

فصل ۶

گرما و قانون گازها



پیش از شروع فصل برای چند دقیقه توجه دانش آموزان را به تصویر شروع فصل و متن زیر آن جلب کنید. نکته‌ی مهم برای شرح آن‌چه در تصویر نشان داده شده است اشاره به پدیده‌ی تبخیر است. دانش آموزان با این پدیده از دوره‌های ابتدایی و راهنمایی آشنا هستند. ضمن آن که در این فصل نیز به‌طور عمیق‌تر مورد توجه قرار می‌گیرد. به همین جهت خوب است برای درگیر کردن ذهن دانش آموزان با مفاهیمی که در فصل ۶ با آن‌ها روبه‌رو می‌شوند علاوه بر پدیده‌ی تبخیر، پرسش‌های دیگری مطرح نمایید که با سیمای فصل ۶ بیش‌تر آشنا شوند. در مقدمه‌ی فصل ۶ به همین منظور پرسش‌هایی مطرح شده است که علاوه بر این پرسش‌ها می‌توانید پرسش‌های دیگری نیز به شرح زیر مطرح کنید.

— چرا آب مایع مناسبی برای خنک کردن موتور اتومبیل است؟
— چرا با پوشیدن لباس‌های خیس یا نیمه‌خشک احساس سرما می‌کنیم؟

— چرا باز کردن درب فلزی یک ظرف شیشه‌ای، پس از ریختن آب گرم روی آن راحت‌تر انجام می‌شود؟

— چه عاملی باعث جریان هوای گرم بخاری در اتاق می‌شود؟
— چرا با باز کردن درب یخچال، هوای سرد از پایین آن به طرف بیرون جریان می‌یابد؟

— چرا بهتر است در پشت شوفاژ یک ورقه‌ی براق آلومینیومی چسبانده شود؟

— چرا در تابستان، فشار هوای لاستیک اتومبیل‌ها را کم و در زمستان زیاد می‌کنند؟

— چرا لباس‌های آتش‌نشانان از پوشش‌های فلزی براقی درست می‌شوند؟

طرح پرسش‌هایی از این قبیل می‌تواند شروع مناسبی برای درگیر کردن ذهن دانش آموزان و نگاهی اجمالی به مفاهیم فصل باشد، هرچند دانش آموزان در سال‌های قبل به خصوص در فصل دوم فیزیک (۱) و آزمایشگاه، با برخی از مفاهیم فصل ۶ آشنا شده‌اند.

۶-۱- دما، انرژی درونی و گرما

راهنمای تدریس: دانش آموزان در فصل دوم فیزیک (۱)

و آزمایشگاه با مفهوم و یکای دما آشنا شده‌اند. برای شروع بحث با فعالیت ۶-۱ شروع کنید.

فعالیت ۶-۱

هدف: تعریف عملیاتی دما

ابتدا تعریف عملیاتی یک کمیت که شامل روش، ابزار اندازه‌گیری و هم‌چنین یکای آن کمیت است را برای دانش‌آموزان شرح دهید. پس از آن از دانش‌آموزان بخواهید که پس از بحث در گروه‌های خود تعریف عملیاتی دما را ارائه دهند. از آن‌جا که دانش‌آموزان در فیزیک (۱) و آزمایشگاه با این موضوع به خوبی آشنا شده‌اند، مشکل خاصی در انجام این فعالیت نخواهند داشت.

فصل
۶

گرما و قانون گازها

چرا وقتی قطعه‌ای را درون یک لیوان آب می‌اندازیم، آب سرد می‌شود؟ چه چیز باعث خشک شدن لباس‌های مرطوب روی بند می‌شود؟ عامل اصلی ایجاد باد و جریان هوا چیست؟ پاسخ این سؤالات و بسیاری از سؤالات مشابه را می‌توان با بررسی گرما و انرژی آن بدست آورد. شما در کتاب فیزیک (۱) و آزمایشگاه با مفهوم‌های فیزیکی دما و گرما آشنا شدید. در این فصل ضمن یادآوری آن مفهوم‌ها به بررسی روش گرماسنجی و اندازه‌گیری گرمای ویژه، تغییر حالت مواد و گرمای نهان ذوب و تبخیر می‌پردازیم. علاوه بر این اثر تفسیر دما بر طول و حجم جانشدها، مایع‌ها و گازها را بررسی می‌کنیم و راه‌های انتقال گرما را مورد بحث قرار می‌دهیم و مراجع قانون گازها را شرح می‌دهیم.

۱-۱-۱ دما، انرژی درونی و گرما
در کتاب فیزیک (۱) و آزمایشگاه دما که دما معیاری است که میزان سردی و گرمی جسمها را مشخص می‌کند.

۱-۱-۲ فعالیت
در فصل ۶ کتاب برای آن که تعریف یک کمیت فیزیکی کامل شود، باید یکای آن و روش و ابزار اندازه‌گیری آن مشخص شود. دما را به عنوان یک کمیت فیزیکی تعریف کنید، یعنی برای آن یک روش اندازه‌گیری بویستد، یکای آن را مشخص کنید و ابزار اندازه‌گیری آنرا توضیح دهید. برای این کار می‌توانید از کتاب فیزیک (۱) و آزمایشگاه یا هر کتاب فیزیک مناسب دیگری استفاده کنید. خطیها و مرتبه‌های روش و ابزار اندازه‌گیری را که معرفی کرده‌اید بویستد.

۱۲۲

مقیاس دمایی مطلق (یا کلوین): در این قسمت یکای دما

را در SI که کلوین و با نماد K بیان می‌شود برای دانش‌آموزان معرفی نمایید. توجه دانش‌آموزان را به ویژگی‌ها و مزیت‌های یکای کلوین که به شرح زیر آمده جلب نمایید.

- ۱- در این مقیاس با دماهای منفی سر و کار نداریم.
- ۲- حد پایین دما در این مقیاس صفر کلوین یا صفر مطلق نامیده می‌شود، که برابر $273/15^{\circ}\text{C}$ است و این دما به‌طور تجربی غیر قابل دسترس است.
- ۳- تغییر دمای یک جسم بر حسب کلوین (ΔT) برای تغییر دمای آن جسم بر حسب درجه‌ی سلسیوس ($\Delta \theta$) است.
- ۴- برای تبدیل دما از مقیاس سلسیوس به کلوین از رابطه‌ی $T(\text{K}) = \theta(^{\circ}\text{C}) + 273$ استفاده می‌شود.
- ۵- هنگام گفتن و یا نوشتن دمایی بر حسب کلوین نیازی به گفتن یا نوشتن علامت درجه نیست.

تعریف دما به صورتی که با انجام این فعالیت از آن گرفته‌اید، یک تعریف عملیاتی نبوده می‌شود. یکای دما، همان‌گونه که با انجام فعالیت بالا، بیان کرده‌اید، یکای دما درجه سلسیوس است. که با نماد $^{\circ}\text{C}$ نمایش داده می‌شود. دما بر حسب درجه سلسیوس را معمولاً با θ نشان می‌دهند. مقیاس دمایی مطلق (یا کلوین): در SI به جای سلسیوس، یکای دیگری به نام کلوین را به کار می‌برند که با نماد K نمایش داده می‌شود. دما بر حسب کلوین را معمولاً با T نشان می‌دهند. صفر کلوین تقریباً برابر 273°C است. به این ترتیب برای تبدیل دما از مقیاس سلسیوس به کلوین باید مقدار دما بر حسب سلسیوس را با ۲۷۳ جمع کرده، یعنی:

$$T(\text{K}) = \theta(^{\circ}\text{C}) + 273 \quad (1-4)$$

۱-۱-۲ تعریف
دمای ذوب یخ، 0°C و دمای جوش آب، 100°C و دمای هنر انسان سالم، 37°C هر یک را در چند کلوین است؟

۱-۱-۳ مثال
تشان دهید که اختلاف بین دو دما بر هر دو مقیاس سلسیوس و کلوین با هم برابر است. چنان داریم:

$$\Delta T(\text{K}) = T_2(\text{K}) - T_1(\text{K})$$

$$= [\theta_2(^{\circ}\text{C}) + 273] - [\theta_1(^{\circ}\text{C}) + 273]$$

$$= \theta_2(^{\circ}\text{C}) - \theta_1(^{\circ}\text{C})$$

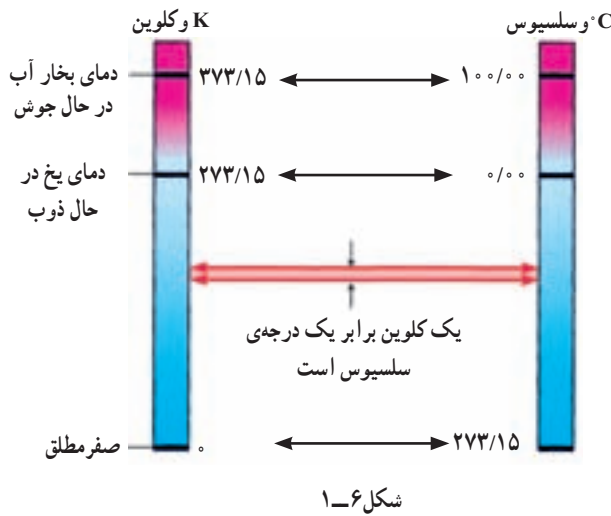
در نتیجه:

$$\Delta T(\text{K}) = \Delta \theta(^{\circ}\text{C}) \quad (1-5)$$

این فرمولی سلسیوس را نخستین بار دیوید گابریل سلسیوس در سال ۱۷۴۲ معرفی نمود. به کار برد، 100°C و 100°F در این مقیاس دما را ولیم تامسون از کلوین، فیزیک و ریاضیات اسکاتلندی که در سال‌های ۱۸۴۸ تا ۱۸۵۳ میلادی میلادی معرفی نمود. فرمولی که در بالا آمده، 273 است و دمای برای تبدیل دما از مقیاس سلسیوس به کلوین است. 273 است و دمای برای تبدیل دما از مقیاس سلسیوس به کلوین است.

۱۲۲

شکل روبه‌رو را بر روی تابلو رسم کنید و از دانش‌آموزان بخواهید تا آن را به صورت یک متن درآورند.



تمرین ۶-۱

$$273^{\circ}\text{C} = 373^{\circ}\text{K}$$

$$10^{\circ}\text{C} = 373^{\circ}\text{K}$$

$$37^{\circ}\text{C} = 31^{\circ}\text{K}$$

دمای ذوب یخ
دمای جوش آب
دمای بدن انسان سالم

ادامه‌ی راهنمای تدریس

دماسنج جیوه‌ای (و یا الکلی): این قسمت نیز در فیزیک (۱) و آزمایشگاه به اندازه‌ی مورد بررسی قرار گرفته است و اشاره‌ای مختصر به آن در این جا کفایت می‌کند. بهتر است یک یا چند دماسنج جیوه‌ای را در اختیار دانش‌آموزان قرار داده و از آن‌ها بخواهید به شرح جزئیات آن و نحوه‌ی خواندن دما توسط دماسنج بپردازند.

تعریف مولکولی دما: علاوه بر تعریف عملیاتی دما که پیش از این گفته شد در این جا اشاره‌ای نیز به تعریف مولکولی دما باید شود. آنچه در این قسمت آمده، در واقع تکرار مطالبی است که در فیزیک (۱) و آزمایشگاه دانش‌آموزان با آن آشنا شده‌اند. بنابراین از دانش‌آموزان بخواهید تا نظر خود را در ارتباط با دما و تغییر دما از منظر مولکولی ارائه نمایند. این روش کمک خواهد کرد تا ضمن فعال کردن کلاس درس و اصلاح کج‌فهمی‌های دانش‌آموزان در این خصوص، به جمع‌بندی مناسبی از تعبیر

دماسنج جیوه‌ای (و یا الکلی): در کتاب فیزیک (۱) و آزمایشگاه با دماسنج جیوه‌ای و الکل (شکل ۶-۱) و همچنین طرز صحیح کردن آن آشنا شده‌اید. برای اندازه‌گیری دمای یک جسم باید دماسنج را در تماس با آن جسم قرار دهیم به گونه‌ای که مخزن دماسنج در تماس کامل با آن باشد. مدتی (حدود دو الی سه دقیقه) صبر می‌کنیم تا ارتفاع مایع در توله دماسنج دیگر تغییر نکند. عددی را که در مقابل سطح مایع در توله ثبت شده است می‌خوانیم. این عدد دمای آن جسم را نشان می‌دهد.

تعریف مولکولی دما: آنچه تاکنون درباره‌ی دما گفته‌ایم به تعریف عملیاتی آن مربوط می‌شود. در محبت‌های تخصصی فیزیک تعبیری برای دما وجود دارد که می‌توانیم آن را با مراجعه به تعریف انرژی درونی درآییم. در فیزیک (۱) و آزمایشگاه دیدیم که: $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$ انرژی درونی هر جسم، مجموع انرژی‌های مولکول‌های تشکیل‌دهنده آن از جمله انرژی جنبشی آن ذرات است.

بدین افزایش انرژی درونی هر جسم غالباً به صورت افزایش دمای آن حسوس ظاهر می‌شود. از این جا تعریف مولکولی دما ارائه می‌شود. دمای هر جسم متناسب است با انرژی جنبشی متوسط مولکول‌های سازنده آن.

آزمایش ۷-۲

وسایل لازم: دو تکه سیم غزی غیر هرجنس A و B دارای مثال سیم A سیم B و سیم C (همه یک دماسنج حساس اصلی دماسنج یا میکرو دماسنج، سه پایه، نعله، بشرن کن، چراغ گازی یا الکلی، یک ظرف شیشه‌ای نسوز برای گرم کردن آب، یک سطل کوچک برای یخ، مقداری یخ، یک دماسنج جیوه‌ای.

۱- با سیم‌های غزی و دماسنج دارای مقادیر معادل شکل (۳-۲) بنویسید.

۲- در ظرف شیشه‌ای کمی یخ از نصف آب بویزد و آن را روی سه پایه بالای نعله قرار دهید و یک دماسنج درون آن قرار دهید. به طوری که هر وقت لازم باشد بتوانید دمای آب گرم را اندازه بگیرید.

۲۸۸

مولکولی دما ببردازید. در جمع بندی خود باید به موارد زیر تأکید
بیش تری شود :

- ۱- افزایش انرژی درونی هر جسم غالباً به صورت افزایش دمای آن جسم ظاهر می شود.
- ۲- انرژی درونی هر جسم، مجموع انرژی های ذره های تشکیل دهنده ی آن است.
- ۳- دمای هر جسم با انرژی جنبشی متوسط مولکول های سازنده ی آن متناسب است.

آمپرینج حاصل

۱- سیم مسی
۲- سیم آهنی
۳- سیم فولادی

۱- اتصال بر دمای ثابت
۲- اتصال بر دمای متغیر

۱- سطل را از بخ در حال ذوب بر کنید. دمای بخ در حال ذوب ثابت است. این دما بر فشار یک انسرف بر اثر K است.

۲- بکر از دو سطل اتصال دو فلز را درون بخ در حال ذوب گه دمای آن مشخص و ثابت است فرو برید.

۳- اتصال دیگر را درون ظرف آب گره که دمای آنرا توسط دماسنج درون آب اندازه گرفته اند قرار دهید. با این کار مشاهده خواهید کرد که آمپرینج عبور جریانی را نشان می دهد.

۴- این آزمایش را چند بار تکرار کنید. هر بار آب گره را در دمای بالاتری به کار برید و نسبت جریان حاصل را اندازه بگیرید.

۵- یافته های خود را در جدولی وارد کنید.

با انجام این آزمایش درمی یابید که هرچه اختلاف دمای دو اتصال بیش تر باشد، نسبت جریان در مدار بیش تر می شود. اگر آزمایش را چندین بار و برای اختلاف دماهای متفاوت تکرار کنید، می توانید نسبت جریان مربوط به هر اختلاف دمای را مشخص کنید. حتی می شود آمپرینج را به جای نسبت جریان بر حسب اختلاف دما تدریج کرده و به این ترتیب یک دماسنج ساخت.

این نوع دماسنج را دماسنج ترموگلوب می نامند. دماسنج های ترموگلوب زری های نسبت به دماسنج های دیگر دارند که برخی از آن ها در زیر آمده است.

