

هواشناسان براساس تصویرهای ماهواره‌ای وضعیت هوا را پیش‌بینی می‌کنند. یکی از بخش‌های عمده گزارش آنها، اعلام دمای مناطق مختلف زمین است. این تصویر ماهواره‌ای، دمای سطح کره زمین را در یک لحظه خاص از یک روز نمایش می‌دهد. رنگ‌ها نشان‌دهنده گستره دمایی از -63°C تا 37°C است.

چگونه آب می‌تواند آتش را خاموش کند؟ چرا آتش‌نشان‌ها لباس‌های براق روشن می‌پوشند؟ چرا پارچه خنثی که روی بند پهن شده است، ساعتی بعد خشک می‌شود؟ چگونه بادهای ساحلی به وجود می‌آیند؟ چگونه شیشه‌های دوجداره مانع از اتلاف گرما می‌شوند؟ چگونه با اسپری کردن باغ‌های میوه می‌توان از یخ‌زدن آنها در شبی سرد جلوگیری کرد؟ چرا بیشتر پل‌ها به صورت بخش‌هایی مجزا ساخته می‌شوند که فاصله کمی بین آنها وجود دارد؟ چگونه موهای خرس‌های قطبی می‌تواند آنها را از سرمای کشنده قطب در امان نگه دارد؟ پاسخ این پرسش‌ها و بسیاری از پرسش‌های مشابه را می‌توان با بررسی مفهوم دما و گرما و اثرهای آن روی ماده به دست آورد.

در کتاب‌های علوم با مفهوم‌های دما و گرما به طور ساده آشنا شدید. در این فصل، ضمن گسترش و توضیح بیشتر این مفاهیم به بررسی مواردی از قبیل دماسنجی و اثر تغییر دما بر حجم مواد می‌پردازیم. افزون بر اینها، گرماسنجی و اندازه‌گیری گرمای ویژه، تغییر حالت مواد و گرمای ذوب و تبخیر را بررسی می‌کنیم و راه‌های انتقال گرما را مورد بحث قرار می‌دهیم و سرانجام قانون گازها را بررسی می‌کنیم.

۱-۴ دما و دماسنجی

وقتی شخص بیماری به پزشک مراجعه می‌کند، یکی از مهم‌ترین اطلاعات برای پزشک، تعیین دمای بدن بیمار است. برای این منظور پزشک از دماسنج استفاده می‌کند. برای نگهداری مواد غذایی و جلوگیری از فاسد شدن آنها، دمای یخچال بسیار مهم است و اگر دما نامناسب باشد، ممکن است در زمان کوتاهی مواد غذایی فاسد شود. بنابراین، ایجاد دمای معین و حفظ آن در فناوری و صنعت و پژوهش‌های علمی، اهمیت فراوان دارد.



شکل ۴-۱ یک نمونه دماسنج الکلی

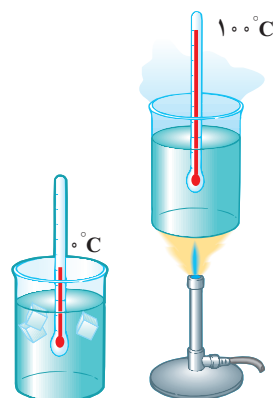
در کتاب‌های علوم خود دیدید دما کمیتی است که میزان سردی و گرمی اجسام را مشخص می‌کند. برای اندازه‌گیری دما لازم است مقیاس دمایی داشته باشیم و برای این کار می‌توانیم از هر مشخصه قابل اندازه‌گیری بهره بگیریم که با گرمی و سردی جسم تغییر می‌کند. به این ویژگی، اصطلاحاً **کمیت دماسنجی** می‌گویند. تغییر کمیت دماسنجی، اساس کار دماسنج‌هاست. ساده‌ترین و رایج‌ترین نوع دماسنج، دماسنج‌های جیوه‌ای^۱ و الکلی است که در کتاب‌های علوم با آنها آشنا شده‌اید. در این دماسنج‌ها، کمیت دماسنجی، ارتفاع مایع درون لوله دماسنج است؛ زیرا به جز چند مورد استثنا تمام مواد با افزایش دما، منبسط و با کاهش آن منقبض می‌شوند. شکل ۴-۱ نمونه‌ای از یک دماسنج الکلی را نشان می‌دهد.

مقیاس‌های دما: یکی از مقیاس‌های متداول دما، مقیاس دما برحسب درجه سلسیوس است. این مقیاس مبتنی بر دو نقطه ثابت است: یکی دمایی که در آن آب خالص در فشار جو متعارف (۱ atm) شروع به یخ‌زدن می‌کند و دیگری دمایی که آب خالص در فشار جو متعارف در حال جوشیدن است. به نقطه اول، عدد صفر و به نقطه دوم، عدد ۱۰۰ را اختصاص می‌دهند و فاصله بین این دو را به ۱۰۰ قسمت مساوی تقسیم می‌کنند و هر قسمت را ۱ درجه می‌نامند (شکل ۴-۲). قبلاً به چنین دماسنجی، دماسنج با مقیاس سانتی‌گراد^۲ گفته می‌شد. یکای درجه سلسیوس را با نماد °C، و دما برحسب درجه سلسیوس را معمولاً با θ نمایش می‌دهند.

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

$$T = \theta + 273/15 \quad (۴-۱)$$

بنا به رابطه ۴-۱ صفر کلونین برابر $273/15^\circ\text{C}$ است که این کمترین دمای ممکن نیز هست^۳. اما برای دما، حد بالایی وجود ندارد. گستره برخی از دماهای مشهور در شکل ۴-۳ برحسب کلونین نشان داده شده است.

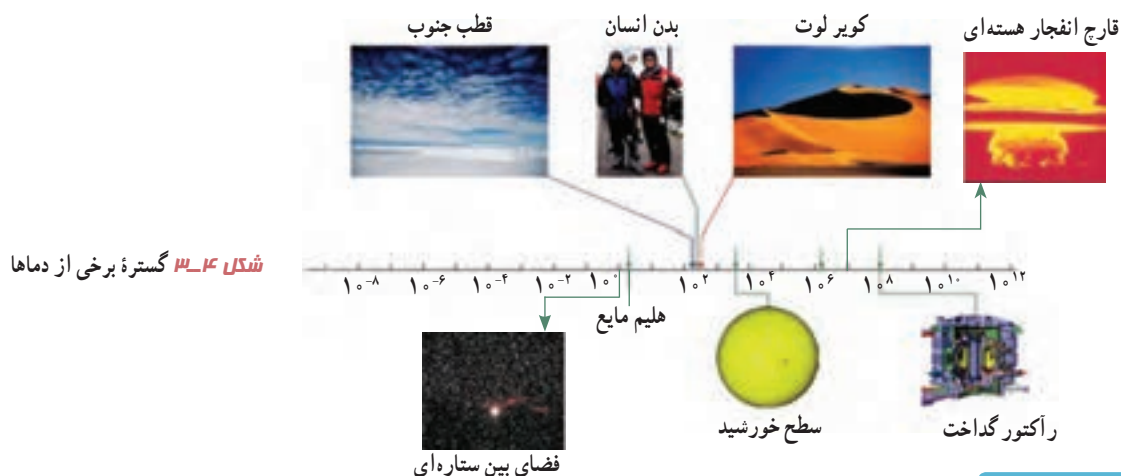


شکل ۴-۲ شکلی طرح‌وار از مقیاس‌بندی دما

۱- جیوه بسیار سمی است و از این‌رو امروزه غالباً از الکل در دماسنج‌ها استفاده می‌شود.

۲- برگرفته از centi به معنای یک‌صدم و grade به معنای درجه.

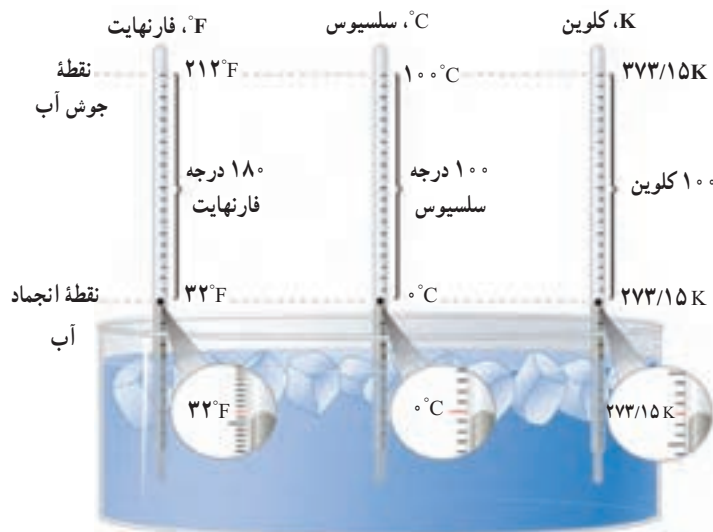
۳- صفر کلونین به طور دقیق برابر $273/15^\circ\text{C}$ است ولی برای محاسبه‌های این کتاب همان مقدار تقریبی 273°C در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۳-۴ گستره برخی از دماها

تمرین ۱-۴

نشان دهید که تغییر دما در مقیاس‌های سلسیوس و کلونین با هم برابر است.



شکل ۴-۴ مقایسه یکاهای فارنهایت، سلسیوس و کلونین

یکای رایج دیگر دما که هنوز هم در صنعت و هواشناسی کاربرد دارد، فارنهایت است. شکل ۴-۴ مقایسه‌ای از این سه یکای دما را نشان می‌دهد. با کمی دقت متوجه می‌شویم که رابطه مقیاس دمای فارنهایت (F) و سلسیوس (θ) به صورت $F = \frac{9}{5}\theta + 32$ است.

تمرین ۲-۴

الف) دمای بدن یک انسان سالم تقریباً 37°C است. این دما را برحسب کلونین و فارنهایت بنویسید.
ب) گرم‌ترین نقطه روی زمین، ناحیه‌ای در کویر لوت است که دمای آن تا حدود 7°C و سردترین نقطه در قطب جنوب است که دمای آن تا -89°C گزارش شده است. این دماها را برحسب کلونین و فارنهایت به دست آورید.

فعالیت ۱-۴

تحقیق کنید برای نگهداری یاخته‌های بنیادی بندناف خون، به چه دمایی نیازمندیم. این دما چگونه ایجاد و حفظ می‌شود؟

دماسنج‌های معیار^۱: امروزه از انواع دماسنج‌ها در زندگی روزمره استفاده می‌شود. برخی از آنها در شکل‌های ۴-۵ نشان داده شده است.



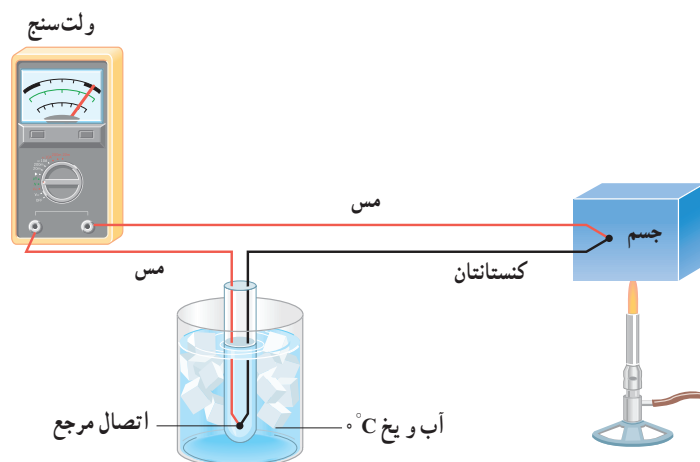
(ب) دماسنج تابشی که بر اساس آشکارسازی شدت تابش گرمایی خروجی از پوست کار می‌کند.



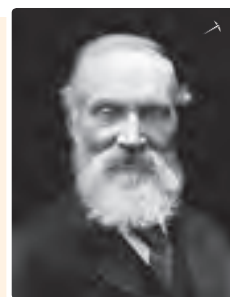
(الف) برخی از دماسنج‌ها که در اطراف خود مشاهده می‌کنید.

شکل ۴-۵

دانشمندان برای کارهای علمی، سه دماسنج را به عنوان دماسنج‌های معیار برای اندازه‌گیری گستره دماهای مختلف پذیرفته‌اند: دماسنج گازی، دماسنج مقاومت پلاتینی و تفسنج (پیرومتر). اساس کار دماسنج گازی مبتنی بر قانون گازهای کامل است و همچنین اساس کار تفسنج، بر تابش گرمایی مبتنی است که هر دو در بخش‌های آینده بررسی می‌شود. با اصول کار دماسنج‌های مقاومت پلاتینی نیز در سال آینده آشنا خواهید شد. 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 این رو، در ادامه به معرفی این دماسنج می‌پردازیم. کمیت دماسنجی این دماسنج، ولتاژ است. نمونه‌ای طرح‌وار از این دماسنج در شکل ۴-۶ نشان داده شده است.



شکل ۴-۶ طرحی از یک دماسنج ترموکوپل



ویلیام تامسون کلون^۲

ریاضی‌دان، فیزیک‌دان و مهندس بریتانیایی در ۲۸ ژوئن ۱۸۲۴م. در شهر بلفاست ایرلند به دنیا آمد. او تحصیلات دانشگاهی خود را در دانشگاه گلاسکو به انجام رسانید و در این دوران، غیر از اختراعات مختلف، کارهای مهمی در تحلیل ریاضی‌وار الکتریسته و نیز فرمول‌بندی قوانین اول و دوم ترمودینامیک انجام داد و نقشی مهم در احیای رشته فیزیک در عصر مدرن ایفا کرد. با این حال، عمده شهرت کلون به خاطر تعیین دقیق صفر مطلق برابر با $273/15^{\circ}\text{C}$ است و این در حالی است که پیش از او *سدهی کارنوی* فرانسوی در سال ۱۸۲۴، یعنی همان سالی که کلون زاده شد، مقدار $267-$ را برای دمای صفر مطلق پیشنهاد داده بود. با این وصف، یکای دما در SI به افتخار این کار کلون، به اسم او نامگذاری شده است. او همچنین به خاطر دستاوردهای علمی خود از سال ۱۸۹۲ به لرد کلون ملقب شد و اولین دانشمند بریتانیایی نام گرفت که به مجلس لردها راه یافت. کلون در ۱۷ دسامبر ۱۹۰۷ م. در سن ۸۳ سالگی در اسکاتلند دیده از جهان فرو بست.

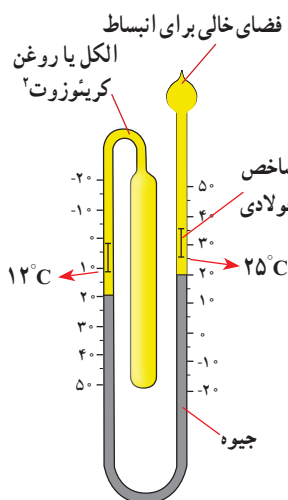
۱- Standard Thermometer

۲- William Thomson Baron Kelvin



شکل ۷-۴ در این تصویر دمای یک گرماسنج به روش الکتریکی اندازه‌گیری می‌شود.

مطابق این شکل، دو سیم فلزی غیر هم‌جنس مانند مس و کنستانتان از طرفی در دمای ذوب یخ نگه‌داشته شده، و از طرف دیگر در مکانی به هم متصل‌اند که می‌خواهیم دمای آن را به‌دست آوریم. این مجموعه با سیم‌های مسی رابط به یک ولت‌سنج بسته می‌شود. با تغییر دمای محل مورد اندازه‌گیری، عددی که ولت‌سنج نشان می‌دهد، تغییر می‌کند. اگر آزمایش را چندین بار و برای دماهای متفاوت تکرار کنیم، می‌توانیم ولتاژهای مربوط به هر دمایی را مشخص کنیم. گستره دماسنجی یک ترموکوپل به جنس سیم‌های آن بستگی دارد؛ مثلاً در یکی از انواع ترموکوپل‌ها که جنس سیم‌ها از آلیاژهای خاصی^۱ است، گستره دماسنجی از 270°C تا 1372°C 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 به کار رود که در بسیاری از وسایل صنعتی، گرمایشی و سرمایشی یافت می‌شود. شکل ۷-۴ روشی از اندازه‌گیری دما با دماسنج‌هایی از این دست را نشان می‌دهد.



۲-۴ فعالیت

نوع ویژه‌ای از دماسنج‌های مایعی که بیشینه و کمینه دما را در یک مدت زمان معین نشان می‌دهد، دماسنج بیشینه - 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.

۲-۴ انبساط گرمایی



شکل ۸-۴ ماده‌ای که دندان را پر می‌کند باید همان مشخصه‌های گرمایی دندان را داشته باشد.

اگر در یک ظرف شیشه‌ای محکم باشد، معمولاً برای باز کردن در ظرف روی آن آب داغ می‌ریزیم. وقتی دو لیوان شیشه‌ای درهم، گیر کرده باشند، با ریختن آب سرد در لیوان داخلی و گذاشتن لیوان بیرونی در آب گرم، می‌توانیم دو لیوان را از هم جدا کنیم. وقتی دندانپزشک سوراخ دندانی را پر می‌کند، باید ماده پرکننده دندان همان مشخصه‌های انبساط گرمایی دندان را داشته باشد (شکل ۸-۴)، زیرا در غیر این صورت، خوردن یک بستنی سرد و در پی آن نوشیدن چای داغ، بسیار دردناک خواهد بود و ممکن است سبب شکستن دندان نیز بشود.

chromel (۹۰٪ Ni & ۱۰٪ Cr) آلیاژ کرومل (۹۵٪ Ni & ۲٪ Al & ۲٪ Mn & ۱٪ Si) Alumeل آلیاژ آلومل - ۱

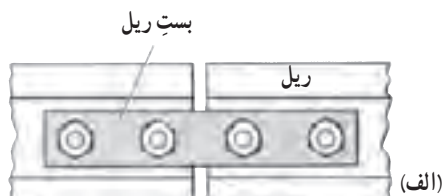
۲- creosote

پرسش ۱-۴

الف) چرا بهتر است قفل و کلید یک در، هم جنس باشند؟
 ب) چرا در برخی از فصل‌های سال، بعضی از درب‌ها در چارچوب خود گیر می‌کنند؟

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 پدیده انبساط در ساختن پل‌ها، ساختمان‌ها، خط‌آهن‌ها، خطوط انتقال نیرو، خطوط انتقال سوخت و ... می‌تواند مشکل‌هایی را ایجاد کند.

فعالیت ۳-۴

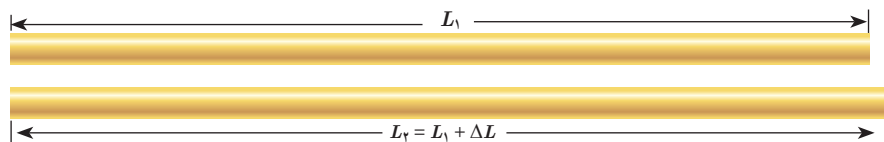


(ب) بست ریل

۱) شکل (الف) طرحی از دو قسمت متوالی خط‌آهن (ریل) راه‌آهن‌های قدیمی و شکل (ب) تصویر واقعی از آن را در گذشته نشان می‌دهد. اگر فاصله خالی بین این دو قسمت به حد کافی زیاد نمی‌بود، چه مشکلی پیش می‌آمد؟
 ۲) امروزه بین قسمت‌های متوالی خط‌آهن فاصله‌ای در نظر گرفته نمی‌شود و این قسمت‌ها پشت سرهم جوشکاری می‌شوند. تحقیق کنید در این روش چگونه مشکل ناشی از انبساط در یک روز گرم تابستانی برطرف می‌شود؟

انبساط طولی: میله‌ای فلزی به طول اولیه L_1 را در نظر بگیرید. اگر دمای میله را به اندازه ΔT

افزایش دهیم، تجربه نشان می‌دهد که طول میله به اندازه $L_2 = L_1 + \Delta L$ افزایش می‌یابد (شکل ۴-۹).



شکل ۴-۹ انبساط گرمایی
 میله‌ای به طول اولیه L_1

آزمایش‌ها نشان می‌دهند که هرچه تغییر دمای میله فلزی بیشتر باشد، افزایش طول بیشتر است و هرچه طول اولیه میله بزرگ‌تر باشد، به ازای یک تغییر دمای مشخص افزایش طول بیشتر خواهد بود. همچنین اگر دمای دو میله 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، ΔL را می‌توان از رابطه زیر به دست آورد:

$$\Delta L = \alpha L_1 \Delta T \quad (۲-۴)$$

به α ضریب انبساط طولی میله می‌گویند که به جنس میله بستگی دارد.

در رابطه ۲-۴، ΔL و L_1 بر حسب متر (m)، ΔT بر حسب کلوین (K) یا درجه سلسیوس ($^{\circ}\text{C}$) و

از آنجا یکای α ، بر کلوین ($1/\text{K}$) یا بر درجه سلسیوس ($1/^{\circ}\text{C}$) تعیین می‌شود.

ضریب انبساط طولی برخی اجسام در جدول ۱-۴ داده شده است. توجه کنید که مقادیر داده شده برای α در جدول بسیار کوچک است. همچنین ضریب انبساط طولی α 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.

