



هم کلاسی  
[Hamkelasi.ir](http://Hamkelasi.ir)

## فصل چهارم

### پاسخ به تمرین‌ها، پرسش‌ها، و فعالیت‌های فصل ۴

#### تمرین ۱-۴

$$\begin{aligned}\Delta T &= T_r - T_1 \\ &= (\theta_r + 273/15) - (\theta_1 + 237/15) \\ &= \theta_r - \theta_1 = \Delta\theta\end{aligned}$$

#### تمرین ۲-۴

همان‌طور که در پانویس کتاب درسی آمده است، در حل مسئله‌ها از رابطه تقریبی  $T = \theta + 273$  استفاده می‌کنیم.  
(الف)

$$T = 37 + 273 = 310 \text{ K}$$

همچنین برای تبدیل به فارنهایت داریم

$$F = \frac{9}{5}\theta + 32 = \frac{9}{5}(37) + 32 = 98.6^\circ\text{F} \approx 99^\circ\text{F}$$

(ب) برحسب کلونین داریم

$$T_1 = 70 + 273 = 343 \text{ K}$$

$$T_r = -89 + 273 = 184 \text{ K}$$

و برحسب فارنهایت داریم

$$F_1 = \frac{9}{5}\theta_1 + 32 = \frac{9}{5}(70) + 32 = 399^\circ\text{F}$$

$$F_r = \frac{9}{5}\theta_r + 32 = \frac{9}{5}(-89) + 32 = 112.8^\circ\text{F} \approx 113^\circ\text{F}$$

#### فعالیت ۱-۴

این دما حدود  $196^\circ\text{C}$  است و نمونه در ظرف‌های مخصوص و نیز برای مدت طولانی جهت پیوند نگهداری می‌شود. این دما توسط نیتروژن (یا هیدروژن) مایع حاصل می‌شود و نمونه‌ها در ظرف‌های نیتروژن مایع نگهداری می‌شود و تا مدت ۱۵ سال می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند.

#### فعالیت ۲-۴

هنگامی که دما بالا رود، به دلیل انبساط الکل یا روغن موجود در مخزن وسطی و لوله سمت چپ دماسنج، جیوه در لوله سمت راست به بالا رانده می‌شود و شاخص فولادی لوله سمت راست را با خود بالا می‌برد. اگر سطح جیوه در لوله سمت راست پایین بیاید، شاخص فولادی که به آن فنرهای ریزی متصل است، همراه آن حرکت نمی‌کند و در همان محل قبلی خود در مقابل دمای بیشینه می‌ایستد.

وقتی الکل به علت کاهش دما منقبض می‌شود، جیوه از طرف چپ لوله U شکل بالا می‌رود و شاخص فولادی دیگر را در

این طرف لوله بالا می‌راند. اگر سطح جیوه در لوله سمت چپ پایین بیاید شاخص فولادی سمت چپ که به آن نیز فنرهای ریزی متصل است همراه با آن حرکت نمی‌کند و در همان محل قبلی خود در مقابل دمای کمینه می‌ایستد. با استفاده از آهنربا، این دو شاخص در پایان مدت زمان موردنظر به سطح جیوه برگردانده می‌شود. در طراحی جدید این نوع دماسنج‌ها، به علت سمی بودن جیوه از مایع ترکیبی جدیدی به عنوان جایگزین استفاده می‌شود. این دماسنج به دماسنج Six نیز مشهور است و فیلم‌های زیادی از آن در اینترنت پیدا می‌شود در مورد انواع دماسنج‌های دیگر پیشنهاد می‌شود وب سایت زیر را نیز ملاحظه فرمایید:

## پرسش ۱-۴

(الف) در این صورت انبساط و انقباض گرمایی هر دو به یک گونه خواهد بود و بنابراین تغییرات دمایی تأثیری برجا گرفتن درست کلید در قفل نخواهد گذاشت.  
(ب) به دلیل انبساط‌های گرمایی متفاوت درب و چارچوب، تغییرات ابعاد آنها یکسان نخواهد بود.

## فعالیت ۲-۴

(۱) در هر دو شکل فاصله یا «شکاف‌های انبساطی» برای انبساط تعبیه شده است تا دو بخش خط آهن در روزهای گرم فضایی برای انبساط داشته باشند. عکس جاسبی در اینترنت از خطوط ریل قدیمی وجود دارد که به دلیل عدم تعبیه چنین فاصله‌هایی خطوط کج و معوج شدند.  
(۲) خطوط ریل جدید دارای چنین فضاهایی برای انبساط نیستند. آنها به‌طور پیوسته به هم جوش خورده‌اند. این ریل‌ها زمانی درست می‌شوند که دما حدوداً برابر با میانگین کمینه و بیشینه دمای سالیانه در منطقه موردنظر باشد. با این تدبیر دامنه تغییرات دما که موجب تغییر طول ریل می‌شود کاهش می‌یابد و بنابراین حتی در صورتی که ریل دارای شکاف‌های انبساطی باشد نیز انبساط آن تا نصف کاهش می‌یابد. (توجه کنید که اگر در انتهای میله‌ای را محکم ببندیم و مانع انبساط و انقباض آن شویم و سپس دما را تغییر دهیم، گیره‌های دو انتهای میله مانع انبساط و تراکم میله می‌شود و اگر تغییر دما بسیار زیاد باشد، همان‌طور که در قسمت ۱) گفتیم ممکن است میله تغییر شکل دهد تا اینکه حتی ممکن است بشکند. محاسبات مربوط به این پدیده را می‌توان در مبحث تنش گرمایی در کتاب‌های پیشرفته جستجو کرد.)

## فعالیت ۴-۴

با استفاده از معادله (۲-۴) می‌توان  $\Delta a$  و  $\Delta b$  را به دست آورد:

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

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

مساحت ورقه پس از افزایش دما برابر  $a_r b_r$  است و بنابراین داریم

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

با توجه به اینکه  $\alpha$  معمولاً از مرتبه  $10^{-5}$  بر درجه سلسیوس است (جدول ۱-۴ را ببیند) و  $\Delta T$  معمولاً بیشتر از مرتبه  $10^2$  درجه سلسیوس نیست، می‌توان نتیجه گرفت که جمله  $(\alpha \Delta T)^2$  در مقایسه با جمله  $2\alpha \Delta T$  بسیار کوچک است و می‌شود از آن چشم‌پوشی کرد. از طرفی  $a_1 b_1$  همان مساحت اولیه ورقه است که آن را با  $A_1$  نشان می‌دهیم. بنابراین می‌توان نوشت:

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

### تمرین ۳-۴

باید از رابطه  $\Delta A = 2\alpha A \Delta T$  استفاده کنیم. این را می توان به طور شهودی دریافت. رابطه  $\Delta A$  را برای سطح دایره ای می توان به طور مستقیم نیز اثبات کرد:

$$\begin{aligned} \Delta A &= \Delta(\pi R^2) = 2\pi R \Delta R = 2\pi R(\alpha R \Delta T) \\ &= 2\alpha(\pi R^2) \Delta T = 2\alpha A \Delta T \end{aligned}$$

در هر حال با جای گذاری خواهیم داشت:

$$\begin{aligned} \Delta T &= 2(1.9 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C})(\pi)((2/54 \times 10^{-2} \text{m})^2 / 4)(20.0 ^\circ\text{C}) \\ &= 3/8 \times 10^{-6} \text{m}^2 \end{aligned}$$

### فعالیت ۵-۴

این فعالیت در واقع در همان امتداد مثال ۴-۴ است. یک ارلن شیشه ای را (همراه با یک لوله شیشه ای بلند) پر از گلیسرین می کنیم، به طوری که هیچ هوایی در ارلن نباشد و گلیسرین تا لبه لوله بالا آمده باشد. سپس ظرف شیشه ای بزرگی را پر از آب کرده و آن را داغ می کنیم. بعد ارلن را وارد ظرف داغ می کنیم. گلیسرین از لوله جاری می شود. حجم گلیسرین جاری شده را با پیمانهای مدرج اندازه می گیریم. باید حجم اولیه گلیسرین را نیز با روش مناسبی اندازه گیری کرده باشیم (دقت کنید که این حجم متفاوت از حجم نوشته شده روی ارلن است) همچنین لازم است دمای اولیه و نهایی گلیسرین را نیز داشته باشیم. آنگاه همان طور که در مثال ۴-۴ دیدیم حجم سرریز شده از رابطه زیر به دست می آید

$$\Delta V_{\text{گلیسرین}} - \Delta V_{\text{ظرف}} = (V_1(\beta_{\text{گلیسرین}} - \beta_{\text{ظرف}})) \Delta T$$

با معلوم بودن ضریب انبساط حجمی ظرف، ضریب انبساط حجمی گلیسرین پیدا می شود.

