@hamkelasiapp Hamkelasi.ir

فصل چهارم

پاسخ به تمرین‌ها، پرسش‌ها، و فعالیت‌های فصل ۴

تمرین ۴ـ۱

$$\Delta T = T_۲ - T_۱$$
$$= (\theta_۲ + ۲۷۳/۱۵) - (\theta_۱ + ۲۳۷/۱۵)$$
$$= \theta_۲ - \theta_۱ = \Delta\theta$$

تمرین ۴ـ۲

همان‌طور که در پانوشت کتاب درسی آمده است، در حل مسئله‌ها از رابطهٔ تقریبی $T = \theta + ۲۷۳$ استفاده می‌کنیم.

الف)

$$T = ۳۷ + ۲۷۳ = ۳۱۰\,\mathrm{K}$$

همچنین برای تبدیل به فارنهایت داریم

$$F = \frac{۹}{۵}\theta + ۳۲ = \frac{۹}{۵}(۳۷) + ۳۲ = ۹۸/۶^\circ\mathrm{F} \approx ۹۹^\circ\mathrm{F}$$

ب) برحسب کلوین داریم

$$T_۱ = ۷۰ + ۲۷۳ = ۳۴۳\,\mathrm{K}$$
$$T_۲ = -۸۹ + ۲۷۳ = ۱۸۴\,\mathrm{K}$$

و برحسب فارنهایت داریم

$$F_۱ = \frac{۹}{۵}\theta_۱ + ۳۲ = \frac{۹}{۵}(۷۰) + ۲۷۳ = ۳۹۹^\circ\mathrm{F}$$
$$F_۲ = \frac{۹}{۵}\theta_۲ + ۳۲ = \frac{۹}{۵}(-۸۹) + ۲۷۳ = ۱۱۲/۸^\circ\mathrm{F} \approx ۱۱۳^\circ\mathrm{F}$$

فعالیت ۴ـ۱

این دما حدود $-۱۹۶^\circ\mathrm{C}$ 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 ۴ـ۲

هنگامی که دما بالا رود، به‌دلیل انبساط الکل یا روغن موجود در مخزن وسطی و لولهٔ سمت چپ دماسنج، جیوه در لولهٔ سمت راست به بالا رانده می‌شود و شاخص فولادی لولهٔ سمت راست را با خود بالا می‌برد. اگر سطح جیوه در لولهٔ 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 لولهٔ U‌شکل بالا می‌رود و شاخص فولادی دیگر را در

@hamkelasiapp Hamkelasi.ir

این طرف لوله بالا می‌راند. اگر سطح جیوه در لولهٔ 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، به‌علت سمی بودن جیوه از مایع ترکیبی جدیدی به‌عنوان 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:

www.omnilexia.com/?q=thermometer

پرسش ۴ـ۱

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) به‌دلیل انبساط‌های گرمایی متفاوت درب و چارچوب، تغییرات ابعاد آنها یکسان نخواهد بود.

فعالیت ۴ـ۳

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 به‌دلیل 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 بیشینهٔ دمای سالیانه در منطقهٔ موردنظر باشد. با این تدبیر دامنهٔ 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 ۴ـ۴

با استفاده از معادلهٔ (۴ـ۲) می‌توان Δa و Δb را به‌دست آورد:

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

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

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

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

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

با توجه به اینکه α معمولاً از مرتبهٔ 10^{-5} بر درجهٔ سلسیوس است (جدول ۴ـ۱ را ببینید) و ΔT معمولاً بیشتر از مرتبهٔ 10^2 درجهٔ سلسیوس نیست، می‌توان نتیجه گرفت که جملهٔ $(\alpha\Delta T)^2$ در مقایسه با جملهٔ $2\alpha\Delta T$ بسیار کوچک است و می‌شود از آن چشم‌پوشی کرد. از طرفی $a_1 b_1$ همان مساحت اولیهٔ ورقه است که آن را با A_1 نشان می‌دهیم. بنابراین می‌توان نوشت:

@hamkelasiapp Hamkelasi.ir

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

تمرین ۴ـ۳

باید از رابطهٔ $\Delta A = 2\alpha A \Delta T$ استفاده کنیم. این را می‌توان به‌طور شهودی دریافت. رابطهٔ ΔA را برای سطح دایره‌ای می‌توان به‌طور مستقیم نیز اثبات کرد:

$$\Delta A = \Delta(\pi R^2) = 2\pi R \Delta R = 2\pi R(\alpha R \Delta T)$$
$$= 2\alpha(\pi R^2)\Delta T = 2\alpha A \Delta T$$

در هر حال با جای‌گذاری خواهیم داشت:

$$\Delta T = 2(19 \times 10^{-6}/^\circ C)(\pi)((2/54 \times 10^{-2} m)^2/4)(200^\circ C)$$
$$= 3/8 \times 10^{-6}\ m^2$$

فعالیت ۴ـ۵

این فعالیت در واقع در همان امتداد مثال ۴ـ۴ است. یک ارلن شیشه‌ای را (همراه با یک لولهٔ شیشه‌ای بلند) پر از گلیسیرین می‌کنیم، به‌طوری که هیچ هوایی در ارلن نباشد و گلیسیرین تا لبهٔ لوله بالا آمده باشد. سپس ظرف شیشه‌ای بزرگی را پر از آب کرده و آن را داغ می‌کنیم. بعد ارلن را وارد ظرف داغ می‌کنیم. گلیسیرین از لوله جاری می‌شود. حجم گلیسیرین جاری شده را با پیمانه‌ای مدرّج اندازه می‌گیریم. باید حجم اولیهٔ گلیسرین را نیز با روش مناسبی اندازه‌گیری کرده باشیم (دقت کنید که این حجم متفاوت از حجم نوشته شده روی ارلن است) همچنین لازم است دمای اولیه و نهایی گلیسیرین را نیز داشته باشیم. آنگاه همان‌طور که در مثال ۴ـ۴ دیدیم حجم سرریز شده از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید

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

با معلوم بودن ضریب انبساط حجمی ظرف، ضریب انبساط حجمی گلیسیرین پیدا می‌شود.

