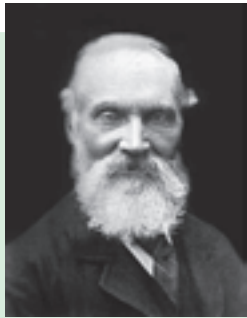




گرما و قانون گازها

کویر لوت با دمای بیشینه‌ای در
مدود 70°C در روزهای آفتابی
یکی از گرم‌ترین نقاط جهان است.





ویلیام تامسون کلون^۱

ریاضیدان، فیزیکدان و مهندس بریتانیایی در ۲۸ ژوئن ۱۸۲۴ م. (۱۲۰۳ ه.ش) در شهر بلفاست ایرلند به دنیا آمد. او تحصیلات دانشگاهی خود را در دانشگاه گلاسکو به انجام رسانید و در این دوران، غیر از اختراعات مختلف، کارهای مهمی در تحلیل ریاضی وار الکتریسته و نیز فرمول بندی قوانین اول و دوم ترمودینامیک انجام داد و نقشی مهم در احیای رشته فیزیک در عصر مدرن ایفا کرد. با این حال، عمده شهرت کلون به خاطر تعیین دقیق صفر مطلق برابر با $273/15^{\circ}\text{C}$ است و این در حالی است که پیش از او سدهای کارنوی فرانسوی در سال ۱۸۲۴، یعنی همان سالی که کلون زاده شد، مقدار $267-$ را برای دمای صفر مطلق پیشنهاد داده بود. با این وصف، یکای دما در SI به افتخار این کار کلون، به اسم او نامگذاری شده است. او همچنین به خاطر دستاوردهای علمی خود از سال ۱۸۹۲ به لُرد کلون ملقب شد و اولین دانشمند بریتانیایی نام گرفت که به مجلس لُردها راه یافت. کلون در ۱۷ دسامبر ۱۹۰۷ م. (۱۲۸۶ ه.ش) در سن ۸۳ سالگی در اسکاتلند دیده از جهان فرو بست.

چرا پارچه خیزی که روی بندی پهن شده است، ساعتی بعد خشک می شود؟ چگونه بادهای ساحلی به وجود می آیند؟ چگونه شیشه های دوجداره مانع از اتلاف گرما می شوند؟ چگونه با اسپری کردن باغ های میوه می توان از یخ زدن آنها در شب های سرد جلوگیری کرد؟ چرا بیشتر پل ها به صورت بخش هایی مجزا ساخته می شوند که فاصله کمی بین آنها وجود دارد؟ پالتوها چگونه ما را از سرما محافظت می کنند؟ چگونه موهای خرس های قطبی می تواند آنها را از سرمای کشنده قطب در امان نگه دارد؟ چگونه قندیل های یخی گسترش می یابند؟

پاسخ این پرسش ها و بسیاری از پرسش های مشابه را می توان با بررسی گرما و اثرهای آن به دست آورد. شما در کتاب فیزیک (۱) و آزمایشگاه با مفهوم های فیزیکی دما و گرما آشنا شدید. در این فصل ضمن یادآوری آن مفهوم ها به بررسی روش گرماسنجی و اندازه گیری گرمای ویژه، تغییر حالت مواد و گرمای ذوب و تبخیر می پردازیم. علاوه بر این، اثر تغییر دما بر طول یا حجم جامدها، مایع ها و گازها را بررسی می کنیم و راه های انتقال گرما را مورد بحث قرار می دهیم و سرانجام قانون گازها را به طور مختصر بررسی می کنیم.

۶-۱ دما، انرژی درونی و گرما

دما از دیدگاه میکروسکوپی به انرژی جنبشی مولکول های ماده بستگی دارد ولی این ارتباط بسیار پیچیده است و از این رو شاید شروع خوبی برای تعریف دما نباشد. در این کتاب، دما را از دیدگاه ماکروسکوپی بررسی می کنیم. از این دیدگاه، دما کمیتی است که میزان سردی و گرمی اجسام را مشخص می کند. به این منظور لازم است یک مقیاس دمایی به وجود آوریم و برای این کار می توان از هر مشخصه قابل اندازه گیری ای بهره بگیریم که با گرمی و سردی جسم تغییر می کند که به آن **کمیت دماسنجی** می گوئیم.

شعاعیت ۱-۴

در فصل ۱ گفتیم برای آنکه تعریف یک کمیت فیزیکی کامل شود، باید **یکای آن** و **نیز روش و ابزار اندازه گیری آن** مشخص شود. دما را به عنوان یک کمیت فیزیکی تعریف کنید، یعنی در مورد ابزار و روش اندازه گیری آن توضیح دهید و یکای آن را مشخص کنید. (برای این کار می توانید از کتاب فیزیک (۱) و آزمایشگاه و یا هر کتاب فیزیک مناسب دیگری استفاده کنید.)

مقیاس های دما: یکای متداول دما درجه سلسیوس است که با نماد $^{\circ}\text{C}$ نمایش داده می شود. دما بر حسب درجه سلسیوس را معمولاً با θ نشان می دهند.

^۱ - William Thomson Baron Kelvin

در SI به جای سلسیوس، یکای دیگری به نام کلون را به کار می‌برند که با نماد K نمایش داده می‌شود. دما بر حسب کلون را معمولاً با T نشان می‌دهند. رابطه میان دما در مقیاس‌های سلسیوس و کلون به صورت زیر است:

$$T = \theta + 273 \quad (1-6)$$

بنا به رابطه ۱-۶، صفر کلون برابر 273°C است^۱. یکای رایج دیگر دما، فارنهایت است که امروزه در صنعت کاربرد فراوانی دارد (شکل ۱-۶).



شکل ۱-۶ — مقایسه یکاهای سلسیوس و فارنهایت

$$\theta = \frac{9}{5}T - 32$$

تمرین ۱-۷

دمای ذوب یخ، 0°C ، دمای جوش آب، 100°C و دمای بدن انسان سالم، 37°C است. هر یک از این دماها برابر چند کلون و چند درجه فارنهایت است؟

مثال ۱-۷

نشان دهید که اختلاف بین دو دما در مقیاس‌های سلسیوس و کلون با هم برابر است.

پاسخ:

$$\begin{aligned} \Delta T &= T_2 - T_1 \\ &= (\theta_2 + 273) - (\theta_1 + 273) \\ &= \theta_2 - \theta_1 \end{aligned}$$

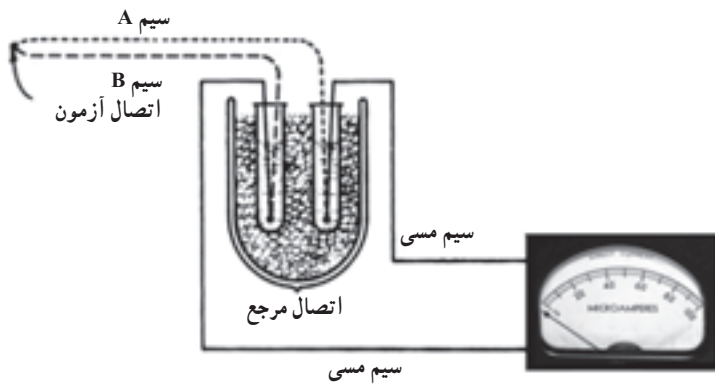
در نتیجه:

$$\Delta T = \Delta \theta$$

دماسنجی: همان طور که پیش‌تر گفتیم برای دماسنجی از هر خاصیت قابل اندازه‌گیری استفاده می‌کنیم که با گرمی و سردی جسم تغییر می‌کند. مثلاً در دماسنج‌های جیوه‌ای یا الکلی که در کتاب فیزیک ۱ و آزمایشگاه مورد بررسی قرار گرفت، کمیت دماسنجی ارتفاع مایع درون لوله دماسنج است. دماسنج ترموکوپل (شکل ۲-۶) نمونه دیگری از دماسنج‌هاست که کمیت دماسنجی در آن جریان الکتریکی است.

مطابق شکل ۲-۶ دو سیم فلزی غیرهمجنس A و B از طرفی در دمای ذوب یخ نگه داشته شده‌اند و از طرف دیگر در مکانی به هم متصل‌اند که می‌خواهیم دمای مجهول آن را به دست آوریم. این مجموعه شامل دو اتصال با سیم‌های مسی رابط است که به یک آمپرسنج یا گالوانومتر بسته می‌شود. با افزایش دمای مورد اندازه‌گیری، شدت جریان در مدار بیشتر می‌شود. اگر آزمایش را چندین بار و برای دماهای

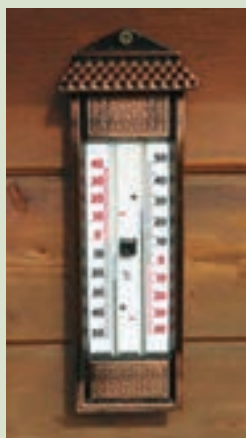
۱- صفر کلون به طور دقیق برابر 273.15°C است ولی برای محاسبه‌های این کتاب همان مقدار تقریبی 273°C مناسب است.



شکل ۶-۲- طرحی از یک دماسنج ترموکوپل

متفاوت تکرار کنیم می توانیم شدت جریان مربوط به هر دمایی را مشخص کنیم. گستره دماسنجی یک ترموکوپل می تواند از صفر تا حدود 1600°C باشد. مزیت ترموکوپل در این است که به خاطر جرم کوچک، خیلی سریع با دستگاهی که دمای آن اندازه گیری می شود به حال تعادل گرمایی می رسد.

دماسنج بیشینه - کمینه: این دماسنج نوع ویژه ای از دماسنج های مایعی است که بیشینه و کمینه دما را در یک مدت زمان معین نشان می دهد. از این دماسنج معمولاً در مراکز پرورش گل و گیاه، باغداری، هواشناسی و ... استفاده می کنند. شکل زیر طرح واره ای از این نوع دماسنج را نشان می دهد. هنگامی که دما بالا می رود، به سبب انبساط الکلی (در لوله سمت چپ شکل)، جیوه در لوله سمت راست به بالا رانده می شود و شاخص فولادی لوله سمت راست را با خود بالا می برد.



شکل ۶-۳- طرح واره ای از یک دماسنج بیشینه - کمینه و شکلی واقعی از یکی از انواع آن

اگر سطح جیوه در لوله سمت راست پایین بیاید، شاخص فولادی، که به آن فنرهای ریزی متصل است، همراه با آن حرکت نمی کند و در همان محل قبلی خود در مقابل دمای بیشینه می ایستد. هنگامی که الکلی به علت کاهش دما منقبض می شود، جیوه از طرف چپ لوله U شکل بالا می رود و شاخص فولادی دیگر را در این طرف لوله بالا می راند. اگر سطح جیوه در لوله سمت چپ پایین بیاید شاخص فولادی سمت چپ نیز که به آن فنرهای ریزی متصل است، همراه با آن حرکت نمی کند و در همان محل قبلی خود در مقابل دمای کمینه می ایستد. با استفاده از آهنربا، این دو شاخص در پایان مدت زمان مورد نظر به سطح جیوه برگردانده می شوند. در طراحی جدید این نوع دماسنج ها به علت سمی بودن جیوه از مایع ترکیبی جدیدی به عنوان جایگزین استفاده می شود.

گرما و تعادل گرمایی: در کتاب فیزیک (۱) و آزمایشگاه دیدیم که گرما مقدار انرژی ای است که به دلیل اختلاف دما، بین دو جسم مبادله می شود. با توجه به قانون پایستگی انرژی، انرژی ای که جسم با دمای بالاتر از دست می دهد، برابر انرژی ای است که جسم با دمای پایین تر می گیرد. این مبادله گرما تا زمانی ادامه می یابد که دمای دو جسم یکسان شود، و از آن پس دیگر گرمایی بین دو جسم مبادله نمی شود. در این حالت می گوئیم دو جسم با هم در **تعادل گرمایی** اند و دمای مشترک آنها را **دمای تعادل** می نامیم. برای مثال اگر یک قطعه فلز داغ را در یک ظرف آب سرد بیندازیم، گرما از قطعه فلز با دمای بالاتر به آب با دمای پایین تر، شارش می کند. این شارش گرما تا زمانی ادامه می یابد که قطعه فلز و آب هم دما شوند و به دمای تعادل برسند.

تغییر دما – گرمای ویژه: در کتاب فیزیک (۱) و آزمایشگاه مقدار گرمای لازم برای ایجاد یک تغییر دمای معین را محاسبه کردیم. دیدیم که برای ایجاد یک تغییر معین در دمای جسم های مختلف به مقدارهای متفاوت گرما نیاز است. گرمای ویژه هر جسم را که با نماد c نمایش داده می شود به صورت زیر تعریف کردیم:

گرمای ویژه هر جسم، مقدار گرمایی است که باید به یک کیلوگرم از آن جسم داده شود تا دمای آن یک درجه سلسیوس (یا یک کلونین) افزایش یابد.

به این ترتیب گرمای Q برای ایجاد تغییر دمای ΔT یا $\Delta\theta$ برای m کیلوگرم از یک جسم برابر است با

$$Q = mc\Delta\theta = mc(\theta_f - \theta_i) = mc(T_f - T_i) \quad (۲-۶)$$

در این رابطه ها Q (گرما) بر حسب ژول، m (جرم) بر حسب کیلوگرم، $\Delta\theta$ (تغییر دما) بر حسب درجه سلسیوس و ΔT بر حسب کلونین است. یکای c با استفاده از رابطه ۲-۶، $J/kg \cdot ^\circ C$ یا $J/kg \cdot K$ است. گرمای ویژه برخی از مواد در جدول ۱-۶ داده شده است.

جدول ۱-۶ – گرمای ویژه بر حسب ژول بر کیلوگرم کلونین

ماده	گرمای ویژه	ماده	گرمای ویژه
سرب	۱۳۰	بتون	۸۰۰
جیوه	۱۴۰	گرانیت	۸۰۰
نقره	۲۴۰	سنگ مرمر	۸۸۰
برنج	۳۸۰	آلومینیم	۹۰۰
مس	۳۹۰	یخ ($^\circ C$)	۲۱۰۰
فولاد ^۱	۴۵۰	اتانول	۲۴۳۰
استیل ضد زنگ	۴۹۰	آب دریا	۳۹۰۰
شیشه	۵۰۰-۸۵۰	آب	۴۲۰۰

۱- آلیاژ آهن با ۲٪ کربن

اگر دمای جسم در اثر مبادله گرما بالا رود $\theta_1 > \theta_2$ و $\theta_1 - \theta_2 = \Delta\theta$ و رابطه ۲-۶ مقدار مثبتی برای Q به دست می دهد ($Q > 0$) در حالی که اگر دمای جسم با مبادله گرما کاهش یابد، $\theta_2 < \theta_1$ و $\theta_2 - \theta_1 = \Delta\theta$ ، و مقداری که برای Q به دست می آید منفی خواهد بود ($Q < 0$). پس می توان گفت که علامت Q در رابطه ۲-۶ مشخص می کند که جسم گرما گرفته است ($Q > 0$) یا گرما داده است ($Q < 0$). از این پس در این کتاب همواره گرما برای جسمی که گرما را می گیرد مثبت و برای جسمی که گرما را از دست می دهد منفی در نظر گرفته می شود.

مثال ۲-۷

یک قطعه 100°C گرمی از مس را که دمای آن 90°C است در یک ظرف آب سرد می اندازیم، دمای تعادل به 24°C می رسد. گرمای Q را برای مس حساب کنید.

پاسخ: $\theta_2 = 24^\circ\text{C}$ ، $\theta_1 = 90^\circ\text{C}$ ، $m = 100\text{g} = 0.1\text{kg}$ و گرمای ویژه مس با استفاده از جدول ۱-۶ برابر با $c = 390\text{J/kg}\cdot^\circ\text{C}$ است.

از رابطه ۲-۶ برای مس، به دست می آوریم:

$$Q = mc\Delta\theta = 0.1 \times 390 \times (24 - 90) \\ = 39 \times (-66) = -2574\text{J} \approx -2.6\text{kJ}$$

علامت منفی که در محاسبه Q به دست آمده، نشان می دهد که مس گرما از دست داده است.

