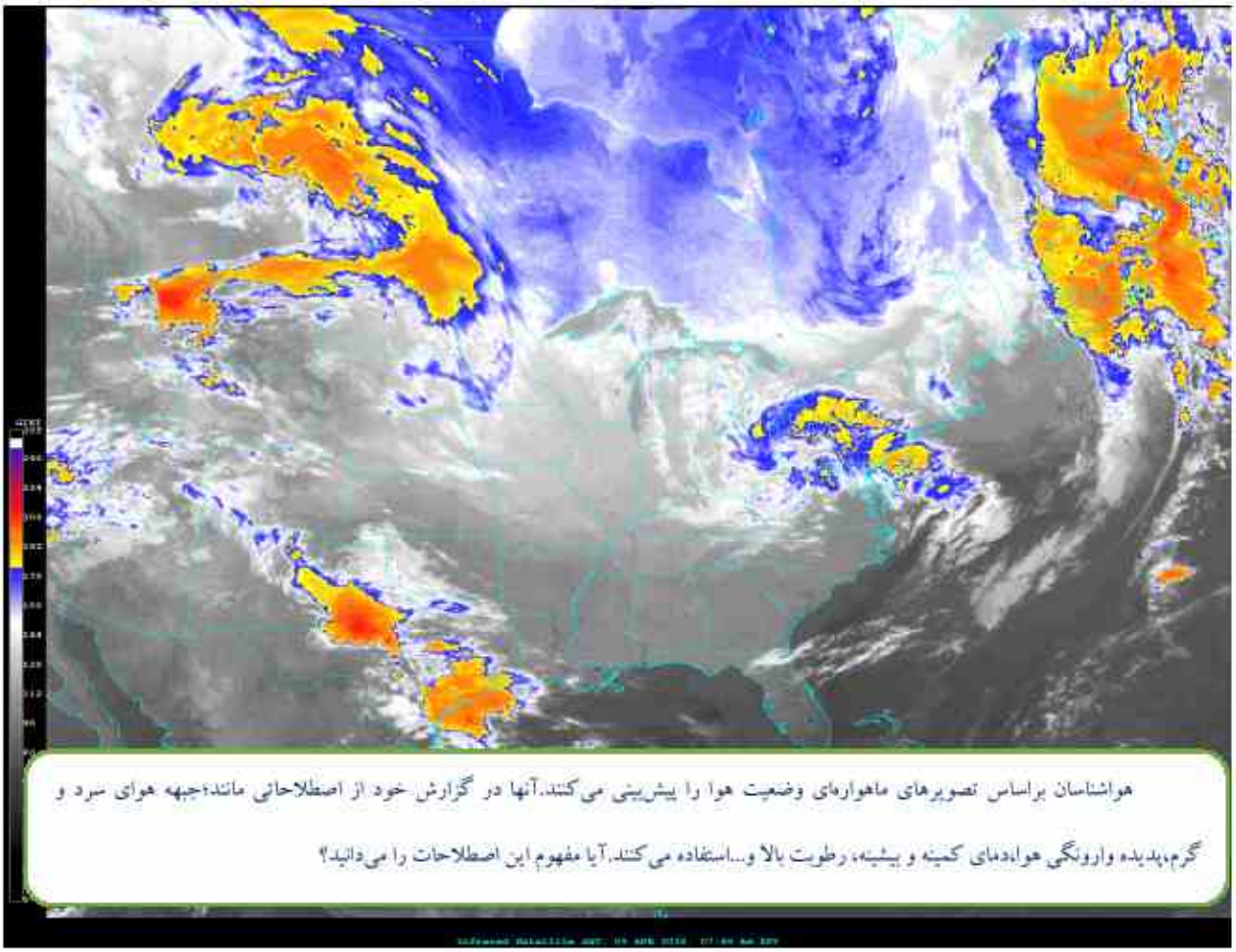
فصل ۴–دما و گرما



چگونه آب می‌تواند آتش را خاموش کند؟ چرا آتش‌نشان‌ها لباس‌های براق روشن می‌پوشند؟ چرا پارچهٔ خیسی 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 باغ های میوه می‌توان از یخ‌زدن آنها در شبی سرد جلوگیری کرد؟ چرا بیشتر پل‌ها به صورت بخش‌هایی مجزا ساخته می‌شوند که فاصلهٔ کمی بین آنها وجود دارد؟ چگونه موهای خرس‌های قطبی می‌تواند آنها را از سرمای کشندهٔ قطب در امان

نگه دارد؟ پاسخ این پرسش‌ها و بسیاری از پرسش‌های مشابه را می‌توان با بررسی دما وگرما و اثرهای آن به دست آورد.

در کتاب‌های علوم با مفهوم‌های دما و گرما به طور ساده آشنا شدید. در این فصل، ضمن تعمیق و توضیح بیشتر مفاهیم به بررسی مواردی از قبیل دماسنجی، اثر تغییر دما بر حجم مواد می‌پردازیم. افزون بر این، 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.

۴-۱ دما و دماسنجی

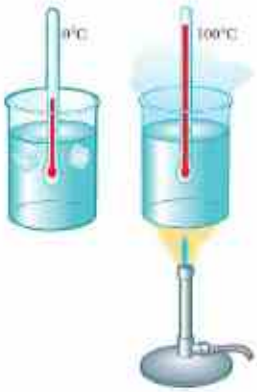
وقتی شخص بیماری به پزشک مراجعه می‌کند، یکی از مهم‌ترین اطلاعات برای پزشک، تعیین دمای بدن بیمار است. برای این منظور پزشک از دماسنج استفاده می‌کند.برای نگهداری مواد غذایی و جلوگیری از فاسدشدن آنها، دمای یخچال بسیار مهم است و اگر دما نامناسب باشد، ممکن است در زمان کوتاهی مواد غذایی فاسد شود. بنابراین ایجاد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

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

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

شکل ۴-۱ یک دماسنج الکلی نمونه

مقیاس‌های دما: یکی از مقیاس‌های متداول دما، مقیاس دما برحسب درجهٔ سلسیوس است. این مقیاس مبتنی بر دو نقطهٔ ثابت است: یکی دمایی که در آن آب خالص در فشار۱جو (1 atm) شروع به یخ‌زدن می‌کند و دیگری دمایی که آب خالص در فشار ۱جو در حال جوشیدن است. به نقطهٔ اول، عدد صفر و به نقطهٔ دوم، عدد ۱۰۰ را اختصاص می‌دهندو فاصلهٔ بین این دو را به ۱۰۰ قسمت مساوی تقسیم می کنند و هر قسمت را ۱ درجه می‌نامند (شکل ۴-۲). قبلا به چنین دماسنجی، دماسنج با مقیاس سانتی‌گراد[۲] گفته می‌شد. یکای درجهٔ سلسیوس را با نماد $^{\circ}C$ ، و دما برحسب درجهٔ سلسیوس را معمولا با θ نمایش می‌دهند.



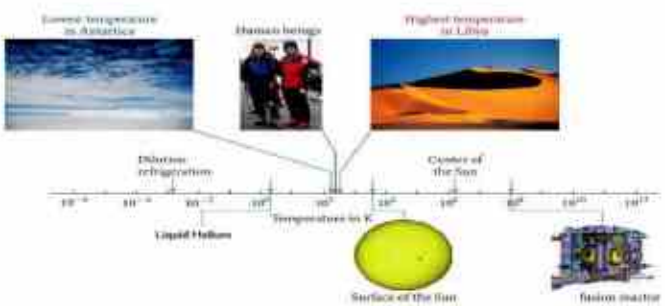
شکل ۴-۲ شکلی طرح‌وار از مقیاس‌بندی دما

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

$$T = \theta + ۲۷۳/۱۵ \qquad ۱-۴)$$

بنا به رابطهٔ ۴-۱ صفرِ کلوین برابر $^{\circ}C$ ۲۷۳/۱۵- است که این کمترین دمای ممکن نیز هست.[۳] اما برای دما، حدّ بالایی وجود ندارد. گسترهٔ برخی از دماهای مشهور در شکل ۴-۳ برحسب کلوین نشان داده شده است.

شکل ۴-۳ گسترهٔ برخی از دماها

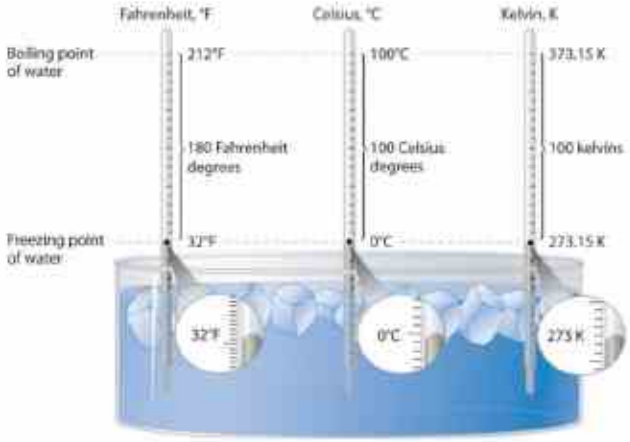


۲- برگرفته از centi به معنی یک‌صدم و grade به معنی درجه

۳. صفر کلوین به طور دقیق برابر $^{\circ}C$ ۲۷۳/۱۵- است ولی برای محاسبه‌های این کتاب همان مقدار تقریبی $^{\circ}C$ ۲۷۳- در نظر گرفته می‌شود.

تمرین ۴-۱:نشان دهید که تغییر دما در مقیاس‌های سلسیوس و کلوین با هم برابر است.

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.



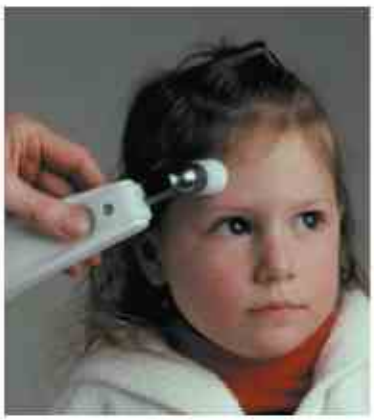
شکل ۴-۴ مقایسهٔ یکاهای فارنهایت، سلسیوس و کلوین.

با کمی دقت متوجه می‌شویم که رابطهٔ مقیاس دمای فارنهایت(F)و سلسیوس (θ) به صورت $F=\frac{9}{5}\theta+32$ است.

فعالیت:تحقیق کنید برای‌نگهداری سلول‌های بنیادی بندناف خون، به چه دمایی نیازمندیم؟ این دما چگونه ایجاد و حفظ می‌شود ؟

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

(الف)

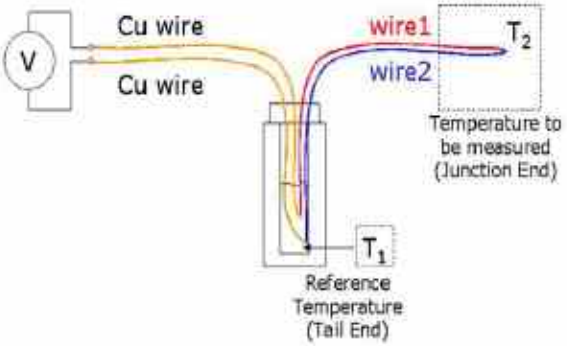


(ب)

شکل ۴-۵ (الف) برخی از دماسنج‌ها که در اطراف خود مشاهده می‌کنید(ب)دماسنج تابشی که بر اساس آشکارسازی شدت تابش گرمایی خروجی از پوست کار می‌کند.

۴- Standard temperature

اما دانشمندان برای کارهای علمی سه دماسنج را به عنوان دماسنج‌های معیار برای اندازه‌گیری گسترهٔ 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 ،مبتنی بر تابش گرمایی است که 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 ،

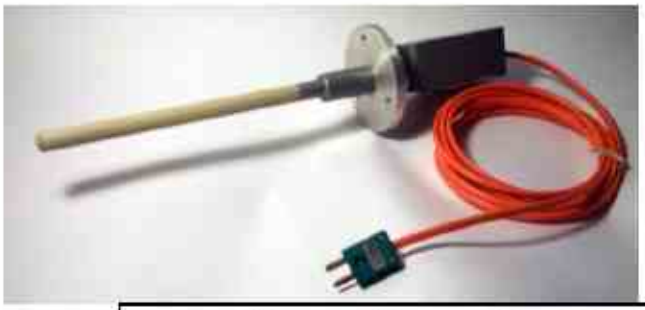


شکل ۴-۶ طرحی از یک دماسنج ترموکوپل

دماسنج ترموکوپل است که به دلیل دقت پایین‌تر آن نسبت به دماسنج‌های بیان شده،از مجموعه دماسنج‌های معیار کنار گذاشته شد.ولی این دماسنج همچنان از لحاظ آزمایشگاهی کاربرد فراوانی دارد و از این‌رو 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.مطابق این شکل، دو سیم فلزی غیر هم‌جنس ۱ و ۲ از طرفی در دمای ذوب یخ نگه‌داشته شده‌اند و از طرف دیگر، در مکانی به هم متصل‌اند که می‌خواهیم دمای مجهول آن را به‌دست آوریم. این مجموعه شامل دو اتصال با سیم‌های مسی رابط است که به یک ولت‌سنج بسته می‌شود. با افزایش دمای محل مورد اندازه‌گیری، ولتاژ دو سر سیم‌های غیرهم‌جنس بیشتر می‌شود. اگر آزمایش را چندین بار و برای دماهای متفاوت تکرار کنیم، می‌توانیم ولتاژهای مربوط به هر دمایی را مشخص کنیم. گسترهٔ دماسنجی یک ترموکوپل بستگی به جنس سیم‌های ۱ و ۲ دارد. مثلاً در یکی از انواع ترموکوپل‌ها که جنس سیم‌ها از آلیاژهای خاصی[5] است، گسترهٔ دماسنجی از $-۲۷۰^{\circ}C$ تا $۱۳۷۲^{\circ}C$ است. مزیت ترموکوپل این است

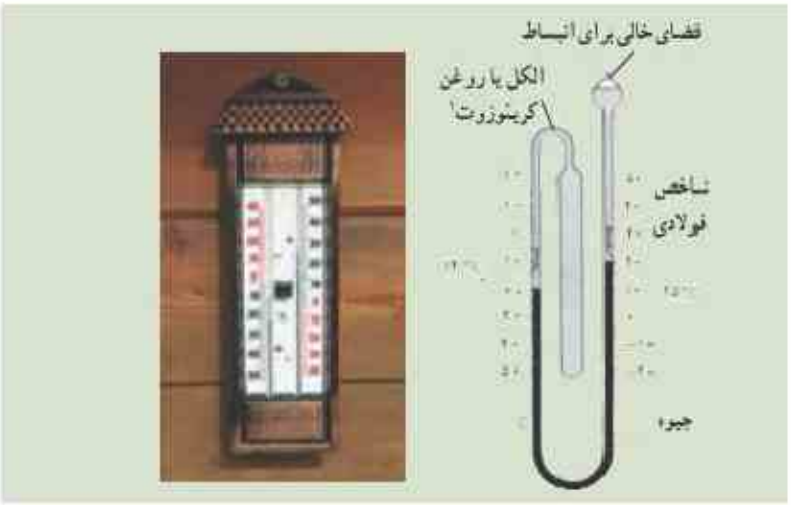
5. آلیاژ آلومل و کرومل (Alumel(%95 Ni & %2 Al & % 2Mn & %1 Si)chromel(%90Ni %10Cr))

که به خاطر 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 که در بسیاری از وسایل صنعتی، گرمایشی و سرمایشی یافت می‌شود به کار رود. شکل ۴-۷ یک نمونهٔ واقعی ترموکوپل را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۷ تصویری از یک ترموکوپل واقعی

فعالیت ۴-۱: نوع ویژه‌ای از دماسنج‌های مایعی که بیشینه و کمینهٔ دما را در یک مدت زمان معین نشان می‌دهد، دماسنج بیشینه– کمینه نام دارد. از این دماسنج معمولاً در مراکز پرورش گل و گیاه، باغداری، هواشناسی و ... استفاده می‌شود. در مورد چگونگی کار این دماسنج‌ها تحقیق کنید.



تمرین: الف) دمای نقطه انجماد و جوش آب را در فشار جوّ متعارف (1 atm) برحسب کلوین و فارنهایت بنویسید.