تمرین ۴ـ۴

الف) با استفاده از رابطهٔ (۴ـ۴) داریم

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

که آن را می‌توان به‌صورت $V_2 = V_1(1 + \beta\Delta T)$ نوشت. بدیهی است با توجه به اینکه جرم تغییر نمی‌کند با افزایش دما، چگالی جسم باید کاهش یابد. ولی شکل آن چگونه است؟ از رابطهٔ $\rho = m/V$ (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 رابطهٔ بالا را در $(1 - \beta\Delta T)$ ضرب می‌کنیم:

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

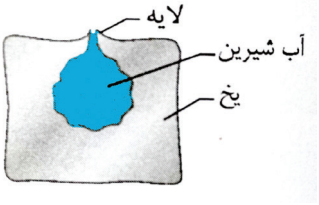
@hamkelasiapp Hamkelasi.ir

با توجه به اینکه β مقداری کوچک از مرتبه 10^{-3} است (جدول ۴ـ۲ را ببینید) از جملهٔ $\beta^2(\Delta T)^2$ چشم‌پوشی می‌کنیم و بنابراین داریم

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

فعالیت ۴ـ۶

وقتی آب یخ می‌بندد، آب منبسط می‌گردد. اگر یخ در ظرفی روباز تشکیل شود، چون از اطراف نمی‌تواند انبساط یابد، انبساط آن رو به بالا رخ می‌دهد. ابتدا بخش‌هایی از آب که کنار دیوارهٔ ظرف هستند یخ می‌زند و به این ترتیب لایهٔ یخ نازکی روی سطح آب تشکیل می‌شود. با ادامهٔ فرایند یخ زدن، آبی که در میانهٔ ظرف باقی مانده یخ می‌زند و منبسط می‌گردد. در این انبساط، آب میانهٔ ظرف، لایهٔ یخ بالای سرش را به‌طرف بالا می‌راند و این فرایند تا پایان یخ زدن کل آب ادامه می‌یابد و سرانجام سطح بالایی یخ، چیزی شبیه به یک مخروط کوتاه می‌شود. این فرایند گاهی می‌تواند یک تیزی تشکیل دهد. در این مواقع آب در حال انبساط زیرین، لایهٔ یخ را می‌شکند و بقیهٔ آب از محلّ شکستگی به بالا هدایت می‌شود. هرچه سرعت یخ بستن به حدّ کافی کم باشد، آب بیشتری می‌تواند از طریق این پوسته به بالا فشرده و منجمد شود. وقتی همهٔ آب یخ زد، این پوسته تشکیل تیزی رو به بالای صلبی را می‌دهد. به این تیزی روبه بالا «یخ میخی»[1] می‌گویند. درست کردن یخ میخی، موضوع پرجاذبه‌ای است که می‌توانند دانش‌آموزان را به شوق بیاورد. به فیلم مربوطه در سایت گروه مراجعه شود.



پرسش ۴ـ۲

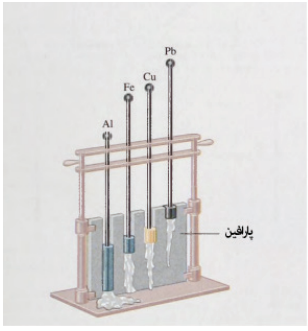
الف) در واقع دماسنج‌ها، دمای تعادل خود با محیط را اندازه می‌گیرند. پس، دماسنج دمای خود را که در تعادل با محیط است اندازه می‌گیرد.

ب) دمای بدن دانش‌آموز بیشتر از دمای بقیهٔ اجسام است. دمای شیشهٔ 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 می‌شود.

پ) با کاهش دمای جسم گرم، میانگین انرژی جنبشی ذرات آن کاهش می‌یابد و با افزایش دمای جسم سرد، میانگین انرژی جنبشی ذرات آن افزایش می‌یابد. درصورتی که دو جسم از یک جنس باشند، هنگام برقراری تعادل گرمایی و هم‌دما شدن دو جسم، میانگین انرژی جنبشی ذرات آنها با هم مساوی است.

پرسش ۴ـ۳

این به گرماهای ویژهٔ گوی‌ها بستگی دارد. اگر به جدول ۴ـ۳ رجوع کنید برحسب J/kg.K گرماهای ویژهٔ 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 تیندال* انجام شد به وسیلهٔ وزنه‌های استوانه‌ای انجام شده که شکل آن به‌صورت زیر است.



۱. Ice - spike

@hamkelasiapp Hamkelasi.ir

تمرین ۴ـ۵

در این فرایند آب، گرما از دست می‌دهد و جسم گرما می‌گیرد و به دمای تعادل (θ= ۲۱/۰°C) می‌رسد. به ازای

آب : $m_۱ = ۰/۵۰۰\,kg$, $\theta_۱ = ۲۵/۰^\circ C$, $c_۱$=۴۱۸۷ J/kg.°C

جسم : $m_۲ = ۰/۲۵۰\,kg$, $\theta_۲ = ۳/۰^\circ C$

از رابطهٔ (۴ـ۱۰) خواهیم داشت.

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

$$\Rightarrow c_۲ = \frac{m_۱c_۱(\theta-\theta_۱)}{m_۲c_۲(\theta-\theta_۲)} = \frac{(۰/۵۰۰kg)(۴۱۸۷J/kg.^\circ C)(۲۵/۰^\circ C - ۲۱/۰^\circ C)}{(۰/۲۵۰kg)(۲۱/۰^\circ C - ۳/۰^\circ C)}$$

$$= ۱۸۶۱\ J/kg.^\circ C \approx ۱/۹ \times ۱۰^۳\ J/kg.^\circ C$$

فعالیت ۴ـ۷

اگر به ویراست هفتم کتاب حرارت و ترمودینامیک زیمانسکی رجوع کنید (منبع شمارهٔ ۱۲ منابع انگلیسی کتاب درسی) درمی‌یابید که فشار برای دمای نقطهٔ سه گانه آب طبیعی ۶۱۱/۷۳Pa است که می‌بینید چه تفاوت فاحشی با فشار مربوط به دمای ۰°C دارد. (توجه کنید این فشار نقطهٔ سه گانه را با فشار P_{tr} در «خوب است بدانید دماسنج گازی حجم ثابت» اشتباه نگیرید. P_{tr} فشار گاز دماسنج گازی در نقطهٔ سه گانه است.)

فعالیت ۴ـ۸

هوا شامل بخار آب است. وقتی دمای هوا در ابتدا بالای نقطهٔ انجماد آب باشد و هوا خنک شود همان پدیدهٔ 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 نقطهٔ انجماد آب باشد، بخار آب مستقیماً از حالت گازی به حالت جامد می‌رود (عکس پدیدهٔ تصعید). در این صورت بلورهای یخ معلق در هوا ضمن حفظ تقارن شش وجهی خود، به‌آرامی رشد می‌کند و تشکیل دانه‌های برف را می‌دهند. (فرایند مشابهی موجب تشکیل برفک در یخچال می‌شود.)