مثال ۳-۷

فرستنده ها و گیرنده های الکترونیکی درون ماهواره ها نیز مانند فرستنده ها و گیرنده های زمینی دارای یک بازده مشخص هستند و تنها بخشی از انرژی دریافتی را به انرژی مورد نظر تبدیل می کنند. فرض کنید انرژی ای که چنین دستگاهی از سلول های خورشیدی متصل به ماهواره در هر ثانیه دریافت می کند 10J و انرژی ای که فرستنده امواج به سمت زمین گسیل می کنند 3J باشد. همچنین فرض کنید جنس این دستگاه از سیلیکون با گرمای ویژه $700\text{J/kg}\cdot^\circ\text{C}$ و جرم آن $5/^\circ\text{C}$ کیلوگرم است. در مدت 100 ثانیه:

(الف) دستگاه چقدر انرژی دریافت و چقدر انرژی گسیل کرده است؟

(ب) با توجه به پایداری انرژی، افزایش انرژی درونی دستگاه چقدر است؟

(پ) افزایش انرژی درونی، معادل گرمایی است که سبب افزایش دمای دستگاه می شود. افزایش دمای دستگاه چقدر است؟

پاسخ:

(الف) اگر انرژی را با E و توان را با P نشان دهیم، $E = Pt$ است و در نتیجه،

$$E_{\text{دریافت}} = P_{\text{دریافت}} t = 10 \times 100 = 1000\text{J}$$

$$E_{\text{گسیل}} = P_{\text{گسیل}} t = 3 \times 100 = 300\text{J}$$

(ب) اگر تغییر انرژی درونی دستگاه را با ΔU نمایش دهیم، با استفاده از قانون پایداری انرژی داریم:

$$\Delta U = E_{\text{دریافت}} - E_{\text{گسیل}} = 1000 - 300 = 700\text{J}$$

(پ)

$$\Delta U = Q = mc\Delta\theta$$

$$700 = 0.5 \times 700 \times \Delta\theta \Rightarrow \Delta\theta = 2^\circ\text{C}$$

این افزایش دما دائمی نیست و پس از مدتی دمای دستگاه ثابت می ماند. پس از آنکه دمای دستگاه به مقدار معینی رسید، سازوکارهایی وجود دارد که مانع از افزایش بیشتر دمای دستگاه می شود.

دمای تعادل: اگر دو یا چند جسم با دماهای مختلف در تماس با یکدیگر قرار گیرند و پس از مدتی همدم شوند، دمای تعادل را می توان با استفاده از قانون پایستگی انرژی محاسبه کرد. در این حالت بعضی از اجسام گرما از دست می دهند؛ برای این اجسام $Q < 0$ است. بقیه اجسام گرما می گیرند؛ برای این اجسام $Q > 0$ است. بنا به قانون پایستگی انرژی همان قدر که اجسام گرم انرژی از دست می دهند، اجسام سرد انرژی می گیرند. یعنی حاصل جمع این Q ها صفر است:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots = 0 \quad (3-6)$$

مثال ۷-۴

یک قطعه 14°C گرمی آلومینیم را که دمای آن 8°C است در ظرف عایقی که حاوی 25°g آب در دمای 22°C است می اندازیم، دمای تعادل را محاسبه کنید. از تبادل گرما بین ظرف و آب چشم پوشی کنید.

پاسخ: در این مثال دو جسم داریم که تغییر دما داده اند، برای سادگی مشخصه های آنها را با زیرنویس های ۱ و ۲ نشان

می دهیم، یعنی:

$$m_1 = 14^\circ\text{g} = 0.014\text{kg} = \text{جرم آلومینیم}$$

$$\theta_1 = 8^\circ\text{C} = \text{دمای اولیه آلومینیم}$$

و از جدول ۱-۶

$$c_1 = 900\text{J/kg}\cdot^\circ\text{C} = \text{گرمای ویژه آلومینیم}$$

و همین طور برای آب داریم:

$$m_2 = 25^\circ\text{g} = 0.025\text{kg} = \text{جرم آب}$$

$$\theta_2 = 22^\circ\text{C} = \text{دمای اولیه آب}$$

و از جدول ۱-۶

$$c_2 = 4200\text{J/kg}\cdot^\circ\text{C} = \text{گرمای ویژه آب}$$

دمای تعادل که دمای نهایی مشترک آب و آلومینیم است را با θ نمایش می دهیم. آنگاه بنا به رابطه ۳-۶ داریم:

$$Q_1 + Q_2 = 0$$

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

$$0.014 \times 900 \times (\theta - 8) + 0.025 \times 4200 \times (\theta - 22) = 0$$

در نتیجه:

$$\theta = 28^\circ\text{C}$$

هرگاه چند جسم متفاوت با گرماهای ویژه $c_1, c_2, c_3, \dots$ به جرم‌های $m_1, m_2, m_3, \dots$ و ... با دماهای اولیه $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots$ را در تماس با یکدیگر قرار دهیم با استفاده از رابطه ۳-۶ معادله‌ای به دست می‌آوریم که می‌توان دمای تعادل را از آن محاسبه کرد:

$$m_1 c_1 (\theta - \theta_1) + m_2 c_2 (\theta - \theta_2) + m_3 c_3 (\theta - \theta_3) + \dots = 0 \quad (4-6)$$

از معادله ۴-۶ می‌توانیم برای یافتن کمیت‌های دیگری مانند گرمای ویژه یک جسم نیز استفاده کنیم.

مثال ۷-۵

در ظرف عایقی حاوی 50°C آب 2°C ، یک قطعه مس 100°C گرمی به دمای 5°C و یک قطعه فلز دیگر به جرم 15°g و به دمای 6°C و گرمای ویژه نامعلوم می‌اندازیم و دمای تعادل را اندازه می‌گیریم. دمای تعادل 22°C شده است. با چشم‌پوشی از تبادل گرما بین ظرف و سایر اجسام، گرمای ویژه فلز را محاسبه کنید.

پاسخ: با استفاده از داده‌های این مثال و جدول ۱-۶ داریم:

$$\text{آب: } m_1 = 50^\circ\text{g} = 0.05\text{kg}, \theta_1 = 2^\circ\text{C}, c_1 = 4200\text{J/kg}\cdot^\circ\text{C}$$

$$\text{مس: } m_2 = 100^\circ\text{g} = 0.1\text{kg}, \theta_2 = 5^\circ\text{C}, c_2 = 390\text{J/kg}\cdot^\circ\text{C}$$

$$\text{فلز: } m_3 = 15^\circ\text{g} = 0.015\text{kg}, \theta_3 = 6^\circ\text{C}, c_3 = ?$$

$$\text{دمای تعادل: } \theta = 22^\circ\text{C}$$

با استفاده از رابطه ۴-۶ داریم:

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

$$0.05 \times 4200 \times (22 - 2) + 0.1 \times 390 \times (22 - 5) + 0.015 \times c_3 \times (22 - 6) = 0$$

در نتیجه

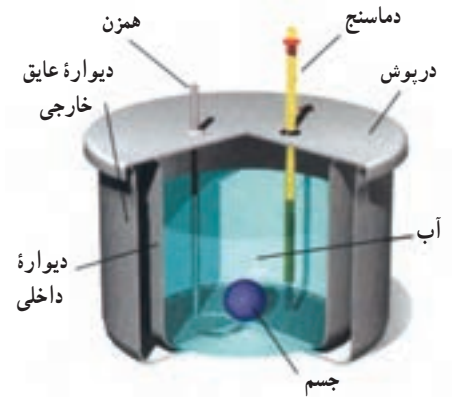
$$c_3 \approx 545\text{J/kg}\cdot^\circ\text{C}$$

تمرین ۷-۲

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

گرماسنج و گرماسنجی: گرماسنج که به آن کالری متر نیز می‌گویند و در شکل ۴-۶

نشان داده شده است، ظرفی فلزی و درپوش دار است که به خوبی عایق بندی گرمایی شده است. این ظرف در آزمایش‌های گرماسنجی مانند تعیین گرمای ویژه اجسام به کار می‌رود. در گرماسنج مقداری آب با جرم معلوم می‌ریزیم و پس از همدم شدن آب و گرماسنج، دمای آب را اندازه می‌گیریم. سپس جسمی که می‌خواهیم گرمای ویژه‌اش را پیدا کنیم و جرم و دمای اولیه آن را اندازه گرفته ایم، درون گرماسنج قرار می‌دهیم و به کمک همزن آب را به هم می‌زنیم تا مجموعه سریع تر به دمای تعادل برسد. پس از برقراری تعادل گرمایی، دمای تعادل را اندازه می‌گیریم. با استفاده از رابطه‌های ۳-۶ و ۴-۶ و با چشم پوشی از اثر ناچیز دماسنج و همزن در مبادله گرما داریم:



شکل ۴-۶- طرحی از نمای داخلی و اجزای یک گرماسنج

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

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

به کمک این رابطه می‌توانیم گرمای ویژه جسم را به دست آوریم. حاصل ضرب جرم در گرمای

ویژه یک جسم را ظرفیت گرمایی آن جسم می‌نامند و آن را با C نشان می‌دهند. یکای این کمیت، J/K یا

$J/^\circ C$ است. معمولاً در مورد گرماسنج به جای آنکه جرم و گرمای ویژه ظرف گرماسنج را جداگانه

معلوم کنند، ظرفیت گرمایی ظرف گرماسنج را مشخص می‌کنند.

مثال ۴-۴

قطعه‌ای فلزی به جرم $55^\circ g$ و دمای $75^\circ C$ که گرمای ویژه‌اش نامعلوم است را درون گرماسنجی حاوی $50^\circ g$ آب $15/5^\circ C$ می‌اندازیم. ظرف گرماسنج آلومینیومی و جرم آن $10^\circ g$ است. دمای تعادل مجموعه $18/8^\circ C$ می‌شود.

(الف) گرمای ویژه قطعه فلز چقدر است؟ با مراجعه به جدول ۱-۶ تعیین کنید این قطعه فلز از چه جنسی می‌تواند باشد؟
(ب) با چشم پوشی از مبادله گرما با ظرف گرماسنج، گرمای ویژه قطعه فلز را دوباره بیابید.

پاسخ:

(الف)

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

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

$$0/50 \times 4200 \times (18/8 - 15/5) + 0/55 \times c_{\text{جسم}} (18/8 - 75) + 0/10 \times 900 \times (18/8 - 15/5) = 0$$

$$6930 - 30/91 c_{\text{جسم}} + 2970 = 0 \Rightarrow c_{\text{جسم}} = 234 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C}$$

با مراجعه به جدول ۱-۶ درمی‌یابیم که این فلز می‌تواند نقره باشد.

(ب) با چشم پوشی از مبادله گرما با ظرف گرماسنج داریم:

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

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

$$0/50 \times 4200 \times (18/8 - 15/5) + 0/55 \times c_{\text{جسم}} (18/8 - 75) = 0$$

$$6930 - 30/91 c_{\text{جسم}} = 0 \Rightarrow c_{\text{جسم}} = 224 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C}$$

با مقایسه پاسخ‌های الف و ب معلوم می‌شود که اثر ظرف گرماسنج در مبادله گرما ناچیز است.

آزمایش ۱-۴

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

شرح آزمایش:

- ۱- مقداری آب با جرم معلوم را درون گرماسنج بریزید و صبر کنید تا دمای گرماسنج و آب، یکسان شود. این دما را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.
- ۲- جرم جسم فلزی را به کمک ترازو اندازه بگیرید و یادداشت کنید.
- ۳- جسم فلزی را درون بشر قرار دهید، مقداری آب روی آن بریزید و سپس مجموعه را روی چراغ گازی روشن بگذارید.
- ۴- صبر کنید تا آب چند دقیقه بجوشد. دمای آب را در این حالت اندازه بگیرید. این دما، همان دمای جسم فلزی نیز هست.
- ۵- جسم داغ‌شده را توسط انبر به سرعت درون گرماسنج بیندازید.
- ۶- آب درون گرماسنج را با همزن آن به هم بزنید و دمای تعادل را اندازه گرفته و یادداشت کنید.
- ۷- با استفاده از معادله زیر که از رابطه ۴-۶ به دست آمده است،

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

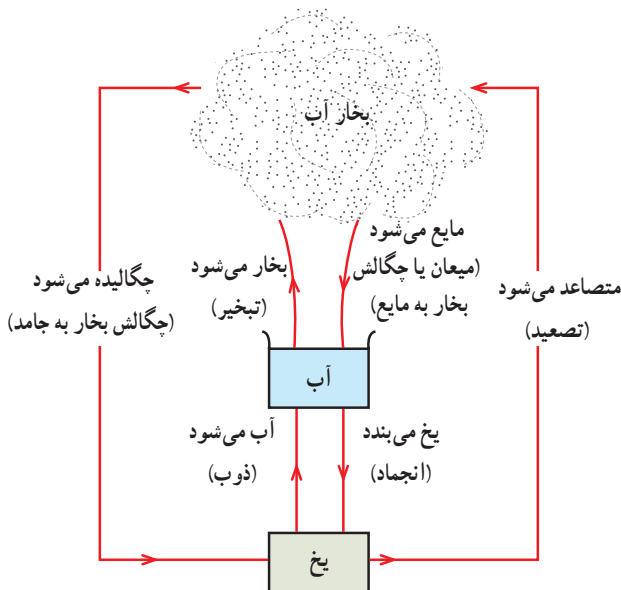
گرمای ویژه جسم فلزی را به دست آورید.

۲-۶ حالت‌های ماده

همان‌طور که در فصل ۵ دیدیم موادی که در اطراف ما وجود دارند در سه حالت (فاز) جامد، مایع و گاز یافت می‌شوند. برای مثال H_2O هم به حالت جامد (یخ) و هم به حالت مایع (آب) و هم به حالت گاز (بخار آب) یافت می‌شود. گذار از یک حالت (فاز) به یک حالت دیگر را یک تغییر حالت (گذار فاز) می‌نامند. برای مثال در شکل ۶-۵ انواع تغییر حالت‌هایی که برای آب امکان‌پذیر است نشان داده شده است. تغییر حالت‌ها معمولاً با گرفتن و یا از دست دادن گرما همراه‌اند.

تبدیل جامد به مایع را **ذوب**، تبدیل مایع به بخار را **تبخیر** و تبدیل مایع به جامد را **انجماد** و تبدیل بخار به مایع را **میعان** یا **چگالش بخار به مایع** می‌نامیم.

امکان دارد که تغییر حالت از جامد به بخار و وارون آن از بخار به جامد نیز به‌طور مستقیم و بدون گذر از حالت مایع صورت گیرد. تغییر حالت از جامد به بخار، **تصعید** و تغییر حالت وارون آن یعنی از بخار به جامد **چگالش بخار به جامد** گفته می‌شود. برای مثال نفتالین در دمای اتاق به‌طور مستقیم از جامد به بخار تبدیل می‌شود و یا در صبح‌های بسیار سرد



شکل ۶-۵- انواع تغییر حالت‌های آب

زمستان برفکی که روی گیاهان و یا روی شیشه پنجره می نشیند، بخار آبی است که به طور مستقیم به بلورهای یخ تبدیل شده است.

در ادامه تغییر حالت های جامد به مایع و مایع به بخار یا گاز را به طور جداگانه بررسی می کنیم.

ذوب: پیش از این دیدیم که اگر به جسم جامدی گرما دهیم، دمای آن افزایش می یابد. اگر عمل گرمادادن را برای جامدهای خالص و بلورین ادامه دهیم، وقتی دمای جسم به مقدار مشخصی برسد، افزایش دما متوقف می شود و دما ثابت باقی می ماند. در این حالت جسم شروع به ذوب شدن می کند و به مایع تبدیل می شود. این دمای ثابت را که به جنس جسم و فشار وارد بر آن بستگی دارد **دمای ذوب** یا **نقطه ذوب** و به عبارتی **دمای گذار جامد به مایع** می نامند. معمولاً حجم جامدهای بلوری هنگام ذوب شدن افزایش می یابد، زیرا حجمی که بلور با آرایش منظم مولکول ها در حالت جامد اشغال می کند نسبت به این حجم در حالت مایع که آرایش مولکولی نامنظمی دارد، کمتر است.

برخلاف جامدهای خالص و بلورین، جامدهای بی شکل مانند شیشه و قیر نقطه ذوب کاملاً مشخصی ندارند. در واقع، وقتی این مواد را گرم می کنیم پیش از ذوب شدن خمیری شکل می شوند. این مواد در گستره ای از دما به تدریج ذوب می شوند^۱.

معمولاً افزایش فشار وارد بر جسم سبب بالا رفتن نقطه ذوب جسم می شود. در برخی اجسام مانند یخ، افزایش فشار به کاهش نقطه ذوب می انجامد. نقطه ذوب یخ در فشار یک اتمسفر برابر صفر درجه سلسیوس است.

فعالیت ۲-۴

درباره علت دیرتر آب شدن برف روی قله کوه ها تحقیق کنید. نتیجه تحقیق خود را به کلاس گزارش دهید.

عمل ذوب، فرایندی گرماگیر است. یعنی به جسم جامدی که به دمای ذوب خود رسیده باشد باید گرما بدهیم تا به مایع تبدیل شود. این گرما دمای جسم را تغییر نمی دهد بلکه سبب تغییر حالت آن می شود. گرمای لازم برای تغییر حالت جسم از جامد به مایع، در دمای ذوب، با جرم آن نسبت مستقیم دارد. نسبت این گرما به جرم جسم را **گرمای ذوب** (یا گرمای نهان ذوب) می نامیم و آن را با L_F نشان می دهیم^۲:

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

۱- درست تر آن است که بگوییم موادی مانند شیشه یا قیر که ساختار بلورین ندارند و در فیزیک به آنها آمورف گفته می شود، هنگام ذوب یا انجماد، تغییر حالت (فاز) نمی دهند. قیر یا شیشه هنگام ذوب یا انجماد فقط شل یا سفت می شوند و ساختار مولکولی آنها (برخلاف جامدهای بلورین) تغییر نمی کند. به همین دلیل برخی کتاب ها، شیشه را مایع سفت نیز می گویند.

۲- زیرنویس F حرف اول واژه انگلیسی Fusion به معنای ذوب است.

