کویر لوت

کویر هم بسیار زیباست هر چند در آن باران به ندرت می‌بارد! پس از بارش باران و تابش دوبارهٔ خورشید بر پهنهٔ کویر، جلوه‌های زیبایی در آن پدید می‌آید. تبخیر آب موجود در لایهٔ سطحی خاک کویر، موجب کاهش حجم و ایجاد ترک‌های بی‌شکل و بدیعی در آن می‌شود.

فصل

٦

گرما و قانون گازها

چرا وقتی قطعهٔ یخی را درون یک لیوان آب می‌اندازیم، آب سرد می‌شود؟ چه چیز باعث خشک‌شدن لباس‌های مرطوب روی بند می‌شود؟ عامل اصلی ایجاد باد و جریان هوا چیست؟

پاسخ این سؤال‌ها و بسیاری از سؤال‌های مشابه را می‌توان با بررسی گرما و اثرهای آن به‌دست 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 تغییر دما بر طول و حجم جامدها، مایع‌ها و گازها را بررسی می‌کنیم و راه‌های انتقال گرما را مورد بحث قرار می‌دهیم و سرانجام قانون گازها را شرح می‌دهیم.

۶ــ۱ــ دما، انرژی درونی و گرما

در کتاب فیزیک (۱) و آزمایشگاه دیدیم که دما معیاری است که میزان سردی و گرمی جسم‌ها را مشخص می‌کند.

فعالیت ۶ـ۱

در فصل ۱ گفتیم برای آن‌که 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 بنویسید، یکای آن‌را مشخص کنید و ابزار اندازه‌گیری آن‌را توضیح دهید. (برای این کار می‌توانید از کتاب فیزیک (۱) و آزمایشگاه و یا هر کتاب فیزیک مناسب دیگری استفاده کنید.) عیب‌ها و مزیت‌های روش و ابزار اندازه‌گیری‌ای را که معرفی کرده‌اید بنویسید.

تعریف دما به صورتی که با انجام این فعالیت ارائه کرده‌اید، یک **تعریف عملیاتی** نامیده می‌شود.

یکای دما: همان‌گونه که با انجام فعالیت بالا، بیان کرده‌اید، یکای دما درجهٔ سلسیوس[1] است، که با نماد $^\circ C$ نمایش داده می‌شود. دما بر حسب درجهٔ سلسیوس را معمولاً با θ نشان می‌دهند.

مقیاس دمای مطلق (یا کلوین): در SI به جای سلسیوس، یکای دیگری به نام کلوین[2] را به‌کار می‌برند که با نماد K نمایش داده می‌شود. دما بر حسب کلوین را معمولاً با T نشان می‌دهند. صفر کلوین تقریباً برابر $-۲۷۳^\circ C$ است[3]. به این ترتیب برای تبدیل دما از مقیاس سلسیوس به کلوین باید مقدار دما بر حسب سلسیوس را با ۲۷۳ جمع کرد، یعنی :

$$T(K) = \theta(^\circ C) + ۲۷۳ \qquad (۱_۶)$$

تمرین ۶ـ۱

دمای ذوب یخ، $۰^\circ C$ و دمای جوش آب، $۱۰۰^\circ C$، و دمای بدن انسان سالم، $۳۷^\circ C$ ، هر یک برابر چند کلوین است؟

مثال ۶ـ۱

نشان دهید که اختلاف بین دو دما در هر دو مقیاس سلسیوس و کلوین با هم برابر است.

حل: داریم

$$\Delta T(K) = T_۲(K) - T_۱(K)$$
$$= \left[\theta_۲(^\circ C) + ۲۷۳\right] - \left[\theta_۱(^\circ C) + ۲۷۳\right]$$
$$= \theta_۲(^\circ C) - \theta_۱(^\circ C)$$

در نتیجه :

$$\Delta T(K) = \Delta\theta\ (^\circ C) \qquad (۲_۶)$$

۱ـ درجه‌بندی سلسیوس را نخستین بار منجم سوئدی آندرس سلسیوس در سال ۱۱۲۱ هجری شمسی به‌کار برد.

۲ـ این مقیاس دما را ویلیام تامسون (لرد کلوین)، فیزیک و ریاضی‌دان اسکاتلندی که در سال‌های ۱۲۰۳ تا ۱۲۸۶ (از ۱۸۲۴ تا ۱۹۰۷ میلادی) هجری شمسی می‌زیست طرح‌ریزی کرد.

۳ـ صفر کلوین به‌طور دقیق‌تر برابر $-۲۷۳/۱۵^\circ C$ است، ولی برای محاسبه‌های این کتاب همان مقدار تقریبی $-۲۷۳^\circ C$ مناسب است.

دماسنج جیوه‌ای (و یا الکلی): در کتاب فیزیک (۱) و آزمایشگاه با دماسنج جیوه‌ای و الکلی (شکل ۶ــ۱) و هم‌چنین طرز مدرج کردن آن‌ها آشنا شدید. برای اندازه‌گیری دمای یک جسم باید دماسنج را در تماس با آن جسم قرار دهیم به‌گونه‌ای که مخزن دماسنج در تماس کامل با آن باشد. مدتی (حدود دو الی سه دقیقه) صبر می‌کنیم تا ارتفاع مایع در لولهٔ دماسنج دیگر تغییر نکند. عددی را که در مقابل سطح مایع در لوله ثبت شده است می‌خوانیم. این عدد دمای آن جسم را نشان می‌دهد.

شکل ۶ــ۱ــ دماسنج جیوه‌ای

تعبیر مولکولی دما: آنچه تاکنون دربارهٔ دما گفته‌ایم به تعریف عملیاتی آن مربوط می‌شود. در مبحث‌های تخصصی فیزیک تعبیری برای دما وجود دارد که می‌توانیم آن‌را با مراجعه به تعریف انرژی درونی دریابیم. در فیزیک (۱) و آزمایشگاه دیدیم که :

الف ــ انرژی درونی هر جسم، مجموع انرژی‌های مولکول‌های تشکیل‌دهندهٔ آن از جمله انرژی جنبشی این ذره‌هاست.

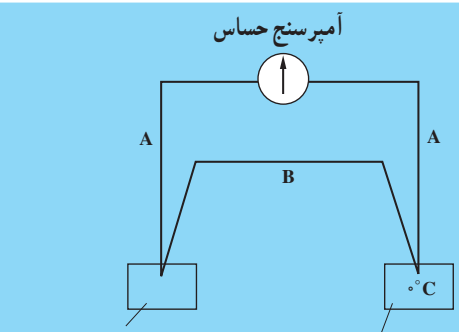
ب ــ افزایش انرژی درونی هر جسم غالباً به صورت افزایش دمای آن جسم ظاهر می‌شود. از این‌جا تعبیر مولکولی زیر برای دما ارائه می‌شود. **دمای هر جسم متناسب است با انرژی جنبشی متوسط مولکول‌های سازندهٔ آن.**

آزمایش ۶ــ۱

وسایل لازم: دو تکه سیم فلزی غیر هم‌جنس A و B (برای مثال سیم A مسی و سیم B آهنی)، یک آمپرسنج حساس (میلی آمپرسنج یا میکروآمپرسنج)، سه پایه، شعله پخش کن، چراغ گازی یا الکلی، یک ظرف شیشه‌ای نسوز برای گرم کردن آب، یک سطل کوچک برای یخ، مقداری یخ، یک دماسنج جیوه‌ای

۱ــ با سیم‌های فلزی و آمپرسنج مداری مطابق مدار شکل (۶ــ۴) ببندید.

۲ــ در ظرف شیشه‌ای کمی بیش از نصف آب بریزید و آن‌را روی سه پایه بالای شعله قرار دهید و یک دماسنج درون آن قرار دهید، به‌طوری که هر وقت لازم باشد بتوانید دمای آب گرم را اندازه بگیرید.



A = سیم مسی
B = سیم آهنی

شکل ۶ ــ ۲

۳ــ سطل را از یخ در حال ذوب پر کنید. دمای یخ در حال ذوب ثابت است. این دما در فشار یک اتمسفر برابر $0^{\circ}C$ است.

۴ــ یکی از دو محل اتصال دو فلز را درون یخ در حال ذوب که دمای آن مشخص و ثابت است فرو ببرید.

۵ــ 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 عبور جریانی را نشان می‌دهد.

۶ــ این آزمایش را چند بار تکرار کنید، هر بار آب گرم را در دمای بالاتری به‌کار برید و شدت جریان حاصل را اندازه بگیرید.

۷ــ یافته‌های خود را در جدولی وارد کنید.

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

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

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

ــ خروجی این دماسنج، یک علامت الکتریکی (یک جریان) است، به عبارت دیگر، در این دماسنج، تغییر دمای مورد اندازه‌گیری باعث تغییر جریان الکتریکی می‌شود و این تغییر جریان می‌تواند

مستقیماً یک دستگاه هشداردهندهٔ تغییرات ناگهانی دما را به‌کار اندازد و یا برای ثبت‌کردن تغییرات پیوستهٔ دما به‌کار رود.

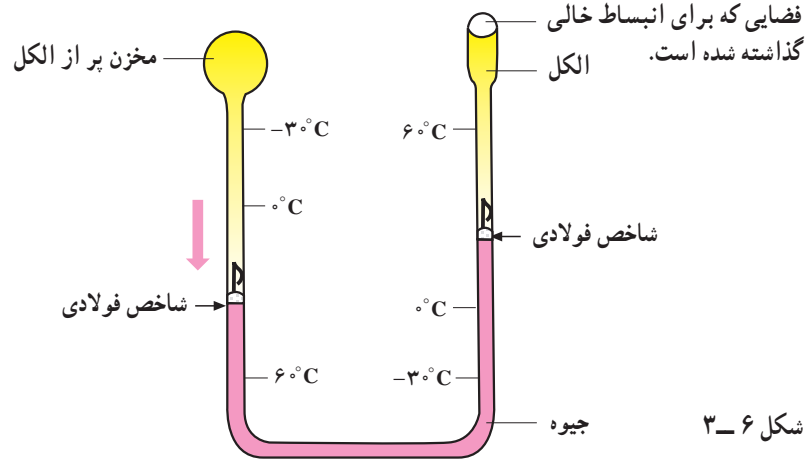
ــ این دماسنج‌ها نسبت به اختلاف دماهای بسیار کوچک، حتی به کوچکی $0/001^{\circ}C$ نیز حساس‌اند.

ــ دماسنج‌های ترموکوپل را می‌توان برای اندازه‌گیری دماهای بالا تا حدود $1500^{\circ}C$ به‌کار برد. برای این کار باید سیم‌های فلزی A و B را از جنس‌های خاصی انتخاب کرد که در آن دماها ذوب نشوند.

مطالعه آزاد

دماسنج فرینه: این دماسنج نوع ویژه‌ای از دماسنج‌های مایعی است که بیشینه و کمینهٔ دما را در مدت یک شبانه‌روز نشان می‌دهد. ویژگی‌های این دماسنج مطابق شکل ۶ــ۳ عبارتند از :

الف ــ یک شاخص فولادی که روی سطح جیوه در هر طرف لولهٔ U شکل شناور است.



شکل ۶ ــ۳

ب ــ هنگامی‌که دما بالا می‌رود، به سبب انبساط الکل (در لولهٔ سمت چپ شکل)، جیوه در لولهٔ سمت راست به بالا رانده می‌شود و شاخص فولادی لولهٔ سمت راست را با خود بالا می‌برد. در این مرحله سطح الکل در لولهٔ سمت راست نیز بالا می‌رود.

پ ــ در این هنگام محل تماس شاخص لولهٔ سمت راست با جیوه، بالاترین دما، یا دمای بیشینه‌ای را که هوا به آن رسیده است نشان می‌دهد. اگر سطح جیوه در لولهٔ راست پایین بیاید، شاخص فولادی همراه با آن حرکت نمی‌کند و در همان محل قبلی خود در مقابل دمای بیشینه می‌ایستد.

ت ــ هنگامی که الکل به علت کاهش دما، منقبض می‌شود، جیوه از طرف چپ لولهٔ U شکل بالا می‌رود و شاخص فولادی دیگر را در این طرف لوله بالا می‌راند. محل تماس شاخص فولادی با جیوه پایین‌ترین دما یا دمای کمینه را نشان می‌دهد. محل این شاخص نیز با گرم‌تر شدن هوا دیگر تغییر نمی‌کند.

ث ــ با استفاده از آهنربا، این دو شاخص در پایان ۲۴ ساعت شبانه‌روز به سطح جیوه برگردانده می‌شوند تا برای روز بعد آماده باشند.

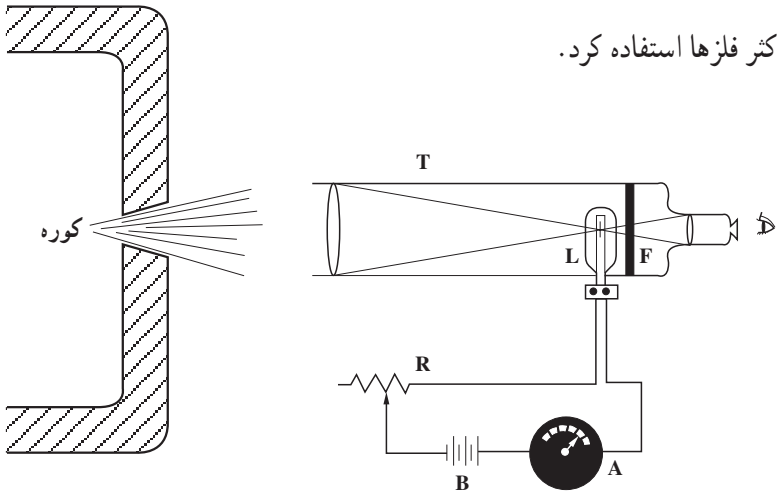
مطالعه آزاد

تَف‌سنج نوری: برای اندازه‌گیری دماهایی که بیش‌تر از گسترهٔ دماسنج ترموکوپل قرار دارند، از وسیله‌ای به نام تَف‌سنج نوری استفاده می‌شود.