فعالیت ۴ـ۹

وجود ناخالصی موجب فروافتادن نقطهٔ انجماد می‌شود. برای توضیح این پدیده به قطعه یخی فکر کنید که روی آن لایهٔ نازکی از آب وجود دارد. در سطح جدایی لایهٔ آب و یخ، دائماً تعدادی مولکول از آب به یخ می‌پیوندند و تعدادی مولکول نیز از یخ به آب می‌پیوندد. 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 لایهٔ آب به یون‌های مثبت و منفی تجزیه می‌شوند. مولکول‌های آب دور هر دو یون جمع می‌شوند و اصطلاحاً یون‌ها را *هیدراته* می‌کنند. در نتیجهٔ هیدراته شدن یون‌ها، تعداد مولکول‌هایی که از یخ به آب می‌پیوندند کاهش می‌یابد، در حالی‌که تعداد مولکول‌هایی که از یخ به آب می‌پیوندند تغییری نکرده است. به عبارتی، تعادل قبلی برهم می‌خورد و از یخ کاسته و به لایهٔ آب افزوده می‌شود، و آن‌قدر آب موجود در لایهٔ 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 لایهٔ آب تأمین می‌شود و در نتیجه دمای لایهٔ آب پایین می‌آید و به دنبال آن دمای یخ که در تماس با این لایهٔ آب است نیز کاهش می‌یابد. اصطلاحاً گفته می‌شود نقطهٔ انجماد آب به‌دلیل 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 حدّی وجود دارد، مثلاً برای نمک طعام (NaCl) این دمای حدّی، ۲۱°C- و برای کلسیم

@hamkelasiapp Hamkelasi.ir

کلراید ($CaCl_2$) این دمای حدّی، $-55^{\circ}C$ است. به همین دلیل برای جاده‌های یخ بسته از کلسیم کلراید استفاده می‌کنند.

فعالیت ۴ـ۱۰

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 ۴ـ۵ نیز این بستگی به دما به‌وضوح نمایان است.

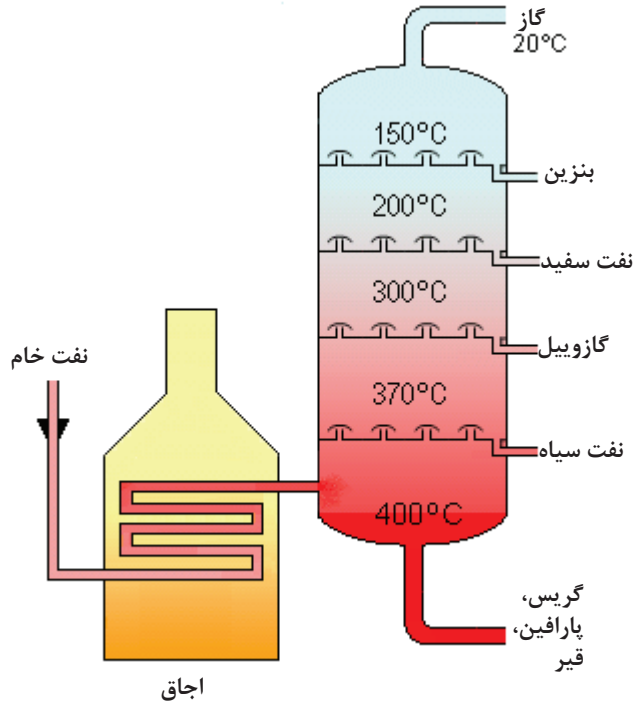
افزایش مساحت نیز موجب افزایش تبخیر سطحی می‌شود. چراکه هرچه مساحت سطح آزاد بیشتر شود بدیهی است که مولکول‌های بیشتری برای فرار از سطح آزاد مایع وجود خواهد داشت.

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 جاذبهٔ 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 کوزهٔ 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.

فعالیت ۴ـ۱۱

اجزای تشکیل‌دهندهٔ یک محلول چند جزئی مانند نفت خام نقطه‌های جوش متفاوتی دارند، به‌طوری که سنگین‌ترین آنها بالاترین نقطهٔ جوش و سبک‌ترین آنها کمترین نقطهٔ جوش را دارند. وقتی نفت خام را چنان حرارت دهیم که ناگهان همهٔ 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 نقطهٔ جوش از بالای ستون و سنگین‌ترین محصولات با بالاترین نقطهٔ جوش از پایین ستون خارج می‌شود.



@hamkelasiapp Hamkelasi.ir

پرسش ۴ـ۴

این مورد را می‌توان با نیروهای بین مولکولی که در فصل ۳ معرفی شدند توضیح داد. همان‌طور که دیدیم نیروهای چسبندگی مولکولی به فاصلهٔ بین مولکول‌ها بستگی دارند. با افزایش دما و کاهش چگالی، فاصلهٔ 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 ۴ـ۱۰ الف).

پرسش ۴ـ۵

الف) این مثالی از افزایش نقطهٔ 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، نقطهٔ 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 نقطهٔ جوش پایین می‌آید. مثلاً در قلهٔ دماوند نقطهٔ جوش آب حدود ۸۰°C و در قلهٔ اورست نقطهٔ جوش آب در حدود ۷۲°C است. البته این دما برای پختن تخم‌مرغ که به دمای ۷۰°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 ۲۰۰g نمک (حدود یک لیوان) در ۱ لیتر آب حداکثر ۲°C بر نقطهٔ جوش آب می‌افزاید.

تمرین ۴ـ۶

گرمای لازم برای تبدیل یخ ۲۰°C- به بخار ۱۰۰°C از مجموع گرما در چهار فرایند حاصل می‌شود.

۱) تبدیل یخ ۲۰°C- به یخ ۰°C

۲) تبدیل یخ ۰°C به آب ۰°C

۳) تبدیل آب ۰°C به آب ۱۰۰°C

۴) تبدیل آب ۱۰۰°C به بخار ۱۰۰°C.

یعنی

$$
\begin{aligned}
Q &= mc_{\text{یخ}}\,\Delta\theta_1 + mL_F + mc_{\text{آب}}\,\Delta\theta_2 + mL_V \\
&= (۱/۰\,\text{kg})(۲۲۰۰\,\text{J/kg.°C})(۲۰\,\text{°C}) + (۱/۰\,\text{kg})(۳۳۳/۷ \times ۱۰^۳\,\text{J/kg}) \\
&+ (۱/۰\,\text{kg})(۴۱۸۷\,\text{J/kg.°C})(۱۰۰\,\text{°C}) + (۱/۰\,\text{kg})(۲۲۵۶ \times ۱۰^۳\,\text{J/kg}) \\
&= ۳۰۵۲۸۰۰\,\text{J} \approx ۳/۱ \times ۱۰^۶\,\text{J}
\end{aligned}
$$

(توجه کنید گرچه جدول ۴ـ۳ گرمای ویژهٔ یخ را برای ۱۰°C- داده است، ولی در این مسئله از همان داده استفاده کردیم.)

