فصل اول: فیزیک و اندازه گیری

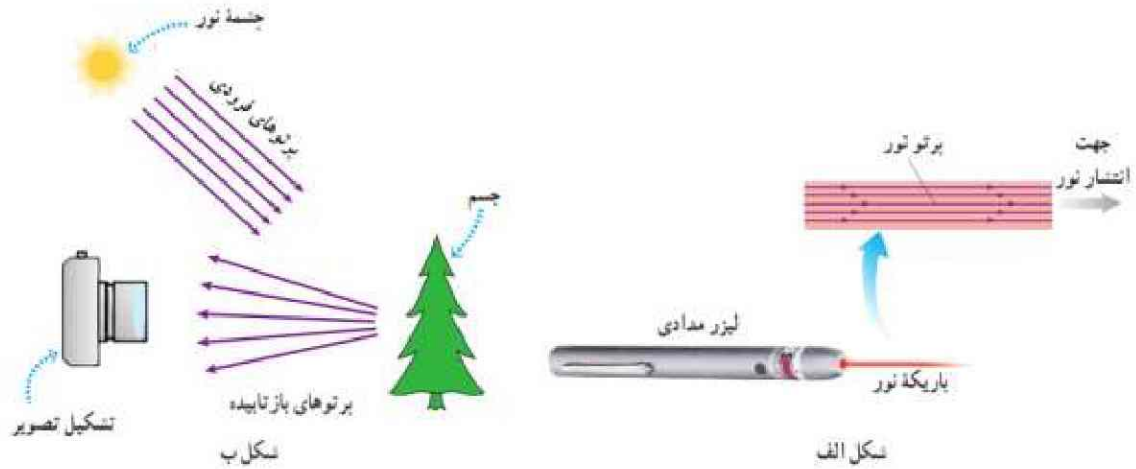
فعالیت ۱-۱ ---------- صفحه ٤

فهرست دیگری از کاربردهای فیزیک در فنّاوری تهیه کنید که نقش مهمی در زندگی ما دارند.

اکنون بسیاری از موضوع ها و مباحث فیزیک پیامدهای کاربردی داشته و عملاً در فناوری ها موثر بوده است. فناوری های ارتباطات، فناوری های حمل ونقل (خشکی، دریایی، هوایی و فضایی)، فناوری های تولید (کشاورزی ـ صنعتی)، فناوری های استخراج انواع معادن و فناوری های ساختمان و انواع ماشین ها و فناوری های آموزشی وابسته به دانش مکانیک، الکتریسیته، الکترومغناطیس، ترمودینامیک، فیزیک هسته ای، نورشناسی، فیزیک بهداشت، فیزیک پزشکی و ...است .

پرسش ۱-۱ ---------- صفحه ٤

شکل الف براساس آنچه در علوم سال هشتم در زمینهٔ نورشناسی خواندید آمده است. اجزای این شکل را توضیح دهید و بگویید که در آن، چه چیزی مدل سازی شده است. این مدل سازی چگونه در تشکیل تصویر در یک دوربین عکاسی به کار رفته است. (شکل ب)؟



با وجود آنکه می‌دانیم پرتوهای نور به صورت موج هستند، در شکل (الف) پرتوهای نور به صورت باریکه نور در لیزر مدادی مدل‌سازی شده اند.

در شکل (ب) نور خورشید به صورت پرتوهایی موازی مدلسازی شده‌اند. این پرتوها که به صورت مستقیم حرکت می‌کنند، پس از برخورد به جسم به صورت واگرا بازتابش می‌شوند. عدسی دوربین، این پرتوهای واگرا را جمع و بر روی فیلم عکاسی منتقل می‌کند.

پرسش ۱-۲ ---------- صفحه ۸

اگر مطابق شکل روبه رو، یکای طول را به صورت فاصلهٔ نوک بینی تا نوک انگشتان دست کشیده شده بگیریم، چه مزایا و چه معایبی دارد؟

مزایا: دسترسی به آن در همه جا امکان‌پذیر است.

معایب: مقدار این یکا ثابت نیست و از فردی به فرد دیگر تغییر می‌کند.