جدول ۱-۴ ضریب انبساط طولی برخی اجسام			
ماده	ضریب انبساط طولی $\frac{1}{K}$	ماده	ضریب انبساط طولی $\frac{1}{K}$
الماس	$1/2 \times 10^{-6}$	مس	17×10^{-6}
شیشه پیرکس	$3/2 \times 10^{-6}$	برنج	19×10^{-6}
شیشه معمولی	$9-12 \times 10^{-6}$	آلومینیم	23×10^{-6}
فولاد	$11-13 \times 10^{-6}$	سرب	29×10^{-6}
بتون	$10-14 \times 10^{-6}$	یخ (در $^{\circ}C$)	51×10^{-6}

مثال ۱-۴

طول یک پل معلق^۱ (شکل الف)، ۱۱۵۸ m است. این پل از نوعی فولاد با $\alpha = 13 \times 10^{-6} / ^{\circ}C$ ساخته شده است. فرض کنید کمترین دمای ممکن $-5^{\circ}C$ و بیشترین دمای ممکن $+5^{\circ}C$ باشد. بیشترین تغییر طول ممکن پل چقدر است؟
پاسخ: با استفاده از رابطه ۲-۴ داریم:

$$\Delta L = \alpha L \Delta T = (13 \times 10^{-6} / ^{\circ}C)(1158m)(10^{\circ}C) = 1/5m$$

تغییر طول ۱/۵ m مقدار نسبتاً زیادی است. بدیهی است که در عمل نمی‌توان فضایی خالی به طول ۱/۵ m را برای این تغییر طول روی پل در نظر گرفت. برای رفع این مشکل از تعدادی *بست/انبساطی/نگشتی*^۲ که از جنس فلز هستند استفاده می‌کنند. شکل (ب)، نوعی از این بست‌ها و شکل (پ)، نمونه‌ای دیگر از این بست‌ها را نشان می‌دهد.



(پ) نمونه‌ای دیگر از بست‌های انبساطی



(ب) نمونه‌ای از بست‌های انبساطی



(الف) تصویری از یک پل معلق

۱- پل معلق فولادی مکیناک (Macinac) در میشیگان آمریکا

۲- Finger Expansion Joint

آزمایش ۴-۱



هدف: اندازه‌گیری ضریب انبساط طولی

وسایلهای موردنیاز: دستگاه اندازه‌گیری ضریب انبساط طولی، چند لوله فلزی توخالی، ارلن با لوله جانبی و درپوش، لوله لاستیکی، دماسنج، مجموعه پایه و گیره و چراغ الکلی.

شرح آزمایش:

۱- طول لوله توخالی موردنظر را اندازه بگیرید (L_1) و لوله را روی دستگاه نصب کنید.

۲- در ارلن مقداری آب بریزید و درپوش آن را بگذارید.

۳- دمای محیط را بخوانید (θ_1) و دماسنج را در جای نشان داده شده قرار دهید.

۴- ارلن را گرما دهید تا آب به جوش آید.

۵- آن قدر صبر کنید تا بخار آب از لوله خارج و لوله توخالی کاملاً گرم شود و سپس دمای دماسنج را بخوانید (θ_2).

۶- افزایش طول میله توخالی را با ریزسنج متصل به دستگاه اندازه بگیرید (ΔL).

۷- با استفاده از رابطه ۴-۲ ضریب انبساط طولی را به دست آورید.

۸- می‌توانید این آزمایش را برای میله‌های توخالی دیگر، تکرار کنید.

دماسنج نواری دوفلزه: نوار دوفلزه (بی‌متال^۱) از دو تیغه 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 ۴-۱۰ (الف) خم می‌شود (شکل با اندکی اغراق رسم شده است). از این ویژگی می‌توان برای

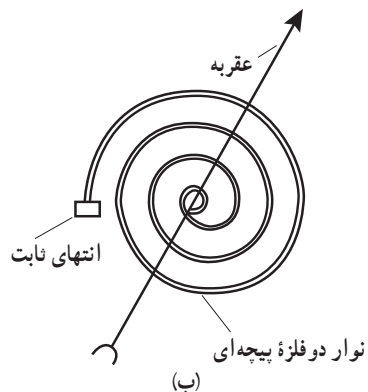
دماسنجی و ساختن دماسنج استفاده کرد. به این نوع دماسنج‌ها، دماسنج نواری دوفلزه گفته می‌شود.

شکل ۴-۱۰ (ب)، طرحی از این دماسنج را که در آن از یک نوار دوفلزه پیچیده‌ای استفاده شده است،

نشان می‌دهد و شکل ۴-۱۰ (پ)، تصویری واقعی از این نوع دماسنج است.



(ب)



(ب)

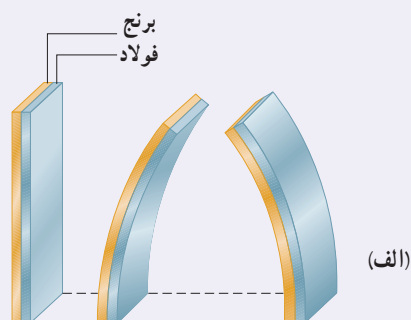
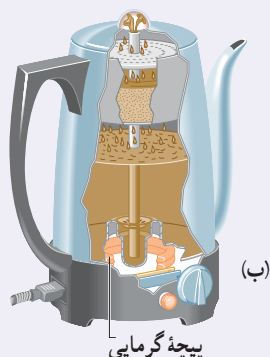


(الف)

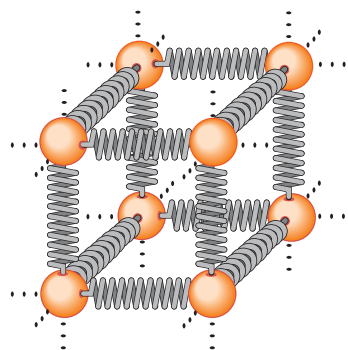
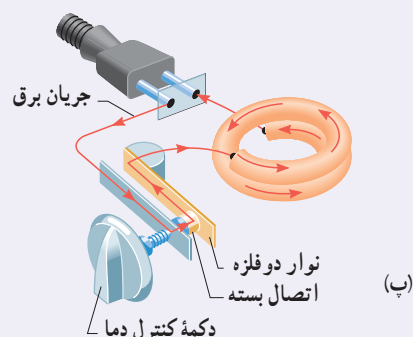
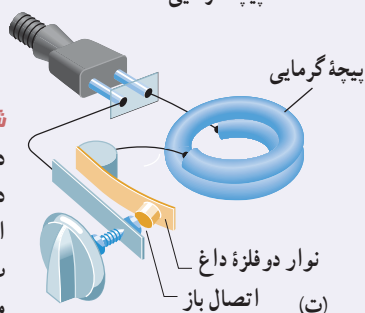
شکل ۴-۱۰: (الف) با گرم و سرد شدن، نوار دوفلزه در جهت‌های مخالفی خم می‌شود.

(ب) یک نوار دوفلزه پیچیده‌ای (پ) یک دماسنج نواری واقعی

دماپا (ترموستات): در دماسنج نواری دوفلزه دیدیم که یک نوار دو فلزه با افزایش یا کاهش دما خم می‌شود. این خم‌شدگی طوری است که در هنگام گرم‌شدن، تیغه با ضریب انبساط بیشتر، کمان خارجی و تیغه دیگر کمان داخلی را تشکیل می‌دهد (شکل ۱۱-۴ الف). از این ویژگی برای ساخت نوعی دماپا (ترموستات) استفاده می‌شود. دماپاها در بسیاری از وسایل الکتریکی مانند یخچال، آبگرم‌کن، کتری برقی و ... کاربرد دارند (شکل ۱۱-۴ ب). در واقع دماپا کلیدی الکتریکی است که در آن، قطع و وصل جریان با استفاده از حسگرهای گرمایی انجام می‌شود. اغلب از نوارهای دوفلزه به عنوان حسگرهای گرمایی در دماپا استفاده می‌شود (شکل ۱۱-۴ ب). در مدار ساده نشان داده شده در شکل ۱۱-۴ پ، عبور جریان الکتریکی از کتری برقی باعث گرم‌شدن نوار دوفلزه می‌شود. وقتی دمای نوار به اندازه معینی برسد، بر اثر خم‌شدن نوار، جریان قطع شده و کتری برقی خاموش می‌شود (شکل ۱۱-۴ ت). با خاموش‌شدن کتری، دمای تیغه کاهش می‌یابد و نوار دوباره به شکل وضعیت قبلی خود بازمی‌گردد و به این ترتیب، دوباره مدار وصل شده و کتری برقی روشن می‌شود.



شکل ۱۱-۴ الف تیغه دوفلزه با تغییر دما در جهت‌های مختلفی خم می‌شود، ب) دماپا در یک کتری برقی، پ) با برقرار شدن جریان الکتریکی، نوار دوفلزه گرم می‌شود. ت) سپس نوار خم شده و اتصال را قطع می‌کند.



شکل ۱۲-۴ در جامدها، نیروی بین اتمی مثل فنر عمل می‌کند.

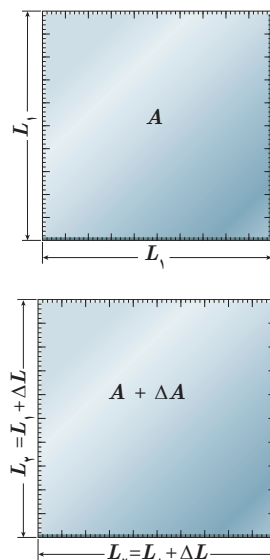
توجیه انبساط گرمایی، مبتنی بر دیدگاه میکروسکوپی است. انبساط گرمایی یک جسم پیامد تغییر فاصله بین اتم‌ها یا مولکول‌های تشکیل دهنده آن است. برای درک این مدل، چگونگی رفتار اتم‌ها در یک ماده جامد را در نظر بگیرید. همان‌گونه که در فصل ۳ دیدیم، می‌توان اتم‌ها را ذراتی در نظر گرفت که با فنرهایی به اتم‌های مجاور متصل شده‌اند (شکل ۱۲-۴). اتم‌ها پیرامون مکان‌های تعادل خود با دامنه کم، نوسان می‌کنند. می‌توان نشان داد با افزایش دمای جامد، فاصله 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 دور شدن 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 همه ابعاد آن به تناسب افزایش می‌یابد. در اینجا ابتدا به انبساط سطحی می‌پردازیم. اگر مساحت اولیه جسم جامد A_1 و افزایش دما ΔT باشد، افزایش مساحتی به اندازه ΔA پیدا می‌کند (شکل ۴-۱۳). نشان داده می‌شود که این افزایش مساحت از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\Delta A = 2\alpha A_1 \Delta T \quad (4-3)$$

در این رابطه، α ضریب انبساط طولی جسم جامد با یکای بر کلین ($1/K$) یا بر درجه سلسیوس ($1/^\circ C$) است، یکای ΔA و A_1 مترمربع (m^2) و یکای ΔT ، کلین (K) یا درجه سلسیوس ($^\circ C$) است.



شکل ۴-۱۳ انبساط گرمایی یک ورقه مربعی به ضلع $L = L_1$

فعالیت ۴-۴

ورقه‌ای فلزی و مستطیلی شکل به اضلاع a_1 و b_1 را در نظر بگیرید. بر اثر افزایش دمای ΔT ، طول اضلاع مستطیل به اندازه Δa و Δb افزایش می‌یابند. اگر ضریب انبساط طولی ورقه α باشد، نشان دهید که افزایش مساحت این ورقه با تقریب مناسب از رابطه $\Delta A = 2\alpha A_1 \Delta T$ به دست می‌آید.

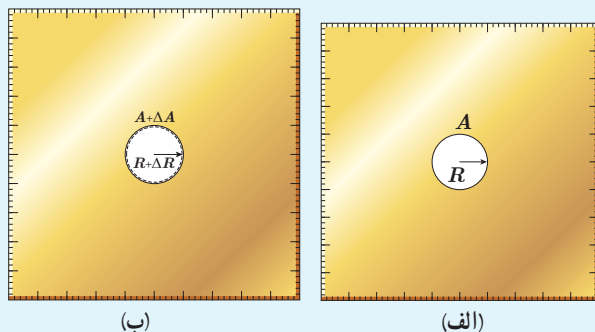
مثال ۲-۴

مساحت یک ورقه مسی 2500 cm^2 است. اگر دمای این ورقه را $5^\circ C$ افزایش دهیم، مساحت آن چقدر افزایش خواهد یافت؟

پاسخ: از رابطه ۴-۳ استفاده می‌کنیم. ضریب انبساط طولی مس با استفاده از جدول ۴-۱ برابر $17 \times 10^{-6} / ^\circ C$ است؛ بنابراین داریم:

$$\Delta A = 2\alpha A_1 \Delta T = 2(17 \times 10^{-6} / ^\circ C)(2500 \text{ cm}^2)(5^\circ C) = 4/3 \text{ cm}^2$$

تمرین ۳-۴



شکل‌های (الف) و (ب) نشان می‌دهند که وقتی روی یک ورقه 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، $20^\circ C$ افزایش یابد، افزایش مساحت حفره چقدر خواهد شد؟

جدول ۴-۲ ضریب انبساط
حجمی چند مایع

ماده	ضریب انبساط $(\frac{1}{K})$
جیوه	0.18×10^{-3}
گلیسرین	0.49×10^{-3}
روغن زیتون	0.70×10^{-3}
پارافین	0.76×10^{-3}
بنزین	1.00×10^{-3}
اتانول	1.09×10^{-3}
اسید استیک	1.10×10^{-3}
بنزن	1.25×10^{-3}
کلروفرم	1.27×10^{-3}
استون	1.43×10^{-3}
اتر معمولی	1.60×10^{-3}
آمونیاک	2.45×10^{-3}

اکنون به انبساط حجمی می‌پردازیم. همان‌طور که گفتیم حجم بیشتر اجسام با افزایش دما زیاد می‌شود. اگر حجم اولیه جسم (جامد یا مایع) V_1 و افزایش دما ΔT باشد، جسم افزایش حجمی به اندازه ΔV پیدا می‌کند که از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\Delta V = \beta V_1 \Delta T \quad (4-4)$$

در این رابطه، β ضریب انبساط حجمی جامد یا مایع است. یکای ΔV و V_1 مترمکعب (m^3)، یکای ΔT ، کلوین (K) یا درجه سلسیوس ($^{\circ}C$) و از آنجا یکای β ، بر کلوین ($1/K$) یا بر درجه سلسیوس ($1/^{\circ}C$) است.

انبساط طولی بیشتر جامدها 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.

$$\beta_{\text{جامد}} = 3\alpha \quad (5-4)$$

چون مایع‌ها شکل معینی ندارند، انبساط آنها را فقط به صورت حجمی بررسی می‌کنیم. در جدول ۴-۲ ضریب انبساط حجمی برخی مایع‌ها داده شده است.

مثال ۳-۴

در یک روز داغ تابستان که دمای هوا $40/^{\circ}C$ است، شخصی باک (مخزن) ۵۵ لیتری اتومبیل خود را از بنزین کاملاً پر می‌کند. فرض کنید بنزین از منبعی در زیرزمین با دمای $12/^{\circ}C$ بالا آمده باشد. شخص اتومبیل را پارک می‌کند و ساعتی بعد بازمی‌گردد. مشاهده می‌کند بنزین قابل توجهی از باک سرریز شده است. چقدر بنزین از باک بیرون ریخته است؟ (از افزایش حجم باک که بسیار ناچیز است صرف‌نظر می‌شود).

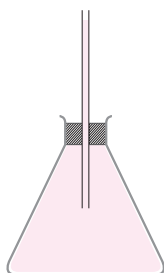
پاسخ: با توجه به اینکه بنزین، زمان کافی برای هم‌دم شدن با محیط داشته است، دمای نهایی آن را $40/^{\circ}C$ در نظر می‌گیریم. اکنون با استفاده از رابطه ۴-۴ و جدول ۴-۲ برای ضریب انبساط حجمی بنزین خواهیم داشت:

$$\Delta V = \beta V_1 \Delta T = (1.00 \times 10^{-3}/^{\circ}C)(55L)(40/^{\circ}C - 12/^{\circ}C) = 1.5L$$

بنابراین، در کمال تعجب درمی‌یابیم که ۱/۵ لیتر بنزین روی زمین ریخته است.

نکته مهم در استفاده از رابطه ۴-۴ این است که باید یکای ΔV و V_1 یکسان باشد. مقایسه ضریب انبساط حجمی جامدها با ضریب انبساط حجمی مایعات نشان می‌دهد انبساط حجمی جامدها عموماً از مایعات بسیار کمتر است و به همین دلیل در بسیاری از محاسبات می‌توان از مقدار افزایش حجم جامد در مقابل مقدار افزایش حجم مایع صرف‌نظر کرد.

مثال ۴-۴



ارلنی شیشه‌ای را که در دمای 20°C گنجایشی برابر با 200°cm^3 دارد، مطابق شکل با گلیسرین در همان دما پر کرده‌ایم. اگر دمای ظرف و گلیسرین را به 60°C برسانیم

(الف) آیا گلیسرین از ظرف بیرون می‌ریزد؟

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

پاسخ:

(الف) افزایش حجم گلیسرین و افزایش گنجایش ظرف را با استفاده از رابطه‌های ۴-۴ و ۵-۴ محاسبه می‌کنیم.

$$\Delta V_{\text{گلیسرین}} = \beta_{\text{گلیسرین}} V_{\text{گلیسرین}} \Delta T = (49 \times 10^{-5}/^\circ\text{C})(200^\circ\text{cm}^3)(60^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) = 3/9\text{cm}^3$$

$$\Delta V_{\text{ظرف}} = \beta_{\text{شیشه}} V_{\text{شیشه}} \Delta T = (3 \times 9 \times 10^{-6}/^\circ\text{C})(200^\circ\text{cm}^3)(60^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) = 0/2\text{cm}^3$$

در این محاسبه از جدول‌های ۴-۴ و ۱-۴ برای ضریب انبساط حجمی گلیسرین و ضریب انبساط طولی شیشه استفاده کرده‌ایم؛ چون افزایش حجم گلیسرین بیش از افزایش گنجایش ظرف است، پس گلیسرین از ظرف سرریز می‌شود.

(ب) حجم گلیسرین سرریز شده برابر است با

$$\Delta V_{\text{گلیسرین}} - \Delta V_{\text{ظرف}} = (3/9\text{cm}^3 - 0/2\text{cm}^3) = 3/7\text{cm}^3$$

فعالیت ۵-۴

آزمایشی را طراحی و اجرا کنید که با آن بتوانید حجم گلیسرین سرریز شده در مثال ۴-۴ را اندازه بگیرید. سپس از روی آن، ضریب انبساط حجمی گلیسرین را تعیین کنید.

تمرین ۴-۴

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. رابطه چگالی با تغییر دما به صورت $\rho_T = \rho_1/(1 + \beta \Delta T)$ است که در آن ρ_T و ρ_1 به ترتیب چگالی ماده در دماهای T_T و T_1 ، β ضریب انبساط حجمی و $\Delta T = T_T - T_1$ است.

(الف) رابطه چگالی با تغییر دما را به دست آورید.

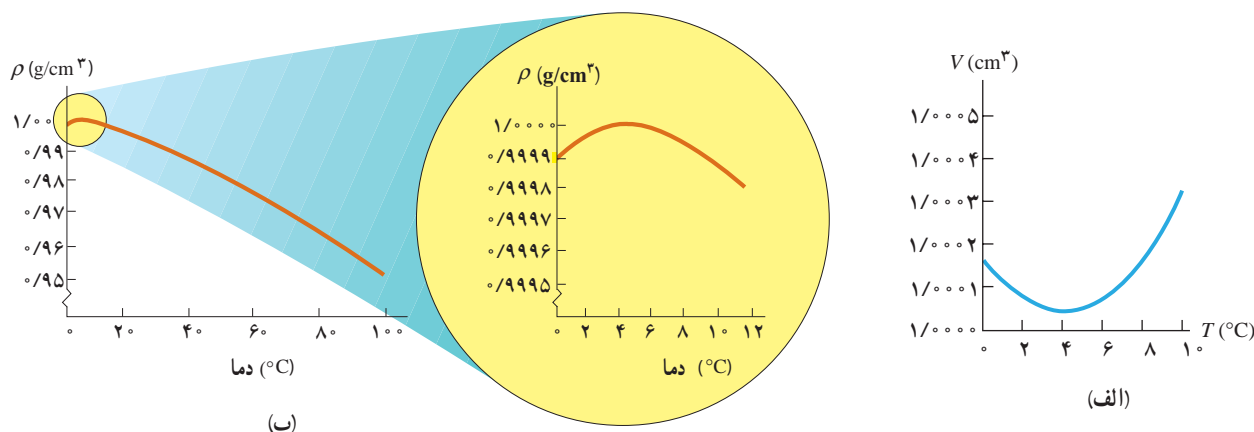
(ب) نشان دهید با تقریب مناسبی می‌توان چگالی جسم را از رابطه $\rho_T = \rho_1(1 - \beta \Delta T)$ نیز به دست آورد.