۱- سه کوچک بودن اتصال سیمها باعث می شود که اتصال به سرعت به تغییر دما پاسخ دهد و این دقت اندازه گیری را بالا می برد.

۲- هرچه این دماسنج، یک علامت الکتریکی ایک جریان است. به عبارت دیگر، در این دماسنج، تغییر دمای مورد اندازه گیری باعث تغییر جریان الکتریکی می شود و این تغییر جریان می تواند

۱۲۵

دانستنی



مفهوم دما

دما یکی از کمیت های بنیادی در فیزیک کلاسیک و فیزیک نوین است. مفهوم گرما و سرما در طول تمدن بشر همیشه وجود داشته است. برای کمی کردن احساس گرما و سرما و نشان دادن تعادل گرمایی از مفهوم دما استفاده می شود. قانون صفرم ترمودینامیک، حاکی از وجود چنین مفهومی است. قانون صفرم ترمودینامیک می گوید اگر جسم های A و B هریک به تنهایی با جسم سوم C در تعادل گرمایی باشند، آن گاه A و B با یکدیگر در تعادل گرمایی اند. در این جا اگر C دماسنج باشد، قانون صفرم ترمودینامیک تعادل گرمایی A و B را که دمای یکسانی با دماسنج C دارند، تضمین می کند.

اثبات این که با نتیجه گیری از قانون صفرم به تابع نشان گیری برای تعادل می رسمیم، نمونه ی جالبی است از نوع منطقی که اغلب در زمینه ی ترمودینامیک به کار می رود. فرض کنید سیستم های C و B و A، با دو پارامتر P (فشار) و V (حجم) مشخص شده اند. گاز کامل، نمونه ای از چنین سیستمی است. هر گاه A و C در تعادل گرمایی باشند، آن گاه بین مقادیری که دو سیستم را در حالت های خاص خود بیان می کنند رابطه ای وجود دارد. بنابراین، باید معادله ای مثل معادله ی زیر برقرار باشد.

$$F_1(P_A, V_A, P_C, V_C) = 0 \quad (1)$$

از حل این معادله برای PC داریم

$$P_C = f_1(P_A, V_A, V_C) \quad (1')$$

به همین ترتیب، چون B و C در تعادل گرمایی اند، رابطه‌ای به شکل زیر داریم

$$F_2(P_B, V_B, P_C, V_C) = 0 \quad (2)$$

یا

$$P_C = f_2(P_B, V_B, V_C) \quad (2')$$

از ترکیب معادله‌های (1) و (2') به دست می‌آید

$$f_1(P_A, V_A, V_C) = f_2(P_B, V_B, V_C) \quad (3)$$

در این جا از قانون صفرم، که می‌گوید شرایط تعادل گرمایی در معادله‌های (1) و (2) به تعادل بین A و B می‌انجامد، کمک می‌گیریم. یعنی عبارتی هم‌ارز معادله‌ی (3) ولی به شکل زیر نیز وجود دارد

$$F_3(P_A, V_A, P_B, V_B) = 0 \quad (4)$$

معادله‌های (3) و (4) باید همان تعادل بین A و B را بیان کنند. ولی چون معادله‌ی (3) حاوی متغیر V_C است، ضریب‌ها یا جمله‌هایی که در عبارت‌های f_1 و f_2 حاوی V_C اند باید از معادله‌ی (3) حذف شوند تا معادله‌ی (4) به دست آید. به عبارت دیگر، معادله‌ی (3) باید به شکل زیر باشد

$$g_1(P_A, V_A)h(V_C) = g_2(P_B, V_B)h(V_C)$$

که در آن $h(V_C)$ تابعی اختیاری از V_C است. (اگر بخواهیم دقیق‌تر باشیم، می‌توانیم به دو طرف معادله یک جمله‌ی اختیاری یکسان اضافه کنیم.) بنابراین می‌بینیم که معادله‌ی (3)، و در نتیجه معادله‌ی (4)، به شکل $g_1(P_A, V_A) = g_2(P_B, V_B)$ خواهد بود. با ادامه‌ی همین استدلال می‌توان معادله‌های زیر را نیز به دست آورد.

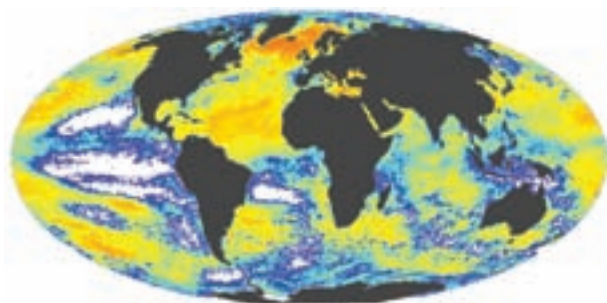
$$g_1(P_A, V_A) = g_2(P_B, V_B) = g_3(P_C, V_C) \quad (5)$$

و به همین ترتیب، برای همه‌ی سیستم‌های در حال تعادل گرمایی با C می‌توانیم ادامه دهیم.

توجه کنید که تابع g_1 فقط شامل پارامترهای سیستم A و g_2 فقط شامل پارامترهای سیستم B است (همین‌طور برای سیستم C). هر یک از این تابع‌ها مشخصه‌ی یکی از سیستم‌هاست، و هر یک فقط به متغیرهای حالت سیستم خودش بستگی دارد. همان‌طور که در معادله‌ی (5) دیده می‌شود، این تابع‌های g_1, g_2, g_3, \dots در حالت تعادل گرمایی، جملگی مقدار عددی یکسانی دارند. پس این توابع نشانگرهای تعادل گرمایی اند، و تابع g هر سیستم را دمای تجربی آن سیستم (Θ) می‌گویند، یعنی $g(P, V) = \Theta$. تابع $g(P, V)$ برای سیستم، در اصل می‌تواند هر تابع تک‌مقداری باشد. برای سهولت $g(P, V)$ را تابعی ساده در نظر می‌گیرند، مثلاً $\Theta = PV / NR$ یا $PV = NR\Theta$ که در آن‌ها N و R مقادیر ثابت‌اند. معمولاً برای گاز کامل این معادله به معادله‌ی حالت گاز کامل معروف است، و در آن R ثابت جهانی گاز ($R = 8 / 314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) و N عدد مولی (تعداد مول‌های موجود در گاز) است.

مقیاس دمای مطلق برحسب چرخه‌ی (ماشین) کارنو تعریف می‌شود.

بازده ε ماشین کارنو به صورت حاصل قسمت مقدار کار خروجی W بر مقدار گرمای Q_1 جذب شده از چشمه (یا منبع گرم) با دمای بالاتر T_1 ، یعنی $\varepsilon = W / Q_1$ ، تعریف می‌شود. این ماشین مقداری از گرما، Q_2 ، را به چشمه‌ی دیگری که دمای T_2 دارد (یا منبع سرد) می‌فرستد که این دما معمولاً همان دمای جو است. طبق قانون پایستگی انرژی (یعنی قانون اول ترمودینامیک که می‌گوید: اگر گرما را هم به حساب آوریم، انرژی هر سیستم بسته‌ای پایسته می‌ماند)



داریم: $Q_1 = W + Q_2$. پس معادله‌ی بازده را می‌توان به شکل زیر بازنویسی کرد.

$$\varepsilon = \frac{Q_1 - Q_2}{Q} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

دمای مطلق (یا کلونین) را می‌توان با مساوی قراردادن نسبت دو دما با نسبت مقادیر انرژی‌های گرمایی مربوط به عمل کرد ماشین، به صورت زیر تعریف کرد (۶)

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{Q_2}{Q_1}$$

استاندارد اصلی مقیاس دما، نقطه‌ی سه‌گانه‌ی آب است. این دما را برابر $T_p = 273.15 \text{ K}$ تعریف می‌کنیم. این مقدار عددی برای T_p همراه با معادله‌ی (۶)، برای به‌دست آوردن مقیاس دمای مطلق از طریق اندازه‌گیری گرما (یعنی انرژی) کفایت می‌کند. در این صورت، بازده ماشین کارنو به شکل زیر در می‌آید.

$$\varepsilon = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

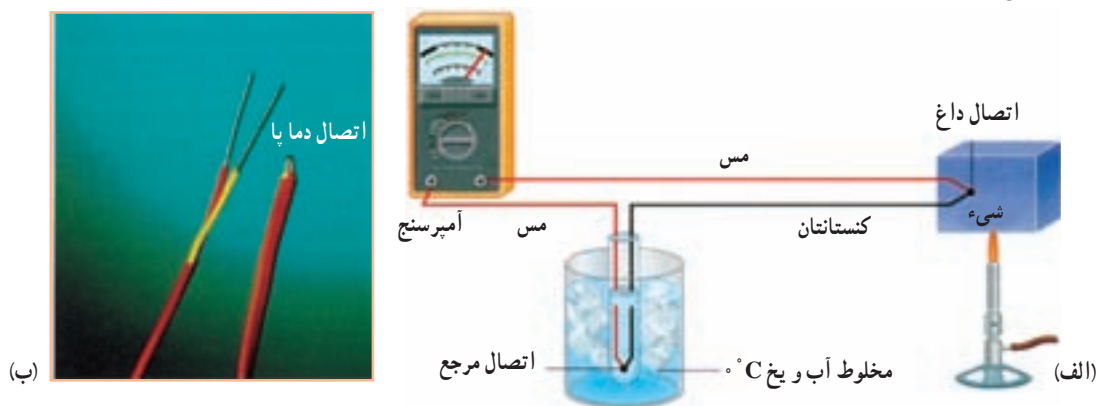
در نظریه‌ی ترمودینامیک با استفاده از ماشین کارنویی که ماده‌ی کاری آن گاز کامل است، یکسان بودن هر دو مقیاس دما، یعنی مقیاس کلونین و مقیاس گاز کامل، به اثبات می‌رسد.



آزمایش ۶-۱

هدف: آشنایی با دماسنج ترموکوپل

معرفی: دماسنج‌های ترموکوپل از دو سیم فلزی غیرهم‌جنس ساخته می‌شوند که به کمک یک آمپرسنج حساس که برحسب دما مدرج شده است دمای یک منبع گرم را در مقایسه با دمای یک منبع سرد، که از پیش مشخص است، اندازه می‌گیرد (شکل ۶-۲).



شکل ۶-۲

این آزمایش را مطابق مراحل مختلفی که در کتاب درسی اشاره شده است انجام دهید. در این آزمایش توجه اصلی به رخ دادن این پدیده و انحراف عقربه‌ی دماسنج است. در صورتی که بخواهید از این پدیده برای پیدا کردن دماهای مجهول استفاده کنید لازم است آمپرسنجی در اختیار داشته باشید که برحسب دما مدرج شده است. توجه: مدرج کردن یک آمپرسنج حساس (گالوانومتر) برحسب دما را می‌توانید به صورت یک پروژه‌ی دانش‌آموزی برای گروهی چندنفره از دانش‌آموزان علاقه‌مند تعریف کنید. در صورتی که این کار به دقت انجام شود به کمک این روش و آمپرسنج مدرج شده برحسب دما، می‌توانیم دماهای بالا را نیز اندازه بگیریم.

آمپرسنج دما

۱- سیم مسی
۲- سیم آهنی
۳- نیکر
۴- اتصال بر مسی شده
۵- اتصال بر مسی مجهول

۱- سطل را از بیخ در حال ذوب و گرمی. دمای بیخ در حال ذوب ثابت است. این دما بر فشار یک اسکلر برابر ۴۰- است.
۲- یکی از دو سطل اتصال دو فلز را درون بیخ در حال ذوب گدما که دمای آن مشخص و ثابت است فرو برید.
۳- اتصال دیگر را درون ظرف آب گرم که دمای آنرا توسط دماسنج درون آب اندازه گرفته‌اید قرار دهید. با این کار مشاهده خواهید کرد که آمپرسنج محور جریانی را نشان می‌دهد.
۴- این آزمایش را چند بار تکرار کنید. هر بار آب گرم را در دمای بالاتری به کار برید و نسبت جریان حاصل را اندازه بگیرید.
۵- با مقیاس‌های خود را در جدولی وارد کنید.

با انجام این آزمایش درمی‌یابید که هرچه اختلاف دمای دو اتصال بیش‌تر باشد، نسبت جریان در مدار بیش‌تر می‌شود. اگر آزمایش را چندین بار و برای اختلاف‌های مختلفی تکرار کنید، می‌توانید نسبت جریان مربوط به هر اختلاف دما را مشخص کنید. حتی می‌تواند آمپرسنج را به جای نسبت جریان برحسب اختلاف دما مدرج کرد و به این ترتیب یک دماسنج ساخت.

این نوع دماسنج را دماسنج ترموکوپل می‌نامند. دماسنج‌های ترموکوپل تری‌های نسبت به دماسنج‌های دیگر دارند که برخی از آنها در زیر آمده است.

۱- کوچک بودن اتصال سیاه باعث می‌شود که اتصال به سرعت به تغییر دما پاسخ دهد و این دقت اندازه‌گیری را بالا می‌برد.

۲- به طریقی این دماسنج، یک علامت الکتریکی (یک جریان) است. به عبارت دیگر، در این دماسنج، تغییر دمای مورد اندازه‌گیری باعث تغییر جریان الکتریکی می‌شود و آن تغییر جریان می‌تواند

۱۲۵

ادامه‌ی راهنمایی تدریس: پس از انجام آزمایش ۶-۱،

از دانش‌آموزان بخواهید تا فهرستی از مزیت‌ها و محدودیت‌های دماسنج‌های ترموکوپل تهیه کنند. انتظار می‌رود دانش‌آموزان حداقل به مواردی که در کتاب درسی و در ادامه‌ی آزمایش نوشته شده است اشاره نمایند. پس از ارائه‌ی نتایج هر گروه، به جمع‌بندی موضوع پردازید و توجه دانش‌آموزان را به متنی که در ادامه‌ی آزمایش ۶-۱ در کتاب درسی آمده است جلب نمایید.

دانستنی

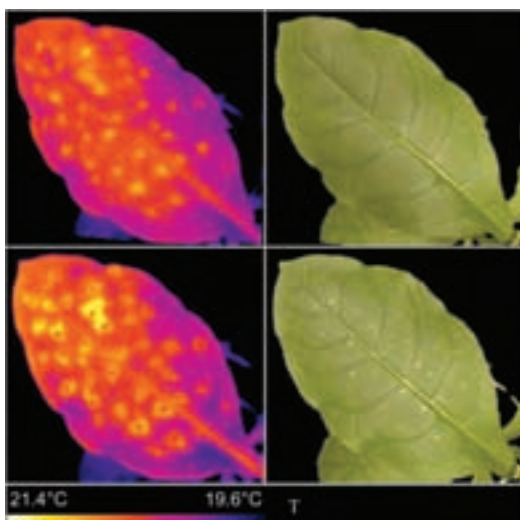


تعبیر میکروسکوپی دما

چون ماده از اتم و مولکول ساخته می‌شود، مفهوم میکروسکوپی دما را باید برحسب دینامیک ذرات سازنده‌ی سیستم تعبیر کنیم. این بررسی دینامیکی، منجر به تعبیر دما به‌عنوان معیاری از میانگین انرژی جنبشی مربوط به حرکت درونی (یا میکروسکوپی) اتم‌ها و مولکول‌ها می‌شود. به‌طور مشخص، در مورد گاز کامل متشکل از فقط یک نوع ذره‌ی تک‌اتمی، با به‌کار بستن ملاحظات مکانیکی برای این سیستم ذرات ایده‌آل می‌توان رابطه‌ی زیر را به‌دست آورد.

$$\frac{3}{2} k_B T = \frac{1}{2} m \bar{v}^2$$

که در آن k_B ثابت بولتزمن $1/38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ ، m جرم ذره و \bar{v} سرعت متوسط ذره است. دمای زیادتر با



حرکت سریع‌تر مولکول‌ها متناظر است. در جامدها، مانند بلورهای مس یا برش‌های نازک سیلیسیوم، دمای بیش‌تر معرف دامنه‌های بزرگ‌تر ارتعاش اتمی یا مولکولی است. هنگامی که دو جسم، یکی سرد و دیگری گرم، در تماس با یک‌دیگر قرار می‌گیرد، انرژی جنبشی جسم با دمای بیش‌تر به تدریج به مولکول‌های جسم با دمای کم‌تر منتقل می‌شود. به این ترتیب، دمای جسم سردتر افزایش و دمای جسم گرم‌تر کاهش می‌یابد تا آن‌جا که تعادل گرمایی ایجاد شود. در این هنگام، انرژی جنبشی مجموعه‌ی دو سیستم به‌طور متوسط در میان تمام مولکول‌ها به‌طور یکنواخت توزیع شده است.