همان‌طورکه در شکل ۶ــ۴ دیده می‌شود این وسیله از یک تلسکوپ T، که در لولهٔ آن یک صافی شیشه‌ای F به رنگ قرمز و یک لامپ کوچک L تعبیه شده، تشکیل شده است. اگر تف‌سنج به طرف کوره گرفته شود، شخصی که به داخل تلسکوپ نگاه می‌کند، رشته تیرهٔ لامپ را بر روی زمینهٔ روشن کوره، مشاهده می‌کند. لامپ به باتری B و مقاومت متغیر (رئوستای) R وصل است. با حرکت دادن پیچ رئوستا و کاهش مقاومت آن می‌توان جریان عبوری از مدار را افزایش و در نتیجه روشنایی لامپ را زیاد کرد. مقاومت رئوستا را آن‌قدر کم می‌کنیم تا روشنایی لامپ درست برابر روشنایی زمینه شود.

با استفاده از دستگاهی که قبلاً در دماهای معلوم درجه‌بندی شده، آمپرسنج A را در مدار، می‌توان درجه‌بندی کرد تا مستقیماً دمای مجهول را اندازه بگیرد. در این روش چون لازم نیست که هیچ قسمتی از دستگاه با جسمی که می‌خواهیم دمای آن را اندازه بگیریم، تماس یابد، می‌توان از آن برای اندازه‌گیری دماهای بالاتر از نقاط ذوب

اکثر فلزها استفاده کرد.



شکل ۶ــ۴ــ قسمت‌های اصلی یک تَف‌سنج نوری

گرما و تعادل (ترازمندی) گرمایی: در کتاب فیزیک (۱) و آزمایشگاه دیدیم که گرما مقدار انرژی‌ای 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، انرژی‌ای که جسم با دمای بالاتر از دست می‌دهد، برابر انرژی‌ای است که جسم با دمای پایین‌تر می‌گیرد. این مبادلهٔ انرژی تا زمانی که دمای دو جسم یکی شود ادامه می‌یابد.

به این ترتیب آیا اگر دو جسم هم‌دما در تماس با یکدیگر قرار گیرند، گرمایی بین آن‌ها مبادله می‌شود؟ روشن است که گرمای خالصی مبادله نمی‌شود. به عبارت کامل‌تر گرمایی که جسم اول به جسم دوم می‌دهد درست برابر گرمایی است که جسم دوم به جسم اول می‌دهد، پس به‌طور خالص گرمایی مبادله نشده است.

در این وضعیت یعنی وقتی گرمایی بین دو جسم مبادله نشود می‌گوییم دو جسم با هم در تعادل گرمایی‌اند و دمای مشترک را **دمای تعادل** می‌نامیم.

برای مثال اگر یک قطعه فلز داغ را در یک ظرف آب سرد بیندازیم، گرما از قطعه فلزی که دمایش بالاتر است به آب که دمایش پایین‌تر است، شارش می‌کند. این شارش گرما تا زمانی ادامه می‌یابد که قطعهٔ فلز و آب هم‌دما شوند و به دمای تعادل برسند.

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

می‌شود به صورت زیر تعریف کردیم :

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

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

$$Q = mc\Delta\theta = mc(\theta_2 - \theta_1) \qquad (۳ــ۶)$$

و یا

$$Q = mc\Delta T = mc(T_2 - T_1) \qquad (۴ــ۶)$$

در این رابطه‌ها Q (گرما) بر حسب ژول، m (جرم) بر حسب کیلوگرم، $\Delta\theta$ (تغییر دما) برحسب درجهٔ سلسیوس و یا ΔT بر حسب کلوین است. یکای c با استفاده از رابطه‌های (۶ــ۳) و (۶ــ۴) برابر است با ژول بر کیلوگرم بر درجهٔ سلسیوس یا ژول بر کیلوگرم بر کلوین. گرمای ویژهٔ برخی از مواد در جدول (۶ــ۱) داده شده است.

جدول ۶ــ۱ ــ گرمای ویژه برحسب ژول بر کیلوگرم بر کلوین

ماده	گرمای ویژه	ماده	گرمای ویژه
آب	۴۲۰۰	گرانیت	۸۲۰
آب دریا	۳۹۰۰	مس	۳۸۰
یخ	۲۱۰۰	سرب	۱۲۶
اتانول	۲۵۰۰	آلومینیوم	۹۰۰
روغن پارافین	۲۱۰۰	سدیم	۱۲۴۰
هیدروژن	۱۴۳۰۰	جیوه	۱۵۰
هوا	۹۹۳	آهن	۳۹۰
هلیوم	۵۲۴۰	فولاد	۴۲۰
اکسیژن	۹۳۰	سنگ مرمر	۹۰۰

مثال ۶ــ۲

یک سماور حاوی ۲kg آب ۲۰°C است. گرمای لازم برای افزایش دمای آب

تا $100^\circ C$ را حساب کنید.

حل: افزایش دما برابر است با :

$$\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1 = 100 - 20 = 80^\circ C$$

گرمای ویژهٔ آب با استفاده از جدول (۶ــ۱) برابر است با $c = 4200 J/kg^\circ C$

در نتیجه با استفاده از رابطهٔ (۶ــ۳) داریم :

$$Q = mc(\theta_2 - \theta_1) = 2 \times 4200 \times 80 = 672000 \ J$$

$$\simeq 0/67 \ MJ$$

اگر دمای جسم در اثر مبادلهٔ گرما بالا رود، $\theta_2 > \theta_1$ و $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1 > 0$ و رابطهٔ (۶ــ۳) مقدار مثبتی برای Q به‌دست می‌دهد، $(Q > 0)$.

در حالی که اگر دمای جسم با مبادلهٔ گرما کاهش یابد، داریم $\theta_2 < \theta_1$ ، آن‌گاه $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1 < 0$ ، و مقداری که برای Q به‌دست می‌آید منفی خواهد بود، $(Q < 0)$.

پس می‌توان گفت که علامت Q در رابطهٔ (۶ــ۳) مشخص می‌کند که جسم در یک فرآیند تبادل انرژی، گرما گرفته است $(Q > 0)$ یا گرما داده است $(Q < 0)$. از این پس در این کتاب همواره گرمای گرفته شده را با علامت مثبت و گرمای از دست داده شده را با علامت منفی منظور می‌کنیم.

مثال ۶ــ۳

یک قطعهٔ ۱۰۰ گرمی از مس را که دمای آن $90^\circ C$ است در یک ظرف آب سرد می‌اندازیم، دمای تعادل به $24^\circ C$ می‌رسد. گرمای مبادله شده را حساب کنید.

حل: داریم $m = 100g = 0/1kg$ ، $\theta_1 = 90^\circ C$ ، $\theta_2 = 24^\circ C$ و گرمای ویژه مس با استفاده از جدول (۶ــ۱) برابر است با : $c = 380 J/kg^\circ C$

در نتیجه از رابطهٔ (۶ــ۳) برای مس، به‌دست می‌آوریم :

$$Q = mc\Delta\theta = 0/1 \times 380 \times (24 - 90)$$

$$= 38 \times (-66) = -2508 J \simeq -2/5 kJ$$

علامت منفی Q نشان می‌دهد که مس گرما از دست داده است.

مثال ۶ـ۴

فرستنده‌ها و گیرنده‌های الکترونیکی درون ماهواره‌ها نیز مانند فرستنده‌ها و گیرنده‌های زمینی دارای یک بازده مشخص هستند و تنها بخشی از انرژی دریافتی را به انرژی مورد نظر تبدیل می‌کنند. فرض کنید انرژی‌ای که چنین دستگاهی از سلول‌های خورشیدی متصل به ماهواره دریافت می‌کند ۱۰ W و انرژی‌ای که فرستنده‌ی امواج به سمت زمین گسیل می‌کنند ۳ W باشد. همچنین فرض کنید جنس این دستگاه از سیلیکون و جرم آن ۰/۵ کیلوگرم باشد. این دستگاه در مدت ۱۰۰ ثانیه چقدر گرم می‌شود؟ گرمای ویژه سیلیکون $700\,J/kg.^\circ C$ است.

حل: می‌دانیم $P = Q/t$ ، و از طرفی $Q = mc\Delta\theta$ است. از تلفیق این دو رابطه به رابطهٔ روبرو می‌رسیم $Pt = mc\Delta\theta$

و از آن جا برای افزایش $\Delta\theta$ دما خواهیم داشت : $\Delta\theta = \frac{Pt}{mc}$

حال با گذاشتن مقادیر، $\Delta\theta$ را محاسبه می کنیم :

$$\Delta\theta = \frac{(7\,J/s)\,(100\,s)}{(0/5\,kg)\,(700\,J/kg.^\circ C)} = 2^\circ C$$

دمای تعادل: دیدیم 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 ۶ــ۵ انجام شده است.

مثال ۶ ـ ۵

یک قطعهٔ ۱۴۰ گرمی آلومینیوم را که دمای آن $80^\circ C$ است در ظرف عایقی که حاوی ۲۵۰ گرم آب در دمای $22^\circ C$ است می‌اندازیم، دمای تعادل را محاسبه کنید. از تبادل گرما بین ظرف و آب چشم‌پوشی کنید.

حل: در این مثال دو جسم داریم که تغییر دما داده‌اند، برای سادگی مشخصه‌های آن‌ها را با زیرنویس‌های (۱) و (۲) نشان می‌دهیم، یعنی :

جرم آلومینیوم $= m_1 = 140\,g = 0/14\,kg$

دمای اولیهٔ آلومینیوم $= \theta_1 = 80^\circ C$

و از جدول (۶ــ۱) گرمای ویژهٔ آلومینیوم $= c_1 = 900\,J/kg^\circ C$

و همین‌طور برای آب داریم :

$$\text{جرم آب} = m_۲ = ۲۵۰g = ۰/۲۵kg$$

$$\text{دمای اولیهٔ آب} = \theta_۲ = ۲۲^\circ C$$

$$\text{گرمای ویژهٔ آب} = c_۲ = ۴۲۰۰ J/kg^\circ C$$

و دمای تعادل که دمای نهایی مشترک آب و آلومینیوم است را با θ نمایش می‌دهیم. با استفاده از رابطهٔ (۶ــ۳) مقدار گرمایی که آلومینیوم از دست می‌دهد تا به‌دمای تعادل θ برسد برابر است با :

$$Q_۱ = m_۱c_۱(\theta - \theta_۱) = m_۱c_۱\Delta\theta_۱$$

و مقدار گرمایی که آب می‌گیرد تا به دمای تعادل برسد برابر است با :

$$Q_۲ = m_۲c_۲(\theta - \theta_۲) = m_۲c_۲\Delta\theta_۲$$

از قانون پایستگی انرژی داریم :

$$Q_۱ + Q_۲ = ۰$$

زیرا مجموعهٔ آلومینیوم و آب نه به بیرون گرما داده و نه از بیرون گرما گرفته است. در نتیجه داریم :

$$m_۱c_۱(\theta - \theta_۱) + m_۲c_۲(\theta - \theta_۲) = ۰$$

$$۰/۱۴ \times ۹۰۰ \times (\theta - ۸۰) + ۰/۲۵ \times ۴۲۰۰ \times (\theta - ۲۲) = ۰$$

پس از محاسبه حاصل می‌شود :

$$\theta \simeq ۲۸^\circ C$$

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که هرگاه چند جسم متفاوت با گرمای ویژهٔ $c_۱$ ، $c_۲$ ، $c_۳$ ، ... به‌جرم‌های $m_۱$ ، $m_۲$ ، $m_۳$ ، ... با دماهای اولیهٔ $\theta_۱$ ، $\theta_۲$ ، $\theta_۳$ ، ... را در تماس کامل با یک‌دیگر قرار دهیم برای یافتن دمای تعادل θ ، می‌توانیم حاصل جمع گرماهایی را که هریک مبادله کرده‌اند، یعنی $Q_۱$ ، $Q_۲$ ، $Q_۳$ ، ... را برابر صفر قرار دهیم، یعنی :

$$Q_۱ + Q_۲ + Q_۳ + \cdots = ۰ \qquad (۶ــ۵)$$

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

$$m_۱c_۱(\theta - \theta_۱) + m_۲c_۲(\theta - \theta_۲) + m_۳c_۳(\theta - \theta_۳) + \cdots = ۰ \qquad (۶ــ۶)$$

از معادلهٔ (۶ــ۶) می‌توانیم برای یافتن گرمای ویژه یک جسم نیز استفاده کنیم. مثال بعد نحوهٔ محاسبه را نشان می‌دهد.

مثال ۶ـ۶

در ظرف عایقی حاوی ۵۰۰ گرم آب $20^\circ C$، یک قطعه مس ۱۰۰ گرمی به دمای $50^\circ C$ و یک قطعه فلز دیگری به جرم ۱۵۰ گرم و به دمای $62/5^\circ C$ که گرمای ویژهٔ آن‌را نمی‌دانیم می‌اندازیم و دمای تعادل را اندازه می‌گیریم. اگر دمای تعادل $22^\circ C$ باشد، گرمای ویژهٔ فلز را محاسبه کنید. از تبادل گرما بین ظرف و آب چشم‌پوشی کنید.