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

۴-۲ -انبساط گرمایی

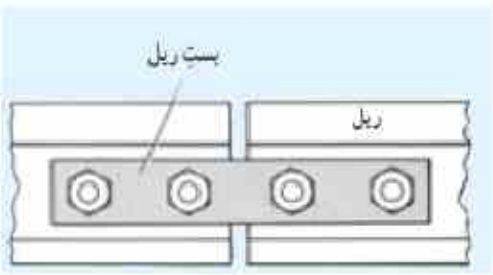
معمولاً برای آنکه در فلزی محکم یک ظرف شیشه‌ای را باز کنیم، روی آن آب داغ می‌ریزیم. وقتی دو لیوان شیشه‌ای در هم، گیر کرده باشند، می‌توانیم با ریختن آب سرد در لیوان داخلی و گذاشتن لیوان بیرونی در آب گرم، دو لیوان را از هم جدا کنیم. وقتی دندان‌پزشک سوراخ دندانی را پر می‌کند، باید مادهٔ پرکنندهٔ دندان همان مشخصه‌های انبساط گرمایی دندان را داشته باشد، چرا که در غیر این‌صورت خوردن یک بستنی سرد و در پی آن نوشیدن چای داغ، بسیار دردناک خواهد بود و ممکن است سبب شکستن دندان نیز بشود.(تصویر دندانپزشکی می‌باید)

پرسش ۴-۳: الف)چرا بهتر است قفل و کلید یک درب، هم جنس باشند؟

ب)چرا درب‌ها در برخی از فصل‌های سال دچار گیر کردن می‌شوند؟

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

فعالیت ۴-۴ : ۱)شکل الف طرحی از دو قسمت متوالی خط‌آهن‌های (ریل راه‌آهن) قدیمی و شکل ب تصویر واقعی آن را در گذشته نشان می‌دهد. اگر فاصلهٔ خالی بین این دو قسمت به حد کافی زیاد نمی‌بود، چه مشکلی پیش می‌آمد؟



(الف)

(ب)

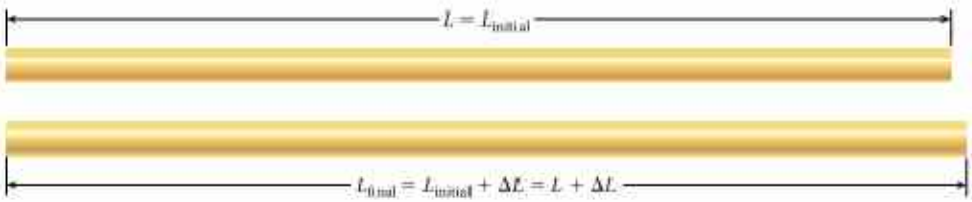
۲) امروزه بین قسمت‌های متوالی خط‌آهن فاصله‌ای در نظر گرفته نمی‌شود و این قسمت‌ها پشت سرهم جوش‌کاری می‌شوند. تحقیق کنید در این روش چگونه مشکل ناشی از انبساط در یک روز گرم تابستانی برطرف می‌شود؟

تصویر خط آهن تهران –مشهد بازیر نویس: خط‌اهن تهران –مشهد به صورت یکسره جوشکاری شده است(ازمحل جوش)

انبساط طولی: میله‌ای فلزی به طول اولیهٔ $L = L_1$ را در نظر بگیرید. اگر دمای میله را به اندازهٔ $\Delta T = T_2 - T_1$ افزایش دهیم، تجربه نشان می‌دهد که طول میله به اندازهٔ $\Delta L = L_2 - L_1$ افزایش می‌یابد (شکل ۴-۷). آزمایش‌ها نشان می‌دهند که هرچه تغییر دما بیشتر باشد، افزایش طول بیشتر است و هرچه طول اولیه بزرگتر باشد، به ازای یک تغییر دمای مشخص افزایش طول بیشتر خواهد بود. همچنین اگر دمای دو میلهٔ هم‌اندازه که جنس‌های آنها با هم متفاوت است را به یک اندازه افزایش دهیم، میزان افزایش طول آنها متفاوت است. بنابراین، در تغییرات دمایی به نسبت کوچک، ΔL را می‌توان از رابطهٔ زیر به‌دست آورد:

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

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



شکل ۴-۷ انبساط گرمایی میله‌ای به طول اولیهٔ L_1

در رابطهٔ ۴-۲، ΔL و L_1 برحسب متر (m)، ΔT برحسب کلوین (K) یا درجهٔ سلسیوس ($C°$) وازآن‌جا یکای α ؛ برکلوین $(\frac{1}{K})$ یا بر درجهٔ سلسیوس $(\frac{1}{C°})$ تعیین می‌شود. ضریب انبساط طولی برخی اجسام در جدول ۴-۱ داده شده است.

ماده	ضریب انبساط طولی $(\frac{1}{K})$
الماس	۱٫۲×۱۰$^{-۶}$
شیشه پیرکس	۳٫۲×۱۰$^{-۶}$
شیشهٔ معمولی	۹×۱۰$^{-۶}$
فولاد	۱۱×۱۰$^{-۶}$
بتون	۱۲×۱۰$^{-۶}$
مس	۱۷×۱۰$^{-۶}$
برنج	۱۹×۱۰$^{-۶}$
آلومینیوم	۲۳×۱۰$^{-۶}$
سرب	۲۹×۱۰$^{-۶}$
یخ (در ۰°C)	۵۱×۱۰$^{-۶}$

موارد زیر به جدول افزوده می‌شود	
شیشهٔ معمولی	$9 - 12 \times 10^{-6}$
فولاد	$11 - 13 \times 10^{-6}$
بتون	$10 - 14 \times 10^{-6}$

جدول ۴-۱ ضریب انبساط طولی برخی اجسام

توجه کنید که مقادیر داده شده برای α در جدول بسیار کوچک هستند. 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.

مثال ۴-۱: طول یک پل معلق[۶] (شکل الف)، ۱۱۵۸ m است. این پل از نوعی فولاد با $\alpha = ۱۳ \times ۱۰^{-۶} \frac{۱}{C^\circ}$ ساخته شده است. فرض کنید کمترین دمای ممکن ۵۰°C- و بیشترین دمای ممکن ۵۰°C باشد. بیشترین تغییر طول ممکن پل چقدر است؟

پاسخ: با استفاده از رابطهٔ ۴-۲ داریم: $\Delta L = L_1 \alpha \Delta T = \left(13 \times 10^{-6} \frac{1}{C^\circ}\right)(1158\text{m})(100C^\circ) = 1.5\text{m}$

تغییر طول ۱/۵ m مقدار نسبتاً زیادی است. بدیهی است که در عمل نمی‌توان فضایی خالی به طول ۱/۵m را برای این تغییر طول روی پل در نظر گرفت. برای رفع این مشکل از تعدادی بست انبساطی انگشتی[۷] که از جنس فلز هستند استفاده می‌کنند. شکل ب، طرحی از این بست‌ها و شکل پ، نمونه‌ای واقعی از این بست‌ها را نشان می‌دهد.

(الف) تصویری از پل مکیناک

(ب) طرحی از بست‌های انبساطی در هنگامی که بسته‌اند و هنگامی که باز می‌شوند

(پ) نمونه‌ای واقعی از بست‌های انبساطی

۸ پل معلق فولادی مکیناک (Macinac) در میشیگان آمریکا

7. Finger Expansion Joint

آزمایش ۷ـ۴

وسایل آزمایش : دستگاه اندازه‌گیری ضریب انبساط طولی با چند لولهٔ فلزی توخالی از جنس‌های مختلف، ارلن با دربوش سوراخ‌دار، لولهٔ لاستیکی، توری ، سه‌پایه و چراغ گاز

شرح آزمایش :

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

۲ـ در ارلن مقداری آب بریزید و دربوش آن را بگذارید.

۳ـ دمای محیط را بخوانید (θ_1) و دماسنج را از یک سوراخ و لولهٔ لاستیکی را از سوراخ دیگر دربوش رد کنید.

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

۵ـ صبر کنید تا از سر آزاد لولهٔ لاستیکی بخار آب خارج شود. سپس لوله را مطابق شکل به دستگاه وصل کنید.

۶ـ آنقدر صبر کنید تا بخار آب از لوله خارج و لولهٔ توخالی کاملاً گرم شود و دمای آن به حدود دمای آب جوش درون ارلن برسد (θ_2).

۷ـ افزایش طول میلهٔ توخالی را با ریزسنج متصل به دستگاه اندازه بگیرید(ΔL).

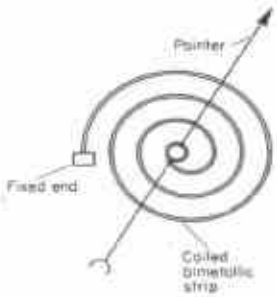
۸ـ با استفاده از رابطهٔ ۶ـ۹ ضریب انبساط طولی را به‌دست آورید.

۹ـ میلهٔ توخالی دستگاه راعوض کنید و آزمایش را برای میله‌ای با جنس دیگر دوباره انجام دهید.

دماسنج نواری دوفلزه: نوار دوفلزه (بی‌متال[8]) از دو تیغهٔ فلزی متفاوت، مانند برنج و آهن ساخته شده است که سرتاسر به هم جوش داده‌شده یا پرچ شده‌اند. هرگاه این نوار، گرم یا سرد شود، نوار مانند شکل 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 ب، طرحی از این دماسنج را که در آن از یک نوار دوفلزهٔ حلزونی‌شکل استفاده شده است، نشان می‌دهدوشکل پ، تصویری واقعی از این نوع دماسنج است.

(الف)

(ب)

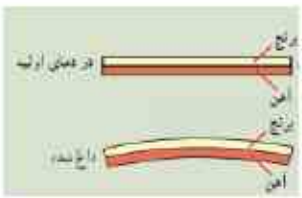


(پ)

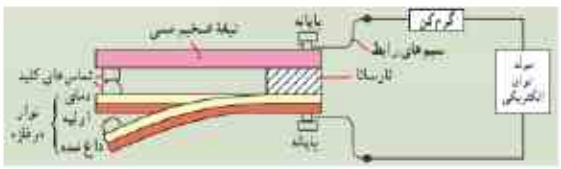
شکل ۴-۸-دماسنج نواری دوفلزه

8. bi-metal

فناوری – دماپا (ترموستات):در دماسنج نواری دو فلزه دیدیم که یک نوار دو فلزه با افزایش یا کاهش دما خم می‌شود. این خم‌شدگی طوری است که در هنگام گرم‌شدن تیغهٔ با ضریب انبساط بیشتر، کمان خارجی و تیغهٔ دیگر کمان داخلی را تشکیل می‌دهد (شکل الف).از این ویژگی برای ساخت نوعی **دماپا** (ترموستات) استفاده می‌شود. 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 ب). در مدار سادهٔ نشان‌داده شده در شکل ب، عبور جریان الکتریکی از گرم‌کن برقی باعث گرم‌شدن نوار دوفلزه می‌شود. وقتی دمای نوار به اندازهٔ معینی برسد، بر اثر خم‌شدن نوار، جریان قطع شده و گرم‌کن برقی خاموش می‌شود. با خاموش‌شدن گرم‌کن، دمای تیغه کاهش می‌یابد و نوار دوباره به شکل وضعیت قبلی خود بازمی‌گردد و به این ترتیب دوباره مدار وصل شده و گرم‌کن برقی روشن می‌شود. دماپاها در بسیاری از وسایل الکتریکی مانند یخچال، آبگرم‌کن، سماور برقی و ... کاربرد دارند. شکل پ، تصویری از یک دماپای واقعی در اتوهای خانگی را نشان می‌دهد.



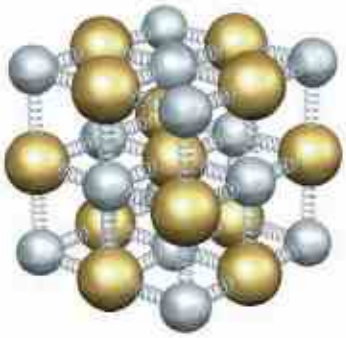
(الف)



(ب)

(پ)

توجیه انبساط گرمایی،مبتنی بر دیدگاه میکروسکوپی است. انبساط گرمایی یک جسم پیامد تغییر فاصله بین اتم‌ها یا مولکول‌های تشکیل‌دهندهٔ آن است. برای درک این مدل، چگونگی رفتار اتم‌ها در یک مادهٔ جامد را در نظر بگیرید.همان‌گونه که در فصل ۲ دیدیم، می‌توان اتم‌ها را ذراتی در نظر گرفت که با فنرهایی به اتم‌های مجاور متصل شده‌اند (شکل۴-۹). در دمای معمولی، اتم‌ها حول مکان‌های تعادل خود با دامنهٔ کم،نوسان می‌کنند. می‌توان نشان داد با افزایش دمای جامد، فاصلهٔ متوسط بین اتم‌ها افزایش می‌یابد، در نتیجه کل جامد منبسط می‌شود.



شکل ۴-۹در جامدها، نیروی بین اتمی مثل فنر عمل می‌کنند.

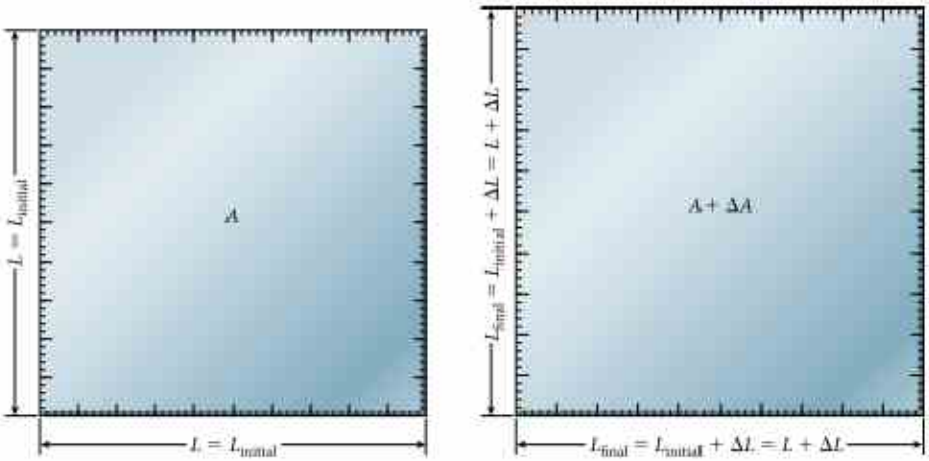
در یک مایع با افزایش دما حرکت کاتوره‌ای اتم‌ها و مولکول‌ها با دما بیشتر می‌شود. این افزایش حرکت‌ها باعث دورشدن اتم‌ها و مولکول‌ها از هم می‌شود و حجم مایع افزایش می‌یابد.

انبساط سطحی و حجمی: سطح و حجم بیشتر اجسام با افزایش دما زیاد می‌شود. تجربه نشان می‌دهد با انبساط جسم جامد ،شکل آن عوض نمی‌شودو همهٔ 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 اندازهٔ ΔA پیدا می‌کند (شکل ۴-۱۰). نشان داده می‌شود که این افزایش مساحت از رابطهٔ زیر به دست می‌آید:

$$\Delta A=2\alpha A_1\Delta T \qquad (۴-۳)$$

در این رابطه، α ضریب انبساط طولی جسم جامد با یکای بر کلوین $(\frac{1}{K})$ یا بر درجهٔ سلسیوس $(\frac{1}{C^\circ})$ است، یکای ΔA و A_1، مترمربع (m^2) و یکای ΔT، کلوین (K) یا درجهٔ سلسیوس (C°) است.



شکل۴-۱۰ انبساط گرمایی یک ورقه مربعی به ضلع $L=L_1$

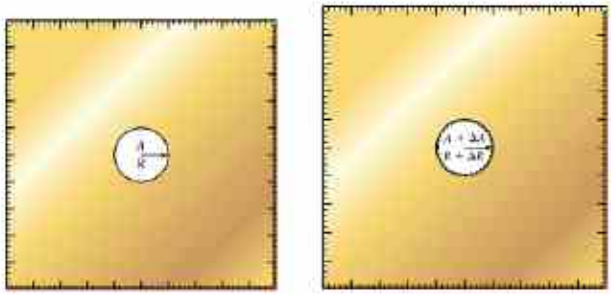
فعالیت: ورقه‌ای فلزی و مستطیلی‌شکل به اضلاع a_1 و b_1 را در نظر بگیرید. بر اثر افزایش دمای ΔT، طول اضلاع مستطیل به اندازهٔ Δa و Δb افزایش می‌یابند. اگر ضریب انبساط طولی ورقه α باشد، نشان دهید که افزایش مساحت این ورقه با تقریب مناسب از رابطهٔ $\Delta A=2\alpha A_1\Delta T$ به دست می‌آید.