هنگامی که سیستم دمای متناهی (غیرصفر) دارد، بعضی از اتم‌ها یا مولکول‌های تشکیل‌دهنده آن می‌توانند به اندازه‌ی کافی انرژی گرمایی کسب کنند تا به حالت کوانتومی بالاتر بپردازند. برای سادگی بحث، فرض کنید فقط دو حالت کوانتومی وجود دارند که برای اتم به آسانی دسترس‌پذیرند و انرژی حالت‌های دیگر به قدری زیاد است که در این‌جا می‌شود از آن‌ها چشم‌پوشی کرد. پایین‌ترین این دو حالت، حالت پایه است که همه‌ی اتم‌های سیستم در دمای صفر کلونین آن را اشغال می‌کنند. با افزایش دما، بعضی از اتم‌ها شروع به کسب انرژی برای پرش به حالت بالاتر (یا حالت برانگیخته) می‌کنند. نسبت اشغال این ترازهای انرژی برای اتم‌ها تابعی از دماست. اگر جمعیت حالت پایه برابر N_1 و جمعیت حالت برانگیخته برابر N_2 باشد، وابستگی دمایی چنین است:

$$\frac{N_2}{N_1} = \exp\left(-\frac{E}{k_B T}\right) \quad (7)$$

که در آن E تفاوت بین انرژی حالت برانگیخته و حالت پایه است. این رابطه را می‌توان به‌عنوان تعریف دمای سیستم دوترازه (یعنی مجموعه‌ی اتم‌هایی که دو تراز انرژی دارند) در نظر گرفت. در دمای کم (مثلاً کم‌تر از یک درجه بالاتر از 0°K)، قدرمطلق نمای منفی e بسیار بزرگ است و نسبت N_2/N_1 عدد بسیار کوچکی می‌شود. به عبارت دیگر، تعداد اتم‌هایی که از حالت پایه به حالت برانگیخته رفته‌اند بسیار کم است. برعکس، در دمای زیاد، نسبت N_2/N_1 بزرگ‌تر می‌شود و در نهایت، در دمای بسیار زیاد به سمت ۱ میل می‌کند. در این حالت، جمعیت حالت برانگیخته به‌سوی جمعیت حالت پایه میل می‌کند. در بعضی موارد، هنگامی که انرژی از خارج برای اتم‌ها تأمین می‌شود تا به حالت برانگیخته درآیند N_2 از N_1 بزرگ‌تر می‌شود. این حالت را وارونگی جمعیت می‌گویند. هرگاه این حالت پیش‌آید، نسبت N_2/N_1 بزرگ‌تر از ۱ می‌شود. اگر در رابطه‌ی فوق دما را با نسبت جمعیت‌ها تعریف کنیم، این حالت یاد شده به مورد «دمای منفی» مربوط می‌شود. باید توجه داشت که این حالت، حالتی تعادلی نیست. همان‌طور که در این‌جا دیده می‌شود، مفهوم دما اغلب برای حالت‌هایی که در تعادل نیستند کاربرد دارد، [البته] با این شرط که این حالت‌ها در مقایسه با زمان لازم برای مشاهده به اندازه‌ی کافی دوام داشته باشند. به‌عنوان مثال، گسستاورهای اسپین‌هسته‌ای با برهم‌کنش ضعیف را در شبکه‌ی بلور می‌توان نام برد. مبنای اصلی کارکرد لیزر، استفاده از این وارونگی جمعیت در سیستم‌های اتمی است.

چون $k_B T$ دارای یکای انرژی است و مرتبه‌ی بزرگی آن نیز در حدود انرژی گرمایی هر اتم است، بعضی انرژی‌های مشخصه‌ی مرتبط با پدیده‌های گوناگون یا خواص ماده، به خاطر این هم‌ارزی با دما، اغلب برحسب دما بیان می‌شوند. مثلاً انرژی پیشینه‌ی الکترون در جسم جامد را در $^\circ K$ با انرژی ϵ_F نشان می‌دهند. این انرژی گاهی برحسب دمای فرمی T_F بیان می‌شود تا توزیع انرژی الکترون را در دمای متناهی ($k_B T_F = \epsilon_F$) نشان دهد.

دما و فشار متغیرهایی هستند که در بررسی خواص ماده، فراوان مورد استفاده قرار می‌گیرند. از میان این دو، پارامتر دما به‌طور گسترده‌تری به کار می‌رود. با به کار بردن روش‌های تجربی نوین می‌توان به دماهای بسیار کم حدود چند میکروکلین، و دماهای بسیار زیاد حدود چندین هزار کلین دست یافت.



قسمت‌های (۱) و (۲) در کتاب فیزیک (۱) و آزمایشگاه مطرح شده است و دانش‌آموزان به‌طور کامل با جزئیات آن آشنایی دارند. بهترین شروع تدریس این دو قسمت مروری اجمالی بر مفاهیم گرماسنجی است و پس از آن علاوه بر مثال‌هایی که در کتاب درسی آمده است چند مثال یا تمرین دیگر برای آن‌ها مطرح کنید.

ادامه‌ی راهنمای تدریس: در ادامه‌ی این بخش سه

موضوع دیگر به شرح زیر بررسی شده است.

- ۱- گرما و تعادل (ترازندی) گرمایی
- ۲- تغییر دما - گرمای ویژه
- ۳- دمای تعادل

می‌شود به صورت زیر تعریف کرد:

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

به این ترتیب گرمای (Q) لازم برای ایجاد تغییر ΔT با B در دمای θ کیلوگرم از یک جسم برابر است با:

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

و یا:

$$Q = mc\Delta T = mc(T_2 - T_1) \quad (3-5)$$

در این رابطه‌ها Q (گرما) بر حسب ژول، m (جرم) بر حسب کیلوگرم، θ (تغییر دما) بر حسب درجه سلسیوس و یا ΔT بر حسب کلوین است. یکای c با استفاده از رابطه‌های (3-4) و (3-5) برابر است با ژول بر کیلوگرم درجه سلسیوس یا ژول بر کیلوگرم و کلوین. گرمای ویژه برخی از مواد در جدول (3-9) داده شده است.

جدول 3-9: گرمای ویژه بر حسب ژول بر کیلوگرم و کلوین

ماده	گرمای ویژه	ماده	گرمای ویژه
آب	4200	کربن	870
آب منجمد	2100	سرب	128
بخ	2100	نقره	129
آلومین	900	چوب	1600
روغن پارافین	2100	آهن	449
مس	385	نیکل	444
سرب	128	پارافین	2100
نقره	129	سنگ مرمر	900

مثال 3-7
یک مسطوره حاوی 2kg آب $20^\circ C$ است. گرمای لازم برای افزایش دمای آب

اکثر خطا استفاده کرد.

گرمای تعادل اثر ترازندی گرمایی: در کتاب فیزیک (۱) و آزمایشگاه دیمه که گرما مقدار انرژی است که به دلیل اختلاف دما بین یک جسم و جسم دیگری که با آن در تماس است مبادله می‌شود. با توجه به قانون پایستگی انرژی، انرژی که جسم با دمای بالاتر از دست می‌دهد، را انرژی است که جسم با دمای پایین‌تر می‌گیرد. این مبادله انرژی تا زمانی که دمای دو جسم یکی نشود ادامه می‌یابد. به این ترتیب آن اگر دو جسم هم‌دما در تماس با یکدیگر قرار گیرند، گرمایی بین آن‌ها مبادله نمی‌شود و روشن است که گرمای حاصلی مبادله نمی‌شود. به عبارت کامل‌تر گرمایی که جسم اول به جسم دوم می‌دهد درست و برعکس آنست که جسم دوم به جسم اول می‌دهد. پس به‌طور حاصلی گرمایی مبادله نشده است.

در این وضعیت حتی وقتی گرمایی بین دو جسم مبادله نشود می‌توانیم دو جسم با هم در تعادل گرمایی آن دو دمای مشترک را دمای تعادل می‌نامیم.

برای مثال اگر یک قطعه فلز داغ را در یک ظرف آب سرد باندازیم، گرما از قطعه فلزی که دمای بالاتری است به آب که دمای پایین‌تری است، سرازیر می‌گردد. این سرازیر گرما تا زمانی ادامه می‌یابد که قطعه فلز و آب هم‌دما شوند و به دمای تعادل برسند.

تغییر دما - گرمای ویژه: در کتاب فیزیک (۱) و آزمایشگاه مقدار گرمای لازم برای ایجاد یک تغییر معین در دما را محاسبه کردیم. دیمه که برای ایجاد یک تغییر معین در دمای جسم‌های مختلف به مقدارهای متفاوت گرما نیاز است. از آنجا که گرمای ویژه هر جسم را که با تعداد c نمایش داده



تمرین پیشنهادی

۱- یک کتری برقی در مدت ۴ دقیقه دمای ۱ لیتر آب 15°C را 60°C بالا می‌برد.
الف) توان کتری برقی را حساب کنید.

ب) این کتری چند دقیقه‌ی دیگر کار کند تا دمای آب به نقطه‌ی جوش، 100°C ، برسد؟
پاسخ: الف) 105°C وات ، ب) حدود ۳ دقیقه

۲- در فرایندی یک قطعه‌ی مسی به جرم 2 kg به اندازه‌ی 152 kJ گرما از دست می‌دهد، اگر پس از این فرایند دمای قطعه‌ی مسی به 30°C برسد، دمای اولیه‌ی آن چقدر بوده است؟

پاسخ: 50°C

۳- جرم کل لنت ترمزهای اتومبیلی $4/8\text{ kg}$ و گرمای ویژه‌ی آن‌ها $1200\text{ J/kg}\cdot\text{K}$ است. اگر این اتومبیل هنگامی که با سرعت 15 m/s حرکت می‌کند با گرفتن ترمز بایستد، افزایش دمای لنت‌ها چقدر است؟ جرم اتومبیل 800 kg است.

پاسخ: $15/6^{\circ}\text{C}$

مثال ۴-۲

۵۰ گرم جیوه طی یک فرآیند 340 ژول گرما از دست می‌دهد. اگر دمای اولیه جیوه 27°C باشد دمای آن در پایان این فرآیند چقدر می‌شود؟
حلی در این فرآیند، چون جیوه گرما از دست داده است پس Q منفی است. یعنی داریم:

$$Q = -340\text{ J} \quad m = 50\text{ g} = 0.05\text{ kg} \quad \theta_1 = 27^{\circ}\text{C}$$

گرمای ویژه جیوه با استفاده از جدول (۳-۴) برابر است با:

$$c = 128\text{ J/kg}\cdot^{\circ}\text{C}$$

در نتیجه از رابطه (۳-۴) داریم:

$$-340 = -128 \times 0.05 \times (\theta_2 - 27)$$

$$(\theta_2 - 27) = \frac{-340}{128 \times 0.05} = -26$$

$$\theta_2 = 27 - 26 = 1^{\circ}\text{C}$$

یعنی دمای پایانی جیوه 1°C شده است.

دمای تعادل: دمای که اگر دو یا چند جسم با دماهای مختلف در تماس با یکدیگر قرار گیرند، پس از مدتی همدما می‌شوند. دمای تعادل را می‌توان با استفاده از قانون پایستگی انرژی محاسبه کرد. این محاسبه در مثال ۳-۴ انجام شده است.

مثال ۵-۲

یک قطعه 12 گرمی آلومینوم را که دمای آن 8°C است در ظرفی حاوی 45 گرم آب در دمای 22°C است می‌انداخت. دمای تعادل را محاسبه کنید. از نشان گرما بین ظرف و آب چشم‌پوشی کنید.
حلی در این مثال دو جسم داریم که تغییر دما ندارند. برای سادگی مشخصه‌های آن‌ها را با زیرنویس‌های (۱) و (۲) نشان می‌دهیم. یعنی:

$$m_1 = 12\text{ g} = 0.012\text{ kg} \quad c_1 = 880\text{ J/kg}\cdot^{\circ}\text{C} \quad \theta_1 = 8^{\circ}\text{C}$$

و از جدول (۳-۴)

$$m_2 = 45\text{ g} = 0.045\text{ kg} \quad c_2 = 4186\text{ J/kg}\cdot^{\circ}\text{C} \quad \theta_2 = 22^{\circ}\text{C}$$

ادامه‌ی راهنمای تدریس

دمای تعادل: هرچند در کتاب فیزیک (۱) و آزمایشگاه دانش‌آموزان با مفهوم دمای تعادل آشنا شده‌اند ولی در این کتاب باید قادر شوند تا دمای تعادل دو یا چند جسم را پس از تعادل یا ترازمندی گرمایی پیدا کنند. بهترین مفهومی که می‌تواند همواره در حل این گونه مسائل به دانش‌آموزان کمک کند درک درست و استفاده‌ی صحیح از قانون پایستگی انرژی است. بنابر این قانون هرگاه دو یا چند جسم (دستگاه) با یکدیگر در تبادل گرمایی باشند پس از گذشت زمان و رسیدن به تعادل گرمایی مجموع جبری گرمای مبادله شده بین آن‌ها صفر است. به عبارت دیگر

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

معادله‌ی بالا که بنابر قانون پایستگی انرژی نوشته شده است باید تلاش زیادی کنید تا با حل مثال‌های مختلف، دانش‌آموزان به درک درستی از آن برسند.

در همین طور برای آب داریم:

$$m_1 c_1 (\theta_e - \theta_1) = m_2 c_2 (\theta_e - \theta_2)$$

$$m_1 c_1 (\theta_e - \theta_1) = m_2 c_2 (\theta_e - \theta_2)$$

و دمای تعادل که دمای نهایی مشترک آب و آلومینیوم است را با θ_e نمایش می‌دهد. با استفاده از رابطه (۳-۳۱) مقدار گرمای که آلومینیوم از دست می‌دهد با دمای تعادل θ_e برده می‌رود:

$$Q_1 = m_1 c_1 (\theta_e - \theta_1) = m_2 c_2 (\theta_e - \theta_2)$$

و مقدار گرمایی که آب می‌گیرد با دمای تعادل برده می‌رود:

$$Q_2 = m_2 c_2 (\theta_e - \theta_2) = m_1 c_1 (\theta_e - \theta_1)$$

از قانون پایستگی انرژی داریم:

$$Q_1 + Q_2 = 0$$

زیرا مجموعاً آلومینیوم و آب با بیرون گرما داده و از بیرون گرما گرفته است. در نتیجه داریم:

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

$$m_1 c_1 \theta_e - m_1 c_1 \theta_1 + m_2 c_2 \theta_e - m_2 c_2 \theta_2 = 0$$

پس از محاسبه حاصل می‌شود:

$$\theta_e = \frac{m_1 c_1 \theta_1 + m_2 c_2 \theta_2}{m_1 c_1 + m_2 c_2}$$

پس از آن می‌توان نتیجه گرفت که هرگاه چند جسم متفاوت با گرمای ویژه c_1, c_2, c_3, \dots و جرم‌های m_1, m_2, m_3, \dots با دمای اولیه $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots$ را در تماس کامل با یکدیگر قرار دهیم برای یافتن دمای تعادل θ_e می‌توانیم حاصل جمع گرمایی را که هر یک می‌دهند، صفر $Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots = 0$ را بر حسب صفر قرار دهیم. یعنی:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots = 0 \quad (3-32)$$

و از آنجا معادله‌ای بدست می‌آوریم که دمای تعادل را از آن محاسبه کنیم. به عبارت دیگر:

$$m_1 c_1 (\theta_e - \theta_1) + m_2 c_2 (\theta_e - \theta_2) + m_3 c_3 (\theta_e - \theta_3) + \dots = 0 \quad (3-33)$$

از معادله (۳-۳۳) می‌توانیم برای یافتن گرمای ویژه یک جسم نیز استفاده کنیم. مثال بعد نحوه محاسبه را نشان می‌دهد.