گرمای ذوب به جنس جسم بستگی دارد و یکای آن در SI ژول بر کیلوگرم (J/kg) است. بنابراین گرمای لازم برای ذوب جسم جامدی به جرم m و گرمای ذوب L_F از رابطه زیر به دست می آید^۱.

$$Q = mL_F \quad (۵-۶)$$

گرمای ذوب و نقطه ذوب مواد مختلف، متفاوت است. این مقادارها برای برخی از مواد در جدول ۲-۶ داده شده است.

جدول ۲-۶ — نقطه ذوب و گرمای ذوب برخی مواد در فشار یک اتمسفر

ماده	نقطه ذوب (°C)	گرمای ذوب (kJ/kg)
هیدروژن	-۲۵۹	۵۸/۶
اکسیژن	-۲۱۸	۱۳/۸
ازت	-۲۱۰	۲۵/۵
جیوه	-۳۹	۱۱/۸
یخ	۰	۳۳۳/۷
گوگرد	۱۱۹	۳۸/۱
سرب	۳۲۷	۲۴/۵
قلع	۶۳۰	۱۶۵
نقره	۹۶۰	۸۸/۳
طلا	۱۰۶۳	۶۴/۵
مس	۱۰۸۳	۱۳۴

مثال ۷-۷



فلز گالیم (Ga) عنصر سی و یکم جدول تناوبی عناصر است. دمای ذوب این فلز $۲۹/۸^{\circ}\text{C}$ و گرمای ذوب آن $۸۰/۴ \text{ kJ/kg}$ است. همان طور که در شکل دیده می شود هرگاه این فلز را در دست بگیریم شروع به ذوب شدن می کند. حساب کنید که یک قطعه ۱°g گرمی از این فلز چقدر گرما از دست ما می گیرد تا در نقطه ذوب خود به طور کامل ذوب شود.

پاسخ:

$$Q = mL_F = (1 \times 10^{-3}) (80/4 \times 10^3) = ۸۰/۴ \text{ J}$$

۱- پیش از این در کتاب های درسی گرمای لازم برای ذوب هر جسم جامد، یعنی Q ، را گرمای نهان ذوب و L_F را گرمای نهان ویژه

ذوب می نامیدند که این نام گذاری امروزه چندان مرسوم نیست.

انجماد: وقتی از مایع خالصی گرما می‌گیریم، سرد می‌شود تا به نقطه انجماد خود برسد. اگر گرما گرفتن از مایع را در این دما ادامه دهیم مایع شروع به جامد شدن می‌کند، بی‌آنکه دمای آن کاهش یابد. دمای نقطه ذوب هر ماده با دمای انجماد آن در فشار یکسان برابر است. یعنی برای مثال اگر در فشار یک اتمسفر به یخ صفر درجه سلسیوس گرما دهیم شروع به ذوب می‌کند و نیز اگر در همان فشار از آب صفر درجه سلسیوس گرما بگیریم شروع به انجماد می‌کند.

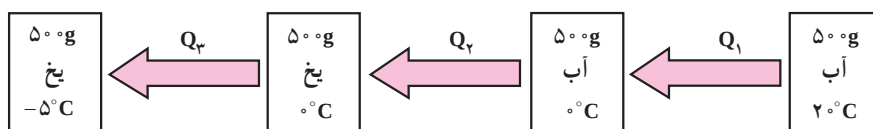
هر جسم به هنگام انجماد همان قدر گرما از دست می‌دهد که به هنگام ذوب می‌گیرد. همان‌طور که قبلاً دیدیم وقتی جسم گرما از دست می‌دهد $Q < 0$ است، پس برای محاسبه گرما به هنگام انجماد مایعی به جرم m داریم،

$$Q = -mL_F \quad (۶-۶)$$

در اینجا نیز مانند فرایند ذوب که برای جامدهای غیر بلورین نقطه انجماد مشخصی وجود ندارد، وجود ناخالصی موجب می‌شود که مایع، نقطه انجماد مشخصی نداشته باشد بلکه انجماد در گستره‌ای از دماها رخ دهد. مثلاً هنگام یخ‌زدن آب نمک، اولین بلورها در دمای کمتر از 0°C تشکیل می‌شود و انجماد کامل در دماهای کمتر، تا -18°C روی می‌دهد.

مثال ۷-۸

از 50°g آب با دمای 20°C چند کیلوژول گرما بگیریم تا به یخ با دمای -5°C تبدیل شود؟
پاسخ: مرحله‌های این فرایند به‌طور طرح‌وار در شکل زیر رسم شده است.



که در آن:

$$Q_1 = mc\Delta\theta = 50 \times 4200 \times (0 - 20) = -42000 \text{ J} = -42 \text{ kJ}$$

$$Q_2 = -mL_F = -50 \times 334000 = -167000 \text{ J} = -167 \text{ kJ}$$

$$Q_3 = mc\Delta\theta = 50 \times 2100 \times (-5 - 0) = -5250 \text{ J} = -5.25 \text{ kJ}$$

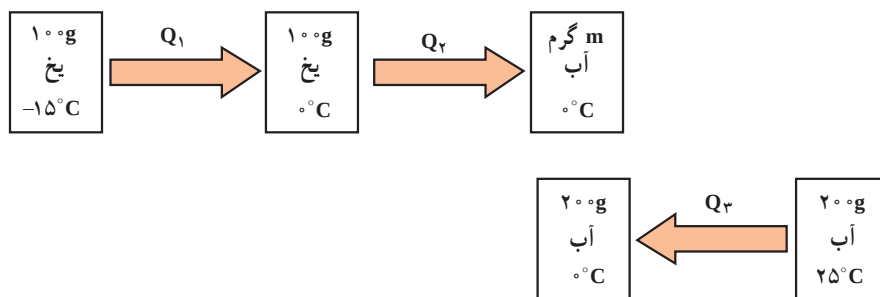
بنابراین کل گرما برابر است با

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = -214.25 \text{ kJ}$$

یعنی باید 214.25 kJ گرما از آب بگیریم.

در گرماسنجی با ظرفیت گرمایی ناچیز 20°C آب با دمای 25°C وجود دارد. قطعه یخی به جرم 10°g و دمای -15°C درون آن می‌اندازیم. پس از مبادله 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 1 atm برابر 0°C است. مرحله‌های طرح‌وار این فرایند در شکل زیر رسم شده است.



$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0$$

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

$$0/1 \times 2100 (-15) + m \times 334000 + 0/2 \times 4200 (0 - 25) = 0$$

$$3150 + 334000m - 210000 = 0$$

$$334000m = 17850 \Rightarrow m = 0/053\text{ kg} = 53\text{ g} \quad (\text{جرم یخ ذوب شده})$$

بنابراین 47 g از یخ ذوب نشده باقی می‌ماند.

تمرین ۳-۴

اگر در مثال ۶-۹ جرم قطعه یخ اولیه 5°g باشد، دمای تعادل چقدر می‌شود؟

آزمایش ۲-۷

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

شرح آزمایش:

- ۱- 200°cc آب در بشر بریزید و آن را روی سه پایه قرار دهید. چراغ گاز را روشن کنید تا دمای آب دست کم به 60°C برسد.
- ۲- آب گرم را درون گرماسنج بریزید و پس از مدتی دمای تعادل آب و گرماسنج را با دماسنج اندازه بگیرید و یادداشت کنید.
- ۳- قطعه یخی به جرم تقریبی 5°g را از درون مخلوط آب و یخ (با دمای 0°C) بیرون آورده و جرم آن را اندازه گرفته و یادداشت کنید.
- ۴- یخ را درون گرماسنج بیندازید و صبر کنید تا کاملاً ذوب شود. اینک دمای تعادل را اندازه بگیرید.
- ۵- با استفاده از اعداد به دست آمده، گرمای ذوب یخ (L_F) را حساب کنید.

تبخیر و جوشیدن: وقتی لباس خیزی را روی بند رخت می‌اندازیم آب موجود در آن پس از مدتی بخار و لباس خشک می‌شود. آبی که در هوای گرم تابستان روی زمین می‌پاشیم نیز به سرعت بخار و زمین خشک می‌شود. در پدیده‌هایی از این دست می‌بینیم که مایع در هر دمایی تبخیر می‌شود. بعضی از مولکول‌های مایع که به سرعت‌های به اندازه کافی زیاد برسند از سطح مایع فرار می‌کنند. به این فرایند **تبخیر سطحی** می‌گوییم. تجربه نشان می‌دهد که آهنگ تبخیر سطحی به عامل‌های مختلفی از جمله دمای مایع و مساحت سطح آن بستگی دارد.

فعالیت ۳-۷

- الف) بررسی کنید که افزایش دما و افزایش مساحت سطح مایع هر یک تبخیر سطحی مایع را تندتر یا کندتر می‌کند.
 ب) با بررسی تبخیر سطحی در شرایط مختلف سعی کنید از راه تجربه، عامل یا عامل‌های دیگری را پیدا کنید که بر آهنگ تبخیر سطحی مؤثر باشند.
 پ) تحقیق کنید که چگونه عرق کردن به خنک‌نگه داشتن بدن کمک می‌کند.

با گرم کردن تدریجی مایع، آهنگ تبخیر سطحی آن افزایش می‌یابد. بخشی از گرمای داده شده به مایع موجب افزایش دما و بخش دیگر موجب تبخیر سطحی مایع می‌شود. تاکنون در حل مسئله‌های گرماسنجی، گرمایی را که هنگام افزایش دمای مایع صرف تبخیر سطحی آن می‌شود، نادیده گرفتیم. وقتی مایعی را گرم می‌کنیم دمای آن بالا می‌رود تا اینکه در دمای خاصی حباب‌های گاز درون مایع شکل می‌گیرند و به سطح مایع می‌آیند و از آن خارج می‌شوند. به این پدیده **جوشیدن مایع** و به این دما، **دمای جوش** یا **نقطه جوش** می‌گوییم.

در نقطه جوش هر چه به مایع گرما بدهیم دمای آن افزایش نمی‌یابد و همه گرما صرف تبخیر مایع می‌شود. آهنگ تبخیر هر مایع در نقطه جوش آن به بیشترین مقدار خود می‌رسد. تجربه نشان می‌دهد که گرمای لازم برای تبخیر هر مایع با جرم آن نسبت مستقیم دارد. نسبت این گرما به جرم مایع بخار شده را **گرمای تبخیر** مایع (یا گرمای نهان تبخیر مایع) می‌نامیم و آن را با L_v نشان می‌دهیم.

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

گرمای تبخیر هر مایع به جنس و دمای آن بستگی دارد و یکای آن در SI ژول بر کیلوگرم (J/kg) است. گرمای لازم برای تبخیر مایعی به جرم m که گرمای تبخیر آن L_v است از رابطه زیر به دست می‌آید^۱:

$$Q = mL_v \quad (۷-۶)$$

۱- زیرنویس v حرف اول واژه انگلیسی Vaporization به معنی تبخیر است.

۲- پیش از این در کتاب‌های درسی گرمای لازم برای تبخیر مایع (Q) را گرمای نهان تبخیر و L_v را گرمای نهان ویژه تبخیر می‌نامیدند.

این نام‌گذاری امروزه چندان مرسوم نیست.

جدول ۳-۶ برخی از مقدارهای L_v را نشان می‌دهد که به‌طور تجربی برای آب در دماهای مختلف به‌دست آمده است.

جدول ۳-۶- مقادیر L_v برای آب در دماهای مختلف

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

فعالیت ۷-۴

تحقیق کنید چرا در جدول ۳-۶ گرمای نهان تبخیر آب با افزایش دمای آن کاهش می‌یابد.

مثال ۷-۱۰

معمولاً وقتی هوا را با بخاری‌های شعله‌ای گرم می‌کنند، برای حفظ رطوبت محیط، ظرف آبی را روی بخاری می‌گذارند. اگر دمای آب در یکی از این ظرف‌ها روی 50°C ثابت مانده باشد، تعیین کنید برای تبخیر 20°g از آب در این شرایط چقدر گرما لازم است؟

پاسخ: با توجه به رابطه ۷-۶ و استفاده از جدول ۳-۶ داریم:

$$Q = mL_v = (0.02)(2374 \times 10^3) \approx 47.5 \times 10^3 \text{ J}$$

در مسئله‌های عملی بیشتر با گرمای تبخیر مایع در نقطه جوش آن سروکار داریم و البته نقطه جوش هر مایع به جنس و فشار وارد بر آن بستگی دارد. افزایش فشار وارد بر مایع سبب بالا رفتن نقطه جوش آن می‌شود. جدول ۳-۶ نقطه جوش و گرمای تبخیر برخی از مواد را در فشار یک اتمسفر نشان می‌دهد.

جدول ۶-۴- نقطه جوش و گرمای تبخیر برخی مواد در فشار یک اتمسفر

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

فعالیت ۵-۷

علت سریع تر پخته شدن غذا در دیگ زودپز را با افراد گروه خود مورد بحث قرار دهید و نتیجه را به کلاس گزارش کنید.

مثال ۱۱-۷

۲ لیتر آب را درون یک کتری برقی با توان الکتریکی $1/5 \text{ kW}$ می ریزیم و آن را روشن می کنیم.
 الف) از لحظه آغاز جوشیدن تا تبخیر همه آب درون کتری چقدر گرما به آب داده می شود؟
 ب) چه مدت طول می کشد تا این فرایند انجام شود؟ فرض کنید تمام گرمای تولید شده کتری به آب می رسد.

پاسخ:

الف) با توجه به رابطه ۶-۷ داریم:

$$Q = mL_v = (2 \times 10^6)(2256) = 4/5 \times 10^6 \text{ J}$$

$$Q = Pt \Rightarrow t = \frac{4/5 \times 10^6}{1/5 \times 10^3} = 3000 \text{ s} = 50 \text{ min} \quad \text{ب)}$$

برای اندازه گیری گرمای تبخیر در نقطه جوش هر مایع روش های عملی گوناگونی وجود دارد که آزمایش کنید ۶-۳ براساس یکی از این روش ها طراحی شده است.

آزمایش ۳-۷



وسایل لازم: بشر 20°C ، دماسنج، سه پایه، توری، پایه و گیره، چراغ گاز،

زمان سنج، آب و ترازو

شرح آزمایش:

۱- جرم بشر خالی را اندازه گیری کنید و مقدار معینی آب (مثلاً 20°g) در آن بریزید.

۲- توری را روی سه پایه بگذارید. چراغ را زیر آن روشن کنید و ارلن را روی توری قرار دهید.

۳- دماسنج را به کمک پایه و گیره طوری درون بشر قرار دهید تا مخزن آن کمی پایین تر از سطح آب باشد.

۴- در لحظه ای که دمای آب به 7°C می رسد زمان سنج را روشن کنید.
($t_1 = 0$, $\theta_1 = 7^\circ\text{C}$)

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

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

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

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

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

تمرین ۴-۷

قطعه یخی به جرم $5/^\circ\text{C}$ کیلوگرم و دمای اولیه 2°C را آنقدر گرم می کنیم تا تمام آن تبدیل به بخار 100°C شود. کل گرمایی که برای این منظور صرف کرده ایم چند کیلوژول است؟

میعان: میعان، وارون فرایند تبخیر است. بخار هنگام تبدیل شدن به مایع گرما از دست می دهد. این گرما برابر گرمایی است که مایع هنگام تبخیر می گیرد. میعان نیز مانند تبخیر، در هر دمایی رخ می دهد. گرمای مربوط به میعان مقداری بخار به جرم m و گرمای تبخیر L_v از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$Q = -mL_v \quad (۸-۶)$$

علامت منفی نشان دهنده آن است که بخار هنگام میعان گرما از دست می دهد و باعث گرم شدن اجسام پیرامون خود می شود. مثلاً اتاق حمامی را پس از دوش گرفتن یک شخص در نظر بگیرید.

وقتی شما وارد حمام شوید پس از چند لحظه احساس می‌کنید که گرم‌تان شده است. زیرا در اثر باز بودن دوش (حتی اگر آب سرد باشد) مقداری بخار آب در فضای حمام ایجاد شده است و با ورود شما به حمام، میعان این بخار روی بدنتان به شما گرما می‌دهد.

مثال ۱۲-۷

در یک روز زمستانی، بخار آب موجود در اتاقی بر روی شیشه پنجره به شکل مایع درمی‌آید و قطره قطره می‌چکد. اگر دمای شیشه حدود 5°C باشد برای آنکه حدود 5°C گرم آب روی شیشه تقطیر شود چقدر گرما به شیشه داده می‌شود؟

پاسخ:

با استفاده از جدول ۴-۶ و رابطه ۸-۶ داریم:

$$Q = -mL_v = -(5^{\circ}\text{C} \times 1^{\circ}\text{C}^{-1})(249^{\circ}\text{C} \times 1^{\circ}\text{C}^{-1}) = -1245^{\circ}\text{J}$$

در این عمل $124/5$ کیلوژول گرما به شیشه داده می‌شود.

فعالیت ۷-۴

در مورد ایجاد شبنم صبحگاهی روی گیاهان تحقیق و به کلاس گزارش کنید.