حل: با استفاده از داده‌های این مثال و جدول (۶ـ۱) داریم :

$$\text{جرم آب} = m_1 = 500\,g = 0/5\,kg \ , \ \theta_1 = 20^\circ C \ , \ c_1 = 4200\,J/kg^\circ C$$

$$\text{جرم مس} = m_2 = 100\,g = 0/1\,kg \ , \ \theta_2 = 50^\circ C \ , \ c_2 = 380\,J/kg^\circ C$$

$$\text{جرم فلز} = m_3 = 150\,g = 0/15\,kg \ , \ \theta_3 = 62/5^\circ C \ , \ c_3 = ?$$

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

با درج این داده‌ها در رابطهٔ (۶ـ۶) داریم :

$$0/5 \times 4200 \times (22-20) + 0/1 \times 380 (22-50) +$$

$$0/15 \times c_3 \times (22-62/5) = 0$$

پس از محاسبه حاصل می‌شود :

$$c_3 \simeq 516\,J/kg^\circ C$$

تمرین ۶ـ۲

جسمی به جرم ۲۵۰ گرم در دمای $3^\circ C$ را به درون ظرف عایقی حاوی ۵۰۰ گرم آب $25^\circ C$ می‌اندازیم. پس از چند دقیقه دمای تعادل را اندازه می‌گیریم. اگر دمای تعادل $21^\circ C$ باشد، گرمای ویژهٔ جسم را محاسبه کنید. از تبادل گرما بین آب و ظرف چشم‌پوشی کنید.

آزمایش ۶ـ۲

گرماسنجی ــ تعیین ظرفیت گرمایی گرماسنج

وسایل لازم: ترازو، یک ظرف آب، چراغ الکلی یا گازی، سه پایه و شعله‌پخش‌کن، ظرف شیشه‌ای نسوز برای گرم کردن آب، یک فلاسک (یا ظرفی که به خوبی عایق‌بندی شده باشد)، دو عدد همزن، دو عدد دماسنج جیوه‌ای، یک عدد دستگیره

آزمایش زیر را به‌طور گروهی انجام دهید.

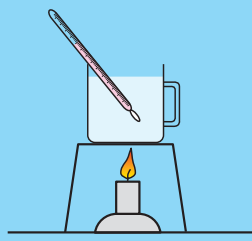
۱ــ ۰/۲ کیلوگرم آب (m_1) درون فلاسک بریزید و همزن و دماسنج را درون آن قرار دهید و صبر کنید تا آب و فلاسک و همزن به تعادل گرمایی برسند.

۲ــ در این فاصله ۰/۴ کیلوگرم آب (m_2) نیز درون ظرف شیشه‌ای نسوز بریزید.

۳ــ ظرف نسوز را مطابق شکل (۶ــ۵) روی سه پایه بالای چراغ قرار دهید.

۴ــ چراغ را روشن کنید و آب را تا دمای θ_1 گرم کنید.

۵ــ دمای آب درون فلاسک θ_1 و آب درون ظرف شیشه‌ای θ_2 را به کمک دماسنج‌هایی که در هریک از این ظرف‌ها قرار دارد اندازه بگیرید و یادداشت کنید. سپس آب گرم درون ظرف شیشه‌ای نسوز را (به کمک دستگیره) به درون فلاسک بریزید.



شکل ۶ــ۵

۶ــ آب درون فلاسک را با همزنی که درون آن است هم بزنید و دمای تعادل (θ) را اندازه‌گیری و یادداشت کنید.

۷ــ اگر گرمای ویژه آب را با c_w، گرمای ویژه فلاسک را با c_F، گرمای ویژه همزن را با c_M، گرمای ویژه دماسنج را با c_T، جرم فلاسک را با M، جرم همزن را با M' و جرم دماسنج را با M'' نمایش دهیم با استفاده از معادلهٔ (۶ــ۶) خواهیم داشت:

$$m_1c_w(\theta-\theta_1)+m_2c_w(\theta-\theta_2)+Mc_F(\theta-\theta_1)+M'c_M(\theta-\theta_1)+M''c_T(\theta-\theta_1)=0$$

دقت کنید که دمای اولیه فلاسک و همزن و دماسنج با دمای اولیهٔ آب درون فلاسک برابر است و همین‌طور هم دمای تعادل برای همهٔ آن‌ها یکسان است.

۸ــ از رابطهٔ بالا داریم:

$$[Mc_F+M'c_M+M''c_T](\theta-\theta_1)+m_1c_w(\theta-\theta_1)+m_2c_w(\theta-\theta_2)=0$$

۹ــ در این رابطه تنها عبارت داخل کروشه مجهول است، مقدار آن‌را به کمک اعدادی که در آزمایش به‌دست آورده‌اید محاسبه کنید. این کمیت را **ظرفیت گرمایی** مجموعهٔ فلاسک و همزن و دماسنج درون آن می‌نامند و آن‌را با نماد A نمایش می‌دهند.

مجموعهٔ فلاسک و همزن و دماسنج درون آن را معمولاً گرماسنج می‌نامند. با انجام این آزمایش شما ظرفیت گرمایی گرماسنج را که به صورت زیر تعریف می‌شود اندازه گرفته‌اید.

$$\text{ظرفیت گرمایی گرماسنج} = Mc_F + M'c_M + M' c_T = A$$

آزمایش ۶ـ۳

تعیین گرمای ویژهٔ یک جسم

وسایل لازم: گرماسنج (فلاسک، همزن، دماسنج) با ظرفیت گرمایی معین که قبلاً اندازه گرفته‌اید، یک جسم کوچک فلزی (مثل یک کلید)، یک همزن و یک دماسنج دیگر، ترازو، ظرف شیشه‌ای نسوز، چراغ الکلی یا گازی، سه پایه و شعله‌پخش‌کن، یک انبرک، دستگیره

۱ـ ۲/۰ کیلوگرم آب (m_1) درون گرماسنج بریزید و صبر کنید تا دمای گرماسنج و آب یکی شود.

۲ـ جرم جسم فلزی را به کمک ترازو اندازه بگیرید و یادداشت کنید. (m_2)

۳ـ جسم فلزی را درون ظرف شیشه‌ای نسوز قرار دهید و مقداری آب درون آن بریزید و همزن و دماسنج اضافی را نیز درون ظرف قرار دهید.

۴ـ ظرف شیشه‌ای را مطابق شکل (۶ـ۵) روی چراغ بگذارید و چراغ را روشن کنید و آب درون ظرف را به کمک همزن به هم بزنید.

۵ـ پس از چند دقیقه چراغ را خاموش کنید و همزمان دمای آب درون گرماسنج (θ_1) و دمای آب گرمی را که جسم فلزی در آن است (θ_2) به کمک دماسنج‌های مربوط اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

۶ـ جسم داغ شده را توسط انبرک هرچه سریع‌تر به درون آب درون فلاسک بیندازید.

۷ـ آب درون فلاسک را با همزن به هم بزنید و دمای تعادل θ را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

۸ـ با استفاده از معادلهٔ (۶ـ۶) داریم :

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

۹ـ در این رابطه تنها جسمc مجهول است. مقدار آن‌را به کمک اعدادی که در آزمایش به‌دست آورده‌اید، محاسبه کنید.

فعالیت ۶ـ۲

گرمای ویژهٔ یک فلز یا مایع معلوم را اندازه بگیرید. مقداری را که به‌دست می‌آورید، با مقدار داده شده در جدول (۶ــ۱) مقایسه کنید. دلیل اختلاف بین عددی که شما به‌دست آورده‌اید و رقمی که در جدول درج شده چیست؟ موضوع را با همکلاسان خود به بحث بگذارید.

۶ــ۲ ــ حالت‌های ماده

همان‌طورکه 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 (فاز) دیگر را یک تغییر حالت (گذار فاز) می‌نامند. هر تغییر حالت (در فشار ثابت) در دمای ثابتی صورت می‌گیرد که آن‌را **دمای گذار** می‌نامند. تغییر حالت‌ها معمولاً با گرفتن و یا از دست دادن گرما همراهند. علاوه بر این حجم و چگالی نیز با تغییر حالت تغییر می‌کند.

فعالیت ۶ـ۳

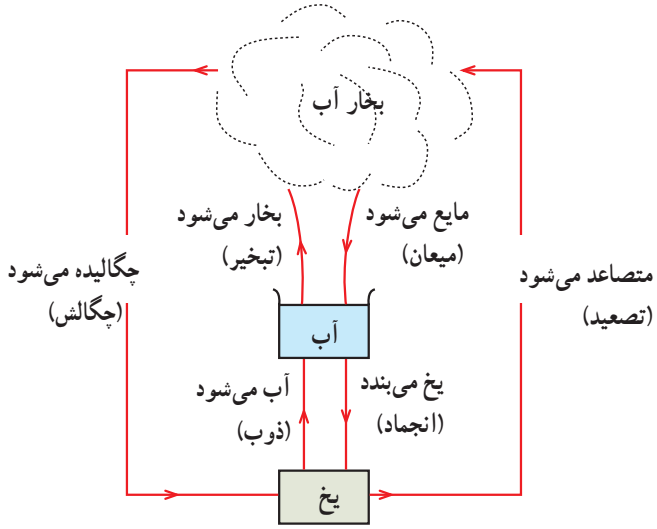
آزمایشی طراحی کنید و انجام دهید که در آن تغییر حجم آب به هنگام انجماد (یخ بستن) و یا تغییر حجم یخ به هنگام ذوب شدن (آب شدن) مشخص شود.

برای مثال در شکل (۶ــ۶) 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 میعان می‌نامیم.

امکان دارد که تغییر حالت از جامد به بخار و وارون آن از بخار به جامد نیز به‌طور مستقیم (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 نام دارد.

برای مثال نفتالین در دمای اتاق به‌طور مستقیم از جامد به بخار تبدیل می‌شود (تصعید). در صبح‌های بسیار سرد زمستان برفکی که روی گیاهان و یا روی شیشهٔ پنجره می‌نشیند، بخار آبی است که به‌طور مستقیم به بلورهای یخ تبدیل شده است (چگالش).



شکل ۶ــ۶ــ انواع تغییر حالت‌های آب

در ادامه هریک از تغییر حالت‌ها را به‌طور جداگانه بررسی می‌کنیم.

ذوب: پیش از این دیدیم که اگر به جسم جامدی گرما بدهیم، دمای آن افزایش می‌یابد. اگر عمل گرما دادن را ادامه دهیم، هنگامی که دمای جسم به مقدار مشخصی رسید، افزایش دما متوقف می‌شود (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 «نقطهٔ ذوب» می‌نامیم.

افزایش فشار وارد بر جسم به جز در چند مورد سبب بالا رفتن نقطهٔ ذوب آن می‌شود. در بعضی از جسم‌ها مانند یخ، افزایش فشار سبب کاهش نقطهٔ ذوب می‌شود. نقطهٔ ذوب یخ در فشار یک آتمسفر برابر صفر درجهٔ سلسیوس است.

فعالیت ۶ـ۴

دربارهٔ علت دیرتر آب شدن برف روی قلهٔ کوه‌ها تحقیق کنید. نتیجهٔ تحقیق خود را به کلاس گزارش دهید.

عمل ذوب گرماگیر است. یعنی به جسم جامدی که به دمای ذوب خود رسیده باشد باید گرما بدهیم تا به مایع تبدیل شود.

گرمای نهان ذوب، گرمای نهان ویژهٔ ذوب: گرمایی که جسم جامد در نقطهٔ ذوب خود می‌گیرد تا به مایع تبدیل شود، سبب تغییر دمای آن نمی‌شود، بلکه صرف تغییر حالت آن خواهد شد. از این‌رو به این گرما، **گرمای نهان ذوب** می‌گوییم. دادن گرمای نهان ذوب به جامدی که به نقطهٔ ذوب خود رسیده است، آن‌را ذوب می‌کند.

گرمای نهان ویژهٔ ذوب(L_F)[1] یک جامد، برابر است با مقدار انرژی‌ای که باید به یک کیلوگرم از آن جامد در دمای نقطهٔ ذوب بدهیم تا به مایع در همان دما تبدیل شود. یکای گرمای نهان ویژه در SI ژول برکیلوگرم (J /kg) است.

بنابراین گرمای نهان ذوب m کیلوگرم جامد از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود :

$$Q = mL_F \qquad (۶ــ۷)$$

گرمای نهان ویژهٔ ذوب و نقطهٔ ذوب مواد مختلف، متفاوت است. این مقدارها برای برخی از مواد در جدول (۶ــ۲) داده شده است.

جدول ۶ــ۲ــ نقطهٔ ذوب و گرمای نهان ویژهٔ ذوب برخی مواد در فشار یک آتمسفر

ماده	نقطهٔ ذوب ($^\circ C$)	گرمای نهان ذوب (kJ /kg)
هیدروژن	۲۵۹ ــ	۵۸/۶
ازت	۲۰۹ ــ	۲۵/۵
اکسیژن	۲۱۸ ــ	۱۳/۸
جیوه	۳۹ ــ	۱۱/۸
یخ	۰	۳۳۴
گوگرد	۱۱۹	۳۸/۱
سرب	۳۲۷	۲۴/۵
قلع	۶۳۰	۱۶۵
نقره	۹۶۰	۸۸/۳
طلا	۱۰۶۳	۶۴/۵
مس	۱۰۸۳	۱۳۴

۱ــ زیرنویس F حرف اول واژهٔ انگلیسی Fusion به معنای ذوب است.

مثال ۶ـ۷

گرمای لازم برای ذوب ۱۰ گرم طلا را محاسبه کنید. فرض کنید که طلا در نقطهٔ ذوب خود باشد.

حل: با استفاده از جدول (۶ـ۲) داریم :

$$L_F = ۶۴/۵ \times ۱۰^{۳}\ J/kg$$

$$m = ۱۰g = ۰/۰۱\ kg$$

بنابراین از رابطهٔ (۶ـ۷) داریم :

$$Q = mL_F = ۰/۰۱ \times ۶۴/۵ \times ۱۰^{۳} = ۶۴۵\ J$$

مثبت بودن مقدار گرما نشان دهندهٔ گرماگیر بودن عمل ذوب است.

فعالیت ۶ـ۵

آزمایشی برای اندازه‌گیری گرمای نهان ذوب یخ طراحی کنید و آن‌را انجام دهید.