فعالیت ۴ـ۱۲

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 به‌صورت رطوبت نسبی در مقایسه با حدّ اشباع داده می‌شود. برای مثال، رطوبت نسبی ۵۰٪ به معنی آن است که مقدار بخار، نصف حدّ اشباع است. مثلاً در یک دوش آب گرم در محیطی بسته، رطوبت نسبی ممکن است به ۱۰۰٪ برسد و پس از آن وقتی بخار آب اضافی

@hamkelasiapp Hamkelasi.ir

به هوا داده شود، مقداری از این بخار به قطرات آب تبدیل می‌شود. باید توجه کرد که حدّ 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 آینهٔ سرد حمام باعث چگالش بخار آب به‌صورت مایع بر روی آن می‌شود. در پدیدهٔ شبنم صبحگاهی هم پدیدهٔ مشابهی رخ می‌دهد.

فعالیت ۴ـ۱۳

معمولاً این از آن پرسش‌هایی است که ذهن دانش‌آموزان را به شدت درگیر می‌کنند. 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 به‌راستی 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 مقالهٔ زیر بیابید: «مولکول‌ها، اتم‌ها و ساختار داخلی اتم‌ها، مجلهٔ رشد آموزش فیزیک، شمارهٔ ۷۲ صفحهٔ 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 نتیجهٔ افزایش دما، نقطهٔ تعادل در این منحنی‌ها به سمت راست انتقال می‌یابد و به‌دلیل نامتقارن بودن شکل منحنی انرژی پتانسیل، فاصلهٔ 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 بتوانند یک مولکول را بکنند. (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، شمارهٔ ۱۰۹ صفحهٔ ۱۵» و «گرمای نهان ذوب و گرمای ویژهٔ آب، رشد آموزش فیزیک شمارهٔ ۱۰۲، صفحهٔ ۲۶».

پرسش ۴ـ۶

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

تمرین ۴ـ۷

از رابطهٔ (۴ـ۱۵) استفاده می‌کنیم.

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

@hamkelasiapp Hamkelasi.ir

$$= (۰/۶\text{W/m.}^{\circ}\text{C})(۸۲۰\text{m}^{۲})\ \frac{(۲۵^{\circ}\text{C} - ۱۲^{\circ}\text{C})}{۲/۰\text{m}}$$

$$= ۳۱۹۸\text{W} \approx ۳ \times ۱۰^{۳}\text{W} = ۳\text{kW}$$

فعالیت ۴ـ۱۴

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 رسانندهٔ ضعیف گرما هستند.

پرسش ۴ـ۷

یادآوری می‌کنیم در پدیدهٔ 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 به‌راحتی 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 به‌سهولت بیشتری ظاهر می‌شوند. خوب است بدانید چسبندگی (وُشکسانی) شاره نیز نقش مهمی در پدیدهٔ همرفت بازی می‌کند و هرچه چسبندگی بیشتر باشد، از بروز جریان‌های همرفتی بیشتر جلوگیری می‌کند.

فعالیت ۴ـ۱۵

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 ناحیهٔ تماس دو بطری به‌دلیل تماس آب‌ها با یکدیگر تغییر رنگ ناچیزی مشاهده خواهیم کرد. ولی در موردی که بطری سرد را روی بطری گرم قرار می‌دهیم، به‌دلیل رخ دادن پدیدهٔ 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 درنظرگرفت، در حالی‌که وضعیت دوم مثل وضعیت طبیعی هواست که در روزهای معمولی رخ می‌دهد و از این جهت این فعالیت برای درک پدیدهٔ وارونگی هوا که در «خوب است بدانید» صفحهٔ بعد مطرح شده آموزنده است.(به فیلم مربوطه در سایت گروه مراجعه شود)

فعالیت ۴ـ۱۶

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 نورمرئی) 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. به‌علت 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 برطرف 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،

@hamkelasiapp Hamkelasi.ir

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

فعالیت ۴ـ۱۷

اگر اصطکاک پیستونِ 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 ۴ـ۱۸

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 همدما بودن این فرایند، الگوی تغییر فشار ـ حجم از رابطهٔ « ثابت $= PV$» پیروی می‌کندو با افزایش حجم ظرف نوشیدنی، از فشار داخل آن کاسته می‌شود. اگر درِ 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 ۶۰۰ یا ۶۰۰۰ 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 با معنای ممکن را فرض کرده‌ایم. مثلاً در $\theta = ۸۰۰\,K$ سه رقم بامعنا و در $V = ۲۰\,L$ دو رقم فرض کرده‌ایم.

۱ـ

الف)

$$۰\,K = -۲۷۳/۱۵^\circ C \simeq -۲۷۳^\circ C$$

$$F = [(-۲۷۳/۱۵)\,(\tfrac{۹}{۵}) + ۳۲/۰۰]^\circ F = -۴۵۹/۶۷^\circ F \simeq -۴۶۰^\circ F$$

ب)

$$۲۷۳\,K = -۰/۱۵^\circ C \simeq ۰^\circ C$$

$$F = [(۰/۱۵)\,(\tfrac{۹}{۵}) + ۳۲/۰۰]^\circ F = +۳۱/۷۳^\circ F = ۳۲^\circ F$$

پ)

$$۳۷۳\,K = ۹۹/۸۵^\circ C \simeq ۱۰۰^\circ C$$

$$F = [(۹۹/۸۵)\,(\tfrac{۹}{۵}) + ۳۲/۰۰]^\circ F = ۲۱۱/۷۳^\circ F = +۲۱۲^\circ F$$

ت)

@hamkelasiapp Hamkelasi.ir

$$۵۴۶\text{K} = ۲۷۲/۸۵^\circ\text{C} \simeq ۲۷۳^\circ\text{C}$$

$$F = [(۲۷۲/۸۵)\,(\frac{۹}{۵}) + ۳۲/۰۰]^\circ\text{F} = ۵۲۳/۷۳^\circ\text{F} = ۵۲۳^\circ\text{F}$$

۲ـ 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 گسترهٔ موردنظر استفاده کنیم.

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

۴ـ الف) ۲ و ۳ یکسان، سپس ۱، سپس ۴

ب) ۳، ۲، سپس ۱ و ۴ یکسان

پ) همه یکسان.