### تمرین ۴-۴

الف) با استفاده از رابطه (۴-۴) داریم

$$\Delta V = \beta V_1 \Delta T$$

که آن را می توان به صورت  $V_2 = V_1(1 + \beta\Delta T)$  نوشت. بدیهی است با توجه به اینکه جرم تغییر نمی کند با افزایش دما، چگالی جسم باید کاهش یابد. ولی شکل آن چگونه است؟ از رابطه  $\rho = m/V$  (تعریف چگالی) داریم:

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{1}{1 + \beta\Delta T}$$

$$\Rightarrow \rho_2 = \frac{\rho_1}{1 + \beta\Delta T}$$

ب) صورت و مخرج رابطه بالا را در  $(1 - \beta\Delta T)$  ضرب می کنیم:

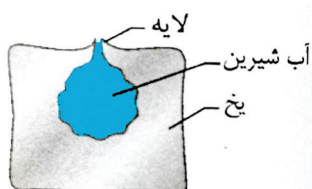
$$\begin{aligned} \rho_2 &= \frac{\rho_1(1 - \beta\Delta T)}{(1 + \beta\Delta T)(1 - \beta\Delta T)} \\ &= \frac{\rho_1(1 - \beta\Delta T)}{1 - \beta^2(\Delta T)^2} \end{aligned}$$

با توجه به اینکه  $\beta$  مقداری کوچک از مرتبه  $10^{-2}$  است (جدول ۲-۴ را ببینید) از جمله  $\beta^2(\Delta T)^2$  چشم پوشی می کنیم و بنابراین داریم

$$\rho_2 = \rho_1 (1 - \beta \Delta T)$$

## فعالیت ۴-۶

وقتی آب یخ می بندد، آب منبسط می گردد. اگر یخ در ظرفی روباز تشکیل شود، چون از اطراف نمی تواند انبساط یابد، انبساط آن رو به بالا رخ می دهد. ابتدا بخش هایی از آب که کنار دیواره ظرف هستند یخ می زند و به این ترتیب لایه یخ نازکی روی سطح آب تشکیل می شود. با ادامه فرایند یخ زدن، آبی که در میانه ظرف باقی مانده یخ می زند و منبسط می گردد. در این انبساط، آب میانه ظرف، لایه یخ بالای سرش را به طرف بالا می راند و این فرایند تا پایان یخ زدن کل آب ادامه می یابد و سرانجام سطح بالایی یخ، چیزی شبیه به یک مخروط کوتاه می شود. این فرایند گاهی می تواند یک تیزی تشکیل دهد. در این مواقع آب در حال انبساط زیرین، لایه یخ را می شکند و بقیه آب از محل شکستگی به بالا هدایت می شود. هرچه سرعت یخ بستن به حد کافی کم باشد، آب بیشتری می تواند از طریق این پوسته به بالا فشرده و منجمد شود. وقتی همه آب یخ زد، این پوسته تشکیل تیزی رو به بالا صلبی را می دهد. به این تیزی روبه بالا «یخ میخی»<sup>۱</sup> می گویند. درست کردن یخ میخی، موضوع پرجاذبه ای است که می توانند دانش آموزان را به شوق بیاورد. به فیلم مربوطه در سایت گروه مراجعه شود.



## پرسش ۴-۲

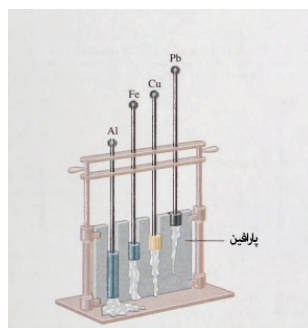
(الف) در واقع دماسنج ها، دمای تعادل خود با محیط را اندازه می گیرند. پس، دماسنج دمای خود را که در تعادل با محیط است اندازه می گیرد.

(ب) دمای بدن دانش آموز بیشتر از دمای بقیه اجسام است. دمای شیشه پنجره که در تماس با هوای سرد بیرون است از دمای بقیه اجسام کمتر است. دمای اجسامی مثل میز، صندلی و تخته، با دمای هوای اتاق تقریباً یکسان است، گرچه ممکن است در تماس دست خود با آنها، دماهای متفاوتی را احساس کنیم که این به خوب یا بد بودن رسانش گرمایی آن اجسام مربوط می شود.

(پ) با کاهش دمای جسم گرم، میانگین انرژی جنبشی ذرات آن کاهش می یابد و با افزایش دمای جسم سرد، میانگین انرژی جنبشی ذرات آن افزایش می یابد. در صورتی که دو جسم از یک جنس باشند، هنگام برقراری تعادل گرمایی و هم دما شدن دو جسم، میانگین انرژی جنبشی ذرات آنها با هم مساوی است.

## پرسش ۴-۳

این به گرمای ویژه گوی ها بستگی دارد. اگر به جدول ۳-۴ رجوع کنید برحسب  $J/kg.K$  گرمای ویژه سرب، برنج، مس، فولاد و آلومینیوم به ترتیب ۱۲۸، ۳۸۰، ۳۸۶، ۴۵۰ و ۹۰۰ است. بنابراین میزان ذوب شدن پارافین از کمترین تا بیشترین به همان ترتیب است. آزمایش اصلی که توسط جان تیندل انجام شد به وسیله وزنه های استوانه ای انجام شده که شکل آن به صورت زیر است.



۱. Ice - spike

## تمرین ۵-۴

در این فرایند آب، گرما از دست می‌دهد و جسم گرما می‌گیرد و به دمای تعادل ( $\theta = 21/0^\circ\text{C}$ ) می‌رسد. به ازای

$$\text{آب} : m_1 = 0/500 \text{ kg}, \theta_1 = 25/0^\circ\text{C}, c_1 = 4187 \text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C}$$

$$\text{جسم} : m_2 = 0/250 \text{ kg}, \theta_2 = 3/0^\circ\text{C}$$

از رابطه (۱-۴) خواهیم داشت.

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

$$\Rightarrow c_2 = \frac{m_1 c_1 (\theta - \theta_1)}{m_2 c_2 (\theta - \theta_2)} = \frac{(0/500 \text{ kg})(4187 \text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C})(25/0^\circ\text{C} - 21/0^\circ\text{C})}{(0/250 \text{ kg})(21/0^\circ\text{C} - 3/0^\circ\text{C})}$$

$$= 1861 \text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C} \approx 1/9 \times 10^3 \text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C}$$

## فعالیت ۷-۴

اگر به ویراست هفتم کتاب حرارت و ترمودینامیک زیمانسکی رجوع کنید (منبع شماره ۱۲ منابع انگلیسی کتاب درسی) درمی‌یابید که فشار برای دمای نقطه سه گانه آب طبیعی  $611/73 \text{ Pa}$  است که می‌بینید چه تفاوت فاحشی با فشار مربوط به دمای  $0^\circ\text{C}$  دارد. (توجه کنید این فشار نقطه سه گانه را با فشار  $P_{tr}$  در «خوب است بدانید دماسنج گازی حجم ثابت» اشتباه نگیرید.  $P_{tr}$  فشار گاز دماسنج گازی در نقطه سه گانه است.)

## فعالیت ۸-۴

هوا شامل بخار آب است. وقتی دمای هوا در ابتدا بالای نقطه انجماد آب باشد و هوا خنک شود همان پدیده میعان رخ می‌دهد و بخار به شکل باران، مه و شبنم تبدیل می‌شود. با سردتر شدن هوا، این آب به شکل تگرگ یخ می‌زند. اما اگر در ابتدا دما زیر نقطه انجماد آب باشد، بخار آب مستقیماً از حالت گازی به حالت جامد می‌رود (عکس پدیده تصعید). در این صورت بلورهای یخ معلق در هوا ضمن حفظ تقارن شش وجهی خود، به آرامی رشد می‌کند و تشکیل دانه‌های برف را می‌دهند. (فرایند مشابهی موجب تشکیل برفک در یخچال می‌شود.)