فعالیت ۱-۲ ..... صفحه ۸

ذرع و فرسنگ از جمله یکاهای قدیمی ایرانی برای طول است. هر ذرع ۱۰۴ سانتی متر و هر فرسنگ ۶۰۰۰ ذرع است. قشم، بزرگ‌ترین جزیرهٔ خلیج فارس است که مساحت آن از بیش از بیست کشور جهان بزرگ تر است. طول این جزیره حدود ۱۲۰ کیلومتر برآورد شده است. این طول را بر حسب ذرع و فرسنگ بیان کنید.

طول جزیره به متر و سانتی‌متر برابر است با؛ $۱۲۰km \times ۱۰۰۰ = ۱۲۰۰۰۰m$ و $۱۲۰۰۰۰m \times ۱۰۰ = ۱۲۰۰۰۰۰۰cm$

فرسنگ $۱۲۰۰۰۰۰۰cm \div ۱۰۴ = ۱۱۵۳۸۴/۶۱۵$ و ذرع $۱۱۵۳۸۴/۶۱۵ \div ۶۰۰۰ = ۱۹/۲۳۱$

تمرین ۱-۱ ..... صفحه ۸

الف) یکای نجومی برابر میانگین فاصلهٔ زمین تا خورشید است ($۱AU \approx ۱/۵۰ \times ۱۰^{۱۱} m$). فاصلهٔ زمین (منظومهٔ شمسی) تا نزدیک‌ترین ستاره بعد از خورشید، بر حسب یکای نجومی چقدر است؟

مطابق جدول ۱-۳ فاصله منظومه شمسی تا نزدیک‌ترین ستاره $۴ \times ۱۰^{۱۶} m$ است. فاصله منظومه شمسی تا نزدیک‌ترین ستاره برابر است با: $\frac{۴ \times ۱۰^{۱۶}}{۱/۵ \times ۱۰^{۱۱}} \simeq ۲/۶ \times ۱۰^{۵} AU$

ب) مسافتی را که نور در مدت یک سال در خلأ می‌پیماید یک سال نوری می‌نامند و آن را با نماد ly نمایش می‌دهند. کُوازارها دورترین اجرام شناخته شده از منظومهٔ شمسی هستند و به عبارتی در دورترین محل قابل مشاهدهٔ کیهان قرار دارند. فاصلهٔ کوازارها از منظومهٔ شمسی $۱/۰۰ \times ۱۰۰^{۲۶}$ متر برآورد شده است. این فاصله را بر حسب سال نوری بیان کنید. تندی نور را در خلأ $۳/۰۰ \times ۱۰^{۸}$ متر بر ثانیه بگیرید.

مطابق جدول ۱-۳ یک سال نوری برابر $۹ \times ۱۰^{۱۵} m$ است، پس داریم؛ $۱ly = ۹ \times ۱۰^{۱۵} m \rightarrow \frac{۱ \times ۱۰^{۲۶}}{۹ \times ۱۰^{۱۵}} = \frac{۱}{۹} \times ۱۰^{۱۱} = ۰/۱ \times ۱۰^{۱۱} ly$

فعالیت ۱-۳ ..... صفحه ۹

خروار، من تبریز، سیر، مثقال، نخود و گندم از جمله یکاهای قدیمی ایرانی برای انداز هگیری جرم است. این یکاها به صورت زیر به یکدیگر مرتبط اند:

۱ خروار = ۱۰۰ من تبریز ۱ من تبریز = ۴۰ سیر = ۶۴۰ مثقال ۱ مثقال = ۲۴ نخود = ۹۶ گندم

با توجه به اینکه هر مثقال معادل ۴/۸۶ گرم است، هر کدام از این یکاها را بر حسب گرم و کیلوگرم بیان کنید.