پس از بیان رابطه، کلی‌ترین حالت را برای دانش‌آموزان مطرح یا از آن‌ها بخواهید که پس از یکی دو دقیقه بحث در گروه‌های خود مطرح نمایند. کلی‌ترین حالت آن است که جرم، جنس و دمای اولیه‌ی همه‌ی جسم‌هایی که با یکدیگر تبادل گرمایی دارند متفاوت باشد. اگر دمای تعادل را با θ_e یا θ نشان دهیم، خواهیم داشت:

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

این رابطه را به شکل زیر نیز می‌توانید برای دانش‌آموزان

بنویسید.

$$\theta_e = \frac{m_1 c_1 \theta_1 + m_2 c_2 \theta_2 + \dots}{m_1 c_1 + m_2 c_2 + \dots}$$

بررسی حالت‌های خاص در به دست آوردن دمای تعادل

(الف) همه‌ی اجسامی که با یکدیگر در تبادل گرما هستند هم جنس باشند.

$$c_1 = c_2 = c_3 = \dots \Rightarrow \theta_e = \frac{m_1 \theta_1 + m_2 \theta_2 + \dots}{m_1 + m_2 + \dots}$$

(ب) جرم همه‌ی اجسامی که با یکدیگر در تبادل گرما هستند برابر باشد.

$$m_1 = m_2 = m_3 = \dots \Rightarrow \theta_e = \frac{c_1 \theta_1 + c_2 \theta_2 + \dots}{c_1 + c_2 + \dots}$$

(پ) جرم و جنس همه‌ی اجسام که با یکدیگر در تبادل گرما هستند یکسان باشد.

$$m_1 = m_2 = \dots, r c_1 = c_2 = \dots \Rightarrow \theta_e = \frac{\theta_1 + \theta_2 + \dots}{1 + 1 + \dots}$$

لازم به توضیح است که دانش‌آموزان باید مبنای کار خود را در حل مسائل رابطه‌ی اصلی قرار دهند و پس از حل مسائل متعدد و تسلط کافی بر این بحث، می‌توانند برای سرعت بخشیدن به محاسبه‌های خود از این روابط خاص که برگرفته از رابطه‌ی اصلی است، استفاده نمایند.

تمرین پیشنهادی



۱- مقدار m_1 گرم آب 28°C را با مقدار m_2 گرم آب 49°C مخلوط می‌کنیم تا ۲ لیتر آب 40°C به دست آید. m_1 و m_2 را پیدا کنید.

۲- قطعه‌ای فولاد به جرم 45g و دمای 30°C را درون ۴ لیتر آب 2°C می‌اندازیم. دمای تعادل چقدر است؟

آزمایش ۶-۲

هدف: تعیین ظرفیت گرمایی گرماسنج

از آنجا که دانش آموزان در بیش تر مسائل و مثال هایی که با آن ها مواجه می شوند از ظرفیت گرمایی گرماسنج چشم پوشی می کنند این آزمایش نمونه ای نزدیک به واقعیت در گرماسنجی است! در این آزمایش که مراحل آن در کتاب درسی آمده و ابهام خاصی نیز در انجام مراحل مختلف آن وجود ندارد، دانش آموزان در پایان با حدود کمتی ظرفیت گرمایی یک گرماسنج، که به خوبی عایق بندی شده است، آشنا می شوند. در این کتاب ظرفیت گرمایی یک گرماسنج را، که شامل مجموعه ی فلاسک، همزن و دماسنج درون است، با A نشان می دهند.

توصیه: در صورتی که در آزمایشگاه مدرسه گرماسنج ندارید ظرف در داری را که بر روی درب آن دو سوراخ برای عبور دماسنج و همزن ایجاد شده است به خوبی عایق بندی کنید و با اندازه گیری جرم اجزای مختلف آن، این آزمایش را انجام دهید. ظرفیت گرمایی گرماسنج ها متعارف معمولاً بین 100 تا 200 ژول بر کلون است.

آزمایش زیر را به طور گروهی انجام دهید.

۱- 100 گرم آب درون فلاسک بزرگ و همزن و دماسنج را درون آن قرار دهید و صبر کنید تا آب و فلاسک و همزن به تعادل گرمایی برسند.

۲- در این فاصله 100 گرم آب درون ظرف سینیهای نسوز بزرگ.

۳- ظرف نسوز را مطابق شکل (۶-۲) روی سه پایه بالای چراغ قرار دهید.

۴- چراغ را روشن کنید و آب را تا دمای 10 گرم کنید.

۵- دمای آب درون فلاسک را 10 و آب درون ظرف سینیهای 10 را به کمک دماسنج های که در هر یک از این ظرف ها قرار داده اندازه بگیرید و یادداشت کنید. سپس آب گرم درون ظرف سینیهای نسوز را (به کمک دستگیره) به درون فلاسک بریزید.

۶- آب درون فلاسک را با همزنی که درون آن است هم بزنید و دمای تعادل (A) را اندازه گیری و یادداشت کنید.

۷- اگر گرمای ویژه آب را با c_1 ، گرمای ویژه فلاسک را با c_2 ، گرمای ویژه همزن را با c_3 ، گرمای ویژه فلاسک را با M_1 ، جرم همزن را با M_2 و جرم دماسنج را با M_3 نشان دهید با استفاده از معادله (۶-۳) خواهیم داشت:

$$m_1 c_1 (\theta_1 - \theta_0) + m_2 c_2 (\theta_1 - \theta_0) + M_1 c_3 (\theta_1 - \theta_0) + M_2 c_4 (\theta_1 - \theta_0) + M_3 c_5 (\theta_1 - \theta_0) = m_2 c_2 (\theta_2 - \theta_0) + m_1 c_1 (\theta_2 - \theta_0)$$

دقت کنید که دمای اولیه فلاسک و همزن و دماسنج با دمای اولیه آب درون فلاسک برابر است و همین طور هم دمای تعادل برای همه آنها یکسان است.

۸- از رابطه بالا داریم:

$$[M_1 c_3 + M_2 c_4 + M_3 c_5 + M_1 c_2] (\theta_1 - \theta_0) + m_1 c_1 (\theta_1 - \theta_0) = m_2 c_2 (\theta_2 - \theta_0) + m_1 c_1 (\theta_2 - \theta_0)$$

۹- در این رابطه تنها عبارت داخل کروشه مجهول است. مقدار آن را به کمک اعدادی که در آزمایش بدست آورده ایم محاسبه کنید. این کمیت را ظرفیت گرمایی مجموعه فلاسک و همزن و دماسنج درون آن می نامند و آنرا با نماد A نشان می دهند.

مثال ۶-۲

در ظرف عایقی حاوی 200 گرم آب 20°C یک قطعه مس 100 گرمی به دمای 50°C و یک قطعه فلز دیگری به جرم 150 گرم و به دمای 121.5°C که گرمای ویژه آنرا نمی دانیم می اندازیم و دمای تعادل را اندازه می گیریم. اگر دمای تعادل 22°C باشد، گرمای ویژه فلز را محاسبه کنید. از تبادل گرما بین ظرف و آب چشم پوشی کنید. حل: با استفاده از داده های این مثال و جدول (۶-۳) داریم:

$$m_1 c_1 (\theta_1 - \theta_0) + m_2 c_2 (\theta_1 - \theta_0) + m_3 c_3 (\theta_1 - \theta_0) = m_2 c_2 (\theta_2 - \theta_0) + m_1 c_1 (\theta_2 - \theta_0)$$

$$200 \times 4.18 (\theta_1 - 20) + 150 \times c_2 (\theta_1 - 20) + 100 \times 0.38 (\theta_1 - 20) = 150 \times c_2 (\theta_2 - 20) + 200 \times 4.18 (\theta_2 - 20)$$

$$200 \times 4.18 (\theta_1 - 20) + 150 \times c_2 (\theta_1 - 20) + 38 (\theta_1 - 20) = 150 \times c_2 (\theta_2 - 20) + 836 (\theta_2 - 20)$$

با مرجع این داده ها در رابطه (۶-۳) داریم:

$$200 \times 4.18 (\theta_1 - 20) + 150 \times c_2 (\theta_1 - 20) + 38 (\theta_1 - 20) = 150 \times c_2 (\theta_2 - 20) + 836 (\theta_2 - 20)$$

پس از محاسبه حاصل می شود:

$$c_2 = 218.3 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$$

تمرین ۶-۲

جسمی به جرم 150 گرم در دمای 3°C را به درون ظرف عایقی حاوی 200 گرم آب 25°C می اندازیم. پس از چند دقیقه دمای تعادل را اندازه می گیریم. اگر دمای تعادل 11°C باشد، گرمای ویژه جسم را محاسبه کنید. از تبادل گرما بین آب و ظرف چشم پوشی کنید.

آزمایش ۶-۲

گرماسنجی سه تعیین ظرفیت گرمایی گرماسنج و وسایل لازم: ترازو، یک ظرف آب، چراغ الکلی با گازی، سه پایه و سینی پختن کن، ظرف سینیهای نسوز برای گرم کردن آب، یک فلاسک ای طرفی که به خوبی عایق بندی شده باشد، دو عدد همزن، دو عدد دماسنج حیوانی، یک عدد دستگیره.

آزمایش ۳-۶

هدف: تعیین گرمای ویژه‌ی یک جسم

دانش‌آموزان با آزمایش مشابهی در فیزیک (۱) و آزمایشگاه آشنا شده‌اند. تفاوتی که در این کتاب نسبت به کتاب فیزیک (۱) و آزمایشگاه وجود دارد این است که ظرفیت گرمایی گرماسنج باید در محاسبات مورد توجه قرارگیرد. از آنجا که این آزمایش پس از آزمایش ۳-۶ آمده است، از همان گرماسنجی که ظرفیت گرمایی آن را تعیین کرده‌اید استفاده کنید. با توجه به داشتن ظرفیت گرمایی گرماسنج، مراحل مختلف آزمایش را مطابق آنچه در کتاب درسی آمده است انجام دهید. تنها باید دقت شود که هنگام نوشتن معادله‌ی گرماسنجی براساس قانون پایستگی انرژی باید گرمای مبادله شده با گرماسنج به صورت زیر منظور شود.

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0$$

$$A(\theta_e - \theta_1) + m_1 c_{\text{آب}}(\theta_e - \theta_1) + m_2 c_{\text{جسم}}(\theta_e - \theta_2) = 0$$

در رابطه‌ی بالا با داشتن A ، تنها گرمای ویژه جسم، c ، مجهول است که می‌توان با جای‌گذاری مقادیر به‌دست‌آمده آن را تعیین کرد.



فعالیت ۲-۶

هدف: تکرار آزمایش ۳-۶ برای تعیین گرمای ویژه‌ی جسمی که گرمای ویژه‌ی آن را می‌دانیم.

توصیه می‌شود فعالیت ۲-۶ و آزمایش ۳-۶ با یک دیگر مورد توجه قرار گیرند. به عبارت دیگر هنگام انجام آزمایش ۳-۶ از جسمی (مثلاً قطعه‌ای فولاد یا مس) استفاده کنید که گرمای ویژه‌ی آن را می‌دانید. سپس مقدار به‌دست‌آمده از طریق آزمایش را با مقدار داده شده در جدول ۱-۶ کتاب درسی مقایسه کنید. در صورت وجود اختلاف ناچیز بین نتیجه‌ی آزمایش و مقدار داده شده در جدول معلوم می‌شود که مراحل مختلف آزمایش به دقت انجام شده است. لازم به توضیح است که مقادیر داده شده در جدول ۱-۶ براساس شرایط خاص فشار 1 atm و دما 20°C است. در صورتی که شرایط محل انجام آزمایش شما متفاوت باشد و یا جسمی که انتخاب کرده‌اید از درجه‌ی خلوص خوبی برخوردار نباشد احتمال وجود تفاوت معنی‌داری بین نتایج آزمایش و مقادیر جدول ۱-۶ وجود دارد.



دماسنجی

دما کمیته متناسب با انرژی جنبشی میانگین ذرات میکروسکوپی است. واضح است که اندازه‌گیری انرژی جنبشی 10^{23} اتم، کاری ناممکن است. بنابراین مقیاس دما را از طریق ارتباط دما، T ، با کمیت مشاهده‌پذیر ماکروسکوپیکی دیگری، x ، تعریف می‌کنیم. این کار را «دماسنجی» می‌گویند.

برای مثال، در دماسنج جیوه‌ای خانگی، x طول ستون جیوه در لوله‌ای شیشه‌ای است و T به‌عنوان تابع تک‌نویایی از x تعریف می‌شود. در دماسنج‌های دیگر، x ممکن است فشار گاز یا مقاومت الکتریکی رسانای خاصی باشد. به‌طور کلی، برای مشاهده‌پذیر x نوعی تابع تک‌نوا $f(x)$ چنان ساخته می‌شود که داریم

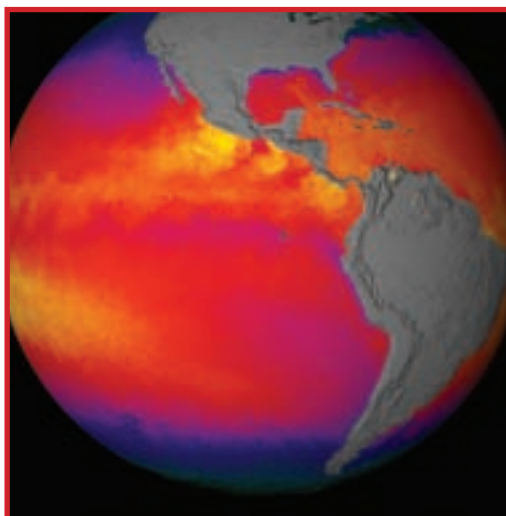
$$T = f(x) \quad (1)$$

در ساده‌ترین حالت، $f(x)$ نسبت به x خطی است:

$$T = Ax + B \quad (2)$$

که در آن A و B ثابت‌هایی هستند که با انتخاب دو حالت بازتولیدپذیر ماده، مانند نقطه‌ی انجماد و نقطه‌ی جوش آب، تعیین می‌شوند. بنابه تعریف، به این حالت‌ها دو مقدار عددی به‌عنوان دماهای T_1 و T_2 نسبت می‌دهیم. مثلاً اگر T_1 و T_2 مربوط به نقاط انجماد و جوش آب را به ترتیب با مقادیر 0 و 100 مشخص کنیم، مقیاس سلسیوس را پدید می‌آوریم؛ اگر این دماها را با اعداد 32 و 212 مشخص کنیم، مقیاس فارنهایت را خواهیم داشت. پس از تعیین A و B ، دمای T مربوط به هر حالت را با خوانش x در زمانی که دماسنج در تعادل گرمایی با سیستم مورد نظر است، معین می‌کنیم.

همیشه نمی‌توانیم مدلی بسازیم که در آن رابطه‌ی T و x خطی باشد. مثلاً اگر x طول ستونی از مایع در لوله‌ای با سطح مقطع یکنواخت باشد، تغییر x برای تغییر دما از 10 تا 15 درجه لزوماً برابر با تغییر x برای تغییر دما از 110 تا 115 درجه نخواهد بود. چنین تفاوت‌هایی عادی است، زیرا در حالت کلی ضریب انبساط گرمایی هر ماده‌ای تابعی از دما است. یعنی A و B تابعی از T هستند، و بنابراین رابطه‌ی T و x واقعاً خطی نیست. با وجود این، تقریب خطی معمولاً برای تغییرات دمایی که چندان زیاد نباشد کفایت می‌کند.



مشکل دیگر هنگامی پیش می‌آید که حالت‌های استاندارد مربوط به دماهای مرجع T_1 و T_2 ، علاوه بر x ، به متغیرهای دیگری نیز وابسته باشند: مثلاً، نقطه‌ی انجماد و نقطه‌ی جوش آب با تغییر فشار جو تغییر می‌کنند. بنابراین، برای مقیاسی که بر پایه‌ی این حالت‌ها ساخته می‌شود، علاوه بر مقادیر T_1 و T_2 ، باید فشاری که تحت آن دماهای نقاط انجماد و جوش آب تعیین می‌شوند نیز مشخص شود.