## فعالیت ۹-۴

وجود ناخالصی موجب فروافتادن نقطه انجماد می‌شود. برای توضیح این پدیده به قطعه یخی فکر کنید که روی آن لایه نازکی از آب وجود دارد. در سطح جدایی لایه آب و یخ، دائماً تعدادی مولکول از آب به یخ می‌پیوندند و تعدادی مولکول نیز از یخ به آب می‌پیوندند. وجود تعادل در این دو فرایند سبب می‌شود مقدار آب و مقدار یخ ثابت بماند. حال اگر مقداری نمک طعام روی این قطعه یخ بپاشیم، مولکول‌های نمک در لایه آب به یون‌های مثبت و منفی تجزیه می‌شوند. مولکول‌های آب دور هر دو یون جمع می‌شوند و اصطلاحاً یون‌ها را هیدراته می‌کنند. در نتیجه هیدراته شدن یون‌ها، تعداد مولکول‌هایی که از یخ به آب می‌پیوندند کاهش می‌یابد، در حالی که تعداد مولکول‌هایی که از یخ به آب می‌پیوندند تغییری نکرده است. به عبارتی، تعادل قبلی برهم می‌خورد و از یخ کاسته و به لایه آب افزوده می‌شود، و آن قدر آب موجود در لایه آب زیاد می‌شود تا دوباره تعادل برقرار گردد. در پیوستن مولکول‌های آب از یخ به آب، انرژی مولکول‌ها افزایش می‌یابد، زیرا مولکول‌های آب در حالت مایع نسبت به حالتی که در ساختار بلورین و صلب یخ قرار دارند، دارای انرژی بیشتری هستند. این افزایش انرژی مولکول‌ها، با گرفتن گرما از لایه آب تأمین می‌شود و در نتیجه دمای لایه آب پایین می‌آید و به دنبال آن دمای یخ که در تماس با این لایه آب است نیز کاهش می‌یابد. اصطلاحاً گفته می‌شود نقطه انجماد آب به دلیل وجود نمک «فرو می‌افتد». با پاشیدن نمک بیشتر روی یخ، مقدار بیشتری از یخ ذوب می‌شود و دمای آب و یخ بیشتر کاهش می‌یابد. البته برای این کاهش حدی وجود دارد، مثلاً برای نمک طعام (NaCl) این دمای حدی،  $-21^\circ\text{C}$  و برای کلسیم

کلراید (CaCl<sub>2</sub>) این دمای حدی، ۵۵°C- است. به همین دلیل برای جاده‌های یخ بسته از کلسیم کلراید استفاده می‌کنند.

#### ۱۰-۴ فعالیت

الف) تبخیر سطحی با افزایش دما زیاد می‌شود. در واقع مولکول‌ها برای آنکه بتوانند از سطح آزاد مایع فرار کنند باید انرژی جنبشی لازم برای فرار از چنگ کشش سطحی را داشته باشند و بدیهی است که این با افزایش دما بیشتر می‌شود. وانگهی کشش سطحی آب نیز با افزایش دما کم می‌شود که این هم به تبخیر ساده‌تر آب می‌انجامد. در جدول ۵-۴ نیز این بستگی به دما به وضوح نمایان است.

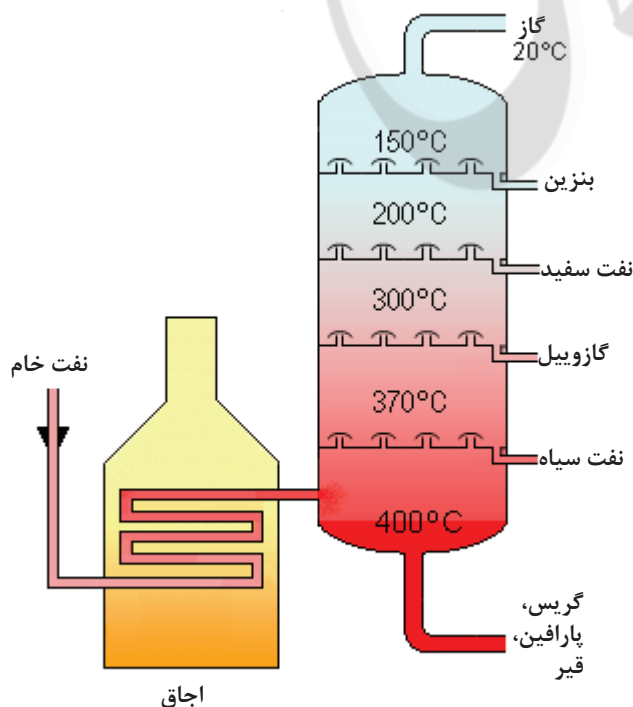
افزایش مساحت نیز موجب افزایش تبخیر سطحی می‌شود. چراکه هرچه مساحت سطح آزاد بیشتر شود بدیهی است که مولکول‌های بیشتری برای فرار از سطح آزاد مایع وجود خواهد داشت.

ب) دانش‌آموزان مثلاً می‌توانند سطح آزاد مایع را در معرض نسیم یا باد طبیعی و یا مصنوعی (مثلاً باد پنکه) قرار دهند و بدین ترتیب دریابند که آهنگ تبخیر سطحی افزایش می‌یابد. همچنین اگر بتوان شرایطی را فراهم کرد که فشار هوا بر سطح آزاد مایع کاهش یابد و ظرف در محیطی با خلاء نسبی قرار گیرد، آهنگ تبخیر سطحی افزایش می‌یابد.

پ) آبی که از دیواره‌های متخلخل کوزه به بیرون تراوش کرده بخار می‌شود و ضمن تبخیر از کوزه و آب داخل آن، گرمای لازم (گرمای نهان تبخیر) گرفته می‌شود. حال اگر نسیمی بوزد این عمل تشدید می‌شود. زیرا همان‌طور که گفتیم در حین تبخیر، مولکول‌های آب از آن جدا می‌شوند تا به هوای مجاور خود بروند. مقداری انرژی صرف می‌شود تا این مولکول‌ها از جاذبه مولکول‌های سطح آب رها شوند. بسیاری از این مولکول‌ها، مثلاً با برخورد با مولکول‌های هوا، به سطح آب باز می‌گردند. اما اگر هوا با یک نسیم حرکت کند این مولکول‌های آزاد شده از محل دور می‌شوند و نمی‌توانند انرژی را برگردانند که به این در قسمت (ب) نیز پرداختیم. اگر این از دست دادن انرژی سریع باشد، دمای آب پیش از آنکه انرژی قابل توجهی از محیط به آب انتقال یابد، فرو می‌افتد. بنابراین اگر یک کوزه متخلخل در سایه قرار داده شود، وزش یک نسیم می‌تواند آب داخل کوزه را با جدا کردن مولکول‌های بخار شده از آبی که از دیواره کوزه به بیرون تراویده است خنک کند. عرق کردن بدن و یا خیساندن لباس و پوشیدن آن و سپس قرار گرفتن در زیر سایه و محلی بادگیر نیز به‌طور مشابه می‌تواند باعث خنک شدن شخص شود.

#### ۱۱-۴ فعالیت

اجزای تشکیل‌دهنده یک محلول چند جزئی مانند نفت خام نقطه‌های جوش متفاوتی دارند، به‌طوری که سنگین‌ترین آنها بالاترین نقطه جوش و سبک‌ترین آنها کمترین نقطه جوش را دارند. وقتی نفت خام را چنان حرارت دهیم که ناگهان همه اجزای آن تبدیل به بخار گردد و سپس آنها را سرد کنیم تا به مایع تبدیل شوند، اجزای مختلف نفت خام با نقاط جوش مختلف را می‌توان در یک ستون تقطیر از هم جدا کرد. سبک‌ترین محصولات با پایین‌ترین نقطه جوش از بالای ستون و سنگین‌ترین محصولات با بالاترین نقطه جوش از پایین ستون خارج می‌شود.



#### پرسش ۴-۴

این مورد را می‌توان با نیروهای بین مولکولی که در فصل ۳ معرفی شدند توضیح داد. همان‌طور که دیدیم نیروهای چسبندگی مولکولی به فاصله بین مولکول‌ها بستگی دارند. با افزایش دما و کاهش چگالی، فاصله بین مولکولی در حالت مایع افزایش و نیروی چسبندگی بین مولکول‌ها کاهش می‌یابد و در نتیجه تفاوت بین انرژی‌های درونی جسم در حالت‌های مایع و بخار کاهش می‌یابد. به بیانی بسیار ساده شده، با افزایش دما، مولکول‌ها ساده‌تر می‌توانند از سطح آزاد مایع بگریزند و به گرمای کمتری برای این امر نیاز است و بالعکس (همچنین نگاه کنید به پاسخ فعالیت ۴-۱۰ الف).

#### پرسش ۵-۴

الف) این مثالی از افزایش نقطه جوش آب با افزایش فشار وارد بر سطح آزد مایع است. در درون دیگ زودپز، با افزایش بخار آب بر روی سطح مایع درون دیگ، نقطه جوش افزایش می‌یابد و در نتیجه مواد درون زودپز در دمای بالاتر و سریع‌تر پخته می‌شود.