انجماد: فرآیند انجماد وارون فرآیند ذوب یعنی تبدیل مایع به جامد است. اگر مایعی را سرد کنیم (یعنی از آن گرما بگیریم) هنگامی که به دمای انجماد یا نقطهٔ انجماد خود می‌رسد، شروع به جامدشدن می‌کند. دمای نقطهٔ ذوب یک ماده در شرایط یکسان با دمای نقطهٔ انجماد آن برابر است. یعنی برای مثال اگر در فشار یک آتمسفر به یخ صفر درجهٔ سلسیوس گرما دهیم شروع به ذوب می‌کند و نیز اگر در همان فشار از آب صفر درجهٔ سلسیوس گرما بگیریم شروع به انجماد می‌کند.

هر جسم به هنگام انجماد همان‌قدر گرما از دست می‌دهد که به هنگام ذوب می‌گیرد. بنابراین گرمای نهان ویژهٔ انجماد منفی گرمای نهان ویژهٔ ذوب است. به این ترتیب گرمای نهان انجماد m کیلوگرم مایع از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود :

$$Q = -mL_F \qquad (۶ـ۸)$$

علامت منفی نشان‌دهندهٔ آن است که مایع به هنگام انجماد گرما از دست می‌دهد.

جوشیدن و تبخیر: وقتی به مایعی گرما می‌دهیم، دمای آن افزایش می‌یابد. اگر عمل گرما دادن را ادامه دهیم، هنگامی که دمای مایع به مقدار مشخصی رسید، افزایش دما متوقف می‌شود و دما ثابت می‌ماند. مایع در این موقع به جوش می‌آید و تبدیل به بخار می‌شود. این دمای ثابت را «دمای جوش» یا «نقطهٔ جوش» می‌نامند.

جدول ۶ــ۳ ــ نقطهٔ جوش و گرمای نهان ویژهٔ تبخیر برخی مواد در فشار یک اتمسفر

ماده	نقطهٔ جوش ($^\circ C$)	گرمای نهان تبخیر (kJ /kg)
هلیم	ـ ۲۶۹	۲۰/۹
هیدروژن	ـ ۲۵۳	۴۵۲
ازت	ـ ۱۹۶	۲۰۱
اکسیژن	ـ ۱۸۳	۲۱۳
جیوه	۳۵۷	۲۷۲
آب	۱۰۰	۲۲۵۶
گوگرد	۴۴۵	۳۲۶
سرب	۱۷۵۰	۸۷۱
قلع	۱۴۴۰	۵۶۱
نقره	۲۱۹۳	۲۳۳۶
طلا	۲۶۶۰	۱۵۷۸
مس	۱۱۸۷	۵۰۶۹

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

فعالیت ۶ ـ ۶

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

گرمای نهان تبخیر و گرمای نهان ویژهٔ تبخیر: گرمایی را که یک مایع در نقطهٔ جوش خود می‌گیرد تا به بخار در همان دما تبدیل شود گرمای نهان تبخیر می‌گویند.

گرمای نهان ویژهٔ تبخیر (L_V)[1] یک مایع، برابر است با مقدار گرمایی که باید به یک کیلوگرم از آن مایع در دمای نقطهٔ جوش بدهیم تا به بخار در همان دما تبدیل شود. در SI یکای گرمای نهان ویژهٔ تبخیر نیز همانند گرمای نهان ویژهٔ ذوب ژول بر کیلوگرم است.

۱ــ V حرف اول واژهٔ انگلیسی Vaporization به معنای تبخیر است.

بنابراین گرمای نهان تبخیر m کیلوگرم مایع از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود :

$$Q = mL_V \qquad (۹ــ۶)$$

گرمای نهان ویژهٔ تبخیر و نقطهٔ جوش مایع‌های مختلف، متفاوت است. این مقدارها برای برخی از مواد در جدول (۶ــ۳) داده شده است.

مثال ۶ ـ ۸

یک کتری برقی را که $۱/۶\,kg$ آب دارد روشن می‌کنیم، از لحظهٔ آغاز جوشیدن، چه‌قدر انرژی برای تبدیل همهٔ آب به بخار مصرف می‌شود و چه‌قدر طول می‌کشد تا کتری ۲/۵ کیلوواتی همهٔ آب را تبخیر کند؟ (از اتلاف انرژی صرف نظر شود.)

حل: از جدول (۶ــ۳) برای آب داریم :

$$L_V = ۲۲۵۶ \times ۱۰^۳\ J/kg$$

$$m = ۱/۶ kg$$

انرژی مصرفی را از رابطهٔ (۶ــ۹) به‌دست می‌آوریم.

$$Q = ۱/۶ \times ۲۲۵۶ \times ۱۰^۳ \simeq ۳۶۱۰ \times ۱۰^۳ J = ۳۶۱۰ kJ$$

با استفاده از رابطهٔ $P = \frac{Q}{t}$ داریم :

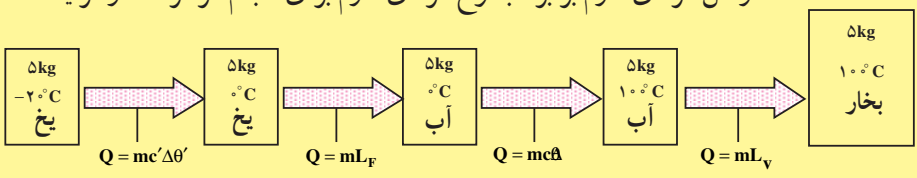
$$t = \frac{Q}{P} = \frac{۳۶۱۰ \times ۱۰^۳ J}{۲/۵ \times ۱۰^۳ W} \simeq ۱/۴۴ \times ۱۰^۳ s$$

مثال ۶ ـ ۹

گرمای لازم برای تبدیل $۵kg$ یخ $-۲۰^\circ C$ به بخار آب $۱۰۰^\circ C$ را حساب کنید.

حل: شکل (۶ــ۷) مراحل تغییر یخ $-۲۰^\circ C$ به بخار آب $۱۰۰^\circ C$ و رابطهٔ مربوط به گرمای لازم برای هر تغییر را نشان می‌دهد.

مقدار کل گرمای لازم برابر مجموع گرمای لازم برای انجام هر مرحله از فرآیند



شکل ۶ــ۷

است. با استفاده از جدول‌های (۶ــ۱) و (۶ــ۲) و (۶ــ۳) داریم :

$$Q_{\text{کل}} = mc_{\text{یخ}}\Delta\theta_{\text{یخ}} + mL_F + mc_{\text{آب}}\Delta\theta_{\text{آب}} + mL_V$$

$$= ۵\times۲۱۰۰\times[۰-(-۲۰)] + ۵\times۳۳۴\times۱۰^{۳} + ۵\times۴۲۰۰(۱۰۰-۰) + ۵\times۲۲۵۶\times۱۰^{۳}$$

با انجام محاسبه به‌دست می‌آوریم :

$$Q = ۱۵۲۶\times۱۰^{۴}\,J = ۱۵/۲۶\,MJ$$

میعان: فرآیند میعان وارون فرآیند تبخیر، یعنی تبدیل بخار به مایع است. اگر مقداری بخار یک ماده را سرد کنیم (یعنی از آن گرما بگیریم) هنگامی‌که به دمای میعان یا «نقطه میعان» خود می‌رسد، شروع به مایع شدن می‌کند. دمای نقطهٔ میعان یک ماده در شرایط یکسان با دمای نقطهٔ جوش آن برابر است. یعنی برای مثال اگر در فشار یک آتمسفر به آب صد درجهٔ سلسیوس گرما دهیم شروع به جوشیدن می‌کند و نیز اگر در همان فشار از بخار آب صد درجهٔ سلسیوس گرما بگیریم شروع به مایع شدن می‌کند. هر بخار به هنگام میعان همان‌قدر گرما از دست می‌دهد که به هنگام تبخیر می‌گیرد. بنابراین گرمای نهان ویژهٔ میعان منفی گرمای نهان ویژهٔ تبخیر است. به این ترتیب گرمای نهان میعان m کیلوگرم بخار یک ماده از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود :

$$Q = -mL_V \qquad (۱۰ــ۶)$$

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

مثال ۶ ــ ۱۰

یک لیوان شیشه‌ای بزرگ به جرم ۱۵ گرم حاوی ۲۰۰g آب $۲۰^{\circ}C$ است. چند قطعه یخ $۰^{\circ}C$، به جرم ۴۰ گرم به درون لیوان می‌اندازیم، دمای پایانی آب را حساب کنید. گرمای ویژهٔ شیشه را $۳۶۰\,J/kgK$ بگیرید.

حل: با توجه به آن‌که مقدار گرمایی که یخ $۰^{\circ}C$ می‌گیرد تا به آب $۰^{\circ}C$ 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 $۲۰^{\circ}C$ به دمای تعادل برسند. می‌توانیم با در نظر گرفتن $m_۱$ برای لیوان و $m_۲$ برای آب درون آن و $m_۳$ برای یخ، بنویسیم :

$$m_۱c_۱(\theta-\theta_۱) + m_۲c_۲(\theta-\theta_۲) + m_۳L_F + m_۳c_۳(\theta-\theta_۳) = ۰ \qquad (۱۱ــ۶)$$

با استفاده از داده‌های این مثال و جدول‌های (۶ــ۱ و ۶ــ۲) داریم :

$m_1 = ۱۵ \times ۱۰^{-۳} kg$ ، $c_1 =$ گرمای ویژهٔ شیشه $= ۳۶۰ J/kgK$ ، $\theta_1 = ۲۰^\circ C$

$m_2 =$ جرم آب درون لیوان $= ۲۰۰ g = ۰/۲ kg$ ، $c_2 = ۴۲۰۰ J/kgK$

$\theta_2 = \theta_1 = ۲۰^\circ C$

$m_3 = ۴۰ g = ۰/۰۴ kg$ ، $L_F =$ گرمای نهان ویژه ذوب یخ $= ۳۳۴ \times ۱۰^۳ J/kg$

$c_3 = ۴۲۰۰ J/kgK$ $\quad \theta_3 = ۰^\circ C$

با درج این مقدارها در رابطهٔ (۶ــ۱۱) و انجام محاسبه به‌دست می‌آوریم :

$\theta \simeq ۳/۵^\circ C$

تبخیر سطحی: پارچهٔ خیسی را روی سنگ‌فرش پهن کنید. پس از یکی دو ساعت می‌بینید کاملاً خشک شده است. آب آن کجا رفته است؟

پاسخ آن است که آب تبخیر شده است. تجربه‌هایی مانند این نشان می‌دهند 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 نهان تبخیر خود را از دست می‌دهد و در اثر آن دمایش پایین می‌آید. تجربه نشان می‌دهد که آهنگ تبخیر سطحی به عامل‌های مختلفی از جمله دما و مساحت سطح مایع بستگی دارد.

فعالیت ۶ــ۷

الف ــ بررسی کنید که تبخیر سطحی با افزایش دما و افزایش سطح مایع سریع‌تر صورت می‌گیرد یا کندتر؟

ب ــ با بررسی تبخیر سطحی در شرایط مختلف سعی کنید از راه تجربه عامل یا عامل‌های دیگری را که بر آهنگ تبخیر سطحی اثر می‌گذارند پیدا کنید.

فعالیت ۶ــ۸

تحقیق کنید و توضیح دهید چرا :

۱ــ با پوشیدن لباس‌های تر احساس سرما می‌کنید؟

۲ــ عرق کردن به خنک نگه‌داشتن بدن کمک می‌کند؟

۳ــ هنگامی که دوش می‌گیرید بخار آب روی شیشهٔ پنجرهٔ حمام مایع می‌شود؟

۶ــ۳ــ 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 دماپاها 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 دیده‌اید.

فعالیت ۶ ـ ۹

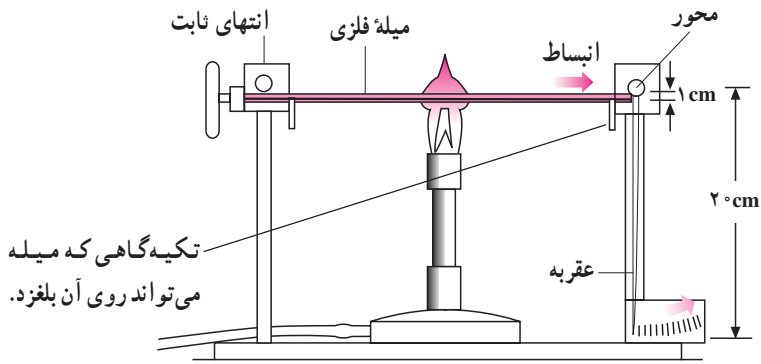
توضیح دهید که چگونه می‌توان با استفاده از ابزارهایی که در شکل (۶ــ۸) نشان داده شده است پدیدهٔ انبساط در اثر افزایش دما را نمایش داد.

شکل ۶ــ۸

وقتی یک ورقهٔ 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 دربارهٔ یک میله، اگر طول آن در مقایسه با قطر مقطع آن بسیار بزرگ‌تر باشد، **انبساط طولی** آن بهتر دیده می‌شود.

انبساط طولی: برای دیدن انبساط طولی یک میلهٔ فلزی می‌توان از دستگاهی که در شکل (۶ــ۹) نشان داده شده است، استفاده کرد. وقتی میلهٔ فلزی گرم و منبسط می‌شود، عقربه را حول محور می‌چرخاند و انتهای عقربه انبساط طولی میله را چند بار (در شکل ۲۰ بار) بزرگ‌تر نشان می‌دهد و اندازه‌گیری دقیق آن را میسر می‌سازد.

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



شکل ۶ــ۹

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

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

ــ طول اولیهٔ میله (L_1) .

ــ مقدار تغییر دما (ΔT) .