مثال ۵-۴

یک قطعه سرب را در دمای اتاق در نظر بگیرید. اگر دمای این قطعه را 200°C افزایش دهیم، چگالی آن چند برابر می‌شود؟

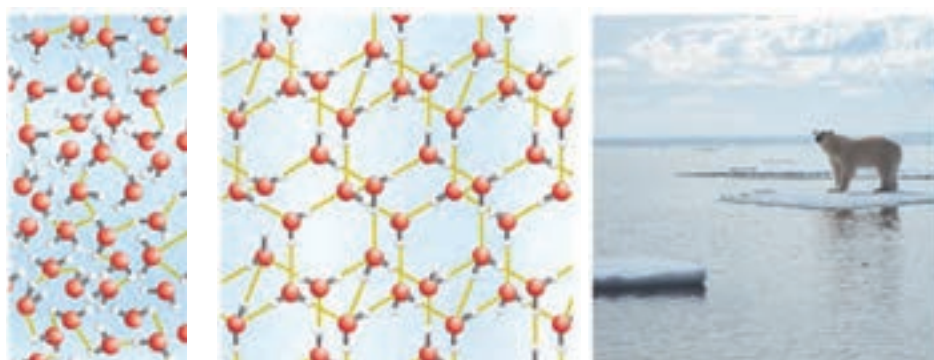
$$\rho_T = \rho_1(1 - \beta \Delta T) \Rightarrow \frac{\rho_T}{\rho_1} = (1 - 3 \alpha \Delta T) = 1 - (3 \times 29 \times 10^{-6}/^\circ\text{C})(200^\circ\text{C}) = 0/98$$

انبساط غیرعادی آب: در زمستان‌های سرد، سطح آب آبیگرها و دریاچه‌های کوچک یخ می‌زند و به تدریج یخ ضخیم‌تر می‌شود؛ اما در ته آبیگرها، دمای آب بالاتر از $^{\circ}\text{C}$ 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 می‌یابد، ولی رفتار آب در محدوده دمایی $^{\circ}\text{C}$ تا $^{\circ}\text{C}$ ۴ متفاوت است؛ یعنی در این محدوده با کاهش دما، حجم آب افزایش و در نتیجه چگالی آن کاهش می‌یابد. شکل‌های ۴-۱۴ (الف) و (ب)، به ترتیب نمودار حجم برحسب دما و نمودار چگالی برحسب دما را برای آب شیرین نشان می‌دهد که در آنها رفتار غیرعادی آب در محدوده $^{\circ}\text{C}$ تا $^{\circ}\text{C}$ ۴ دیده می‌شود. همان‌طور که در این شکل‌ها نشان داده شده است، در بازه دمایی $^{\circ}\text{C}$ تا $^{\circ}\text{C}$ ۴ با افزایش دما، حجم آب کاهش و چگالی آن افزایش می‌یابد. پس از دمای $^{\circ}\text{C}$ ۴ مانند دیگر اجسام، با افزایش دما، حجم افزایش و چگالی کاهش می‌یابد. همین تغییر حجم غیرعادی آب است که موجب می‌شود دریاچه‌ها به جای اینکه از پایین به بالا یخ بزنند، از بالا یخ بزنند. وقتی دمای سطح آب مثلاً از $^{\circ}\text{C}$ ۱۰ اندکی کمتر شود، چگالی آب نسبت به آب زیر خود افزایش می‌یابد و این آب، پایین می‌رود. این رفتار تا رسیدن به دمای $^{\circ}\text{C}$ ۴ ادامه می‌یابد؛ ولی همان‌طور که دیدیم در دمای پایین‌تر از $^{\circ}\text{C}$ ۴، حجم آب افزایش پیدا می‌کند و در نتیجه چگالی آن کاهش می‌یابد؛ یعنی سرد شدن بیشتر آب موجب می‌شود که چگالی آب سطح دریا نسبت به آب زیر آن کمتر شود و در نتیجه در سطح باقی بماند تا اینکه یخ بزند (شکل ۴-۱۵ الف). بنابراین، در حالی که آب زیر دریاچه هنوز مایع است و دمایی بیش از صفر درجه دارد، سطح آب یخ می‌زند. اگر آب دریاچه‌ها از پایین به بالا یخ می‌زد، اثرات زیست‌محیطی زیانباری در پی داشت و حیات گیاهی و جانوری در عمق دریاچه‌ها از بین می‌رفت.



شکل ۴-۱۴ (الف) تغییرات حجم یک گرم آب (شیرین) با دما، (ب) تغییرات چگالی آب (شیرین) با دما

رفتار شگفت‌انگیز آب را می‌توان با ساختار مولکول‌های آن در یخ توضیح داد. مولکول‌های آب در یخ شبکه‌ای بلوری تشکیل می‌دهند، به طوری که مولکول‌ها در بعضی نواحی خیلی به هم نزدیک‌اند و در نواحی دیگر، بین آنها فضای خالی وجود دارد (شکل ۴-۱۵ ب). وقتی آب از یخ به حالت مایع تبدیل می‌شود، دیگر شبکه بلوری وجود ندارد و آرایش مولکول‌های آن یکنواخت‌تر می‌شود و در نتیجه حجم اشغال شده کاهش می‌یابد (شکل ۴-۱۵ پ). در محدوده دماهای $^{\circ}\text{C}$ تا $^{\circ}\text{C}$ ۴ بقایای ساختار مولکولی یخ هنوز در آب وجود دارد و موجب رفتار غیرعادی آب می‌شود.



(پ)

(ب)

(الف)

شکل ۴-۱۵ (الف) آب در حالت مایع چگال‌تر از یخ است و در نتیجه یخ بر روی آب شناور می‌ماند. (ب) مولکول‌های آب در یخ تشکیل یک شبکه بلوری می‌دهند. (پ) آب در حالت مایع تشکیل شبکه بلوری نمی‌دهد.

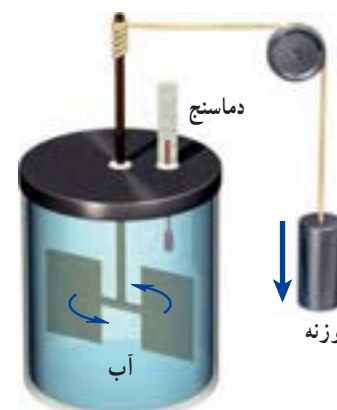
فعالیت ۴-۶

وقتی آب در یک ظرف روباز یخ می‌بندد معمولاً یک برآمدگی مرکزی ایجاد می‌شود. در این مورد تحقیق کنید.

۳-۴ گرما

همان‌طور که در درس علوم دوره اول متوسطه دیدید، اگر آب خیلی سرد را در لیوان بریزیم و سپس این لیوان را روی میز اتاق بگذاریم، آب گرم می‌شود تا اینکه به دمای هوای اتاق برسد. به همین ترتیب، اگر آب داغ را در لیوان بریزیم و لیوان را روی میز بگذاریم، آب خنک می‌شود تا اینکه به دمای هوای اتاق برسد. این گرم‌تر یا سردتر شدن در ابتدا به سرعت رخ می‌دهد و سپس با آهنگ کندتری ادامه می‌یابد تا اینکه دمای آب با دمای اتاق یکسان گردد. در این حالت که آب، لیوان و هوای اتاق در دمای یکسانی هستند، اصطلاحاً می‌گوییم **تعادل گرمایی** حاصل شده است. تا پیش از قرن نوزدهم، چنین مشاهداتی را با پذیرفتن موجودی به نام کالریک توجیه می‌کردند. به عبارتی فرض می‌کردند که چیزی به نام کالریک از جسم گرم به جسم سرد جریان می‌یابد. اما کنت رامفورد^۱ (۱۷۵۳ تا ۱۸۱۴م) و جیمز پرسکات ژول^۲ (۱۸۱۸ تا ۱۸۸۹م) در پی آزمایش‌های هوشمندانه‌ای که نمونه‌ای از آن در شکل ۴-۱۶ نشان داده شده است، دریافتند آنچه که در چنین فرایندهایی رخ می‌دهد، چیزی جز انتقال انرژی نیست. مثلاً در مثال آب داغ، انتقال انرژی از آب به محیط پیرامون، سبب کاهش دمای آب می‌شود. در حالت کلی 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 می‌شود. به این انرژی انتقال یافته بر اثر اختلاف دمای دو جسم، **گرما** گفته می‌شود.

توجه کنید اشاره کردن به گرمای موجود در یک جسم اشتباه است. گرما مربوط به انرژی در حال گذار است؛ بنابراین، عبارت‌هایی مانند گرمای یک جسم، نادرست است. گرما را با نماد Q نشان می‌دهند. چون گرما، انرژی انتقال یافته است، پس باید همان یکای انرژی (ژول) را داشته باشد. یکای دیگر گرما،



شکل ۴-۱۶ نمونه‌ای از آزمایش ژول: در این آزمایش نشان داده می‌شود کار نیروی وزن برابر با مقدار گرمای لازم برای افزایش دمای آب است.

۱- Sir Benjamin Thomson, Count Rumford

۲- James Prescott Joule

کالری^۱ است که در موارد خاصی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

وقتی دو جسم سرد و گرم در تماس با یکدیگر قرار می‌گیرند، از دیدگاه میکروسکوپی، آنچه که اتفاق می‌افتد کاهش انرژی‌های جنبشی و پتانسیل 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 ۱۷-۴).



پرسش ۲-۴

- الف) منظور از این جمله که «دماسنج‌های معمولی دمای خودشان را اندازه‌گیری می‌کنند» چیست؟
 ب) در یک کلاس درس میز، صندلی، دانش‌آموز، تخته، شیشه پنجره و ... وجود دارد. در یک روز زمستانی، دمای کدام یک از آنها بیشتر از دمای هوای اتاق است؟ دمای کدام یک کمتر از دمای هوای اتاق است؟
 پ) در شکل ۱۷-۴ میانگین انرژی جنبشی ذرات دو جسم چگونه تغییر کرده است؟

ظرفیت گرمایی: اگر یک پارچ آب سرد را از داخل یخچال بیرون آوریم و در اتاق قرار دهیم، آب از محیط خود، گرما می‌گیرد تا دمایش با دمای اتاق یکی شود. آزمایش نشان می‌دهد که گرمای گرفته‌شده توسط آب با تغییر دمای آب، متناسب است؛ یعنی هرچه آب سردتر باشد، مقدار گرمایی که می‌گیرد تا دمایش با دمای اتاق یکی شود، بیشتر است. بنابراین، اگر جسمی با محیط اطراف خود گرمای Q را مبادله کند و در اثر این مبادله گرما، دمایش به اندازه ΔT تغییر کند، Q متناسب با ΔT است که ضریب این تناسب را با C نشان می‌دهند، به‌طوری که:

$$Q = C \Delta T$$

(۴-۶)

به C ، **ظرفیت گرمایی** جسم گفته می‌شود که به جنس جسم و جرم آن بستگی دارد. در رابطه ۴-۶ یکای Q ، ژول (J) و یکای ΔT ، کلوین (K) است؛ بنابراین، یکای C ، ژول بر کلوین (J/K) می‌شود.

^۱ ۱ cal = ۴/۱۸۶۰ J

وقتی می‌گوییم ظرفیت گرمایی یک جسم 2000 J/K است، یعنی اگر به آن جسم 2000 J گرما بدهیم، دمای آن 1 K افزایش پیدا می‌کند. توجه کنید که منظور از ظرفیت، این نیست که جسم، توانایی محدودی در مبادله گرما دارد؛ بلکه تا وقتی که اختلاف دما باشد، مبادله گرما ادامه می‌یابد. مقدار زیاد آب، مانند آب دریاچه‌ها و دریاها، نوسان‌های دمای هوای اطراف خود را متعادل می‌کند؛ زیرا اگر مقدار آب زیاد باشد، می‌تواند گرمای زیادی از محیط بگیرد یا اینکه به محیط بدهد، بی‌آنکه دمای خودش تغییر محسوسی بکند (شکل ۴-۱۸).



شکل ۴-۱۸ تصویری از سواحل قشم. آب دریا به دلیل داشتن ظرفیت گرمایی زیاد، دمای هوا را متعادل نگه می‌دارد، اما دمای خودش تغییر محسوسی نمی‌کند.

گرمای ویژه: تجربه نشان می‌دهد ظرفیت گرمایی اجسامی که از ماده یکسانی ساخته شده‌اند متناسب با جرم آنهاست. بنابراین، مناسب‌تر آن است که ظرفیت گرمایی واحد جرم اجسام را تعریف کنیم که به آن ظرفیت گرمایی ویژه یا به سادگی **گرمای ویژه** می‌گویند. گرمای ویژه هر جسم، مقدار گرمایی است که باید به یک کیلوگرم از آن جسم داده شود تا دمای آن یک درجه سلسیوس (یا یک کلوین) افزایش یابد. گرمای ویژه را با c نشان می‌دهند و طبق تعریف، رابطه‌اش با ظرفیت گرمایی به صورت $c = C/m$ است. در نتیجه رابطه ۴-۶ چنین می‌شود:

$$Q = mc\Delta T \quad (4-7)$$

در رابطه ۴-۷ یکای Q ، ژول (J) و یکای m ، کیلوگرم (kg) و یکای ΔT ، کلوین (K) است؛ بنابراین، یکای c در SI، ژول بر کیلوگرم - کلوین ($\text{J/kg} \cdot \text{K}$) است.

گرمای ویژه یک جسم به جنس ماده تشکیل دهنده آن بستگی دارد. گرمای ویژه برخی از مواد در جدول ۴-۳ داده شده است.

جدول ۴-۳ - گرماهای ویژه برخی از مواد*		
گرمای ویژه ($\text{J/kg} \cdot \text{K}$)	ماده	
۱۲۸	سرب	عناصر جامد
۱۳۴	تنگستن	
۲۳۶	نقره	
۳۸۶	مس	
۹۰۰	آلومینیم	
۳۸۰	برنج	جامدهای دیگر
۴۵۰	نوعی فولاد (آلیاژ آهن با ۲٪ کربن)	
۴۹۰	استیل ضدزنگ	
۷۹۰	گرانیت	
۸۰۰	بتون	
۸۴۰	شیشه	
۲۲۲۰	یخ	
۱۴۰	جیوه	مایعات
۲۴۳۰	اتانول	
۳۹۰۰	آب دریا	
۴۱۸۷	آب	

* تمام مواد غیر از یخ در دمای 20°C

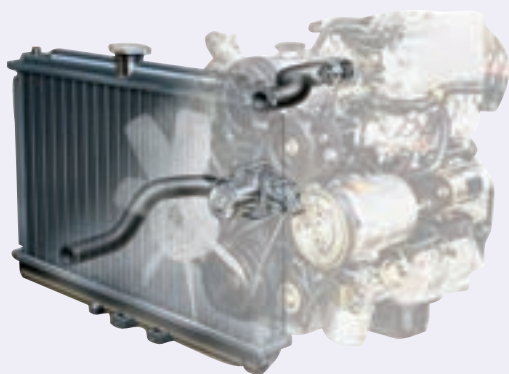
مثال ۴-۶

مقدار $2/00 \text{ L}$ آب با دمای $20/0^\circ \text{C}$ در اختیار داریم. چقدر گرما لازم است تا دمای این آب را به نقطه جوش آن (در دمای 100°C) برسانیم؟

پاسخ: براساس چگالی آب، جرم $2/00 \text{ L}$ آب برابر $2/00 \text{ kg}$ است و از جدول ۳-۴ گرمای ویژه آب $4187 \text{ J/kg} \cdot ^\circ \text{C}$ است. بنابراین، گرمای لازم برای گرم کردن $2/00 \text{ kg}$ آب، از $20/0^\circ \text{C}$ تا نقطه جوش آب، برابر است با

$$Q = m_{\text{آب}} c_{\text{آب}} \Delta T = (2/00 \text{ kg})(4187 \text{ J/kg} \cdot ^\circ \text{C})(100/0^\circ \text{C} - 20/0^\circ \text{C}) = 6/70 \times 10^5 \text{ J}$$

فناوری و کاربرد



شکل ۴-۱۹ تصویری از سیستم خنک کننده خودرو

استفاده از آب در دستگاه های گرم کننده و خنک کننده:

جدول ۳-۴ دیدیم که گرمای ویژه آب از سایر مواد بیشتر است. این نشان می دهد که وقتی یک کیلوگرم آب به اندازه یک درجه سلسیوس تغییر دما دهد، در مقایسه با سایر مواد، گرمای بیشتری با محیط اطراف خود مبادله می کند. از این خاصیت آب برای گرم کردن فضای خانه ها به وسیله شوفاژ استفاده می شود. آب گرم شده در مخزن به وسیله پمپ (تلمبه) و از طریق لوله به رادیاتور می رسد. آب در رادیاتور که با هوای سرد در تماس است، سرد می شود و بخشی از انرژی درونی خود را از دست می دهد و بار دیگر، از طریق لوله های برگشت، به مخزن برمی گردد

و در هر چرخه باز همین عمل تکرار می شود. از آب برای خنک کردن موتور خودروها نیز استفاده می شود (شکل ۴-۱۹). بدین منظور، در محفظه سیلندر و سرسیلندر، مسیرهای عبور آب در نظر گرفته شده است که به وسیله واترپمپ (تلمبه آب)، آب به سرعت در درون این مسیرها گردش می کند و گرما را از موتور به رادیاتور اتومبیل می برد. در اثر عبور هوا از میان پره های رادیاتور، هوا با آب درون رادیاتور تبادل گرمایی می کند، آب انرژی خود را از دست می دهد و دوباره به موتور برمی گردد و این عمل تکرار می شود.

پوشش ۴-۳

چند گوی فلزی از جنس های مختلف، مثلاً از آلومینیم، فولاد، برنج، مس، سرب و ... را اختیار می کنیم که همگی جرم یکسانی داشته باشند. گوی ها را توسط ریسمان هایی داخل ظرف آبی قرار می دهیم که آب آن در حال جوشیدن است و پس از مدتی گوی ها را بیرون آورده و آنها را روی یک ورقه پارافین قرار می دهیم. به نظر شما کدام گوی، پارافین بیشتری را ذوب می کند و علت آن چیست؟ این آزمایش را نخستین بار فیزیک دان ایرلندی، جان تیندال^۱ (۱۸۹۳-۱۸۲۰ م.) طراحی و اجرا کرد.



گوی ها بسته به جنس خود، ورقه پارافین را در زمان های متفاوت ذوب می کنند.

^۱ John Tyndall

مول و عدد آووگادرو: همان طور که در فصل ۱ دیدید، در بسیاری از موارد یکای مناسب برای

تعیین مقدار یک ماده، مول (mol) است. مقدار ماده برحسب مول را با n نشان می‌دهند. یک مول از هر ماده به معنای 6.02×10^{23} از اجزای سازنده آن ماده است که به آن عدد آووگادرو گفته می‌شود؛ مثلاً یک مول آلومینیم به معنای 6.02×10^{23} اتم آلومینیم است و یک مول آلومینیم اکسید به معنای 6.02×10^{23} مولکول آلومینیم اکسید است. بدیهی است که اگر جرم نمونه‌ای از ماده را با m و جرم یک مول از ماده را با M (که موسوم به جرم مولی است) نشان دهیم داریم:



شکل ۴-۲. یک مول هوا، یک مول آب، یک مول نمک طعام در کنار هم

$$n = \frac{m}{M}$$

(۴-۸)

که در آن n برحسب مول (mol)، m برحسب کیلوگرم (kg) و M برحسب کیلوگرم بر مول (kg/mol) است؛ مثلاً شکل ۴-۲ یک مول از سه نمونه مواد در حالت‌های مختلف را نشان می‌دهد.

مثال ۴-۲



شکل روبه‌رو، نوعی از الماس را نشان می‌دهد که تقریباً از کربن خالص است. جرم این الماس ۴۴/۵ قیراط است. یک قیراط معادل با 0.200 g است. چه تعداد اتم کربن در این الماس وجود دارد؟ جرم مولی کربن 12.011 g/mol است.

پاسخ: نخست با استفاده از رابطه ۴-۸ تعداد مول اتم کربن موجود در الماس را به‌دست می‌آوریم:

$$n = \frac{m}{M} = \frac{(44.5 \times 0.200) \text{ g}}{(12.011) \text{ g/mol}} = 0.741 \text{ mol}$$

با توجه به اینکه در هر مول از کربن به تعداد عدد آووگادرو اتم کربن وجود دارد، نتیجه می‌گیریم:

(عدد آووگادرو) (تعداد مول) = تعداد اتم کربن

$$= (0.741 \text{ mol})(6.02 \times 10^{23} \text{ اتم/mol}) = 4.46 \times 10^{23} \text{ اتم}$$

گرمای ویژه مولی: وقتی مقدار ماده به جای جرم برحسب مول بیان شود باید به‌جای ظرفیت

گرمایی واحد جرم از ظرفیت گرمایی واحد مول (C/n) استفاده کنیم که به آن ظرفیت گرمایی مولی یا **گرمای ویژه مولی** گفته می‌شود. در واقع گرمای ویژه مولی یک ماده، مقدار گرمایی است که باید به یک مول از آن ماده بدهیم تا در شرایط فیزیکی تعیین شده، دمای آن 1 K افزایش یابد (با این کمیت در فصل ۵ بیشتر آشنا خواهیم شد).

اگر گرمای ویژه مولی مواد مختلف را با هم مقایسه کنیم، به نظم شگفت‌انگیزی پی می‌بریم و درمی‌یابیم برای بیشتر فلزها، مقدار آن تقریباً مساوی با $25 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$ است. این نظم با آنکه تقریبی است به نام قاعده «دولن و پتی» مشهور است که بیان می‌دارد گرمای لازم برای بالا بردن دمای یک مول از هر کدام از این فلزها، مقدار یکسانی است و به جنس آنها بستگی ندارد.

دمای تعادل: اگر دو یا چند جسم با دماهای مختلف در تماس با یکدیگر قرار گیرند، پس از مدتی همدمای می‌شوند، یعنی دمای آنها به مقدار یکسانی می‌رسد. به این دما، **دمای تعادل** می‌گویند که می‌توان با استفاده از قانون پایستگی انرژی، آن را محاسبه کرد. در این حالت بعضی از اجسام گرما از دست می‌دهند و بقیه اجسام گرما می‌گیرند. بنا به قرارداد علامت Q برای اجسامی که گرما می‌گیرند مثبت ($Q > 0$) و برای اجسامی که گرما می‌دهند منفی ($Q < 0$) اختیار می‌شود؛ مثلاً از رابطه (۴-۷) نیز درمی‌یابیم که با افزایش دما، مقدار مثبتی برای Q به دست می‌آید و با کاهش دما، مقداری منفی برای Q به دست می‌آید. بنا به قانون پایستگی انرژی، همان قدر که اجسام گرم انرژی از دست می‌دهند، اجسام سرد انرژی می‌گیرند، پس جمع جبری این Q ها صفر می‌شود:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots = 0 \quad (9-4)$$

هرگاه چند جسم متفاوت با گرماهای ویژه c_1, c_2, c_3, \dots و به جرم‌های m_1, m_2, m_3, \dots و دماهای اولیه $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots$ را در تماس با یکدیگر قرار دهیم با استفاده از رابطه (۴-۹) معادله‌ای به دست می‌آوریم که می‌توان دمای تعادل θ را از آن محاسبه کرد.

$$m_1 c_1 (\theta - \theta_1) + m_2 c_2 (\theta - \theta_2) + m_3 c_3 (\theta - \theta_3) + \dots = 0 \quad (10-4)$$

مثال ۴-۸

شخصی 300 kg آب 70°C را در یک لیوان آلومینیومی 120°C کیلوگرمی که دمای آن 20°C است می‌ریزد. دمای نهایی پس از آنکه آب و لیوان به تعادل گرمایی برسند چقدر است؟ فرض کنید هیچ گرمایی با محیط مبادله نمی‌شود.