ب) در ارتفاعات، فشار هوا پایین‌تر است و بنابراین نقطه جوش پایین می‌آید. مثلاً در قله دماوند نقطه جوش آب حدود  $80^{\circ}\text{C}$  و در قله اورست نقطه جوش آب در حدود  $72^{\circ}\text{C}$  است. البته این دما برای پختن تخم‌مرغ که به دمای  $70^{\circ}\text{C}$  نیاز دارد کافی است ولی زمان پختن را طولانی می‌کند. معمولاً گفته می‌شود کوه‌نوردان از نمک استفاده می‌کنند، ولی خوب است بدانید که افزودن  $200\text{ g}$  نمک (حدود یک لیوان) در  $1$  لیتر آب حداکثر  $2^{\circ}\text{C}$  بر نقطه جوش آب می‌افزاید.

#### تمرین ۶-۴

گرمای لازم برای تبدیل یخ  $2^{\circ}\text{C}$  به بخار  $100^{\circ}\text{C}$  از مجموع گرما در چهار فرایند حاصل می‌شود.

(۱) تبدیل یخ  $2^{\circ}\text{C}$  به یخ  $0^{\circ}\text{C}$

(۲) تبدیل یخ  $0^{\circ}\text{C}$  به آب  $0^{\circ}\text{C}$

(۳) تبدیل آب  $0^{\circ}\text{C}$  به آب  $100^{\circ}\text{C}$

(۴) تبدیل آب  $100^{\circ}\text{C}$  به بخار  $100^{\circ}\text{C}$ .

یعنی

$$\begin{aligned} Q &= mc_{\text{یخ}} \Delta\theta_1 + mL_F + mc_{\text{آب}} \Delta\theta_2 + mL_V \\ &= (1/0\text{ kg})(2200\text{ J/kg}\cdot^{\circ}\text{C})(2^{\circ}\text{C}) + (1/0\text{ kg})(3337 \times 10^3\text{ J/kg}) \\ &+ (1/0\text{ kg})(4187\text{ J/kg}\cdot^{\circ}\text{C})(100^{\circ}\text{C}) + (1/0\text{ kg})(2256 \times 10^3\text{ J/kg}) \\ &= 3052800\text{ J} \approx 3/1 \times 10^6\text{ J} \end{aligned}$$

(توجه کنید گرچه جدول ۳-۴ گرمای ویژه یخ را برای  $1^{\circ}\text{C}$  داده است، ولی در این مسئله از همان داده استفاده

کردیم.)

#### فعالیت ۱۲-۴

به بیان ساده شده‌ای می‌توان گفت که با برخورد مولکول‌های بخار آب با سطح برگ که در صبحگاهان دمای پایین‌تری از دمای بخار آب دارند، بخار آب مایع می‌شود.

اما پاسخ تفصیلی آن نیاز به معرفی برخی مفاهیم دارد. مقدار بخار آب موجود در هوا اغلب به صورت رطوبت نسبی در مقایسه با حد اشباع داده می‌شود. برای مثال، رطوبت نسبی  $50\%$  به معنی آن است که مقدار بخار، نصف حد اشباع است. مثلاً در یک دوش آب گرم در محیطی بسته، رطوبت نسبی ممکن است به  $100\%$  برسد و پس از آن وقتی بخار آب اضافی



به هوا داده شود، مقداری از این بخار به قطرات آب تبدیل می‌شود. باید توجه کرد که حد اشباع برای هوای سردتر، پایین‌تر است (یعنی هرچه دما کمتر باشد، هوا بخار کمتری را می‌تواند در حالت اشباع خود جای دهد) و بنابراین میعان بخار آب بیشتر رخ می‌دهد. به همین دلیل است که آینه سرد حمام باعث چگالش بخار آب به صورت مایع بر روی آن می‌شود. در پدیده شب‌نم صبحگاهی هم پدیده مشابهی رخ می‌دهد.

#### فعالیت ۴-۱۳

معمولاً این از آن پرسش‌هایی است که ذهن دانش‌آموزان را به شدت درگیر می‌کند. چرا که در جایی عنوان می‌شود وقتی به مخلوط آب و یخ گرما می‌دهیم دماسنج درون ظرف آب و یخ تغییر دمایی نشان نمی‌دهد و از طرفی گفته می‌شود که با گرم شدن، انرژی درونی ماده افزایش می‌یابد. ولی باید توجه کرد این‌ها دو امکان متفاوت برای افزایش انرژی درونی ماده هستند و با هم تناقضی ندارند و افزایش درونی حتماً با افزایش دما همراه نیست. البته در اینجا بحث‌هایی وجود دارد که به راستی انرژی درونی چیست. بسیاری از کتاب‌ها در کنار انرژی درونی به انرژی گرمایی می‌پردازند و بیان می‌دارند انرژی درونی مجموع انرژی پتانسیل و انرژی گرمایی است. ولی در هر حال باید توجه داشت که بررسی این موضوع بدون توجه به منحنی‌های انرژی پتانسیل ممکن نیست، که البته پیشتر به معرفی آنها در این کتاب راهنمای معلم پرداختیم. تشریح کامل‌تر این منحنی‌ها را می‌توانید در مقاله زیر بیابید: «مولکول‌ها، اتم‌ها و ساختار داخلی اتم‌ها، مجله رشد آموزش فیزیک، شماره ۷۲ صفحه ۹۰». در اینجا یادآوری می‌کنیم که این منحنی‌ها می‌توانند نیروهای بین اتمی و بین مولکولی را توضیح دهند که با نیروهای بین مولکولی در فصل ۳ آشنا شدیم. در نتیجه افزایش دما، نقطه تعادل در این منحنی‌ها به سمت راست انتقال می‌یابد و به دلیل نامتقارن بودن شکل منحنی انرژی پتانسیل، فاصله بین مولکول‌ها افزایش می‌یابد. همچنین می‌توان گفت با افزایش دما از عمق چاه پتانسیل که نمود قدرت پیوند مولکولی است کاسته می‌شود. با افزایش دما سرانجام به وضعیتی می‌رسیم که جدا شدن یک مولکول  $H_2O$  از سطح یخ ساده می‌شود. پس گرما، نه صرف افزایش دمای یخ، بلکه صرف کم شدن قدرت پیوند بین مولکول می‌شود. برای دانش‌آموزان می‌توان به همین توضیح ساده اکتفا کرد که پیش از آنکه گرما صرف جنبش مولکول‌ها شود باید بتواند یک مولکول را بکند. (بنابراین اینکه گرما را لزوماً معادل انرژی درونی بگیریم نادرست است). پس از این وضعیت است که گرما به جنبش مولکول‌ها می‌انجامد. در مورد این مباحث به مقاله‌های زیر نیز رجوع کنید: «دو خطای رایج در آموزش فیزیک، رشد و آموزش فیزیک، شماره ۱۰۹ صفحه ۱۵» و «گرمای نهان ذوب و گرمای ویژه آب، رشد آموزش فیزیک شماره ۱۰۲، صفحه ۲۶».

#### پرسش ۴-۶

یک سیخ کوچک فلزی، انرژی گرمایی را از طریق رسانش به درون سیب زمینی انتقال می‌دهد. چون فلز انرژی گرمایی را بهتر به درون سیب زمینی انتقال می‌دهد، بنابراین زمان لازم برای پخت سیب زمینی کاهش می‌یابد. البته نشان داده شده است که سیخ‌های کوچک بیش از ۱ تا ۲ دقیقه زمان متعارف برای بختن سیب زمینی را کاهش نمی‌هند، ولی اگر سر آزاد سیخ سنگین و یا پهن باشد، این عمل به مراتب تأثیرگذارتر است.

#### تمرین ۴-۷

از رابطه (۱۵-۴) استفاده می‌کنیم.

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

$$= (0.6 \text{ W/m} \cdot \text{C})(820 \text{ m}^2) \frac{(25^\circ \text{C} - 12^\circ \text{C})}{2/0 \text{ m}}$$

$$= 3198 \text{ W} \approx 3 \times 10^3 \text{ W} = 3 \text{ kW}$$

#### فعالیت ۴-۱۴

موهای سفید خرس قطبی فقط قسمت‌های مرئی و فروسرخ نور خورشید را مانند یک فیبر نوری، پس از بازتاب‌های مکرر درون مو به پوست منتقل می‌کند. در آنجا نور جذب پوست می‌شود و بدین ترتیب دمای بدن خرس افزایش می‌یابد. اما گرمای حاصل در پوست نسبتاً حفظ می‌شود، زیرا موها توخالی هستند و مانند لوله‌های توخالی رساننده ضعیف گرما هستند.