هنگامی که یک مقیاس به روشنی تعریف شد، هر مقیاس دیگری را می‌توان برحسب آن تعریف کرد. مقیاس اصلی دما مقیاس کلون است، که در آن $T = 0^\circ$ به این معنی است که انرژی جنبشی میانگین ذرات میکروسکوپیکی در کمینه‌ی مطلق است. به نقطه‌ی سه‌گانه‌ی آب، دمای $273/16 \text{ K}$ نسبت داده می‌شود. «اندازه»ی درجه‌ی کلون با همان درجه‌ی سلسیوس برابر است. رابطه‌ی میان مقیاس‌های کلون (T_K)، سلسیوس (T_C) و فارنهایت (T_F) به صورت زیر است:

$$T_C = T_K - 273/16 \quad \text{و} \quad T_F = \frac{9}{5}T_C + 32$$



۲-۶- حالت‌های ماده

راهنمای تدریس: از آن‌جا که دانش‌آموزان در علوم سال اول راهنمایی با همه‌ی مفاهیم این بخش به طور کیفی آشنا شده‌اند توجه به دانستنی‌های قبلی آن‌ها می‌تواند کمک زیادی به شیوه‌ی آموزش ما در این بخش بکند. در علوم سال اول علاوه بر آشنایی دانش‌آموزان با حالت‌های مختلف ماده، با تغییر حالت‌های مختلف ماده به یکدیگر نیز آشنا شده‌اند. و در پایان مبحثی که به این موضوع پرداخته شده است فعالیت زیر توسط دانش‌آموزان انجام شده است که توصیه می‌شود برای شروع این فصل دوباره همین فعالیت را بخواهید تا دانش‌آموزان انجام دهند.

فعالیت ۳-۲

گرمای درون یک فنر یا مایع معطر را اندازه بگیرید. مقداری را که به دست می‌آورد، با مقدار داده شده در جدول (۳-۹) مقایسه کنید. دلیل اختلاف بین عددی که شما به دست آورده‌اید و رقمی که در جدول درج شده چیست؟ موضوع را با همکلاسیان خود به بحث بگذارید.

۳-۲-۱ سه حالت‌های ماده

همان‌طور که در فصل ۲ دیدیم موادی که در اطراف ما وجود دارند در سه حالت (غاز) جامد، مایع و گاز یافت می‌شوند. برای مثال H_2O هر سه حالت جامد (یخ) و مایع و حالت جامد آب و هر سه حالت گاز (بخار آب) یافت می‌شود. گذار از یک حالت (غاز) به یک حالت (غاز) دیگر را یک تغییر حالت (گذار فاز) می‌نامند. هر تغییر حالت (در فشار ثابت) در زمانی ثابت صورت می‌گیرد که آن را زمانی گذار می‌نامند. تغییر حالت‌ها معمولاً با گرفتن و یا از دست دادن گرما همراه است. علاوه بر این حجم و چگالی نیز با تغییر حالت تغییر می‌کند.

فعالیت ۳-۳

از دانش‌آموزان بخواهید انجام دهند که در آن تغییر محلول به هنگام انحلال یخ (سول) و یا تغییر محلول به هنگام ذوب شدن آب (سول) مشخص شود.

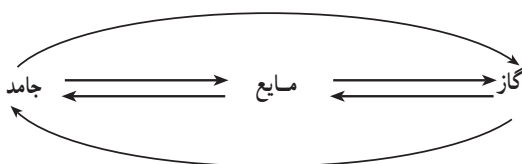
برای مثال در شکل (۳-۹) انواع تغییر حالت‌هایی که برای آب امکان‌پذیر است نشان داده شده است.

تبدیل جامد به مایع را ذوب، تبدیل مایع به بخار را تبخیر، تبدیل مایع به جامد را انجماد و تبدیل بخار به مایع را συμπند می‌نامند.

امکان دارد که تغییر حالت از جامد به بخار و وارون آن از بخار به جامد نیز بطور مستقیم (بدون گذر از حالت مایع) صورت گیرد. تغییر حالت از جامد به بخار، تصفیه و تغییر حالت وارون آن یعنی از بخار به جامد چگالش نام دارد.

برای مثال قطرات در دمای اتاق بطور مستقیم از جامد به بخار تبدیل می‌شوند (تصفیه). در صبح‌های بسیار سرد زمستان رفتگی که روی آبنماها و یا روی شیشه پنجره می‌تسند، بخار آب است که بطور مستقیم به بخارهای یخ تبدیل شده است (چگالش).

124



این فعالیت از کتاب علوم سال اول راهنمایی انتخاب شده است. با رسم نمودار روبه‌رو بر روی تابلوی کلاس، از دانش‌آموزان بخواهید تا به طور گروهی آن را تکمیل نمایند و برای هر مورد مثالی ذکر کنند.

از آن جا که هم در کتاب علوم سال اول و هم در کتاب شیمی (۱) با نوع فرایند از جنبه‌ی «گرم‌گیر» یا «گرم‌ماده» بودن نیز آشنا هستند پس از تکمیل نمودار از آن‌ها بخواهید تا از این جنبه نیز هر یک از تغییر حالت‌ها (گذار فازها) را نیز بررسی نمایند و نتیجه را به کلاس ارائه نمایند.

شکل ۴-۶ انواع تغییر حالت‌های آب

در ادامه هر یک از تغییر حالت‌ها را به‌طور جداگانه بررسی می‌کنیم.

ذوبه: پس از این دمیوم که اگر به جسم جامدی گرم‌تر باشد، دمای آن افزایش می‌یابد. اگر فصل گرم‌تر دامن را ادامه دهید، هنگامی که دمای جسم به مقدار مشخصی رسید، افزایش دما متوقف می‌شود (اما دما ثابت می‌ماند) و جسم شروع به ذوب شدن می‌کند (به مایع تبدیل می‌شود). این دمای ثابت را که به جنس جسم و فشار وارد بر آن بستگی دارد «دمای ذوب» یا «نقطه ذوب» می‌نامیم.

انجماد: فشار وارد بر جسم به جز در چند مورد، سبب بالا رفتن نقطه ذوب آن می‌شود. در بعضی از جسم‌ها مانند یخ، افزایش فشار سبب کاهش نقطه ذوب می‌شود. قطه ذوب یخ در فشار یک اتمسفر و در دمای صفر درجه سلسیوس است.

فعالیت ۴-۶

در باره نقطه ذوب آب دمای آن را در یک ظرف شیشه‌ای در نظر بگیرید. سپس آن را در یک ظرف دیگر که دمای آن بالاتر از نقطه ذوب آب است قرار دهید. به جسم جامدی که به دمای ذوب خود رسیده باشد باید گرما بدهیم تا به مایع تبدیل شود.

۱۵۷

ادامه‌ی راهنمای تدریس: در صورتی که دانش‌آموزان کلاس در انجام فعالیت پیشنهادی موفق بودند ضمن جمع‌بندی دوباره‌ی موضوع و توجه آن‌ها به شکل ۶-۶ کتاب درسی، می‌توانید موضوع تغییر حالت (گذار فاز) مواد را به طور کمی مورد بررسی قرار دهید و در صورتی که نتیجه‌ی کار دانش‌آموزان در خصوص فعالیت پیشنهادی راضی نبودید ضمن مرور همه‌ی تغییر حالت ماده، توجه آن‌ها را به شکل ۶-۶ بنمایید و از آن‌ها بخواهید تا شکل ۶-۶ را به صورت یک متن بنویسید. این کار ضمن توجه دقیق‌تر دانش‌آموزان به هدف این بخش، باعث تثبیت یادگیری آن‌ها نیز می‌شود.

فعالیت ۶-۳

هدف: طراحی آزمایش برای مقایسه‌ی تغییر حجم یخ و آب هنگام ذوب و انجماد

از آنجا که این فعالیت به زمان زیادی برای مشاهده‌ی نتیجه نیازمند است توصیه می‌شود از دانش‌آموزان بخواهید براساس طرحی که ارائه می‌نمایند این فعالیت را در منزل انجام دهند. ساده‌ترین شیوه انجام این فعالیت آن است که درون ظرفی مقداری آب بریزند به گونه‌ای که کاملاً لبالب نباشد. سپس ظرف را درون قسمت یخ‌ساز یخچال قرار داده و پس از یخ‌بستن آب، مشاهده خواهند کرد که تمام حجم ظرف را یخ دربرگرفته و حتی ممکن است مقداری نیز بیرون آمده باشد. این شیوه مبتنی بر مشاهده است. در صورتی که طراحی دانش‌آموزان مبتنی بر اندازه‌گیری دقیق حجم آب و یخ در مراحل مختلف باشد، که در واقع این روش از دانش‌آموزان انتظار می‌رود، با هدف‌های کتاب فیزیک (۲) و آزمایشگاه نزدیک‌تر است.

۳- فرایندی گرماگیر است و در حین فرایند ذوب دمای آن ثابت می ماند.

۴- دمای ذوب به جنس جسم و فشار وارد بر آن بستگی دارد.

۵- افزایش فشار وارد بر جسم (جز چند مورد استثنا) سبب بالا رفتن نقطه‌ی ذوب می شود.

۶- افزایش فشار روی یخ سبب کاهش نقطه‌ی ذوب آن می شود. (به عنوان استثنا)

ادامه‌ی راهنمای تدریس: پس از فعالیت ۳-۶ مطابق روند کتاب درسی تغییر حالت‌ها را جداگانه به صورت کیفی و کمی مورد بررسی بیشتری قرار دهید.

ذوب: توصیه می شود برای شروع این بحث فهرستی از ویژگی‌های فرایند ذوب را به کمک دانش آموزان بر روی تابلو بنویسید (مشابه فهرست زیر).

- ۱- تغییر حالت جامد به مایع
- ۲- در دمای معینی رخ می دهد که دمای ذوب یا نقطه‌ی ذوب نامیده می شود.

فعالیت ۴-۶

این فعالیت در واقع یک پرسش مفهومی است و هدف آن ارتباط بین فشار وارد بر حجم و نقطه‌ی ذوب آن است. چون در قله‌ی کوه‌ها فشار هوا کاهش می یابد بنابراین نقطه‌ی ذوب برف نیز (به عنوان استثنا) افزایش می یابد.

گرمای نهان ذوب، گرمای نهان ویژه ذوب؛ گرمایی که جسم جامد در نقطه ذوب خود می‌گیرد تا به مایع تبدیل شود، سبب تغییر دمای آن نمی‌شود، بلکه صرف تغییر حالت آن خواهد شد. از این رو به این گرما، گرمای نهان ذوب می‌گویند. دامن گرمای نهان ذوب به جامدی که به نقطه ذوب خود رسیده است. آنرا ذوب می‌کنند.

گرمای نهان ویژه ذوب (p) ۱۸۰ ' یک جامد، بر اثر است با مقدار انرژی‌ای که باید به یک کیلوگرم از آن جامد در دمای نقطه ذوب بدیم تا به مایع در همان دما تبدیل شود. برای گرمای نهان ویژه در ۱۸۰ ژول و کیلوگرم (kcal) ۱۸۰ است.

بنابراین گرمای نهان ذوب ۱۸۰ کیلوگرم جامد از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Q = m \cdot p \quad (۳-۹)$$

گرمای نهان ویژه ذوب و نقطه ذوب مواد مختلف، متفاوت است. این مقدارها برای برخی از مواد در جدول (۳-۹) داده شده است.

جدول ۳-۹- نقطه ذوب و گرمای نهان ویژه ذوب برخی مواد در فشار یک اتمسفر

مواد	نقطه ذوب (°C)	گرمای نهان ذوب (kcal/kg)
عسروزی	-۱۲۱	۵۸٫۴
زین	-۲۰۹	۲۵٫۵
آکسون	-۲۱۸	۱۳٫۸
جود	-۳۱	۱۱٫۸
یخ	-	۳۳۳
توتگر	۱۱۱	۳۸٫۱
سرب	۲۲۷	۲۲٫۵
نم	۳۲۰	۱۶۵
نقره	۹۶۰	۸۸٫۳
طلا	۱۰۶۳	۲۲٫۵
مس	۱۰۸۳	۱۲۲

۱۵۸

گرمای نهان ذوب و همچنین گرمای نهان ویژه‌ی ذوب مطابق تعریفی که در کتاب درسی آمده برای دانش آموزان مطرح شود. پس از معرفی تأکید کنید هنگامی که جسمی گرمای نهان ذوب را دریافت می کند دمای آن ثابت می ماند. این موضوع را با پرسش پیشنهادی زیر نیز می توانید مطرح کنید.

چرا در رابطه‌ی گرماسنجی $Q = mc\Delta\theta$ تغییر دمای $(\Delta\theta)$ وجود دارد در حالی که در رابطه‌ی گرمای نهان ذوب $Q = mL_F$ تغییر دما $(\Delta\theta)$ وجود ندارد؟
 مقایسه‌ی این دو رابطه به‌طور هم‌زمان به دانش‌آموزان کمک می‌کند که درک عمیق‌تری از فرایند ذوب به دست آورند که در حین آن با وجود دریافت گرما توسط جسم، دمای آن ثابت می‌ماند.

تمرین پیشنهادی



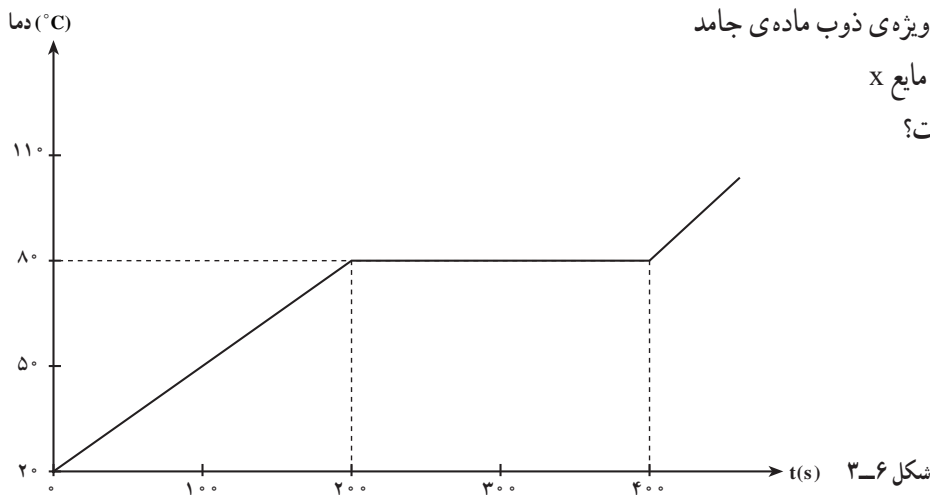
به ماده‌ی جامد x در ظرف عایقی با آهنگ ثابت گرما می‌دهیم. دمای آن برحسب زمان به صورت شکل ۳-۶ تغییر می‌کند.

اگر گرمای ویژه‌ی ماده‌ی جامد 180°J/kg.K باشد، مطلوب است.

الف) گرمای نهان ویژه‌ی ذوب ماده‌ی جامد

ب) گرمای ویژه‌ی مایع x

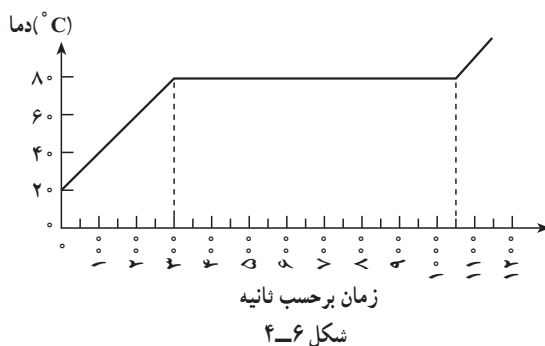
پ) این ماده چیست؟



تمرین پیشنهادی

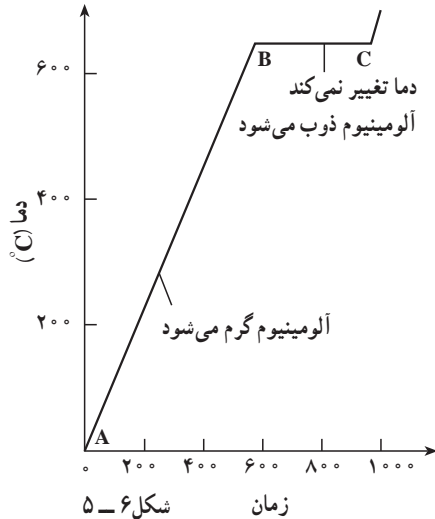


شکل ۴-۶ تغییر دمای ماده‌ای به جرم 0.5 kg را که با گرم‌کننده‌ای به توان 100 W گرم می‌شود نشان می‌دهد.
 الف) چند ثانیه طول می‌کشد تا دمای جسم به نقطه‌ی ذوب برسد؟
 ب) با توجه به شکل، گرمای نهان ویژه‌ی ذوب ماده را به دست آورید.