۱ مثقال $= ۴/۸۶g = ۴/۸۶ \times ۱۰^{-۳} kg$

۱ گندم $= \frac{۱}{۹۶} \times ۴/۸۶ \simeq ۰/۰۵g = ۰/۰۵ \times ۱۰^{-۳} kg$

۱ نخود $= \frac{۱}{۲۴} \times ۴/۸۶ \simeq ۰/۲ = ۰/۲ \times ۱۰^{-۳} kg$

۱ سیر $= \frac{۶۴۰}{۴۰} = ۱۶ \times ۴/۸۶ \simeq ۷۷/۸g = ۷۷/۸ \times ۱۰^{-۳} kg$

۱ من $= ۶۴۰ \times ۴/۸۶ \sim ۳۱۱۰/۴g = ۳۱۱۰/۴ \times ۱۰^{-۳} kg$

۱ خروار $= ۱۰۰ \times ۳۱۱۰/۴g = ۳۱۱۰۴۰g = ۳۱۱۰۴ \times ۱۰^{-۳} = ۳۱/۱۰kg$

فعالیت ۱-۲ ---------- صفحه ۱۰

در خصوص چگونگی اندازه گیری زمان از دوران باستان تا عصر حاضر مطالبی را به طور مستند تهیه کنید.

مطالب تهیه شده را با توجه به مهارت و علاقه مندی افراد گروه خود، به یکی از شکل‌های روزنامهٔ دیواری، پاورپوینت، قطعه فیلم کوتاه و... به کلاس درس ارائه دهید.

یکی از اولین ابزارهای سنجش زمان ساعت آبی بوده است که احتمال داده می‌شود در ایران اختراع شده باشد. از حدود ۴ هزار سال قبل نشانه‌هایی از سنجش زمان مشاهده شده است. در مصر -ایران -عراق -هندو تمدنهای قدیم ابزارهایی پیدا شده که باستان شناسان می گویند برای سنجش زمان بوده است. امروزه دستگاه سنجش زمان را ساعت می گویند که مهمترین ابزار برای اندازه گیری زمان است. ساعت با فرم نوینش (۲۴ ساعتی) از قرن پانزدهم رایج شد و در یک قرن گذشته رواج عمومی پیدا کرده است.

حدود شش قرن قبل از میلاد، بابلی‌ها «در عصر امپراطوری دوم» چند مورد ابداعی از خود بجای گذاشته‌اند که امروزه نیز مورد استفاده کلیه کشورهاست . مرسوم داشتن هفت روز هفته و تعیین عدد پایه ۶۰ برای ساعت، احتمالاً از یادگارهای تمدن میان رودان(بابلی) است .آنها باور داشتند که عدد ۶۰ به اعداد ۱ ، ۲ ، ۳ ، ۵ ، ۶ ، ۱۰ ، ۱۵ ، ۲۰ ، ۳۰ قابل تقسیم است . لذا، این عدد را پایه در نظر گرفته و مبنای تقسیم بندی ساعت قرار دادند. همچنین تقسیم بندی دایره به ۳۶۰ درجه «مضربی از ۶۰» از کارهای بابلی‌ها می‌باشد .

استفاده از خورشید و آب یکی از ابزارهای قدیمی سنجش زمان بوده است. انسانهای نخستین از سایه خورشید، با استفاده از ستون‌ها و یا دیواره‌ها، زمان را تعیین می‌کردند بعدها ساعت آبیاختراع شده است که در ایران به آن پنگان و یا فنجان می گویند.

ساعت آفتابی

را بعضی از پژوهشگران بنایی برای تعیین و سنجش زمان با کمک خورشید و مهتاب می دانند. تا امروز حدس کعبه زرتشت. می‌زدند کاربرد این بنا، محل نگهداری کتاب اوستا و اسناد حکومتی یا محل گنجینه دربار و یا آتشکده معبد بوده‌است. اما غیاث این بنا با مقایسه با تمامی بناهای گاهشماری (تقویم) آفتابی در سرتاسر جهان، پیشرفته [۳]. .آبادی با تحقیقات خود مدعی است این در حالی است که تا قبل از این بنا هم «چارطاقی» ها در نقاط .ترین، دقیقترین، و بهترین بنای گاهشماری آفتابی جهان است .مختلف ایران احداث شده بودند و همین وظیفه را با شیوهای بسیار ساده اما دقیق و حرفه‌ای بر عهده داشتند