هنگامی که دمای میله‌ای به طول L_1 به اندازهٔ ΔT افزایش یابد، طول آن به اندازهٔ ΔL افزایش می‌یابد. به این ترتیب انبساط یا افزایش طولِ واحدِ طولِ میله برای افزایش دمای ΔT برابر $\frac{\Delta L}{L_1}$ خواهد بود. افزایش طولِ واحدِ طولِ میله برای افزایش دمای یک کلوین برابر می‌شود با $\frac{\Delta L}{L_1 \Delta T}$. این همان ضریب انبساط طولی میله (α) است.

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_1 \Delta T} \qquad (۶ــ۱۲)$$

یکای ضریب انبساط طولی در SI، بر کلوین ($\frac{1}{K}$) یا بر درجهٔ سلسیوس ($\frac{1}{^\circ C}$) نام دارد.

مقدار افزایش طول ΔL را می‌توان از رابطهٔ (۶ــ۱۲) به صورت زیر به‌دست آورد :

$$\Delta L = \alpha L_1 \Delta T \qquad (۶ــ۱۳)$$

ضریب انبساط طولی ماده‌های مختلف با هم تفاوت دارند. ضریب انبساط طولی برخی از ماده‌ها در جدول (۶ــ۴) داده شده است. توجه کنید که این مقدارها بسیار کوچکند. ولی همین مقدارهای کوچک هم اثرهای قابل توجهی در ساختمان‌ها و دستگاه‌های مختلف دارد.

جدول ۶ــ۴ــ ضریب انبساط طولی ماده‌های مختلف

ماده	ضریب انبساط طولی $(\frac{1}{K})$
آلومینیوم	۲۳×۱۰^{-۶}
آجر	۹×۱۰^{-۶}
مس	۱۷×۱۰^{-۶}
الماس	تقریباً صفر
بتون	۱۲×۱۰^{-۶}
آهن	۱۲×۱۰^{-۶}
کوارتز	$۰/۴\times۱۰^{-۶}$
روی	۳۱×۱۰^{-۶}
برنج	۱۹×۱۰^{-۶}

مثال ۶ــ۱۱

انبساط طولی یک پل بتونی به طول ۱۰۰m را هنگامی که دما به اندازهٔ $۲۰^{\circ}C$ افزایش یابد حساب کنید.

حل: از جدول (۶ــ۴) داریم :

$$\alpha = ۱۲\times۱۰^{-۶}\ \frac{۱}{^{\circ}C}$$

با استفاده از رابطهٔ (۶ــ۱۳)، داریم :

$$\Delta L = \alpha L_{۱} \Delta\theta$$

$$\Delta L = ۱۲\times۱۰^{-۶}\times۱۰۰\times۲۰ = ۲/۴\times۱۰^{-۲}\,m$$

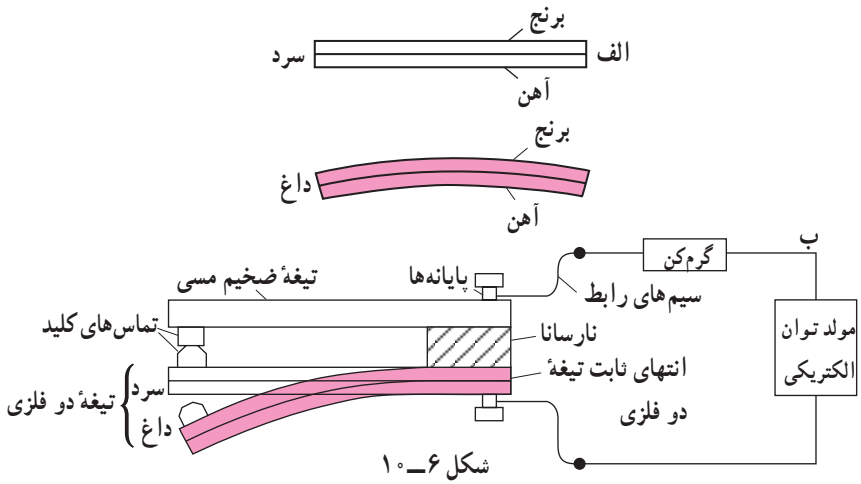
$$\Delta L = ۲/۴cm$$

اگر در ساختمان پل پیش‌بینی فضای لازم برای این انبساط طولی نشده باشد، همین مقدار انبساط می‌تواند باعث تخریب پل گردد.

فناوری و کاربرد

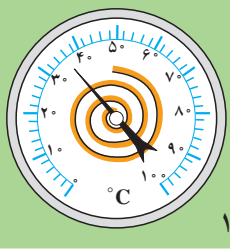
دماپا (ترموستات): دماپا از دو تیغه از فلزهای متفاوت مانند برنج و آهن ساخته شده است که سرتاسر به هم جوش داده شده یا میخ پرچ شده‌اند. در دمای کم محیط، دماپا، مدار الکتریکی دستگاه گرمکن را، مطابق شکل (۶ــ۱۰) کامل می‌کند. به علت عبور

جریان الکتریکی از گرمکن الکتریکی گرما ایجاد می‌شود و دمای محیط بالا می‌رود. همان‌طورکه در جدول (۶ــ۴) مشاهده می‌کنید ضریب انبساط طولی برنج بزرگ‌تر از آهن است. درنتیجه برنج بیش‌تر منبسط می‌شود و دماپا به طرف آهن خم می‌شود. وقتی دما به مقدار معینی رسید، تماس دماپا با تیغهٔ مسی قطع شده و مدار الکتریکی باز می‌شود. وقتی دوباره دما کم شود، دماپا به حالت اول برمی‌گردد و مدار بار دیگر متصل می‌شود. در نتیجه وجود دماپا در مدار گرمکن الکتریکی می‌تواند دما را تقریباً ثابت نگه دارد.



شکل ۶ــ۱۰

فعالیت ۶ــ۱۰



شکل ۶ــ۱۱

شکل (۶ــ۱۱) دماسنجی را نشان می‌دهد که در آن از یک نوار دو فلزی حلزونی شکل استفاده شده است. اساس کار این دماسنج را در گروه خود به بحث بگذارید و نتیجه را به کلاس گزارش کنید.

انبساط سطحی: برای محاسبهٔ انبساط سطحی هم می‌توانیم به روشی مشابه برای هر ماده یک ضریب انبساط سطحی تعریف کنیم.

ضریب انبساط سطحی برابر است با افزایش مساحت واحد سطح یک جسم جامد به ازای افزایش دمای یک کلوین . می‌توان نشان داد که ضریب انبساط سطحی یک جسم تقریباً دو برابر ضریب انبساط طولی آن است. یکای ضریب انبساط سطحی نیز بر کلوین $(\frac{۱}{K})$ یا بر درجهٔ سلسیوس $(\frac{۱}{°C})$ است.

اگر سطحی به مساحت A با افزایش دمای ΔT ، افزایش مساحتی برابر ΔA پیدا کرده باشد، داریم :

$$\text{ضریب انبساط سطحی} = (\frac{1}{K}) = 2\alpha = \frac{\Delta A}{A_1 \Delta T} \qquad (۶-۱۴)$$

و یا :

$$\Delta A = 2\alpha A_1 \Delta T \qquad (۶-۱۵)$$

انبساط حجمی: برای انبساط حجمی نیز می‌توانیم ضریب انبساط حجمی را تعریف کنیم :

ضریب انبساط حجمی یک ماده نیز برابر است با افزایش حجم واحدِ حجمِ ماده به ازای افزایش دمای یک کلوین. یکای ضریب انبساط حجمی نیز بر کلوین $(\frac{1}{K})$ یا بر درجهٔ سلسیوس $(\frac{1}{^\circ C})$ است. ضریب انبساط حجمی را معمولاً با β نشان می‌دهند. می‌توان نشان داد که ضریب انبساط حجمی یک جامد تقریباً سه برابر ضریب انبساط طولی آن است. یعنی $\beta = 3\alpha$. در این‌جا نیز می‌توانیم بنویسیم :

$$\beta = \frac{\Delta V}{V_1 \Delta T} \qquad (۶-۱۶)$$

و یا :

$$\Delta V = \beta V_1 \Delta T \qquad (۶-۱۷)$$

مثال ۶ـ۱۲

ابعاد یک شمش آلومینیومی در دمای $10^\circ C$ برابر $5cm \times 10cm \times 20cm$ است حجم این شمش را در دمای $90^\circ C$ حساب کنید.

حل: با استفاده از جدول (۶ـ۴) داریم :

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

$$V_1 = 5 \times 10 \times 20 cm^3 = 1000 cm^3$$

$$\theta_1 = 90 - 10 = 80^\circ C$$

از رابطهٔ (۶ـ۱۷) داریم :

$$\Delta V = \beta V_1 \Delta T = 69 \times 10^{-6} \times 1000 \times 80 = 5/52 cm^3$$

$$\Delta V = V_2 - V_1$$

$$V_2 = \Delta V + V_1 = 1000 + 5/52 = 1005/52 cm^3$$

انبساط مایع‌ها: بیشتر مایع‌ها نیز با افزایش دما، افزایش حجم پیدا می‌کنند. انبساط مایع‌ها اساس کار دماسنج‌های جیوه‌ای و الکلی را تشکیل می‌دهد. ضریب انبساط حجمی چند مایع مختلف در جدول (۶ــ۵) داده شده است.

آزمایش ۶ـ۴

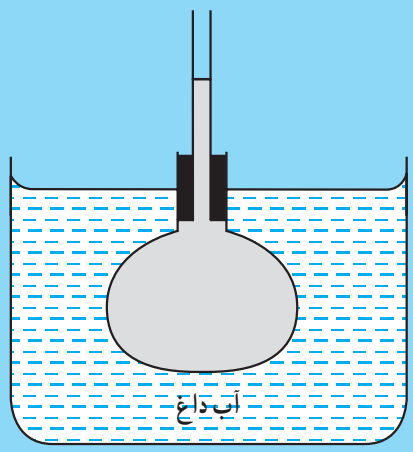
وسایل لازم: یک بالون شیشه‌ای، مقداری آب که با جوهر رنگی شده باشد، درپوش سوراخ‌دار همراه با یک لولهٔ شیشه‌ای بلند با مجرای بسیار نازک، چراغ الکلی، سه پایه و شعله پخش‌کن، ظرف شیشه‌ای بزرگ نسوز

۱ــ بالون شیشه‌ای را از آب رنگی پر کنید و درپوش همراه با لولهٔ شیشه‌ای بلند را مطابق شکل (۶ــ۱۲) طوری در دهانهٔ بالون جای دهید که هیچ هوایی در بالون نباشد و آب مقداری در لوله بالا بیاید. ارتفاع آب در لولهٔ شیشه‌ای را با علامت مشخص کنید.

۲ــ ظرف شیشه‌ای بزرگ را پر از آب کرده روی شعلهٔ چراغ قرار دهید تا آب آن گرم شود.

۳ــ بالون شیشه‌ای را مطابق شکل ۶ ــ ۱۲ درون آب داغ فرو برید و نحوهٔ تغییر ارتفاع آب در لولهٔ شیشه‌ای را مشاهده کنید.

۴ــ مشاهده‌های این آزمایش را با توجه به انبساط ظرف (بالون شیشه‌ای) و انبساط آب توضیح دهید.



شکل ۶ــ۱۲ــ انبساط مایع‌ها

در آزمایش (۶ــ۴) اگر ارتفاع مایع درون لولهٔ باریک (به مساحت مقطع A) از مقدار h_1 قبل از گذاشتن بالون در آب داغ به مقدار h_2 در انتهای آزمایش رسیده باشد، مایع ظاهراً به اندازهٔ $\Delta V = (h_2 - h_1)A$ افزایش حجم پیدا کرده است، که به آن انبساط ظاهری مایع می‌گویند.

فعالیت ۶ـ۱۱

آیا واقعاً مایع به اندازهٔ انبساط ظاهری خود افزایش حجم پیدا کرده است؟ توضیح دهید. اگر پاسخ شما به این سؤال منفی است تحقیق کنید که انبساط واقعی مایع‌ها را چگونه اندازه می‌گیرند.

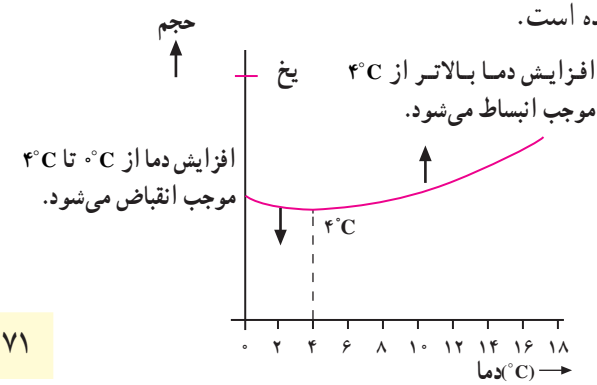
جدول ۶ــ۵ــ ضریب انبساط حجمی چند مایع

ماده	ضریب انبساط $(\frac{1}{K})$
اتر معمولی	$۱/۶\times۱۰^{-۳}$
الکل اتیلیک	$۱/۱\times۱۰^{-۳}$
بنزن	$۱/۲\times۱۰^{-۳}$
گلیسیرین	$۰/۵\times۱۰^{-۳}$
جیوه	$۰/۱۸\times۱۰^{-۳}$

تغییرات چگالی با دما: افزایش دما تغییری در جرم جسم ایجاد نمی‌کند ولی حجم آن را (به‌جز در موردهای استثنا) افزایش می‌دهد. از این‌رو انتظار داریم که چگالی $\rho = \frac{m}{V}$ با افزایش دما تغییر کند. با توجه به این‌که با افزایش دما، V در مخرج کسر افزایش می‌یابد، پس نتیجه می‌گیریم که افزایش دما باعث کاهش چگالی می‌شود.