پاسخ: با توجه به اینکه هیچ مبادله گرمایی با محیط نداریم، با استفاده از رابطه ۴-۹ داریم:

$$Q_{\text{آب}} + Q_{\text{آلومینیم}} = 0$$

اکنون با استفاده از رابطه ۴-۷ ($Q = mc\Delta\theta$) خواهیم داشت:

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

که در آن θ دمای تعادل مجموعه است. با استفاده از گرماهای ویژه آب و آلومینیم از جدول ۴-۳ خواهیم داشت:

$$(300 \text{ kg})(4187 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C})(\theta - 70^\circ\text{C}) + (120 \text{ kg})(900 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C})(\theta - 20^\circ\text{C}) = 0$$

و از آنجا پس از اندکی محاسبه جبری برای دمای تعادل به $\theta = 66^\circ\text{C}$ می‌رسیم.

از معادله ۴-۱۰ می‌توانیم برای یافتن کمیت‌های دیگری مانند گرمای ویژه یک جسم نیز استفاده کنیم.

مثال ۴-۹

در ظرف عایقی حاوی 50°C آب 2°C ، یک قطعه مس 10°C کیلو گرمی به دمای 50°C و یک قطعه فلز دیگر به جرم 15°C و به دمای 6°C و ویژه نامعلوم می‌اندازیم و دمای تعادل را اندازه می‌گیریم. دمای تعادل 22°C شده است. با چشم‌پوشی از تبادل گرما بین ظرف و سایر اجسام، گرمای ویژه فلز را حساب کنید.

پاسخ: دمای تعادل 22°C است و نیز با استفاده از سایر داده‌های این مثال و جدول ۳-۴ داریم:

$$\text{آب: } m_1 = 50^\circ\text{C}, \theta_1 = 2^\circ\text{C}, c_1 = 4187 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\text{مس: } m_2 = 10^\circ\text{C}, \theta_2 = 50^\circ\text{C}, c_2 = 386 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\text{فلز: } m_3 = 15^\circ\text{C}, \theta_3 = 6^\circ\text{C}, c_3 = ?$$

اکنون با استفاده از رابطه ۴-۱ خواهیم داشت:

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

$$(50^\circ\text{C})(4187 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C})(22^\circ\text{C} - 2^\circ\text{C}) + (10^\circ\text{C})(386 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C})(22^\circ\text{C} - 50^\circ\text{C})$$

$$+ (15^\circ\text{C}) c_3 (22^\circ\text{C} - 6^\circ\text{C}) = 0 \Rightarrow c_3 = 545 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$$

تمرین ۴-۵

جسمی به جرم 25°C و دمای 3°C را درون ظرف عایقی حاوی 50°C آب 25°C می‌اندازیم. پس از چند دقیقه دمای تعادل را اندازه می‌گیریم. دمای تعادل 21°C می‌شود. گرمای ویژه جسم را محاسبه کنید. از تبادل گرما بین ظرف و سایر اجسام چشم‌پوشی کنید.

گرماسنج و گرماسنجی: گرماسنج که به آن کالری‌تر نیز می‌گویند شامل ظرفی است درپوش‌دار که به خوبی عایق‌بندی گرمایی شده است (شکل ۴-۲۱). این ظرف در آزمایش‌های گرماسنجی مانند تعیین گرمای ویژه اجسام، به کار می‌رود. در گرماسنج مقداری آب با جرم معین می‌ریزیم و پس از هم‌دم شدن آب و گرماسنج، دمای آب را اندازه می‌گیریم. سپس جسمی را که می‌خواهیم گرمای ویژه‌اش را پیدا کنیم و جرم و دمای اولیه 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 (۴-۹) و (۴-۱۰) و با چشم‌پوشی از اثر ناچیز دماسنج و همزن در مبادله گرما داریم:

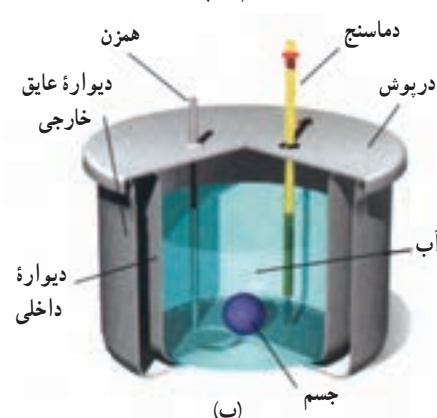
$$Q_{\text{آب}} + Q_{\text{جسم}} + Q_{\text{ظرف}} = 0$$

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

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



(الف)



شکل ۴-۲۱ (الف) عکسی واقعی و (ب) طرحی از نمای داخلی یک گرماسنج

برای اندازه‌گیری گرمای ویژه فلزی با جنس نامعلوم، قطعه‌ای $۰/۶۰۰$ کیلوگرمی از آن را تا $۱۰۰/۰^{\circ}\text{C}$ گرم می‌کنیم و سپس آن را در گرماسنجی با ظرفیت گرمایی $۱/۸۰ \times ۱۰^۲ \text{ J/K}$ که حاوی $۰/۵۰۰ \text{ kg}$ آب با دمای اولیه $۱۷/۳^{\circ}\text{C}$ است، می‌اندازیم. اگر دمای نهایی مجموعه $۲۰/۰^{\circ}\text{C}$ شود، گرمای ویژه این فلز چقدر است؟

پاسخ: با استفاده از رابطه (۴-۱۰) و تعریف ظرفیت گرمایی داریم:

$$Q_{\text{آب}} + Q_{\text{فلز}} + Q_{\text{گرماسنج}} = 0$$

$$m_{\text{آب}} c_{\text{آب}} (\theta - \theta_{\text{آب}}) + m_{\text{فلز}} c_{\text{فلز}} (\theta - \theta_{\text{فلز}}) + C_{\text{گرماسنج}} (\theta - \theta_{\text{گرماسنج}}) = 0$$

اکنون با جای گذاری مقادیر خواهیم داشت:

$$(۰/۵۰۰ \text{ kg})(۴۱۸۷ \text{ J/kg} \cdot ^{\circ}\text{C})(۲۰/۰^{\circ}\text{C} - ۱۷/۳^{\circ}\text{C}) + (۰/۶۰۰ \text{ kg}) c_{\text{فلز}} (۲۰/۰^{\circ}\text{C} - ۱۰۰/۰^{\circ}\text{C}) + (۱/۸۰ \times ۱۰^۲ \text{ J/K})(۲۰/۰^{\circ}\text{C} - ۱۷/۳^{\circ}\text{C}) = 0$$

پس از عملیات جبری، گرمای ویژه فلز $۱۲۸ \text{ J/kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$ به دست می‌آید. اگر به جدول ۴-۳ نگاه کنیم درمی‌یابیم که این گرمای ویژه بسیار نزدیک به گرمای ویژه سرب است و احتمالاً جنس ماده نامعلوم سرب بوده است.

آزمایش ۴-۲



هدف: تعیین گرمای ویژه فلزی با جنس نامعین

وسایله‌های موردنیاز: گرماسنج با ظرفیت گرمایی معین، یک جسم کوچک فلزی (مثل یک وزنه فلزی قلاب‌دار)، دماسنج، ترازو، بشر شیشه‌ای، چراغ گازی، سه پایه و شعله‌پخش‌کن، انبر.

شرح آزمایش:

۱- مقداری آب با جرم معلوم را درون گرماسنج بریزید و صبر کنید تا دمای گرماسنج و آب، یکسان شود. این دما را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

۲- جرم جسم فلزی را به کمک ترازو اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

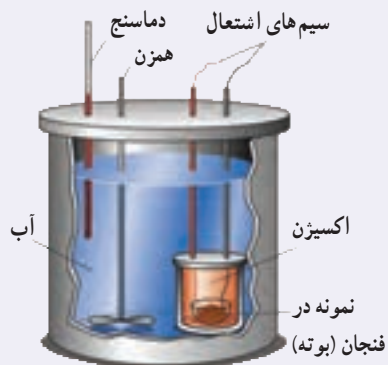
۳- جسم فلزی را درون بشر قرار دهید، مقداری آب روی آن بریزید و سپس مجموعه را روی چراغ گازی روشن بگذارید.

۴- صبر کنید تا آب چند دقیقه بجوشد. دمای آب را در این حالت اندازه بگیرید. این دما، همان دمای جسم فلزی نیز هست.

۵- جسم داغ شده را توسط انبر به سرعت درون گرماسنج بیندازید.

۶- آب درون گرماسنج را با همزن آن به هم بزنید و دمای تعادل را اندازه گرفته و یادداشت کنید.

۷- با استفاده از رابطه ۴-۱۰ گرمای ویژه جسم فلزی را به دست آورید.

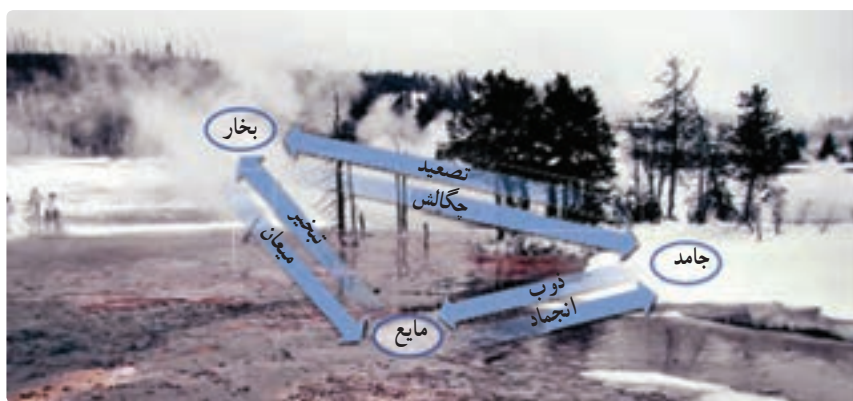


شکل ۴-۲۲ اجزای یک گرماسنج بمبی

گرماسنج بمبی^۱: گرماسنج بمبی نوعی گرماسنج است که از آن برای تعیین ارزش غذایی مواد با اندازه‌گیری انرژی آزاد شده آنها در حین سوختن استفاده می‌شود. نمونه‌ای که جرم آن به دقت اندازه‌گیری شده است در ظرف سر بسته‌ای که محتوی اکسیژن است (که اصطلاحاً به آن بمب گفته می‌شود) قرار داده می‌شود (شکل ۴-۲۲). سپس این محفظه در آب یک گرماسنج قرار داده می‌شود و توسط جریان الکتریکی عبوری از یک سیم نازک، نمونه داخل آن سوزانده می‌شود. با اندازه‌گیری تغییر دمای آب، انرژی حاصل از احتراق ماده مورد نظر را به دست می‌آورند که تقریباً معادل انرژی آزاد شده از آن ماده است.

۴-۴ تغییر حالت‌های ماده

همان‌طور که در فصل ۳ دیدیم، موادی که در اطراف ما وجود دارند معمولاً در سه حالت (فاز) جامد، مایع و گاز (بخار)^۲ یافت می‌شوند. گذار از یک حالت (فاز) به یک حالت (فاز) دیگر را یک تغییر حالت (گذار فاز) می‌نامند. برای مثال در شکل ۴-۲۳ انواع تغییر حالت‌هایی که برای سه حالت آب امکان‌پذیر است نشان داده شده است. تغییر حالت‌ها معمولاً با گرفتن و یا از دست دادن گرما همراه‌اند.



شکل ۴-۲۳ تغییر حالت‌های مختلف آب که به‌طور هم‌زمان در این تصویر واقعی مشاهده می‌شود.

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 به‌طور مستقیم از جامد به بخار تبدیل می‌شود، یا در صبح‌های بسیار سرد زمستان، برفکی که روی گیاهان و یا روی شیشه پنجره می‌نشیند، بخار آبی است که به‌طور مستقیم به بلورهای یخ تبدیل شده است. در ادامه تغییر حالت‌های جامد - مایع، و مایع - بخار را به‌طور جداگانه بررسی می‌کنیم.

^۱ - Bomb Calorimeter

^۲ - در مباحث پیشرفته‌تر فیزیک، بخار و گاز تعاریف متفاوتی دارند، ولی در این کتاب هر دو به یک معنا گرفته شده‌اند.

تغییر حالت جامد — 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 **نقطه 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 قیر نقطه ذوب کاملاً مشخصی ندارند. در واقع وقتی این مواد را گرم می‌کنیم، پیش از ذوب شدن خمیری‌شکل می‌شوند. این مواد در گستره‌ای از دما به تدریج ذوب می‌شوند. معمولاً افزایش فشار وارد بر جسم سبب بالا رفتن نقطه ذوب جسم می‌شود. اما در برخی مواد مانند یخ، افزایش فشار به کاهش نقطه ذوب می‌انجامد که این در مورد یخ بسیار ناچیز است.



در نقطه سه‌گانه آب، سه فاز آب در تعادل اند.

فعالیت ۴-۷

نقطه ذوب یخ در فشار ۱ atm برابر 0°C است. برای آب نقطه‌ای موسوم به نقطه سه‌گانه وجود دارد که در آن سه حالت یخ، آب و بخار در تعادل اند. دمای این نقطه 0.01°C است. تحقیق کنید برای رسیدن به این نقطه به چه فشاری نیاز است.



شکل ۴-۲۴ تصویری از یخ در حال ذوب

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؛ بلکه سبب تغییر حالت آن می‌شود. ذوب شدن یک قالب یخ و تبدیل آن به آب (شکل ۴-۲۴) مثالی مشهور از این دست است.

فعالیت ۴-۸



برف و یخ دو شکل آشنای حالت جامد آب هستند، اما با وجود این، ظاهر متفاوتی دارند. دلیل این امر را تحقیق کنید.



اسپری کردن باغ‌های میوه: گاهی اوقات گیاهان را با آب اسپری می‌کنند تا آنها را از یخ زدن در سرمای سخت محافظت کنند. این محافظت ناشی از لایه یخی نیست که روی گیاه تشکیل می‌شود. این محافظت ناشی از فرایندهایی است که پس از نشستن آب روی گیاه رخ می‌دهند؛ یعنی فرایندهایی که در آنها آب تا نقطه انجماد سرد می‌شود و سپس یخ می‌بندد. لازمه هر دو فرایند این است که آب به گیاه گرما بدهد. انرژی که به گیاه و سپس به هوا منتقل می‌شود می‌تواند دمای باغ را بین 2°C تا 0°C حفظ کند که این موجب بقای گیاهان می‌شود. باغبان از روی یخ تشکیل شده روی گیاهان می‌تواند بگوید که آیا اسپری کردن به گیاهان کمک کرده یا مضر بوده است. اگر اسپری کردن به درستی انجام شده باشد، قطرات پیش از یخ زدن روی گیاهان پخش می‌شوند و لایه‌ای شفاف درست می‌کنند. در غیر این صورت، تک تک قطراتی که به طور جزئی یخ زده‌اند، لایه یخی غیر شفاف درست می‌کنند. به همین دلیل باغبان‌ها در طول شب، مدام شفافیت یخ روی گیاهان را بررسی می‌کنند.

انجماد یک مایع و تبدیل آن به یک جامد، عکس فرایند ذوب شدن است و لازمه 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 منتقل شده برای تغییر حالت جسم از جامد به مایع یا از مایع به جامد، با جرم جسم نسبت مستقیم دارد. نسبت این گرما به جرم جسم را گرمای نهان ویژه ذوب می‌گویند که به اختصار آن را گرمای نهان ذوب می‌نامیم و آن را با L_F نشان می‌دهیم^۱.

$$L_F = \frac{Q}{m} \quad (۱۱-۴)$$

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 ($Q < 0$):

$$Q = -mL_F$$

گرمای نهان ذوب و نقطه ذوب مواد مختلف، متفاوت است. این مقادیر برای برخی از مواد در جدول ۴-۴ داده شده است.

جدول ۴-۴ نقطه ذوب و گرمای نهان ذوب برخی مواد در فشار یک اتمسفر

ماده	نقطه ذوب ($^{\circ}\text{C}$)	گرمای نهان ذوب (kJ/kg)
هیدروژن	-۲۵۹	۵۸/۶
اکسیژن	-۲۱۸	۱۳/۸
ازت	-۲۱۰	۲۵/۵
جیوه	-۳۹	۱۱/۸
یخ	0°	۳۳۳/۷
گوگرد	۱۱۹	۳۸/۱
سرب	۳۲۷	۲۴/۵
قلع	۶۳۰	۱۶۵
نقره	۹۶۰	۸۸/۳
طلا	۱۰۶۴	۶۴/۵
مس	۱۰۸۳	۱۳۴

۱- اندیس F حرف اول واژه انگلیسی «Fusion» است که بیشتر به معنای ذوب به کار می‌رود. با اینکه هم‌اکنون از واژه «melting» برای ذوب استفاده می‌شود، همچنان از F برای نشان دادن ذوب استفاده می‌گردد.

فعالیت ۹-۴

تحقیق کنید وجود ناخالصی در مایع چه تأثیری بر نقطه انجماد آن دارد.

مثال ۱۱-۴



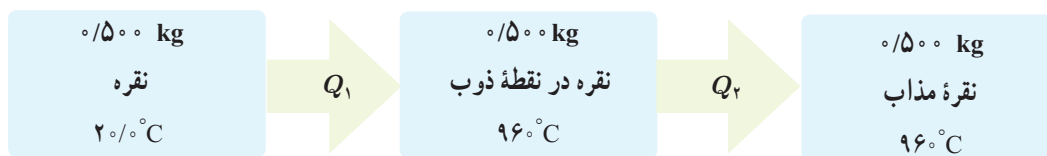
فلز گالیم (Ga) یکی از چند عنصری است که در دماهای پایین ذوب می‌شود. دمای ذوب این فلز 29.8°C و گرمای نهان ذوب آن $8.0/4 \text{ kJ/kg}$ است. یک قطعه $10^{\circ}/$ گرمی از این فلز چقدر گرما از دست ما می‌گیرد تا در نقطه ذوب خود به طور کامل ذوب شود؟ (از تبادل گرما بین فلز و هوای محیط چشم‌پوشی می‌شود.)

پاسخ: با استفاده از رابطه ۱۱-۴ داریم:

$$Q = mL_F = (10^{\circ}/ \times 10^{-3} \text{ kg})(8.0/4 \times 10^3 \text{ J/kg}) = 80.4 \text{ J}$$

مثال ۱۲-۴

یک جواهرساز برای ساختن جواهری می‌خواهد از 0.500 kg نقره برای ریختن در قالب‌های جواهر استفاده کند. به این منظور او باید نقره را ذوب کند. اگر دمای اولیه نقره همان دمای اتاق و برابر 20°C باشد، چقدر گرما باید به این مقدار نقره داده شود؟ **پاسخ:** مرحله‌های این فرایند به‌طور طرح‌وار در شکل زیر رسم شده است.



که در آن

$$Q_1 = m_{\text{نقره}} c_{\text{نقره}} \Delta\theta = (0.500 \text{ kg})(236 \text{ J/kg} \cdot ^{\circ}\text{C})(96^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}) = 1.11 \times 10^5 \text{ J}$$

$$Q_2 = m_{\text{نقره}} L_F = (0.500 \text{ kg})(88.3 \text{ kJ/kg}) = 0.442 \times 10^5 \text{ J}$$

که در آن از گرمای ویژه و گرمای نهان ذوب نقره مندرج در جدول‌های ۳-۴ و ۴-۴ استفاده کردیم. اکنون گرمای کل با جمع کردن Q_1 و Q_2 به دست می‌آید:

$$Q = Q_1 + Q_2 = 1.11 \times 10^5 \text{ J} + 0.442 \times 10^5 \text{ J} = 1.55 \times 10^5 \text{ J} = 155 \text{ kJ}$$

آزمایش ۳-۴

هدف: تعیین گرمای نهان ذوب یخ

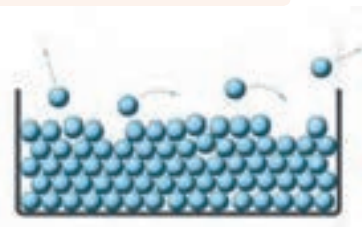
وسایلهای موردنیاز: بشر شیشه‌ای با حجم 400 cc ، چراغ گازی، سه پایه، توری نسوز، ترازو، مقداری مخلوط آب و یخ، گرماسنج با ظرفیت گرمایی معلوم و دماسنج.

شرح آزمایش :

- ۱- 20°C آب در بشر بریزید و آن را روی سه پایه قرار دهید. چراغ گاز را روشن کنید تا دمای آب دست کم به 60°C برسد.
- ۲- آب گرم را درون گرماسنج بریزید و پس از مدتی دمای تعادل آب و گرماسنج را با دماسنج اندازه بگیرید و یادداشت کنید.
- ۳- قطعه یخی به جرم تقریبی 50g را از درون مخلوط آب و یخ (با دمای 0°C) بیرون آورده و جرم آن را اندازه گرفته و یادداشت کنید.
- ۴- یخ را درون گرماسنج بیندازید و صبر کنید تا کاملاً ذوب شود. اینک دمای تعادل را اندازه بگیرید.
- ۵- با استفاده از اعداد به دست آمده، گرمای ذوب (L_F) را حساب کنید.