تمامی بناهای گاهشماری آفتابی در جهان فقط می‌توانند روزهای خاصی از سال (مانند روزهای سرفصل) را مشخص کنند و حتی با سال خورشیدی هم تنظیم نیستند. اما این بنا با دقت و علمی که در ساخت آن اجرا شده، قادر است بسیاری از جزئیات روزهای

مختلف سال و ماهها را مشخص کند. زرتشتیان با استفاده از این بنا می‌توانستند بسیاری از مناسبتها و جشنهای سال را روز به روز دنبال کنند و از زمان دقیق آنها آگاه شوند. بسیاری از بناهای چارطاقی در سطح کشور (به تصور آتشکده) یا به طور کامل تخریب شده و یا تغییر کاربری داده شده‌است. ولی خوشبختانه تعدادی هم مانند چارطاقی» نیاسر «و چارطاقی» تفرش«، سالم مانده و برای ما و نسلهای بعدی باقی‌مانده‌اند. در ساعت خورشیدی،یا اسطرلاب) استاریاب) که از دوره صفوی در ایران رایج بوده است، میله‌ای عمودی بر سطح افقی نصب میشده است با اندازه گیری سایه آن میله، زمان معلوم میگردیده است. اینگونه ساعتها در دربار شاهان و در مکانهای مذهبی استفاده می شده و نیاز به مدیریت انسان نداشته است.اما کاربرد آن فقط برای روزهای آفتابی و با مناسبت‌های خاص بوده است.در ایران ساعت آفتابی معمولاً همراه با استرلاب بوده و بعضی استرلابها دارای میله‌ای برای تعیین ظهر شرعی داشته‌اند.

ساعت شنی

از دو حباب شیشه‌ای چسبیده به هم تشکیل میشده که میان آن، سوراخ باریکی برای رد شدن شن یا ماسه تعبیه می‌کردند، تا شنها بتدریج از حباب بالا به حباب پایین جمع شود. بعد ظرف را وارونه می‌کردند و همان عمل تکرار می‌شد .با معلوم شدن تعداد دفعات جابجا شده شن‌ها در حبابها، حدود تقریبی زمان مشخص می‌گردید.کاربرد این ساعت نیز محدود بوده و بیشتر برای تعیین زمان اقرار کردن و یا قسم خوردن و یا برای داوران در مسابقات و یا در زمان اجرای اعدام استفاده می شده است. این ابزار بیشتر در روم رایج بوده است.

ساعت آبی

بوده است که بر اساس دو ظرف و ساعت آبی انواعی داشته اما ساده ترین و دقیق ترین آن ساعت آبی ایرانی پنگان یا فنجان دستکم یک محاسبه گر دایمی انسانی قرار داشته است.

کالیستنس مورخ یونانی کاربرد فنجان در ایران را مشاهده کرده است. او که در لشکرکشی اسکندر مقدونی به ایران همراه او بود در یادداشتی نوشته است: در اینجا (ایران)، در دهکده‌ها که آب را برحسب نوبت به کشاورزان برای آبیاری می دهند، یک فرد از میان آنان (کشاورزان) انتخاب می شود تا بر زمان نوبت (و تقسیم زمانی سهام)نظارت داشته باشد. این فرد در کنار مجرای اصلی آب و محل انشعاب آن میان کشاورزان، بر سکویی می نشیند و ظرفی فلزی را که سوراخ بسیار ریزی در آن تعبیه شده است در ظرفی بزرگتر و پر از آب قرار می دهد که پس از پر شدن ظرف کوچک (یک بار و یا چند بار) که به آهستگی و طبق محاسبه قبلی ابعاد سوراخ آن صورت می گیرد، آب را قطع و آن را به جوی کشاورز دیگر باز می کند و این کار دائمی است و این وسیله عدالت را برقرار کرده و از نزاع کشاورزان بر سر آب مانع می شود

ساعت آبی ایرانی ابزاری ساده و در عین حال بسیار دقیق، کارآمد و همیشگی بوده و در زندگی کشاورزی جامعه ایران بویژه در مناطق کویری که آب مایه حیات و عنصر اصلی زندگی اجتماعی بوده ضروری و نقش کارآمدی داشته است.در هیچ جای جهان ساعت آبی به اندازه ایران کارآمد و تاثیر گذار و مستمر نبوده است این ساعت حتی در زمانیکه ساعتهای نوین به بازار آمده بود با آنها رقابت می‌کرد و کشاورزان حاضر به کنار گذاشتن آن و استفاده از ساعتهای نوین و جدید نبودند.