۵ـ

$$\Delta L = L_۱\,\alpha\Delta T = (۲۵/۰\,\text{m})(۱۴ \times ۱۰^{-۶}\text{K}^{-۱})(۴۰/۰\,\text{K})$$
$$= ۱/۴ \times ۱۰^{-۲}\text{m} = ۱/۴\text{cm}$$

۶ـ

$$\Delta V_{\text{گلسیرین}} = \beta_{\text{گلسیرین}}\ V_۱\Delta\theta$$
$$\Delta V_{\text{ظرف}} = \beta_{\text{آلومینیم}}\ V_۱\Delta\theta$$
$$V = \Delta V_{\text{گلسیرین}} - \Delta V_{\text{ظرف}} = (\beta_{\text{گلسیرین}} - \beta_{\text{آلومینیم}})V_۱\Delta\theta$$
$$= (۴۹ \times ۱۰^{-۵}\text{K}^{-۱} - ۳(۲۳ \times ۱۰^{-۶}\text{K}^{-۱}))(۴۰۰\,\text{cm}^۳)\,(۳۰/۰^\circ\text{C} - ۲۰/۰^\circ\text{C})$$
$$= ۱/۶۸۴\text{cm}^۳ \simeq ۱/۷\text{cm}^۳$$

۷ـ چون سطح مقطع ظرف ثابت است، حجم بنزین داخل مخزن متناسب با ارتفاع بنزین داخل آن است. بنابراین در فرمول انبساط حجمی به جای ΔV و $V_۱$ به ترتیب $A\Delta h$ و $Ah_۱$ قرار می‌دهیم و چنین به‌دست می‌آوریم:

$$\Delta h = \beta h_۱\Delta\theta \Rightarrow h_۲ = h_۱(۱ + \beta\Delta\theta)$$

با توجه به $h_۲ = h_۱ + \Delta h$ داریم:

$$\theta_۲ = \frac{\Delta h}{\beta(h - \Delta h)} + \theta_۱$$
$$= \frac{۵۰\text{cm}}{(۱/۰۰\times۱۰^{-۳}\,^\circ\text{C})(۱۰۰۰\text{cm} - ۵۰\text{cm})} - ۱۰^\circ\text{C}$$
$$= ۴۲/۶۳^\circ\text{C} \approx ۴۳^\circ\text{C}$$

۸ـ 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 ۴ـ۱ 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 به‌طوری که برنج کمان بیرونی شود.

۹ـ الف)

$$\Delta L = \alpha L_۱\Delta T = (۱۰ \times ۱۰^{-۶}\text{K}^{-۱})(۲/۳۰ \times ۱۰^{۵}\text{m})(۶۰\,\text{K})$$

@hamkelasiapp Hamkelasi.ir

$= ۱/۳۸ \times ۱۰^{۲}\text{m} \approx ۱/۴ \times ۱۰^{۲}\text{m}$

ب) معمولاً در بخش‌هایی از این خط لوله، مانند شکل، لوله‌ها را به‌صورت Uشکل در می‌آوردند. همچنین (به‌خصوص در مورد ریل‌های راه‌آهن) این لوله‌ها (ریل‌ها) را زمانی می‌سازند که $L_۱$ حدوداً برابر با نصف میانگین مقدارهای بیشینهٔ و کمینهٔ سالیانه‌اش است.

۱۰ـ

$$\Delta V = \beta V_۱ \Delta\theta$$

$$\Rightarrow V_۲ = V_۱ (۱ + \beta\Delta\theta)$$

$$= (۳۰۰۰۰\text{L})(۱+(۱/۰۰ \times ۱۰^{-۳}\text{K}^{-۱})(-۲۰/۰\text{K}))$$

$$= ۲۹۴۰۰\text{L} \simeq ۲/۹۴ \times ۱۰۴\text{L}$$

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

$$Pt = mc\Delta\theta$$

$$(۲۰۰\text{J/s})(t) = (۰/۲۰۰\text{kg})(۴۱۸۷\text{J/kg.}^{\circ}\text{C})(۷۰^{\circ}\text{C})$$

$$\Rightarrow t = ۲۹۳/۰۹\text{s} \simeq ۲/۹ \times ۱۰^{۲}\text{s}$$

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

$$Pt = mc\Delta\theta$$

$$\Rightarrow c = \frac{Pt}{m\Delta\theta} = \frac{(۵۰\text{J/s})(۱۱۰\text{s})}{(۰/۶۰\text{kg})(۳۸-۱۸)^{\circ}\text{C}}$$

$$= ۴۵۸\text{J/kg.}^{\circ}\text{C} \simeq ۴/۶ \times ۱۰^{۲}\text{J/kg.}^{\circ}\text{C}$$

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

۱۳ـ از شرط تعادل گرمایی در حالت کلی داریم:

$$m_{\text{ظرف}}c_{\text{ظرف}}(\theta - \theta_{۱\text{ظرف}}) + m_{\text{قطعه}}c_{\text{قطعه}}(\theta - \theta_{۱\text{قطعه}}) + m_{\text{آب}}c_{\text{آب}}(\theta - \theta_{۱\text{آب}}) + m'_{\text{آب}}c_{\text{آب}}(\theta - \theta'_{۱\text{آب}}) = ۰$$

توجه کنید که در این رابطه با توجه به اینکه دمای اولیهٔ ظرف، قطعه و ۵۰g آب اولیه یکسان و برابر ۳۰°C است، داریم:

$$\theta_{۱\text{ظرف}} = \theta_{۱\text{قطعه}} = \theta_{۱\text{آب}} = ۳۰^{\circ}\text{C}$$

و در این رابطه $m'_{\text{آب}}$ در واقع جرم آبی است که بعداً افزوده می‌شود ($m'_{\text{آب}} = ۱۰۰\text{g}$) و $\theta'_{۱\text{آب}}$ دمای اولیهٔ آب افزوده شده ($\theta'_{۱\text{آب}} = ۷۰^{\circ}\text{C}$) است. هدف، محاسبهٔ گرمای ویژهٔ قطعه است. با توجه به اینکه دمای تعادل $\theta = ۵۲^{\circ}\text{C}$ است، خواهیم داشت.

$$(۰/۲۰۰\text{kg})(۳۸۶\text{J/kg.}^{\circ}\text{C})(۵۲ - ۳۰)^{\circ}\text{C} +$$

$$(۸۰ \times ۱۰^{-۳}\text{kg}) \times c_{\text{قطعه}} (۵۲ - ۳۰)^{\circ}\text{C} + (۵۰ \times ۱۰^{-۳}\text{kg}) (۴۱۸۷\text{J/kg.}^{\circ}\text{C})(۵۲ - ۳۰)^{\circ}\text{C}$$

$$+ (۰/۱۰۰\text{kg}) (۴۱۸۷\text{J/kg.}^{\circ}\text{C})(۵۲ - ۷۰)^{\circ}\text{C} = ۰$$

از اینجا خواهیم داشت

$$c_{\text{قطعه}} = ۷۰۰/۳\ \text{J/kg.}^{\circ}\text{C} \approx ۷/۰ \times ۱۰^{۲}\ \text{J/kg.}^{\circ}\text{C}$$

۱۴ـ 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.