تغییر حالت مایع — بخار : دیدیم که به تبدیل مایع به بخار تبخیر 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** گفته می‌شود. تا پیش از رسیدن به نقطه جوش مایع، تبخیر به طور پیوسته‌ای از سطح مایع رخ می‌دهد. در پدیده تبخیر سطحی، تندی برخی از مولکول‌های مایع به حدی می‌رسد که می‌توانند از سطح مایع فرار کنند (شکل ۴-۲۵). تجربه نشان می‌دهد آهنگ رخ دادن این فرایند به عواملی از جمله دما و مساحت سطح مایع بستگی دارد.



شکل ۴-۲۵ در حین تبخیر سطحی، مولکول‌های پراثرتری تر از سطح مایع می‌گریزند.

فعالیت ۴-۱۰



- الف) بررسی کنید از دیدگاه مولکولی، افزایش دما و افزایش مساحت سطح مایع چگونه بر آهنگ تبخیر سطحی مایع اثر می‌گذارد؟
- ب) با بررسی تبخیر سطحی در شرایط مختلف سعی کنید از راه تجربه، عامل یا عامل‌های دیگری را پیدا کنید که بر آهنگ تبخیر سطحی مؤثر باشند.
- پ) تحقیق کنید کوزه‌های سفالی چگونه می‌توانند آب داخل خود را خنک کنند.

خوب است بدانید



تعریق و تنظیم دمای بدن : برای جانوران بزرگ جثه، نسبت مساحت سطح

بدن — که از آن گرما تلف می‌شود — به حجم داخلی بدن — که در آن گرما تولید می‌شود — نسبتاً کم است. بنابراین، آنها غالباً دستگاه‌های ویژه‌ای برای خلاص شدن از این گرمای ناخواسته دارند؛ مثلاً سگ‌ها با نفس نفس زدن و خرگوش کوهی که در تصویر نشان داده شده است، با فرستادن خون به گوش‌های نازک، بزرگ و پر از مویرگ خود این گرمای ناخواسته را از دست می‌دهند. بدن انسان‌ها به گونه‌ای دیگر عمل می‌کند و با عرق کردن گرما از دست می‌دهد. در واقع عرق کردن سبب می‌شود که لایه‌ای روی پوست بدن تشکیل شود. این لایه آب با جذب گرمای مورد نیاز برای تبخیر سطحی از بدن، بدن را خنک می‌کند.



شکل ۴-۲۷ در هنگام جوشیدن، حباب‌ها از محل تشکیل خود به سمت سطح آزاد مایع بالا می‌روند.

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**^۱ است. به این دمای مشخص، نقطه جوش می‌گویند. در مورد آب، به محض اینکه حباب‌ها بالا می‌آیند به آب کمی سردتر می‌رسند و پیش از رسیدن به سطح آزاد آب با صدای تیزی فرو می‌پاشند و در آنجا دوباره به مایع تبدیل می‌شوند. ولی وقتی دمای آب همچنان بالا برود، حباب‌ها می‌توانند بیشتر بالا بروند تا اینکه سرانجام به سطح آزاد آب می‌رسند و در آنجا با صدای دیگری که به آن «غلغل کردن» می‌گویند فرو می‌پاشند (شکل ۴-۲۶). در این حالت است که می‌گوییم آب به «جوش کامل» رسیده است و آهنگ تبخیر به بیشترین مقدار خود می‌رسد. دماسنجی که مخزن آن درست بالای سطح آب قرار دارد دمای ثابتی را نشان می‌دهد که برای آب خالص در فشار جو متعارف (۱ atm)، 100°C است. در جوشیدن، کل مایع در فرایند تبخیر شرکت می‌کند. به فرایند تبخیر تا پیش از رسیدن به نقطه جوش، تبخیر سطحی و به فرایند تبخیر در نقطه جوش، اصطلاحاً جوشیدن می‌گویند، در حالی که هر دو فرایند، تبخیرند.

فعالیت ۴-۱۱

از تفاوت نقطه جوش اجسام مختلف در صنعت، استفاده زیادی می‌شود. تحقیق کنید چگونه از این ویژگی برای جدا کردن محصولات نفتی استفاده می‌شود؟

جدول ۴-۵ مقادیر L_V برای آب در دماهای مختلف^۲

L_V (kJ/kg)	دما ($^{\circ}\text{C}$)
۲۴۹۰	۰
۲۴۵۴	۱۵
۲۳۷۴	۵۰
۲۲۵۶	۱۰۰
۲۱۱۵	۱۵۰
۱۹۴۰	۲۰۰

* مقادیر تا 100°C در فشار ۱ atm است.

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 ^۲ نشان می‌دهیم.

$$L_V = \frac{Q}{m} \quad (۴-۱۲)$$

گرمای نهان تبخیر هر مایع به جنس و دمای آن بستگی دارد و یکای آن در SI ژول بر کیلوگرم (J/kg) است. جدول ۴-۵ برخی از مقدارهای L_V را نشان می‌دهد که به طور تجربی برای آب در دماهای مختلف به دست آمده است.

پوشش ۴-۴

چرا در جدول ۴-۵ گرمای تبخیر آب با افزایش دمای آن کاهش می‌یابد؟

^۱ - Boiling

^۲ - زیرنویس V حرف اول واژه انگلیسی Vaporization به معنای تبخیر است.

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

مثال ۴-۱۳

معمولاً وقتی هوا را با بخاری‌های شعله‌ای گرم می‌کنند، برای حفظ رطوبت محیط، ظرف آبی را روی بخاری می‌گذارند. اگر دمای آب در یکی از این ظرف‌ها روی 50°C ثابت مانده باشد، تعیین کنید برای تبخیر 200 kg از آب در این شرایط چقدر گرما لازم است؟

پاسخ: با توجه به رابطه ۴-۱۲ و استفاده از جدول ۴-۵ داریم:

$$Q = +mL_V = +(200\text{ kg})(2374 \times 10^3\text{ J/kg}) = 4748 \times 10^5\text{ J}$$

جدول ۴-۶ نقطه جوش و گرمای نهان تبخیر برخی از مواد در فشار ۱ اتمسفر

ماده	نقطه جوش ($^\circ\text{C}$)	گرمای نهان تبخیر (kJ/kg)
هلیوم	-۲۶۹	۲۱
هیدروژن	-۲۵۳	۴۶۰
ازت	-۱۹۶	۲۰۰
اکسیژن	-۱۸۳	۲۱۴
آمونیاک	-۳۵	۱۳۶۹
اتر	۳۵	۳۷۷
برم	۵۹	۱۹۳
کلروفرم	۶۲	۲۴۷
اتانول	۷۹	۸۴۶
بنزن	۸۰	۳۹۰
آب	۱۰۰	۲۲۵۶
ید	۱۸۴	۱۶۴
گلیسرین	۲۹۰	۹۷۴
جیوه	۳۵۷	۲۹۵
گوگرد	۴۴۵	۱۵۱۰

در مسئله‌های عملی بیشتر با گرمای نهان تبخیر مایع در نقطه جوش آن سروکار داریم و البته نقطه جوش هر مایع به جنس و فشار وارد بر آن بستگی دارد. افزایش فشار وارد بر مایع سبب بالا رفتن نقطه جوش آن می‌شود. جدول ۴-۶ نقطه جوش و گرمای نهان تبخیر مربوط به این نقطه را برای برخی از مواد در فشار ۱ اتمسفر نشان می‌دهد.

خوب است بدانید



بادگیرها: بادگیرها از گذشته‌های بسیار دور در مناطق کویری ایران مانند یزد، کرمان، کاشان، طبس و... برای خنک کردن هوای داخل بناها مورد استفاده قرار می‌گرفته است. ساختمان بادگیر به شکل مکعب مستطیل است که در دو یا چهار طرف آن، شکاف‌هایی تعبیه شده است. جریان باد با برخورد به شکاف‌های رو به باد، توسط کانال‌هایی به درون ساختمان هدایت می‌شود و بدین ترتیب هوای بیرون به داخل ساختمان می‌رود. در درون ساختمان، هوا از طریق یک تونل به پایین بادگیر و سپس از آنجا به زیرزمین منتقل می‌شود. آب به صورت نم روی دیواره‌های تونل و در حوض کوچکی در زیرزمین وجود دارد و هوا با تبخیر شدن آب، بیشتر خنک می‌شود. به عبارتی، گرما از دیواره‌های تونل، حوض آب یا هوا گرفته می‌شود تا آب از مایع به بخار تبدیل شود. سپس جریان هوا از طریق کانال‌های دیگری از دهانه‌های پشت به بادگیر خارج می‌شود.

الف) چرا غذا در دیگ زودپز، زودتر پخته می‌شود؟
 ب) دلیل دیرتر پخته شدن تخم مرغ در ارتفاعات چیست؟ کوهنوردان برای رفع این مشکل چه کاری انجام می‌دهند؟

مثال ۴-۱۴

۲/۰ لیتر آب را درون یک کتری برقی با توان الکتریکی ۱/۵ kW می‌ریزیم و آن را روشن می‌کنیم.
 الف) از شروع جوشیدن تا تبخیر همه آب درون کتری چقدر گرما به آب داده می‌شود؟
 ب) چه مدت طول می‌کشد تا این فرایند انجام شود؟ فرض کنید تمام انرژی الکتریکی تبدیل شده به انرژی گرمایی، به آب می‌رسد.

پاسخ:

الف) با توجه به رابطه ۴-۱۲ و جدول ۴-۶ داریم:

$$Q = mL_V = (2/0 \text{ kg})(2256 \times 10^3 \text{ J/kg}) = 4/5 \times 10^6 \text{ J}$$

ب) آن گاه با استفاده از رابطه توان خواهیم داشت:

$$Q = Pt \Rightarrow t = \frac{Q}{P} = \frac{4/5 \times 10^6 \text{ J}}{1/5 \times 10^3 \text{ J/s}} = 3/0 \times 10^3 \text{ s} = 5/0 \text{ min}$$

برای اندازه‌گیری گرمای نهان تبخیر در نقطه جوش هر مایع روش‌های عملی گوناگونی وجود دارد که آزمایش ۴-۴ براساس یکی از این روش‌ها طراحی شده است.

آزمایش ۴-۴

هدف: تعیین گرمای نهان تبخیر آب

وسایله‌های مورد نیاز: بشر ۲۰۰ cc، دماسنج، سه پایه، توری، پایه و گیره، چراغ گاز، زمان‌سنج، آب و ترازو

شرح آزمایش:

- ۱- جرم بشر خالی را اندازه‌گیری کنید و مقدار معینی آب (مثلاً 200 kg) در آن بریزید.
- ۲- توری را روی سه پایه بگذارید. چراغ را زیر آن روشن کنید و بشر را روی توری قرار دهید.
- ۳- دماسنج را به کمک پایه و گیره طوری درون بشر قرار دهید تا مخزن آن کمی پایین‌تر از سطح آب باشد.

۴- در لحظه‌ای که دمای آب به $\theta_1 = 70^\circ \text{C}$ می‌رسد زمان‌سنج را روشن کنید ($t_1 = 0 \text{ s}$).

۵- صبر کنید تا آب به جوش آید. زمان (t_2) و دما (θ_2) را ثبت کنید.

۶- با استفاده از رابطه $P(t_2 - t_1) = mc(\theta_2 - \theta_1)$ و جای‌گذاری مقادیر معلوم، توان گرمادهی چراغ به آب (P) را به دست آورید.

۷- گرما دادن را آن قدر ادامه دهید تا مقدار قابل ملاحظه‌ای از آب بخار شود (تذکر: در طول گرمادادن باید شرایط چراغ و بشر ثابت بماند تا توان گرمادهی چراغ به آب تغییر نکند).

۸- زمان (t_2) را ثبت کنید. بشر را از روی چراغ بردارید و با وزن کردن آن جرم آب بخار شده (m') را به دست آورید.

۹- گرمای تبخیر را با استفاده از رابطه $P(t_2 - t_1) = m' L_V$ به دست آورید.



تمرین ۴-۶

قطعه یخی به جرم $1/0 \text{ kg}$ و دمای اولیه 2°C را آن قدر گرم می‌کنیم تا تمام آن تبدیل به بخار 100°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 رابطه $Q = -mL_V$ محاسبه می‌شود. علامت منفی نشان‌دهنده 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.

فعالیت ۴-۱۲



در مورد ایجاد شبنم صبحگاهی روی گیاهان تحقیق کنید.

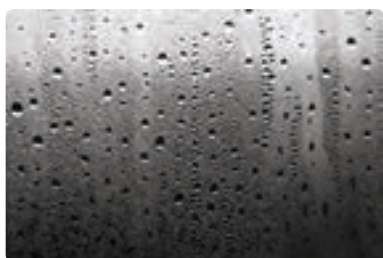
مثال ۴-۱۵

در یک روز زمستانی، بخار آب موجود در اتاقی روی شیشه پنجره به شکل مایع درمی‌آید و قطره‌قطره می‌شود. اگر دمای شیشه حدود 5°C باشد برای آنکه 50 g آب روی شیشه تشکیل شود چقدر گرما به شیشه داده می‌شود؟

پاسخ: با استفاده از جدول ۴-۶ و رابطه ۴-۱۲ داریم:

$$Q = -mL_V = -(50 \times 10^{-3} \text{ kg})(2490 \times \frac{10^3 \text{ J}}{\text{kg}}) = -1/2 \times 10^5 \text{ J}$$

در این عمل، $1/2 \times 10^5 \text{ kJ}$ گرما به شیشه داده می‌شود.



فعالیت ۴-۱۳

در فرایندهای تغییر حالت (تغییر فاز) دما تغییر نمی‌کند، اما انرژی درونی ماده تغییر می‌کند. در این باره تحقیق کنید.

همان‌طور که در کتاب علوم هفتم دیدیم، شارش گرما به سه صورت متفاوت انجام می‌شود که عبارت‌اند از: رسانش گرمایی، همرفت و تابش گرمایی. در هر فرایند انتقال گرما، ممکن است هر سه این ساز و کارها دخالت داشته باشند (شکل ۴-۲۷).

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 ادامه به بررسی دقیق‌تر ساز و کار هریک از این روش‌ها می‌پردازیم.

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 ۴-۲۸). به جهت نبود 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 ۴-۲۹). بنابراین، در رساناهای فلزی سهم الکترون‌های آزاد در رسانش گرما بیشتر از اتم‌هاست.

با شناسایی عوامل مؤثر بر انتقال گرما به روش رسانش می‌توانیم گرمای منتقل شده از یک سر میله به سر دیگر آن را محاسبه کنیم. فرض کنید طول یک میله L و مساحت مقطع آن A باشد (شکل ۴-۳۰) و یک سر میله در دمای بالاتر T_H و سر دیگر آن در دمای پایین‌تر T_L قرار گرفته باشد. گرمایی که در مدت زمان t از انتهای با دمای بالاتر میله به انتهای با دمای پایین‌تر آن شارش می‌یابد، را با Q نشان می‌دهیم. نسبت $\frac{Q}{t}$ ، آهنگ رسانش گرمایی نامیده می‌شود و آن را با H نشان می‌دهیم.

تجربه نشان می‌دهد که آهنگ رسانش گرمایی (H) با مساحت سطح مقطع میله (A) و اختلاف دمای دو انتهای میله ($T_H - T_L$) نسبت مستقیم و با طول میله (L) نسبت وارون دارد؛ یعنی:

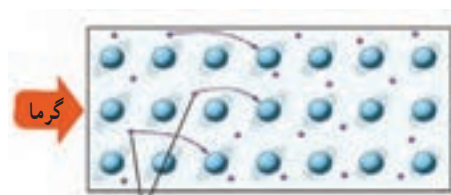
$$H = \frac{Q}{t} = k \frac{A(T_H - T_L)}{L} \quad (۴-۱۳)$$



شکل ۴-۲۷ هر سه روش انتقال گرما را در این تصویر مشاهده می‌کنید.

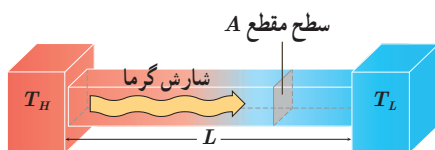


شکل ۴-۲۸ در نافلزات گرما صرفاً از طریق ارتعاش اتم‌ها انتقال می‌یابد. در شکل، این انتقال ارتعاشات توسط فنرها شبیه‌سازی شده است.



الکترون‌های آزاد

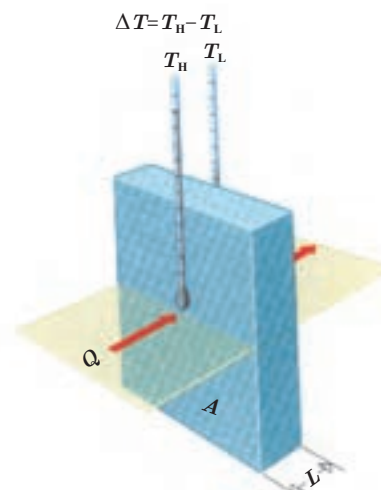
شکل ۴-۲۹ الکترون‌های آزاد با برخورد به یکدیگر و اتم‌ها موجب رسانش بهتری برای گرما می‌شوند.



شکل ۴-۳۰ میله‌ای به طول L و مقطع A بین دو منبع با دماهای T_H و T_L قرار گرفته است.

در این رابطه، k رسانندگی گرمایی است که به جنس میله بستگی دارد. در SI، یکای رسانندگی گرمایی $J/s \cdot m \cdot K$ یا وات بر متر-کلوین ($W/m \cdot K$) است. جدول ۴-۷ رسانندگی گرمایی برخی مواد را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۷ رسانندگی گرمایی برخی از مواد			
رسانندگی گرمایی ($W/m \cdot K$)	ماده	رسانندگی گرمایی ($W/m \cdot K$)	ماده
۲	یخ	۰/۰۵	پشم شیشه
۳۵	سرب	۰/۰۴	چوب پنبه
۸۰	آهن	۰/۰۲۴	هوای خشک
۲۳۵	آلومینیم	۰/۱ تا ۰/۲	انواع چوب
۴۲۰	نقره	۰/۶	آب
۴۰۰	مس	۰/۶ تا ۰/۸	آجر
		۰/۶ تا ۱	انواع شیشه



شکل ۴-۳۱ تیغه‌ای به ضخامت L و مقطع A بین دو منبع با دماهای T_L و T_H قرار گرفته است.

اگرچه رابطه ۴-۱۳ برای میله بیان شده است، ولی برای تیغه یا بُره‌ای با مساحت مقطع A و ضخامت L نیز برقرار است (شکل ۴-۳۱). از لحاظ تجربی برای اندازه‌گیری رسانندگی گرمایی مواد برای اجسام فلزی از میله و برای اجسام نافلزی از تیغه، یا بره استفاده می‌کنند.

پرسش ۴-۶

برخی آشپزها برای آنکه سیب‌زمینی زودتر آب‌پز شود، ابتدا چند سیخ کوچک فلزی درون سیب‌زمینی فرو می‌کنند و بعد آن را در آب انداخته و روی اجاق قرار می‌دهند. علت این کار آشپزها چیست؟

مثال ۴-۱۶

طول و عرض شیشه پنجره اتاقی $۲/۰\text{ m}$ و $۱/۵\text{ m}$ و ضخامت آن $۵/۰\text{ mm}$ است، در یک روز زمستانی دمای وجهی از شیشه که در تماس با هوای بیرون است $-۳/۰^\circ\text{C}$ و دمای وجهی از شیشه که در تماس با هوای درون اتاق است، $+۲/۰^\circ\text{C}$ است. آهنگ رسانش گرمایی از طریق شیشه چقدر است؟ ($k = ۱\text{ W/m} \cdot \text{K}$)

پاسخ: با استفاده از رابطه ۴-۱۳ داریم:

$$H = k \frac{A(T_H - T_L)}{L}$$

آن‌گاه با قرار دادن $k = ۱\text{ W/m} \cdot \text{K}$ ، $A = (۱/۵\text{ m})(۲/۰\text{ m}) = ۳/۰\text{ m}^2$ ، $\Delta T = ۵/۰^\circ\text{C} = ۵/۰\text{ K}$ و $L = ۰/۰۰۵\text{ m}$ در رابطه بالا خواهیم داشت:

$$H = (۱\text{ W/m} \cdot \text{K}) \frac{(۳/۰\text{ m}^2)(۵/۰^\circ\text{C})}{۰/۰۰۵\text{ m}} = ۳ \times ۱۰^۳\text{ W}$$

اگر بخواهیم با استفاده از یک بخاری برقی گرمای هدر رفته از پنجره را جایگزین کنیم، توان گرمایی این بخاری ۳ kW می‌شود.



برای جلوگیری از اتلاف گرما در شیشه پنجره‌های معمولی، آنها را با شیشه‌های دوجداره با لایه میانی هوا جایگزین می‌کنند. طول و عرض شیشه دوجداره پنجره اتاقی به ترتیب $2/0\text{ m}$ و $1/5\text{ m}$ ، ضخامت هر یک از دو لایه شیشه‌ای آن 5 mm و ضخامت لایه میانی هوا 12 mm است. در یک روز زمستانی، دمای وجهی از شیشه که در تماس با هوای سرد بیرون اتاق است $3/0^\circ\text{C}$ - و دمای وجهی از شیشه که در تماس با هوای گرم درون اتاق است $2/0^\circ\text{C}$ + است. آهنگ رسانش گرمایی را در این حالت، با عدد به دست آمده در مثال قبل مقایسه کنید. فرض کنید می‌توان مجموعه شیشه دوجداره و هوای بین آن را مانند تیغه یا بره‌ای با همان مساحت و ضخامت لایه هوا در نظر گرفت که رسانندگی گرمایی مؤثر آن تقریباً برابر با رسانندگی گرمایی هواست.