#### پرسش ۴-۷

یادآوری می‌کنیم در پدیده همرفت قسمت‌های گرم شاره رو به بالا و قسمت‌های سرد شاره رو به پایین حرکت می‌کنند و این فرایند ناشی از کاهش چگالی شاره بر اثر افزایش دما است. بنابراین به راحتی می‌توان دریافت که هرچه ضریب انبساط حجمی شاره‌ها بزرگ‌تر باشد، افزایش حجم بر اثر افزایش دمای یکسان، بیشتر و کاهش چگالی، کمتر می‌شود و بنابراین جریان‌های همرفتی به سهولت بیشتری ظاهر می‌شوند. خوب است بدانید چسبندگی (و شکسانی) شاره نیز نقش مهمی در پدیده همرفت بازی می‌کند و هرچه چسبندگی بیشتر باشد، از بروز جریان‌های همرفتی بیشتر جلوگیری می‌کند.

#### فعالیت ۴-۱۵

اگر مشاهده کنید درمی‌یابید که وقتی بطری گرم را روی بطری سرد قرار می‌دهید تقریباً تغییر محسوسی در رنگ‌ها مشاهده نخواهیم کرد و تنها در ناحیه تماس دو بطری به دلیل تماس آب‌ها با یکدیگر تغییر رنگ ناچیزی مشاهده خواهیم کرد. ولی در موردی که بطری سرد را روی بطری گرم قرار می‌دهیم، به دلیل رخ دادن پدیده همرفت، آب گرم رو به بالا و آب سرد رو به پایین حرکت می‌کنند و بدین ترتیب آب‌های دو بطری در هم می‌آمیزد و پس از مدتی شاهد تغییر رنگ هر دو به رنگ سبز خواهیم بود. وضعیت اول را می‌توان مشابه حالت وارونگی هوا در نظر گرفت، در حالی که وضعیت دوم مثل وضعیت طبیعی هواست که در روزهای معمولی رخ می‌دهد و از این جهت این فعالیت برای درک پدیده وارونگی هوا که در «خوب است بدانید» صفحه بعد مطرح شده آموزنده است. (به فیلم مربوطه در سایت گروه مراجعه شود)

#### فعالیت ۴-۱۶

حرکت پره‌ها در رادیومتر کروکس را اغلب به اشتباه به فشار نور مربوط می‌کنند. اما تأثیر فشار نور بسیار ناچیزتر از آن است که بتواند باعث چرخش پره‌ها شود. وانگهی اگر چنین چرخشی ناشی از فشار نور وجود می‌داشت باید در خلاف جهت چرخش مشاهده شده رخ می‌داد. ماجرای اصلی این است که نور (تابش فروسرخ و نور مرئی) در طرف سیاه پره بیشتر از طرف سفید آن جذب می‌شود و بدین ترتیب طرف سیاه قدری گرم‌تر از طرف سفید می‌گردد و مولکول‌های هوای اطراف خود را نیز بیشتر گرم می‌کند. به علت اختلاف دما، مولکول‌های هوا در طرف سیاه پره‌ها سریع‌تر از مولکول‌های هوا در طرف سفید آن حرکت می‌کنند و بنابراین نیروی وارد بر طرف سیاه بزرگ‌تر از نیروی وارد بر طرف سفید است و بنابراین پره‌ها در جهتی می‌چرخند که نیروی وارد از مولکول‌های هوا به طرف سیاه پره‌ها، تعیین می‌کنند. ولی اگر داخل حباب شیشه‌ای کاملاً تخلیه شده باشد، ممکن است در شرایط ایده‌آل پره‌ها در خلاف این جهت بچرخند،

چرا که در آن صورت همان طور که بالا کنیم نوری که به پره‌ها می‌تابد طرف سفید را بیشتر هل می‌دهد. (به فیلم مربوطه در سایت گروه مراجعه شود)

#### فعالیت ۱۷-۴

اگر اصطکاک پیستون سرنگ با سیلندر آن کم باشد، پیستون هیچ اختلاف فشاری را برای هوای درون سرنگ با آب بیرون سرنگ تحمل نمی‌کند و همواره طوری جابه‌جا می‌شود و در وضعیتی قرار می‌گیرد که فشار هوای درون سرنگ با فشار آب بیرون آن برابر باشد. چون در این آزمایش فشار آب بیرون سرنگ تغییری نمی‌کند، برای یک پیستون کم‌اصطکاک، فشار هوای درون سرنگ نیز ثابت می‌ماند. بنابراین در اینجا انبساط هوای درون سرنگ در فشار ثابت است و در فشار ثابت با افزایش دما حجم زیاد می‌شود تا  $V/T$  ثابت بماند. بنابراین دما و حجم افزایش و فشار و مقدار هوا ثابت می‌ماند. در عمل، اگر از سرنگی با پیستون کم‌اصطکاک استفاده کنید و این آزمایش را انجام دهید، ثابت ماندن فشار، افزایش همزمان حجم و دما، و ثابت ماندن نسبت  $V/T$  در مدت انجام آزمایش را مشاهده می‌کنید.

#### فعالیت ۱۸-۴

وقتی هواپیما بالا می‌رود و فشار هوا کم می‌شود، گاز یا هوای درون نوشیدنی که فشار بیشتری از هوای بیرون ظرف دارد. به درِ منعطف ظرف فشار وارد می‌آورد. توجه کنید که با فرض همدمای بودن این فرایند، الگوی تغییر فشار - حجم از رابطه « ثابت  $PV =$  پیروی می‌کند و با افزایش حجم ظرف نوشیدنی، از فشار داخل آن کاسته می‌شود. اگر در این ظرف بر اثر انبساط هوای محبوس باز نشود و شما پیش از نوشیدن، ظرف نوشیدنی را تکان دهید، با باز کردن ناگهانی درِ ظرف، محتویات آن به سمت بیرون پرت خواهد شد.

### پاسخ به پرسش‌ها و مسئله‌های پایان فصل ۴

در فصل اول آموختیم که در مورد عددهایی مانند  $600$  یا  $6000$  و از این قبیل که به صفر ختم می‌شوند تعداد رقم‌های بامعنا مشخص نیست. ما در پاسخ به پرسش‌ها و مسئله‌هایی با معنا از این دست در فصل‌های ۴ و ۵، حداکثر تعداد رقم‌های بامعنا ممکن را فرض کرده‌ایم. مثلاً در  $\theta = 800 \text{ K}$  سه رقم بامعنا و در  $V = 20 \text{ L}$  دو رقم فرض کرده‌ایم.

۱-

الف)

$$0 \text{ K} = -273/15^\circ \text{C} \approx -273^\circ \text{C}$$

$$F = [(-273/15) (\frac{9}{5}) + 32/00]^\circ \text{F} = -459/67^\circ \text{F} \approx -460^\circ \text{F}$$

ب)

$$273 \text{ K} = 0/15^\circ \text{C} \approx 0^\circ \text{C}$$

$$F = [(0/15) (\frac{9}{5}) + 32/00]^\circ \text{F} = +31/73^\circ \text{F} = 32^\circ \text{F}$$

پ)

$$373 \text{ K} = 99/85^\circ \text{C} \approx 100^\circ \text{C}$$

$$F = [(99/85) (\frac{9}{5}) + 32/00]^\circ \text{F} = 211/73^\circ \text{F} = +212^\circ \text{F}$$

ت)

$$546K = 272/85^{\circ}C \approx 273^{\circ}C$$

$$F = [(272/85) (\frac{9}{5}) + 32/00]^{\circ}F = 523/73^{\circ}F = 523^{\circ}F$$

۲- اگر دماسنج، جیوه‌ای یا الکلی باشد باید دما را از روبه‌رو بخوانیم تا اختلاف منظر (خطای مشاهده‌ای) نداشته باشیم. اندازه‌گیری را چند بار تکرار می‌کنیم. باید از دماسنج مناسبی برای گستره موردنظر استفاده کنیم.

۳- مقیاس، (فاصله میان خط‌های نشانه)، ضخامت و قطر دایره، هر سه با یک عامل بزرگ می‌شوند.

۴- الف) ۲ و ۳ یکسان، سپس ۱، سپس ۴

ب) ۳، ۲، سپس ۱ و ۴ یکسان

پ) همه یکسان.