بر اساس بررسی‌های اولیه ساعتی آبی در ایران دست کم ثبت مکتوب و کاربرد ۲۴۰۰ ساله دارد.

ساعت های نوین

با پیشرفت علم و دانش بشری، بتدریج ساعتهای دقیق تر مکانیکی، وزنه‌ای، فنردار، برقی، باتری دار و کامپیوتری جای ساعتهای آبی، آفتابی و ماسه‌ای را گرفتند . مخصوصا" از زمان استفاده انسان از فنر جهت راه انداختن چرخ‌های دندانه دار، که به ساعت شمار و دقیقه و حتی ثانیه شمار متصل هستند، سنجش دقیق زمان برای همه بطور ساده امکان پذیر گردید . در اوایل قرن شانزدهم اولین ساعت مچی آهنی، که نسبتاً" زمخت بوده، توسط یکنفر آلمانی ساخته شد . بعدها اواخر قرن هجدهم با استفاده از فنر و چرخ دندانه‌های بسیار کوچک،امکان ساختن ساعتهای مچی ظریف بوجود آمد،اولین ساعتهای مچی شبیه ساعتهای امروزی، در کشور سوئیس «از سالهای ۱۷۹۰ به بعد» ساخته شد.و بانگارش اعداد انگلیسی دقیقتر گردید.

نصب گردید در فرانسه بین سالهای ۱۸۶۵ تا ۱۸۶۸ بزرگترین، حجیم ترین و جسیم ترین ساعت دیواری جهان، در کلیسای سن پیر ارتفاع ساعت ۱۲/۱ متر عرض آن ۶/۰۹ متر و ضخامتش ۲/۷ متر بوده که از ۹۰۰۰۰ قطعه تشکیل یافته . در مقابل بزرگترین ساعت، قطر دارد . تکنولوژی امروزی، انسان را قادر ساخته ساعتهای بسیار ظریف و دقیق ظریف ترین ساعت دنیا فقط ۰/۹۸ میلی متر . مکانیکی و تمام الکترونیکی، کامپیوتری و حتی اتمی بسازد

دقیق ترین ساعت دنیا

دانشمندان دانشگاه کلرادو ساعتی ساختند که دقت آن هر ۵ میلیارد سال یک ثانیه است بدین معنی که ممکن است هر ۵ میلیارد سال یک بار ۱ ثانیه خطا داشته باشد.

تمرین ۴-۱ ---- صفحه ۱۱

در فیزیک، تغییر هر کمیت را نسبت به زمان، معمولاً آهنگ آن کمیت می‌نامیم. از شلنگ شکل روبه رو، آب با آهنگ $۱۲۵\mathrm{cm^3/s}$ خارج می‌شود. این آهنگ را به روش تبدیل زنجیره ای، برحسب یکای لیتر بر دقیقه ($\mathrm{L/min}$) بنویسید. (هر لیتر معادل ۱۰۰۰ سانتی‌متر مکعب است.)

$$۱۲۵\frac{cm^3}{s}=(۱۲۵\frac{cm^3}{s})(۱)(۱)=(۱۲۵\frac{cm^3}{s})(\frac{۶۰\,s}{۱\,\mathrm{min}})(\frac{۱L}{۱۰۰۰\,cm^3})=۷/۵\frac{L}{\mathrm{min}}$$

پرسش ۳-۱ ---- صفحه ۱۳

کدام گزینه جرم یک زنبور عسل ($۰/۰۰۰۱۵\mathrm{kg}$) را به صورت نماد گذاری علمی درست بیان می‌کند؟

☐ $۰/۱۵\times۱۰^{-۳}\mathrm{kg}$ ☑ $۱/۵\times۱۰^{-۴}\mathrm{kg}$ ☐ $۱۵\times۱۰^{-۵}\mathrm{kg}$

تمرین ۳-۱ ---- صفحه ۱۳

با توجه به پیشوندهای یکاهای SI و نمادگذاری علمی جدول زیر را کامل کنید.