مثال ۴-۲: افزایش مساحت ورقه‌ای مسی به مساحت $2500\,cm^2$ وقتی دمایش $50C^\circ$ بالا برود، چند سانتی‌مترمربع است؟

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

$$\Delta A = 2\alpha A_1 \Delta T = 2(1.7 \times 10^{-5}\ /\ C^\circ)(\ 2500\,cm^2)(50C^\circ) = 4.2\ cm^2$$

تمرین ۴-۲ : 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 $d=2/54cm$ درون آن ایجاد شده است. وقتی دمای ورقه $200C^\circ$ افزایش یابد، افزایش مساحت حفره چقدرخواهد شد؟



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 اندازهٔ ΔV پیدا می‌کند که از رابطهٔ زیر به دست می‌آید:

$$\Delta V=\beta V_1 \Delta T \qquad (۴-۴)$$

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

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

$$\beta_{\text{جامد}}=3\alpha \qquad (۴-۵)$$

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

ماده	ضریب انبساط ($\frac{1}{K}$)	ماده	ضریب انبساط ($\frac{1}{K}$)
جیوه	$۰/۱۸\times۱۰^{-۳}$	اسید استیک	$۱/۱۰\times۱۰^{-۳}$
گلیسیرین	$۰/۴۹\times۱۰^{-۳}$	بنزن	$۱/۲۵\times۱۰^{-۳}$
روغن زیتون	$۰/۷۰\times۱۰^{-۳}$	کلروفرم	$۱/۲۷\times۱۰^{-۳}$
پارافین	$۰/۷۶\times۱۰^{-۳}$	استون	$۱/۴۳\times۱۰^{-۳}$
بنزین	$۱/۰۰\times۱۰^{-۳}$	اتر معمولی	$۱/۶۰\times۱۰^{-۳}$
الکل اتیلیک	$۱/۰۹\times۱۰^{-۳}$	آمونیاک	$۲/۴۵\times۱۰^{-۳}$

جدول۴-۲-ضریب انبساط حجمی چند مایع

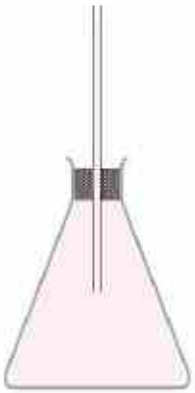
مثال ۴-۳: در یک روز داغ تابستان که دمای هوا $۴۰^\circ C$ است، باکِ(مخزن) ۵۵ لیتری اتومبیل خود را از بنزین کاملاً پر می‌کنید. فرض کنید بنزین از منبعی در زیرزمین با دمای $۱۲^\circ C$ بالا آمده باشد. اتومبیل را پارک می‌کنید و ساعتی بعد بازمی‌گردید. مشاهده می‌کنید بنزین قابل توجهی از باک سرریز شده است. چقدر 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 هم‌دما شدن با محیط داشته است، دمای نهایی آن را $۴۰\ C^\circ$ در نظر می‌گیریم. اکنون با استفاده از رابطهٔ ۴-۴ و جدول ۴-۲ برای ضریب انبساط حجمی بنزین خواهیم داشت:

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

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

نکته مهم در استفاده از رابطه۴-۴ این است که باید یکای ΔV و V_1 یکسان باشد. با مقایسهٔ ضریب انبساط حجمی جامدها با ضریب انبساط حجمی مایعات در جدول ۴-۲ نتیجه می‌گیریم ؛انبساط حجمی جامدها عموماً بسیار کمتر از مایعات 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 $20^\circ C$ گنجایشی برابر با $200 cm^3$ دارد، مطابق شکل با گلیسیرین در همان دما پر کرده‌ایم. اگر دمای ظرف و گلیسیرین را به $60^\circ C$ برسانیم:

الف) آیا گلیسیرین از ظرف بیرون می‌ریزد؟

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

پاسخ: الف) افزایش حجم گلیسیرین و افزایش گنجایش ظرف را با استفاده از رابطه‌های ۴-۴ و ۴-۵ محاسبه می‌کنیم.

$$\Delta V_{\text{گلیسیرین}} = \beta_{\text{گلیسیرین}} V_1 \Delta T = (49 \times 10^{-5} / C^\circ)(200 \text{ cm}^3)(60^\circ C - 20^\circ C) = 3.9 \text{ cm}^3$$

$$\Delta V_{\text{ظرف}} = \beta_{\text{شیشه}} V_1 \Delta T = (3\alpha_{\text{شیشه}}) V_1 \Delta T = (3 \times 9 \times 10^{-6} / C^\circ)(200 \text{ cm}^3)(60^\circ C - 20^\circ C)$$

$$= 0.2 \text{ cm}^3$$

در این محاسبه از جدول‌های ۴-۲ و ۴-۱ برای ضریب انبساط حجمی گلیسیرین و ضریب انبساط طولی شیشه استفاده کرده‌ایم. چون افزایش حجم گلیسیرین بیش از افزایش گنجایش ظرف است، پس گلیسیرین از ظرف سرریز می‌شود.

ب) حجم گلیسیرین سرریز شده برابر است با

$$\Delta V_{\text{گلیسیرین}} - \Delta V_{\text{ظرف}} = (3.9 \text{cm}^3 - 0.2 \text{ cm}^3) = 3.7 \text{ cm}^3$$

فعالیت ۴-۶: آزمایشی را طراحی و اجرا کنید که با آن بتوانید حجم گلیسیرین سرریز شده در مثال ۴-۴ را اندازه بگیرید. سپس از روی آن، ضریب انبساط حجمی گلیسیرین را تعیین کنید.

تمرین۴-...: افزایش دما که به طور معمول موجب افزایش حجم اجسام می‌شود، بر جرم آنها تأثیری ندارد. به همین دلیل انتظار داریم که چگالی اجسام با افزایش دما کاهش یابد. رابطهٔ چگالی با تغییر دما به صورت $\rho_2 = \rho_1/(1+\beta\Delta T)$ است که در آن ρ_1 و ρ_2 به ترتیب چگالی ماده در دماهای T_1 و T_2، β ضریب انبساط حجمی و $\Delta T=T_2-T_1$ است.الف) این رابطه را به دست آورید.

ب) نشان دهید با تقریب مناسبی می‌توان چگالی جسم را از رابطهٔ $\rho_2 = \rho_1(1-\beta\Delta T)$ نیز به دست آورد. بنابراین می توانیم در حل مسائل از این رابطه نیز استفاده کنیم.

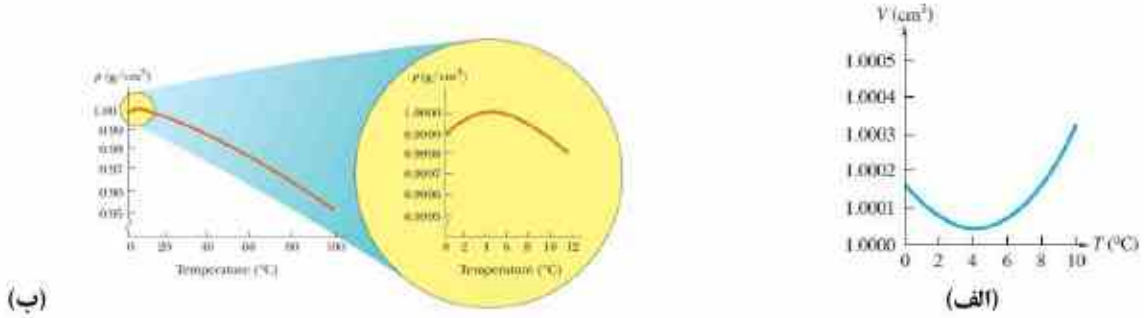
مثال۴-۵ : یک قطعه سرب را در دمای اتاق در نظر بگیرید. اگر دمای این قطعه را $۲۰۰C^o$ افزایش دهیم، چگالی آن چند برابر می‌شود؟

$$\rho 2 = \rho 1(1-\beta\Delta T) \Rightarrow \frac{\rho 2}{\rho 1} = \left(1 - ۳\alpha\Delta T\right)$$

$$= 1-(3\times 29\times 10^{-6}/C^o)(200C^o) = 0.9826 \cong 0.98$$

انبساط غیرعادی آب :در زمستان‌های سرد، سطح آب آبگیرها و دریاچه‌های کوچک یخ می‌زند و به تدریج یخ ضخیم‌تر می‌شود، اما ته آنها، دمای آب بالاتر از $0°C$ بوده و برای موجودات زنده‌ای که آنجا زندگی می‌کنند، نسبتاً گرم و مناسب است. در واقع حجم بیشتر مایع‌ها با کم شدن دما کاهش و در نتیجه چگالی آنها افزایش می یابد. ولی رفتار آب در محدودهٔ دمایی $0°C$ تا $4°C$ متفاوت است. یعنی در این محدوده با کاهش دما، حجم آب افزایش و در نتیجه چگالی آن کاهش می‌یابد. شکل‌های ۴-۱۱ 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 محدودهٔ 0°C تا 4°C دیده می‌شود.

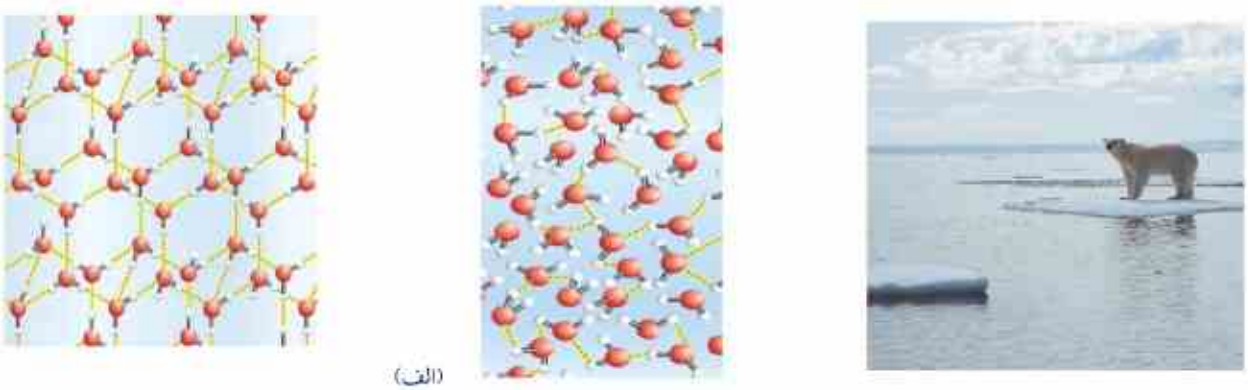


شکل ۴-۱۱(الف) تغییرات حجم آب (شیرین) با دما (ب) تغییرات چگالی آب (شیرین) با دما

همان‌طور که از شکل الف برمی‌آید دربازهٔ دمایی 0°C تا 4°C با افزایش دما، حجم کاهش و چگالی افزایش می‌یابد. پس از دمای 4°C 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 10°C اندکی کمتر شود، چگالی آب نسبت به آب زیر خود افزایش می‌یابد و این آب، پایین می‌رود. این رفتار تا رسیدن به دمای 4°C ادامه می‌یابد. ولی همان‌طور که دیدیم در دمای پایین‌تر از 4°C، 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 ۴-۱۱-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 زیانبار فراوانی در پی داشت و حیات گیاهی و جانوری در عمق دریاچه‌ها از بین می‌رفت.

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 ۴-۱۲-ب). وقتی آب از یخ به حالت مایع تبدیل می‌شود دیگر شبکهٔ بلوری وجود ندارد و آرایش مولکول‌های آن یکنواخت‌تر می‌شود و در نتیجه حجم اشغال شده کاهش

می‌یابد (شکل ۴-۱۲-پ). در محدودهٔ دماهای $0^{\circ}C$ تا $4^{\circ}C$ بقایای ساختار مولکولی یخ هنوز در آب وجود دارد و موجب رفتار غیرعادی آب می‌شود.



(الف) (ب) (پ)

شکل ۴-۱۲الف) آب در حالت مایع چگال‌تر از یخ است و در نتیجه یخ بر روی آب شناور می‌ماند.
ب) مولکول‌های آب در یخ تشکیل یک شبکهٔ بلوری می‌دهند.
پ) آب در حالت مایع تشکیل شبکهٔ بلوری نمی‌دهد.

فعالیت۴-۷ وقتی آب در یک ظرف رویاز یخ می بندد معمولا یک برآمدگی مرکزی ایجاد می شود.در این مورد تحقیق کنید.

۴ -۳ گرما

همان طور که در درس علوم دورهٔ 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 بگذریم، 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 قائل به این فرض بودند که چیزی به نام کالریک از جسم گرم به جسم سرد جریان می‌یابد. اما کنت رامفورد[9] (۱۷۵۳ تا ۱۸۱۴م) و جیمز پرسکات ژول[10] (۱۸۱۸ تا ۱۸۸۹م) در پی آزمایش‌های هوشمندانه‌ای دریافتند آنچه که در چنین فرایندهایی رُخ می‌دهد چیزی جز انتقال انرژی نیست.

10. Sir Benjamin Thomson, Count Rumford
11. James Prescott Joule

FIGURE 18.3 Apparatus for Joule's experiment to determine the mechanical equivalent of heat.

شکل۴-۱۳: در این آزمایش نشان داده می‌شود ؛کار نیروی وزن برابر با مقدار گرمای لازم برای افزایش دمای آب است.

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 می شود. به این انرژی انتقال‌یافته بر اثر اختلاف دمای دو جسم، گرما گفته می‌شود. توجه کنید که اشتباه است به گرمای موجود در یک جسم اشاره کنیم. گرما مربوط به انرژی در حال گذار است؛ بنابراین، عبارت‌هایی مانند گرمای یک‌جسم، نادرست است.گرما را با نماد Q نشان می‌دهند .از طرفی دیدیم گرما، انرژی انتقال یافته است پس باید همان یکای انرژی را داشته باشد. یکای دیگر گرما، کالری[11] است که در موارد خاصی مورد استفاده قرار می گیرد.

وقتی دو جسم سرد و گرم در تماس با یکدیگر قرار می گیرند،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 جسم سرد تا رسیدن به تعادل گرمایی است (شکل ۴-۱۲).

شکل۴-۱۲ وقتی دو جسم با دمای متفاوت را در تماس با یکدیگر قرار می‌دهیم، انرژی از جسم گرم به جسم سرد، منتقل می‌شود. با رسیدن به تعادل گرمایی دیگر گرمایی منتقل نمی شود.

پرسش:الف. منظور از اینکه دماسنج‌های معمولی دمای خودشان را اندازه‌گیری می کنند، چیست؟

ب. در یک کلاس درس؛ میز، صندلی ، دانش‌آموز، تخته،شیشه پنجره و ... وجود دارد. در یک روز مستانی، دمای کدام‌یک از آنها بیشتر از دمای هوای اتاق است؟ دمای کدام‌یک کمتر از دمای هوای اتاق است؟

پ.در شکل ۴-۱۲ میانگین انرژی جنبشی ذرات دو جسم چگونه تغییر کرده است؟

13. 1cal=4/1860J

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 بامحیط اطراف خود گرمای Q را مبادله کند ودر اثر این مبادله گرما، دمایش به اندازهٔ $T\Delta$ تغییر کند؛ Q متناسب با ΔT است که این تناسب را با ضریب تناسب C نشان می‌دهند:

$$Q = C\Delta T \qquad (۶-۴)$$

به C، ظرفیت گرمایی جسم گفته می‌شود. در رابطهٔ ۴-۶ یکای Q برحسب، ژول (J) و یکای $T\Delta$، کلوین (K) است؛ بنابراین، یکای C، ژول بر کلوین می‌شود. وقتی می‌گوییم ظرفیت گرمایی یک جسم $2000\ J/K$ است، یعنی اگر به آن جسم $2000\ J$ گرما بدهیم، دمای آن $1K$ افزایش پیدا می‌کند. توجه کنید که منظور از ظرفیت، این نیست که جسم توانایی محدودی در مبادلهٔ گرما دارد، بلکه تا وقتی که اختلاف دما وجود داشته باشد ،مبادلهٔ گرما ادامه می‌یابد. مقادیر بزرگ آب، مانند دریاچه‌ها و دریاها، نوسان‌های دمای هوای اطراف خود را تعدیل می‌کنند. زیرا این جرم‌های بزرگ آب می‌توانند مقادیر زیادی از گرما را جذب یا به محیط بدهند، بی‌آنکه خودشان تغییر دمای محسوسی داشته باشند(شکل۴-۱۳).

شکل ۴-۱۳ آب دریا به دلیل داشتن ظرفیت گرمایی زیاد، دمای هوا را تعدیل می‌کند، اما دمای خودش تغییر محسوسی نمی‌کند.

گرمای ویژه[۲۲]: تجربه نشان داده است ظرفیت گرمایی اجسامی که از مادهٔ یکسانی ساخته شده‌اند متناسب با جرم آنها است. 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

۲۲ ـ در برخی از کتاب‌ها به این کمیت"ظرفیت گرمایی ویژه" می‌گویند.

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 آن ، رابطه‌اش با ظرفیت گرمایی به صورت $c=C/m$ است. در نتیجه رابطهٔ ۴-۶ چنین می‌شود :

$$Q = mc\Delta T \qquad (۴-۷)$$

در رابطهٔ 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 (J/kg.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 در دمای اتاق(۲۰ °C)

	ماده	ظرفیت گرمایی ویژه، J/kg.K
عناصر جامد	سرب	۱۲۸
	تنگستن	۱۳۴
	نقره	۲۳۶
	مس	۳۸۶
	آلومینیوم	۹۰۰
جامدهای دیگر	برنج	۳۸۰
	فولاد (آلیاژ آهن با ۲٪ کربن)	۴۵۰
	استیل ضدزنگ	۴۹۰
	گرانیت	۷۹۰
	بتون	۸۰۰
	شیشه	۸۳۰
	یخ	۲۲۲۰
مایعات	جیوه	۱۴۰
	اتانول	۲۴۳۰
	آب دریا	۳۹۰۰
	آب	۴۱۸۷

مثال ۴ -۶ : مقدار ۲/۰۰ liter آب با دمای ۲۰/۰°C در اختیار داریم. چقدر گرما لازم است تا دمای این آب را به نقطه جوش آن (در دمای ۱۰۰°C) برسانیم؟

پاسخ: براساس چگالی آب،جرم ۱/۰۰ liter آب برابر ۱/۰۰ kg است. از جدول ۴-۳ گرمای ویژه آب ۴۱۸۷ J/kg.K می‌دانیم. بنابراین گرمای لازم برای گرم کردن ۲/۰۰ kg آب، از ۲۰/۰°C تا نقطه جوش آب برابر است با : $Q = m_{آب} c_{آب} \Delta T = (۲/۰۰\,kg)(۴۱۸۷\,J/kg.K)(100.0℃ - 20.0℃) = 6.70 \times 10^5\,J$