۳-۶ 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 پُر می‌کند باید ماده پُرکننده همان مشخصه‌های انبساط گرمایی دندان را داشته باشد، چرا که در غیر این صورت خوردن یک بستنی سرد و در پی آن نوشیدن چایی داغ بسیار دردناک خواهد بود.

فعالیت ۷-۷

توضیح دهید که چگونه می‌توان با استفاده از ابزارهایی که در شکل زیر نشان داده شده است پدیده انبساط در اثر افزایش دما را نمایش داد.



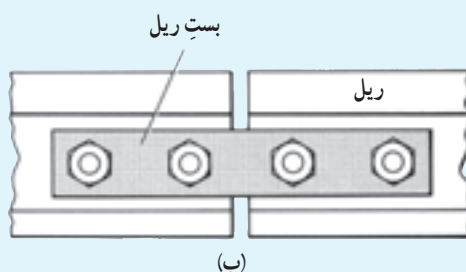
بیشتر اجسام با افزایش دما انبساط پیدا می کنند و یا با کاهش دما حجمشان کم می شود. این پدیده اساس ساخت بعضی از دماسنج ها و دماپا (ترموستات) است – بی توجهی به پدیده انبساط در ساختن پل ها، خط آهن ها، خطوط انتقال نیرو، خطوط انتقال سوخت و ... می تواند مشکل هایی را ایجاد کند.

فعالیت ۸-۴

شکل الف، اتصال دو قسمت متوالی یک پل را نشان می دهد. تحقیق کنید چرا برای اتصال دوبخش پل از این روش استفاده می شود. شکل ب، طرحی از دو قسمت متوالی خط آهن (ریل راه آهن) را نشان می دهد. تحقیق کنید اگر فاصله خالی بین این دو قسمت به حد کافی زیاد نباشد، چه مشکلی پیش می آید (شکل پ).



(پ)



(ب)



(الف)

جدول ۶-۵- ضریب انبساط طولی برخی اجسام

ماده	ضریب انبساط طولی ($\frac{1}{K}$)
الماس	$1/2 \times 10^{-6}$
شیشه پیرکس	$3/2 \times 10^{-6}$
شیشه معمولی	9×10^{-6}
فولاد	11×10^{-6}
بتون	12×10^{-6}
مس	17×10^{-6}
برنج	19×10^{-6}
آلومینیوم	23×10^{-6}
سرب	29×10^{-6}
یخ (در $0^\circ C$)	51×10^{-6}

انبساط طولی: اگر میله ای به طول اولیه L_0 را به اندازه ΔT گرم کنیم به طول آن به اندازه ΔL افزوده می شود. تجربه نشان می دهد ΔL با L_0 نسبت مستقیم دارد. اگر ΔT خیلی زیاد نباشد ΔL با ΔT نیز نسبت مستقیم دارد. ضریب این تناسب را با α نشان می دهیم و داریم:

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T \quad (۹-۶)$$

به α ضریب انبساط طولی میله می گویند که به جنس میله بستگی دارد. یکای α ، برکلوین ($\frac{1}{K}$) یا بر درجه سلسیوس ($\frac{1}{^\circ C}$) است. ضریب انبساط طولی برخی اجسام در جدول ۶-۵ داده شده است. توجه کنید که مقادیر داده شده برای α در جدول بسیار کوچک هستند. همچنین خوب است بدانید که ضریب انبساط طولی α علاوه بر جنس ماده، به دما نیز اندکی وابسته است اما به دلیل اینکه این وابستگی ناچیز است معمولاً برای مصارف عملی آن را نادیده می گیریم.



پلی بتونی را با طول ۲۰۰ m در نظر بگیرید. افزایش طول این پل هنگامی که دمای آن ۵° C زیاد شود چند سانتی متر است؟

پاسخ:

از جدول ۵-۶ و با استفاده از رابطه ۹-۶ داریم:

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T = (12 \times 10^{-6})(200)(5) = 12 \times 10^{-2} \text{ m} \\ = 12 \text{ cm}$$

اگر در ساختمان این پل فضای لازم برای انبساط طولی پیش‌بینی نشده باشد، چنین انبساطی می‌تواند باعث تخریب پل شود.

آزمایش ۷-۱۴



وسایل آزمایش: دستگاه اندازه‌گیری ضریب انبساط طولی با چند لوله فلزی توخالی از جنس‌های مختلف، ارلن با درپوش سوراخ‌دار، لوله لاستیکی، توری، سه پایه و چراغ گاز

شرح آزمایش:

۱- طول لوله توخالی موردنظر را اندازه بگیرید (L_0) و روی دستگاه نصب کنید.

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

۳- دمای محیط را بخوانید (θ_0) و دماسنج را از یک سوراخ و لوله لاستیکی را از سوراخ دیگر درپوش رد کنید.

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

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

۶- آنقدر صبر کنید تا بخار آب از لوله خارج و لوله توخالی کاملاً گرم شود و دمای آن به حدود دمای آب جوش درون ارلن برسد (θ_1).

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

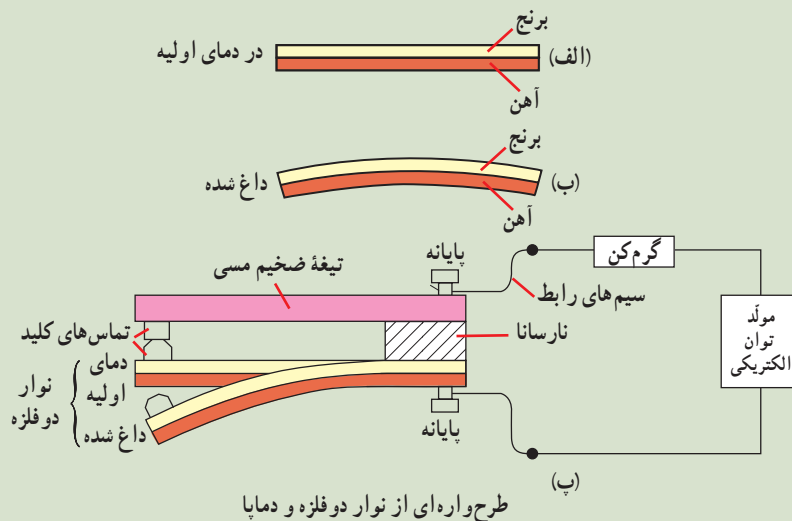
۸- با استفاده از رابطه ۹-۶ ضریب انبساط طولی را به دست آورید.

۹- میله توخالی دستگاه را عوض کنید و آزمایش را برای میله‌ای با جنس دیگر دوباره انجام دهید.



نوار دوفلزه^۱ و دماپا (ترموستات)

نوار دوفلزه از دو تیغه فلزی متفاوت مانند برنج و آهن ساخته شده است که سرتاسر به هم جوش داده یا پرچ شده‌اند (شکل الف). در دمای معمولی محیط، طول دو تیغه یکسان است. با افزایش دما طول تیغه‌ها افزایش می‌یابد. تیغه‌ای که ضریب انبساط طولی بزرگ‌تری دارد، افزایش طول بیشتری نیز خواهد داشت و در نتیجه نوار طوری خم می‌شود که تیغه با ضریب انبساط بیشتر کمان خارجی و تیغه دیگر کمان داخلی خم را تشکیل می‌دهد (شکل ب). اگر به جای گرم کردن نوار، آن را سرد کنیم، نوار در خلاف جهت قبلی خم می‌شود.



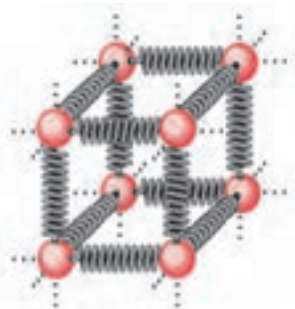
دماپا کلیدی الکتریکی است که در آن قطع و وصل جریان با استفاده از حسگرهای گرمایی انجام می‌شود. اغلب از نوارهای دوفلزه به عنوان حسگرهای گرمایی در دماپا استفاده می‌شود (شکل پ). در مدار ساده نشان داده شده در شکل پ، عبور جریان الکتریکی از گرم کن برقی باعث گرم شدن نوار دوفلزه می‌شود. وقتی دمای نوار

به اندازه معینی برسد بر اثر خم شدن نوار جریان قطع و گرم کن برقی خاموش می‌شود. با خاموش شدن گرم کن، دمای تیغه کاهش می‌یابد و نوار دوباره به شکل وضعیت قبلی خود بازمی‌گردد و به این ترتیب دوباره مدار وصل و گرم کن برقی روشن می‌شود. دماپاها در بسیاری از وسایل الکتریکی مانند یخچال، آبگرمکن، سماور برقی و ... کاربرد دارند.

فعالیت ۹-۴



شکل روبه‌رو دماسنجی را نشان می‌دهد که در آن از یک نوار دوفلزی حلزونی شکل استفاده شده است. اساس کار این دماسنج را در گروه خود به بحث بگذارید و نتیجه را به کلاس گزارش کنید.



شکل ۶-۶ در جامدها، نیروهای بین اتمی مثل فنر عمل می‌کنند.

انبساط گرمایی از دیدگاه مولکولی نیز قابل درک است. نیروهای بین اتمی در جامدها مثل فنر عمل می‌کنند (شکل ۶-۶). هر اتم در اطراف مکان تعادل خود نوسان می‌کند و با افزایش دما بر انرژی و دامنه نوسان اتم‌ها افزوده می‌شود. در این حالت فاصله متوسط اتم‌ها از یکدیگر افزایش می‌یابد و در نتیجه جسم انبساط می‌یابد.

۱- بای متال (bi-metal)

الف) ورقه‌ای مستطیلی شکل به اضلاع a_1 و b_1 را در نظر بگیرید. بر اثر افزایش دمای ΔT ، طول اضلاع مستطیل به اندازه Δa و Δb افزایش می‌یابند که هریک با استفاده از رابطه ۹-۶ به دست می‌آید.

الف) افزایش مساحت این ورقه بر اثر افزایش دما چقدر است؟

ب) افزایش مساحت ورقه‌ای مسی به مساحت 2500 cm^2 وقتی دمای آن 50°C بالا رود، چند سانتی متر مربع است؟

پاسخ: الف) با استفاده از رابطه ۹-۶ می‌توان Δa و Δb را به دست آورد:

$$\Delta a = \alpha a_1 \Delta T \Rightarrow a_2 = a_1 + \alpha a_1 \Delta T \Rightarrow a_2 = a_1 (1 + \alpha \Delta T)$$

$$\Delta b = \alpha b_1 \Delta T \Rightarrow b_2 = b_1 + \alpha b_1 \Delta T \Rightarrow b_2 = b_1 (1 + \alpha \Delta T)$$

مساحت ورقه پس از افزایش دما برابر با $a_2 b_2$ است و بنابراین داریم:

$$A_2 = a_2 b_2 = a_1 (1 + \alpha \Delta T) b_1 (1 + \alpha \Delta T) = a_1 b_1 (1 + \alpha \Delta T)$$

$$= a_1 b_1 (1 + 2\alpha \Delta T + (\alpha \Delta T)^2)$$

با توجه به اینکه α معمولاً از مرتبه 10^{-5} بر درجه سلسیوس است (جدول ۵-۶ را ببینید) و ΔT معمولاً بیشتر از مرتبه 10^2 درجه سلسیوس نیست، می‌توان نتیجه گرفت که جمله $(\alpha \Delta T)^2$ در مقایسه با جمله $2\alpha \Delta T$ بسیار کوچک است و می‌شود از آن چشم‌پوشی کرد. از طرفی $a_1 b_1$ همان مساحت اولیه ورقه است که آن را با A_1 نشان می‌دهیم.

بنابراین می‌توان نوشت:

$$A_2 = A_1 (1 + 2\alpha \Delta T) \Rightarrow A_2 - A_1 = 2\alpha A_1 \Delta T$$

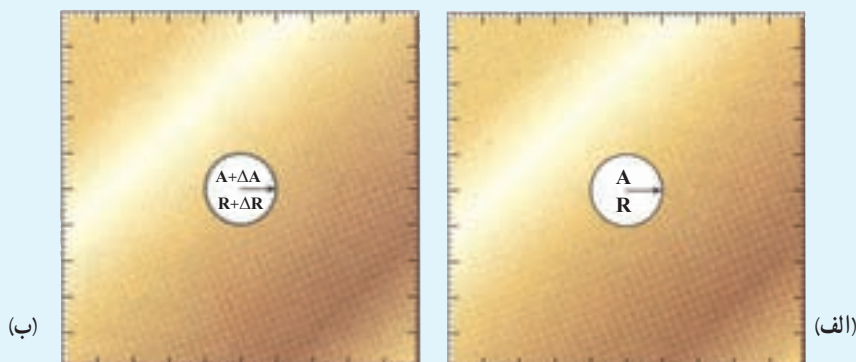
$$\Rightarrow \Delta A = 2\alpha A_1 \Delta T$$

ب) از رابطه به دست آمده در قسمت الف استفاده می‌کنیم. ورقه از جنس مس است. ضریب انبساط طولی مس با استفاده از جدول ۵-۶ برابر $17 \times 10^{-6} / ^\circ \text{C}$ است و بنابراین داریم:

$$A_2 = 2\alpha A_1 \Delta T = 2(17 \times 10^{-6})(2500)(50) \approx 4 \text{ cm}^2$$

فعالیت ۷-۱۰

شکل‌های الف و ب نشان می‌دهند که وقتی روی یک صفحه فلزی حفره‌ای دایره‌ای داشته باشیم و صفحه را گرم کنیم، قطر (یا مساحت) حفره بزرگ می‌شود. نشان دهید که اگر چنین صفحه‌ای را گرم کنیم، افزایش مساحت حفره از رابطه $\Delta A = 2\alpha A_1 \Delta T$ به دست می‌آید.



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

$$\Delta V = \beta V_1 \Delta T \quad (۶-۱۰)$$

در این رابطه β ضریب انبساط حجمی جامد یا مایع و یکای آن بر کلین $(\frac{1}{K})$ یا بر درجه سلسیوس $(\frac{1}{^\circ C})$ است.

چون مایع‌ها شکل معینی ندارند انبساط آنها را به صورت حجمی بررسی می‌کنیم. انبساط حجمی مایع‌ها به سادگی قابل مشاهده است. در جدول ۶-۶ ضریب انبساط حجمی برخی مایع‌ها داده شده است.

جدول ۶-۶ ضریب انبساط حجمی چند مایع

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

برای بیشتر جامدها انبساط طولی در راستاهای مختلف با ضریب انبساط طولی یکسان صورت می‌گیرد^۱. به همان روشی که در مثال ۶-۱۴ نشان دادیم، ثابت می‌شود که ضریب انبساط حجمی این جامدها ۳ برابر ضریب انبساط طولی آنها است.

$$\beta_{\text{جامد}} = 3\alpha \quad (۶-۱۱)$$

با مقایسه ضریب انبساط حجمی جامدها با ضریب انبساط حجمی مایعات جدول ۶-۶ نتیجه می‌گیریم انبساط حجمی جامدها به مراتب کمتر از مایعات است.

۱- به چنین جامدهایی اصطلاحاً همسانگرد (ایزوتروپ) می‌گویند.

مثال ۱۵-۷

حجم یک شمش آلومینیومی در دمای 10°C ، برابر 1000 cm^3 است. اگر دمای شمش را به 100°C برسانیم چقدر بر حجم آن افزوده می‌شود؟

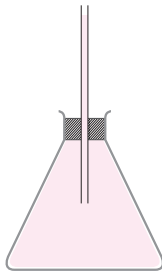
پاسخ: با استفاده از جدول ۵-۶ و رابطه ۱۱-۶ داریم:

$$\beta = 3\alpha = 3 \times 23 \times 10^{-6} = 69 \times 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}}$$

حال با استفاده از رابطه ۱۰-۶ خواهیم داشت:

$$\Delta V = \beta V_1 \Delta T = (69 \times 10^{-6})(1000)(100 - 10) \approx 6\text{ cm}^3$$

مثال ۱۶-۷



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

الف) آیا گلیسرین از ظرف بیرون می‌ریزد؟

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

پاسخ: افزایش حجم گلیسرین و افزایش گنجایش ظرف را با استفاده از رابطه ۱۰-۶ محاسبه

می‌کنیم:

$$\Delta V_{\text{گلیسرین}} = \beta_{\text{گلیسرین}} V_1 \Delta T = (49 \times 10^{-5})(200/^\circ)(60 - 20) \approx 3/9\text{ cm}^3$$

$$\Delta V_{\text{ظرف}} = \beta_{\text{شیشه}} V_1 \Delta T = (3\alpha_{\text{شیشه}}) V_1 \Delta T = (200/^\circ)(3 \times 9 \times 10^{-6})(60 - 20) \approx 0/2\text{ cm}^3$$

چون افزایش حجم گلیسرین بیش از افزایش گنجایش ظرف است، پس گلیسرین از ظرف سرریز می‌شود. حجم گلیسرین سرریز شده برابر است با:

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

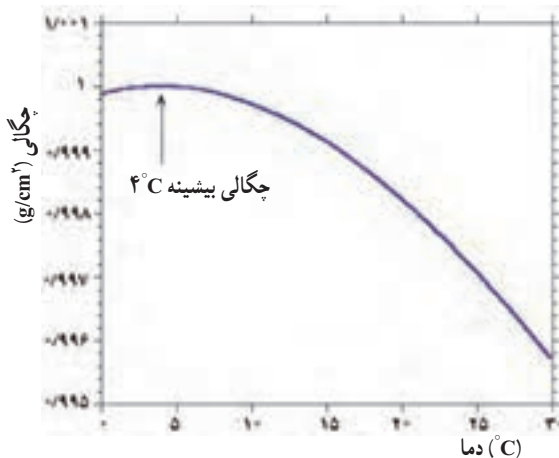
فعالیت ۱۱-۷

آزمایشی را طراحی و اجرا کنید که با آن بتوانید حجم گلیسرین سرریز شده در مثال ۱۶-۶ را اندازه بگیرید. سپس مقادیر اندازه‌گیری و محاسبه شده را با هم مقایسه کنید.