	قطر میانگین یک گلبول (گویچهٔ) قرمز	$۷/۰\times۱۰^{-۶}\mathrm{m}$	$۷/۰\times۱۰^{-۳}\mathrm{mm}$	$۷\mu\mathrm{m}$
	قطر هستهٔ اتم اورانیوم	$۱/۷۵\times۱۰^{-۱۴}\mathrm{m}$	$۱/۷۵\times۱۰^{-۲}\mathrm{pm}$	$۱۷/۵\mathrm{fm}$
	جرم یک گیرهٔ کاغذ	$۱/۰\times۱۰^{-۴}\mathrm{kg}$	$۱/۰\times۱۰^{-۱}\mathrm{g}$	$۱۰۰\mathrm{mg}$
	زمانی که نور مسافت ۰/۳ متر را در هوا طی می‌کند.	$۱/۰\times۱۰^{-۹}\mathrm{s}$	$۱/۰\times۱۰^{-۳}\mu\mathrm{s}$	$۱\mathrm{ns}$
	زمانی که صوت مسافت ۰/۳۵ متر را در هوا طی می‌کند.	$۱/۰\times۱۰^{-۳}\mathrm{s}$	$۱\mathrm{ms}$	$۱۰۰۰\mu\mathrm{s}$

تمرین ۱-۴ ---- صفحه ۱۴

۱- در هر یک از شکل های (الف) تا (پ)، طول جسم را چقدر گزارش می‌کنید؟ در گزارش خود، هم عدد غیرقطعی و هم خطای وسیله را مشخص کنید.

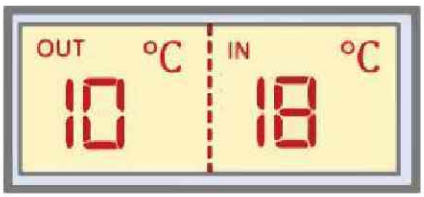
(پ) (ب) (الف)

الف) طول جسم $۵/۵cm \pm ۰/۵cm$ یا $۴/۵cm \pm ۰/۵cm$ که در آن رقم غیر قطعی ۵ است و خطای وسیله $\pm ۰/۵cm$ است.

ب) طول جسم $۵/۷mm \pm ۰/۵mm$ یا $۴۵/۷mm \pm ۰/۵mm$ که در آن رقم غیر قطعی ۷ است و خطای وسیله $\pm ۰/۵mm$ است.

پ) طول جسم $۵/۳cm \pm ۰/۵cm$ که در آن رقم غیر قطعی ۰ است و خطای وسیله $\pm ۰/۵cm$ است.

۲- شکل روبه رو یک دماسنج رقمی را نشان می‌دهد که دمای خارج و داخل گلخانه‌ای را به ترتیب $۱۰^{\circ}C$ و $۱۸^{\circ}C$ می‌خواند. عدد غیر قطعی و خطای دماسنج را مشخص کنید.