۵-

$$\Delta L = L_1 \alpha \Delta T = (25/0m)(14 \times 10^{-6}K^{-1})(40/0K) \\ = 1/4 \times 10^{-2}m = 1/4cm$$

۶-

$$\Delta V_{\text{گلسیرین}} = \beta_{\text{گلسیرین}} V_1 \Delta \theta$$

$$\Delta V_{\text{ظرف}} = \beta_{\text{آلومینیم}} V_1 \Delta \theta$$

$$V = \Delta V_{\text{گلسیرین}} - \Delta V_{\text{ظرف}} = (\beta_{\text{گلسیرین}} - \beta_{\text{آلومینیم}}) V_1 \Delta \theta \\ = (49 \times 10^{-5}K^{-1} - 3(23 \times 10^{-6}K^{-1}))(400cm^3)(30/0^{\circ}C - 20/0^{\circ}C) \\ = 1/684cm^3 \approx 1/7cm^3$$

۷- چون سطح مقطع ظرف ثابت است، حجم بنزین داخل مخزن متناسب با ارتفاع بنزین داخل آن است. بنابراین در فرمول انبساط حجمی به جای  $V_1$  و  $\Delta V$  به ترتیب  $Ah_1$  و  $A\Delta h$  قرار می‌دهیم و چنین به دست می‌آوریم:

$$\Delta h = \beta h_1 \Delta \theta \Rightarrow h_2 = h_1 (1 + \beta \Delta \theta)$$

با توجه به  $h_2 = h_1 + \Delta h$  داریم:

$$\theta_2 = \frac{\Delta h}{\beta(h - \Delta h)} + \theta_1 \\ = \frac{50cm}{(1/000 \times 10^{-3}^{\circ}C)(1000cm - 50cm)} - 10^{\circ}C \\ = 42/63^{\circ}C \approx 43^{\circ}C$$

۸- الف) چون با کاهش دما، نوار به سمت پایین خم شده است ضریب انبساط طولی نوار پایین باید بیشتر از نوار بالایی

بوده باشد. اگر به جدول ۴-۱ مراجعه کنید درمی‌یابید که ضریب انبساط طولی برنج بیشتر از فولاد است و بنابراین نوار

بالایی از جنس فولاد است.

ب) در این صورت نوار در جهت مخالف خم می‌شود به طوری که برنج کمان بیرونی شود.

۹- الف)

$$\Delta L = \alpha L_1 \Delta T = (10 \times 10^{-6}K^{-1})(2/30 \times 10^5m)(60K)$$

$$= 1/38 \times 10^2 \text{m} \approx 1/4 \times 10^2 \text{m}$$

ب) معمولاً در بخش‌هایی از این خط لوله، مانند شکل، لوله‌ها را به صورت U شکل در می‌آوردند. همچنین (به‌خصوص در مورد ریل‌های راه‌آهن) این لوله‌ها (ریل‌ها) را زمانی می‌سازند که  $L_1$  حدوداً برابر با نصف میانگین مقادارهای بیشینه و کمینه سالیانه‌اش است.

-۱۰

$$\begin{aligned} \Delta V &= \beta V_1 \Delta \theta \\ \Rightarrow V_T &= V_1 (1 + \beta \Delta \theta) \\ &= (30000 \text{L})(1 + (1/000 \times 10^{-3} \text{K}^{-1})(-20/0 \text{K})) \\ &= 29400 \text{L} \approx 2/94 \times 10^4 \text{L} \end{aligned}$$

۱۱- با توجه به اینکه  $Q = Pt$  است داریم:

$$\begin{aligned} Pt &= mc\Delta\theta \\ (200 \text{J/s})(t) &= (0/200 \text{kg})(4187 \text{J/kg} \cdot \text{C})(70 \text{C}) \\ \Rightarrow t &= 293/09 \text{s} \approx 2/9 \times 10^2 \text{s} \end{aligned}$$

۱۲- رابطه‌های  $Q = mc\Delta\theta$  و  $Q = Pt$  را برابر هم قرار می‌دهیم:

$$\begin{aligned} Pt &= mc\Delta\theta \\ \Rightarrow c &= \frac{Pt}{m\Delta\theta} = \frac{(50 \text{J/s})(110 \text{s})}{(0/60 \text{kg})(38-18) \text{C}} \\ &= 458 \text{J/kg} \cdot \text{C} \approx 4/6 \times 10^2 \text{J/kg} \cdot \text{C} \end{aligned}$$

احتمالاً بحثی از گرمای داده شده توسط گرمکن به هوا و مواد پیرامون فلز داده شده است. بنابراین در رابطه  $Q = mc\Delta\theta$  که برای قطعه فلز به کار می‌بریم  $Q$  کمتر از  $Pt$  است و در نتیجه مقدار واقعی گرمای ویژه فلز، کمتر از پاسخ به دست آمده در حل است.

۱۳- از شرط تعادل گرمایی در حالت کلی داریم:

$$m_{\text{ظرف}} c_{\text{ظرف}} (\theta - \theta_{1\text{ظرف}}) + m_{\text{قطعه}} c_{\text{قطعه}} (\theta - \theta_{1\text{قطعه}}) + m_{\text{آب}} c_{\text{آب}} (\theta - \theta_{1\text{آب}}) + m'_{\text{آب}} c_{\text{آب}} (\theta - \theta'_{1\text{آب}}) = 0$$

توجه کنید که در این رابطه با توجه به اینکه دمای اولیه ظرف، قطعه و  $50 \text{g}$  آب اولیه یکسان و برابر  $30 \text{C}$  است، داریم:

$$\theta_{\text{ظرف}} = \theta_{1\text{قطعه}} = \theta_{1\text{آب}} = 30 \text{C}$$

و در این رابطه  $m'_{\text{آب}}$  در واقع جرم آبی است که بعداً افزوده می‌شود ( $m'_{\text{آب}} = 100 \text{g}$ ) و  $\theta'_{1\text{آب}}$  دمای اولیه آب افزوده شده ( $\theta'_{1\text{آب}} = 70 \text{C}$ ) است. هدف، محاسبه گرمای ویژه قطعه است. با توجه به اینکه دمای تعادل  $\theta = 52 \text{C}$  است، خواهیم داشت.

$$\begin{aligned} (0/200 \text{kg})(386 \text{J/kg} \cdot \text{C})(52 - 30) \text{C} + \\ (80 \times 10^{-3} \text{kg}) \times c_{\text{قطعه}} (52 - 30) \text{C} + (50 \times 10^{-3} \text{kg})(4187 \text{J/kg} \cdot \text{C})(52 - 30) \text{C} \\ + (0/100 \text{kg})(4187 \text{J/kg} \cdot \text{C})(52 - 70) \text{C} = 0 \end{aligned}$$

از اینجا خواهیم داشت

$$c_{\text{قطعه}} = 700/3 \text{J/kg} \cdot \text{C} \approx 7/0 \times 10^2 \text{J/kg} \cdot \text{C}$$

۱۴- همان‌طور که در متن کتاب اشاره شده است در پدیده‌های تغییر فاز جامد به مایع و مایع به بخار، با آنکه ماده‌ای که تغییر فاز می‌دهد گرما می‌گیرد ولی تغییر دما نمی‌دهد.

۱۵- این پدیده به تبخیر سطحی مربوط است. یعنی با فرار مولکول‌های فزّار الکل و رخ دادن پدیده تبخیر سطحی الکل مایع از پوست بدن گرما می‌گیرد و بخار می‌شود و در نتیجه احساس خنکی در آن محل می‌کنیم.

۱۶- با توجه به آموخته‌هایم از این فصل درمی‌یابیم که گزینه الف نادرست است.

۱۷- با دادن گرما به نقره، ابتدای آن از  $20/0^{\circ}\text{C}$  به نقطه ذوب ( $960^{\circ}\text{C}$ ) می‌رسد و سپس نقره ذوب می‌شود:

$$\begin{aligned} Q &= Q_1 + Q_2 = m_{\text{نقره}} c_{\text{نقره}} \Delta\theta + mL_F \\ &= (0/200 \text{ kg})(236 \text{ J/kg}\cdot^{\circ}\text{C})(960 - 20/0^{\circ}\text{C}) + (0/200 \text{ kg})(88/3 \times 10^3 \text{ J/kg}) \\ &= 62028 \text{ J} \approx 6/20 \times 10^4 \text{ J} \end{aligned}$$

۱۸- برای یخ زدن کامل، مجموعاً دو فرایند صورت می‌گیرد. نخست آب  $20/0^{\circ}\text{C}$  به آب  $0^{\circ}\text{C}$  تبدیل می‌شود و سپس در دمای صفر درجه یخ می‌زند. پس گرمای کل منتقل شده برابر است با

$$\begin{aligned} Q &= mc_{\text{آب}} \Delta\theta + mL_F \\ &= (150 \text{ kg})(4187 \text{ J/kg}\cdot\text{K})(20/0^{\circ}\text{C}) + (150 \text{ kg})(333/7 \times 10^3 \text{ J/kg}) \\ &= 6/26 \times 10^7 \text{ J} \end{aligned}$$