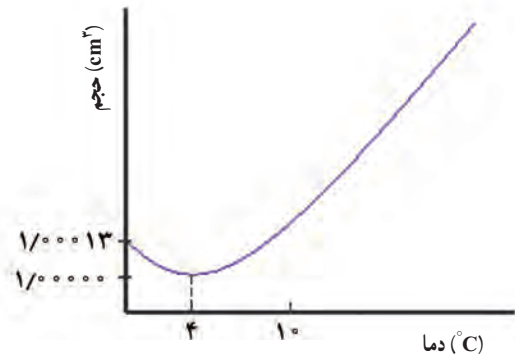
فعالیت ۱۲-۷

افزایش دما که به‌طور معمول موجب افزایش حجم اجسام می‌شود، بر جرم آنها تأثیری ندارد. به همین دلیل انتظار داریم که چگالی اجسام با افزایش دما کاهش یابد. رابطه چگالی با تغییر دما $\rho_2 = \rho_1(1 - \beta\Delta T)$ است که در آن ρ_1 و ρ_2 به ترتیب چگالی ماده در دماهای T_1 و T_2 ، β ضریب انبساط حجمی است. درستی این رابطه را تحقیق کنید.

انبساط غیرعادی آب: حجم بیشتر مایع‌ها با کم شدن دما کاهش و در نتیجه چگالی آنها، افزایش می‌یابد. ولی رفتار آب در محدوده دمایی 4°C تا 0°C متفاوت است. یعنی در این محدوده با کاهش دما، حجم آب افزایش و در نتیجه چگالی آن کاهش می‌یابد. شکل‌های ۶-۷ الف و ب به ترتیب نمودار حجم برحسب دما و نمودار چگالی برحسب دما را برای آب شیرین نشان می‌دهد که در آنها رفتار غیرعادی آب در محدوده 0°C تا 4°C دیده می‌شود.



(ب) تغییرات چگالی آب (شیرین) با دما



(الف) تغییرات حجم آب (شیرین) با دما

شکل ۶-۷

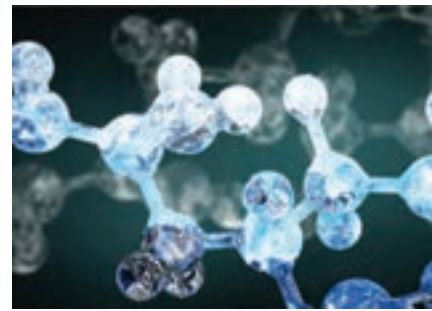
جدول ضریب انبساط حجمی آب

جدول روبه‌رو ضریب انبساط حجمی آب را در چند دمای مختلف نشان می‌دهد که در توافق با شکل‌های ۶-۷ الف و ب است و از روی آن می‌توان به رفتار غیرعادی آب در دماهای 0°C تا 4°C و رفتار طبیعی آن در دماهای بالاتر از 4°C پی برد.

دما ($^{\circ}\text{C}$)	$\beta \left(\frac{1}{^{\circ}\text{C}} \right)$
۱	-48×10^{-6}
۴	۰
۷	45×10^{-6}
۱۰	88×10^{-6}
۱۵	151×10^{-6}
۲۰	207×10^{-6}

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 کمی 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 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. 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 زیست محیطی زیانبار فراوانی در پی داشت و حیات گیاهی و جانوری در عمق دریاچه‌ها از بین می‌رفت. افزون بر این، وجود لایه یخ در سطح دریاچه مانند یک عایق گرمایی عمل می‌کند و مانع سرد شدن آب عمق دریاچه می‌شود.



شکل ۶-۸- نمایشی از آرایش مولکول‌های آب در بلور یخ

رفتار شگفت‌انگیز آب را می‌توان با ساختار غیرعادی شبکه بلوری یخ توضیح داد. می‌دانیم حجم اشغال شده با آرایش منظم مولکول‌ها در مقایسه با حجم اشغال شده با آرایش نامنظم همان مولکول‌ها کمتر است. مولکول‌های آب در بلور یخ طوری آرایش یافته‌اند که در بعضی نواحی، مولکول‌ها خیلی به هم نزدیک‌اند در حالی که در نواحی دیگر بین آنها فضای خالی وجود دارد (شکل ۶-۸). وقتی آب از بلور یخ به حالت مایع تبدیل می‌شود، برخلاف سایر اجسام، آرایش مولکول‌های آن یکنواخت‌تر می‌شود. یعنی فاصله بین مولکول‌هایی که خیلی به هم نزدیک بودند افزایش می‌یابد در حالی که فاصله بین مولکول‌هایی که فضای خالی میان آنها وجود داشت کم می‌شود و در نتیجه حجم اشغال شده کاهش می‌یابد. در محدوده دماهای $^{\circ}\text{C}$ ۴ تا $^{\circ}\text{C}$ بقایای ساختار مولکولی یخ هنوز در آب وجود دارد و موجب رفتار غیرعادی آب می‌شود.

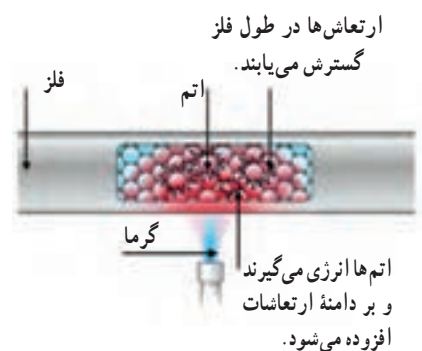
۶-۴ انتقال گرما

دیدیم که اختلاف دما باعث شارش گرما از جسم با دمای بالاتر به جسم با دمای پایین‌تر می‌شود. این شارش گرما به سه صورت متفاوت انجام می‌شود که عبارت‌اند از **رسانش گرمایی**، **همرفت** و **تابش گرمایی**. در هر فرایند انتقال گرما، ممکن است هر سه این سازوکارها دخالت داشته باشند (شکل ۶-۹). 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 سازوکار هر یک از این روش‌ها می‌پردازیم.

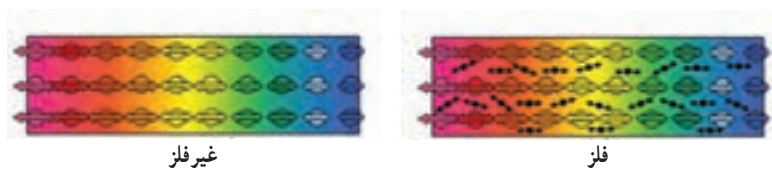


شکل ۶-۹- در این شکل، هر سه روش انتقال گرما را در تصویری مشاهده می‌کنید.

رسانش: 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. در کتاب فیزیک (۱) و آزمایشگاه با انتقال گرما به روش رسانش آشنا شده‌ایم. در واقع ارتعاش اتم‌ها (شکل ۶-۱۰) و الکترون‌های آزاد در ناحیه گرم شده جسم موجب انتقال بخشی از انرژی آنها به اتم‌ها و الکترون‌های بسیار زیاد مجاورشان و در نتیجه انتقال گرما به روش رسانش می‌شود. رسانش گرما در مواد مختلف، متفاوت است. چون الکترون‌ها بسیار کوچک‌اند، به سرعت حرکت می‌کنند و با برخورد با سایر الکترون‌ها و اتم‌ها سبب رسانش گرمایی می‌شوند. بنابراین در رساناهای فلزی سهم الکترون‌های آزاد در رسانش گرمایی بیشتر از اتم‌هاست. در حالی که فلزها رساناهای خوب گرما هستند، موادی مانند شیشه، چوب و آجر رساناهای چندان خوبی به‌شمار نمی‌روند (شکل ۶-۱۱). به همین دلیل از ماده‌های عایق مخصوصی در دیوارها و سقف بناها استفاده می‌کنند تا از خروج جریان گرما در زمستان و ورود آن در تابستان جلوگیری کنند.

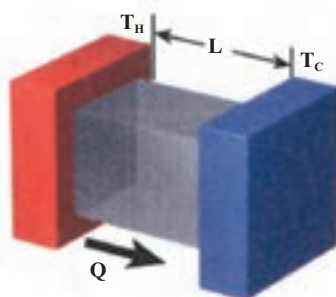


شکل ۶-۱۰- ارتعاش اتم‌ها موجب انتقال انرژی گرمایی شده است.



شکل ۶-۱۱- در رساناهای فلزی، الکترون‌های آزاد نقشی اساسی در رسانش گرمایی بازی می‌کنند.

برخی آشپزها برای آنکه سیب زمینی زودتر آب پز شود ابتدا چند سیخ کوچک فلزی درون سیب زمینی می گذارند و بعد آن را در آب می اندازند و گرم می کنند. علت این کار آشپزها چیست؟



شکل ۶-۱۲. میله ای به طول L و مقطع A بین دو منبع با دماهای T_C و T_H قرار گرفته است.

با شناسایی عوامل مؤثر بر انتقال گرما به روش رسانش می توانیم گرمای منتقل شده از یک سربه سر دیگر میله ای را محاسبه کنیم.

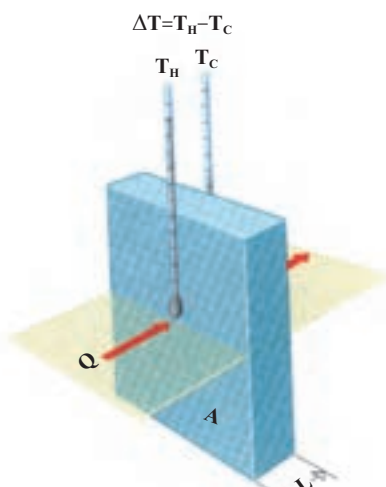
فرض کنید طول یک میله L و مساحت مقطع آن A باشد (شکل ۶-۱۲). دمای انتهای سرد میله را T_C و دمای انتهای گرم میله را T_H می نامیم. گرمایی که در مدت زمان t از انتهای گرم میله به انتهای سرد آن شارش می یابد را با Q نشان می دهیم. نسبت $\frac{Q}{t}$ ، آهنگ رسانش گرمایی نامیده می شود و آن را با H نشان می دهیم. تجربه نشان می دهد که آهنگ رسانش گرمایی (H) با مساحت مقطع میله (A) و اختلاف دمای دو انتهای میله ($T_H - T_C$) نسبت مستقیم و با طول میله (L) نسبت وارون دارد، یعنی:

$$H = \frac{Q}{t} = k \frac{A(T_H - T_C)}{L} \quad (۶-۱۲)$$

در این رابطه، k رسانندگی گرمایی است که به جنس میله بستگی دارد. یکای رسانندگی گرمایی در SI، $J/s.m.K$ یا وات بر متر - کلوین ($W/m.K$) است. جدول ۶-۷ رسانندگی گرمایی برخی مواد را به دست می دهد.

جدول ۶-۷. رسانندگی گرمایی برخی از مواد

ماده	رسانندگی گرمایی ($W/m.K$)	ماده	رسانندگی گرمایی ($W/m.K$)
پشم شیشه	0.05	یخ	2
چوب پنبه	0.04	سرب	35
هوای خشک	0.024	آهن	80
انواع چوب	0.1 تا 0.2	آلومینیم	235
آب	0.6	نقره	420
آجر	0.6 تا 0.8	مس	400
انواع شیشه	0.6 تا 1		



شکل ۶-۱۳. تیغه ای به طول L

و مقطع A بین دو منبع با دماهای T_C و T_H قرار گرفته است.

اگرچه رابطه ۶-۱۲ برای میله بیان شده است، ولی برای هر تیغه یا بُره ای با مساحت مقطع A و ضخامت L نیز برقرار است (شکل ۶-۱۳).

فعالیت ۱۴-۷



تصویری بسیار بزرگ شده از موی یک خرس قطبی

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

مثال ۱۷-۷

طول و عرض شیشه پنجره اتاقی $2/0\text{ m}$ و $1/5\text{ m}$ و ضخامت آن 5 mm است، در یک روز زمستانی دمای وجهی از شیشه که در تماس با هوای بیرون است، -3°C و دمای وجهی از شیشه که در تماس با هوای درون اتاق است، $+2^\circ\text{C}$ است. آهنگ رسانش گرمایی از طریق شیشه چقدر است؟ پاسخ: با استفاده از رابطه ۶-۱۲ داریم:

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

آنگاه با قرار دادن $k = 1\text{ W/m.K}$ ، $A = 1/5 \times 2/0 = 3\text{ m}^2$ ، $\Delta T = 5^\circ\text{C}$ و $L = 0/005\text{ m}$ در رابطه بالا خواهیم داشت:

$$H = 1 \times \frac{(3)(5)}{0/005} = 3000\text{ W}$$

اگر بخواهیم با استفاده از یک بخاری برقی گرمای هدر رفته از پنجره را جایگزین کنیم، توان گرمایی این بخاری 3000 W می شود.

مثال ۱۸-۷



برای جلوگیری از اتلاف گرما در شیشه پنجره های معمولی، آنها را با شیشه های دوجداره با لایه میانی هوا جایگزین می کنند. طول و عرض شیشه دوجداره پنجره اتاقی به ترتیب 2 m و $1/5\text{ m}$ ، ضخامت هریک از دو لایه شیشه ای آن 5 mm و ضخامت لایه میانی هوا 10 mm است. در یک روز زمستانی، دمای وجهی از شیشه که در تماس با هوای سرد بیرون اتاق است -3°C و دمای وجهی از شیشه که در تماس با هوای گرم درون اتاق است $+2^\circ\text{C}$ است. آهنگ رسانش گرمایی را در این حالت با عدد به دست آمده در مثال قبل مقایسه کنید. در این حالت می توان شیشه دوجداره را مانند تیغه یا بره ای با همان مساحت و همان ضخامت در نظر گرفت که رسانندگی گرمایی مؤثر آن تقریباً با رسانندگی گرمایی هوا برابر است^۱.

۱- حل درست مسائلی از این دست با فرض یکسان بودن آهنگ رسانش گرمایی در لایه های مختلف انجام می شود و به رابطه زیر می انجامد که تدریس آن موضوع کار این کتاب نیست،

$$H = A \left(\frac{1}{\frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \dots + \frac{L_n}{k_n}} \right) (T_H - T_C)$$

در مثال ۶-۱۸، $n = 3$ است.

پاسخ: با استفاده از رابطه ۶-۱۲ داریم:

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

$$H = 0.024 \times \frac{3 \times 5}{0.02} = 18W$$

آنگاه با قرار دادن مقادیر داده شده خواهیم داشت

در این محاسبه از رسانندگی گرمایی هوا، $k = 0.024 W / m.K$ استفاده شد.

همان‌طور که می‌بینید عدد به‌دست آمده، تفاوت زیادی (۱۶۷ بار کوچک‌تر) با عدد به‌دست آمده در مثال قبل دارد که این اهمیت استفاده از شیشه‌های دوجداره برای جلوگیری از اتلاف گرما را نشان می‌دهد.

همرفت: وقتی ظرف بزرگی از آب را روی اجاق می‌گذاریم چطور همه آب آن در مدت نه‌چندان زیادی گرم می‌شود؟ بخاری چگونه هوای داخل اتاق را گرم می‌کند؟ انتقال گرما در مایعات و گازها که معمولاً رساناهای گرمایی خوبی نیستند به روش **همرفت**، یعنی همراه با جابه‌جایی بخشی از خود ماده، انجام می‌گیرد. همان‌طور که خواهیم دید 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.