این تمرین درباره‌ی فلز آلومینیوم است که در کوره‌ای به آن گرما داده می‌شود. نمودار شکل ۶-۵ چگونگی تغییرات دمای آلومینیوم را برحسب زمان نشان می‌دهد. برای پاسخ به این تمرین می‌توانید از داده‌های زیر استفاده کنید.



شکل ۶-۵

- جرم آلومینیوم 8 kg
- زمان گرم شدن 1000 s
- توان گرمکن‌ها در کوره 8 kW

- (الف) در چه دمایی آلومینیوم ذوب می‌شود؟
 (ب) چه مدت طول می‌کشد تا آلومینیوم گرم شود و به نقطه‌ی ذوب برسد؟
 (پ) در این مدت، آلومینیوم چه مقدار گرما می‌گیرد؟
 (ت) ظرفیت گرمایی ویژه‌ی آلومینیوم را حساب کنید؟
 (ث) آلومینیوم چه مقدار گرما می‌گیرد تا ذوب شود؟

(ج) چه مقدار انرژی گرمایی برای ذوب 1 kg آلومینیوم لازم است؟

(چ) نمودار، چگونگی تغییرات دمای آلومینیوم را برحسب زمان در یک کوره نشان می‌دهد که هیچ اتلاف انرژی در آن وجود ندارد. کوره‌های واقعی اتلاف انرژی دارند. با استفاده از این نمودار، نمودار دیگری رسم کنید که تغییرات دمای یک کوره‌ی واقعی را نشان دهد.

فعالیت ۶-۵

هدف: اندازه‌گیری گرمای نهان ذوب یخ پس از طراحی، این فعالیت را به‌طور عملی انجام

دهید.

روش پیشنهادی:

- ۱- در یک بشر مقداری آب و چند قطعه یخ بریزید، دماسنجی در آن قرار دهید، تا تعادل گرمایی برقرار شود و دمای تعادل θ را اندازه بگیرید.
- ۲- گرماسنجی را که ظرفیت گرمایی A آن معلوم است انتخاب کنید و جرم آن را به کمک ترازو اندازه بگیرید.
- ۳- درون گرماسنج مقداری آب بریزید، با توزین دوباره جرم آب را اندازه بگیرید. سپس دمای تعادل آب و گرماسنج θ_1 را به دست آورید.

مثال ۶-۴
 گرمای نهان ذوب 1 kg یخ را محاسبه کنید. فرض کنید که یخ در نقطه ذوب خود باشد.
 حل: با استفاده از جدول ۲-۳ داریم:

$$Q_p = 334200\text{ J/kg}$$

$$m = 1\text{ kg}$$
 بنابراین از رابطه $Q = m \cdot Q_p$ داریم:

$$Q = 334200\text{ J} = 334.2\text{ kJ}$$
 مانند بیان مثال گرمای نهان ذوب گرمایی یخ همان دمای ذوب است.

فعالیت ۶-۴
 آزمایشی برای اندازه‌گیری گرمای نهان ذوب یخ طراحی کنید و زیر این فعالیت بخوانید.

تعداد فرزند تعداد بزرگان فرزند ذوب یخ تبدیل مایع به جامد است. اگر مایع را سرد کنیم یعنی از آن گرما بگیریم هنگامی که به دمای انجماد یا نقطه انجماد خود می‌رسد، شروع به جامدشدن می‌کند. دمای نقطه ذوب یک ماده در لحظه تشکیل یا دمای نقطه انجماد آن برابر است. برای رای مثال اگر در فشار یک اتمسفر به یک صفر درجه سانتیگراد گرما دهیم شروع به ذوب می‌کند و نور آبی در همان فشار از آب صفر درجه سانتیگراد گرما بگیریم شروع به انجماد می‌کند. هر جسم به هنگام انجماد خودش گرما از دست می‌دهد که به هنگام ذوب می‌گیرد. بنابراین گرمای نهان ذوب انجماد یعنی گرمای نهان ذوب است. به این ترتیب گرمای نهان ذوب انجماد Q_p کلوز، مایع از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

(۶-۴)
 $Q_p = m \cdot Q_p$

علامت منفی نشان می‌دهد آن است که مایع به هنگام انجماد گرما از دست می‌دهد. همچنین در لحظه ذوب به مایع گرما می‌دهیم. مایع آن انرژی می‌گیرد. اگر عمل گرما دادن را ادامه دهیم، هنگامی که دمای مایع به مقدار مشخصی برسد، انرژی مایع مایع می‌شود و دما ثابت می‌ماند. مایع در این موقع به جوش می‌آید و تبدیل به بخار می‌شود. این دمای انجماد دمای جوش به نقطه جوش می‌باشد.

۴- مقداری یخ را از بشر خارج و آن را خشک و به آرامی وارد گرماسنج کنید. صبر کنید تا یخ داخل گرماسنج ذوب شود، سپس دمای تعادل θ_2 را اندازه بگیرید.

۵- یک بار دیگر جرم گرماسنج و محتوای آن را تعیین و از روی آن جرم یخ ذوب شده را به دست آورید.

۶- عددهای به دست آمده از آزمایش را در رابطه‌ی زیر بگذارید و L_F یخ را حساب کنید.

$$(Mc + A)(\theta_1 - \theta_2) = mL_F + mc(\theta_2 - \theta)$$

در این رابطه c ظرفیت گرمایی ویژه آب، M جرم آب و m جرم یخ است.

۵- در شرایط فیزیکی یکسان، هر ماده به هنگام انجماد

همان قدر گرما از دست می‌دهد که به هنگام ذوب می‌گیرد.

۶- گرمای نهان ویژه‌ی انجماد، منفی گرمای نهان ویژه‌ی

ذوب است.

پس از نوشتن فهرست بالا بر روی تابلو، با جمع‌بندی

موضوع و توجه دانش‌آموزان موارد ۴، ۵ و ۶ رابطه‌ی گرمای

نهان انجماد را برای ماده‌ای به جرم m به صورت زیر بنویسید.

$$Q = -mL_F$$

انجماد: برای شروع این بحث نیز فهرستی از ویژگی‌های

فرایند انجماد را به کمک دانش‌آموزان بر روی تابلو بنویسید

(مانند فهرست زیر)

۱- تغییر حالت مایع به جامد (وارون فرایند ذوب).

۲- در دمای معینی رخ می‌دهد که دمای انجماد یا نقطه‌ی

انجماد نامیده می‌شود.

۳- دمای نقطه‌ی انجماد یک ماده در شرایط یکسان با

دمای نقطه‌ی ذوب آن برابر است.

۴- فرایندی گرمازا است.

تمرین پیشنهادی



قطعه‌ای یخ به جرم 100 گرم و دمای 2°C را در حوض محتوی آب $^\circ\text{C}$ می‌اندازیم. جرم یخ چقدر

افزایش می‌یابد؟

پاسخ: گرمایی که قطعه‌ی یخ می‌گیرد تا به دمای $^\circ\text{C}$ برسد برابر است با

$$Q_1 = mc\Delta\theta = (100/\text{kg}) \times (2100\text{ J/kg}\cdot\text{K}) \times (0 - (-20))$$

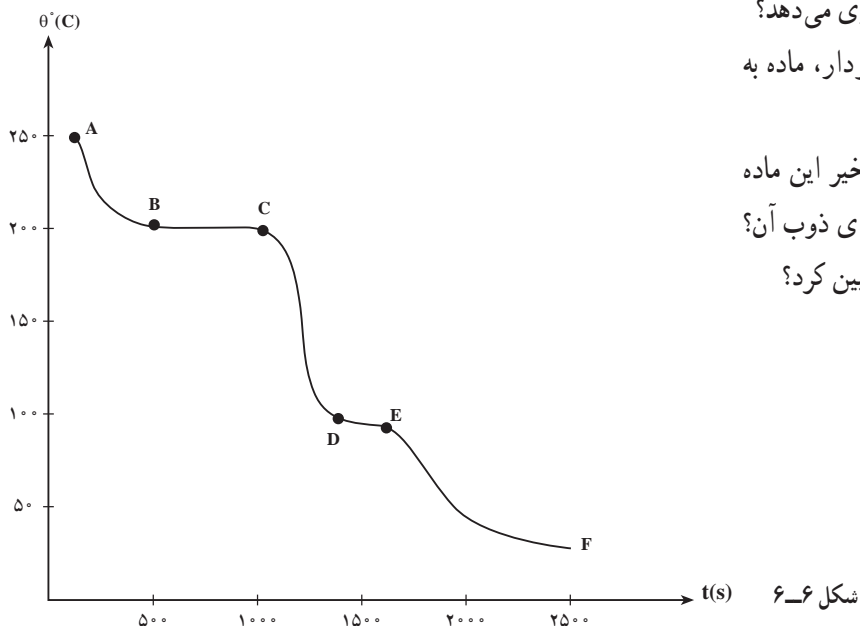
$$= 4200\text{ J}$$

این مقدار گرما از آب $^\circ\text{C}$ حوض گرفته می‌شود. بنابراین جرم آبی که به یخ تبدیل می‌شود برابر است با

$$Q = mL_F \Rightarrow 4200 = m \times 334 \times 10^3 \Rightarrow m \approx 0.012\text{ kg}$$

بنابراین جرم یخ حدود 12 گرم زیاد می‌شود.

ب) نقطه‌ی جوش ماده چقدر است؟ نقطه‌ی انجماد آن چیست؟



- پ) در ناحیه‌ی DE چه روی می‌دهد؟
 ت) در کدام بخش‌های نمودار، ماده به محیط پیرامون گرما می‌دهد؟
 ث) گرمای نهان ویژه‌ی تبخیر این ماده بزرگ‌تر است یا گرمای نهان ویژه‌ی ذوب آن؟ چگونه می‌توان این موضوع را تعیین کرد؟

شکل ۶-۶



میعان : ابتدا فهرستی از ویژگی‌های فیزیکی فرایند میعان به کمک دانش‌آموزان بر روی تابلو بنویسید (مانند فهرست زیر):

- ۱- فرایند میعان تبدیل بخار به مایع است (وارون فرایند تبخیر).
- ۲- در دمای معینی رخ می‌دهد که دمای میعان یا نقطه‌ی میعان نامیده می‌شود.
- ۳- دمای نقطه‌ی میعان یک ماده در شرایط فیزیکی یکسان همان دمای نقطه‌ی جوش آن است.
- ۴- فرایندی گرمازا است.
- ۵- گرمای نهان ویژه‌ی میعان منفی گرمای نهان ویژه‌ی تبخیر است.

پس از نوشتن فهرست بالا بر روی تابلو، با جمع‌بندی موضوع و توجه دانش‌آموزان به موارد ۴ و ۵ رابطه‌ی گرمای نهان میعان را برای مقدار بخار به جرم m به صورت زیر بنویسید.

$$Q = -mL_v$$

است. با استفاده از جدول‌های (۱-۹) و (۲-۹) و (۳-۹) داریم:

$$Q = -mL_v = -mL_v + mc\Delta T = -2 \times 10^3 \times 226 + 2 \times 10^3 \times 1 \times (100 - 20) = -452000 \text{ J} = -452 \text{ kJ}$$

با انجام محاسبه بدست می‌آوریم:

$$Q = -452000 \text{ J} = -452 \text{ kJ}$$

میعان: فرایند میعان وارون فرایند تبخیر، یعنی تبدیل بخار به مایع است. اگر مقداری بخار یک ماده را سرد کنیم (یعنی از آن گرما بگیریم) هنگامی که به دمای میعان یا نقطه میعان خود می‌رسد، شروع به مایع شدن می‌کند. دمای نقطه میعان یک ماده در شرایط یکسان با دمای نقطه جوش آن برابر است. یعنی برای مثال اگر در فشار یک‌سان به آب سرد درجه سانتیگراد گرما دهید شروع به جوشیدن می‌کند و نیز اگر در همان فشار از بخار آب سرد درجه سانتیگراد گرما بگیریم شروع به مایع شدن می‌کند. هر بخار به هنگام میعان همان قدر گرما از دست می‌دهد که به هنگام تبخیر می‌گیرد. بنابراین گرمای نهان ویژه میعان منفی گرمای ویژه تبخیر است. به این ترتیب گرمای نهان میعان ۲۲۶ کلوگرم بخار یک ماده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Q = -mL_v \quad (۱-۹)$$

علامت منفی نشان‌دهنده آن است که بخار هنگام میعان گرما از دست می‌دهد.

مثال ۲-۱

یک لیوان شیشه‌ای بزرگ به جرم ۱۵ گرم حاوی ۹۰۰ cc آب ۲۰°C است. چند قطعه یخ ۱۰°C به جرم ۲۰ گرم به درون لیوان می‌اندازیم. دمای پایانی آب را حساب کنید. گرمای ویژه شیشه را 0.1 kcal/K بگیریم.

حقیقاً با توجه به آن که مقدار گرمایی که یخ ۱۰°C می‌گیرد تا به آب ۲۰°C و سپس به آب در دمای تعادل تبدیل شود، برابر با مقدار گرمایی است که لیوان شیشه‌ای و آب درون آن از دست می‌دهند تا از ۲۰°C به دمای تعادل برسد. می‌توانیم با در نظر گرفتن ۹۰٪ برای لیوان و ۱۰٪ برای آب درون آن و ۱۰۰٪ برای یخ بنویسیم:

$$m_{\text{ice}}(L_f) + m_{\text{cup}}(c_{\text{cup}}\Delta T) + m_{\text{water}}(c_{\text{water}}\Delta T) = 0 \quad (۲-۹)$$



تمرین پیشنهادی

هنگامی که 10°C گرم بخار آب 10°C به آب 5°C تبدیل شود چند ژول گرما آزاد می‌شود؟

پاسخ: 251000J

تبخیر سطحی: پیش از بحث در مورد پدیده‌ی تبخیر سطحی می‌توانید با چند پرسش توجه دانش‌آموزان را به این موضوع جلب کنید. پرسش‌هایی مانند:

– چرا لباس‌های خیس را برای خشک شدن، در محل خاصی پهن می‌کنند؟

– چرا پس از دوش گرفتن یا بیرون آمدن از استخر که بدنمان خیس است و هنوز لباس پوشیده‌ایم احساس سرما می‌کنیم؟

– چرا اگر مقدار الکل یا اتر بر روی پوست دستمان بریزد، در آن محل احساس سردی می‌کنیم؟

– چرا برای سرد شدن چای داغ، معمولاً آن را در نعلبکی می‌ریزند؟

– چرا هنگام خوردن غذای داغ آن را فوت می‌کنیم؟ با بحث بر روی این پرسش‌ها و پاسخ آن‌ها پدیده‌ی تبخیر

سطحی را با توجه به آنچه در کتاب درسی آمده است برای دانش‌آموزان تعریف کنید. پس از آن ویژگی‌های این پدیده را به کمک دانش‌آموزان فهرست‌بندی کنید (مانند فهرست زیر):

پدیده‌ی تبخیر سطحی در سطح آزاد هر مایع

✓ همواره و در هر دمایی روی می‌دهد.

✓ موجب کاهش دمای مایع می‌شود.

✓ با افزایش سطح مایع، بیش‌تر می‌شود.

✓ با ورزش باد یا نسیم روی سطح آن، افزایش می‌یابد.