۱۹- گرمایی که گرمکن می‌دهد صرف گرم کردن آب و ظرف گرماسنج می‌شود و بنابراین داریم

$$\begin{aligned} Pt &= Q = Q_{\text{آب}} + Q_{\text{ظرف}} \\ &= m_{\text{آب}} c_{\text{آب}} \Delta\theta + C_{\text{ظرف}}(\Delta\theta) \\ &= (m_{\text{آب}} c_{\text{آب}} + C_{\text{ظرف}}) \Delta\theta \end{aligned}$$

الف) با استفاده از این رابطه داریم

$$(50 \text{ J/s})(60 \text{ s}) = [(0/100 \text{ kg})(4187 \text{ J/kg}\cdot^{\circ}\text{C}) + C_{\text{ظرف}}](25 - 20)^{\circ}\text{C}$$

$$\Rightarrow C_{\text{ظرف}} = 181/3 \text{ J/}^{\circ}\text{C} \approx 1/8 \times 10^2 \text{ J/}^{\circ}\text{C}$$

ب) دوباره از رابطه بالا استفاده می‌کنیم. ولی اکنون گرمای ویژه ظرف مشخص و زمان نامشخص است.

$$\begin{aligned} t &= \frac{(m_{\text{آب}} c_{\text{آب}} + C_{\text{ظرف}}) \Delta\theta}{P} \\ &= \frac{[(0/100 \text{ kg})(4187 \text{ J/kg}\cdot^{\circ}\text{C}) + 180 \text{ J/}^{\circ}\text{C}](75^{\circ}\text{C})}{50 \text{ J/s}} \\ &= 898/05 \text{ s} \approx 9/0 \times 10^2 \text{ s} \end{aligned}$$

پ) برای اینکه آب  $100^{\circ}\text{C}$  به بخار  $100^{\circ}\text{C}$  تبدیل شود، آب به اندازه  $Q = mL_V$  گرما می‌گیرد و چون در این رخداد دما تغییر نمی‌کند، گرماسنج گرما نمی‌گیرد. پس داریم

$$Pt = mL_V$$

و از آنجا

$$\begin{aligned} t &= \frac{mL_V}{P} = \frac{(0/20 \text{ kg})(2/256 \times 10^6 \text{ J/kg})}{50 \text{ J/s}} \\ &= 902/4 \text{ s} \approx 9/0 \times 10^2 \text{ s} \end{aligned}$$

۲۰- الف) گرمای لازم برای تبدیل آب  $100^{\circ}\text{C}$  به بخار آب  $100^{\circ}\text{C}$  از رابطه  $Q = Pt$  به دست می‌آید و از طرفی  $Q = mL_V$

است. در نتیجه داریم

$$t = \frac{mL_V}{P} = \frac{(0/100 \text{ kg})(2256 \times 10^3 \text{ J/kg})}{2000 \text{ J/s}}$$

$$= 1128 \text{ s} \approx 1/13 \times 10^3 \text{ s}$$

ب) گرمکن در این مدت گرمایی معادل  $mL_V$  را تأمین کرده است. بنابراین اگر چنین گرمایی صرف گرم کردن یخ شده باشد، داریم

$$(0/100 \text{ kg})(2256 \times 10^3 \text{ J/kg}) = (m_{\text{یخ}})(333/7 \times 10^3 \text{ J/kg})$$

$$\Rightarrow m_{\text{یخ}} \approx 0/676 \text{ kg}$$

۲۱- الف) همان طور که شکل نشان می‌دهد تغییر فاز از جامد به مایع در زمان  $300 \text{ s}$  شروع می‌شود و بنابراین  $300 \text{ s}$  طول می‌کشد تا جامد به نقطه ذوب خود برسد.

ب) از نمودار درمی‌یابیم دمای جسم پیش از تغییر فاز از دمای  $20^\circ \text{C}$  به دمای  $80^\circ \text{C}$  می‌رسد. بنابراین از تلفیق رابطه‌های  $Q = Pt$  و  $Q = mc\Delta\theta$  که در آنها  $P$  توان گرمکن،  $t$  زمان رسیدن به نقطه ذوب، و  $m$  و  $c$  به ترتیب جرم و گرمای ویژه جسم جامد است، خواهیم داشت

$$Pt = mc\Delta\theta$$

و در نتیجه

$$C = \frac{Pt}{m\Delta\theta} = \frac{(10/0 \text{ J/s})(300 \text{ s})}{(0/0500 \text{ kg})(80 - 20)^\circ \text{C}}$$

$$= 1/0 \times 10^2 \text{ J/kg} \cdot ^\circ \text{C}$$

پ) گرمای نهان ذوب را با استفاده از رابطه  $L_F = Q/m$  به دست می‌آوریم. دوباره به جای  $Q$  از رابطه  $Q = Pt$  قرار می‌دهیم. ولی توجه کنید که در اینجا  $t$  زمان تغییر فاز جامد است که از روی منحنی حدس می‌زنیم  $850 \text{ s} - 300 \text{ s} = 550 \text{ s}$  می‌شود که البته با توجه به مبحث ارقام معنی‌دار باید آن را به صورت  $8/5 \times 10^2 \text{ s}$  بیان کنیم. یعنی با دو رقم معنی‌دار و یک رقم حدسی. بنابراین برای  $L_F$  داریم

$$L_F = \frac{(10/0 \text{ J/s})(8/5 \times 10^2 \text{ s})}{0/0500 \text{ kg}} = 1/7 \times 10^5 \text{ J/kg}$$

۲۲- در حین یخ زدن جرم  $m_1$  آب، مقداری انرژی گرمایی برابر با  $Q_1 = m_F L_F$  آزاد می‌شود. در حین تبخیر، جرم باقی‌مانده  $m_2 = (m - m_1)$ ، مقدار گرمای جذب شده برابر  $Q_2 = m_2 L_V$  است. چون  $Q = Q_1$  است، داریم:

$$m_1 L_F = (m - m_1) L_V$$

که در آن  $L_V$  گرمای نهان تبخیر آب در دمای  $0^\circ \text{C}$  است که آن را از جدول ۴-۵ قرار می‌دهیم. در نتیجه برای  $m_1$  داریم

$$m_1 = \frac{mL_V}{L_F + L_V} = \frac{(1/00 \text{ kg})(2490 \text{ kJ/kg})}{(2490 \text{ kJ/kg}) + (2334 \text{ J/kg})}$$

$$= 0/880 \text{ kg} = 880 \text{ g}$$

(توجه کنید که در این مسئله چون فرایندها بدون تغییر دما صورت گرفته‌اند، لذا دلیل مبادله انرژی اختلاف دما نبوده است و بنابراین انرژی مبادله شده را انرژی گرمایی و نه گرما نامیدیم.)

۲۳- با فرض آنکه تمام انرژی لازم برای تبخیر آب، از بدن شخص گرفته شده، داریم:

$$Q_{\text{آب}} = Q_{\text{شخص}}$$

$$m_{\text{آب}} L_V = m_{\text{شخص}} c_{\text{شخص}} |\Delta\theta|$$

از اینجا جرم آب را به دست می آوریم

$$\begin{aligned} m_{\text{آب}} &= \frac{m_{\text{شخص}} c_{\text{شخص}} |\Delta\theta|}{L_V} \\ &= \frac{(50/0\text{g})(3480\text{J/kg.K})(1/00\text{K})}{2/42 \times 10^6 \text{J/kg}} \\ &= 0/0719\text{kg} = 71/9\text{g} \end{aligned}$$

ب) حجم آب را با استفاده از تعریف چگالی  $P = m/V$  به دست می آوریم. با توجه به اینکه چگالی آب از جدول ۸-۱ برابر  $1000 \times 10^3 \text{kg/m}^3$  است، حجم این جرم از آب چنین می شود

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{0/072\text{kg}}{1000 \times 10^3 \text{kg/m}^3} = 7/19 \times 10^{-5} \text{m}^3 = 71/9 \text{cc}$$

۲۴- احساس اینکه یک جسم چقدر سرد است به آهنگ رسانش گرما از دستان شما به جسم بستگی دارد. فلز رساننده گرمای بهتری از چوب است و در نتیجه گرما از دست شما با آهنگ بیشتری به لوله فلزی شمارش می کند و لوله سردتر به نظر می رسد. انگشتان به این دلیل می توانند به یک سطح فلزی سرد بچسبند که رطوبت روی پوست می تواند به صورت دندانهای ریزی روی سطح فلز یخ بزند.