آزمایش ۷-۵



وسایله‌های آزمایش: لوله همرفت، گیره و پایه، آب سرد، دانه‌های پرمگنات پتاسیم یا جوهر، شعله گاز

شرح آزمایش:

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

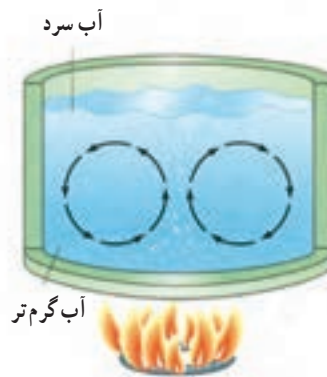
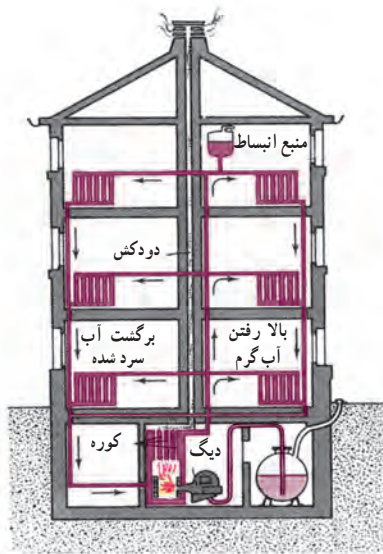
همرفت می‌تواند در همه شاره‌ها، چه مایع و چه گاز، به وقوع بپیوندد. در همرفت، برخلاف رسانش گرمایی، انتقال گرما با انتقال تکه‌هایی از خود ماده صورت می‌گیرد و مولکول‌ها مسافت‌هایی طولانی را طی می‌کنند تا انرژی منتقل شود. وقتی شاره از زیر در تماس با منبعی گرم‌تر از خود قرار گیرد، مولکول‌های زیرین شاره حرکت می‌کنند و بیشتر از هم دور می‌شوند. چگالی این قسمت از

شاره کاهش می‌یابد و به بالا رانده می‌شود. شارۀ خنک‌تر و چگال‌تر پایین می‌آید و جای شارۀ گرم شده را می‌گیرد و به این ترتیب جریان‌های همرفتی به وجود می‌آیند. گرم شدن هوای داخل اتاق به وسیلۀ بخاری یا شویمینه (شکل ۶-۱۴)، جریان‌های باد ساحلی (شکل ۶-۱۵)، گرم شدن آب درون قابلمه (شکل ۶-۱۶)، انتقال گرما از کورۀ هسته‌ای واقع در مرکز خورشید به سطح آن و ... همگی براثر پدیده همرفت رخ می‌دهند. همه این مثال‌ها نمونه‌هایی از **همرفت طبیعی** است.

نوع دیگری از همرفت، **همرفت واداشته** است که در آن شاره به کمک یک تلمبه (طبیعی یا مصنوعی) به چرخش واداشته می‌شود تا با این چرخش انتقال گرما صورت پذیرد. سیستم گرم‌کنندۀ مرکزی در ساختمان‌ها (شکل ۶-۱۷)، سیستم خنک‌کنندۀ موتور اتومبیل، دستگاه گردش خون در بدن جانوران خونگرم و ... مثال‌هایی از انتقال گرما به روش همرفت واداشته هستند.



شکل ۶-۱۴- گرم شدن هوای اتاق به روش همرفت



شکل ۶-۱۵- جریان‌های باد ساحلی در شب و روز، ناشی از پدیده همرفت. به جهت چرخش هوا توجه کنید.

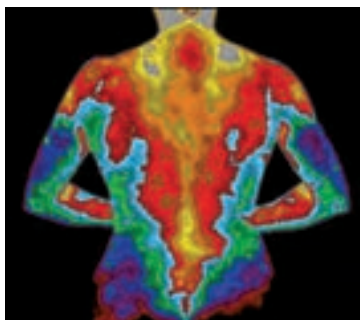
شکل ۶-۱۶- گرم شدن آب درون قابلمه به روش همرفت

شکل ۶-۱۷- طرحی از سیستم گرم‌کنندۀ مرکزی در ساختمان‌ها

وارونگی هوا^۱: وارونگی هوا که معمولاً در شب‌های آرام و بدون ابر زمستان شروع می‌شود پیامد توقف همرفت طبیعی در جو زمین است. در چنین شب‌هایی لایۀ هوای بسیار سردی بین سطح زمین و لایۀ هوای گرم بالاتر قرار می‌گیرد. این لایۀ هوای گرم، پیش از این براثر پدیده همرفت در یک روز معمولی ایجاد شده است. در واقع سردی زیاد لایۀ هوای سرد مجاور زمین آن را چگال‌تر از هوای سردی می‌کند که در شرایط طبیعی به پایین رانده می‌شود (شکل ۶-۱۸ الف) و

بدین ترتیب مانع از چرخش هوا بر اثر پدیده همرفت می شود. در این وضعیت گرد و غبار و گازهای آلاینده شهری واقع در لایه هوای سرد مجاور زمین در این لایه حبس می شوند (شکل ۶-۱۸). به این پدیده **وارونگی هوا** می گویند. وارونگی هوا تا وقتی تداوم دارد که بر اثر وزیدن باد لایه های هوای سرد و گرم جابه جا شود یا با افزایش دمای قابل توجه لایه سرد مجاور زمین، همرفت طبیعی دوباره در جو زمین از سر گرفته شود. با توجه به اینکه در این پدیده الگوی تغییرات دما در یک روز طبیعی برهم می خورد به آن وارونگی دما نیز گفته شده است.

شکل ۶-۱۸- وارونگی هوا باعث می شود گرد و غبار و گازهای آلاینده که عمدتاً ناشی از تردد خودروها است در هوای سرد مجاور زمین حبس شوند. همرفت طبیعی، در حالت عادی باعث پراکندگی گرد و غبار و گازهای آلاینده می شود.



شکل ۶-۱۹- بدن یک شخص معمولی با آهنگی در حدود 100 W تابش گرمایی می کند.

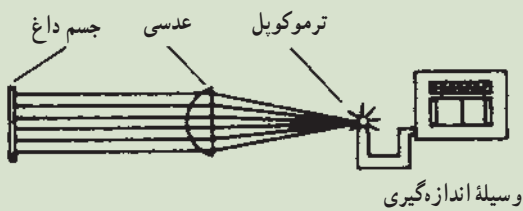


شکل ۶-۲۰- درون مکعب لایسی آب داغ می ریزند. تابش گرمایی از چهار وجه جانبی مکعب، که رنگ های متفاوتی دارند، با هم فرق دارد.

تابش گرمایی: همه ما تجربه گرم شدن در نور خورشید را داریم. با نزدیک کردن دستان به اجسام گرمی مانند کتری روی اجاق روشن یا رادیاتور گرم شوفاژ نیز تجربه مشابهی خواهیم داشت. دست خود را زیر صفحه اتوی روشنی نگه دارید؛ دست شما گرم می شود. آیا گرما با روش رسانش یا همرفت از اتو به دستان رسیده است؟ می دانید که هوا رسانای خوبی نیست و چون دست شما زیر اتو قرار دارد انتقال گرما به روش همرفت نیز نمی تواند رخ داده باشد. خورشید، اتوی داغ، کتری، رادیاتور شوفاژ و ... از خود پرتوهایی گسیل می کنند که دست ما با جذب کردن آن گرم می شود. این پرتوها از نوع امواج الکترومغناطیسی هستند که در درس فیزیک سال آخر دبیرستان با آنها بیشتر آشنا می شوید و خواهید دید که تولید امواج الکترومغناطیسی به روش های مختلفی انجام می شود. یکی از این روش ها تابش الکترومغناطیسی جسم به دلیل دمای آن است. در واقع هر جسم می تواند از خود تابش الکترومغناطیسی گسیل کند که شدت و بسامد این تابش به دمای جسم بستگی دارد و به همین دلیل آن را **تابش گرمایی** می نامیم. مثلاً سطح بدن یک فرد معمولی در محیطی با دمای 22°C تابشی گرمایی با آهنگی در حدود 100 W دارد (شکل ۶-۱۹) در دماهای متداول، اجسام معمولاً تابش فروسرخ دارند. این نوع انتقال گرما به محیط مادی نیاز ندارد و با سرعت نور در خلأ منتشر می شود. تابش گرمایی از سطح هر جسم علاوه بر دما به مساحت، میزان صیقلی بودن و رنگ سطح آن جسم بستگی دارد (شکل ۶-۲۰). سطوح صاف و درخشان با رنگ های روشن تابش گرمایی کمتری دارند، در حالی که تابش گرمایی سطوح تیره، ناصاف و مات بیشتر است. تف سنج های تابشی یکی از وسایل اندازه گیری دما برای اجسام داغ هستند که اساس کار آنها بر تابش گرمایی گسیل شده از سطح اجسام بنا شده است.



تف‌سنج (پیرومتر): تف‌سنج‌ها، دماسنج‌هایی هستند که براساس تابش حاصل از اجسام طراحی شده‌اند. اهمیت تف‌سنج‌ها در این است که برخلاف سایر دماسنج‌ها بدون تماس با جسمی که می‌خواهیم دمای آن را اندازه بگیریم، دمای جسم را اندازه می‌گیرند. دو نوع معروف این دماسنج‌ها، عبارت‌اند از تف‌سنج تابشی و تف‌سنج نوری.

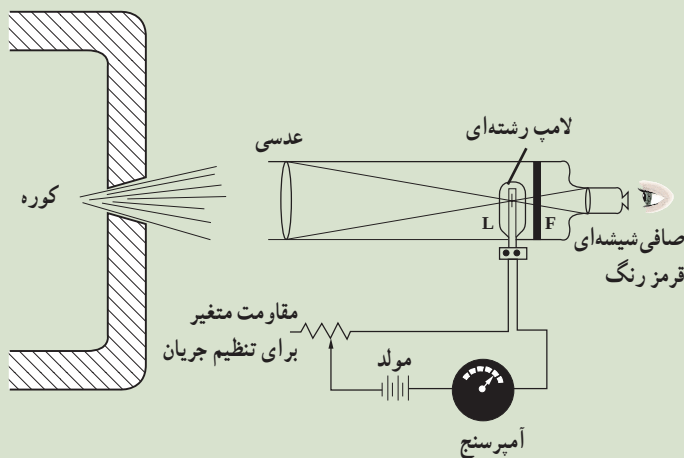


(الف) تف‌سنج تابشی و طراحی از ساختار آن

(الف) تف‌سنج تابشی: این تف‌سنج وسیله‌ای است که دمای جسم داغ را با متمرکز کردن تابش گرمایی گسیل شده از جسم روی یک ترموکوپل یا آرایه‌ای از ترموکوپل‌ها اندازه می‌گیرد. می‌توان دمای جسم را از روی جریان خروجی ترموکوپل تعیین کرد.

(ب) تف‌سنج نوری: این تف‌سنج وسیله‌ای است که برای اندازه‌گیری دمای اجسام خیلی داغ که تابشی مرئی دارند (مانند کوره‌ها) به کار می‌رود. اساس کار این تف‌سنج، مقایسه

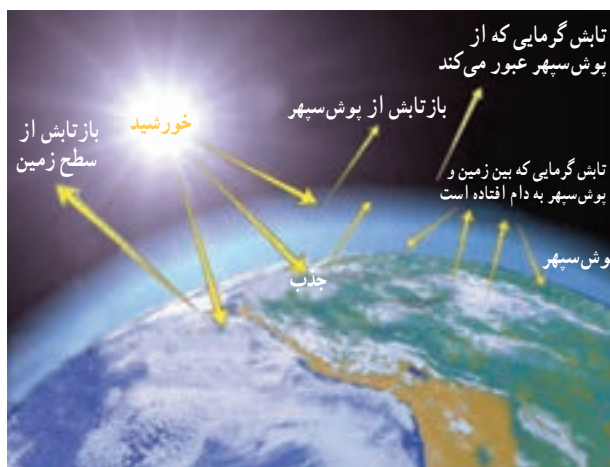
رنگ و شدت نور تابیده از جسم داغ، با رنگ و شدت نور یک لامپ رشته‌ای است. نور تابیده از جسم داغ، توسط یک عدسی روی رشته لامپ متمرکز می‌شود و ناظر که از طریق یک دوربین رشته ملتهب لامپ را در زمینه نور حاصل از جسم داغ می‌بیند، شدت جریان لامپ را آنقدر تغییر می‌دهد تا روشنایی لامپ برابر روشنایی زمینه شود، به طوری که رشته لامپ محو شود. با اندازه‌گیری این جریان می‌توان دمای جسم داغ را تعیین کرد.



(ب) تف‌سنج نوری و طراحی از ساختار آن



اثر گلخانه‌ای^۱: بخشی از نور خورشید با عبور از جو زمین به سطح آن می‌رسد. بخش عمده این نور جذب زمین می‌شود، زمین گرم می‌شود و با تابش گرمایی از خود امواج فروسرخ گسیل می‌کند. وجود گازهایی مانند CO_2 ، بخار آب و متان (CH_4) – که مولکول‌های جذب‌کننده بسیار خوبی برای امواج فروسرخ هستند – در لایه پوش سپهر (استراتوسفر) جو زمین (لایه‌ای حدوداً در فاصله ۱۰ تا ۱۸ کیلومتری سطح زمین) باعث کدر شدن این لایه برای تابش‌های فروسرخ می‌شود. این لایه بیشتر تابش گرمایی حاصل از زمین را جذب می‌کند. خود این لایه نیز تابش گرمایی می‌کند. بخشی از تابش گرمایی لایه پوش سپهر از جو خارج می‌شود، ولی بیشتر آن به زمین بازمی‌گردد و به این ترتیب رفت و برگشتی از تابش گرمایی بین این لایه و سطح زمین رخ می‌دهد. در تشابه با گلخانه‌ها که با ایجاد محیطی محصور مانع از جریان هوا و خروج هوای گرم از گلخانه‌ها می‌شوند، به این به دام افتادن تابش گرمایی بین لایه پوش سپهر و سطح زمین **اثر گلخانه‌ای** و به گازهای موجود در لایه پوش سپهر که سبب این پدیده می‌شوند **گازهای گلخانه‌ای** می‌گویند. اگر لایه پوش سپهر وجود نداشت، دمای میانگین سطح زمین چیزی در حدود 18°C – می‌شد ولی اینک این دما در حدود $15^\circ\text{C} +$ است؛ یعنی اثر گلخانه‌ای حدود 33°C به دمای میانگین سطح زمین افزوده است (شکل ۶-۲۱).



شکل ۶-۲۱ – جذب، بازتابش و تابش گرمایی در جو و سطح زمین و اثر گلخانه‌ای

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

خوب است بدانید که همواره در حالت تعادل، انرژی تابشی جذب شده توسط سطح زمین با انرژی تابشی گسیل شده از آن (بازتابش و تابش گرمایی) برابر است. همین برابری در خارجی‌ترین سطح جو زمین نیز وجود دارد. جذب و گسیل انرژی تابشی در درون خود جو نیز برابر است.

^۱Greenhouse effect

قانون گازهای کامل (آرمانی): به گاز درون یک ظرف در بسته، مثلاً گاز درون یک قوطی

اسپری خوشبوکننده فکر کنید. با داغ کردن این گاز، جنبش مولکولی در آن بسیار زیاد می شود و فشار وارد از گاز به دیواره های ظرف افزایش می یابد و این می تواند موجب ترکیدن ظرف شود. اگر در یک بطری نوشابه پلاستیکی و توخالی را ببندیم و آن را درون جایی یخچال بگذاریم، پس از مدتی بطری میخاله می شود. شکل ۲۲-۶ مخزنی را نشان می دهد که به همین دلیل میخاله شده است. شکل ۲۳-۶ یک اسباب بازی را نشان می دهد که مخزن کوچک شیشه ای آن تا نیمه از یک مایع رنگی پر شده است. وقتی مخزن شیشه ای را در دستان خود بگیرید، فشار هوا و بخار مایع در نیمه خالی مخزن زیاد می شود و سطح مایع را به طرف پایین می راند. این امر سبب می شود مایع در لوله باریک و ماریچ بالا رود. هرچه دستان شما گرم تر باشد و بهتر مخزن شیشه ای را دربرگیرد، مایع در لوله باریک بیشتر بالا می رود.

دانشمندانی مانند بویل، ماریوت، شارل، گیلوساک و ... تلاش های بسیاری کرده اند تا رابطه بین فشار، حجم و دمای مقدار معینی گاز درون یک محفظه را بیابند. شکل ۲۴-۶ استوانه (سیلندر) مدرّجی را نشان می دهد که مقداری گاز در آن محبوس شده است. گاز، زیر پیستونی قرار دارد که می تواند به راحتی درون استوانه بالا و پایین برود. دماسنج و فشارسنجی، دما و فشار گاز را نشان می دهند و حجم گاز نیز از درجه بندی روی بدنه استوانه معلوم می شود. برای گرم یا سرد کردن گاز درون استوانه می توانیم دستگاه را در محیطی سرد یا گرم قرار دهیم و همچنین با جابه جا کردن پیستون می توان حجم گاز را به میزان دلخواه تغییر داد.

اگر گاز درون محفظه به اندازه کافی رقیق و یا چگالی آن به حدّ کافی کم باشد، یعنی مولکول های گاز آنقدر از هم دور باشند که با هم برهم کنش نداشته باشند، گاز را کامل (آرمانی) می نامیم. اگر تعداد مول های گاز کامل درون ظرفی ثابت باشد، نسبت حاصل ضرب فشار در حجم به دمای مطلق گاز، مقدار ثابتی است، یعنی $\frac{PV}{T}$ برای آن تغییر نمی کند. به عبارتی دیگر، اگر فشار، حجم و دمای گاز کامل در یک حالت به ترتیب P_1 ، V_1 و T_1 و در حالتی دیگر به ترتیب P_2 ، V_2 و T_2 باشد، داریم:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} = \dots \quad (۱۳-۶)$$

گرچه رابطه ۱۳-۶ برای گازهای کامل (آرمانی) برقرار است ولی برای گازهای واقعی که چگالی آنها به حدّ کافی کم باشد نیز با دقت نسبتاً خوبی برقرار است. در این رابطه P فشار مطلق گاز (نه فشار پیمانه ای) و دما برحسب کلوین است.