@hamkelasiapp Hamkelasi.ir

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

۱۶ـ با توجه به آموخته‌هایم از این فصل درمی‌یابیم که گزینهٔ الف نادرست است.

۱۷ـ با دادن گرما به نقره، ابتدادمای آن از ۲۰/۰°C به نقطهٔ ذوب (۹۶۰°C) می‌رسد و سپس نقره ذوب می‌شود:

$$Q = Q_1 + Q_2 = m_{\text{نقره}}\, c_{\text{نقره}}\, \Delta\theta + mL_F$$

$$= (۰/۲۰۰\,\text{kg})(۲۳۶\,\text{J/kg.°C})(۹۶۰ - ۲۰/۰\,\text{°C}) + (۰/۲۰۰\,\text{kg})(۸۸/۳ \times ۱۰^۳\,\text{J/kg})$$

$$= ۶۲۰۲۸\,\text{J} \approx ۶/۲۰ \times ۱۰^۴\,\text{J}$$

۱۸ـ برای یخ زدن کامل، مجموعاً دو فرایند صورت می‌گیرد. نخست آب ۲۰/۰°C به آب ۰°C تبدیل می‌شود و سپس در دمای صفر درجه یخ می‌زند. پس گرمای کلّ منتقل شده برابر است با

$$Q = mc_{\text{آب}}\,\Delta\theta + mL_F$$

$$= (۱۵۰\,\text{kg})(۴۱۸۷\,\text{J/kg.K})(۲۰/۰\,\text{°C}) + (۱۵۰\,\text{kg})(۳۳۳/۷ \times ۱۰^۳\,\text{J/kg})$$

$$= ۶/۲۶ \times ۱۰^۷\,\text{J}$$

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

$$Pt = Q = Q_{\text{آب}} + Q_{\text{ظرف}}$$

$$= m_{\text{آب}}\, c_{\text{آب}}\, \Delta\theta + C_{\text{ظرف}}(\Delta\theta)$$

$$= (m_{\text{آب}}c_{\text{آب}} + C_{\text{ظرف}})\Delta\theta$$

الف) با استفاده از این رابطه داریم

$$(۵۰\,\text{J/s})(۶۰\,\text{s}) = [(۰/۱۰۰\,\text{kg})(۴۱۸۷\,\text{J/kg.°C}) + C_{\text{ظرف}}](۲۵ - ۲۰)\,\text{°C}$$

$$\Rightarrow C_{\text{ظرف}} = ۱۸۱/۳\,\text{J/°C} \approx ۱/۸ \times ۱۰^۲\,\text{J/°C}$$

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

$$t = \frac{(m_{\text{آب}}c_{\text{آب}} + C_{\text{ظرف}})\Delta\theta}{P}$$

$$= \frac{[(۰/۱۰۰\,\text{kg})(۴۱۸۷\,\text{J/kg.°C}) + ۱۸۰\,\text{J/°C}](۷۵\,\text{°C})}{۵۰\,\text{J/s}}$$

$$= ۸۹۸/۰۵\,\text{s} \approx ۹/۰ \times ۱۰^۲\,\text{s}$$

پ) برای اینکه آب ۱۰۰°C به بخار ۱۰۰°C تبدیل شود، آب به اندازهٔ $Q = mL_V$ گرما می‌گیرد و چون در این رخداد دما تغییر نمی‌کند، گرماسنج گرما نمی‌گیرد. پس داریم

$$Pt = mL_V$$

و از آنجا

$$t = \frac{mL_V}{P} = \frac{(۰/۲۰\,\text{kg})(۲/۲۵۶ \times ۱۰^۶\,\text{J/kg})}{۵۰\,\text{J/s}}$$

$$= ۹۰۲/۴\,\text{s} \simeq ۹/۰ \times ۱۰^۲\,\text{s}$$

۲۰ـ الف) گرمای لازم برای تبدیل آب ۱۰۰°C به بخار آب ۱۰۰°C از رابطهٔ $Q = Pt$ به‌دست می‌آید و از طرفی $Q = mL_V$ است. در نتیجه داریم

@hamkelasiapp Hamkelasi.ir

$$t = \frac{mL_V}{P} = \frac{(۰/۱۰۰\text{kg})(۲۲۵۶\times۱۰^۳\text{J/kg})}{۲۰۰/۰\text{J/s}}$$
$$= ۱۱۲۸\text{s} \simeq ۱/۱۳\times۱۰^۳\text{s}$$

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

$$(۰/۱۰۰\text{kg})(۲۲۵۶\times۱۰^۳\text{J/kg}) = (m_{\text{یخ}})(۳۳۳/۷\times۱۰^۳\text{J/kg})$$
$$\Rightarrow m_{\text{یخ}} \simeq ۰/۶۷۶\text{kg}$$

۲۱ـالف) همان‌طور که شکل نشان می‌دهد تغییر فاز از جامد به مایع در زمان ۳۰۰s شروع می‌شود و بنابراین ۳۰۰s طول می‌کشد تا جامد به نقطهٔ ذوب خود برسد.