هنگامی که مایع (یا گازی) را در یک نقطه گرم می‌کنیم، چگالی قسمت گرم شده کم می‌شود (کمتر از مایع (یا گاز) اطراف آن نقطه). در نتیجه چون قسمت گرم شده چگالی کم‌تری دارد به بالا رانده می‌شود و جای خود را به مایع (یا گاز) سردتر می‌دهد.

انبساط غیرعادی آب: حجم بیش‌تر مایع‌ها با کم شدن دما کاهش می‌یابد و با رسیدن به نقطهٔ انجماد این کاهش حجم بیش‌تر می‌شود. ولی آب رفتاری متفاوت دارد. به این ترتیب که آب از $۱۰۰^\circ C$ تا $۴^\circ C$ مانند هر مایع معمولی با کاهش دما کاهش حجم پیدا می‌کند. ولی از $۴^\circ C$ تا $۰^\circ C$ این رفتار عوض می‌شود و کاهش دما باعث افزایش حجم آب می‌شود. تغییرات حجم آب نسبت به دما در شکل (۶ــ۱۳) نشان داده شده است.

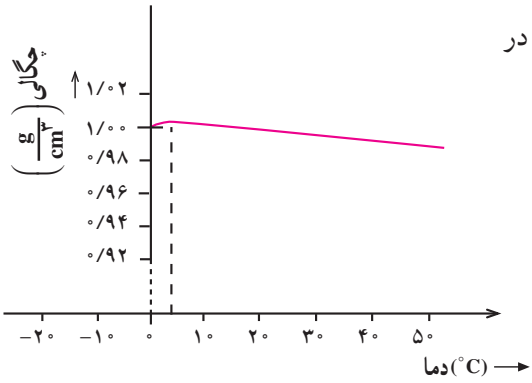


شکل ۶ــ۱۳ــ تغییر حجم آب و یخ

تمرین ۶ـ۵

آب در چه دمایی کم‌ترین حجم را دارد؟ در این دما چگالی بیشترین مقدار خود را دارد یا کمترین آن را؟

تغییرات چگالی آب نسبت به دما در شکل (۶ـ۱۴) نشان داده شده است.



شکل ۶ـ۱۴ـ تغییرات چگالی آب با دما

فعالیت ۶ـ۱۲

تحقیق کنید که :

الف ـ این نوع تغییر غیرعادی حجم و چگالی آب چه تأثیری بر نحوهٔ قرار گرفتن لایه‌های آب با دماهای متفاوت در اقیانوس‌ها دارد؟

ب ـ این نحوهٔ قرار گرفتن چه تأثیری بر محیط زیست اقیانوس‌ها داشته است؟

۶ـ۴ـ 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 عبارتند از **همرفتی**، **رسانش** و **تابش**. در ادامه به بررسی ساز و کار هریک از این روش‌ها می‌پردازیم. ولی باید گفته شود که در هر فرآیند انتقال گرما، هر سهٔ این ساز و کارها می‌توانند دخالت داشته باشند.

فعالیت ۶ـ۱۳

مبحث رسانش گرما را از کتاب فیزیک (۱) و آزمایشگاه بخوانید و آن‌را در چند سطر خلاصه بنویسید.

رسانش

با انجام این فعالیت به یاد آورده‌اید که رسانش گرما در مواد مختلف متفاوت است، از ماده‌های عایق مخصوص در دیوارها و سقف بناها استفاده می‌کنند تا از شارش برون‌سوی گرما در زمستان و شارش درون‌سوی آن در تابستان جلوگیری کنند. اکنون می‌دانید که فلزها رساناهای خوب گرما هستند.

در حالی که ماده‌هایی از قبیل شیشه، چوب، آزبست، آجر و جز این‌ها، رساناهای چندان خوبی نیستند.

برای محاسبهٔ آهنگ شارش گرما در یک ماده (یعنی مقدار گرمایی که در واحد زمان از هر مقطع فرضی در آن می‌گذرد)، میله‌ای به طول L و به سطح مقطع A از یک مادهٔ معین در نظر می‌گیریم. فرض کنید که یک سر این میله (سر داغ) را در دمای ثابت θ_2 (نسبتاً زیاد) و سر دیگر آن (سر سرد) را در دمای ثابت θ_1 (نسبتاً کم) قرار داده باشیم. آهنگ شارش گرما به عامل‌های زیر بستگی دارد :

۱ــ اختلاف دما: $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$ هر چه اختلاف دما بیش‌تر باشد، گرما با آهنگ بالاتری در میله شارش می‌کند.

۲ــ طول میله: هر چه طول میله بیش‌تر باشد، آهنگ شارش گرما کندتر می‌شود.

۳ــ سطح مقطع میله: هر چه سطح مقطع میله بیش‌تر باشد آهنگ شارش گرما بیش‌تر می‌شود.

در نتیجه : Q، گرمایی که در t ثانیه در یک میله شارش می‌کند برابر است با :

$$Q = K\frac{At\Delta\theta}{L} \qquad (۱۸ــ۶)$$

A در این معادله مساحت سطح مقطع میله و L طول آن است. $\Delta\theta$ اختلاف دمای دو سر میله است.

ثابت تناسب K رسانندگی گرمایی نام دارد.

یکای رسانندگی گرمایی $J/s.m.K$ یا $W/m.K$ است.

رسانندگی گرمایی چند مادهٔ مختلف در جدول (۶ــ۶) درج شده است.

جدول ۶ــ۶ ــ رسانندگی گرمایی ماده‌های مختلف

ماده	رسانندگی گرمایی (J/s.m.K)	ماده	رسانندگی گرمایی (J/s.m.K)
سرب	۳۵	آهن	۸۲
شیشه	۱	نقره	۴۱۸
پنبه نسوز	۰/۰۹	هوا	۰/۰۲۴
آب	۰/۰۴	آجر	~۰/۶
یخ	۲/۲	چوب	~۰/۰۸
چوب پنبه	۰/۰۳	مس	۴۰۰
آلومینیوم	۲۳۸		

مثال ۶ـ۱۳

یک سر یک میلهٔ آهنی ۳ متری را در آب جوش و سر دیگر آن‌را در یک مخلوط آب و یخ قرار می‌دهیم. اگر شعاع مقطع میله ۲ سانتی‌متر باشد، چه مقدار انرژی در هر دقیقه از طریق رسانش در میله منتقل می‌شود؟

حل: مساحت سطح مقطع میله برابر است با :

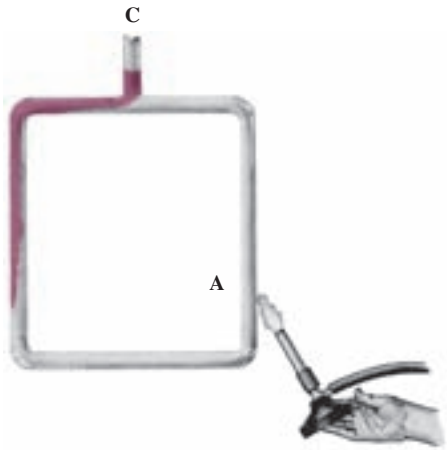
$$A = \pi r^2 = ۳/۱۴ \times (۰/۰۲)^2 \simeq ۱/۲۶ \times ۱۰^{-۳}\, m^2$$

با به کار بردن معادلهٔ (۶ــ۱۸) و با استفاده از مقدار K برای آهن از جدول (۶ــ۶) داریم :

$$Q = \frac{KA\,t\,\Delta T}{L} = \frac{۸۲ \times ۱/۲۶ \times ۱۰^{-۳} \times ۶۰ \times ۱۰۰}{۳} \simeq ۲۰۷\,J$$

همرفتی: در مبحث انبساط مایع‌ها دیدیم که اگر در یک نقطه درون مایعی به آن گرما بدهیم، دمای آن نقطه بالا می‌رود و با افزایش دما حجم مایع در اطراف آن نقطه زیاد و چگالی کم می‌شود. کم‌شدن چگالی باعث بالا رفتن مایع با دمای زیادتر شده و مایع با دمای کم‌تر جای آن‌را می‌گیرد. این حرکت مایع باعث انتقال گرما به همهٔ نقاط ظرف می‌شود.

جریان همرفتی را می‌توانیم به سادگی با انجام آزمایش زیر نمایش دهیم. لولهٔ شیشه‌ای مستطیلی شکلی را که در شکل (۶ــ۱۵) نشان داده شده است پر از آب می‌کنیم و با یک چراغ الکلی یا گازی آن‌را در نقطهٔ A گرم می‌کنیم. اگر چند قطره مایع رنگی از نقطهٔ C به درون لوله بریزیم، حرکت مایع را به خوبی می‌توانیم مشاهده کنیم. همراه با این حرکت، مایع در همه‌جای لوله گرم می‌شود.



شکل ۶ــ۱۵ــ نمایش جریان همرفتی

جریان همرفتی در هوا نیز وجود دارد. در یک روز آفتابی زمین و صخره‌ها با دریافت انرژی از نور خورشید گرم می‌شوند و دمای لایهٔ هوای مجاور خود را زیاد می‌کنند. هوای با دمای زیادتر به بالا می‌رود و هوای با دمای کم‌تر جای آن‌را می‌گیرد. این جریان هوای رو به بالا در برخی نقاط می‌تواند بسیار شدید باشد.

فعالیت ۶ـ۱۴

دربارهٔ جهت وزش نسیم از خشکی به طرف دریا و برعکس در ساعت‌های مختلف شبانه‌روز تحقیق کنید و نتیجه را به کلاس گزارش کنید.

مطالعه آزاد

وارونگی هوا: در بعضی شرایط خاص بین زمین و لایهٔ هوای گرم‌تر که معمولاً همراه با دود و آلودگی‌های دیگر هوای شهری به بالا صعود کرده است، یک لایهٔ هوای سرد قرار می‌گیرد. در این وضعیت لایهٔ آلوده و با دمای زیادتر، به دلیل وجود آلاینده‌ها در آن قسمت عمدهٔ انرژی خورشید را می‌گیرد و مانع نفوذ آن به لایهٔ ساکن زیرین می‌شود. در نتیجه هوای آلودهٔ شهری دیگر امکان بالارفتن پیدا نمی‌کند. این پدیده را **وارونگی هوا** می‌نامند.

این پدیده اثرهای زیان‌باری بر سلامتی افراد دارد. کودکان، سالمندان و کسانی که از بیماری‌های تنفسی رنج می‌برند در چنین شرایطی بهتر است درون خانه‌ها بمانند.

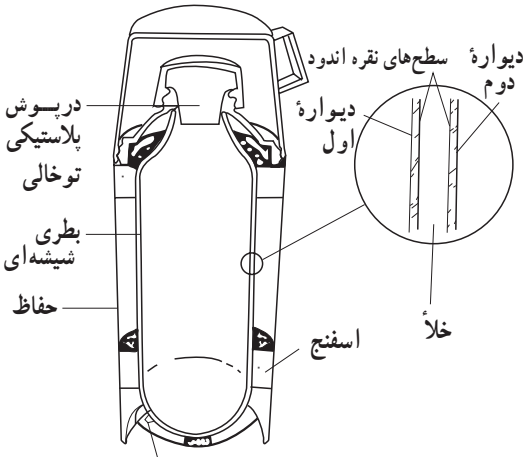
تابش: همهٔ ما تجربهٔ گرم شدن در نور خورشید را داریم. این نور برای رسیدن به ما از خلأ می‌گذرد. این نوع انتقال گرما را که نیاز به محیط مادی ندارد، **تابش** می‌نامند.

سرعت انتقال گرما از طریق تابش بسیار زیاد است. اگر در مقابل شعله بایستید، گرمای آتش را روی پوست خود احساس می‌کنید. در این هنگام، اگر شخصی بین شما و شعله قرار گیرد، در همان لحظه که شعله پنهان می‌شود، احساس گرما روی پوست شما نیز از بین می‌رود و باز هنگامی که شخص کنار رود احساس گرما با همان سرعت بازمی‌گردد.

همهٔ جسم‌ها، در حال تابش از سطح خود هستند. در نتیجه همهٔ جسم‌ها تابش جسم‌های دیگر را که در اطراف آنها قرار دارند دریافت می‌کنند. از این تابش دریافتی بخشی را جذب می‌کنند (که باعث زیادتر شدن دمای آن‌ها می‌شود) و بخش دیگری را باز می‌تابانند. آن جسم‌هایی که سطح صیقلی‌تری دارند بازتابش بیش‌تری انجام می‌دهند و بخش کم‌تری از تابش دریافتی را جذب می‌کنند.

مطالعه آزاد

فلاسک خلأ : برای آن‌که چای یا نوشیدنی در فلاسک داغ بماند، باید انتقال گرما از آن به محیط اطراف، از هر سه طریق همرفتی، رسانش و تابش به حداقل برسد. خلأ بین دو دیوارهٔ شیشه‌ای بطری، از رسانش گرما از دیواره‌های فلاسک به‌طور کامل جلوگیری می‌کند. درپوش چوب پنبه‌ای یا پلاستیکی توخالی نیز حاوی هواست که رسانای ضعیف گرماست. در خلأ بین دو دیوارهٔ شیشه‌ای جریان همرفتی نیز وجود ندارد، تنها هنگامی که درپوش فلاسک برداشته می‌شود، جریان همرفتی می‌تواند باعث انتقال گرما شود. جلوگیری از تابش گرما از همه مشکل‌تر است، زیرا این تابش می‌تواند از خلأ بین دو دیواره بگذرد. پوشش نقره‌ای روی دیواره‌های شیشه‌ای بطری باعث کاهش انتقال گرما از طریق تابش می‌شود.