پاسخ: با استفاده از رابطه ۴-۱۳ داریم:

$$H = kA \frac{(T_H - T_L)}{L}$$

آن‌گاه با قرار دادن مقادیر داده شده خواهیم داشت:

$$H = (0/024\text{ W/m.K}) \frac{(3/0^\circ\text{C} - 2/0^\circ\text{C})}{0/012\text{ m}} = 30\text{ W}$$

توجه کنید که در این محاسبه از رسانندگی گرمایی هوا، $k = 0/024\text{ W/m.K}$ استفاده شد. همان‌طور که می‌بینید عدد به دست آمده، تفاوت زیادی با عدد به دست آمده در مثال قبل دارد (100 بار کوچک‌تر است) که این اهمیت استفاده از شیشه‌های دوجداره برای جلوگیری از اتلاف گرما را نشان می‌دهد.

تمرین ۴-۷

مساحت استخری با کف تخت، 820 مترمربع و عمق آن $2/0$ متر است. در یک روز گرم دمای سطح آب 25°C و دمای کف آب 12°C است. آهنگ رسانش گرمایی از سطح استخر به کف آن چقدر است؟

فعالیت ۴-۱۴



تصویری بسیار بزرگ شده از موی یک خرس قطبی

موهای خرس قطبی توخالی هستند. تحقیق کنید این موضوع چه نقشی در گرم نگه داشتن بدن خرس در سرمای قطب دارد؟

همرفت: وقتی ظرف بزرگی از آب را روی اجاق می‌گذاریم چگونه همه آب آن در مدت نه چندان زیادی گرم می‌شود؟ بخاری چگونه هوای داخل اتاق را گرم می‌کند؟ 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.

آزمایش ۴-۵

هدف: مشاهده پدیده همرفت

وسایلهای موردنیاز: لوله همرفت، گیره و پایه، آب سرد، دانه‌های پتاسیم پرمنگنات یا جوهر، چراغ الکلی یا گازی

شرح آزمایش:

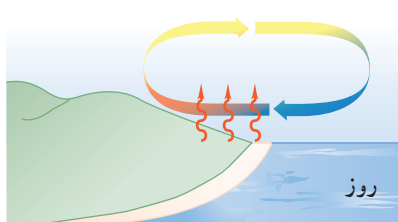
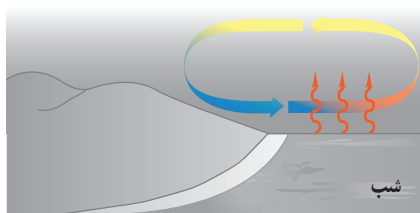
- ۱- لوله را از آب سرد پر کنید و به آرامی چند دانه پتاسیم پرمنگنات (یا چند قطره جوهر) را از دهانه لوله به داخل آن بریزید.
- ۲- یکی از شاخه‌های قائم لوله را مطابق شکل روی شعله بگیرید و در همان لحظه شاخه قائم دیگر لوله را با دست لمس کنید.
- ۳- دستتان را از شاخه قائم بردارید و در حالی که گرما دادن را ادامه می‌دهید به مایع درون لوله با دقت نگاه کنید. پس از چند دقیقه دوباره همان شاخه قائم لوله را لمس کنید.
- ۴- مشاهدات خود را بنویسید و با بحث در گروه، دلیل هریک از مشاهدات را توضیح دهید.



همرفت می‌تواند در همهٔ شاره‌ها، چه مایع و چه گاز، به وقوع بپیوندد. در همرفت، برخلاف 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؛ بدین ترتیب 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. گرم شدن هوای داخل اتاق به وسیلهٔ بخاری و رادیاتور شوفاژ (شکل ۴-۳۲)، گرم شدن آب درون قابلمه (شکل ۴-۳۳)، جریان‌های باد ساحلی (شکل ۴-۳۴)، انتقال گرما از مرکز خورشید به سطح آن و ... همگی بر اثر پدیدهٔ همرفت رخ می‌دهند. همهٔ این مثال‌ها نمونه‌هایی از **همرفت طبیعی** است.



شکل ۴-۳۲ گرم شدن هوای اتاق به روش همرفت



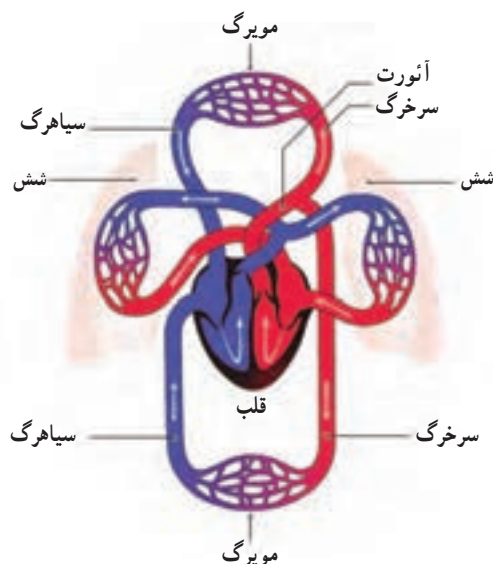
شکل ۴-۳۴ روز: زمین ساحل گرم‌تر از آب دریاست. پدیدهٔ همرفت موجب نسیمی از سوی دریا به سمت ساحل می‌شود. شب: زمین ساحل سردتر از آب دریاست. پدیدهٔ همرفت موجب نسیمی از سوی ساحل به سمت دریا می‌شود.



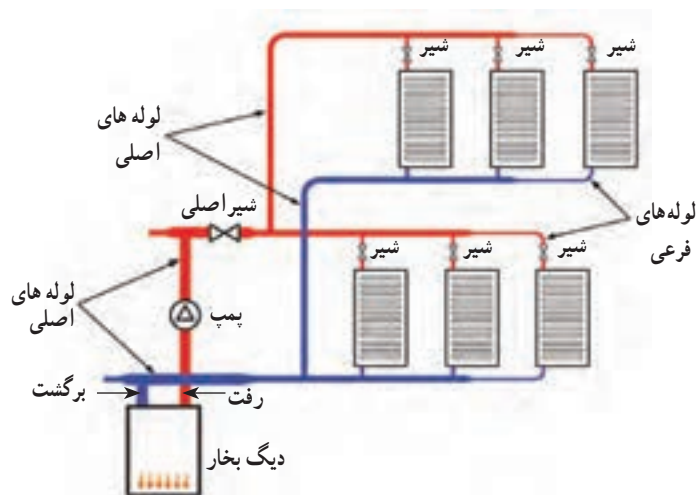
شکل ۴-۳۳ گرم شدن آب درون قابلمه به روش همرفت

به نظر شما چه ارتباطی بین انتقال گرما به روش همرفت و ضریب انبساط حجمی، برای یک مایع وجود دارد؟

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 گرم‌کننده مرکزی در ساختمان‌ها (شکل ۴-۳۵)، سیستم خنک‌کننده موتور اتومبیل و نیز گرم و سرد شدن بخش‌های مختلف بدن بر اثر گردش جریان خون (شکل ۴-۳۶) در بدن جانوران خونگرم مثال‌هایی عینی از انتقال گرما به روش همرفت واداشته هستند.



شکل ۴-۳۶ طرحی از دستگاه گردش خون که در آن قلب همچون تلمبه‌ای باعث همرفت واداشته خون می‌شود.



شکل ۴-۳۵ طرحی از سیستم گرم‌کننده مرکزی در ساختمان‌ها

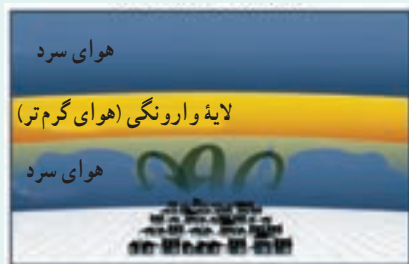
فعالیت ۴-۱۵



چهار بطری شیشه‌ای یکسان، دو رنگ جوهر قرمز و آبی، دو کارت ویزیت مقوایی و آب بسیار سرد و بسیار گرم تهیه کنید. در دو تا از بطری‌ها جوهر آبی و در دو بطری دیگر جوهر قرمز بریزید. سپس بطری‌های آبی را با آب خیلی سرد و بطری‌های قرمز را با آب خیلی گرم پر کنید. اکنون در حالی که دهانه یک بطری قرمز را با کارت ویزیت گرفته‌اید، دهانه آن را دقیقاً روی دهانه یک بطری آبی قرار دهید و سپس کارت را بیرون بکشید. همین آزمایش را به طور معکوس نیز انجام دهید؛ یعنی این بار، یک بطری آبی رنگ که دهانه آن با کارت پوشیده شده است را روی دهانه یک بطری قرمز رنگ قرار دهید و سپس کارت را بیرون بکشید. مشاهدات خود را توضیح دهید. از این آزمایش چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟



(الف)



(ب)

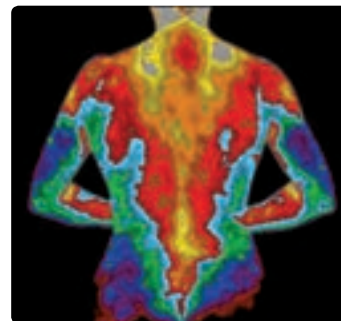
الگوی تغییرات دما در لایه‌های هوای اطراف زمین در: (الف) شرایط عادی و (ب) شرایطی که وارونگی هوا رخ می‌دهد.

وارونگی هوا^۱: در شرایط عادی، توزیع لایه‌های هوای اطراف زمین به این ترتیب است که هوای گرم در اطراف سطح زمین قرار دارد و هوای لایه‌های بالاتر از آن به تدریج سرد و سردتر است. بدیهی است که در این حالت شرایطی مثل همرفت طبیعی حاکم است؛ یعنی هوای گرم‌تر به بالا می‌رود و هوای سردتر و چگال‌تر پایین می‌آید و بدین ترتیب چرخش هوایی بر اثر پدیده همرفت رخ می‌دهد (شکل الف).

وارونگی هوا معمولاً در شب‌های آرام و بدون ابر زمستان شروع می‌شود و در آن همرفت طبیعی در جو زمین متوقف می‌گردد. در چنین شب‌هایی، لایه هوای بسیار سردی بین سطح زمین و لایه هوای گرم بالاتر قرار می‌گیرد. این لایه هوای گرم، پیش از این، بر اثر پدیده همرفت در یک روز عادی ایجاد شده است. در واقع سردی زیاد لایه هوای سرد مجاور زمین، باعث می‌شود پدیده همرفتی بین این لایه بسیار سرد و لایه هوای گرم بالای آن رخ ندهد. بدین ترتیب، مانع از چرخش هوا بر اثر پدیده همرفت در سطح زمین می‌گردد. به این پدیده، وارونگی هوا می‌گویند. در این وضعیت گرد و غبار و گازهای آلاینده شهری واقع در لایه هوای سرد مجاور زمین، که عمدتاً ناشی از تردد خودروها و کارخانجات دودزا است، در این لایه حبس

می‌شوند (شکل ب). وارونگی هوا تا وقتی تداوم دارد که بر اثر وزیدن باد لایه‌های هوای سرد و گرم جابه‌جا شود، یا با افزایش دمای قابل توجه لایه سرد مجاور زمین، همرفت طبیعی دوباره در جو زمین از سر گرفته شود. با توجه به اینکه در این پدیده، الگوی تغییرات دما در لایه‌های هوای اطراف زمین در یک روز طبیعی بر هم می‌خورد، به این پدیده وارونگی دما^۲ نیز گفته می‌شود.

تابش گرمایی: همه ما تجربه گرم شدن در آفتاب را داریم. با نزدیک کردن دستان به اجسام گرمی مانند رادیاتور گرم شوفاژ، یا زیر لامپ رشته‌ای روشن نیز تجربه مشابهی خواهیم داشت. آیا با نزدیک کردن دستان به زیر لامپ رشته‌ای، گرما با روش رسانش، یا همرفت به دستان می‌رسد؟



می‌دانید که هوا رسانای خوبی نیست و چون دست شما زیر لامپ قرار دارد، انتقال گرما به روش همرفت نیز نمی‌تواند رخ داده باشد. 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 γ است. هر کدام از این امواج چشمه‌های تولیدکننده مربوط به خود را دارد. ما در این بخش، به تابش الکترومغناطیسی گسیل‌شده از مواد

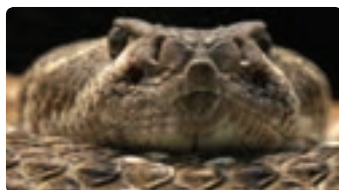
شکل ۴-۳۷ تصویری دمانگانت از بدن یک فرد معمولی. سطح بدن یک فرد معمولی در محیطی با دمای 22°C به دلیل تابش گرمایی با آهنگی در حدود 10 W گرما از دست می‌دهد در حالی که در همین شرایط به دلیل همرفت و رسانش در مجموع با آهنگی در حدود 100 W گرما از دست می‌دهد.

۱- Air Inversion

۲- Temperature Inversion



شکل ۴-۳۸ درون مکعب لسلی، آب داغ می‌ریزند. تابش گرمایی از چهار وجه مکعب، که رنگ‌های متفاوتی دارند، با هم فرق دارد.



شکل ۴-۳۹ اینها اندام‌های حفره‌ای هستند که گرما را آشکار می‌کنند.



شکل ۴-۴۰ کلم اسکانک برف اطراف خود را آب کرده است.

بر اثر دمای آنها سروکار داریم. در واقع هر جسم در هر دمایی تابش الکترومغناطیسی گسیل می‌کند و به همین دلیل به این نوع تابش، تابش گرمایی می‌گویند. نشان داده می‌شود که تابش گرمایی در دماهای زیر حدود 50°C عمدتاً به صورت تابش فروسرخ است که نامرئی است. برای آشکارسازی تابش‌های فروسرخ از ایزاری موسوم به **دمانگار**^۱ استفاده می‌کنیم و به تصویر به دست آمده از آن **دمانگاشت**^۲ می‌گوییم. شکل ۴-۳۷ تصویر دمانگاشتی از بدن یک شخص را نشان می‌دهد. توجه کنید که رنگ‌ها نمادین است و ناحیه‌های گرم‌تر با رنگ قرمز و ناحیه‌های سردتر با رنگ آبی مشخص شده است.

تابش گرمایی از سطح هر جسم علاوه بر دما به مساحت، میزان صیقلی بودن و رنگ سطح آن جسم بستگی دارد (شکل ۴-۳۸). 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.

الف) شکار تابش فروسرخ: نوعی از مارهای زنگی اندام‌هایی حفره‌ای بر روی پوزه خود دارند که نسبت به تابش فروسرخ حساس‌اند (شکل ۴-۳۹). این مارها اغلب در سیاهی شب شکار می‌کنند. در واقع اندام‌های حفره‌ای به آنها کمک می‌کند که طعمه‌های خونگرم خود را به واسطه تابش فروسرخ‌شان در تاریکی و سرمای شب مشاهده کنند.

ب) کلم اسکانک^۳: کلم اسکانک (شکل ۴-۴۰) 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.

فعالیت ۴-۱۶



رادیومتر وسیله‌ای است که از یک حباب شیشه‌ای تشکیل شده است که درون آن چهار پره فلزی قائم قرار دارد که می‌توانند حول یک محور (سوزن عمودی) بچرخند. دو وجه هر چهار پره، یک در میان سفید و سیاه است. وقتی این وسیله کنار یک چشمه نور قرار گیرد، پره‌ها حول سوزن عمودی می‌چرخند و هر چه شدت نور بیشتر باشد، این چرخش سریع‌تر است. در مورد دلیل چرخش پره‌ها تحقیق کنید.

۱- Thermograph

۲- Thermogram

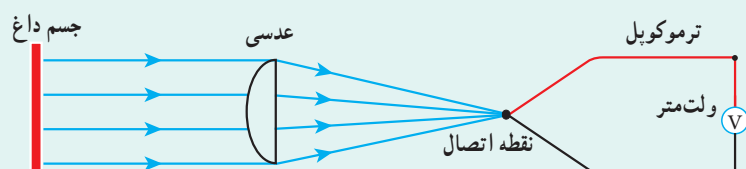
۳- Skunk Cabbage

از تابش گرمایی می‌توان به عنوان مبنایی برای اندازه‌گیری دمای اجسام استفاده کرد. به روش‌های اندازه‌گیری دما مبتنی بر تابش گرمایی، **تف‌سنجی**^۱ و به ابزارهای اندازه‌گیری دما به این روش، **تف‌سنج**^۲ می‌گویند. تف‌سنج برخلاف 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°C اهمیت ویژه‌ای دارد. تف‌سنج تابشی و تف‌سنج نوری، تف‌سنج‌هایی برای اندازه‌گیری این دماها هستند و تف‌سنج نوری به عنوان دماسنج معیار برای اندازه‌گیری این دماها انتخاب شده است.

خوب است بدانید

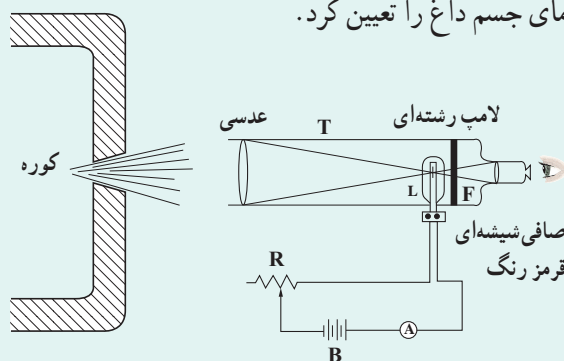
تف‌سنج‌های اندازه‌گیری دماهای بالا

الف) تف‌سنج تابشی: این تف‌سنج وسیله‌ای است که دمای جسم داغ را با متمرکز کردن تابش گرمایی گسیل‌شده از جسم روی یک ترموکوپل اندازه می‌گیرد. می‌توان دمای جسم را از روی ولتاژ خروجی ترموکوپل تعیین کرد.



(الف) تف‌سنج تابشی و طرحی از ساختار آن

ب) تف‌سنج نوری: این تف‌سنج وسیله‌ای است که برای اندازه‌گیری دمای اجسام خیلی داغ با دمای بیش از 1200 K (مانند کوره‌ها) به کار می‌رود. اساس کار این تف‌سنج، مقایسه رنگ و شدت نور تابیده از کوره، با رنگ و شدت نور یک لامپ رشته‌ای است. این تف‌سنج از یک دوربین T تشکیل شده است که در لوله آن یک صافی شیشه‌ای قرمز رنگ F و یک لامپ الکتریکی کوچک L قرار دارد. نور تابیده شده از کوره، توسط عدسی دوربین روی رشته لامپ متمرکز می‌شود و ناظری که به درون دوربین نگاه می‌کند، رشته تیره لامپ را بر زمینه نور کوره می‌بیند. رشته لامپ به باتری B و مقاومت متغیر R متصل شده است. با تغییر دادن مقاومت متغیر R، جریان رشته لامپ را به تدریج افزایش می‌دهیم تا روشنایی لامپ برابر روشنایی زمینه شود، به طوری که رشته لامپ محو شود. با اندازه‌گیری این جریان می‌توان دمای جسم داغ را تعیین کرد.



(ب) تف‌سنج نوری و طرحی از ساختار آن

یخ بستن بر اثر تابش: در بعضی نواحی که یخچال رایج نیست، برای ساختن یخ، آب را در کاسه‌ای کم عمق می‌ریزند و در طول شب بیرون می‌گذارند. کف و اطراف کاسه، عایق‌بندی شده و روی آن باز است. بدیهی است که اگر دمای هوا به زیر نقطه انجماد آب برسد، آب یخ خواهد زد. اما گاهی در شب‌هایی که هوا صاف است ممکن است آب در هوایی که دمای آن قدری بالاتر از نقطه انجماد آب است نیز یخ ببندد. دلیل این پدیده آن است که در یک شب صاف، آسمان را می‌توان مثل یک سطح واحد در نظر گرفت که دمایش زیر نقطه انجماد آب است. در طول شب، تبدلی از تابش فروسرخ بین سطح آسمان و آب صورت می‌گیرد. گسیل تابشی آب که ابتدا دمایش بالاتر از نقطه انجماد است بیشتر از تابشی است که از آسمان جذب می‌کند و بنابراین آب سرد می‌شود. اگر دمای هوای اطراف آب خیلی بیشتر از نقطه انجماد آب نباشد، آب ممکن است بر اثر این فرایند تابشی آنقدر گرما از دست بدهد تا یخ بزند.



شکل ۴-۱۴ جذب، بازتابش و تابش گرمایی در جو و سطح زمین و اثر گلخانه‌ای

اثر گلخانه‌ای^۱: بخشی از نور خورشید با عبور از جو زمین به سطح آن می‌رسد و بخش عمده این نور جذب زمین می‌شود. زمین گرم می‌شود و با تابش گرمایی از خود امواج فروسرخ گسیل می‌کند. وجود گازهایی مانند کربن دی‌اکسید CO_2 که مولکول‌های جذب‌کننده بسیار خوبی برای امواج فروسرخ هستند، در لایه پوش سپهر^۲ جو زمین، باعث کدر شدن این لایه برای تابش‌های فروسرخ می‌شود. این لایه بخش عمده تابش گرمایی حاصل از زمین را جذب می‌کند. خود این لایه نیز تابش گرمایی می‌کند. بخشی از تابش گرمایی لایه پوش سپهر از جو خارج می‌شود، ولی بیشتر آن به زمین بازمی‌گردد و به این ترتیب، رفت و برگشتی از تابش گرمایی بین این لایه و سطح زمین رخ می‌دهد. در تشابه با گلخانه‌ها که با ایجاد محیطی محصور مانع از جریان هوا و خروج هوای گرم از گلخانه‌ها می‌شوند، به این به دام افتادن تابش گرمایی بین لایه پوش سپهر و سطح زمین اثر گلخانه‌ای می‌گویند و به گازهای موجود در لایه پوش سپهر که سبب این پدیده می‌شوند گازهای گلخانه‌ای می‌گویند^۳. اگر لایه پوش سپهر وجود نداشت، دمای میانگین سطح زمین چیزی در حدود $18^\circ C -$ می‌شد، ولی اینک این دما چیزی در حدود $15^\circ C +$ است؛ یعنی اثر گلخانه‌ای حدود $33^\circ C$ به دمای میانگین سطح زمین افزوده است (شکل ۴-۱۴).

با افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای در پوش سپهر، اثر گلخانه‌ای تشدید می‌شود و بدین ترتیب، دمای زمین افزایش می‌یابد. در چند دهه اخیر به دلیل فعالیت‌های مختلف صنعتی و افزایش آلاینده‌هایی مثل CO_2 در جو زمین، غلظت گازهای گلخانه‌ای در لایه پوش سپهر زیادتر از قبل شده و دمای سطح زمین بالا رفته است.

گفتنی است که همواره در حالت تعادل، انرژی تابشی به سطح زمین با مجموع انرژی‌های بازتابیده از سطح زمین و تابش گرمایی زمین برابر است. همین برابری در خارجی‌ترین سطح جو زمین نیز وجود دارد.

^۱ - Greenhouse effect

^۲ - پوش سپهر یا استراتوسفر، لایه‌ای حدوداً در فاصله ۱۰ تا ۱۸ کیلومتری سطح زمین است.

^۳ - چون اصطلاح اثر گلخانه‌ای اغلب برای به دام افتادن تابش گرمایی توسط جو زمین به کار می‌رود، به غلط پنداشته می‌شود که گرم بودن گلخانه نیز ناشی از به دام افتادن تابش‌های گرمایی است. در حالی که دلیل گرم بودن گلخانه‌ها، عدم جریان هوا در آنها است.

۴-۶ قوانین گازها

روی برخی از اسپری‌ها نوشته شده است "از قرار دادن اسپری در آتش خودداری شود". با داغ کردن قوطی اسپری، جنبش مولکولی گاز درون آن زیاد می‌شود و فشار وارد از گاز به دیواره‌های آن افزایش می‌یابد و این می‌تواند حتی موجب ترکیدن قوطی شود. اگر در یک بطری نوشابه پلاستیکی و توخالی، اندکی آب داغ بریزیم و سپس آب را در بطری چرخانده و دور بریزیم و آن‌گاه در بطری را محکم ببندیم، بطری پس از مدتی محاله می‌شود. شکل ۴-۴۲ مخزنی را نشان می‌دهد که به همین دلیل محاله شده است. همچنین شکل ۴-۴۳ یک اسباب‌بازی ساده را نشان می‌دهد که مخزن پایینی آن تا نیمه از یک مایع رنگی پر شده است. وقتی این مخزن را در دستتان می‌گیرید، فشار هوا و بخار مایع در نیمه خالی مخزن زیاد می‌شود و سطح مایع این مخزن را به طرف پایین می‌راند. این کار سبب می‌شود مایع رنگی مخزن پایینی از لوله باریک مارپیچ که انتهای پایینی آن درون این مخزن قرار دارد بالا رود. هر چه دستتان گرم‌تر باشد و بهتر مخزن شیشه‌ای را در برگیرد، مایع در لوله بیشتر بالا می‌رود.

برای بررسی رفتار گاز می‌توان مقداری گاز را درون یک استوانه قرار داد و در هر لحظه دما، فشار و حجم آن را اندازه‌گیری کرد. دانشمندانی مانند بویل، ماریوت، شارل، گئی لوساک و ... تلاش‌های بسیاری کرده‌اند تا رابطه بین فشار، حجم، دما و مقدار گاز درون یک محفظه را بیابند.

بررسی گاز در فشار ثابت: تاکنون در مورد انبساط گرمایی جامدها و مایع‌ها مطالبی را فرا گرفته‌ایم.

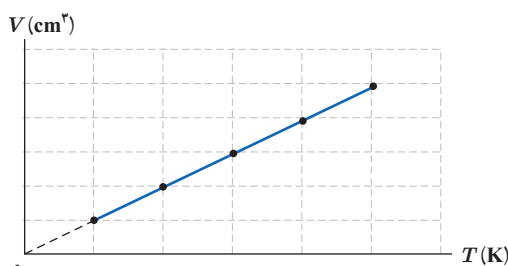
اما در مورد گازها چگونه؟ آیا حجم گازها نیز متناسب با دما تغییر می‌کند؟ چون گازها به سادگی متراکم می‌شوند باید به فشار گاز نیز فکر کنیم. ژاک شارل^۱ دانشمند فرانسوی (۱۷۴۶-۱۸۲۳ م.) به‌طور تجربی دریافت که اگر فشار مقدار معینی از یک گاز، ثابت نگه داشته شود حجم آن مستقیماً با افزایش دما (بر حسب کلون) افزایش و با کاهش دما، کاهش می‌یابد. شکل ۴-۴۴ الف، نوعی از آزمایش او و شکل ۴-۴۴ ب، نتیجه‌ای از آن آزمایش را نشان می‌دهد.



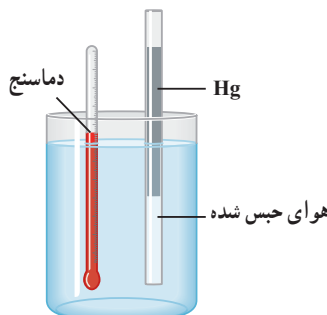
شکل ۴-۴۲ سرد شدن هوای درون مخزن باعث کاهش فشار این هوا و در نتیجه محاله شدن مخزن شده است.



شکل ۴-۴۳ با در دست گرفتن حباب شیشه‌ای و گرم کردن آن، مایع رنگی در لوله مارپیچ بالا می‌رود.



(ب)



(الف)

شکل ۴-۴۴ الف) اسبابی برای تحقیق اثر دما بر حجم مقدار ثابتی از گاز که در فشار ثابت نگه داشته شده است. ب) نمودار V بر حسب T برای یک گاز وقتی فشار و مقدار گاز ثابت باشد.

نتیجه این آزمایش را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\frac{V}{T} = \text{ثابت}$$

(۴-۱۴) (فشار و جرم ثابت)

در این رابطه V حجم گاز و T دمای گاز بر حسب کلون است.



سرِ سرنگی را که پیستون آن آزادانه حرکت می‌کند به فشارسنجی می‌بندیم و آن را به طور افقی درون ظرف آبی می‌گذاریم و ظرف را به آرامی گرم می‌کنیم. توضیح دهید کدام یک از کمیت‌های دما، حجم، فشار و مقدار هوای درون سرنگ تغییر می‌کند و تغییر آنها چگونه است؟

مثال ۴-۱۸

در آزمایشی، دمای مقدار معینی گاز اکسیژن را در فشار ثابت از 27°C به 87°C می‌رسانیم. اگر حجم گاز ابتدا $2/0\text{L}$ باشد، حجم آن را در پایان آزمایش حساب کنید.

پاسخ: در این آزمایش، جرم و فشار گاز ثابت مانده است. پس بنا به رابطه ۴-۱۴ داریم:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

با استفاده از داده‌های مثال، می‌دانیم:

$$T_1 = (27 + 273)\text{K} = 300\text{K}, \quad V_1 = 2/0\text{L}$$

$$T_2 = (87 + 273)\text{K} = 360\text{K}, \quad V_2 = ?$$

$$\frac{2/0}{300} = \frac{V_2}{360} \Rightarrow V_2 = 2/4\text{L}$$

بنابراین

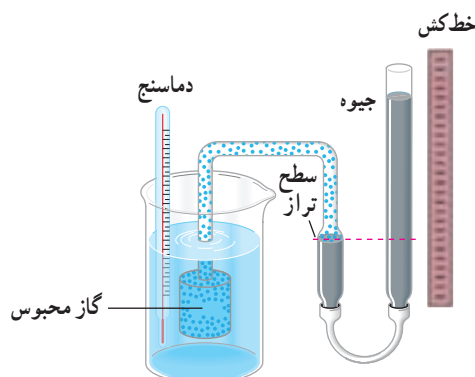
بررسی گاز در حجم ثابت: شیمیدان فرانسوی ژوزف لوئیس گی لوساک^۱ ($1850-1878\text{م.}$)

در سال 1802 میلادی به طور تجربی دریافت که اگر حجم مقدار معینی از یک گاز ثابت نگه داشته شود، فشار آن مستقیماً با دما (بر حسب کلوین) متناسب است (شکل ۴-۴۵). شکل ۴-۴۶ نوعی از آزمایش او را برای بررسی تغییر فشار و دمای گاز، در حجم ثابت نشان می‌دهد.

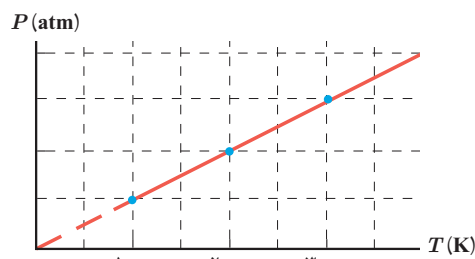
$$\frac{P}{T} = \text{ثابت}$$

(حجم و جرم ثابت)

(۴-۱۵)



شکل ۴-۴۶ آزمایشی ساده برای اندازه‌گیری فشار گاز در دماهای مختلف (در حجم ثابت)



شکل ۴-۴۵ رابطه بین فشار و دمای یک گاز، در حجم ثابت

^۱ Joseph Louis Gay-Lussac

راننده‌ای پیش از حرکت، فشار لاستیک اتومبیل خود را با یک فشارسنج اندازه می‌گیرد و برای آن مقدار 214 kPa را به دست می‌آورد. در این زمان، دما برابر با 15°C است. پس از چند ساعت رانندگی، توقف می‌کند و فشار لاستیک را دوباره اندازه می‌گیرد. اینک فشار 241 kPa شده است. اکنون دمای هوای داخل لاستیک چقدر است؟ از تغییر حجم کم هوای درون لاستیک چشم‌پوشی کنید و فرض کنید فشار هوای محیط برابر با $101 \text{ kPa} = 1 \text{ atm}$ باشد.

پاسخ: می‌دانیم که فشارسنج‌ها، فشار پیمانه‌ای (سنجه‌ای) را اندازه می‌گیرند که برابر با اختلاف فشار مطلق با فشار هوای محیط است. بنابراین، برای استفاده از رابطه ۴-۱۵ باید فشار هوای محیط را به فشارهای پیمانه‌ای اضافه کنیم. پس داریم:

$$P_1 = 214 \text{ kPa} + 101 \text{ kPa} = 315 \text{ kPa}$$

$$P_2 = 241 \text{ kPa} + 101 \text{ kPa} = 342 \text{ kPa}$$

همچنین توجه کنید که دماها باید برحسب کلون باشد. بنابراین، برای دمای اولیه داریم:

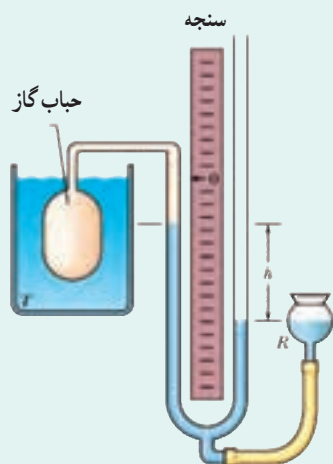
$$T_1 = (15 + 273) \text{ K} = 288 \text{ K}$$

اکنون با قرار دادن این مقادیر در رابطه ۴-۱۵ خواهیم داشت:

$$\frac{P_2}{T_2} = \frac{P_1}{T_1}, \quad T_2 = \left(\frac{342 \text{ kPa}}{315 \text{ kPa}} \right) (288 \text{ K}) = 313 \text{ K} = (313 - 273)^\circ\text{C} = 40^\circ\text{C}$$

این پاسخی معقول است؛ زیرا پس از یک رانندگی طولانی، لاستیک‌ها به میزان قابل توجهی گرم می‌شوند.

خوب است بدانید



دماسنج گازی حجم ثابت: مطابق شکل، این دماسنج شامل یک حباب پر شده از گاز

است که توسط لوله‌ای به یک فشارسنج جیوه‌ای متصل شده است. با بالا و پایین بردن مخزن R، همواره می‌توان سطح جیوه را در شاخه سمت چپ لوله U شکل، در مقابل صفر خط کش نگه داشت تا حجم گاز ثابت بماند. با تغییر دما، فشار گاز تغییر می‌کند. دما با فشار نسبت مستقیم دارد و نمودار دما برحسب فشار خطی است. برای استاندارد کردن درجه‌بندی دماسنج، در یک توافق بین‌المللی، نقطه‌ای موسوم به **نقطه سه‌گانه آب^۱** را به عنوان مرجع اندازه‌گیری دما انتخاب کرده‌اند. نقطه سه‌گانه آب، نقطه‌ای است که در آن سه فاز آب (آب مایع، یخ و بخار آب) در تعادل‌اند. به این نقطه دمای $273/16 \text{ K}$ اختصاص داده‌اند.^۲ برای اندازه‌گیری دمای محیط، فشار گاز درون حباب را در این دما

اندازه می‌گیرند و به آن دما و فشار به ترتیب، مقادیر T و P را اختصاص می‌دهند. به همین ترتیب، به دما و فشار گاز درون حباب در نقطه سه‌گانه آب به ترتیب، مقادیر T_{tr} و P_{tr} را اختصاص می‌دهند (توجه کنید P_{tr} آن فشاری نیست که برای رسیدن به نقطه سه‌گانه لازم است، بلکه فشار گاز موردنظر در نقطه سه‌گانه است). با توجه به خطی بودن رابطه فشار و دما داریم:

$$T = T_{tr} \left(\frac{P}{P_{tr}} \right) = (273/16 \text{ K}) \left(\frac{P}{P_{tr}} \right)$$

یعنی با دانستن فشار گاز در دمای مورد نظر و در نقطه سه‌گانه آب، به راحتی می‌توان دمای مورد نظر را محاسبه کرد. اگر از

۱ - Triple Point of Water

۲ - دقت کنید که این دما همان دمای صفر درجه سلسیوس نیست و اندکی با آن متفاوت است.

گازهای مختلف در درون حباب استفاده کنیم، به مقادیر متفاوتی برای دمای مورد نظر می‌رسیم که البته فقط اندکی با هم تفاوت دارند. اما وقتی این گازها بسیار رقیق باشند نشان داده می‌شود که همگی به یک مقدار واحد برای دمای مورد نظر همگرا می‌شوند.



رابرت بویل

رابرت بویل در ۲۶ ژانویه ۱۶۲۷ در شهر مونستر ایرلند به دنیا آمد. بویل در سال ۱۶۴۱ در ۱۴ سالگی به ایتالیا سفر کرد و در آنجا تحت تأثیر اندیشه‌های گالیله قرار گرفت و در مراجعت به انگلستان وارد دانشگاه آکسفورد شد. او در آکسفورد عضو انجمن دانشجویی به نام «کالج نامرئی» شد که وظیفه اصلی آن کشف حقایق علمی از راه و روش آزمایش بود. بویل تجربه‌گری ماهر بود و در نتیجه تجربه‌ها و آزمایش‌های زیاد خود به کشف قانون بویل نایل آمد. او همچنین در مورد پدیده صوت، رنگ‌ها، بلورها و الکتریسیته ساکن نظریه‌های جالبی ارائه داد و حتی چیزی نمانده بود که به کشف عنصر اکسیژن نایل شود. او ضمن کارهای آزمایشگاهی خود پی برد که از ترکیب عناصر می‌توان مواد جدیدی ساخت. رابرت بویل علاوه بر کارهای علمی به امور اجتماعی و انسان‌دوستانه نیز پای‌بند بود و از جمله هزینه انتشار کتاب مشهور نیوتون (اصول) را بر عهده گرفت. بویل در ۳۰ آوریل ۱۶۹۱، در سن ۶۴ سالگی در لندن درگذشت.

بررسی گاز در دمای ثابت: سومین قانون تجربی گازها، توسط دانشمند انگلیسی رابرت

بویل^۱ (۱۶۲۷-۱۶۹۱ م.) در سال ۱۶۶۲ میلادی ارائه شد و دانشمند فرانسوی امه ماریوت^۲ (۱۶۲۰ تا ۱۶۸۴ م.) در سال ۱۶۷۶ میلادی به نتیجه مشابهی رسید.

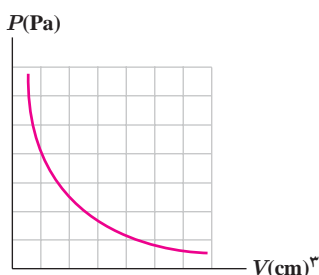
در واقع آنها دریافتند که اگر دمای مقدار معینی از یک گاز، ثابت نگه داشته شود، فشار آن با حجمش رابطه وارون دارد (شکل ۴-۴۷). به عبارتی، حاصل ضرب فشار و حجم گاز مقداری ثابت است.

ثابت $PV =$

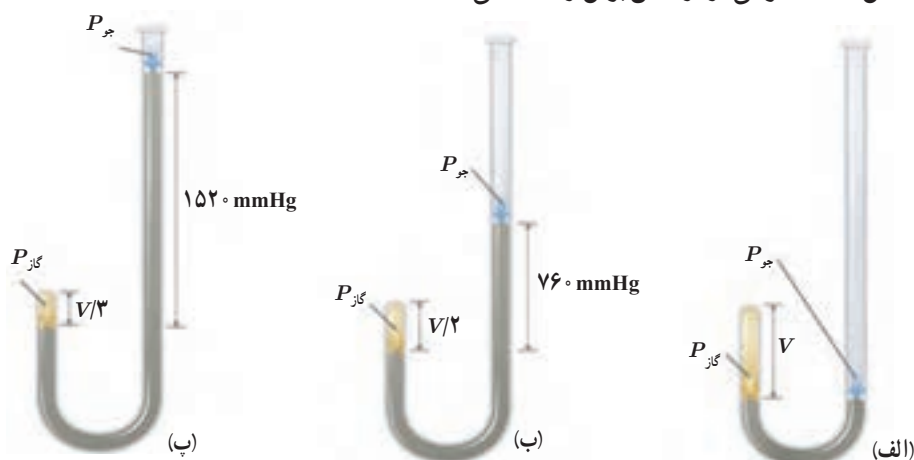
(دما و جرم ثابت)

(۴-۱۶)

شکل ۴-۴۷ نمودار فشار بر حسب حجم گاز در دمای ثابت

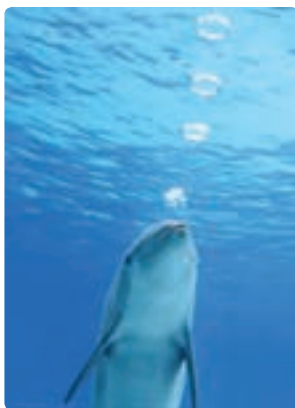


شکل ۴-۴۸ نوعی از آزمایش بویل را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۴۸ (الف) در ابتدا گاز در فشار $1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg}$ است توجه کنید که ارتفاع جیوه در هر دو شاخه یکسان است و دهانه شاخه سمت راست باز است. حجم گاز محبوس V است. (ب) اگر جیوه به شاخه سمت راست افزوده شود به طوری که اختلاف ارتفاع دو سطح جیوه 760 mm گردد، فشار گاز برابر فشار جو (760 mmHg) به علاوه 760 mmHg ، یعنی برابر 1520 mmHg و حجم گاز محبوس $\frac{V}{2}$ می‌شود. (پ) اگر باز هم به شاخه سمت راست جیوه افزوده شود به طوری که اختلاف ارتفاع دو سطح جیوه 1520 mm گردد فشار کل وارد به گاز به 2280 mmHg می‌رسد و حجم گاز محبوس به $\frac{V}{3}$ کاهش می‌یابد.

مثال ۴-۲۰



دلفینی حباب هوایی را در زیر دریاچه‌ای تفریحی ایجاد می‌کند. فرض کنید این حباب به سطح دریاچه می‌رسد و با رسیدن به سطح آب، حجم آن دو برابر می‌شود. عمقی که در آن حباب تشکیل شده است، چقدر بوده است؟ فرض کنید فشار هوا در سطح آب 101 kPa ، دمای آب دریاچه در همه جا یکسان است و فشار هوای داخل حباب همان فشار آب پیرامون آن است.

پاسخ: با توجه به اینکه بالا آمدن حباب در دمای یکسان آب دریاچه، رخ می‌دهد از رابطه ۴-۱۸ برای هوای درون حباب استفاده می‌کنیم:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

که در اینجا P_1 و V_1 به ترتیب، فشار و حجم هوای داخل حباب در محل ایجاد آن و P_2 و V_2 به ترتیب، فشار و حجم آن در سطح دریاچه است. بنابراین:

$$P_1 = P_2 + \rho g h \quad , \quad P_2 = P_0 \quad , \quad V_2 = 2 V_1$$

با قرار دادن این روابط در رابطه ۴-۱۶ خواهیم داشت:

$$(P_0 + \rho g h) V_1 = P_0 (2 V_1)$$

$$h = \frac{P_0}{\rho g} = \frac{101 \times 10^3 \text{ Pa}}{(1000 \text{ kg/m}^3)(9.81 \text{ N/kg})} = 10.3 \text{ m}$$

و از آنجا

بنابراین، دلفین در عمق 10.3 m از سطح دریاچه، حباب را ایجاد کرده است.

فعالیت ۴-۱۸

با وجود تلاش در جهت ثابت نگه داشتن فشار هوای درون هواپیما، همواره مقدار آن کمتر از فشار هوای روی زمین است. وقتی هواپیما بالا می‌رود و فشار هوا کم می‌شود، بسته‌های نوشیدنی یا دسر باد می‌کنند و حتی گاهی درشان باز می‌شود. با فرض ثابت بودن دما، این پدیده را توضیح دهید.