۲۵- کلاً روشهای اتلاف انرژی همان روشهای انتقال انرژی، یعنی رسانش، تابش و همرفت است و نیز ممکن است انرژی را از طریق تبخیر عرق از پوست خود، از دست بدهید. هدف از پوشیدن پالتو کاهش اتلاف انرژی از راههای بالاست. مثلاً پوششهایی از جنس چرم می تواند اتلافهای ناشی از همرفت و تبخیر ناشی از وزیدن باد را کاهش دهد. در مورد رسانش گرمایی، پالتو می تواند یک لایه هوا در اطراف بخشی از بدن شما ایجاد کند که چون انتقال گرما از طریق هوا نسبتاً کم است، این لایه به عایق بندی شما کمک می کند. پوشیدن چند لباس در زیر پالتو این عمل را تشدید می کند، زیرا در این صورت چند لایه هوا شما را عایق بندی می کند.

۲۶- باید از رابطه  $Q = k \frac{A(T_H - T_L)}{L} t$  استفاده کنیم. توجه کنید رسانندگی گرمایی شیشه بین ۱ تا ۰/۶ برحسب W/m.K است که ما در این مسئله آن را برابر ۱ اختیار کرده ایم.  
الف) داده های مسئله عبارتند از

$$A = (2/0\text{m})(1/0\text{m}) = 2/0 \text{m}^2$$

$$t = 1/0\text{s}$$

$$L = 4/0 \times 10^{-3}\text{m}$$

$$\Delta T = 7/0\text{K} - 2/0\text{K} = 5/0\text{K}$$

بنابراین

$$Q = (1/0\text{J/s.mK}) \frac{(2/0\text{m}^2)(5/0\text{K})}{4/0 \times 10^{-3}\text{m}} (1/0\text{s}) = 2/5 \times 10^3 \text{J}$$

ب) حالا  $t = (24)(60)(60) = 86400\text{s}$  است. بنابراین

$$\begin{aligned} Q &= (1/0\text{J/s.mK}) \frac{(2/0\text{m}^2)(5/0\text{K})}{4/0 \times 10^{-3}\text{m}} (86400\text{s}) \\ &= 2/16 \times 10^8 \text{J} \approx 2/2 \times 10^8 \text{J} \end{aligned}$$

۲۷- با استفاده از رابطه  $Q = \frac{kA(T_H - T_L)}{L} t$  خواهیم داشت:



$$Q = (0.010 \text{ W/m.K})(0.80 \text{ m}^2) \frac{20.0^\circ\text{C}}{0.020 \text{ m}} \times 86400 \text{ s}$$

$$= 691200 \text{ J} = 6/9 \times 10^5 \text{ J}$$

بنابراین جرم یخ ذوب شده چنین می شود

$$m = \frac{Q}{L_T} = \frac{691200 \text{ J}}{333700 \text{ J/kg}} = 2.07 \text{ kg} \approx 2/1 \text{ kg}$$

۲۸- قوری سیاه تابش گرمایی بیشتری می کند و زودتر سرد می شود.

۲۹- الف) چون فشار ثابت است از قانون گازها داریم

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

$$T_2 = \left(\frac{T_1 V_2}{V_1}\right) = \frac{(20 + 273)(200/0 \text{ cm}^3)}{100/0 \text{ cm}^3} = 586 \text{ K}$$

$$= 313^\circ\text{C}$$

(ب)

$$T_2 = \frac{(20 + 273)(50/0 \text{ cm}^3)}{100/0 \text{ cm}^3} = 146/5 \text{ K} = -126/5^\circ\text{C} \approx -127^\circ\text{C}$$

۳۰- الف) چون دما ثابت است از قانون گازها به صورت زیر استفاده می کنیم:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

اگر مساحت قاعده استوانه تلمبه را  $A$  بگیریم خواهیم داشت

$$(1/0 \text{ atm})(24 \text{ cm} \times A) = P_2(30/0 \text{ cm} \times A)$$

و در نتیجه  $P_2 = 0/80 \text{ atm}$  می شود.

(ب) اکنون داریم

$$(1/0 \text{ atm})(24 \text{ cm} \times A) = (3/0 \text{ atm})(AL)$$

و از اینجا  $L = 8/0 \text{ cm}$  می شود و بنابراین باید طول استوانه را به اندازه  $16 \text{ cm} = 24 \text{ cm} - 8/0 \text{ cm}$  کاهش دهیم.

۳۱- در این مسئله حجم ثابت است و بنابراین از قانون گازها داریم

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

توجه کنید که فشاری که فشارسنج اندازه می گیرد فشار پیمانه‌ای (سنجه‌ای) است. ولی در این رابطه باید فشارهای

مطلق را قرار دهیم و نه فشار پیمانه‌ای را. بنابراین

$$\frac{(2/00 + 1/00) \text{ atm}}{(17 + 273) \text{ K}} = \frac{(2/30 + 1/00) \text{ atm}}{T_2}$$

و از اینجا  $T_2 = 319 \text{ K} = 46^\circ\text{C}$  می شود.

۳۲- از رابطه  $PV = \pi RT$  استفاده می کنیم

$$V = \frac{\pi RT}{P} = \frac{(1/00 \text{ mol})(8/314 \text{ J/mol.K})(273 \text{ K})}{1/013 \times 10^5 \text{ Pa}}$$

$$= 0.0224 \text{ m}^3 = 22.4 \text{ L}$$

توجه کنید که در این مسئله، منظور از یک مول گاز، دقیقاً یک مول است و نه 1 mol یا 1/0 mol و ... به همین دلیل مقدار رقم‌های با معنی در یک مول، محدودکننده تعداد ارقام بامعنی پاسخ نهایی نیست.

۳۳- از قانون گازهای کامل داریم

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

که در اینجا شاخص ۱ مربوط به ته دریاچه و شاخص ۲ مربوط به سطح آب دریاچه است. با فرض اینکه فشار هوا در حباب همان فشار آب اطراف آن باشد، داریم

$$P_1 = P_{\text{atm}} + \rho gh$$

که در آن  $\rho$  چگالی آب و  $h$  عمق دریاچه است، بدیهی است که  $P_2 = P_{\text{atm}}$ . از اینجا داریم

$$\begin{aligned} V_2 &= \frac{T_2}{T_1} \times \frac{P_{\text{atm}} + \rho gh}{P_{\text{atm}}} \times V_1 \\ &= \left( \frac{293 \text{ K}}{277 \text{ K}} \right) \frac{1/0 \times 10^5 \text{ Pa} + (1/0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3)(9/80 \text{ m/s}^2)(40/0 \text{ cm})}{1/0 \times 10^5 \text{ Pa}} \times (0/20 \text{ cm}^3) \\ &= 1/03 \text{ cm}^3 \approx 1/0 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

۳۴- تعداد مولکول‌های گاز داخل سحابی در واحد حجم بسیار ناچیز است (به این منظور، عدد داده شده را با تعداد مولکول‌های هوا در واحد حجم در مثال ۴-۲۱ کتاب مقایسه کنید). بنابراین گاز داخل سحابی، تقریباً بسیار خوبی برای گاز کامل است و در قانون گازهای کامل داریم

$$P = \frac{nRT}{V} = \frac{(N/N_A)RT}{V} = \frac{(N/V)RT}{N_A}$$

که در اینجا  $T = 1000 \text{ K}$ ،  $N_A$  عدد آووگادرو و  $R$  ثابت جهانی گازها و  $N/V$  تعداد مولکول‌های گاز بر متر مکعب است.

$$\begin{aligned} \frac{N}{V} &= 1000/0 \frac{\text{مولکول}}{\text{cm}^3} = 1000/0 \frac{\text{مولکول}}{(10^{-2} \text{ m})^3} \\ &= 1000/0 \times 10^6 \frac{\text{مولکول}}{\text{m}^3} \\ \Rightarrow P &= \frac{(1000/0 \times 10^6 \text{ مولکول/m}^3)(8/314 \text{ J/mol.K})(10000 \text{ K})}{(6/02 \times 10^{23} \text{ مولکول/mol})} \\ &= 1/38 \times 10^{-1} \text{ Pa} \end{aligned}$$

این نتیجه دوباره نشان می‌دهد که تقریب ما برای کامل در نظر گرفتن گاز داخل سحابی درست بوده است. در واقع، فشار بهترین خلاء آزمایشگاهی حدود  $10^{-7} \text{ Pa}$  است که حدوداً  $1000$  بار بزرگ‌تر از فشار گاز درون سحابی است.

\* لطفاً پیشنهادها و نظرات خود را به [khoshbin@talif.sch.ir](mailto:khoshbin@talif.sch.ir) ارسال فرمایید.