شکل ۶ــ۱۶

فعالیت ۶ ـ۱۵

پاسخ دهید که چرا :

۱ــ در لباس‌های آتش‌نشانی از پوشش‌های فلزی براق استفاده می‌شود؟

۲ــ هنگامی که در یخچال را باز می‌کنید، هوای سرد از پایین آن بیرون می‌آید؟

۳ــ در کشورهای با آب و هوای گرم، رنگ سفید برای نمای بیرون خانه‌ها مناسب‌تر است؟

۴ــ در زمستان وقتی با پاهای برهنه روی کف سنگی یا سیمانی راه می‌روید، پاهای شما احساس سرما می‌کند، اما وقتی روی کف اتاق با کف‌پوش چوبی (با همان دما) راه می‌روید احساس سرما نمی‌کنید؟

۶ــ۵ــ قانون گازها

دیدیم که گازها هم مانند مایع‌ها و جامدها با زیاد شدن دما افزایش حجم پیدا می‌کنند. اگر بخواهیم این افزایش حجم صورت نگیرد باید فشار بیش‌تری بر گاز وارد کنیم. دانشمندانی چون بویل، ماریوت، شارل و گی لوساک با انجام آزمایش‌های متعدد و دقیق، رابطهٔ بین حجم و فشار، حجم و دما، فشار و دمای گازها را مورد بررسی قرار دادند.

پیامد این بررسی‌ها را می‌توان چنین بیان کرد :

برای مقدار معینی از یک گاز کامل، کمیت $\frac{PV}{T}$ یعنی حاصل ضرب فشار گاز در حجم آن تقسیم بر دمای گاز بر حسب کلوین همواره ثابت است. یعنی اگر در یک فرآیند، حجم و فشار و دمای مقدار معینی از یک گاز کامل را از V_1 و P_1 و T_1 به V_2 ، P_2 و T_2 برسانیم داریم :

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} \qquad (۱۹ــ۶)$$

دما در این رابطه برحسب کلوین است. یکاهای فشار در دو طرف رابطه و همین‌طور یکاهای حجم در دو طرف باید یکسان باشند.

گازهای واقعی معمولاً به طور کامل از این قانون پیروی نمی‌کنند.

آزمایش‌ها نشان می‌دهند که رفتار یک گاز واقعی، هرچه فشار آن کم‌تر باشد، بیش‌تر به رفتار گاز کامل نزدیک است. گازهای واقعی در دماهای کم‌تر از دمای نقطهٔ میعان دیگر به حالت گاز نیستند و مایع می‌شوند.

مثال ۶ــ۱۴

حجم استوانهٔ موتور یک اتومبیل $۱۲۰cm^۳$ است. این استوانه حاوی مخلوطی از هوا و بنزین در فشار یک آتمسفر است. اکنون اگر حجم استوانه را در دمای ثابت به $۱۵cm^۳$ برسانیم، فشار آن چه‌قدر می‌شود؟

حل: چون دما ثابت است داریم : $T_1 = T_2$

در نتیجه رابطهٔ (۱۹ــ۶) به صورت زیر درمی‌آید :

$$P_1V_1 = P_2V_2 \qquad (۲۰ــ۶)$$

(این رابطه را حدود ۳۵۰ سال پیش بویل انگلیسی و ماریوت فرانسوی به طور مستقل از یک‌دیگر به‌دست آوردند و به قانون بویل ــ ماریوت مشهور است.)

در این مثال داریم :

$P_1 = 1atm$ $\quad V_1 = 120cm^3$

$P_2 = ?$ $\quad V_2 = 15cm^3$

در نتیجه با درج در معادلهٔ (۶ــ۲۰) داریم :

$$1 \times 120 = P_2 \times 15$$

با انجام محاسبه به‌دست می‌آوریم :

$$P_2 = 8atm$$

مثال ۶ ــ ۱۵

راننده‌ای فشار هوای درون تایر اتومبیل خود را در صبح یک روز سرد که دمای هوا $-3^\circ C$ است، روی ۲/۷ آتمسفر تنظیم می‌کند. اگر او به منطقهٔ گرم‌تری سفر کند به‌طوری که وقتی به مقصد می‌رسد دمای هوا $27^\circ C$ باشد، فشار هوای درون تایر چه‌قدر است؟

حل: در این مثال حجم تایر ثابت مانده است، یعنی :

$$V_1 = V_2$$

در نتیجه رابطهٔ (۶ــ۱۹) به صورت زیر درمی‌آید :

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \qquad (۶ــ۲۱)$$

با استفاده از داده‌های مثال داریم :

$P_1 = 2/7atm$ $\quad T_1 = 273 - 3 = 270K$

$P_2 = ?$ $\quad T_2 = 273 + 27 = 300K$

با درج در معادلهٔ (۶ــ۲۱) داریم :

$$\frac{2/7}{270} = \frac{P_2}{300}$$

با انجام محاسبه به‌دست می‌آوریم :

$$P_2 = 3atm$$

مثال ۶ـ۱۶

دمای یک مقدار معین گاز اکسیژن را در فشار ثابت از صفر سلسیوس به $۲۷۳^{\circ}C$ می‌رسانیم، اگر حجم گاز در ابتدا برابر $۲\times۱۰^{۳}cm^{۳}$ باشد، حجم آن‌را در پایان آزمایش حساب کنید.

حل: در این آزمایش فشار ثابت مانده است، در نتیجه داریم :

$$P_۱ = P_۲$$

بنابراین رابطهٔ (۶ـ۱۹) به صورت زیر درمی‌آید :

$$\frac{V_۱}{T_۱} = \frac{V_۲}{T_۲} \qquad (۶ـ۲۲)$$

(این رابطه را حدود ۲۰۰ سال پیش شارل و گی‌لوساک به‌طور مستقل از یکدیگر به‌دست آوردند و به قانون شارل ــ گی‌لوساک معروف است.)

با استفاده از داده‌های این مثال داریم :

$$T_۱ = ۰ + ۲۷۳ = ۲۷۳K \qquad V_۱ = ۲\times۱۰^{۳}cm^{۳}$$

$$T_۲ = ۲۷۳ + ۲۷۳ = ۵۴۶K \qquad V_۲ = ?$$

با درج در معادلهٔ (۶ـ۲۲) داریم :

$$\frac{۲\times۱۰^{۳}}{۲۷۳} = \frac{V_۲}{۵۴۶}$$

با انجام محاسبه به‌دست می‌آوریم :

$$V_۲ = ۴\times۱۰^{۳}cm^{۳}$$

فعالیت ۶ـ۱۶

با استفاده از تجهیزاتی که در آزمایشگاه فیزیک دبیرستان خود دارید، آزمایشی را طراحی کنید که در آن قانون گازها یا یکی از صورت‌های خاص آن مورد تحقیق قرار گیرد. آزمایش را به طور گروهی انجام دهید. گزارش کار آن‌را بنویسید و شرح دهید که برای کم کردن خطاها چه تمهیداتی باید اعمال کرد.

تمرین‌های فصل ششم

۱ــ چگونگی درجه‌بندی سلسیوس را با استفاده از کتاب فیزیک (۱) و آزمایشگاه بنویسید.

۲ــ دماهای زیر را بر حسب درجهٔ سلسیوس مشخص کنید :

الف ــ $0K$ ب ــ $273K$ پ ــ $546K$

۳ــ 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؟

۴ــ هنگامی که ۱ کیلوگرم آب را با گرمکن غوطه‌ور در آب به مدت ۵ دقیقه گرم می‌کنیم، دمای آب $30^{\circ}C$ بالا می‌رود.

الف ــ توان متوسط گرمکن را حساب کنید.

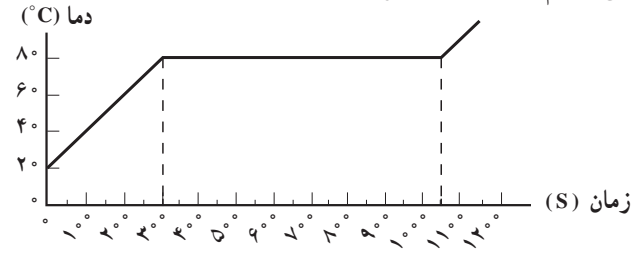
ب ــ اگر همین گرمکن آب را به مدت ۹ دقیقه گرم کند، دمای آن‌را چه‌قدر افزایش خواهد داد؟

۵ــ دمای یک قطعه فلز ۰/۶ کیلوگرمی را توسط یک گرمکن ۵۰ واتی در ۱۱۰ ثانیه از $18^{\circ}C$ به $38^{\circ}C$ رسانده‌ایم. این آزمایش برای گرمای ویژهٔ فلز چه مقداری را ارائه می‌دهد؟ حدس می‌زنید که این جواب از مقدار واقعی برای گرمای ویژه بیش‌تر است یا کم‌تر؟ توضیح دهید.

۶ــ چه روش‌هایی پیشنهاد می‌کنید که نتیجهٔ یک آزمایش اندازه‌گیری ظرفیت گرمایی گرماسنج و یا یک آزمایش اندازه‌گیری گرمای ویژه از دقت بیش‌تری برخوردار باشد؟ توضیح دهید.

۷ــ گرماسنجی به جرم ۲۰۰ گرم از مس ساخته شده است. یک قطعهٔ ۸۰ گرمی از یک مادهٔ نامعلوم همراه با ۵۰ گرم آب به درون گرماسنج ریخته می‌شود. دمای این مجموعه $30^{\circ}C$ است. در این هنگام ۱۰۰ گرم آب $70^{\circ}C$ به گرماسنج اضافه می‌شود، دمای تعادل $52^{\circ}C$ می‌شود. گرمای ویژهٔ مادهٔ نامعلوم را محاسبه کنید.

۸ــ به یک جسم جامد ۰/۵ کیلوگرمی توسط یک گرمکن ۱۰۰ واتی گرما می‌دهیم. منحنی تغییرات دمای این جسم با زمان در شکل (۶ــ۱۷) نشان داده شده است.



شکل ۶ــ۱۷

الف ــ چه زمانی طول می‌کشد تا این جامد به نقطهٔ ذوب خود برسد؟

ب ــ با استفاده از نمودار، گرمای ویژهٔ جامد و گرمای نهان ویژهٔ ذوب آن‌را محاسبه کنید.

۹ــ گرمکنی در هر ثانیه ۲۰۰ ژول انرژی فراهم می‌کند. چه مدت زمان طول می‌کشد تا این گرمکن ۰/۱ کیلوگرم آب $100^{\circ}C$ را به بخار آب $100^{\circ}C$ تبدیل کند؟ این گرمکن در همین مدت زمانی چه مقدار یخ $0^{\circ}C$ را به آب $0^{\circ}C$ تبدیل می‌کند؟

۱۰ــ یک گرمکن که با آهنگ ثابت ۵۰۰ وات انرژی تولید می‌کند، به‌طور کامل در یک قطعه یخ بزرگ با دمای $0^{\circ}C$ گذاشته شده است. در مدت ۱۳۲۰ ثانیه، ۲ کیلوگرم آب با دمای $0^{\circ}C$ تولید می‌شود. گرمای نهان ویژهٔ ذوب یخ را حساب کنید.

۱۱ــ یک گرمکن ۵۰ واتی غوطه‌ور در آب به‌طورکامل در ۱۰۰ گرم آب درون یک گرماسنج قرار داده می‌شود.

الف ــ این گرمکن در مدت یک دقیقه دمای آب و گرماسنج را از $20^{\circ}C$ به $25^{\circ}C$ می‌رساند. ظرفیت گرمایی گرماسنج را حساب کنید.

ب ــ چه مدت طول می‌کشد تا دمای آب درون گرماسنج از $25^{\circ}C$ به نقطهٔ جوش ($100^{\circ}C$) برسد؟

پ ــ چه مدت طول می‌کشد تا ۲۰ گرم آب درون این گرماسنج به بخار تبدیل شود؟

۱۲ــ با استفاده از مقدارهای ضریب انبساط طولی درجدول (۶ــ۴)، انبساط تیرآهنی با طول اولیهٔ ۲۵ متر، دراثر افزایش دمای از $-10^{\circ}C$ تا $30^{\circ}C$ را حساب کنید.

۱۳ــ با استفاده از جدول (۶ــ۴) حساب کنید که چه مقدار افزایش دما باعث می‌شود که طول یک خط‌کش ۰/۵ متری برنجی ۱/۱ میلی‌متر افزایش یابد.

۱۴ــ در روزی که دما $0^{\circ}C$ است برای پنجره‌ای، شیشه‌ای به طول 6m انداخته شد. برای پیش‌بینی انبساط شیشه، فاصلهٔ کوچکی به اندازهٔ ۱/۳۵ میلی‌متر بین شیشه و چارچوب منظور شد. روزی که دما $25^{\circ}C$ است مشاهده می‌شود که این فاصله از بین رفته است. با چشم‌پوشی از انبساط چارچوب پنجره، ضریب انبساط شیشه را حساب کنید.

۱۵ــ از شیشهٔ پنجره‌ای به عرض ۲ متر و ارتفاع ۱ متر و ضخامت 4mm :

الف ــ در یک روز زمستانی که دمای بیرون $0^{\circ}C$ و دمای درون اتاق $20^{\circ}C$ است چه مقدار گرما در هر ثانیه به خارج نشت می‌کند؟

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

پ ــ اگر در طول سال دمای داخل اتاق به‌طور متوسط $8^{\circ}C$ بالاتر از دمای بیرون باشد، چه مقدار انرژی توسط رسانش از همین یک پنجره تلف می‌شود؟

۱۶ــ گازی در دمای $20^{\circ}C$ دارای حجم $100cm^3$ است. این گاز را باید تا چه دمایی گرم کنیم تا حجم آن در فشار ثابت $200cm^3$ شود؟ این گاز در همین فشار در چه دمایی دارای حجم $50cm^3$ خواهد شد؟

۱۷ــ هوا با فشار یک آتمسفر درون استوانهٔ یک دستگاه باد دوچرخه به طول 24cm محبوس است.