فناوری و کاربرد: در جدول ۴-۳ دیدیم که گرمای ویژهٔ آب از سایر مواد بیشتر است. این نشان می‌دهد که وقتی یک کیلوگرم آب به اندازهٔ یک درجهٔ سلسیوس تغییر دما دهد، در مقایسه با سایر مواد، گرمای بیشتری با محیط اطراف خود و از اجسامی که با آنها در تماس است، مبادله می‌کند. از این خاصیت آب برای گرم کردن فضای خانه‌ها به وسیلهٔ شوفاژ استفاده می‌شود. آب گرم شده از مخزن به وسیلهٔ پمپ و از طریق لوله‌کشی‌های مربوط، به رادیاتور می‌رسد. آب در رادیاتور که با هوای سرد در تماس است، سرد می‌شود و بخشی از انرژی درونی خود را از دست می‌دهد و بار دیگر، از طریق لوله‌های برگشت، به مخزن برمی‌گردد و در این چرخه باز همین عمل تکرار می‌شود. همچنین به دلیل گرمای ویژهٔ بالای آب و نیز ارزانی و فراوانی آن در طبیعت از این ماده برای خنک کردن موتور اتومبیل‌ها استفاده می‌شود. بدین منظور، در محفظهٔ سیلندر و سرسیلندر، مسیرهای عبور آب در نظر گرفته شده است که به وسیلهٔ واترپمپ (تلمبهٔ آب)، آب به سرعت در درون این مسیرها گردش می‌کند و گرمای موتور را به رادیاتور اتومبیل می‌برد. در اثر عبور هوا از میان پره‌های رادیاتور، هوا با آب درون رادیاتور تبادل گرمایی می‌کند، آب انرژی خود را از دست می‌دهد و دوباره به موتور برمی‌گردد و این عمل تکرار می‌شود. امروزه که کارخانه‌های خودروسازی به ساختن خودروهای کوچک روی آورده‌اند، برای کم کردن حجم موتور باید سیستم خنک‌کنندهٔ کوچکی داشته باشند. به همین منظور، آنها مایع‌های خنک‌کنندهٔ ویژه‌ای را تولید کرده‌اند که کار ضدیخ، ضدجوش، ضدزنگ و خنک کردن موتور را انجام می‌دهد. (شکل مرتبط آورده شود)

پرسش ۴- ۹: چند گوی فلزی از جنس‌های مختلف، مثلاً از آلومینیوم، فولاد، برنج، مس، سرب و ...، را اختیار می‌کنیم که همگی جرم یکسانی داشته باشند. گوی‌ها را توسط ریسمان‌هایی داخل ظرف آب در حال جوشی قرار می‌دهیم و پس از مدتی گوی‌ها را بیرون آورده و آنها را روی یک ورقهٔ پارافین قرار می‌دهیم . به نظر شما کدام گوی پارافین بیشتری را ذوب می‌کند و علت آن چیست؟ این آزمایش را نخستین‌بار فیزیک‌دان ایرلندی، جان تیندال[1] (۱۸۹۳-۱۸۲۰م.) طراحی و اجرا کرد.(شکل آورده می‌شود)

(در اینجا یک تمرین می‌آید)

مول و عدد آووگادرو : همان‌طور که در فصل ۱ دیدید،در بسیاری از موارد یکای مناسب برای تعیین مقدار یک ماده، مول (**mole**) است.مقدار ماده برحسب مول را با **n** نشان می‌دهند. یک مول از هر ماده به معنی 6.02×10^{23} از اجزای سازنده آن ماده است که به آن عدد آووگادرو گفته می‌شود. مثلاً یک مول آلومینیوم به معنی 6.02×10^{23} اتم آلومینیوم است و یک مول اکسید آلومینیوم به معنی 6.02×10^{23} مولکول اکسید آلومینیوم 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:

$$n = \frac{m}{M} \qquad (8-4)$$

که در آن **n** برحسب مول (mol)، **m** برحسب کیلوگرم (kg) و **M** برحسب کیلوگرم بر مول (kg/mol) است. مثلاً شکل ۴- ۱۴ یک مول از سه نمونه مواد در حالت‌های مختلف را نشان می‌دهد.

شکل ۴-۱۴ یک مول هوا، یک مول آب، یک مول نمک طعام در کنار هم.

مثال ۴- ۷: شکل زیر نوعی از الماس را نشان می‌دهد که تقریباً از کربن خالص است. جرم

1. John Tyndall

این الماس ۴۴/۵ قیراط است. یک قیراط معادل با ۰/۲۰۰ g است. چه تعداد اتم کربن در این الماس وجود دارد؟ جرم مولی کربن ۱۲/۰۱۱ g/mol است.

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

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

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

$$= (0.741\ mol)(6.02 \times 10^{23} mol^{-1}) = 4.46 \times 10^{23}$$

گرمای ویژه مولی[۲]: وقتی مقدار ماده به جای یکای جرم (kg) برحسب مول بیان شود باید به جای ظرفیت گرمایی بر واحد جرم از ظرفیت گرمایی بر مول (=C/n) استفاده کنیم که به آنظرفیت 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 ۱K افزایش یابد (با این کمیت‌ها در فصل ۵ بیشتر آشنا خواهیم شد).

اگر گرمای ویژه مولی مواد مختلف را با هم مقایسه کنیم، به نظم شگفت انگیزی پی می‌بریم و درمی‌یابیم برای بیشتر فلزها، مقدار آن تقریباً مساوی با ۲۵ J/mol.K است. این نظم با آنکه تقریبی است به نام قاعده «دولن و پتی»[۳] 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 همدما می‌شوند . به این دما،دمای 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 بقیهٔ اجسام گرما می‌گیرند. بنا به قرارداد علامت Q

[۲] -در برخی از کتاب‌ها به این کمیت"ظرفیت گرمایی مولی" می‌گویند.

[۳] -Rule of Dulong-Petit

برای اجسامی که گرما می‌گیرند مثبت ($Q>0$) و برای اجسامی که گرما می‌دهند منفی ($Q<0$) اختیار می‌شود. مثلاً از رابطهٔ (۴ -۷) نیز درمی‌یابیم که با افزایش دما، مقدار مثبتی برای Q به دست می‌آید و با کاهش دما، مقداری منفی برای Q به‌دست می‌آید. بنا به قانون پایستگی انرژی، همان‌قدر که اجسام گرم انرژی از دست می‌دهند، اجسام سرد انرژی می‌گیرند، پس جمع جبری این Qها صفر می‌شود:

$$Q_1+Q_2+Q_3+ \ldots=0 \qquad (۴-۱۱)$$

هرگاه چند جسم متفاوت با گرماهای ویژهٔ c_1، c_2، c_3 و ... به جرم‌های m_1، m_2، m_3 و ... با دماهای اولیهٔ θ_1، θ_2، θ_3 و ... در تماس با یکدیگر قرار دهیم با استفاده از رابطهٔ(۴- ۱۱) معادله‌ای به دست می‌آوریم که می‌توان دمای تعادل را از آن محاسبه کرد.

$$m_1c_1(\theta- \theta_1)+ m_2c_2(\theta - \theta_2)+ m_3c_3(\theta - \theta_3)+ \ldots =0 \qquad (۴-۱۲)$$

مثال ۴-۸ : شخصی ۳۰۰g آب ۷۰°C را در یک لیوان آلومینیومی ۱۲۰ گرمی که دمای آن ۲۰/۰°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 مبادلهٔ گرمایی با محیط نداریم، با استفاده از رابطهٔ ۴-۱۱ داریم:

$$Q_{آب}+Q_{آلومینیوم}=0$$

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

$$M_{آب}c_{آب}(\theta- \theta_{1آب})+ m_{آلومینیوم}c_{آلومینیوم}(\theta - \theta_{1آلومینیوم})=0$$

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

$$(0.300\ \text{kg})(4200\ \text{J/kg.C}^\circ)(\theta - 70.0°\text{C}) + (0.120\ \text{kg})(900\ \text{J/kg.°C})(\theta - 20.0\ °\text{C}) = 0$$

و از آنجا پس از اندکی محاسبهٔ جبری برای دمای تعادل به θ=۶۶/۱ °C می‌رسیم.

از معادلهٔ ۴- ۱۲ می‌توانیم برای یافتن کمیت‌های دیگری مانند گرمای ویژهٔ یک جسم نیز استفاده کنیم.

مثال ۴- ۹ : در ظرف عایقی حاوی ۵۰۰g آب ۲۰/۰°C، یک قطعه مس ۱۰۰ گرمی به دمای ۵۰/۰°C و یک قطعه فلز دیگر به جرم ۱۵۰g و به دمای ۶۰/۰ °C و گرمای ویژهٔ نامعلوم می‌اندازیم و دمای تعادل را اندازه می‌گیریم. دمای تعادل ۲۲/۰°C شده است. با چشم‌پوشی از تبادل گرما بین ظرف و سایر اجسام، گرمای ویژهٔ فلز را حساب کنید.

پاسخ: دمای تعادل ۲۲/۰°C است و نیز با استفاده از سایرداده‌های این مثال و جدول۴-۳ داریم:

آب: $m_1=500g=0.500kg$ ، $\theta_1=20.0°C$ ، $C_1=4200\ J/kg.\ C°$

مس: $m_2=100g=0.100kg$ ، $\theta_2=50.0°C$ ، $C_2=390\ J/kg.\ C°$

فلز: $m_3=150g=0.150kg$ ، $\theta_3=60.0°C$ ، $C_3=?$

اکنون با استفاده از رابطهٔ ۴- ۱۲ خواهیم داشت:

$$m_1c_1(\theta-\theta_1)+m_2c_2(\theta-\theta_2)+m_3c_3(\theta-\theta_3)+\ldots=0$$

$$(0.500\ kg)(4200\ J/kg.C^\circ)(22.0°C-20.0°C)$$

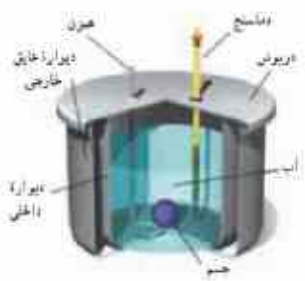
$$+(0.100\ kg)(390\ J/kg.C^\circ)(22.0°C-50.0°C)$$

$$+(0.150\ kg)C_3(22.0°C-60.0°C)=0$$

$$c_3=۵۴۵\ J/kg.\ C°$$

تمرین ۴- ۳ : جسمی به جرم ۲۵۰g و دمای ۳/۰°C را درون ظرف عایقی حاوی ۵۰۰g آب ۲۵/۰°C می‌اندازیم. پس از چنددقیقه دمای تعادل را اندازه می‌گیریم. دمای تعادل ۲۱/۰°C می‌شود. گرمای ویژهٔ جسم را محاسبه کنید. از تبادل گرما بین ظرف و سایر اجسام چشم‌پوشی کنید.

گرماسنج و گرماسنجی: گرماسنج که به آن کالری‌متر نیز می‌گویند شامل ظرفی است درپوش‌دار که به خوبی عایق‌بندی گرمایی شده است (شکل ۴-۱۵). این ظرف در آزمایش‌های گرماسنجی مانند تعیین گرمای ویژهٔ اجسام ،به کار می‌رود. در گرماسنج مقداری آب با جرم معین می‌ریزیم و پس از هم‌دما شدن آب و گرماسنج، دمای آب را اندازه می‌گیریم.



شکل ۴-۱۵ – عکسی واقعی و طرحی از نمای داخلی یک گرماسنج.(عکس واقعی از منابع آموزشی می‌باید)

سپس جسمی که می‌خواهیم گرمای ویژه‌اش را پیدا کنیم و جرم و دمای اولیهٔ آن را اندازه گرفته‌ایم، درون گرماسنج قرار می‌دهیم و به کمک همزن آب را به هم می‌زنیم تا مجموعه سریع‌تر به دمای تعادل برسد. پس از برقراری تعادل گرمایی، دمای تعادل را اندازه می گیریم.

با استفاده از رابطه‌های(۴- ۱۱)و(۴- ۱۲) و با چشم‌پوشی از اثر ناچیز دماسنج و همزن در مبادلهٔ گرما داریم:

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

$$m_{\text{آب}}c_{\text{آب}}(\theta-\theta_{1\text{آب}})+m_{\text{جسم}}c_{\text{جسم}}(\theta-\theta_{1\text{جسم}})+m_{\text{ظرف}}c_{\text{ظرف}}(\theta-\theta_{1\text{ظرف}})=0$$

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

مثال ۴- ۱۰: برای اندازه‌گیری گرمای ویژهٔ فلزی با جنس نامعلوم، قطعه‌ای ۶۰۰ گرمی از آن را تا $۱۰۰/۰^{\circ}C$ گرم می کنیم و سپس آن را در گرماسنجی با ظرفیت گرمایی $۱۸۰\ J/K$ که حاوی $۵۰۰g$ آب با دمای اولیهٔ $۱۷/۳\ ^{\circ}C$ است، می‌اندازیم. اگر دمای نهایی مجموعه $۲۰/۰^{\circ}C$ شود، ظرفیت گرمایی ویژهٔ این فلز چقدر است؟

پاسخ: با استفاده از رابطهٔ(۴- ۱۲) و تعریف ظرفیت گرمایی داریم:

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

$$m_{\text{آب}}c_{\text{آب}}(\theta-\theta_{1\text{آب}})+m_{\text{فلز}}c_{\text{فلز}}(\theta-\theta_{1\text{فلز}})+C_{\text{گرماسنج}}(\theta-\theta_{1\text{گرماسنج}})=0$$

اکنون با جای گذاری مقادیر خواهیم داشت:

$$(0.500\ \text{kg})(4200\ \text{J/kg.C}^{\circ})(20.0^{\circ}C-17.3^{\circ}C)+(0.600\ \text{kg})c_{\text{فلز}}(20.0^{\circ}C-100.0^{\circ}C)$$

$$+(180\ \text{J/C}^{\circ})(20.0^{\circ}C-17.3^{\circ}C)=0$$

پس از عملیات جبری به $c_{\text{فلز}}=۱۲۸\ \text{J/kg.C}^{\circ}$ می‌رسیم. اگر به جدول ۴-۳ نگاه کنیم درمی‌یابیم که این گرمای ویژه بسیار نزدیک به گرمای ویژهٔ سرب است و احتمالا جنس مادهٔ نامعلوم سرب بوده است.

هدف آزمایش:تعیین گرمای ویژه جسم فلزی نامعین

آزمایش ۷ـ۱

وسیله‌های آزمایش : گرماسنج با ظرفیت گرمایی معین، یک جسم کوچک فلزی (مثل یک وزنهٔ فلزی قلاب‌دار)، دماسنج، ترازو، پشر شیشه‌ای، چراغ گازی، سه‌پایه و شعله‌بخش‌کن، انبر.

شرح آزمایش :

۱ـ 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.

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

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

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

۵ـ جسم داغ‌شده را توسط انبر به‌سرعت درون گرماسنج بیندازید.

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

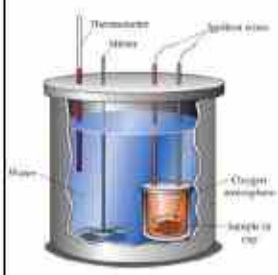
۷ـ با استفاده از معادلهٔ زیر که از رابطهٔ ۶ـ۴ به‌دست آمده است،

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

گرمای ویژهٔ جسم فلزی را به‌دست آورید.

فناوری و کاربرد - گرماسنج بمبی[3]

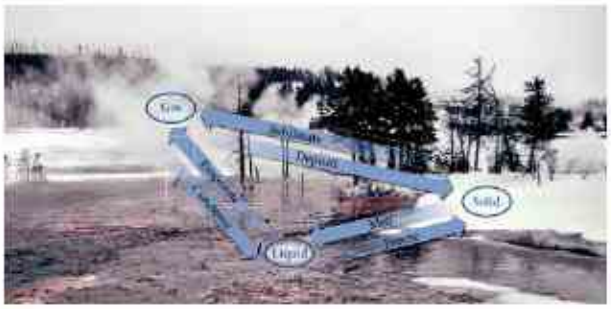
گرماسنج بمبی نوعی گرماسنج است که از آن برای تعیین ارزش غذایی مواد با اندازه‌گیری انرژی آزاد شدهٔ آنها در حین سوختن استفاده می‌شود. نمونه‌ای که جرم آن به دقت اندازه‌گیری شده است در ظرف سربسته‌ای که محتوی اکسیژن است (که اصطلاحاً به آن بمب گفته می‌شود) قرار داده می‌شود. سپس این محفظه در آب یک گرماسنج قرار داده می‌شود و توسط جریان الکتریکی عبوری از یک سیم نازک، محفظه گرم و مخلوط داخل آن سوزانده می‌شود. با اندازه‌گیری تغییر دمای آب، انرژی حاصل از احتراق مادهٔ موردنظر را به دست می‌آورند که تقریباً معادل انرژی آزاد شده از آن ماده است.



۴-۴ تغییر حالت‌های ماده

3. Bomb Colorimeter

همان‌طور که در فصل ۲ دیدیم،موادی که در اطراف ما وجود دارند معمولا در سه حالت (فاز) جامد، مایع و گاز یافت می‌شوند. گذار از یک حالت (فاز) به یک حالت (فاز) دیگر را یک تغییر حالت (گذار فاز) می‌نامند. برای مثال در شکل ۴-۱۶ 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- ۱۶ تغییر حالت‌های سه حالت آب که به طور 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 میعان یا چگالش بخار به مایع می‌نامیم.امکان دارد که تغییر حالت از جامد به بخار و وارون آن از بخار به جامد نیز به طور مستقیم و بدون گذر از حالت مایع صورت گیرد. تغییر حالت از جامد به بخار، تصعید و تغییر حالت وارون آن یعنی از بخار به جامد چگالش بخار به جامد گفته می‌شود. برای مثال نفتالین در دمای اتاق به طور مستقیم از جامد به بخار تبدیل می‌شود و یا در صبح‌های بسیار سرد زمستان، برفکی که روی گیاهان و یا روی شیشهٔ پنجره می‌نشیند، بخار آبی است که به طور مستقیم به بلورهای یخ تبدیل شده است.

در ادامه تغییر حالت‌های جامد - مایع، و مایع - بخار (یا مایع-گاز)[۵] را به طور جداگانه بررسی می‌کنیم.

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 نقطهٔ ذوب و به عبارتی 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،

۵. در مباحث پیشرفته‌تر فیزیک، بخار و گاز تعاریف متفاوتی دارند ولی در این کتاب هر دو به یک معنی گرفته شده‌اند.

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 نقطهٔ ذوب کاملاً مشخصی ندارند. در واقع وقتی این مواد را گرم می‌کنیم، پیش از ذوب شدن خمیری‌شکل می‌شوند. این مواد در گستره‌ای از دما به‌تدریج ذوب می‌شوند.