شکل ۲۲-۶- سرد شدنِ هوای درون مخزن باعث کاهش فشار این هوا و در نتیجه میخاله شدن مخزن شده است.



شکل ۲۳-۶- با در دست گرفتن جاب شیشه ای و گرم کردن آن، مایع رنگی لوله ماریچ بالا می رود.



شکل ۲۴-۶- دستگاه تحقیق قانون گازهای کامل

فعالیت ۱۵-۷

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

مثال ۱۹-۷

زیر پیستون یک سیلندر، هوایی با حجم 12°cm^3 و فشار یک اتمسفر وجود دارد. با فشردن پیستون، حجم هوای محبوس را به 2°cm^3 می‌رسانیم، در حالی که دمای آن را ثابت نگه داشته‌ایم. اکنون فشار هوا چقدر است؟ (هوای محبوس درون سیلندر را گاز کامل فرض کنید.)

پاسخ: چون دما ثابت است، داریم:

$$T_1 = T_2$$

و در نتیجه رابطه (۶-۱۳) به صورت زیر درمی‌آید:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

این رابطه که آن را حدود ۳۵۰ سال پیش **رابرت بویل**^۱ انگلیسی و **امه ماریوت**^۲ فرانسوی مستقل از هم به دست آوردند، به **قانون بویل - ماریوت** مشهور است.

در این مثال $P_1 = 1 \text{ atm}$ ، $V_1 = 12^\circ \text{cm}^3$ ، $V_2 = 2^\circ \text{cm}^3$ و P_2 مجهول است. در نتیجه داریم: $P_2(2^\circ) = P_1(12^\circ)$ (۱) و از آنجا $P_2 = 6 \text{ atm}$ می‌شود.

فعالیت ۱۶-۷

برای بررسی درستی قانون بویل - ماریوت آزمایشی را طراحی کنید.

مثال ۲۰-۷

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

پاسخ: در این آزمایش فشار ثابت مانده است، یعنی

$$P_1 = P_2$$

بنابراین رابطه ۶-۱۳ به صورت زیر درمی‌آید:

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

۱- Robert Boyle (1627 – 1691)

۲- Edme Mariotte (1620 – 1684)

این رابطه را در حدود ۲۰۰ سال پیش **ژاک شارل**^۱ و **ژورف گی-لوساک**^۲ به طور مستقل از یکدیگر به دست آوردند و به قانون **شارل-گی لوساک** معروف است.

با استفاده از داده‌های این مثال داریم:

$$T_1 = 27 + 273 = 300^\circ\text{K} \quad V_1 = 2/0 \text{ liter}$$

$$T_2 = 87 + 273 = 360^\circ\text{K} \quad V_2 = ?$$

بنابراین داریم:

$$\frac{2/0}{300} = \frac{V_2}{360}$$

و در نتیجه $V_2 = 2/4 \text{ liter}$ می‌شود.

فعالیت ۷-۱۷

سر سُرنگی شیشه‌ای (که پیستون آن آزادانه حرکت می‌کند) را بسته و آن را درون ظرف آبی می‌گذاریم. توضیح دهید با روشن کردن چراغ زیر ظرف، هریک از کمیت‌های دما، حجم و فشار هوای درون سرنگ چگونه تغییر می‌کند؟

مثال ۷-۲۱

درون استوانه‌ای ۱۲ لیتر گاز اکسیژن با دمای 7°C وجود دارد. فشار گاز درون استوانه را با فشارسنجی اندازه می‌گیریم. فشارسنج ۱۴ atm را نشان می‌دهد. دمای گاز را به 77°C و حجم آن را به ۲۵ لیتر می‌رسانیم. فشاری که فشارسنج در پایان نشان می‌دهد، چند اتمسفر است؟ فشار هوای بیرون استوانه ۱ atm 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:

$$\begin{cases} P_1 = P_g + P_o = 14 + 1 = 15 \text{ atm} \\ V_1 = 12 \text{ liter} \\ T_1 = \theta_1 + 273 = 7 + 273 = 280^\circ\text{K} \end{cases} \quad \begin{cases} P_2 = ? \\ V_2 = 25 \text{ liter} \\ T_2 = \theta_2 + 273 = 77 + 273 = 350^\circ\text{K} \end{cases}$$

با توجه به قانون گازهای کامل داریم:

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

$$P_{g_2} = P_2 - P_o = 9 - 1 = 8 \text{ atm}$$

بنابراین فشاری که اکنون فشارسنج نشان می‌دهد برابر است با

^۱ Jacques A. S. Charles (1746 – 1823)

^۲ Josef Gay – Lussac (1778 – 1850)

اسماعیل جَزْری

بدیع الزمان ابوالعزّاسماعیل بن رزّاز جزری مشهور به اسماعیل جزری از مهندسان به نام اسلام در سده

ششم هجری قمری است. تنها اثر به جامانده از او کتابی به نام «الجامع

بین العلم و العمل النافع فی صناعه الحیل» که به اختصار «الحیل»

نیز نامیده شده است. این کتاب به زبان عربی است و سندی

مهم در تاریخ فنّاوری محسوب می شود. مختصر اطلاعاتی که

از زندگانی جزری در اختیار داریم مبتنی بر مطالب خود او

در مقدمه کتابش است. تاریخ تولد او مشخص نیست، ولی

از قراین چنین برمی آید که او در بین جمادی الاخر و شعبان

سال ۶۰۲ هجری قمری درگذشته است. در مورد نژاد و قومیت

وی نیز در منابع چیزی نمی توان یافت ولی با توجه به نام عربی

او و قرائن آن زمان فرض می شود که وی عرب بوده است، هرچند

فرضیه هایی در مورد آشوری، ایرانی، ترک یا گُرد بودن وی نیز وجود دارد.

جزری در شهر «آمد» می زیست که فرمانروایان آن در دیار بکر حکومت می کردند و همان طور که در مقدمه کتاب

خود آورده است، کتاب «الحیل» را به دستور ناصرالدین محمود فرمانروای آن ملک، و بین سال های ۵۹۷ تا ۶۰۲

هجری قمری نوشته است. کتاب «الحیل» یکی از مهم ترین و برجسته ترین کتاب های مهندسی مکانیک در تاریخ

تمدن اسلامی محسوب می شود. کتاب به شش بخش تقسیم می شود. بخش اول شامل شرح شش نوع ساعت

آفتابی و چهار ساعت شمعی؛ بخش دوم شرح ده دستگاه خودکار توزیع نوشیدنی؛ بخش سوم شرح چهار آفتابه

و ظرف خودکار برای ریختن آب و شستشوی دست و شش

تشت اندازه گیری خون هنگام رگ زنی؛ بخش چهارم شرح

شش فواره است که در فاصله های زمانی مشخصی به طور

خودکار تغییر شکل می دهند؛ بخش پنجم شرح پنج دستگاه

آب کشی از آبگیر و بخش ششم شامل توصیفی از دری است

که از برنج ریخته گری شده ساخته بود و نیز شرح وسیله ای

هندسی برای یافتن مرکز دایره گذرنده بر هر سه نقطه دلخواه

واقع بر یک صفحه یا سطح یک کره است.

جزری برای هر دستگاه یک تصویر اصلی رسم کرده

است که نشان دهنده شکل کلی دستگاه است. مثلاً شکل

روبه رو تصویری از دستگاهی است که برای بالا آوردن آب آبگیر

یک چاه به کمک یک چارپا در این کتاب رسم شده است.

واضح است برای طراحی این دستگاه به محاسبات



دقیقی نیاز است؛ از جمله قطر چرخ دنده ها، تعداد دنده ها، استحکام چرخ دنده ها و محورها و به ویژه بار ناشی

از وزن آب درون ملاقه ها که نخست به محور و از آنجا به چرخ دنده های آن و سپس به چرخ دنده های قطعی وارد

می شود. البته مهندسان آن دوره روش ترسیم سه بُعدی تصاویر را نمی دانستند و رسم فنی به شکل امروزی وجود

نداشت، ولی این نقص مانع از درک عملکرد دستگاه های کتاب نمی شود و دستگاه هایی که در این کتاب توضیح

داده شده است همگی از نظر فنی درست و قابل ساخت اند و سه نمونه از آنها در جشنواره جهانی اسلام در سال

۱۹۷۶ (۱۳۵۵ هجری شمسی) به نمایش درآمده است. در کتاب جزری واژه ها و اصطلاحات فنی بسیاری به زبان

فارسی وجود دارد که نشان دهنده تأثیر عمیق ایرانیان بر فنّاوری جهان اسلام است.

پرسش‌های فصل ششم

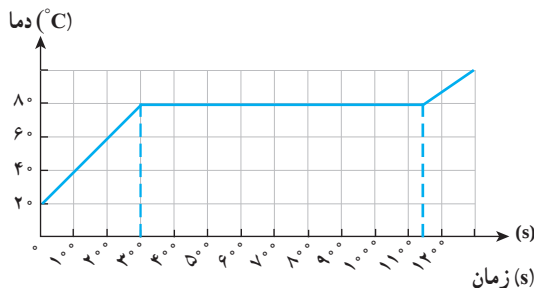
- ۱ هنگامی که با دماسنج جیوه‌ای دمای آبی را اندازه می‌گیرید، موقع خواندن دما، باید مخزن دماسنج حتماً درون آب باشد، ولی وقتی پزشک دمای بدن بیمار را اندازه می‌گیرد، دماسنج را از محل تماس با بدن بیمار دور می‌کند، بعد دما را می‌خواند. چه تفاوتی بین دماسنج پزشکی و دماسنج جیوه‌ای معمولی وجود دارد که این روش اندازه‌گیری را توجیه می‌کند؟
- ۲ کدام گزینه‌ها درباره فرایند ذوب درست است؟
 الف) افزایش فشار وارد بر جسم در بیشتر موارد، سبب پایین رفتن نقطه ذوب می‌شود.
 ب) افزایش فشار بر روی یخ، سبب افزایش نقطه ذوب آن می‌شود.
 پ) فرایند ذوب، عملی گرماگیر است.
 ت) گرمایی که جسم جامد در نقطه ذوب خود می‌گیرد تا به مایع تبدیل شود، سبب تغییر دمای آن نمی‌شود.
 ث) دادن گرمای نهان ذوب به جامدی که به نقطه ذوب رسیده است، آن را ذوب می‌کند.
- ۳ یکی از روش‌های بالابردن دمای یک جسم، دادن گرما به آن است. اگر به جسمی گرما دهیم، آیا دمای آن حتماً بالا می‌رود؟ توضیح دهید.
- ۴ قبل از تزریق دارو یا سرم به یک بیمار، محل تزریق را با الکل تمیز می‌کنند. این کار سبب احساس خنکی در محل تزریق می‌شود. علت را توضیح دهید.
- ۵ چرا سطح بیرونی بطری نوشابه سرد، در هوای گرم عرق می‌کند؟
- ۶ الف) آیا می‌توان یخ را بدون آنکه ذوب شود تا دمایی بالاتر از 0°C گرم کرد؟
 ب) آیا می‌توان آب را بدون آنکه یخ ببندد، تا دمایی پایین‌تر از 0°C سرد کرد؟
- ۷ برای خنک کردن موتور اتومبیل لازم است مایعی نظیر مخلوط ضد یخ با آب و یا آب معمولی در اطراف سیلندر و درون حفره‌های سیلندر گردش کند. بهتر است گرمای ویژه مایع کم باشد یا زیاد؟ چرا؟ چه عوامل دیگری نیز می‌تواند دارای اهمیت باشد؟
- ۸ چه روش‌هایی پیشنهاد می‌کنید که نتیجه آزمایش اندازه‌گیری گرمای ویژه از دقت بیشتری برخوردار باشد؟ توضیح دهید.

مسائل فصل ششم

- ۱ دماهای زیر را بر حسب درجه سلسیوس مشخص کنید :
 الف) 0°K ب) 273°K پ) 373°K ت) 546°K
- ۲ هنگامی که 1kg آب را با گرمکن غوطه‌ور در آب به مدت ۵ دقیقه گرم می‌کنیم، دمای آب 3°C بالا می‌رود. الف) توان متوسط گرمکن را حساب کنید.
 ب) اگر همین گرمکن آب را به مدت ۹ دقیقه گرم کند، دمای آن را چقدر افزایش خواهد داد؟

۳) دمای یک قطعه فلز ۶/۰ کیلو گرمی را توسط یک گرمکن ۵۰ واتی در ۱۱۰ s از ۱۸°C به ۳۸°C رسانده ایم. این آزمایش برای گرمای ویژه فلز چه مقداری را ارائه می دهد؟ حدس می زنید که این جواب از مقدار واقعی برای گرمای ویژه بیشتر است یا کمتر؟ توضیح دهید.

۴) گرماسنجی به جرم ۲۰۰ گرم از مس ساخته شده است. یک قطعه ۸۰ گرمی از یک ماده نامعلوم همراه با ۵۰ گرم آب به درون گرماسنج ریخته می شود. دمای این مجموعه ۳۰°C است. در این هنگام ۱۰۰ گرم آب ۷۰°C به گرماسنج اضافه می شود، دمای تعادل ۵۲°C می شود. گرمای ویژه ماده نامعلوم را محاسبه کنید.



۵) به یک جسم جامد ۵/۰ کیلو گرمی توسط یک گرمکن ۱۰۰ واتی گرما می دهیم. منحنی تغییرات دمای این جسم با زمان در شکل روبه رو نشان داده شده است.

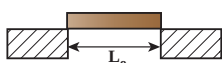
الف) چه زمانی طول می کشد تا این جامد به نقطه ذوب خود برسد؟
ب) با استفاده از نمودار، گرمای ویژه جامد و گرمای نهان ذوب آن را محاسبه کنید.

۶) گرمکنی در هر ثانیه ۲۰۰ ژول انرژی فراهم می کند. چه مدت زمان طول می کشد تا این گرمکن ۱/۰ کیلو گرم آب ۱۰۰°C را به بخار آب ۱۰۰°C تبدیل کند؟ این گرمکن در همین مدت زمانی، چه مقدار یخ ۰°C را به آب ۰°C می تواند تبدیل کند؟

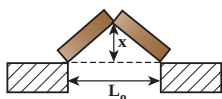
۷) یک گرمکن که با آهنگ ثابت ۵۰۰ وات انرژی تولید می کند، به طور کامل در یک قطعه یخ بزرگ با دمای ۰°C گذاشته شده است. در مدت ۱۳۲۰ ثانیه، ۲ کیلو گرم آب با دمای ۰°C تولید می شود. گرمای نهان ذوب یخ را حساب کنید.

۸) یک گرمکن ۵۰ واتی غوطه ور در آب به طور کامل در ۱۰۰ گرم آب درون یک گرماسنج قرار داده می شود.
الف) این گرمکن در مدت یک دقیقه دمای آب و گرماسنج را از ۲۰°C به ۲۵°C می رساند. ظرفیت گرمایی گرماسنج را حساب کنید.
ب) چه مدت طول می کشد تا دمای آب درون گرماسنج از ۲۵°C به نقطه جوش (۱۰۰°C) برسد؟
پ) چه مدت طول می کشد تا ۲۰ گرم آب درون این گرماسنج به بخار تبدیل شود؟

۹) یک ماده فولادی ابتدا تا دمای ۸۰۰°C گرم شده و سپس در روغنی به جرم ۲ kg و دمای ۱۰°C فرو برده می شود. در نتیجه، دمای روغن به ۴۰°C می رسد. با فرض آنکه دمای ماده فولادی درست پیش از ورود به روغن به اندازه ۲۰°C کم شده باشد، جرم آن چقدر بوده است؟ گرمای ویژه فولاد و روغن به ترتیب برابر با $c_{\text{فولاد}} = ۰/۶۳ \text{ kJ/kgK}$ و $c_{\text{روغن}} = ۱/۹ \text{ kJ/kgK}$ است.



۱۰) بر اثر افزایش دما به اندازه ۳۲°C، میله ای که در مرکز آن شکافی وجود دارد به بالا تاب می خورد. اگر فاصله ثابت $L_0 = ۳/۷۷ \text{ m}$ و ضریب انبساط خطی میله $\alpha = ۲۵ \times ۱۰^{-۶} / ^\circ\text{C}$ باشد، بالا رفتگی x مرکز میله چقدر است؟



۱۱) با استفاده از مقادیر ضریب انبساط طولی در جدول ۵-۶، انبساط تیر فولادی با طول اولیه ۲۵ متر، در اثر افزایش دما از ۱۰°C تا ۳۰°C را حساب کنید.

۱۲) با استفاده از جدول ۵-۶ حساب کنید که چه مقدار افزایش دما باعث می شود که طول یک خط کش ۵/۰ متری برنجی ۱/۱ میلی متر افزایش یابد.

۱۳ طول‌های یک سیم آهنی و یک سیم مسی در دمای 20°C با هم یکسان و برابر 1.0 m است. آیا در دمای 60°C اختلافی در طول سیم‌ها مشاهده می‌شود؟ اگر پاسخ مثبت است مقدار آن را به دست آورید. ضریب انبساط طولی آهن را $11 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ در نظر بگیرید.