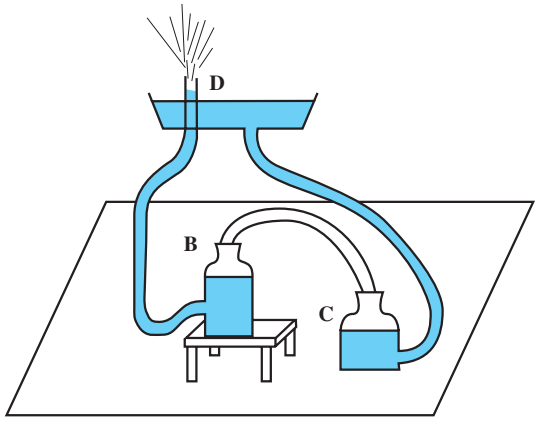
الف ــ اگر طول استوانه را در دمای ثابت به 30cm افزایش دهیم، فشار هوای محبوس چه‌قدر خواهد شد؟

ب ــ برای آن‌که در دمای ثابت فشار هوای محبوس ۳ آتمسفر شود، طول استوانه را چه‌قدر باید کاهش دهیم؟

۱۸ــ تایر یک اتومبیل حاوی مقدار معینی هواست. هنگامی که دمای هوا $17^{\circ}C$ است فشار اندازه‌گیری شده در تایر ۲ آتمسفر بیش از فشار جو است. پس از یک اتومبیل‌رانی بسیار سریع، فشار هوای تایر دوباره اندازه‌گیری می‌شود. مشاهده می‌شود که فشار ۲/۳ آتمسفر بیش از فشار جو است. دمای هوای درون تایر در این وضعیت چه‌قدر است (حجم تایر را ثابت بگیرید)؟

۱۹ــ در شکل ۶ــ ۱۸فواره هرون (ریاضی‌دان مصری عهد باستان) نشان داده شده است. فرض کنید که ظرف B در ابتدا پر و ظرف C خالی است.

توضیح دهید چرا آب از لوله D فوران می‌کند؟



شکل ۶ ــ ۱۸

واژه‌نامه

ابر رسانا	Superconductor
انجماد	Freezing
اندازه‌گیری	Measurement
انرژی پتانسیل	Potential Energy
انرژی جنبشی	Kinetic Energy
انرژی درونی	Internal Energy
برآیند	Resultant
بردار	Vector
بردار مکان	Position Vector
بلورین	Crystalline
پایستگی انرژی	Conservation of Energy
پخش	Diffusion
تابش	Radiation
تبخیر	Vaporization
تبخیر سطحی	Evaporation
تصعید	Sublimation
تعادل گرمایی	Thermal Equilibrium
تَف‌سنج نوری	Optical Pyrometer
توان	Power
جابه‌جایی	Displacement
جرم	Mass

چسبندگی	Cohesion
چسبندگی سطحی	Adhesion
چگالش	Condensation
چگالی	Density
حالت	Phase
حرکت	Motion
حرکت‌شناسی	Kinematics
حرکت یکنواخت	Uniform Motion
دما	Temperature
دماپا	Thermostat
دماسنج	Thermometer
دماسنج فرینه	Maximum and Minimum Thermometer
دینامیک	Dynamics
ذوب	Fusion
ذرّات بنیادی	Elementary Particles
رسانا	Conductor
رسانش	Conduction
سرعت لحظه‌ای	Instantaneous Velocity
سرعت متوسط	Average Velocity
شتاب لحظه‌ای	Instantaneous Acceleration

شتاب متوسط	Average Acceleration
ضریب اصطکاک ایستایی	Coefficient of Static Friction
ظرفیت گرمایی	Heat Capacity
فراصوت	Ultrasound
فشار	Pressure
فشار پیمانه‌ای	Gage Pressure
فشارسنج	Barometer
فناوری	Technology
فیزیک اتمی	Atomic Physics
فیزیک هسته‌ای	Nuclear Physics
قانون‌های نیوتون	Newton's Laws
قضیه کار و انرژی	Work - Energy Theorem
کار	Work
کشش	Tension
کشش سطحی	Surface Tension
کمیّت	Quantity
گاز کامل	Ideal gas
گرانش	Gravitation

گرما	Heat
گرمای نهان	Latent Heat
گرمای ویژه	Specific Heat
مادّهٔ چگال	Condensed Matter
مقیاس دماسنجی	Temperature Scale
مویینگی	Capillarity
میعان	Liquefaction
نرده‌ای	Scalar
نمادگذاری علمی	Scientific Notation
نیرو	Force
نیروسنج	Dynamometer
نیم‌رسانا	Semiconductor
نیروی رانشی	Repulsive Force
نیروی ربایشی	Attractive Force
وزن	Weight
همرَفت	Convection
یکا	Unit
یکاهای اصلی	Base Units
یکاهای فرعی	Derived Units

فهرست منابع

منابع فارسی

۱ــ فیزیک دانشگاهی (جلد اول)، ویرایش نهم، هیویانگ و راجر فریدمن، ترجمهٔ فضل‌اللّه فروتن، چاپ چهارم ۱۳۸۱، نشر علوم دانشگاهی.

۲ــ مبانی فیزیک (جلد اول)، ویراش هفتم، دیوید هالیدی، رابرت رزنیک و جرل واکر، ترجمهٔ محمدرضا جلیلیان نصرتی، محمد عابدینی و محمدرضا خوش‌بین خوش‌نظر، چاپ اول ۱۳۸۴، انتشارات صفار.

۳ــ درک فیزیک با رویکرد تصویری، بریان آرنولد، ترجمهٔ روح‌الله خلیلی بروجنی و مریم عباسیان. چاپ اول ۱۳۸۵، انتشارات مدرسه.

۴ــ حرارت و ترمودینامیک، مارک زیمانسکی و ریچارد دیتمن، ترجمهٔ حسین توتونچی، حسن شریفیان عطار و محمدهادی هادیزاده، چاپ اول ۱۳۶۴، مرکز نشر دانشگاهی.

۵ــ فیزیک عمومی (جلد سوم)، مارچلو آلوسنو و ادوارد جی. فین، ترجمهٔ ناصر میرفخرایی و ایرج هرمزدیاری، چاپ اول ۱۳۷۰، مرکز نشر دانشگاهی.

۶ــ فیزیک آماری، ف. رایف، ترجمهٔ سیروس ضیاء و ابوالحسن فرج‌زاده، چاپ اول ۱۳۶۴، مرکز نشر دانشگاهی.

۷ــ فیزیک PSSC، یوری هابر ــ شیم، جان اچ، داج و جیمز، ای والتر، ترجمهٔ احمد خواجه نصیرطوسی، ناصر مقبلی و هوشنگ شریف‌زاده، چاپ اول ۱۳۷۳، انتشارات فاطمی.

منابع انگلیسی

۱. Physics, Ken Dobson, 1995, Thomas Nelson and Sons Ltd.

۲. Understanding Physics, Robin Millar, 1989, Collins Educational.

۳. Foundation Physics, Keith Gibbs and Robert Hutchings, 1998, University of Cambridge.

۴. Basic Physics 1 and 2, David Sang, 1996, University Press.

۵. University Physics, Hugh D. Young, 1992, Addison - Wesley.

۶. Focus on Physical Science, Charles H. Heimler and Jack Price, 1987, Merrill Publication Company.

۷. Fundamental of Physics, David Halliday, Robert Resnick and Jearl Walker, 1993, John Wiley and Sons.

۸. Physics, Frederick Keller, Edward Gettys and Malcolm Skove, 1993, McGraw - Hill.

۹. Physics, Douglas C. Giancoli, 1991, Prentice - Hall International.

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

۱۱. Principles of Physics, Fredrick J. Bueche, David A. Jerde, 1995, MC Graw- Hill.

تصویرهای شروع فصل‌های ۱، ۲، ۳ و ۶ از کتاب مجموعه تصاویر نیکول فریدنی، چاپ ۱۳۸۱، انتخاب شده‌اند.

فهرست کتاب‌های مناسب فیزیک که چاپ اول آن‌ها در سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ انجام شده است:

۱ــ آسمان شب ؛ برایان جونز ؛ تهران : کانون پرورش فکری کودکان و نوجوانان.

۲ــ آموزش فیزیک ؛ ادوارد اف. ردیش ؛ ترجمهٔ فاطمه احمدی ؛ تهران : دانشگاه تربیت دبیری شهید رجایی.

۳ــ اختر فیزیک مقدماتی ؛ بابک کبیری منش ؛ تهران : مبتکران، پیشروان.

۴ــ تئوری و مسایل نجوم : سری شوم ؛ استیسی‌ای. پلن ؛ ترجمهٔ صمد غلامی ؛ تهران : دانش پژوهان جوان.

۵ــ تاریخ نجوم در ایران ؛ حمیدرضا گیاهی یزدی ؛ تهران : دفتر پژوهش‌های فرهنگی.

۶ــ جهان به کجا می‌رود؟ سرنوشت سیارهٔ زمین در صد سال آینده) ؛ علی افضل صمدی ؛ تهران : مؤسسهٔ فرهنگی هنری جهان کتاب.

۷ــ راهنمای رصد اجرام اعماق آسمان (نقشهٔ آسمان) ؛پاتریک مور ؛ تهران : دانش پژوهان جوان.

۸ ــ فرهنگ نامهٔ نجوم و فضا ؛ هیثرکوپر ؛ ترجمهٔ شادی حامدی آزاد ؛ تهران : طلایی.

۹ــ فیزیک ستاره‌ها ؛ سی‌فیلیپس ؛ ترجمهٔ محمود بهار و دیگران ؛ تهران : مبتکران، پیشروان.

۱۰ــ فیزیک مفهومی ؛ ۴ جلد : پل جی هیوئیت ؛ ترجمهٔ منیژه رهبر ؛ تهران : فاطمی

۱۱ــ فیزیک ۲ و آزمایشگاه ؛ احمد احمدی و دیگران ؛ تهران : مبنای خرد : نقش سیمرغ.

۱۲ــ کتاب کار ــ فیزیک دوم دبیرستان ؛ سیداکبر ساداتیان و دیگران ؛ تهران : مرآت دانش.

۱۳ــ مسئله‌های مکانیک ؛ احمدرضا حسینی ؛ تهران : فاطمی.

۱۴ــ مکانیک ؛ امیرآقا محمدی ؛ تهران : فاطمی.

۱۵ــ مکانیک و پرتوزایی* ؛ مارک‌الس و دیگران : ترجمهٔ روح‌اللّه خلیلی بروجنی ؛ تهران : مدرسه.

۱۶ــ موج‌ها و جهان ما : مارک الس و دیگران ؛ ترجمهٔ روح اللّه خلیلی بروجنی ؛ تهران : مدرسه.

فهرست کتاب‌های مناسب فیزیک که چاپ اول آن‌ها در سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ انجام شده است:

۱ــ آسمان شب ؛ برایان جونز ؛ تهران : کانون پرورش فکری کودکان و نوجوانان.

۲ــ آموزش فیزیک ؛ ادوارد اف. ردیش ؛ ترجمهٔ فاطمه احمدی ؛ تهران : دانشگاه تربیت دبیری شهید رجایی.

۳ــ اختر فیزیک مقدماتی ؛ بابک کبیری منش ؛ تهران : مبتکران، پیشروان.

۴ــ تئوری و مسایل نجوم : سری شوم ؛ استیسی‌ای. پلن ؛ ترجمهٔ صمد غلامی ؛ تهران : دانش پژوهان جوان.

۵ــ تاریخ نجوم در ایران ؛ حمیدرضا گیاهی یزدی ؛ تهران : دفتر پژوهش‌های فرهنگی.

۶ــ جهان به کجا می‌رود؟ سرنوشت سیارهٔ زمین در صد سال آینده) ؛ علی افضل صمدی ؛ تهران : مؤسسهٔ فرهنگی هنری جهان کتاب.

۷ــ راهنمای رصد اجرام اعماق آسمان (نقشهٔ آسمان) ؛پاتریک مور ؛ تهران : دانش پژوهان جوان.

۸ ــ فرهنگ نامهٔ نجوم و فضا ؛ هیثرکوپر ؛ ترجمهٔ شادی حامدی آزاد ؛ تهران : طلایی.

۹ــ فیزیک ستاره‌ها ؛ سی‌فیلیپس ؛ ترجمهٔ محمود بهار و دیگران ؛ تهران : مبتکران، پیشروان.

۱۰ــ فیزیک مفهومی ؛ ۴ جلد : پل جی هیوئیت ؛ ترجمهٔ منیژه رهبر ؛ تهران : فاطمی

۱۱ــ فیزیک ۲ و آزمایشگاه ؛ احمد احمدی و دیگران ؛ تهران : مبنای خرد : نقش سیمرغ.

۱۲ــ کتاب کار ــ فیزیک دوم دبیرستان ؛ سیداکبر ساداتیان و دیگران ؛ تهران : مرآت دانش.

۱۳ــ مسئله‌های مکانیک ؛ احمدرضا حسینی ؛ تهران : فاطمی.

۱۴ــ مکانیک ؛ امیرآقا محمدی ؛ تهران : فاطمی.

۱۵ــ مکانیک و پرتوزایی* ؛ مارک‌الس و دیگران : ترجمهٔ روح‌الله خلیلی بروجنی ؛ تهران : مدرسه.

۱۶ــ موج‌ها و جهان ما : مارک الس و دیگران ؛ ترجمهٔ روح اللّه خلیلی بروجنی ؛ تهران : مدرسه.

معلمان محترم، صاحب نظران، دانش آموزان عزیز و اولیای آنان می توانند نظرات اصلاحی خود را درباره ی مطالب این کتاب از طریق نامه به نشانی تهران - صندوق پستی ۳۶۳ - ۱۵۸۵۵ - گروه درسی مربوط و یا پیام نگار (Email): talif@talif.sch.ir ارسال نمایند.

دفتر برنامه ریزی و تألیف کتاب های درسی