معمولاً افزایش فشار وارد بر جسم سبب بالا رفتن نقطهٔ ذوب جسم می‌شود. در برخی مواد مانند یخ، افزایش فشار به کاهش نقطهٔ ذوب می‌انجامد. نقطهٔذوب یخ در فشار یک اتمسفر برابر صفر درجهٔ سلسیوس است.

پرسش ۴-۱۱:دربارهٔ علت دیرتر آب شدن برف روی قلهٔ کوه‌ها تحقیق کنید.

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- ۱۷) مثالی مشهور از این دست است.

شکل ۴- ۱۷ تصویری از یخ در حال ذوب

فعالیت ۴-۱۰: برف و یخ دو شکل آشنای حالت جامد آب هستند، اما با این وجود ، ظاهر متفاوتی دارند. دلیل این امر را تحقیق کنید.

بیشتر بدانید: اسپری کردن باغ های میوه

گاهی اوقات گیاهان را با آب اسپری می کنند تا آنها را از یخ زدن در سرمایی سخت مصون دارد. این محافظت ناشی از لایه یخی نیست که روی گیاه تشکیل می شود. این محافظت ناشی از فرایندهایی است که پس از نشستن آب روی گیاه رخ می دهد. یعنی فرایندهایی که در آنها آب تا نقطه انجماد سرد می شود و سپس یخ می بندد. لازمه هر دو فرایند این است که آب به گیاه گرما بدهد. انرژی که به گیاه و سپس به هوا منتقل می شود می تواند دمای باغ را بین ۲ °C- تا ۰ °C حفظ کند که این موجب نجات گیاهان می شود. باغبان از روی یخ تشکیل شده روی گیاهان می تواند 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 می شوند و لایه ای شفاف درست می کنند. در غیر این صورت، تک تک قطراتی که به طور جزئی یخ زده اند لایه یخی غیر شفاف درست می کنند. به همین دلیل باغبان ها 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 لازمهٔ این فرایند گرفتن گرما از مایع است تا مولکول‌ها بتوانند در یک ساختار جدید قرار گیرند. در اینجا نیز تغییر حالت بدون تغییر دما رخ می‌دهد. گرمای منتقل‌شده برای تغییر حالت جسم از جامد به مایع یا از مایع به جامد، با جرم جسم نسبت مستقیم دارد. نسبت این گرما به جرم جسم را گرمای نهان ویژه ذوب می‌گویند که برای سادگی آن را گرمای نهان ذوب می‌نامیم و آن را با L_F نشان می‌دهیم.[6]

$$L_F = \frac{Q}{m} \qquad (13-4)$$

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 جامدانجام شود جسم گرما آزاد می‌کند ($Q<0$):

$$Q=-mL_F$$

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

ماده	نقطهٔ ذوب (°C)	گرمای ذوب (kJ/kg)
هیدروژن	-۲۵۹	۵۸/۶
اکسیژن	-۲۱۸	۱۳/۸
اتر	-۱۱۰	۲۵/۵
جیوه	-۳۹	۱۱/۸
یخ	۰	۳۳۳/۷
گوگرد	۱۱۹	۳۸/۱
سرب	۳۲۷	۲۲/۵
قلع	۶۳۰	۱۶۵
نقره	۹۶۰	۸۸/۳
طلا	۱۰۶۳	۶۲/۵
مس	۱۰۸۳	۱۳۴

6. اندیس F حرف اول واژهٔ انگلیسی «Fusion» است که پیشتر به معنای ذوب به کار می‌رفت. با اینکه هم‌اکنون از واژهٔ «melting» برای ذوب استفاده می‌شود، همچنان از F برای نشان دادن ذوب استفاده می گردد.

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

فعالیت۴- ۱۳:تحقیق کنید وجود ناخالصی در مایع چه تأثیری برنقطه انجماد آن دارد.

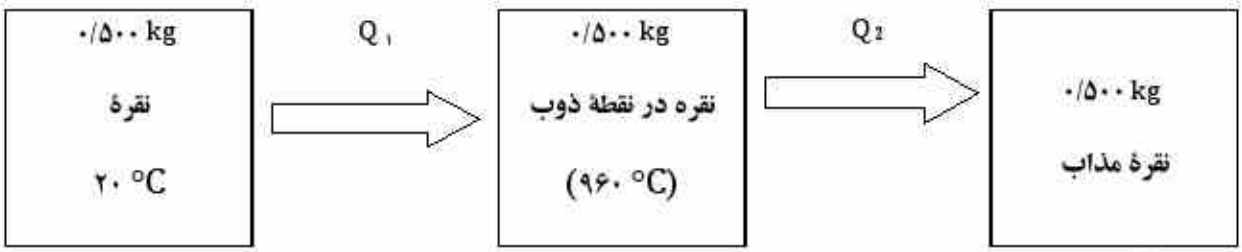
مثال ۴-۱۱: فلز گالیم (Ga) یکی از چند عنصری است که در دماهای پائین ذوب می شود. دمای ذوب این فلز ۲۹/۸ °C و گرمای نهان ذوب آن ۸۰/۴ kJ/kg است. یک قطعهٔ ۱۰/۰ گرمی از این فلز چقدر گرما از دست ما می‌گیرد تا در نقطهٔ ذوب خود به طور کامل ذوب شود.

پاسخ: با استفاده از رابطه ۴-۱۳ داریم:

$$Q = mL_F = (10.0 \times 10^{-2}\text{kg})(80.4 \times 10^{3}\text{J/kg}) = 804\text{ J}$$

مثال ۴-۱۲:یک جواهر ساز برای ساختن جواهری می‌خواهد از ۰/۵۰۰kg نقره برای ریختن در قالب‌های جواهر استفاده کند. به این منظور او باید نقره را ذوب کند اگر دمای اولیهٔ نقره همان دمای اتاق و برابر ۲۰/۰ °C و نقطهٔ ذوب نقره ۹۶۰ °C باشد، چقدر گرما باید به این مقدار نقره داده شود؟

پاسخ: مرحله‌های این فرایند به طور طرح‌وار در شکل زیر رسم شده است.



که در آن :

$$Q_1 = m_{\text{نقره}}c_{\text{نقره}}\Delta\theta = (0.500\text{kg})(240\text{J/kg.C}^{\circ})(960^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}) = 1.13 \times 10^{5}\text{J}$$

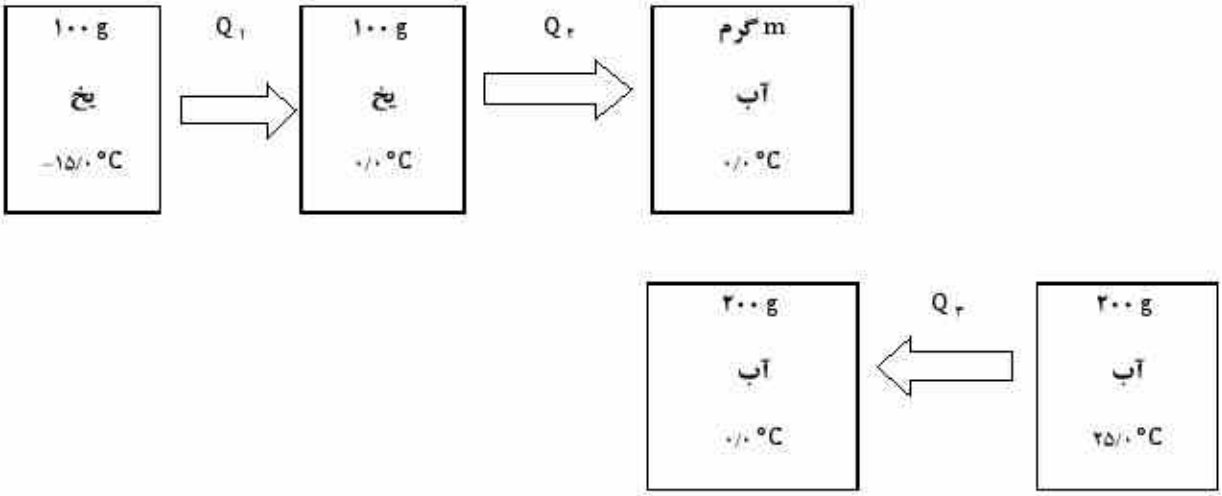
$$Q_2 = m_{\text{نقره}}L_F = (0.500\text{kg})(88.3\text{ kJ/kg}) = 0.442 \times 10^{5}\text{ J}$$

که در آن از گرمای ویژه و گرمای نهان ذوب نقره مندرج در جدول‌های ۴-۳ و۴-۴ استفاده کردیم. اکنون گرمای کل با جمع کردن Q_1 و Q_2 به دست می‌آید.

$$Q = Q_1 + Q_2 = 1.13 \times 10^5 J + 0.442 \times 10^5 J = 1.57 \times 10^5 J = 157 kJ$$

مثال ۴-۱۳: در گرماسنجی با ظرفیت گرمایی ناچیز، ۲۰۰g آب با دمای ۲۵/۰ °C وجود دارد. قطعه یخی به جرم ۱۰۰g و دمای ۱۵/۰°C- درون آن می‌اندازیم. پس از مبادلهٔ گرما و برقراری تعادل گرمایی، مخلوطی از آب و یخ به جا می‌ماند. جرم یخ باقی‌مانده چند گرم است؟

پاسخ: می‌دانیم دمای تعادل آب خالص و یخ خالص در فشار ۱atm برابر ۰ °C است. مرحله‌های این فرایند به صورت طرح‌وار در شکل نشان داده شده است.



$$Q_1+Q_2+Q_3+ \ldots =0$$

$$m_{یخ} c_{یخ} \Delta\theta_{یخ} + m_{یخ\ ذوب\ شده} L_F + m_{آب} c_{آب} \Delta\theta_{آب} = 0$$

$$(0.100kg)(2100J/kg.C^\circ)\big(0.0°C-(-15.0°C)\big) + m(3.34\times10^5 J/kg)$$

$$+(0.200kg)(4200J/kg.C^\circ)\big(0.0°C-25.0°C\big)=0$$

$$(3.34\times10^5 J/kg)\ m = 1.78\times10^4 J \Longrightarrow\ m = 0.0533kg = 53.3g$$

بنابراین ۴۶/۷g از یخ *ذوب نشده* باقی می‌ماند.

تمرین ۴- ۴: اگر در مثال ۴-۱۳ جرم قطعه یخ اولیه ۵۰g باشد، دمای تعادل چقدر می‌شود؟

هدف آزمایش:تعیین گرمای نهان ذوب

آزمایش ۲ـ۷

وسیله‌های آزمایش : بشر شیشه‌ای با حجم cc ۴۰۰، چراغ‌گازی، سه‌پایه، توری نسوز، ترازو، مقداری مخلوط آب و یخ، گرماسنج با ظرفیت گرمایی معلوم و دماسنج.

شرح آزمایش :

۱ـ cc ۲۰۰ آب در بشر بریزید و آن را روی سه‌پایه قرار دهید. چراغ‌گاز را روشن کنید تا دمای آب دست‌کم به $60^{\circ}C$ برسد.

۲ـ آب گرم را درون گرماسنج بریزید و پس ازمدتی دمای تعادل آب و گرماسنج را با دماسنج اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

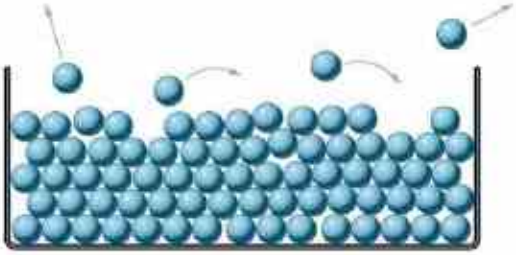
۳ـ قطعه یخی به جرم تقریبی g ۵۰ را از درون مخلوط آب و یخ (با دمای $0^{\circ}C$) بیرون آورده و جرم آن را اندازه گرفته و یادداشت کنید.

۴ـ یخ را درون گرماسنج بیندازید و صبر کنید تا کاملاً ذوب شود. اینک دمای تعادل را اندازه بگیرید.

۵ـ با استفاده از اعداد به‌دست‌آمده، گرمای ذوب یخ (L_f) را حساب کنید.

تغییر حالت مایع - گاز: دیدیم که به تبدیل مایع به گاز تبخیر[7] می‌گویند. به گاز حاصل از تبخیر، بخار گفته می‌شود. خشک شدن لباس خیسی که روی بند رخت آویخته شده است و یا خشک شدن سریع یک زمین خیس در هوای گرم تابستان مثال‌هایی از نوعی تبخیر هستند که به آن تبخیر سطحی[8] گفته می‌شود(شکل۵-...).

تا پیش از رسیدن به نقطهٔ جوش مایع، تبخیر به طور پیوسته‌ای از سطح مایع رخ می‌دهد. در پدیدهٔ تبخیر سطحی برخی از مولکول‌های مایع که تندی آن‌ها به حد کافی زیادی برسند از سطح مایع فرار می‌کنند . تجربه نشان می‌دهد آهنگ رخ دادن این فرایند به عواملی از جمله دما و مساحت سطح مایع بستگی دارد.



شکل ۵-...در حین تبخیر سطحی،مولکول های پرانرژی تر از سطح مایع می گریزند.

فعالیت ۴-۱۴: 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.

7. Vaporization
8. Evaporation

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 و بنابراین آن‌ها غالباً دستگاه‌های ویژه‌ای برای خلاص شدن از این گرمای ناخواسته دارند. مثلاً سگ‌ها با نفس‌نفس زدن و این خرگوش کوهی خاص با فرستادن خون به گوش‌های نازک، بزرگ و پرازمویرگ 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 لایهٔ آبی روی پوست بدن تشکیل شود. این لایهٔ آب با جذب گرمای مورد نیاز برای تبخیر سطحی از بدن، بدن را خنک می‌کند.

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[9]، است. به این دمای مشخص، نقطهٔ 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" می گویند فرو می پاشند.(شکل ۴-۱۸).

شکل ۴- ۱۸ در هنگام جوشیدن، حباب‌ها از محل تشکیل خود به سمت سطح آزاد مایع بالا می‌روند.

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 فشارجو عادی(1atm)، ۱۰۰ °C است. در جوشیدن کلّ مایع در فرایند تبخیر شرکت می‌کند. به

9. Boiling

فرایند تبخیر تا پیش از رسیدن به نقطهٔ جوش، تبخیر سطحی و به فرایند تبخیر در نقطه جوش،اصطلاحا جوشیدن می گویند ،در حالی که هر دو فرایند، تبخیر هستند.

فعالیت ۴-۱۵:از تفاوت نقطهٔ جوش اجسام مختلف در صنعت استفادهٔ زیادی می‌شود. تحقیق کنید چگونه از این ویژگی برای جدا کردن محصولات نفتی استفاده می‌شود؟

. 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[۱۰] نشان می‌دهیم.

$$L_V = \frac{Q}{m} \qquad (۱۴-۴)$$

جدول ۴- ۵ مقادیر L_V برای آب در دماهای مختلف در فشار ۱atm

دما (°C)	L_V(kJ/kg)
۰	۲۴۹۰
۱۵	۲۴۵۴
۵۰	۲۳۷۴
۱۰۰	۲۲۵۶
۱۵۰	۲۱۱۵

گرمای نهان تبخیر هر مایع به جنس و دمای آن بستگی دارد ویکای 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.

فعالیت ۴-۱۶:تحقیق کنید چرا در جدول ۴- ۵ گرمای تبخیر آب با افزایش دمای آن کاهش می‌یابد؟

گرمای لازم برای تبخیر مایعی به جرم m که گرمای تبخیر آن L_Vاست از رابطهٔ زیر به دست می آید:

$$Q = +m L_V$$

علامت مثبت نشان دهندهٔ آن است که مایع هنگام تبخیر گرما می گیرد.

مثال ۴-۱۴: معمولاً وقتی هوا را با بخاری‌های شعله‌ای گرم می کنند، برای حفظ رطوبت محیط، ظرف آبی را روی بخاری می گذارند. اگر دمای آب در یکی از این ظرف‌ها روی $50\ ^\circ C$ ثابت مانده باشد، تعیین کنید برای تبخیر ۲۰۰g از آب در این شرایط چقدر گرما لازم است؟

۱۰. زیرنویس V حرف اول واژهٔ انگلیسی Vaporization به معنی تبخیر است.

پاسخ: با توجه به رابطهٔ ۴- ۱۴ و استفاده از جدول ۴- ۵ داریم:

$$Q = +mL_V = +(0.200kg)(2374 \times 10^3 J/kg) = 4.75 \times 10^5\ J$$

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

ماده	نقطهٔ جوش (°C)	گرمای نهان تبخیر (kJ/kg)
هلیم	-۲۶۹	۲۱
هیدروژن	-۲۵۳	۴۶۰
ازت	-۱۹۶	۲۰۰
اکسیژن	-۱۸۳	۲۱۴
آمونیاک	-۳۵	۱۳۶۹
اتر	۳۵	۳۷۷
برم	۵۹	۱۹۳
کلروفرم	۶۲	۲۴۷
الکل (اتانول)	۷۹	۸۴۶
بنزن	۸۰	۳۹۰
آب	۱۰۰	۲۲۵۶
بد	۱۸۴	۱۶۴
گلیسیرین	۲۹۰	۹۷۴
جیوه	۳۵۷	۲۹۵
کوکرد	۲۲۵	۱۵۱۰

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

خوب است بدانید :بادگیرها

بادگیرها از گذشته‌های بسیار دور در مناطق کویری مانند یزد،کرمان،کاشان،طبس و...برای خنک کردن هوای داخل بناها مورد استفاده قرار می گرفته است. ساختمان بادگیر به شکل مکعب مستطیل است که در دو یا چهار طرف آن، شکافهایی تعبیه شده است.جریان باد با برخورد به این شکاف ها توسط کانل هایی به درون ساختمان هدایت می شود.وقتی باد می‌وزد، فشار هوا در دهانه بادگیر کاهش می یابد و هوای گرم درون ساختمان بر اثر اختلاف فشار، از طریق شکاف های بادگیر به بیرون رانده می شود و هوای بیرون به داخل ساختمان می رود.در درون ساختمان، هوا از طریق یک تونل به پایین بادگیر و سپس از آنجا به زیرزمین منتقل می شود.آب به صورت نم روی دیواره های تونل و در حوض کوچکی در زیرزمین وجود دارد و هوا با تبخیر شدن آب، بیشتر

خنک می‌شود.به عبارتی، گرما از دیواره های تونل و یا حوض آب گرفته می شود تا آب ازمایع به بخار تبدیل شود و بر اثر تبخیر سطحی، دما کاهش می یابد.

