور شوفاژ (شکل ربرو) گرم‌شدن آب درون قابلمه (شکل زیر) جریان‌های باد ساحلی (شکل زیر )، انتقال گرما از مرکز خورشید به سطح آن و ... همگی بر اثر پدیدهٔ همرفت رخ می‌دهند. همهٔ این مثال‌ها نمونه‌هایی از همرفت طبیعی است.



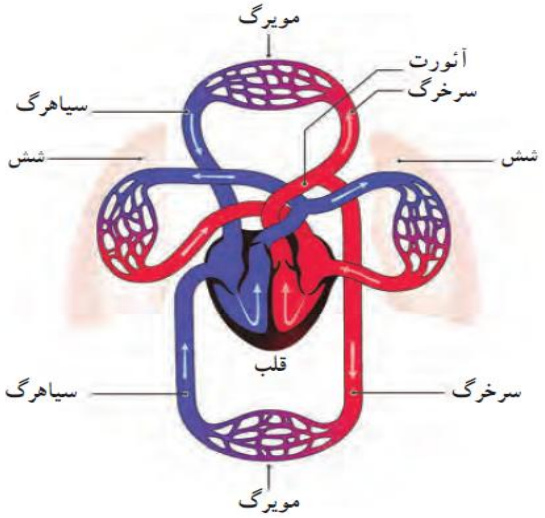



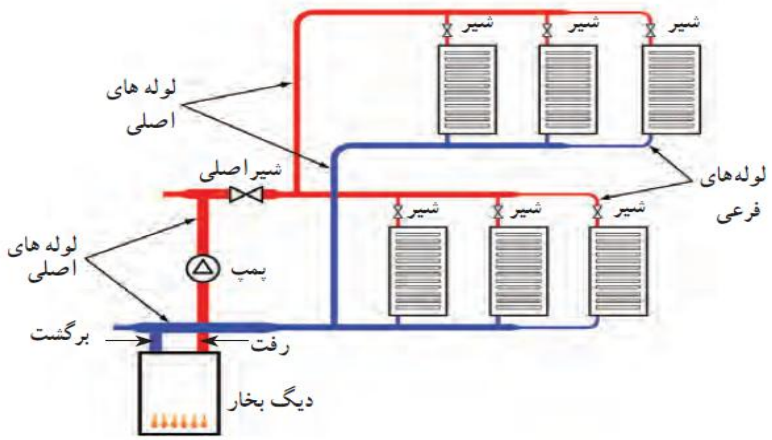

روز : زمین ساحل گرم‌تر از آب دریاست. پدیدهٔ همرفت موجب نسیمی از سوی دریا به سمت ساحل می‌شود. شب : زمین ساحل سردتر از آب دریاست. پدیدهٔ همرفت موجب نسیمی از سوی ساحل به سمت دریا می‌شود.




گرم شدن آب درون قابلمه به روش همرفت

نوع دیگری از همرفت، همرفت واداشته است که در آن شاره به کمک یک تلمبه (طبیعی یا مصنوعی) به حرکت واداشته می‌شود تا با این حرکت، انتقال گرما صورت پذیرد. سیستم گرم‌کنندهٔ مرکزی در ساختمان‌ها (شکل زیر ا)، سیستم خنک‌کنندهٔ موتور اتومبیل و نیز گرم و سرد شدن بخش‌های مختلف بدن بر اثر گردش جریان خون (شکل زیر ا) در بدن جانوران خونگرم مثال‌هایی عینی از انتقال گرما به روش همرفت واداشته هستند.