۱۴ مقداری نفت خام در مخزنی استوانه‌ای به ارتفاع $h=1\text{ m}$ ریخته شده است. در دمای 10°C - فاصله بین سطح نفت تا بالای ظرف برابر $\Delta h=5\text{ cm}$ است. ضریب انبساط حجمی نفت $\beta=10^{-4}\text{ K}^{-1}$ است. اگر از انبساط دیواره ظرف در حین افزایش دما چشم‌پوشی شود، در چه دمایی نفت از ظرف سرریز می‌شود؟

۱۵ در روزی که دما 0°C است برای پنجره‌ای، شیشه‌ای به طول 6 m انداخته شد. برای پیش‌بینی انبساط شیشه، فاصله کوچکی به اندازه $1/35$ میلی‌متر بین شیشه و چارچوب منظور شد. روزی که دما 25°C است مشاهده می‌شود که این فاصله از بین رفته است. با چشم‌پوشی از انبساط چارچوب پنجره، ضریب انبساط شیشه را حساب کنید.

۱۶ شیشه پنجره‌ای دارای عرض 2 متر، ارتفاع 1 متر و ضخامت 4 mm است.

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

(ب) چه مقدار انرژی در طول یک روز به این ترتیب تلف می‌شود؟

(پ) اگر در طول سال اختلاف دمای دو وجه شیشه به طور متوسط 3°C باشد، چه مقدار انرژی توسط رسانش از همین یک پنجره تلف می‌شود؟

۱۷ گازی در دمای 20°C دارای حجم 1.0 cm^3 است. این گاز را باید تا چه دمایی گرم کنیم تا حجم آن در فشار ثابت 2.0 cm^3 شود؟ این گاز در همین فشار در چه دمایی دارای حجم 5.0 cm^3 خواهد شد؟

۱۸ هوایی با فشار یک اتمسفر درون استوانه یک تلمبه دوچرخه به طول 24 cm محبوس است.

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

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

۱۹ لاستیک یک اتومبیل حاوی مقدار معینی هواست. هنگامی که دمای هوا 17°C است فشار اندازه‌گیری شده در لاستیک 2 اتمسفر بیش از فشار جو است. پس از یک اتومبیل‌رانی بسیار سریع، فشار هوای لاستیک دوباره اندازه‌گیری می‌شود. مشاهده می‌شود که فشار $2/3$ اتمسفر بیش از فشار جو است. دمای هوای درون لاستیک در این وضعیت چقدر است (حجم لاستیک را ثابت بگیرید)؟

۲۰ در گروهی از جانوران خونگرم و انسان، تبخیر عرق بدن، یکی از راه‌های مهم کنترل دمای بدن است.

(الف) چه مقدار آب تبخیر شود تا دمای بدن شخصی به جرم 5 kg ، را، 1°C سردتر کند؟ گرمای تبخیر آب در دمای بدن (37°C) برابر 2420 J/kg و گرمای ویژه بدن در حدود $3480\text{ J/kg}\cdot\text{K}$ است.

(ب) حجم آبی را که شخص باید برای جبران آب تبخیر شده بنوشد، حساب کنید.

۲۱ در آزمایشی جرم‌های مساوی از سرب و آلایز سرب - قلع (لحیم) سرد شده است و نمودارهای تغییر دما بر حسب زمان به صورت شکل زیر است.

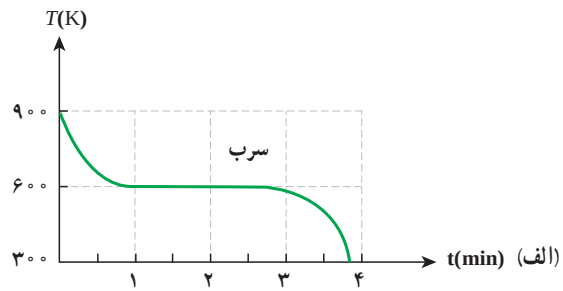
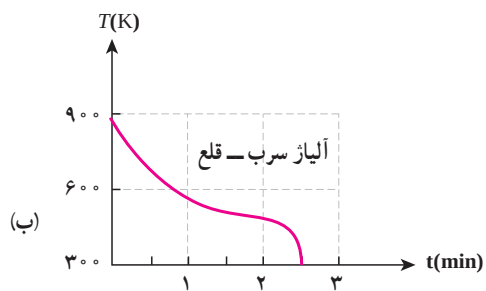
(الف) حالت فیزیکی سرب را پس از 30 ثانیه نام ببرید.

(ب) چه پدیده‌ای در دمای 600 K برای سرب روی می‌دهد؟

(پ) چرا دمای سرب بیش از 2 دقیقه در 600 K ثابت می‌ماند؟

(ت) با استفاده از نمودارهای داده‌شده، دو تفاوت مهم میان فلز سرب و آلایز سرب - قلع را نام ببرید.

(ث) چرا استفاده از لحیم نسبت به سرب برای اتصال سیم‌ها یا تعمیر لوله‌های شکسته مناسب است؟



۲۲ در چالۀ کوچکی 1 kg آب $^{\circ}\text{C}$ قرار دارد. اگر بر اثر تبخیر سطحی قسمتی از آب تبخیر شود و بقیۀ آن یخ ببندد، جرم آب یخزده چقدر است؟

واژ‌نامه

Average Velocity	سرعت متوسط	Freezing	انجماد
Instantaneous Acceleration	شتاب لحظه‌ای	Measurement	اندازه‌گیری
Average Acceleration	شتاب متوسط	Potential Energy	انرژی پتانسیل
Coefficient of Static Friction	ضریب اصطکاک ایستایی	Kinetic Energy	انرژی جنبشی
Heat Capacity	ظرفیت گرمایی	Internal Energy	انرژی درونی
Ultrasound	فراصوت	Resultant	برایند
Pressure	فشار	Vector	بردار
Gage Pressure	فشار پیمانه‌ای (سنجه‌ای)	Position Vector	بردار مکان
Barometer	فشارسنج	Crystalline	بلورین
Technology	فناوری	Conservation of Energy	پایستگی انرژی
Atomic Physics	فیزیک اتمی	Diffusion	پخش
Nuclear Physics	فیزیک هسته‌ای	Radiation	تابش
Newtons Laws	قانون‌های نیوتون	Vaporization	تبخیر
Work – Energy Theorem	قضیه کار و انرژی	Evaporation	تبخیر سطحی
Work	کار	Sublimation	تصعید
Tension	کشش	Thermal Equilibrium	تعادل گرمایی
Surface Tension	کشش سطحی	Optical Pyrometer	تفسنج نوری
Quantity	کمیت	Power	توان
Ideal gas	گاز کامل	Displacement	جاب‌جایی
Gravitation	گرانش	Mass	جرم
Heat	گرمای	Cohesion	چسبندگی (هم‌چسبی)
Latent Heat	گرمای نهان	Adhesion	چسبندگی سطحی (دگرچسبی)
Specific Heat	گرمای ویژه	Condensation	چگالش
Condensed Matter	ماده چگال	Density	چگالی
Temperature Scale	مقیاس دماسنجی	Phase	حالت
Capillarity	موینگی	Motion	حرکت
Liquefaction	میعان	Kinematics	حرکت‌شناسی
Scalar	نرده‌ای	Uniform Motion	حرکت یکنواخت
Scientific Notation	نمادگذاری علمی	Temperature	دما
Force	نیرو	Thermostat	دماپا
Dynamometer	نیروسنج	Thermometer	دماسنج
Repulsive Force	نیروی رانشی (دافعه)	Maximum and Minimum Thermometer	دماسنج فرینه
Attractive Force	نیروی ربایشی (جاذبه)	Dynamics	دینامیک
Weight	وزن	Fusion	ذوب
Convection	همرفت	Elementary Particles	ذرات بنیادی
Unit	یکا	Conductor	رسانا
Base Units	یکاهای اصلی	Conduction	رسانش
Derived Units	یکاهای فرعی	Instantaneous Velocity	سرعت لحظه‌ای

شماره کلاس :

نام آموزشگاه :

عنوان آزمایش :

نام و نام خانوادگی گزارشگر :

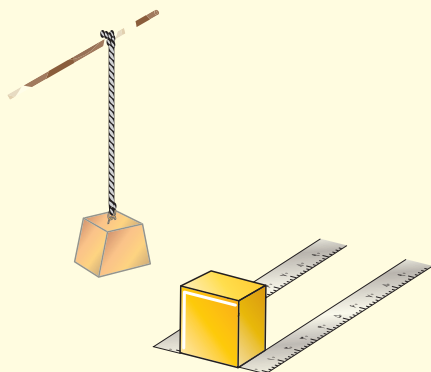
تاریخ اجرای آزمایش :

نام و نام خانوادگی اعضای گروه :

تاریخ تحویل گزارش :

وسایل لازم : وزنه فلزی قلابدار - مکعب چوبی (هم جرم با وزنه) - نخ - خط کش -

پایه - خمیر بازی - چسب نواری - ترازو

**مرحله های اجرای آزمایش :** ابتدا جرم وزنه قلابدار را با استفاده از ترازوی سه اهرمه(تک کفه ای) اندازه گیری کردیم $m = 53/6g$. برای آنکه مکعب با سطح میز اصطکاک کمتری

داشته باشد زیر آن را چسب نواری چسبانندیم. سپس جرم آن را اندازه گیری کردیم و آنقدر روی

آن خمیر بازی چسبانندیم تا جرم مجموعه به $53/6$ گرم رسید. چون می خواهیم مکعب روی مسیر

مستقیم حرکت کند و در آزمایشگاه ریل پرده نداشتیم مطابق شکل روبه رو دو خط کش را در طرفین

مکعب طوری روی میز چسبانندیم که مکعب بتواند در نوار بین دو خط کش حرکت کند.

وزنه را با نخ از پایه طوری آویختیم که در حالت قائم و مماس بر مکعب ساکن باشد.

وزنه را در حالتی که نخ آن کاملاً کشیده بود به اندازه $5cm$ از سطح میز بالا آورده و رها کردیم.

گلوله در برخورد با مکعب تقریباً ساکن شد و مکعب به حرکت درآمد و جابه جاشد. جابه جایی را اندازه گیری کردیم و برای کم کردن خطای آزمایش

دو بار دیگر نیز همین کار را تکرار کردیم و میانگین جابه جایی مکعب را در جدول یادداشت کردیم.

آزمایش را به همین ترتیب برای ارتفاع های دیگر هر بار سه مرتبه انجام دادیم و همه نتایج را در جدول ثبت کردیم.

جدول یا نمودار**توجه :** اندازه گیری جابه جایی مکعب وقتی وزنه از ارتفاع 15 سانتی متری رها می شد در سومین دفعه خیلی با بقیه تفاوت داشت که آن را حذف کردیم

چون احتمالاً در برخورد آن با جعبه خطایی پیش آمده که متوجه آن نشده ایم.

ردیف	ارتفاع وزنه از سطح میز				جابه جایی مکعب پس از برخورد			
	(cm)				۱	۲	۳	میانگین
۱	۵				۷/۷	۷/۳	۷/۶	۷/۵
۲	۱۰				۱۴	۱۴/۲	۱۴/۶	۱۴/۳
۳	۱۵				۲۰/۸	۲۱/۵	۱۸/۵	۲۱/۶
۴								

تحلیل جدول یا نمودار و نتیجه گیری : دیده می شود که وقتی ارتفاع را دو برابر کردیم تقریباً جابه جایی مکعب نیز دو برابر و به همین ترتیب وقتی ارتفاع را سه برابر کردیم جابه جایی مکعب هم سه برابر شده است.

پس نتیجه می گیریم که : الف) وزنه وقتی نسبت به میز در ارتفاع قرار می گیرد دارای انرژی ای است که در برخورد به مکعب آن را به شکل انرژی جنبشی به مکعب می دهد.

انرژی وزنه را انرژی پتانسیل گرانشی می نامیم.

ب) هرچه ارتفاع وزنه بیشتر باشد انرژی پتانسیل گرانشی آن هم بیشتر است :

$U \propto h$ انرژی پتانسیل گرانشی جسم

عوامل ایجاد خطا :

الف) اصطکاک جعبه با لبه های خط کش ها در دو طرف مسیر و نیز با سطح میز

ب) اندازه گیری ارتفاع گلوله تا سطح میز که سعی می کردیم از مرکز وزنه تا سطح میز را با خط کش اندازه بگیریم و همین موجب ایجاد خطا می شد.

پ) طرز قرار گرفتن گلوله و نخ موجب می شود که پس از رها شدن برخورد در همه حالت ها ایده آل نباشد بخصوص در آزمایش سوم برای ارتفاع

۱۵ سانتی متری.

پیشنهاد و ابتکار : اعضای گروه ما فکر می کنند که از عوامل دیگر مؤثر انرژی پتانسیل گرانشی هر جسم جرم آن است و برای تحقیق آن می توانیم

مانند آزمایش اجرا شده بالا وزنه هایی با جرم های مختلف را از یک ارتفاع یکسان رها کنیم تا به جعبه برخورد کنند. البته حدس می زنیم که این دفعه گلوله ها

در برخورد با جعبه متوقف نشوند و همین موضوع باعث خطای زیادی خواهد شد.

فهرست منابع

منابع فارسی

- ۱- مبانی فیزیک (جلد اول)، ویرایش دهم، دیوید هالیدی، رابرت رزنیک و یرل واکر، ترجمه محمدرضا خوش بین خوش نظر، چاپ اول ۱۳۹۳.
- ۲- فیزیک دانشگاهی (جلد اول)، ویرایش دوازدهم، سیزر، زیمانسکی، یانگ و فریدمن، ترجمه اعظم پورقاضی، روح الله خلیلی بروجنی، محمدتقی فلاحی مروستی، چاپ اول ۱۳۸۹، مؤسسه نشر علوم نوین.
- ۳- درک فیزیک بارویکرد تصویری، بریان آرنولد، ترجمه روح الله خلیلی بروجنی و مریم عباسیان. چاپ اول ۱۳۸۵، انتشارات مدرسه.
- ۴- حرارت و ترمودینامیک، مارک زیمانسکی و ریچارد دیتمن، ترجمه حسین توتونچی، حسن شریفیان عطار و محمد هادی هادی زاده، چاپ اول ۱۳۶۴، مرکز نشر دانشگاهی.
- ۵- دوره درسی فیزیک (جلد اول) گ.س. لندسبرگ، ترجمه لطیف کاشیگر و دیگران، چاپ اول، ۱۳۷۴، انتشارات فاطمی.
- ۶- اصول فیزیک (جلد اول)، اوهانیان، ترجمه یوسف امیر ارجمند و نادر رابط، چاپ اول، ۱۳۸۳، مرکز نشر دانشگاهی.
- ۷- فیزیک مفهومی، ویرایش دهم، هیوئیت، ترجمه منیژه رهبر، چاپ اول، ۱۳۸۸، انتشارات فاطمی.
- ۸- فیزیک پایه، ویرایش سوم، بلت، ترجمه محمد خرمی و ناصر مقبلی و مهران اخبارفر، چاپ پنجم، ۱۳۸۰، انتشارات فاطمی.
- ۹- دانشنامه فیزیک، جان ریگدن و دیگران، ترجمه محمدابراهیم ابوکاظمی و دیگران، چاپ اول ۱۳۸۱، مرکز تحصیلات تکمیلی زنجان و بنیاد دانشنامه بزرگ فارسی.
- ۱۰- نمایش هیجان انگیز فیزیک، ویرایش دوم، یرل واکر، ترجمه محمدرضا خوش بین خوش نظر و رسول جعفری تژاد، چاپ اول ۱۳۹۱.

منابع انگلیسی

1. Mc Graw – Hill Dictionary of scientific and technical terms, Parker, Fourth edition, 1989, MC Graw – Hill.
2. Holt Physics, Serway and Faughn, 1999, Holt Rinehart and Winston.
3. Physics, Giambattista and Richardson, Second Edition, 2008, MC Graw– Hill.
4. University Physics, Bauer and Westfall, 2011, MC Graw – Hill.
5. Physics, Eugene Heacht, Second Edition, 1997, Brooks / Cole Publishing company.
6. University Physics, Hugh D. Young, 1992, Addison – Wesley.

7. Fundamental of Physics, David Halliday, Robert Resnick and Jearl Walker, 2008, John Wiley and Sons.

8. Physics, Douglas C. Giancoli, 1991, Prentice – Hall International.

9. Principles of Physics, Frank J. Blatt, 1989, Allyn and Bacon.

تصویرهای شروع فصل‌های ۱، ۲، ۳ از کتاب مجموعه تصاویر نیکول فریدنی، چاپ ۱۳۸۱، انتخاب شده‌اند.

معلمان محترم، صاحب نظران، دانش آموزان عزیز و اولیای آمان می‌توانند نظر اصلاحی خود را در باره مطالب این کتاب از طریق نامه به نشانی تهران - صندوق پستی ۳۶۳/۱۵۸۵۵ - گروه درسی مربوط و یا پیام‌نگار (Email) talif@talif.sch.ir ارسال نمایند.

دقت نمایند کتاب‌های درسی ابتدایی و متوسطه نظری