با استفاده از داده‌های این جدول جدول‌های (۱) و (۲) را رسم کنید.

(۱) $m_1 = 10\text{g}$, $t_1 = 10^\circ\text{C}$, $m_2 = 10\text{g}$, $t_2 = 5^\circ\text{C}$, $m_3 = 20\text{g}$, $t_3 = 7.5^\circ\text{C}$

(۲) $m_1 = 10\text{g}$, $t_1 = 10^\circ\text{C}$, $m_2 = 20\text{g}$, $t_2 = 5^\circ\text{C}$, $m_3 = 30\text{g}$, $t_3 = 7.5^\circ\text{C}$

با درج این مقادیر در رابطه (۱) و (۲) انجام محاسبه کنید می‌آوریم:

$Q = 375\text{J}$

تبخیر سطحی: پدیده‌ی تبخیر سطحی را روی سنگ‌فرش پهن کنید. پس از بکلی دو ساعت می‌بیند که آب آن تبخیر شده است. آب آن تبخیر شده است. تجربه‌هایی مانند این نشان می‌دهد که در سطح آزاد هر مایع همواره در هر دمایی عمل تبخیر روی می‌دهد. این پدیده را تبخیر سطحی می‌گویند. مایع در اثر تبخیر سطحی گرمای همان تبخیر خود را از دست می‌دهد و در اثر آن دمایش پائین می‌آید. تجربه نشان می‌دهد که هنگام تبخیر سطحی به اجسام مایع مختلفی از جمله دما و مساحت سطح مایع بستگی دارد.

فعالیت ۴-۶
کتاب درسی کنید که تبخیر سطحی با افزایش دما و افزایش سطح مایع سریع‌تر صورت می‌گیرد یا کندتر؟
ب- با بررسی تبخیر سطحی در شرایط مختلف سعی کنید از راه تجربه عامل یا عوامل دیگری را که بر هنگام تبخیر سطحی اثر می‌گذارد پیدا کنید.

فعالیت ۸-۶
تحقیق کنید و توضیح دهید چرا:
۱- با پوشیدن لباس‌های نازک احساس سرما می‌کنیم؟
۲- عرق کردن به خشک نگاه داشتن بدن کمک می‌کند؟
۳- هنگامی که بدن می‌گردد بخار آب روی نسله‌ها پخش می‌شود؟

پرسش پیشنهادی

تبخیر سطحی و جوشیدن فرایندهایی هستند که مایع به بخار تبدیل می‌شود. این دو فرایند چه تفاوتی با یکدیگر

دارند؟

پاسخ: تفاوت بین این دو فرایند را می‌توان با نگاه کردن به حباب‌هایی که درون مایع تشکیل می‌شوند و نشان

می‌دهند که مایع در حال جوشیدن است، تشخیص داد. تفاوت مهم دیگر آن است که تبخیر سطحی از سطح آزاد مایع در هر دمایی روی می‌دهد ولی جوشیدن تنها هنگامی رخ می‌دهد که مایع به دمای معینی به نام نقطه‌ی جوش برسد.

فعالیت ۶-۷

هدف: تحقیق عوامل مؤثر بر پدیده‌ی تبخیر سطحی و آهنگ افزایش آن

این فعالیت دارای دو قسمت است که دانش‌آموزان می‌توانند آن‌ها را در خانه انجام دهند.

الف) دانش‌آموزان با انجام فعالیت الف خواهند دید با افزایش دما و افزایش سطح مایع آهنگ تبخیر سطحی افزایش می‌یابد. زیرا با افزایش سطح مایع، مولکول‌های بیش‌تری از سطح آزاد مایع فرار می‌کنند. هم‌چنین با افزایش دمای مایع انرژی جنبشی مولکول‌ها بیش‌تر و در نتیجه احتمال فرار آن‌ها از سطح آزاد مایع زیادتر می‌شود.

ب) دانش‌آموزان برای انجام فعالیت ب می‌توانند سطح آزاد مایع را در معرض نسیم یا باد (طبیعی یا ناشی از پنکه) قرار دهند و خواهند دید که وزش نسیم یا باد روی سطح آزاد مایع به فرار مولکول‌ها از سطح مایع کمک می‌کند و سبب افزایش آهنگ تبخیر سطحی می‌شود. هم‌چنین اگر بتوان شرایطی را فراهم کرد که فشار هوا بر سطح آزاد مایع کاهش یابد و ظرف در محیظی با خلأ نسبی قرار گیرد، خواهند دید که آهنگ تبخیر سطحی افزایش می‌یابد.

فعالیت ۶-۸

هدف: کاربرد تبخیر در زندگی

این فعالیت شامل سه پرسش مختلف است که با توجه به مفاهیمی که دانش‌آموز با آن‌ها آشنا شده است می‌توانند پاسخی قانع‌کننده برای هر یک از آن‌ها ارائه کنند.

- ۱- با پوشیدن لباس‌های خیس آب موجود در تار و پود لباس با جذب گرمای بدن ما تبخیر می‌شود و این موضوع باعث می‌شود که احساس سردی کنیم.
- ۲- عرق کردن بدن سبب می‌شود که لایه‌ی آبی روی پوست بدن تشکیل شود. این لایه آب با جذب گرمای مورد نیاز برای تبخیر از بدن، آن را خنک کند.
- ۳- مولکول‌های بخار آب هنگام برخورد به سطح شیشه، که دمای آن پایین‌تر از دمای بخار آب است، مایع می‌شوند.

دانستنی

گرمای ویژه‌ی مواد

در تعیین و سپس در استفاده کردن از گرمای ویژه‌ی هر ماده‌ای، باید شرایطی را بدانیم که در آن انرژی به صورت گرما منتقل می‌شود. در مورد جامد‌ها و مایع‌ها، معمولاً فرض می‌کنیم که نمونه در طول انتقال انرژی در فشار



ثابت (معمولاً فشار جو) قرار دارد. هم چنین می توان در هنگام دریافت گرما حجم نمونه ثابت نگه داشت. یعنی با اعمال فشار خارجی مانع انبساط گرمایی نمونه می شویم. در مورد جامدها و مایعها انجام این کار خیلی دشوار است، ولی اثر آن را می توان محاسبه کرد و معلوم شده است که گرماهای ویژه با فشار ثابت و حجم ثابت در مورد هر جامد یا مایع معمولاً بیش از چند درصد با هم تفاوت ندارند. گازها، در شرایط فشار ثابت و حجم ثابت گرماهای ویژه کاملاً متفاوتی دارند.

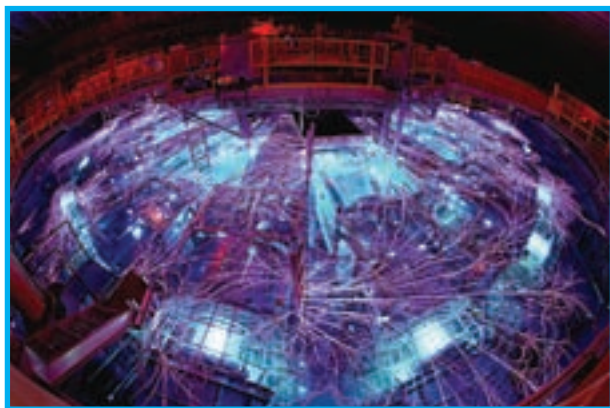
دانستنی



صفر مطلق

آیا برای میزان سرد بودن ماده حدی وجود دارد؟ پاسخ مثبت است. در مقابل، برای میزان گرم بودن ماده حدی وجود ندارد. درک این مطلب به صورت زیر امکان پذیر است. در فیزیک کلاسیک، دما معیاری از انرژی جنبشی یا انرژی حرکتی اتم های موجود در ماده است. در حرکت صفر اتم ها یا وقتی که همه ی حرکت ها متوقف شده باشند، با حد پایین انرژی جنبشی روبه رو می شویم. بنابر مکانیک کوانتومی، حد پایین دما هنگامی است که ماده کم ترین انرژی را دارد یا در حالت پایه است. برعکس، برای انرژی جنبشی ای که اتم ها می توانند داشته باشند هیچ حد بالایی وجود ندارد.

کم ترین دمای ممکن در مقیاس دمای سلسیوس برابر 273.15°C است. در فیزیک دمای پایین، از مقیاس دمای کلونین استفاده می کنیم. صفر کلونین، صفر مطلق را نشان می دهد.



به خاطر اثرات کوانتومی، در حالت پایه یا صفر مطلق هم هنوز حرکت وجود دارد. موردی که در آن این مطلب را می توان به آسانی دریافت، مورد ^4He است. هر جسم جامدی در صفر مطلق، حرکتی با منشأ کوانتوم مکانیکی دارد که به آن حرکت نقطه ی صفر می گویند. در این حرکت، سرعت اتم های هلیوم در بلور ^4He به حدود 500 m/s می رسد. به این ترتیب، به خاطر ضعف رایش بین اتم های He ، بلور جامد از هم می پاشد

و به رغم پایین بودن دما مایع هلیوم تشکیل می‌شود، مگر این که فشار وارد شده بیش از ۲۵ اتمسفر باشد. در فلزها هم با حرکت الکترون‌ها روبه‌رو می‌شویم که سرعت بعضی از آن‌ها به حدود 10^6 m/s می‌رسد. این سرعت الکترون، بیش از سه میلیون کیلومتر در ساعت است که حتی در صفر مطلق هم وجود دارد.

بنابر قانون سوم ترمودینامیک، غیرممکن است که به صفر مطلق برسیم ولی می‌توان به قدر دلخواه به آن نزدیک شد. هر چه به آن نزدیک‌تر شویم، پیش روی بیش‌تر مشکل‌تر می‌شود. تقریباً درست است که گفته شود: کاهش دما از ۱K به ۰/۱K به همان اندازه دشوار است که کاهش دما از ۱۰K به ۰/۱K. بنابراین، با تلاش بیش‌تر می‌توان دما را با ضرب‌های ۱۰ بیش‌تر و بیش‌تر کاهش داد ولی هرگز به صفر مطلق نمی‌رسیم.

بیش از یک روش برای کاهش دما وجود دارد، و معمولاً برای رسیدن به پایین‌ترین دماها از چند روش به‌طور پیاپی استفاده می‌شود. اولین سردسازی، استفاده از ماشین‌های سرمایشی است مشابه با آنچه در یخچال خانگی یا تهویه مطبوع به کار می‌رود. با این روش می‌توان گاز ^4He را به مایعی با دمای ۴/۲K تبدیل کرد.

اگر بگذاریم کمی از هلیوم مایع بجوشد، می‌توان باز هم دما را پایین‌تر برد. این همان فرایند سرمایشی است که در آن پوست خیس بدن مان بر اثر تبخیر خنک می‌شود. با خارج کردن گاز هلیوم، آهنگ تبخیر را افزایش می‌دهیم و دما را تا حدود ۰/۹K پایین می‌آوریم.

در مرحله‌ی بعد می‌توان از ایزوتوپ کمیاب هلیوم، ^3He ، استفاده کرد که نقطه‌ی جوش آن در فشار جو برابر ۳/۲K است. با تخلیه‌ی گاز ^4He می‌توان به دمای پایین‌تر از ۳/۲K رسید، و سپس به کمک آن گاز ^3He را به مایع تبدیل کرد. سرانجام، با جوشیدن مایع ^3He و تخلیه‌ی گاز آن به دمای تقریباً ۰/۳K رسید.

مرحله‌ی بعد برای رسیدن به دماهای پایین‌تر، استفاده از سردساز رقتی هلیوم ۳/هلیوم ۴ است که می‌تواند دما را به‌طور معمول تا ۰/۱۵K و یا ۱۵mK کاهش دهد. مایع هلیومی که حاوی هر دو ایزوتوپ ^3He و ^4He باشد در دمای پایین‌تر از ۰/۸K به صورت دو مایع آمیزش‌ناپذیر در می‌آید (در نتیجه قانون سوم ترمودینامیک)، به طوری که مایع چگال‌تر که سرشار از ^4He است در پایین جمع می‌شود، و بقیه که سرشار از ^3He است در بالا قرار می‌گیرد. در این دماهای پایین، ^4He به عنوان زمینه‌ای بی‌اثر عمل می‌کند، و می‌توان آن را در نظر نگرفت. رفتار مایع سرشار از ^3He مانند رفتار مایع ^3He است، در حالی که مایع سرشار از ^4He مانند گاز ^3He رفتار می‌کند. سرمایش بر اثر «تبخیر» مایع ^3He و تبدیل آن به ^3He «گازی» صورت می‌گیرد.

با استفاده از وامغناطش بی‌دررو می‌توان به دماهای کمتر از ۱۵mK هم دست یافت. اسپین هسته، مانند آهن‌ربای میله‌ای بسیار کوچک یا عقربه‌ی قطب‌نمای بسیار ریز عمل می‌کند. اگر ماده‌ای با این اسپین‌ها را در میدان مغناطیسی قوی قرار دهیم، این آهن‌رباهای ریز یا اسپین‌ها به چرخش و هم‌جهت‌شدن با میدان مغناطیسی تمایل خواهند داشت. در مقابل، حرکت گرمایی تمایل دارد که جهت این اسپین‌ها را کتره‌ای کند. در دماهای زیاد، برای غلبه بر بی‌نظمی گرمایی به میدان مغناطیسی قوی نیاز است، ولی در دماهای کم لزومی ندارد که میدان چندان قوی باشد. می‌توان این مطلب را از سوی دیگر نگاه کرد و گفت که اگر اسپین‌ها در میدان مغناطیسی ضعیفی ردیف شده باشند، دمای اسپین‌ها باید کم باشد.

با استفاده از مطالب فوق و با شروع از دمای ۲۰mK، میدان مغناطیسی خارجی بزرگی را اعمال می‌کنیم تا اسپین‌ها را تا حد ممکن ردیف کند. نمونه باید با ماده‌ی دیگری (منبع گرما) با همان دمای ۲۰mK در تماس باشد تا گرمای اضافی را که هنگام ردیف شدن اسپین‌ها تولید می‌شود، از خود دفع کند. سپس تماس گرمایی را با منبع قطع

و میدان مغناطیسی را کم می‌کنیم. در این مرحله، اسپین‌ها همچنان هم‌جهت‌اند ولی میدان ضعیف‌تر است. بنابراین، دمای نمونه پایین‌تر از 2°mK است.

در بعضی مواد، مانند نقره (Ag)، برهم‌کنش بین اسپین‌های هسته‌ای و الکترون‌ها و فونون‌ها (ارتعاش‌های شبکه‌ای) بسیار ضعیف است، و در نتیجه اسپین‌های هسته می‌توانند دمای بسیار عالم را اندازه‌گیری کنند. چون فواصل تا کهکشان‌های دور دست کاملاً معلوم نیست، دانشمندان در تلاش برای جلوگیری از خطاهای سیستماتیک در هر یک از روش‌ها از شاخص‌های بسیار متنوعی، همچون دوره‌های تپش ستاره‌های متغیر و بیشینه‌ی درخشندگی ابرنواخترها، استفاده می‌کنند. خطاهای سیستماتیک را اغلب می‌شود شناسایی کرد و ویژگی‌های‌شان را برشمرد. پس از تشخیص این نوع خطاها، روش کار را برای کاهش دادن‌شان می‌توان اصلاح کرد یا این که تصحیحات لازم را در نتایج خام اندازه‌گیری وارد ساخت.