ب) از نمودار درمی‌یابیم دمای جسم پیش از تغییر فاز از دمای ۲۰°C به دمای ۸۰°C می‌رسد. بنابراین از تلفیق رابطه‌های $Q = mc\Delta\theta$ و $Q = Pt$ که در آنها P توان گرمکن، t زمان رسیدن به نقطهٔ ذوب، و m و c به ترتیب جرم و گرمای ویژهٔ جسم جامد است، خواهیم داشت

$$Pt = mc\Delta\theta$$

و در نتیجه

$$C = \frac{Pt}{m\Delta\theta} = \frac{(۱۰/۰\text{J/s})(۳۰۰\text{s})}{(۰/۰۵۰۰\text{kg})(۸۰-۲۰)^\circ\text{C}}$$
$$= ۱/۰\times۱۰^۳\ \text{J/kg.}^\circ\text{C}$$

پ) گرمای نهان ذوب را با استفاده از رابطهٔ $L_F = Q/m$ به‌دست می‌آوریم. دوباره به جای Q از رابطهٔ $Q = Pt$ قرار می‌دهیم. ولی توجه کنید که در اینجا t زمان تغییر فاز جامد است که از روی منحنی حدس می‌زنیم $۸۵۰\text{s} = ۱۱۵۰ - ۳۰۰$ می‌شود که البته با توجه به مبحث ارقام معنی‌دار باید آن را به‌صورت $۸/۵\times۱۰^۲\text{s}$ بیان کنیم. یعنی با دو رقم معنی‌دار و یک رقم حدسی. بنابراین برای L_F داریم

$$L_F = \frac{(۱۰/۰\text{J/s})(۸/۵\times۱۰^۲\text{s})}{۰/۰۵۰۰\text{kg}} = ۱/۷\times۱۰^۵\ \text{J/kg}$$

۲۲ـ در حین یخ زدن جرم $m_۱$ آب، مقداری انرژی گرمایی برابر با $Q_۱ = m_F L_F$ آزاد می‌شود. در حین تبخیر، جرم باقی‌ماندهٔ $m_۲ = (m - m_۱)$، مقدار گرمای جذب شده برابر $Q_۲ = m_۲ L_V$ است. چون $Q = Q_۱$ است، داریم:

$$m_۱ L_F = (m - m_۱)L_V$$

که در آن L_V گرمای نهان تبخیر آب در دمای ۰°C است که آن را از جدول ۴ـ۵ قرار می‌دهیم. در نتیجه برای $m_۱$ داریم

$$m_۱ = \frac{mL_V}{L_F + L_V} = \frac{(۱/۰۰\text{kg})(۲۴۹۰\text{kJ/kg})}{(۲۴۹۰\text{kJ/kg}) + (۳۳۴\text{J/kg})}$$
$$= ۰/۸۸۰\text{kg} = ۸۸۰\text{g}$$

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

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

$$Q_{\text{آب}} = Q_{\text{شخص}}$$

@hamkelasiapp Hamkelasi.ir

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

از اینجا جرم آب را به‌دست می‌آوریم

$$m_{\text{آب}} = \frac{m_{\text{شخص}}\, c_{\text{شخص}} |\Delta\theta|}{L_V}$$
$$= \frac{(۵۰/۰\text{g})(۳۴۸۰\text{J/kg.K})(۱/۰۰\text{K})}{۲/۴۲\times۱۰^{۶}\,\text{J/kg}}$$
$$= ۰/۰۷۱۹\text{kg} = ۷۱/۹\text{g}$$

ب) حجم آب را با استفاده از تعریف چگالی $P = m/V$ به‌دست می‌آوریم. با توجه به اینکه چگالی آب از جدول ۸ـ۱ برابر $۱/۰۰\times۱۰^{۳}\text{kg/m}^{۳}$ است، حجم این جرم از آب چنین می‌شود

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{۰/۰۷۲\text{kg}}{۱/۰۰\times۱۰^{۳}\,\text{kg/m}^{۳}} = ۷/۱۹\times۱۰^{-۵}\text{m}^{۳} = ۷۱/۹\text{cc}$$

۲۴ـ احساس اینکه یک جسم چقدر سرد است به آهنگ رسانش گرما از دستان شما به جسم بستگی دارد. فلز رسانندهٔ گرمای بهتری از چوب است و در نتیجه گرما از دست شما با آهنگ بیشتری به لولهٔ فلزی شمارش می‌کند و لوله سردتر به نظر می‌رسد. انگشتان به این دلیل می‌توانند به یک سطح فلزی سرد بچسبند که رطوبت روی پوست می‌تواند به‌صورت دندانه‌های ریزی روی سطح فلز یخ بزند.

۲۵ـ 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 می‌تواند اتلاف‌های ناشی از همرفت و تبخیر ناشی از وزیدن باد را کاهش دهد. در مورد رسانش گرمایی، پالتو می‌تواند یک لایهٔ هوا در اطراف بخشی از بدن شما ایجاد کند که چون انتقال گرما از طریق هوا نسبتاً کم است، این لایه به عایق‌بندی شما کمک می‌کند. پوشیدن چند لباس در زیر پالتو این عمل را تشدید می‌کند، زیرا در این صورت چند لایهٔ هوا شما را عایق‌بندی می‌کند.

۲۶ـ باید از رابطهٔ $Q = k\dfrac{A(T_H - T_L)}{L}\,t$ 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 کرده‌ایم.

الف) داده‌های مسئله عبارتند از

$A = (۲/۰\text{m})(۱/۰\text{m}) = ۲/۰\text{m}^{۲}$ $\qquad t = ۱/۰\text{s}$

$L = ۴/۰\times۱۰\text{–}۳\text{m}$ $\qquad \Delta T = ۷/۰\text{K} - ۲/۰\text{K} = ۵/۰\text{K}$

بنابراین

$$Q = (۱/۰\,\text{J/s.mK})\,\frac{(۲/۰\text{m}^{۲})(۵/۰\text{K})}{۴/۰\times۱۰^{-۳}\text{m}}\,(۱/۰\text{s}) = ۲/۵\times۱۰^{۳}\text{J}$$

ب) حالا $t = (۲۴)(۶۰)(۶۰) = ۸۶۴۰۰\text{s}$ است. بنابراین

$$Q = (۱/۰\,\text{J/s.mK})\,\frac{(۲/۰\text{m}^{۲})(۵/۰\text{K})}{۴/۰\times۱۰^{-۳}\text{m}}\,(۸۶۴۰۰\text{s})$$
$$= ۲/۱۶\times۱۰^{۸}\text{J} \approx ۲/۲\times۱۰^{۸}\text{J}$$

۲۷ـ با استفاده از رابطهٔ $Q = \dfrac{kA(T_H - T_L)}{L}\,t$ خواهیم داشت:

@hamkelasiapp Hamkelasi.ir

$$Q = (۰/۰۱۰\,\mathrm{W/m.K})(۰/۸۰\,\mathrm{m^۲})\,\frac{۲۰/۰^\circ\mathrm{C}}{۰/۰۲۰\,\mathrm{m}} \times ۸۶۴۰۰\,\mathrm{s}$$
$$= ۶۹۱۲۰۰\,\mathrm{J} \simeq ۶/۹ \times ۱۰^۵\,\mathrm{J}$$

بنابراین جرم یخ ذوب شده چنین می‌شود

$$m = \frac{Q}{L_T} = \frac{۶۹۱۲۰۰\,\mathrm{J}}{۳۳۳۷۰۰\,\mathrm{J/kg}} = ۲/۰۷\,\mathrm{kg} \simeq ۲/۱\,\mathrm{kg}$$

۲۸ـ قوری سیاه تابش گرمایی بیشتری می‌کند و زودتر سرد می‌شود.