قانون آووگادرو: کمیت دیگری که در بررسی قوانین گازها باقی مانده است، جرم گاز و یا به طور

معادل تعداد مول گاز است. آمدئو آووگادرو^۱ (۱۷۷۶ تا ۱۸۵۶ م.) دانشمند ایتالیایی در سال ۱۸۱۱ میلادی بیان کرد که در دما و فشار یکسان، نسبت حجم گاز V به تعداد مولکول‌های آن N ثابت است:

$$\frac{V}{N} = \text{ثابت} \quad (\text{دما و فشار یکسان})$$

همان‌طور که در بخش ۴-۳ دیدیم در یک مول از گاز به تعداد 6.02×10^{23} (عدد آووگادرو) مولکول وجود دارد. بنابراین، $N = n N_A$ که در آن n تعداد مول و N_A همان عدد آووگادرو است. پس نتیجه می‌گیریم که رابطه بالا را می‌توانیم به صورت زیر بنویسیم:

$$\frac{V}{n} = \text{ثابت} \quad (۴-۱۷) \quad (\text{دما و فشار یکسان})$$



آمدئو آووگادرو: آمدئو آووگادرو

در ۹ ژوئن ۱۷۷۶ در شهر تورین ایتالیا به دنیا آمد. پدرش قاضی مشهوری بود و علاقه داشت پسرش حرفه او را پیشه کند. آمدئو فرد نابغه‌ای بود و در ۲۰ سالگی به دریافت دکترای حقوق نایل آمد. اما پس از سه سال کار و تجربه، دریافت که این حرفه خواسته‌هایش را برآورده نمی‌کند و از این رو به ریاضیات و فیزیک و شیمی روی آورد. در ۳۳ سالگی به مقام استادی فیزیک رسید. دو سال بعد، در سال ۱۸۱۱ نظریه معروف مولکولی خود را در یک مجله فرانسوی به چاپ رساند. اما این نظریه در زمان خود مورد توجه قرار نگرفت و به فراموشی سپرده شد. آووگادرو با کوشش فراوان توانست فرق بین اتم و مولکول را کشف کند. او همچنین بیان کرد که حجم مساوی از هر گاز دارای تعداد مولکول یکسانی است، به شرط آنکه اندازه‌گیری در شرایط یکسانی از دما و فشار صورت گیرد. امروزه نظریه آووگادرو به قانون آووگادرو معروف است و شهرتی عالم‌گیر دارد. آووگادرو بقیه عمرش را نیز صرف پژوهش و تدریس موضوع‌های علمی کرد و سرانجام در سال ۱۸۵۶ در ۸۰ سالگی درگذشت، درحالی که دنیای علم آن روز به نبوغش بی‌نبرده بود.

قانون گازهای آرمانی (کامل): همه روابطی که برای گازها بیان کردیم در مورد گازهایی که به اندازه کافی رقیق باشند، یا چگالی آنها به حد کافی کم باشد، با دقت خوبی برقرار است. به این گازها که مولکول‌های آنها به حدی از هم دورند که برهم تأثیر چندانی نمی‌گذارند، گاز آرمانی (کامل) می‌گویند. در واقع این روابط برای گازهای واقعی که چگالی بالایی دارند نتایجی تقریبی دارد. این روابط را می‌توانیم در شکلی کلی موسوم به قانون گازهای آرمانی به صورت زیر ترکیب کنیم:

$$\frac{PV}{nT} = \text{ثابت}$$

این مقدار ثابت را با R نشان می‌دهند و به آن ثابت جهانی گازها می‌گویند. آزمایش نشان می‌دهد که مقدار R برابر است با

$$R = 8.314 \text{ J/mol.K}$$

بنابراین، قانون گازهای کامل را می‌توان چنین نوشت:

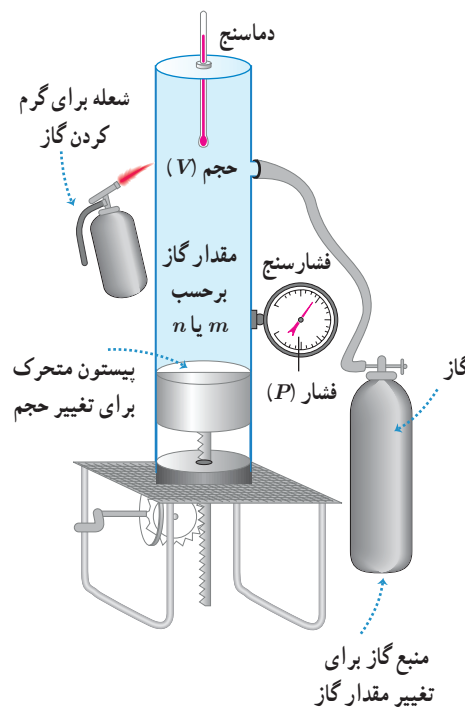
$$PV = nRT$$

(۴-۱۸)

که در آن P برحسب پاسکال (Pa)، V برحسب مترمکعب (m^3)، n برحسب مول (mol) و T برحسب کلونین (K) است. شکل ۴-۴۹ الف طرحی از یک دستگاه تحقیق قانون گازهای کامل و شکل ۴-۴۹ ب تصویری واقعی از این دستگاه را نشان می‌دهد.



(ب)



(الف)

شکل ۴-۴۹ الف) طرحی از یک دستگاه تحقیق قانون گازهای کامل و ب) تصویری واقعی از آن

مثال ۴-۲۱

الف) تعداد مولکول‌های هوایی که در اتاقی به ابعاد $4/00\text{ m}$ ، $6/00\text{ m}$ ، $3/00\text{ m}$ در فشار $1/00\text{ atm}$ و دمای 20°C وجود دارد چقدر است؟

ب) جرم هوای درون اتاق چقدر است؟ جرم مولی متوسط گازهای موجود در هوا، 29 kg/mol است.

پاسخ: توجه کنید که هوا به صورت تقریبی گاز آرمانی در نظر گرفته می‌شود و بنابراین از قانون گازهای آرمانی (رابطه ۴-۲۰) استفاده می‌کنیم.

الف) در استفاده از قانون گازهای آرمانی باید مقادیر فشار مطلق هوا برحسب پاسکال، دما برحسب کلوین و حجم برحسب مترمکعب جای‌گذاری شود.

$$P = 1/00\text{ atm} = (1/00 \times 1/01 \times 10^5)\text{Pa} = 1/01 \times 10^5\text{ Pa}$$

$$V = (4/00\text{ m})(6/00\text{ m})(3/00\text{ m}) = 72/0\text{ m}^3$$

$$T = (273 + 20)\text{K} = 293\text{K}$$

در نتیجه برای n داریم:

$$n = \frac{PV}{RT} = \frac{(1/01 \times 10^5\text{ Pa})(72/0\text{ m}^3)}{(8/314\text{ J/mol.K})(293\text{K})} = 2/99 \times 10^3\text{ mol}$$

با توجه به اینکه در هر مول از هوای درون اتاق به تعداد عدد آووگادرو، مولکول گاز وجود دارد، نتیجه می‌گیریم:
مولکول $1/80 \times 10^{23} = (\text{mol/مولکول}) (2 \times 10^{23} / 6/02) = (2/99 \times 10^3\text{ mol})(\text{عدد آووگادرو})(\text{تعداد مول}) = \text{تعداد مولکول هوا}$
ب) با استفاده از رابطه ۴-۸ ($n = m/M$) جرم هوای درون اتاق را محاسبه می‌کنیم:

$$m = nM = (2/99 \times 10^3\text{ mol})(29\text{ kg/mol}) = 86/7\text{ kg}$$

مثال ۴-۲۲

درون استوانه‌ای 12 L گاز اکسیژن با دمای 7°C وجود دارد. فشار گاز درون استوانه را با فشارسنجی اندازه می‌گیریم. فشارسنج 14 atm را نشان می‌دهد. دمای گاز را به 77°C و حجم آن را به 25 L می‌رسانیم. فشاری که فشارسنج در پایان نشان می‌دهد، چند اتمسفر است؟ فشار هوای بیرون استوانه 1 atm است. فرض کنید گاز درون استوانه، گاز آرمانی است.
پاسخ: می‌دانیم فشارسنج، فشار پیمانه‌ای را نشان می‌دهد و در قانون گازهای کامل باید از فشار مطلق استفاده کنیم. بنابراین:

$$\begin{cases} P_1 = P_{g1} + P_0 = 14 + 1 = 15\text{ atm} \\ V_1 = 12\text{ L} \\ T_1 = \theta_1 + 273 = 7 + 273 = 280\text{ K} \end{cases} \quad \begin{cases} P_2 = ? \\ V_2 = 25\text{ L} \\ T_2 = \theta_2 + 273 = 77 + 273 = 350\text{ K} \end{cases}$$

با توجه به قانون گازهای کامل داریم:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{15 \times 12}{280} = \frac{P_2 \times 25}{350} \Rightarrow P_2 = 9/0\text{ atm}$$

بنابراین، فشاری که اکنون فشارسنج نشان می‌دهد برابر است با

$$P_{g2} = P_2 - P_0 = 9/0 - 1/0 = 8/0\text{ atm}$$

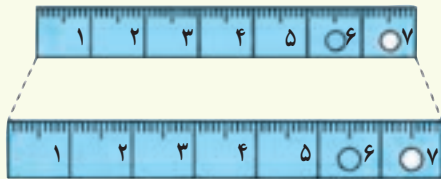
۴-۱ دماسنجی

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

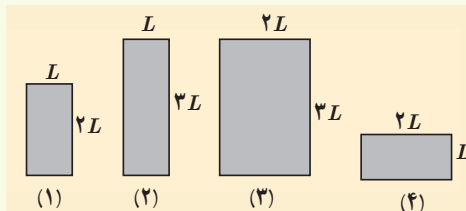
الف) °K (ب) ۲۷۳K (پ) ۳۷۳K (ت) ۵۴۶K

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)

۴-۲ انبساط گرمایی



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



۴) شکل روبه‌رو چهار صفحه فلزی هم جنس به اضلاع متفاوت را در یک دما نشان می‌دهد. اگر دمای همه آنها را به اندازه 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 چهار تایی آنها روزنه کوچک هم اندازه‌ای 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 25 m ساخته شده است. این بخش‌ها در دمای 10°C ، بتون‌ریزی و عمل آورده شده‌اند. برای جلوگیری از تاب برداشتن بتون در دمای 50°C ، مهندسان باید چه فاصله‌ای را بین این قطعه‌ها در نظر بگیرند؟
 $\alpha_{\text{بتون}} = 14 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$

۶) یک ظرف آلومینیمی با حجم 400 cm^3 در دمای 40°C به طور کامل از گلیسرین پر شده است. اگر دمای ظرف و گلیسرین به 30°C برسد، چقدر گلیسرین از ظرف بیرون می‌ریزد؟

۷) مقداری بنزین در مخزنی استوانه‌ای به ارتفاع $h = 1\text{ m}$ ریخته شده است. در دمای 10°C فاصله بین سطح بنزین تا بالای ظرف برابر $\Delta h = 5\text{ cm}$ است. اگر از انبساط ظرف در نتیجه افزایش دما چشم‌پوشی شود، در چه دمایی بنزین از ظرف سرریز می‌شود؟



۸) در شکل روبه‌رو 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 لوله گاز و نفت در کشورمان که مواد سوختی را از جنوب کشور به مرکز و شمال منتقل می‌کند به چند صد کیلومتر می‌رسد. دمای هوا در زمستان ممکن است تا 10°C - و در تابستان تا 50°C + برسد. جنس این لوله‌ها عموماً از فولاد با $\alpha \approx 10 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ است.

طول خط لوله، بین دو ایستگاه تهران - 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 تانکر حامل سوخت با $30,000\text{ L}$ بنزین بارگیری شده است. هوا در محل تحویل سوخت 20°C سردتر از محلی است که در آنجا سوخت بار زده شده است. راننده چند لیتر سوخت را در این محل تحویل می‌دهد؟

۳-۴ گرما



۱۱) برای گرم کردن 200 g آب جهت تهیه چای، از یک گرمکن الکتریکی غوطه‌ور در آب استفاده می‌کنیم. روی برجسب گرمکن 200 W نوشته شده است. با نادیده گرفتن اتلاف گرما، زمان لازم برای رساندن دمای آب از 30°C به 100°C را محاسبه کنید.

۱۲) دمای یک قطعه فلز 60°C کیلوگرمی را توسط یک گرمکن 50 W در مدت 110 s از 18°C به 38°C رسانده‌ایم. این آزمایش برای گرمای ویژه فلز چه مقداری

را به دست می‌دهد؟ حدس می‌زنید که این پاسخ از مقدار واقعی گرمای ویژه فلز بیشتر باشد یا کمتر؟ توضیح دهید.

۱۳) گرماسنجی به جرم 200 g گرم از مس ساخته شده است. یک قطعه 80°C گرمی از یک ماده نامعلوم همراه با 50°C گرم آب به درون گرماسنج ریخته می‌شود. اکنون دمای این مجموعه 30°C شده است. در این هنگام 100 g گرم آب 70°C به گرماسنج اضافه می‌شود، دمای تعادل 52°C می‌شود. گرمای ویژه قطعه را محاسبه کنید.

۴ - ۴ تغییر حالت‌های ماده

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 سرم 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 درباره فرایند ذوب نادرست است؟

الف) افزایش فشار وارد بر جسم در بیشتر مواد، سبب پایین رفتن نقطه ذوب می‌شود.

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

پ) فرایند ذوب، عملی گرماگیر است.

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

۱۷) کمترین گرمای لازم برای ذوب کامل 20 g نقره که در آغاز در دمای 20°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 سرپسته در شب هنگام، وقتی که دمای زیر صفر پیش‌بینی شده است، قرار دادن تشت بزرگ پر از آب در سالن است. اگر جرم آب درون تشت 15 kg و دمای اولیه آن 20°C باشد و همه آن به یخ 0°C تبدیل شود، آب چقدر گرما به محیط پیرامونش می‌دهد؟

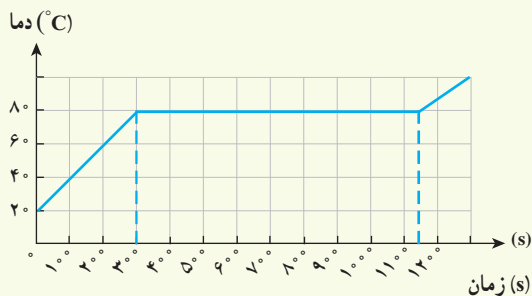
۱۹ یک گرمکن 5° واتی به طور کامل در 10° گرم آب درون یک گرماسنج قرار داده می شود.

الف) این گرمکن در مدت یک دقیقه دمای آب و گرماسنج را از 2°C به 25°C می رساند. ظرفیت گرمایی گرماسنج را حساب کنید.

ب) چه مدت طول می کشد تا دمای آب درون گرماسنج از 25°C به نقطه جوش (100°C) برسد؟

پ) چه مدت طول می کشد تا 20° گرم آب در حال جوش درون این گرماسنج به بخار تبدیل شود؟

۲۰ گرمکنی در هر ثانیه 20% ژول گرما می دهد. الف) چقدر طول می کشد تا این گرمکن $100^\circ/\text{kg}$ آب 10°C را به بخار آب 100°C تبدیل کند؟ ب) این گرمکن در همین مدت، چه مقدار یخ 0°C را می تواند به آب 0°C تبدیل کند؟



۲۱ اگر به جسم جامدی که ابعاد آن به اندازه کافی کوچک است

با توان ثابتی گرما بدهیم نمودار دما - زمان آن به صورت کیفی مانند

شکل روبه رو می شود. این نمودار در اینجا برای جسم جامدی به جرم

g 50% رسم شده که توسط یک گرم کن W 10% گرم شده است.

الف) چقدر طول می کشد تا این جامد به نقطه ذوب خود برسد؟

ب) گرمای ویژه جامد و پ) گرمای نهان ذوب آن را محاسبه کنید.

۲۲ در چاله کوچکی kg 100° آب 0°C قرار دارد. اگر بر اثر تبخیر سطحی قسمتی از آب تبخیر شود و بقیه آن یخ ببندد، جرم آب یخ زده چقدر می شود؟

۲۳ در گروهی از جانوران خونگرم و انسان، تبخیر عرق بدن، یکی از راه های مهم کنترل دمای بدن است.

الف) چه مقدار آب تبخیر شود تا دمای بدن شخصی به جرم kg 50% به اندازه 0°C 1% کاهش یابد؟ گرمای نهان تبخیر آب در دمای

بدن (37°C) برابر $2420 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$ و گرمای ویژه بدن در حدود $3480 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$ است. ب) حجم آبی که شخص باید برای جبران آب

تبخیر شده بنوشد، چقدر است؟

۴-۵ روش های انتقال گرما

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

۲۵ یک پالتو چگونه شما را گرم نگه می دارد؟ چرا استفاده از چند لباس زیر پالتو این عمل را تشدید می کند؟

۲۶ شیشه پنجره ای دارای عرض 2% متر، ارتفاع 1% متر و ضخامت 4% mm است.

الف) در یک روز زمستانی دمای وجهی از شیشه که در تماس با هوای سرد بیرون است 2°C و دمای وجهی از شیشه که در تماس با هوای گرم داخل اتاق است 7°C است. چه مقدار گرما در هر ثانیه از طریق شیشه

با $k \approx 1^\circ\text{W/m}^\circ\text{C}$ به بیرون اتاق انتقال پیدا می کند؟

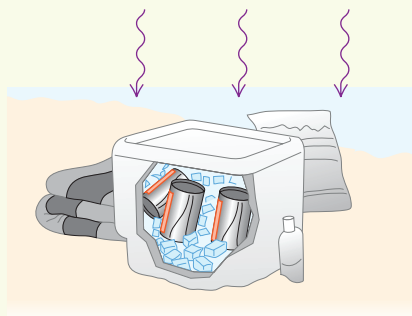
ب) چه مقدار انرژی در طول یک روز به این ترتیب تلف می شود؟

۲۷ جعبه یخ دانی از جنس پلی استیرن با مساحت کل دیواره های 8 m^2 و ضخامت

دیواره های 2% cm در اختیار دارید. اختلاف دمای سطح داخلی و خارجی یخ دان

20°C است. در یک روز (24h) چقدر یخ آب می شود؟ رسانندگی گرمایی

پلی استیرن برابر است با $k = 0.01^\circ\text{W/m}^\circ\text{C}$.



۲۸ دو قوری همجنس و هم اندازه را در نظر بگیرید که سطح بیرونی یکی سیاه رنگ و دیگری سفید رنگ است. هر دو را با آب داغ با دمای یکسان پر می کنیم. آب کدام قوری زودتر خنک می شود؟

۴-۶ قوانین گازها

۲۹ گازی در دمای 20°C دارای حجم 100 cm^3 است. الف) این گاز را باید تا چه دمایی گرم کنیم تا در فشار ثابت، حجم آن 200 cm^3 شود؟ ب) این گاز در همین فشار در چه دمایی دارای حجم 50 cm^3 خواهد شد؟

۳۰ هوایی با فشار 1 atm درون استوانه یک تلمبه دوچرخه به طول 24 cm محبوس است. راه های ورودی و خروجی هوای استوانه تلمبه را می بندیم. اکنون

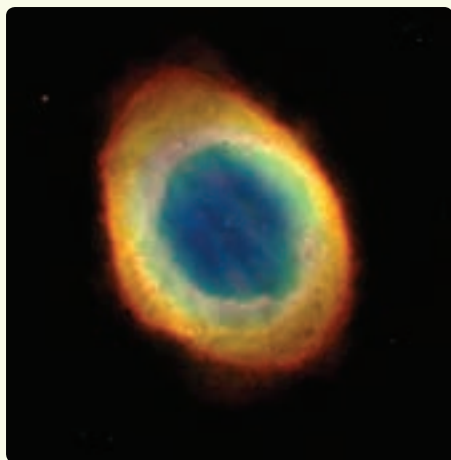
الف) اگر طول استوانه را در دمای ثابت به 3 cm افزایش دهیم، فشار هوای محبوس چقدر خواهد شد؟

ب) برای آنکه در دمای ثابت، فشار هوای محبوس 3 atm شود، طول استوانه را چقدر باید کاهش دهیم؟

۳۱ لاستیک یک اتومبیل حاوی مقدار معینی هواست. هنگامی که دمای هوا 17°C است، فشارسنج، فشار درون لاستیک را 200 atm نشان می دهد. پس از یک رانندگی بسیار سریع، فشار هوای لاستیک دوباره اندازه گیری می شود. اکنون فشارسنج، 240 atm نشان می دهد. دمای هوای درون لاستیک در این وضعیت چقدر است؟ حجم لاستیک را ثابت و فشار جو را 100 atm اتمسفر در نظر بگیرید.

۳۲ دما و فشار متعارف (STP)^۱ برای گاز، دمای 273 K و $1\text{ atm} = 101325\text{ Pa}$ و فشار 101325 Pa معرفی می شود. حجم یک مول گاز کامل در دما و فشار متعارف چقدر است؟

۳۳ یک حباب هوا به حجم 2 cm^3 در ته یک دریاچه به عمق 4 m قرار دارد که دما در آن جا 4°C است. حباب تا سطح آب بالا می آید که در آنجا دما 20°C است (دمای هوای حباب با دمای آب اطراف آن یکسان است). در لحظه ای که حباب به سطح آب می رسد حجم آن چقدر است؟ فشار هوا در سطح دریاچه را 101325 Pa در نظر بگیرید.



۳۴ سحابی سیاره ای^۲، ابری است حلقوی (شکل روبه رو) که عمدتاً از گاز هیدروژن با غلظت 100% مولکول بر سانتی متر مکعب و دمای 10000 K تشکیل شده است. فشار گاز در این سحابی را محاسبه کنید.

۱- Standard Temperature and Pressure

۲- Planetary nebula