دقت، وقتی مطرح می‌شود که با خطاهای کاتوره‌ای سروکار داشته باشیم. انجام یک اندازه‌گیری منفرد، برای پی‌بردن به صحت یا دقت چندان فایده‌ای ندارد. این اندازه‌گیری اگر چندین بار تکرار شود، مقادیر حاصل از اندازه‌گیری تا حدودی با یکدیگر ناسازگار خواهند بود. گستردگی این مقادیر نشان‌دهنده گستره‌ای است که مقدار درست احتمالاً در آن قرار دارد، و میانگین این مقادیر ممکن است برآورد مفیدی از این مقدار درست باشد. آزمایشی که سنجیده طراحی شده باشد، نمونه‌ی جامع‌تری به دست خواهد داد که قابلیت تحلیل آماری دارد. پارامترهایی مانند «میانگین»، «میان»، یا «مُد» برآوردهایی از مقدار موردنظر هستند که از داده‌های موجود به دست می‌آیند. میزان دقت را با توجه به گستردگی مقادیر حاصل از اندازه‌گیری در اطراف مقدار درست برآورد شده می‌توان تشخیص داد. از این توزیع [مقادیر اندازه‌گیری شده]، پارامترهایی همچون «انحراف معیار»، «واریانس»، و «خطای محتمل» را به دست می‌آورند. هر چه این پارامترها کوچک‌تر باشند، عدم قطعیت کوچک‌تر و دقت [اندازه‌گیری] بهتر است. کمیت آماری موسوم به «انحراف معیار میانگین» را اغلب به عنوان بهترین معیار دقت در نظر می‌گیرند. مقدار عددی آن را از تقسیم کردن انحراف معیار نمونه بر جذر تعداد نمونه‌ها به دست می‌آورند. خطاهای موجود اگر به راستی کاتوره‌ای باشند، با افزایش تعداد اندازه‌گیری‌هایی که مقدار میانگین را به دست می‌دهند می‌توان دقت را بهبود بخشید.

بعضی آزمایش‌ها، به جای آن که برآوردهای متعددی از یک قلم اطلاع به دست دهند، اغلب حاکی از داده‌هایی هستند که ارتباط میان دو یا چند متغیر را نشان می‌دهند. این گونه داده‌ها معمولاً با نوعی برازش منحنی، مثل برازش کم‌ترین مربعات، توصیف می‌شوند. در این جا به جای مفهوم میانگین از مقادیر بهینه‌ی پارامترهای برازش، و به جای عدم قطعیت یک مقدار منفرد از مقادیری همچون «مانده‌ها»، «پارامترهای χ^2 »، و «بازه‌های اطمینان» استفاده می‌شود. قدرت تحلیل آماری در این است که مقادیر پارامترهای به دست آمده، در مقایسه با هر یک از اندازه‌گیری‌هایی که منجر به این پارامترها می‌شوند، ممکن است از اعتبار بسیار بیش‌تری برخوردار باشند. این مطلب به ویژه وقتی صادق است که نتیجه به صورت تابعی شناخته شده، مثال یک مقدار اسکالر یا شیب یک رابطه‌ی خطی بین دو متغیر، درمی‌آید. هرگونه چشمه‌ی خطای ممکن را باید بررسی کرد، و در عدم قطعیت‌های گزارش شده باید هر دو اثر سیستماتیک و کاتوره‌ای را در نظر گرفت. عدم قطعیت را می‌توان با تعداد رقم‌های با معنای گزارش شده نشان داد. هر گزارش صریحی باید شامل مقدار عددی، یکای مقدار عددی (به صورت درصد میانگین یا همان یکایی که برای میانگین به کار برده شده است)، و حاکی از روش محاسبه (به صورت انحراف معیار نمونه، انحراف معیار میانگین، و غیره) باشد. در نمایش ترسیمی نتایج، هر یک از نقاط داده‌ها باید با «تیرک خطا» که درازای آن معرف میزان عدم قطعیت باشد،

مشخص شود. مفهوم عددی تیرک‌های خطا را باید به طور صریح بیان کرد.

اسناد تاریخی نشان می‌دهند که منجمان چینی، در قرن سیزدهم پیش از میلاد مسیح، طول سال را به درستی برابر با $365\frac{1}{4}$ روز تعیین کرده بودند. چینی‌ها تا سال ۱۲۷۶ میلادی، برآوردشان را در این زمینه با تقریب ۲۷ ثانیه به مقدار پذیرفته شده‌ی امروزی نزدیک کردند. این کار، دقتی با تقریب یک قسمت در میلیون را نشان می‌دهد. در مقابل [این دست‌آورد]، بهترین برآوردهای نوینی که از سن عالم در دست‌اند در گسترده‌ای از ۸ تا ۱۶ میلیارد سال قرار دارند. این عدم قطعیت بزرگ حاکی از آن است که این کمیت را هنوز نه با صحت اندازه‌گیری کرده‌اند و نه با دقت.



۳-۶- اثر تغییر دما بر طول و حجم جسم‌ها

راهنمای تدریس: از آن‌جا که دانش‌آموزان در دوره‌ی راهنمایی با مفاهیم این بخش به طور کیفی و عملی آشنا شده‌اند توصیه می‌شود در ابتدا توجه دانش‌آموزان را به این موضوع جلب نموده و از آن‌ها بخواهید که دانسته‌های خود را در این باره توضیح دهند. پاسخ به فعالیت ۹-۶ نیز می‌تواند در این میان مطرح شود.

۳-۶-۱ اثر تغییر دما بر طول و حجم جسم‌ها

اکثر اجسام چه جامد، چه مایع و چه گاز به هنگام افزایش دما انبساط می‌یابند. یعنی حجم آن‌ها افزایش می‌یابد و با کاهش دما حجمشان کاهش می‌یابد. این پدیده که در ساختن برخی وسیله‌ها مانند دماسنج‌ها و دماها مورد استفاده قرار می‌گیرد، می‌تواند مشکل‌هایی در ساختن ماشین‌ها، پل‌ها، ساختمان‌ها و خط آهن ایجاد کند.

مثال‌هایی از افزایش حجم در اثر افزایش دما را در کتاب‌های علوم دبستان و راهنمایی دیدیم.

فعالیت ۹-۶

توضیح دهید که چگونه می‌توان با استفاده از ابزارهایی که در شکل (۹-۶) نشان داده شده است پدیده انبساط در اثر افزایش دما را نمایش داد.



مکرفه

وقتی یک ورقه فلزی را گرم می‌کنیم حجم آن زیاد می‌شود، یعنی ضخامت و مساحت سطح آن هر دو زیاد می‌شوند. اگر ضخامت ورقه در مقایسه با ابعاد سطح آن ناچیز باشد، انبساط سطحی آن بهتر مشاهده می‌شود. همین‌طور هم درباره یک میله، اگر طول آن در مقایسه با قطر مقطع آن بسیار بزرگتر باشد، انبساط طولی آن بهتر دیده می‌شود.

انبساط طولی برای دهن انبساط طولی یک میله فلزی می‌توان از دستگاهی که در شکل (۹-۶) نشان داده شده است، استفاده کرد. وقتی میله فلزی گرم و منبسط می‌شود، قطره را حول محور می‌چرخاند و انتهای قطره انبساط طولی میله را چند بار در شکل ۹-۶ بار بزرگتر نشان می‌دهد و اندازه‌گیری دقیق آن را میسر می‌سازد.

با اندازه‌گیری انبساط طولی میله‌های از جنس‌های مختلف درمی‌یابید که اندازه انبساط میله‌های فلزی از جنس‌های مختلف با یکدیگر متفاوت است. برای محاسبه انبساط طولی کمیتی به نام ضریب انبساط طولی به صورت زیر تعریف می‌کنیم و آنرا با α نمایش می‌دهیم.

۱۳۳



چرا معمولاً برای بازکردن درِ فلزی محکم یک ظرف شیشه‌ای آن را زیر جریان آب داغ، می‌گیرند؟

انتظار می‌رود دانش‌آموزان با توجه به دانستی‌های قبلی خود اشاره کنند که مواد مختلف نسبت به تغییر دمای معینی به طور یکسان منبسط نمی‌شوند. در پرسش پیشنهادی، انبساط در فلزی ظرف شیشه‌ای، بیش‌تر از ظرف شیشه‌ای است و بنابراین وقتی زیر جریان آب داغ قرار می‌گیرد، درپوش نسبت به ظرف انبساط بیشتری پیدا می‌کند و شل می‌شود.

انبساط طولی

راهنمای تدریس: ابتدا باید دانش‌آموز توجه داشته باشد

که برای بهتر دیده شدن انبساط طولی باید طول جسم مورد بررسی در مقایسه با قطر سطح مقطع آن بسیار بزرگ‌تر باشد.

شکل ۶-۹

ضریب انبساط طولی (α) برابر است با افزایش طول واحد طول ماده به ازای افزایش دمای یک کلوین.

انبساط طولی با تغییر طول (ΔL) یک میله از جنس معین به دو عامل بستگی دارد:

- طول اولیه میله (L_0)
- مقدار تغییر دما (ΔT)

هنگامی که دمای میله‌ای به طول L_0 به اندازه ΔT افزایش یابد، طول آن به اندازه ΔL افزایش می‌یابد. به این ترتیب انبساط با افزایش طول واحد طول میله برای افزایش دمای ΔT برابر $\frac{\Delta L}{L_0}$ خواهد بود. افزایش طول واحد طول میله برای افزایش دمای یک کلوین برابر می‌شود با $\frac{\Delta L}{L_0 \Delta T}$. این همان ضریب انبساط طولی میله (α) است.

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_0 \Delta T} \quad (12-9)$$

یکای ضریب انبساط طولی در K^{-1} یا در درجه سلسیوس ($^{\circ}\text{C}^{-1}$) نام دارد.

مقدار افزایش طول ΔL را می‌توان از رابطه (12-9) به صورت زیر به دست آورد:

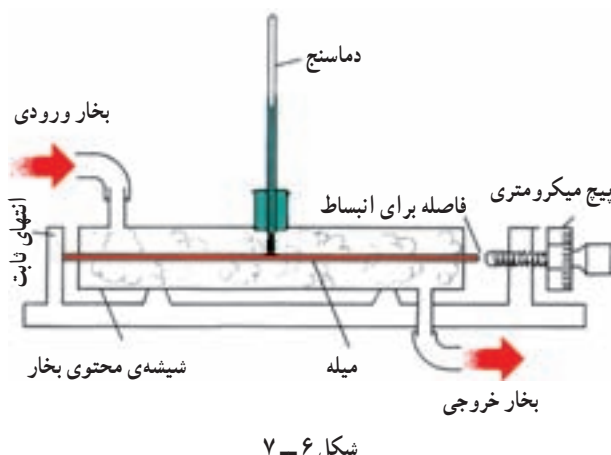
$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T \quad (13-9)$$

ضریب انبساط طولی ماده‌های مختلف با هم تفاوت دارند. ضریب انبساط طولی برخی از ماده‌ها در جدول (۴-۶) داده شده است. توجه کنید که این مقادیر بسیار کوچکند، ولی همین مقادیرهای کوچک هم اثرهای قابل توجهی در ساختمان‌ها و دستگاه‌های مختلف دارد.

۱۶۵

پیش از آن که توجه دانش‌آموزان را به شکل ۶-۹ جلب کنید از آن‌ها بخواهید تا به طور گروهی آزمایشی را طراحی نمایند تا به کمک آن بتوان انبساط طولی یک میله را بررسی کرد. در صورتی که در بین پاسخ‌های هر یک از گروه‌های دانش‌آموزی روش مناسبی را تشخیص دادید خوب است که از آن‌ها بخواهید تا برای جلسه‌ی بعد، آن را به طور عملی ساخته و جهت استفاده در آزمایشگاه مدرسه قرار دهند. شکل ۶-۷ روش متداول انجام این آزمایش را نشان می‌دهد.

پس از توجه دانش‌آموزان به شیوه‌های متفاوت انجام این آزمایش، توجه آن‌ها را به رابطه‌ی $\Delta L = \alpha L_1 \Delta T$ جلب کنید. آنچه در استفاده از این رابطه باید دانش‌آموزان همواره توجه کنند یکسان بودن یکایی است که در دو طرف معادله برای L_1 و ΔL به کار می‌برند. هم‌چنین از دانش‌آموزان بخواهید تا معادله را به شکل معادل $L_2 = L_1(1 - \alpha \Delta T)$ نیز استخراج کنند.



از دانش‌آموزان بخواهید تا پس از تحقیق گزارش دهند در موارد بسیار خاص که، انبساط طولی یک جسم نسبت به دما باید بسیار کم باشد، از چه ماده‌ای بهتر است استفاده شود.

پاسخ: آلیاژ اینوار (invar) که مخفف واژه‌ی «invariable» به معنی تغییرناپذیر است، از جمله آلیاژهایی است که ضریب انبساط خطی آن بسیار کم و برابر $0.7 \times 10^{-6} K^{-1}$ است.

جدول ۱۲-۲. ضریب انبساط طولی مادتهای مختلف

ماده	ضریب انبساط طولی α
آلومینیوم	24×10^{-6}
آهن	12×10^{-6}
مس	17×10^{-6}
نیکل	13×10^{-6}
سرب	29×10^{-6}
کوارتز	0.7×10^{-6}
دانه	18×10^{-6}
برنج	19×10^{-6}

مثال ۱۲-۲
انبساط طولی یک بی‌نوبی به طول ۱۰۰ سانتی‌متر را هنگامی که دما به اندازه $2^\circ C$ افزایش یابد حساب کنید.
حل: از جدول (۱۲-۲) داریم:

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

با استفاده از رابطه (۱۲-۲) داریم:

$$\Delta L = 12 \times 10^{-6} \times 100 \times 2 = 2.4 \times 10^{-3} \text{ m}$$

اگر در ساختمان بی‌نوبی‌های لازم برای این انبساط طولی نباشد، همین مقدار انبساط می‌تواند باعث تحریک بی‌گرده.

فناوری و کاربرد:
معماری از موافقت با دما را در همه از قطعات متفاوت دانه و برج و این ساخته شده است که بر اساس به هم وصل شدن دانه با دانه در یک برج بلند است. در مکانی که محیط دما را دما را تغییر می‌دهد، دما را مطابق شکل (۱۲-۲) کامل می‌کند. به علت عبور

فعالیت ۶-۹

توجه دانش‌آموزان را به مبحث دما یا که در فناوری و کاربرد مطرح شده است جلب نمایید. از آن جایی که در این دماسنج از یک نوار دو فلزی استفاده شده است، و ضریب انبساط خطی این دو فلز نسبت به دما متفاوت است، لذا واکنش نوار حلزونی شکل به تغییر دما به صورت جمع شدن یا باز شدن آن است.

انبساط سطحی

راهنمای تدریس: انبساط سطحی را به عنوان تعمیمی از انبساط خطی مطرح کنید و از دانش‌آموزان بخواهید که رابطه‌ی مربوط به انبساط سطحی را براساس منطق تعمیم، ارائه دهند. در ادامه با جمع‌بندی نظر دانش‌آموزان، رابطه‌ی $\Delta A = 2\alpha A_1 \Delta T$ را جهت حل مسائل مربوط به انبساط سطحی مطرح کنید، در این جا نیز دانش‌آموزان باید توجه کنند که هنگام استفاده از رابطه‌ی بالا، یکای یکسانی را برای ΔA و A_1 استفاده کنند.

هر یک از ترکیبی از گرمکن الکتریکی گردا ایجاد می‌شود و دمای محیط بالا می‌رود. همان‌طور که در جدول (۱۲-۲) مشاهده می‌کنید ضریب انبساط طولی برج و کوارتز از آهن است. در نتیجه برج بسیار منبسط می‌شود و دما را به طرف آهن می‌کشد. وقتی دما به مقدار خیلی زیاد باشد دما را به طرف مس می‌کشد و دما را در میان نیکل قرار می‌دهد. در نتیجه دما را به طرف مس می‌کشد و دما را در میان نیکل قرار می‌دهد. در نتیجه دما را به طرف مس می‌کشد و دما را در میان نیکل قرار می‌دهد.

فعالیت ۶-۹
مثال ۱۲-۳: دماسنج را نشان می‌دهد که در آن از یک نوار دو فلزی حلزونی شکل استفاده شده است. دانش‌کار این دماسنج را در گرمه خود به بحث بگذارید و نتیجه را به کلاس گزارش کنید.

فعالیت ۶-۹
انبساط سطحی: برای مقایسه انبساط سطحی هر دو فلز به روشی مشابه برای هر ماده یک ضریب انبساط سطحی تعریف کنید.
ضریب انبساط سطحی برای است با افزایش مساحت واحد سطح یک جسم چنانچه به ازای افزایش دمای یک کلوین. می‌توان نشان داد که ضریب انبساط سطحی یک جسم تقریباً دو برابر ضریب انبساط طولی آن است. مکانی ضریب انبساط سطحی نیز بر کلوین 10^{-6} یا بر درجه سلسیوس 10^{-6} است.