پرسش... : 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- ۱۵ : ۲/۰ لیتر آب را درون یک کتری برقی با توان الکتریکی ۱/۵kw می‌ریزیم و آن را روشن می کنیم.

الف) از شروع جوشیدن تا تبخیر همهٔ آب درون کتری چقدر گرما به آب داده می‌شود؟

ب) چه مدت طول می کشد 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- ۱۴ و جدول ۴- ۶ داریم:

$$Q = mL_V = (2.0\text{kg})(2256 \times 10^3 \text{J/kg}) = 4.5 \times 10^6\ \text{J}$$

آنگاه با استفاده از رابطه توان خواهیم داشت:

$$Q = Pt \Longrightarrow t = \frac{4.5 \times 10^6\ \text{J}}{1.5 \times 10^3\ \frac{\text{J}}{\text{s}}} = 3.0 \times 10^3\ \text{J} = 50\text{min}$$

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

هدف آزمایش:تعیین گرمای نهان تبخیر آب

آزمایش ۴ـ۷

وسایل لازم : بشر ۲۰۰cc، دماسنج، سه‌پایه، توری، پایه و گیره، چراغ گاز، زمان‌سنج، آب و ترازو

شرح آزمایش :

۱ـ جرم بشر خالی را اندازه‌گیری کنید و مقدار معینی آب (مثلاً ۲۰۰g) در آن بریزید.

۲ـ توری را روی سه‌پایه بگذارید. چراغ را زیر آن روشن کنید و اولین را روی توری قرار دهید.

۳ـ دماسنج را به کمک پایه وگیره طوری درون بشر قرار دهید تا مخزن آن کمی پایین‌تر از سطح آب باشد.

۴ـ در لحظه‌ای که دمای آب به ۷۰°C می‌رسد زمان‌سنج را روشن کنید. $(t_1=0, \theta_1=70^\circ C)$

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

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

۷ـ گرمادادن را آنقدر 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).

۸ـ زمان (t_3) را ثبت کنید. بشر را از روی چراغ بردارید و با وزن‌کردن آن جرم آب بخارشده (m') را به‌دست آورید.

۹ـ گرمای تبخیر را با استفاده از رابطهٔ $P(t_3-t_2)=m'L_v$ به‌دست آورید.

تمرین ۴-۵ : قطعه یخی به جرم ۱/۰kg و دمای اولیهٔ ۲۰°C- را آن قدر گرم می‌کنیم تا تمام آن تبدیل به بخار ۱۰۰°C شود. کل گرمای مورد نیاز برای این تبدیل چند کیلو ژول است؟

تبدیل متقابل 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 و بنابراین بخار گرما از دست می‌دهد و به مایع تبدیل می‌شود. میعان نیز مانند تبخیر در هر دمایی رخ می‌دهد و گرمای مربوط به میعان مقداری بخار به جرم m و گرمای نهان تبخیر L_V از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$Q = -mL_V$$

علامت منفی نشان دهندهٔ آن است که بخار هنگام میعان گرما از دست می‌دهد و باعث گرم شدن اجسام پیرامون خود می‌شود. مثلا به همین دلیل در زمان‌هایی که رطوبت هوا زیاد است بر اثر میعان بخار روی بدنتان احساس گرمای بیشتری می‌کنید.

فعالیت ۴-۱۸: در مورد ایجاد شبنم صبحگاهی روی گیاهان تحقیق کنید.

مثال ۴- ۱۶: در یک روز زمستانی، بخار آب موجود در اتاقی روی شیشهٔ پنجره به شکل مایع در می‌آید و قطره‌قطره می‌شود. اگر دمای شیشه حدود $0^{\circ}C$ باشد برای آن که حدود $50g$ آب روی شیشه تشکیل شود چقدر گرما به شیشه داده می‌شود؟

پاسخ: با استفاده از جدول ۴- ۶ و رابطهٔ ۴-۱۴ داریم:

$$Q = -mL_V = -(50 \times 10^3 kg)\left(2490 \times \frac{10^3 J}{kg}\right) = -1.2 \times 10^5\ J$$

در این عمل، $1.2 \times 10^2 kJ$ گرما به شیشه داده می‌شود.

فعالیت ۴-۱۹: در فرایند تغییر حالت‌ها(تغییر فاز) دما تغییر نمی‌کند اما انرژی درونی ماده تغییر می‌کند.در این باره تحقیق کنید.

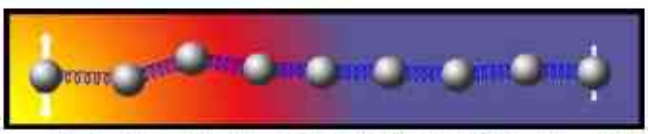
۴ -۴ روش‌های انتقال گرما

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 سهٔ این ساز و کارها دخالت داشته باشند (شکل ۴-۱۹).

شکل ۴- ۱۹ هر سه روش انتقال گرما را در این تصویر مشاهده می‌کنید.

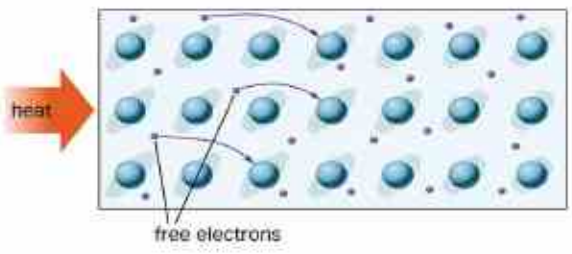
اختلاف دما باعث شارش گرما از جسم با دمای بالاتر به جسم با دمای پایین‌تر می‌شود. انتقال گرما، از جسم گرم به جسم سرد تا وقتی ادامه می‌یابد که دو جسم همدما شوند و اصطلاحاً به تعادل گرمایی برسند. در ادامه به بررسی دقیق‌تر ساز و کار هریک از این روش‌ها می‌پردازیم.

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 آنها است (شکل ۴-۲۰). به جهت نبودِ الکترون‌های آزاد، این اجسام ،رساناهای گرمایی خوبی نیستند. به همین دلیل از برخی از این مواد در دیوارها و سقف بناها استفاده می‌کنند تا حتی‌الامکان از خروج گرما در زمستان و ورود آن در تابستان جلوگیری کنند.



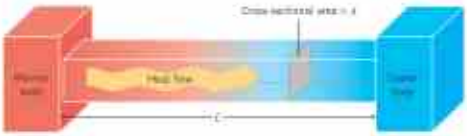
شکل ۴- ۲۰ در نافلزات گرما صرفاً از طریق ارتعاش اتم‌ها انتقال می‌یابد. در شکل، این انتقال ارتعاشات توسط فنرها شبیه‌سازی شده‌اند.

اما در فلزات افزون بر ارتعاش‌های اتمی، الکترون‌های آزاد نیز در انتقال گرما نقش دارند و 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- ۲۱). بنابراین در رساناهای فلزی سهم الکترون‌های آزاد در رسانش گرما بیشتر از اتم‌ها است.



شکل ۴- ۲۱ الکترون‌های آزاد با برخورد به یکدیگر و اتم‌ها موجب رسانش بهتری برای گرما می‌شوند.

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- ۲۲) و یک سر میله در دمای بالاتر T_H و سر دیگر آن در دمای پایین‌تر T_L قرار گرفته باشد. گرمایی که در مدت‌زمان 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.



شکل۴-۲۲ میله‌ای به طول L و مقطع A بین دو منبع با دماهای T_L و T_Hقرار گرفته است.

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:

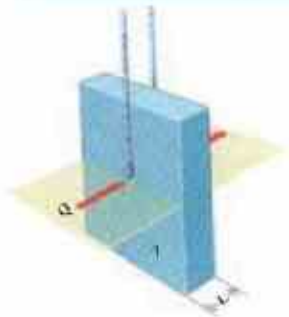
$$H = \frac{Q}{t} = k\frac{A(T_H - T_L)}{L} \qquad (۱۵ - ۴)$$

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

جدول ۴- ۷ رسانندگی گرمایی برخی از مواد

ماده	رسانندگی گرمایی (W/m.K)	ماده	رسانندگی گرمایی (W/m.K)
پشم شیشه	۰/۰۵	یخ	۲
چوب پنبه	۰/۰۴	سرب	۳۵
هوای خشک	۰/۰۲۴	آهن	۸۰
انواع چوب	۰/۱ تا ۰/۴	آلومینیم	۲۳۵
آب	۰/۶	نقره	۴۲۰
آجر	۰/۶ تا ۰/۸	مس	۴۰۰
انواع شیشه	۰/۶ تا ۱		

اگر چه رابطه ۴- ۱۵ برای میله بیان شده است، ولی برای تیغه یا بره‌ای با مساحت مقطع A و ضخامت L نیز برقرار است (شکل ۴- ۲۳). از لحاظ تجربی برای اندازه‌گیری رسانندگی گرمایی مواد برای اجسام فلزی از میله و برای اجسام نافلزی از تیغه یا بره استفاده می‌کنند.



شکل ۴-۲۳ تیغه‌ای به طول L و مقطع A بین دو منبع با دماهای T_L و T_Hقرار گرفته است.

پرسش ۴-۶: برخی آشپزها برای آنکه سیب‌زمینی زودتر آب‌پز شود ابتدا چند سیخ کوچک فلزی درون سیب‌زمینی فرو می‌کنند و بعد آن را درآب انداخته و روی اجاق قرار می‌دهند.علت این کار آشپزها چیست؟

مثال ۴- ۱۷ :طول و عرض شیشهٔ پنجرهٔ اتاقی ۲/۰ m و ۱/۵ m و ضخامت آن ۵/۰ mm است، در یک روز زمستانی دمای وجهی از شیشه که در تماس با هوای بیرون است. ۳/۰ °C- و دمای وجهی از شیشه که در تماس با هوای درون اتاق است، ۲/۰ °C+ است. آهنگ رسانش گرمایی از طریق شیشه چقدر است؟(k=1 W/m.K)

پاسخ: با استفاده از رابطهٔ ۴-۱۵ داریم: $H = k\frac{A(T_H - T_L)}{L}$

آنگاه با قرار دادن $k=1W/m.K$، $A=(1.5m)\times(2.0m)=3.0m^2$، $\Delta T=5.0°C$ و $L=0.005m$ در رابطهٔ بالا خواهیم داشت:

$$H = (1W/m.K) \times \frac{(3.0m^2)(5.0°C)}{0.0050m} = 3 \times 10^3 W$$

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

مثال ۴-۱۸ : برای جلوگیری از اتلاف گرما در شیشهٔ پنجره‌های معمولی، آنها را با شیشه‌های دوجداره با لایهٔ میانی هوا جایگزین می‌کنند. طول و عرض شیشهٔ دوجدارهٔ پنجرهٔ اتاقی به ترتیب ۲/۰m و ۱/۵m، ضخامت هر یک از دو لایهٔ شیشه‌ای آن ۵mm و ضخامت لایهٔ میانی هوا ۱۲mm

است. در یک روز زمستانی، دمای وجهی از شیشه که در تماس با هوای سرد بیرون اتاق است ۳/۰ °C- و دمای وجهی از شیشه که در تماس با هوای گرم درون اتاق است ۲/۰ °C+ است. آهنگ رسانش گرمایی را در این حالت با عدد به دست‌آمده در مثال قبل مقایسه کنید. فرض کنید می‌توان مجموعه شیشهٔ دوجداره وهوای بین آن را مانند تیغه یا بره‌ای با همان مساحت و ضخامت لایهٔ هوا در نظر گرفت که رسانندگی گرمایی مؤثر آن تقریباً برابر با رسانندگی گرمایی هوا است.

پاسخ: با استفاده از رابطهٔ ۴-۱۵ داریم: $H = kA\frac{(T_H - T_L)}{L}$

آنگاه با قرار دادن مقادیر داده شده خواهیم داشت:

$$H = (0.024W/m.k) \times \frac{(3.0m^2)(5.0C^\circ)}{0.012m} = 30W$$

توجه کنید که در این محاسبه از رسانندگی گرمایی هوا، $k = 0.024\,W/m.K$ استفاده شد.

همان‌طور که می‌بینید عدد به دست آمده، تفاوت زیادی با عدد به دست آمده در مثال قبل دارد (۱۰۰ بار کوچکتر است) که این اهمیت استفاده از شیشه‌های دوجداره برای جلوگیری از اتلاف گرما را نشان می‌دهد.

تمرین۴-۱۰ : مساحت استخری با کف تخت، ۸۲۰ مترمربع و عمق آن ۲/۰متر است.در یک روز گرم دمای سطح آب $25\ ^{\circ}C$ و دمای کف آب $12\ ^{\circ}C$ است.آهنگ رسانش گرمائی از سطح استخر به کف آن چقدر است؟

فعالیت ۴-۱۹: موهای خرس قطبی توخالی هستند. تحقیق کنید این موضوع چه نقشی در گرم نگه‌داشتن بدن آنها در سرمای قطب دارد؟

همرفت: وقتی ظرف بزرگی از آب را روی اجاق می‌گذاریم چگونه همهٔ 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 کتاب‌های علوم 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 زیر نمایش داد.

هدف آزمایش:مشاهده پدیده همرفت

آزمایش ۴-۵

وسیله‌های آزمایش : لولهٔ همرفت، گیره و پایه، آب سرد، دانه‌های پرمنگنات پتاسیم یا جوهر، شعلهٔ گاز

شرح آزمایش :

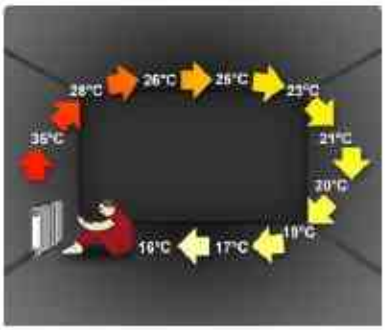
۱ــ لوله را از آب سرد پرکنید و به آرامی چند دانهٔ پرمنگنات پتاسیم (یا چند قطره جوهر) را از دهانهٔ ظرف به داخل آن بریزید.

۲ــ یکی از شاخه‌های قائم لوله را مطابق شکل روی شعله بگیرید و در همان لحظه شاخهٔ قائم دیگر لوله را با دست لمس کنید.

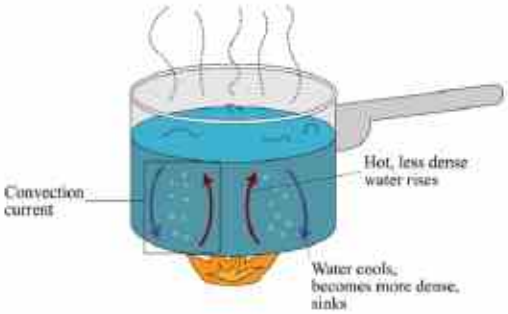
۳ــ دستتان را از شاخهٔ قائم بردارید و در حالی که گرما دادن را ادامه می‌دهید به مایع درون لوله با دقت نگاه کنید. پس از چند دقیقه دوباره همان شاخهٔ قائم لوله را لمس کنید.

۴ــ 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، بر خلاف رسانش گرمایی، انتقال گرما با انتقال بخش‌هایی از خود ماده صورت می‌گیرد و وقتی شاره در تماس با جسمی گرم‌تر از خود قرار گیرد، فاصلهٔ متوسط مولکول‌ها در بخشی از شاره که در تماس با جسم گرم است، افزایش می‌یابد و بدین‌ترتیب حجم آن زیاد می‌شود، در نتیجه چگالی این قسمت از شاره کاهش می‌یابد.چون اکنون چگالی این شارهٔ انبساط‌یافته کم‌تر از شارهٔ سردتر اطراف خود است، نیرو(بنابه اصل ارشمیدس) شناوری موجب بالا رفتن آن می‌شود. آنگاه مقداری از شارهٔ سردتر اطراف آن جایگزین شارهٔ گرم‌تر می‌شود که بالا رفته است و این فرایند به همین ترتیب ادامه می‌یابد. گرم‌شدن هوای داخل اتاق به وسیلهٔ بخاری و رادیاتور شوفاژ (شکل ۴- ۲۴)، گرم‌شدن آب درون قابلمه (شکل ۴- ۲۵)، جریان‌های باد ساحلی (شکل ۴- ۲۶)، انتقال گرما ازمرکز خورشید به سطح آن و ... همگی بر اثر پدیدهٔ همرفت رخ می‌دهند. همهٔ این مثال‌ها نمونه‌هایی از همرفت طبیعی است.