**تابش گرمایی :** خورشید، لامپ داغ، کتری، رادیاتور شوفاژ و . . . از

خود پرتوهایی گسیل می‌کنند که دست ما با جذب کردن آنها گرم می‌شود. این پرتوها از نوع امواج الکترومغناطیسی هستند که در سال‌های بعد خواهید دید شامل امواج رادیویی، تابش فروسرخ، نور مرئی، تابش فرابنفش، پرتوهای x و پرتوهای $\gamma$ است. هر کدام از این امواج چشمه‌های تولیدکنندهٔ مربوط به خود را دارد. ما در این بخش، به تابش الکترومغناطیسی گسیل‌شده از مواد بر اثر دمای آنها سروکار داریم. در واقع هر جسم در هر دمایی تابش الکترومغناطیسی گسیل می‌کند. به این نوع تابش، تابش گرمایی می‌گویند. نشان داده می‌شود که تابش گرمایی در دماهای زیر حدود

$500^{\circ}C$ عمدتاً به‌صورت تابش فروسرخ است که نامرئی است. برای آشکارسازی تابش‌های فروسرخ از ابزاری موسوم به دمانگار[1] استفاده می‌کنیم و به تصویر به‌دست آمده از آن دمانگاشت[2] می‌گوییم.

درون مکعب لسلی، آب داغ می‌ریزند. تابش گرمایی از چهار وجه مکعب که رنگ‌های متفاوتی دارند، با هم فرق دارد.

تابش گرمایی از سطح هر جسم علاوه بر دما به مساحت، میزان صیقلی‌بودن و رنگ سطح آن جسم بستگی دارد (شکل ). سطوح صاف و درخشان با رنگ‌های روشن تابش گرمایی کمتری دارند، در حالی که تابش گرمایی سطوح تیره، ناصاف و مات بیشتر است.

تابش گرمایی در پدیده‌های زیستی نیز کاربردهای فراوانی دارد که در اینجا به دو نمونه از آنها اشاره می‌شود.

اینها اندام‌های حفره‌ای هستند که گرما را آشکار می‌کنند.

الف) شکارِ تابش فروسرخ: نوعی از مارهای زنگی اندام‌هایی حفره‌ای بر روی پوزهٔ خود دارند که نسبت به تابش فروسرخ حساس‌اند (شکل ). این مارها اغلب در سیاهی شب شکار می‌کنند. در واقع اندام‌های حفره‌ای به آنها کمک می‌کند که طعمه‌های خونگرم خود را به واسطهٔ تابش فروسرخشان در تاریکی و سرمای شب مشاهده کنند.

کلم اسکانک برف اطراف خود را آب کرده است.

ب) کلم اسکانک[3]: کلم اسکانک (شکل ) یکی از چندین گیاهی است که می‌تواند دمایش را تا بیشتر از دمای محیط بالا ببرد. این نوع کلم به خاطر بالا رفتن دمایش، انرژی خود را از طریق تابش فروسرخ از دست می‌دهد و می‌تواند برف اطرافش را در زمستان آب کند.

از تابش گرمایی می‌توان به عنوان مبنایی برای اندازه‌گیری دمای اجسام استفاده کرد. به روش‌های اندازه‌گیری دما مبتنی بر تابش گرمایی، تفسنجی[1] و به ابزارهای اندازه‌گیری دما به این روش، تفسنج[2] می‌گویند. تفسنج بر خلاف سایر دماسنج‌ها بدون تماس با جسمی که می‌خواهیم دمای آن را اندازه بگیریم، دمای جسم را اندازه می‌گیرد. تفسنجی، به‌خصوص در اندازه‌گیری دماهای بالای $1100^{\circ}C$ اهمیت ویژه‌ای دارد. تفسنجِ تابشی و تفسنجِ نوری، تفسنج‌هایی برای اندازه‌گیری این دماها هستند و تفسنجِ نوری به عنوان دماسنج معیار برای اندازه‌گیری این دماها انتخاب شده است.

۲۴ اگر شما یک تیر چوبی و یک لولهٔ فلزی سرد را که هم‌دما هستند لمس کنید، چرا حس می‌کنید که لوله سردتر است؟ چرا ممکن است دست شما به لوله بچسبد؟

۲۵ یک پالتو چگونه شما را گرم نگه می‌دارد؟ چرا استفاده از چند لباس زیر پالتو این عمل را تشدید می‌کند؟

۲۶ دوقوری همجنس و هم‌اندازه را درنظر بگیرید که سطح بیرونی یکی سیاه‌رنگ و دیگری سفیدرنگ است. هر دو را با آب داغ با دمای یکسان پر می‌کنیم. آب کدام قوری زودتر خنک می‌شود؟