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

$$\frac{V_۱}{T_۱} = \frac{V_۲}{T_۲} \Rightarrow$$
$$T_۲ = \left(\frac{T_۱V_۲}{V_۱}\right) = \frac{(۲۰+۲۷۳)(۲۰۰/۰\,\mathrm{cm^۳})}{۱۰۰/۰\,\mathrm{cm^۳}} = ۵۸۶\,\mathrm{K}$$
$$= ۳۱۳^\circ\mathrm{C}$$

ب)

$$T_۲ = \frac{(۲۰+۲۷۳)(۵۰/۰\,\mathrm{cm^۲})}{۱۰۰/۰\,\mathrm{cm^۳}} = ۱۴۶/۵\,\mathrm{K} = -۱۲۶/۵^\circ\mathrm{C} \simeq -۱۲۷^\circ\mathrm{C}$$

۳۰ـ الف) چون دما ثابت است از قانون گازها به‌صورت زیر استفاده می‌کنیم:

$$P_۱V_۱ = P_۲V_۲$$

اگر مساحت قاعدهٔ استوانهٔ تلمبه را A بگیریم خواهیم داشت

$$(۱/۰\,\mathrm{atm})(۲۴\,\mathrm{cm} \times A) = P_۲(۳۰/۰\,\mathrm{cm} \times A)$$

و در نتیجه $P_۲ = ۰/۸۰\,\mathrm{atm}$ می‌شود.

ب) اکنون داریم

$$(۱/۰\,\mathrm{atm})(۲۴\,\mathrm{cm} \times A) = (۳/۰\,\mathrm{atm})(AL)$$

و از اینجا $L = ۸/۰\,\mathrm{cm}$ می‌شود و بنابراین باید طول استوانه را به اندازهٔ $۲۴\,\mathrm{cm} - ۸/۰\,\mathrm{cm} = ۱۶\,\mathrm{cm}$ کاهش دهیم.

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

$$\frac{P_۱}{T_۱} = \frac{P_۲}{T_۲}$$

توجه کنید که فشاری که فشارسنج اندازه می‌گیرد فشار پیمانه‌ای (سنجه‌ای) است. ولی در این رابطه باید فشارهای مطلق را قرار دهیم و نه فشار پیمانه‌ای را. بنابراین

$$\frac{(۲/۰۰+۱/۰۰)\,\mathrm{atm}}{(۱۷+۲۷۳)\,\mathrm{K}} = \frac{(۲/۳۰+۱/۰۰)\,\mathrm{atm}}{T_۲}$$

و از اینجا $T_۲ = ۳۱۹\,\mathrm{K} = ۴۶^\circ\mathrm{C}$ می‌شود.

۳۲ـ از رابطهٔ $PV = \pi RT$ استفاده می‌کنیم

$$V = \frac{\pi RT}{P} = \frac{(۱/۰۰\,\mathrm{mol})[۸/۳۱۴\,\mathrm{J/mol.K}](۲۷۳\,\mathrm{K})}{۱/۰۱۳ \times ۱۰^۵\,\mathrm{Pa}}$$

@hamkelasiapp Hamkelasi.ir

$= ۰/۰۲۲۴ \mathrm{m}^۳ = ۲۲/۴ L$

توجه کنید که در این مسئله، منظور از یک مول گاز، دقیقاً یک مول است و نه ۱mol یا ۱/۰mol و ... به همین دلیل مقدار رقم‌های با معنی در یک مول، محدودکنندهٔ تعداد ارقام بامعنی پاسخ نهایی نیست.

۳۳ـ از قانون گازهای کامل داریم

$$\frac{P_۱V_۱}{T_۱} = \frac{P_۲V_۲}{T_۲}$$

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

$$P_۱ = P_{\mathrm{atm}} + \rho g h$$

که در آن ρ چگالی آب و h عمق دریاچه است، بدیهی است که $P_۲ = P_{\mathrm{atm}}$. از اینجا داریم

$$V_۲ = \frac{T_۲}{T_۱} \times \frac{P_{\mathrm{atm}} + \rho g h}{P_{\mathrm{atm}}} \times V_۱$$

$$= \left(\frac{۲۹۳\,\mathrm{K}}{۲۷۷\,\mathrm{K}}\right) \frac{۱/۰۱\times ۱۰^۵\,\mathrm{Pa} + (۱/۰\times ۱۰^۳\,\mathrm{kg/m^۳})(۹/۸۰\,\mathrm{m/s^۲})(۴۰/۰\,\mathrm{cm})}{۱/۰\times ۱۰^۵\,\mathrm{Pa}} \times (۰/۲۰\,\mathrm{cm}^۳)$$

$$= ۱/۰۳\,\mathrm{cm}^۳ \approx ۱/۰\,\mathrm{cm}^۳$$

۳۴ـ 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 ۴ـ۲۱ کتاب مقایسه کنید.) بنابراین گاز داخل سحابی، تقریب 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 $T = ۱۰۰۰\,\mathrm{K}$ ، N_A عدد آووگادرو و R ثابت جهانی گازها و N/A تعداد مولکول‌های گاز بر متر مکعب است.

$$\frac{N}{V} = ۱۰۰۰/۰ \ \frac{\text{مولکول}}{\mathrm{cm}^۳} = ۱۰۰۰/۰ \ \frac{\text{مولکول}}{(۱۰^{-۲}\,\mathrm{m})^۳}$$

$$= ۱۰۰۰/۰ \times ۱۰^۶ \ \frac{\text{مولکول}}{\mathrm{m}^۳}$$

$$\Rightarrow P = \frac{(۱۰۰۰/۰\times ۱۰^۶\ \text{مولکول}/\mathrm{m}^۳)(۸/۳۱۴\,\mathrm{J/mol.K})(۱۰۰۰۰\,\mathrm{K})}{(۶/۰۲\times ۱۰^{۲۳}\ \text{مولکول}/\mathrm{mol})}$$

$$= ۱/۳۸ \times ۱۰^{-۱۰}\,\mathrm{Pa}$$

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 $۱۰^{-۷}\mathrm{Pa}$ است که حدوداً ۱۰۰۰ بار بزرگ‌تر از فشار گاز درون سحابی است.

* لطفاً پیشنهادها و نظرات خود را به khoshbin @ talif.sch.ir ارسال فرمایید.