شکل ۴-۲۴ گرم شدن هوای اتاق به روش همرفت



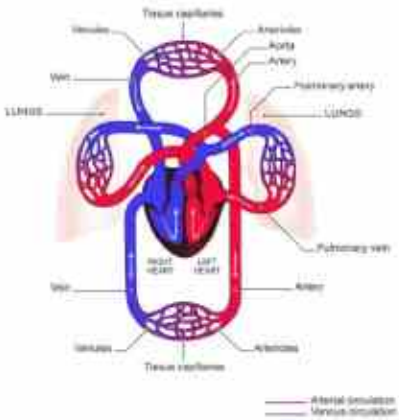
شکل ۴- ۲۵ گرم شدن آب درون قابلمه به روش همرفت

شکل۴-۲۶ 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.

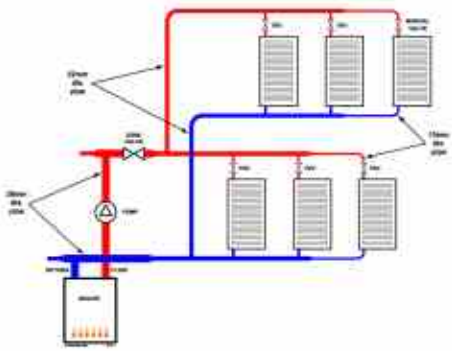
فعالیت ۴- ۲۰: الف) جریان همرفتی در بالای یک شعله سبب رسیدن اکسیژن هوا به شعله و در نتیجه سبب ماندگاری شعله می‌شود.فرض کنید درون محفظه‌ای اکسیژن کافی برای سوختن شمع وجود دارد امادر این محفظه پدیده همرفت رخ نمی‌دهد(مثلا در فضائی دور از کره زمین که نیروی وزن بسیار ناچیز است و بنابر این،نیروی ارشمیدس برای رخ دادن پدیده همرفت تقریبا وجود ندارد).درون محفظه شمعی را روشن می‌کنیم.چه اتفاقی برای شعله شمع رخ می‌دهد؟چرا؟ استفاده از چه سازوکاری را برای روشن ماندن شعله پیشنهاد می‌کنید؟

ب) 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 گرم‌کنندهٔ مرکزی در ساختمان‌ها (شکل ۴- ۲۷)، سیستم خنک‌کنندهٔ موتور اتومبیل، دستگاه گردش خون (شکل ۴- ۲۸) در بدن جانوران خونگرم و ... مثال‌های از انتقال گرما به روش همرفت واداشته هستند.



شکل ۴- ۲۷ طرحی از سیستم گرم کنندهٔ مرکزی در ساختمان‌ها .



شکل ۴- ۲۸ طرحی از دستگاه گردش خون که در آن قلب همچون تلمبه‌ای باعث همرفت واداشتهٔ خون می‌شود.

فعالیت ۴-۲۱: 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 دهانهٔ یک بطری قرمز را با کارت ویزیت گرفته‌اید، دهانهٔ آن را دقیقاً روی دهانهٔ یک بطری آبی قرار دهید و سپس

کارت را بیرون بکشید. همین آزمایش را به طور معکوس نیز انجام دهید. یعنی این‌بار، یک بطری آبی رنگ که دهانهٔ آن با کارت پوشیده شده است را روی دهانهٔ بطری قرمز رنگ قرار دهید و سپس کارت را بیرون بکشید. مشاهدات خود را توضیح دهید. از این آزمایش چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟(تصویر جدید می‌اید).

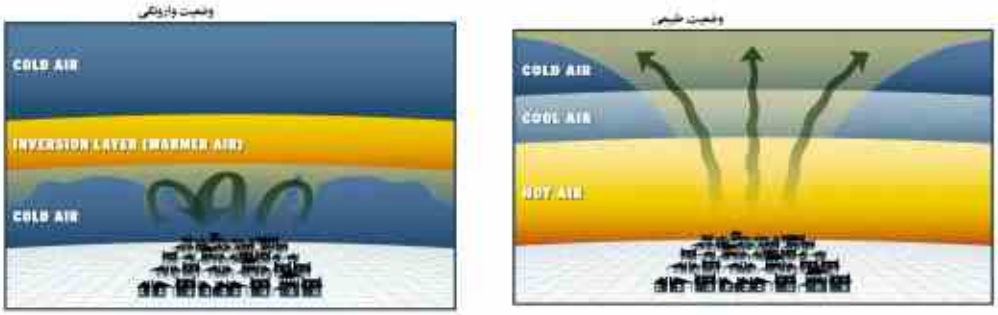
خوب است بدانید-وارونگی هوا[1]: در شرایط عادی توزیع لایه‌های هوای اطراف زمین به این ترتیب است که هوای گرم در اطراف سطح زمین قرار دارد و هوای لایه‌های بالاتر از آن به‌تدریج سرد و سردتر است. بدیهی است که در این حالت شرایطی مثل همرفت طبیعی حاکم است، یعنی هوای گرم‌تر به بالا می‌رود و هوای سردتر و چگال‌تر پایین می‌آید و بدین‌ترتیب چرخش هوایی بر اثر پدیدهٔ همرفت رخ می‌دهد (شکل ۴-۲۹ الف).

وارونگی هوا معمولاً در شب‌های آرام و بدون ابر زمستان شروع می‌شود و در آن همرفت طبیعی در جوّ زمین متوقف می‌گردد. در چنین شب‌هایی، لایهٔ هوای بسیار سردی بین سطح زمین و لایهٔ هوای گرم بالاتر قرار می‌گیرد. این لایهٔ هوای گرم، پیش از این بر اثر پدیدهٔ همرفت در یک روز عادی ایجاد شده است. در واقع سردی زیاد لایهٔ هوای سرد مجاور زمین، باعث می‌شود پدیدهٔ همرفتی بین این لایهٔ بسیار سرد و لایهٔ هوای گرم بالای آن رخ ندهد و بدین‌ترتیب مانع از چرخش هوا بر اثر پدیدهٔ همرفت در سطح زمین می‌گردد. به این پدیده، وارونگی هوا می‌گویند. در این وضعیت گرد و غبار و گازهای آلایندهٔ شهری واقع در لایهٔ هوای سرد مجاور زمین، که عمدتاً ناشی از تردد خودروها و کارخانجات دودزا است، در این لایه حبس می‌شوند (شکل ۴- ۲۹ 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 لایهٔ سرد مجاور زمین، همرفت طبیعی دوباره در جوّ زمین از سر گرفته شود. با توجه به این که در این پدیده، الگوی تغییرات دما در لایه‌های هوای اطراف زمین در یک روز طبیعی بر هم می‌خورد، به این پدیده وارونگی دما[2] نیز گفته می‌شود.

---

[1]. Air Inversion

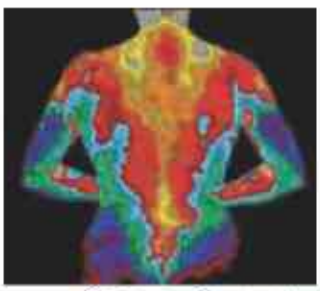
[2]. Temperature Inversion



شکل ۴- ۲۹ الگوی تغییرات دما در لایه‌های هوای اطراف زمین در: الف)شرایط عادی و ب) شرایطی که وارونگی هوا رخ می‌دهد.

تابش گرمایی: همهٔ ما تجربهٔ گرم‌شدن در آفتاب را داریم. با نزدیک‌کردن دستمان به اجسام گرمی مانند رادیاتور گرم شوفاژ یا زیرِ لامپ رشته‌ای روشن نیز تجربهٔ مشابهی خواهیم داشت. آیا با نزدیک‌کردن دست‌تان به زیرِ لامپ رشته‌ای، گرما با روش رسانش یا همرفت به دست‌تان می‌رسد؟ (تصویر مناسب از دست زیر لامپ)

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 فرو سرخ، نور مرئی، تابش فرابنفش، پرتوهای X و پرتوهای γ است، که هر کدام از آنها منبع‌های تولیدکنندهٔ مربوط به خود را دارد. ما در این بخش به تابش الکترومغناطیسی گسیل‌شده از مواد بر اثر دمای آنها سروکار داریم. در واقع هر جسم در هر دمایی تابش الکترومغناطیسی گسیل می‌کند و به همین دلیل به این نوع تابش، تابش گرمایی می‌گویند. نشان داده می‌شود که تابش گرمایی در دماهای زیر حدود ۵۰۰°C عمدتاً به صورت تابش فروسرخ است که نامرئی است. برای آشکارسازی تابش‌های فروسرخ از ابزاری موسوم به دمانگار[1] استفاده می‌کنیم و به تصویر به‌دست آمده از آن دمانگاشت[2] می‌گوییم. شکل ۴- ۳۰ تصویر دمانگاشتی از بدن یک شخص را نشان می‌دهد.



شکل ۴- ۳۰ تصویری دمانگاشت از بدن یک فرد معمولی. سطح بدن یک فرد معمولی در محیطی با دمای ۲۳°C به دلیل تابش گرمایی با آهنگی در حدود ۱۰W گرما از دست می‌دهد در حالی که در همین شرایط به دلیل همرفت و رسانش در مجموع با آهنگی در حدود ۱۰۰W گرما از دست می‌دهد.

1. Thermograph
2. Thermogram

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 صیقلی‌بودن و رنگ سطح آن جسم بستگی دارد (شکل ۴- ۳۱). سطوح صاف و درخشان با رنگ‌های روشن تابش گرمایی کمتری دارند، در حالی که تابش گرمایی سطوح تیره، ناصاف و مات بیشتر است.

شکل ۴- ۳۱ درون مکعب لسلی، آب داغ می‌ریزند. تابش گرمایی از چهار وجه مکعب، که رنگ‌های متفاوتی دارند،با هم فرق دارد.

تابش گرمائی در پدیده های زیستی نیز کاربردهای فراوانی دارد که در این‌جا به دو نمونه از آن‌ها اشاره می‌شود.

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

شکل٤-- این ها اندام‌های حفره‌ای هستند که گرما را آشکار می‌کنند.

ب) کلم اسکانک[1]: کلم اسکانک 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.

شکل٤-- کلم اسکانک برف اطراف خود را آب کرده است.

فعالیت ۴- ۲۲ : رادیومتر وسیله‌ای است که از یک حباب شیشه‌ای که درون آن چهارپرهٔ فلزی قائم که به یک توپی فلزی متصل شده‌اند و می‌توانند حول یک محور(سوزن عمودی)بچرخند تشکیل شده است. دو وجهِ هر چهارپره، یک در میان سفید و سیاه است. وقتی این وسیله کنار

[1] Skunk Cabage-

یک چشمهٔ 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.

از تابش گرمایی می‌توان به عنوان مبنایی برای اندازه‌گیری دمای اجسام استفاده کرد. به روش‌های اندازه‌گیری دما مبتنی بر تابش گرمایی تف‌سنجی[1] و به ابزارهای اندازه‌گیری دما به این روش، تف‌سنج[2] می‌گویند. تف‌سنج بر خلاف سایر دماسنج‌ها بدون تماس با جسمی که می‌خواهیم دمای آن را اندازه بگیریم، دمای جسم را اندازه می‌گیرند. تف‌سنجی، به‌خصوص در اندازه‌گیری دماهای بالای ۱۱۰۰ °C اهمیت ویژه‌ای دارد. تف‌سنجی تابشی و تف‌سنجی نوری ، تف‌سنج‌هایی برای اندازه‌گیری این دماها هستند و تف‌سنجی نوری به عنوان دماسنج معیار برای اندازه‌گیری این دماها انتخاب شده است.

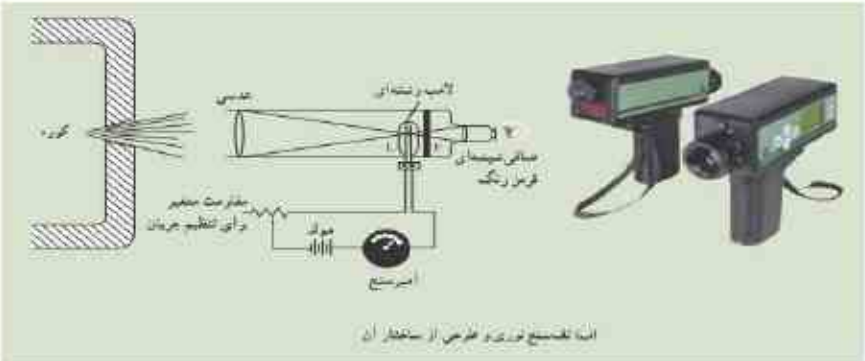
خوب است بدانید :تف‌سنج‌های برای اندازه‌گیری دماهای بالا

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.

ب) تف‌سنج نوری: این تف‌سنج وسیله‌ای است که برای اندازه گیری دمای اجسام خیلی داغ با دمای بیش از ۱۲۰۰K (مانند کوره‌ها) به کار می‌رود. اساس کار این تف‌سنج، مقایسهٔ رنگ و شدت نور تابیده از کوره، با رنگ و شدت نور یک لامپ رشته‌ای است. این تف‌سنج از یک دوربین T، که در لولهٔ آن یک صافی شیشه‌ای قرمزرنگ F و یک لامپ الکتریکی کوچک L قرار دارد تشکیل شده است. نور تابیده‌شده از کوره، توسط عدسی دوربین روی رشتهٔ لامپ متمرکز می‌شود و ناظری که به درون دوربین

1. Pyrometry
2. Pyrometer

نگاه می‌کند رشتهٔ تیرهٔ لامپ را بر زمینهٔ نور کوره می‌بیند. رشتهٔ لامپ به باتری B و رئوستای R متصل شده است. با تغییر دادن مقاومت متغیر R ، جریان رشتهٔ لامپ را به‌تدریج افزایش می‌دهیم تا روشنایی لامپ برابر روشنایی زمینه شود، به طوری که رشتهٔ لامپ محو شود. با اندازه‌گیری این جریان می‌توان دمای جسم داغ را تعیین کرد.



اثر گلخانه‌ای[1]: بخشی از نور خورشید با عبور از جوّ زمین به سطح آن می‌رسدو بخش عمدهٔ این نور جذب زمین می‌شود.زمین گرم می‌شود و با تابش گرمایی از خود امواج فروسرخ گسیل می‌کند. وجود گازهایی مانند کربن‌دی‌اکسید CO_2که مولکول‌های جذب‌کنندهٔ بسیار خوبی برای امواج فروسرخ هستند ، در لایهٔ پوش‌سپهر[2] جوّ زمین ،

شکل ۴- ۳۲ جذب، بازتابش و تابش گرمایی در جو و سطح زمین و اثر گلخانه‌ای

باعث کدرشدن این لایه برای تابش‌های فروسرخ می‌شود. این لایه بیشترِ تابش گرمایی حاصل از زمین را جذب می‌کند. خود این لایه نیز تابش گرمایی می‌کند. بخشی از تابش گرمایی لایهٔ پوش‌سپهر از جو خارج می‌شود، ولی بیشتر آن به زمین باز می‌گردد و به این ترتیب رفت و برگشتی از تابش گرمایی بین این لایه و سطح زمین رخ

[1]. Greenhouse effect

[2] - پوش سپهر یا استراتوسفر، لایه‌ای حدوداً در فاصلهٔ ۱۰ تا ۱۸ کیلومتری سطح زمین است.

می‌دهد. در تشابه با گلخانه‌ها که با ایجاد محیطی محصور مانع از جریان هوا و خروج هوای گرم از گلخانه‌ها می‌شوند، به این به دام‌افتادن تابش گرمایی بین لایهٔ پوش‌سپهر و سطح زمین اثر گلخانه‌ای می‌گویند و به گازهای موجود در لایهٔ پوش‌سپهر که سبب این پدیده می‌شوند گازهای گلخانه‌ای می‌گویند[1]. اگر لایهٔ پوش‌سپهر وجود نداشت، دمای میانگین سطح زمین چیزی در حدود ۱۸°C - می‌شد ولی اینک این دما چیزی در حدود ۱۵°C+ است؛ یعنی اثر گلخانه‌ای حدود ۳۳°C به دمای میانگین سطح زمین افزوده است (شکل ۴- ۳۲).

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

لازم به ذکر است که همواره در حالت تعادل، انرژی تابشی به سطح زمین با مجموع انرژی های بازتابیده از سطح زمین و تابش گرمائی زمین برابر است. همین برابری در خارجی‌ترین سطح جو زمین نیز وجود دارد.

۴-۵ قوانین گازها

روی برخی از اسپری‌ها نوشته شده است "از قرار دادن اسپری در آتش خودداری شود" . با داغ‌کردن 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 نوشابهٔ پلاستیکی و توخالی ،اندکی آب داغ بریزیم و سپس آب را در بطری چرخانده و دور بریزیم ، بطری پس از مدتی مچاله می‌شود. شکل ۴- ۳۳ مخزنی را نشان می‌دهد که به همین دلیل مچاله شده است. همچنین شکل ۴-۳۴ یک اسباب‌بازی ساده را نشان می‌دهد که مخزن کوچک آن تا نیمه از یک مایع رنگی پر شده است.

شکل ۴- ۳۳ سرد شدن هوای درون مخزن باعث کاهش فشار این هوا و در نتیجه مچاله شدن مخزن شده است.

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

وقتی مخزن شیشه‌ای را در دستتان می‌گیرید، فشار هوا و بخار مایع در نیمهٔ خالی مخزن زیاد می‌شود و سطح مایع را به طرف پایین می‌راند. این امر سبب می‌شود مایع در لولهٔ باریکِ مارپیچ بالا رود. هر چه دستتان گرمتر باشد و بهتر مخزن شیشه‌ای را در بر گیرد، مایع در لوله بیشتر بالا می‌رود.

شکل ۴- ۳۴ با در دست گرفتن حباب شیشه‌ای و گرم کردن آن، مایع رنگی در لولهٔ مارپیچ بالا می‌رود.

برای بررسی رفتار گاز می‌توان مقداری گاز را درون یک استوانهٔ مدرج قرار داد و در هر لحظه دما، فشار و حجم آن را اندازه‌گیری کرد. دانشمندانی مانند بویل، ماریوت، شارل، گی لوساک و ... تلاش‌های بسیاری کرده‌اند تا رابطهٔ 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 فراگرفته‌ایم. اما در مورد گازها چه؟ آیا حجم گازها نیز متناسب با دما تغییر می‌کند؟ چون گازها به‌سادگی متراکم می‌شوند باید به فشار گاز نیز فکر کنیم. *ژاک شارل*[1] دانشمند فرانسوی (۱۸۲۳-۱۷۴۶ م.) به طور تجربی دریافت که اگر فشارِ مقدار معینی از یک گاز، ثابت نگه داشته شود حجم آن مستقیماً با افزایش دما (بر حسب کلوین) افزایش و با کاهش دما، کاهش می‌یابد. شکل ۴- ۳۵ الف، نوعی از آزمایش او را و شکل ۴-۳۵ ب، نتیجه‌ای از آن آزمایش را نشان می‌دهد.

نتیجهٔ این آزمایش را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\frac{V}{T} = \text{ثابت} \qquad (۴-۱۶)$$

(فشار و جرم ثابت)

در این رابطه V حجم گاز و T دمای گاز برحسب کلوین است.

شکل۴- ۳۶ الف) اسبابی که برای تحقیق اثر دما برحجم مقدار ثابتی از گاز که در اثر فشار ثابت نگه داشته شده است، استفاده می‌شود.ب) نمودار V برحسب T برای یک گاز وقتی فشار و مقدار گاز ثابت باشد.

[1]. Jacques Charles

فعالیت ۴-۲۳ : سرِ سرنگی شیشه‌ای که پیستون آن آزادانه حرکت می‌کند را بسته و آن را به طور افقی درون ظرف آبی می‌گذاریم و پس از مدتی ظرف را گرم می‌کنیم. توضیح دهید کدام‌یک از کمیت‌های دما، حجم، فشار و مقدار هوای درون سرنگ تغییر می‌کند و تغییر آنها چگونه است؟ (شکل می‌آید)

مثال ۴- ۱۹: در آزمایشی، دمای مقدار معینی گاز اکسیژن را در فشار ثابت از ۲۷ °C به ۸۷ °C می‌رسانیم. اگر حجم گاز ابتدا ۲/۰ لیتر باشد، حجم آن را در پایان آزمایش حساب کنید.

پاسخ: در این آزمایش، جرم و فشار گاز ثابت مانده است. پس بنا به رابطهٔ ۴- ۱۶ داریم:

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

با استفاده از داده‌های مثال، می‌دانیم:

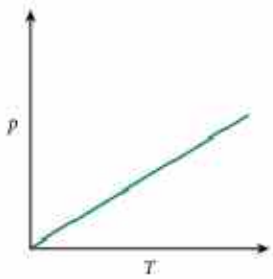
$T_1 = (27 + 273)K = 300K$ ، $V_1 = 2.0\ Liter$

$T_2 = (87 + 273)K = 360K$ ، $V_2 = ?$

بنابراین $\frac{2.0}{300} = \frac{V_2}{360}$،

و در نتیجه V_2=2.4 liter می‌شود.

بررسی گاز در حجم ثابت : شیمیدان فرانسوی *ژوزف لوئیس گی لوساک*[1] (۱۸۵۰-۱۷۷۸ م.) در سال ۱۸۰۲ 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- ۳۷).



شکل ۴- ۳۷ رابطهٔ بین فشار و دما (شکل مربوط به آزمایش از IB275-)

شکل۴-۳۸- آزمایش‌ساده برای اندازه گیری فشار گاز در دماهای مختلف (در حجم ثابت)

$$\frac{P}{T} = \text{ثابت} \qquad (۱۷-۴)$$

(حجم و جرم ثابت)

[1] Joseph Louis Gay-Lussac-

مثال ۴- ۲۰: 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 ۱۵°C است. پس از چند ساعت رانندگی او توقف می‌کند و فشار لاستیک را دوباره اندازه می‌گیرد. اینک فشار ۲۴۱ kPa شده است. اکنون دمای هوای داخل لاستیک چقدر است؟ فرض کنید فشار هوای محیط برابر با 1 atm =101 kPa 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 ازرابطه ۴-۱۷ باید فشار هوای محیط را به فشارهای پیمانه‌ای اضافه کنیم. پس داریم:

P_1=214 kPa + 101 kPa=315 kPa

P_2=241 kPa + 101 kPa=342 kPa

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

T_1=(15 + 273)K=288 K

اکنون با قرار دادن این مقادیر در رابطه ۴-۱۷ خواهیم داشت:

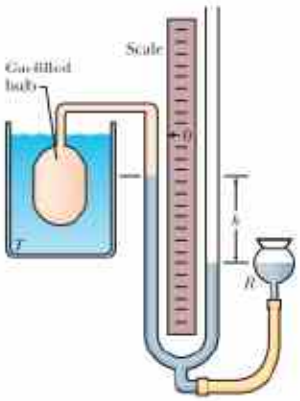
$$\frac{P_2}{T_2}=\frac{P_1}{T_1}\ ,\quad T_2=\left(\frac{342\ \text{kPa}}{315\ \text{kPa}}\right)(288\ \text{kPa})=313\ \text{K}=(313-273)\ ^\circ\text{C}=40\ ^\circ\text{C}$$

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 الف، این دماسنج شامل یک حباب پرشده 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 شاخهٔ سمت چپ لولهٔ U شکل، در مقابل صفرِ خط‌کش نگه داشت تا حجم گاز ثابت باقی 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 نقطهٔ سه‌گانهٔ آب[1] را به عنوان

[1]. Triple point of water



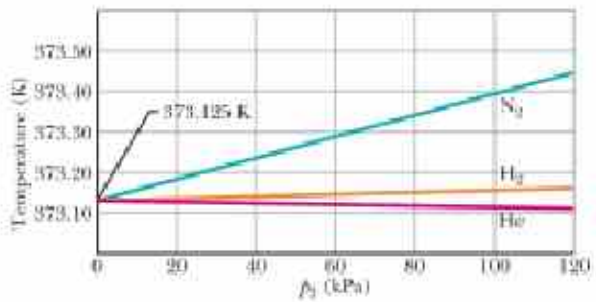
(الف)

مرجع اندازه‌گیری دما انتخاب کرده‌اند. نقطهٔ سه‌گانهٔ آب، نقطه‌ای است که در آن سه فاز آب (آب مایع، یخ و بخار آب) در تعادل‌اند. به این نقطه دمای ۲۷۳/۱۶K را اختصاص داده‌اند.[1] 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 نقطهٔ سه‌گانهٔ آب به ترتیب مقادیر T_{tr} و P_{tr} را اختصاص می‌دهند.

با توجه به اینکه رابطهٔ فشار و دما خطی است، بدیهی است که رابطهٔ زیر برقرار می‌شود:

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

یعنی با دانستن فشار گاز در دمای مورد نظر و در نقطهٔ سه گانهٔ آب، به‌راحتی می‌توان دمای مورد نظر را محاسبه کرد. اگر از 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. این همگرایی برای سه گاز در شکل ب، برای اندازه‌گیری دمای نقطهٔ جوش آب نشان داده شده است.



(ب)

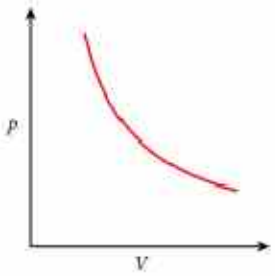
بررسی گاز در دمای ثابت: سومین قانون تجربی گازها، توسط دانشمند انگلیسی *رابرت بویل*[2] (۱۶۲۷- ۱۶۹۱ م.) در سال ۱۶۶۲ میلادی ارائه شد و دانشمند فرانسوی *امه ماریوت*[3] (۱۶۲۰ تا ۱۶۸۴ م.) در سال ۱۶۷۶ میلادی به نتیجهٔ مشابهی رسید.

[1]. دقت کنید که این دما همان دمای صفر درجهٔ سلسیوس نیست و اندکی با آن متفاوت است.

[2]. Robert Boyle

[3]. Edme Mariotte

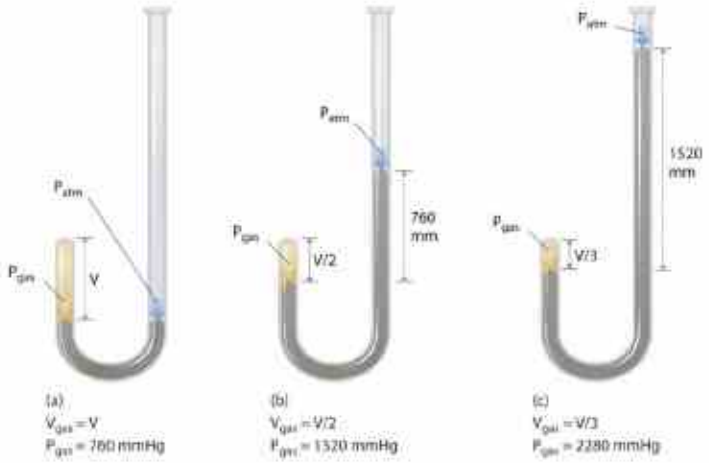
در واقع آنها دریافتند که اگر دمای مقدار معینی از یک گاز ثابت نگه داشته شود، فشار آن با حجمش رابطهٔ وارون دارد (شکل۴- ۳۸). به عبارتی حاصل‌ضرب فشار و حجم گاز مقداری ثابت است.



کل ۴- ۳۸ رابطهٔ بین فشار و حجم گاز بنابر قانون بویل

$$PV = \text{ثابت} \qquad (\text{دما و جرم ثابت}) \qquad (۱۸-۴)$$

شکل ۴- ۳۹ نوعی از آزمایش بویل را نشان می‌دهد.



شکل ۴- ۳۹ الف) در ابتدا گاز در فشار ۱ atm =۷۶۰mmHg است توجه کنید که ارتفاع جیوه در هر دو شاخه یکسان است و دهانهٔ شاخهٔ سمت راست باز است. حجم گاز محبوس V است. **ب)** اگر جیوه به شاخهٔ سمت راست افزوده شود به طوری که اختلاف ارتفاع دو سطح جیوه ۷۶۰mm گردد، فشار گاز برابر فشار جو (۷۶۰mmHg) به علاوهٔ ۷۶۰mmHg یعنی برابر ۱۵۲۰mmHg و حجم گاز محبوس $\frac{V}{2}$ می‌شود. **پ)** اگر باز هم به شاخهٔ سمت راست جیوه افزوده شود به طوری که اختلاف ارتفاع دو سطح جیوه ۱۵۲۰mm گردد فشار کل وارد به گاز به ۲۲۸۰mmHg می‌رسد و حجم گاز محبوس به $\frac{V}{3}$ کاهش می‌یابد.

مثال۴-۲۱: دلفینی حباب هوایی را در زیر دریاچه‌ای تفریحی ایجاد می کند. 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 ۱۰۱ kPa است. فرض کنید دمای آب دریاچه در همه‌جا 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 رابطه۴-۱۸ برای هوای درون حباب استفاده می‌کنیم:

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

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:

$$P_1 = P_0 + \rho gh \ , \ P_2 = P_0 \ , \ V_2 = 2V_1$$

با قرار دادن این روابط در رابطه ۴-۱۸ خواهیم داشت:

$$(P_0 + \rho gh)V_1 = P_0(2V_1)$$

و از آنجا

$$h = \frac{P_0}{\rho g} = \frac{101 \times 10^3\,Pa}{(1000\,kg/m^3)(9.80\,N/kg)} = 10.3\,m$$

بنابراین، دلفین در عمق $10/3\,m$ از سطح دریاچه، حباب را ایجاد کرده است.

فعالیت۴- ۲۳ : 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 دِسر 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[1] (۱۷۷۶ تا ۱۸۵۶ م.) دانشمند ایتالیایی در سال ۱۸۱۱ میلادی بیان کرد که در دما و فشار یکسان، نسبت حجم گاز به تعداد مولکول آن N ثابت است:

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

[1]. Amedeo Avogadro

همان‌طور که در بخش ۴-۳ دیدیم در یک مول از گاز به تعداد $۶/۰۲\times۱۰^{۲۳}$ (عدد آووگادرو) مولکول وجود دارد. بنابراین، $N=nN_A$ که در آن n تعداد مول و N_A همان عدد آووگادرو است. پس نتیجه می‌گیریم که رابطهٔ بالا را می‌توانیم به صورت زیر بنویسیم:

$$\frac{V}{n} = \text{ثابت} \qquad \text{(دما و فشار یکسان)} \qquad (۱۹-۴)$$

قانون گازهای آرمانی (کامل): همهٔ روابطی که برای گازها بیان کردیم در مورد گازهایی که به اندازهٔ کافی رقیق باشند و 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 بر هم تأثیر چندانی نمی‌گذارند، گاز آرمانی 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 برابراست با:

$$R=8.314\ J/mol.K$$

بنابراین قانون گازهای کامل را می‌توان چنین نوشت:

$$PV=nRT \qquad (۲۰-۴)$$

که در آن P برحسب پاسکال (Pa)، V برحسب مترمکعب (m^3)، n برحسب مول (mol) و T برحسب کلوین (K) است.شکل ۴- ۴۰ -الف طرحی از یک دستگاه تحقیق قانون گازهای کامل و شکل ۴- ۴۰ -ب تصویری واقعی از این دستگاه را نشان می‌دهد.

(ب)

(الف)

شکل ۴- ۴۰- الف) طرحی از یک دستگاه تحقیق قانون گازهای کامل و **ب)** تصویری واقعی از آن

مثال۴ – ۲۲ : الف) تعداد مولکول‌های هوایی که در اتاقی به ابعاد ۴/۰۰ m، ۶/۰۰m، ۳/۰۰m در فشار ۱/۰۰atm و دمای ۲۰ °C وجود دارد تقریباً چقدر است؟ ب) جرم تقریبی هوای درون اتاق چقدر است؟ جرم مولی هوا ۰/۰۲۹kg/mol است.

پاسخ: توجه کنید که هوا گاز کامل نیست؛ بنابراین، استفاده از قانون گازهای کامل فقط نتایجی تقریبی را به دست می‌دهد و از این‌رو، در صورت مسئله مقادیر تقریبی خواسته شده است.

الف) از قانون گازهای کامل (رابطهٔ ۴- ۲۰) استفاده می‌کنیم. به این منظور باید مقادیر فشار مطلق هوا برحسب پاسکال، دما برحسب کلوین و حجم برحسب مترمکعب را جای‌گذاری کنیم.

$$P=1.00\ atm=(1.00\times1.01\times10^5)Pa=1.01\times10^5\ Pa$$

$$V=(4.00m)(6.00m)(3.00m)=72.0m^3$$

$$T=(273+20)K=293K$$

در نتیجه برای n داریم:

$$n=\frac{PV}{RT}=\frac{(1.01\times10^5\,Pa)(72.0m^3)}{(8.314\,J/mol.K)(293K)}=2.99\times10^3\,mol$$

اکنون با استفاده از رابطهٔ $N=nN_A$ تعداد مولکول‌های هوای داخل اتاق را محاسبه می‌کنیم:

$$N=nN_A=(2.99\times10^{3}\ \text{mol})(6.02\times10^{23}\ \text{molecules/mol})=1.80\times10^{27}\ \text{molecules}$$

ب) با استفاده از رابطهٔ ۴-۸ ($n=m/M$) جرم هوای درون اتاق را محاسبه می کنیم:

$$m=nM=(2.99\times10^{3}\ \text{mol})(0.029\ \text{kg/mol})=۸۶/۸\ \text{kg}$$

مثال ۴-۲۳:

درون استوانه‌ای ۱۲ لیتر گاز اکسیژن با دمای $7^{\circ}C$ وجود دارد. فشار گاز درون استوانه را با فشارسنجی اندازه می‌گیریم. فشارسنج ۱۴atm را نشان می‌دهد. دمای گاز را به $77^{\circ}C$ و حجم آن را به ۲۵ لیتر می‌رسانیم. فشاری که فشارسنج در پایان نشان می‌دهد، چند اتمسفر است؟ فشار هوای بیرون استوانه ۱atm است و فرض کنید گاز درون محفظه، گاز کامل است.

پاسخ : می‌دانیم فشارسنج، فشار پیمانه‌ای (سنجه‌ای) را نشان می‌دهد و در قانون گازهای کامل باید از فشار مطلق استفاده کنیم. بنابراین :

$$\begin{cases} P_1 = P_{g_1} + P_{\circ} = ۱۴ + ۱ = ۱۵\,\text{atm} \\ V_1 = ۱۲\,\text{liter} \\ T_1 = \theta_1 + ۲۷۳ = ۷ + ۲۷۳ = ۲۸۰\,\text{K} \end{cases} \qquad \begin{cases} P_2 = ? \\ V_2 = ۲۵\,\text{liter} \\ T_2 = \theta_2 + ۲۷۳ = ۷۷ + ۲۷۳ = ۳۵۰\,\text{K} \end{cases}$$

با توجه به قانون گازهای کامل داریم :

$$\frac{P_1V_1}{T_1}=\frac{P_2V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{۱۵\times۱۲}{۲۸۰}=\frac{P_2\times۲۵}{۳۵۰} \Rightarrow P_2 = ۹\,\text{atm}$$

بنابراین فشاری که اکنون فشارسنج نشان می‌دهد برابر است با $P_{g_2} = P_2 - P_{\circ} = ۹ - ۱ = ۸\,\text{atm}$