دمای داخل عدد غیر قطعی ۸ و خطای دماسنج $\pm ۱^{\circ}C$

دمای خارج عدد غیر قطعی صفر و خطای دماسنج $\pm ۱^{\circ}C$

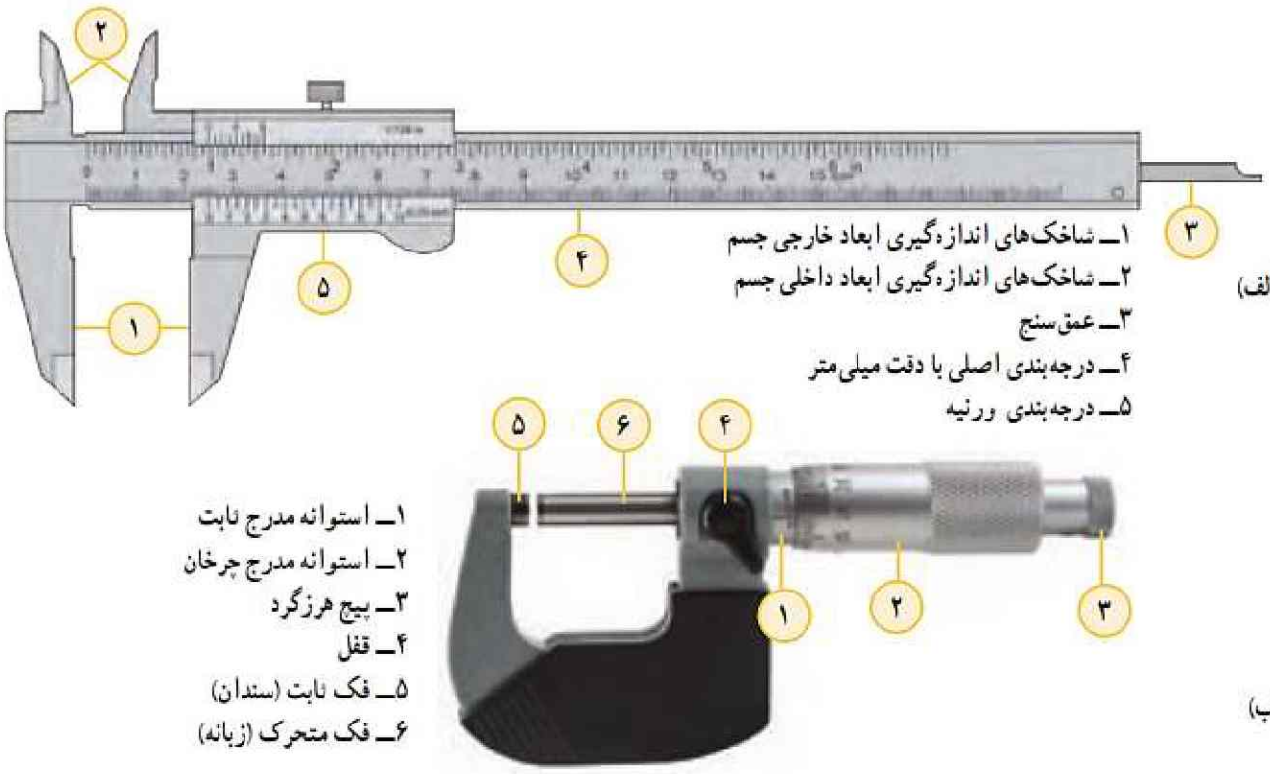
۳- نتیجهٔ اندازه‌گیری توسط دماسنج شکل ۱-۱۲ را به همراه خطای آن بنویسید.

$۲۷^{\circ}C \pm ۵^{\circ}C$

فعالیت ۱-۵ ---- صفحه ۱۴

در بسیاری از کارگاه های صنعتی مانند تراشکاری ها، اندازه گیری طول با ابزارهای دقیق تر از خط کش میلی‌متری انجام می‌شود. این ابزارها، کولیس و ریزسنج نام دارند که اجزای اصلی آنها در شکل‌های الف و ب نشان داده شده است. اگر کمینهٔ تقسیم بندی یک کولیس ۰/۱mm باشد در این صورت نتیجهٔ نهایی یک اندازه‌گیری نوعی با این کولیس، به صورت ۵/۶۰mm ± ۰/۰۵mm بیان می‌شود.

اگر کمینه تقسیم‌بندی کولیسی ۰/۰۵mm باشد (شکل الف) در این صورت خطای اندازه گیری توسط این کولیس ۰/۰۲۵mm ± است که باید به صورت ۰/۰۳mm ± گرد شود. به این ترتیب نتیجه یک اندازه گیری نوعی با این کولیس، به صورت ۴/۳۰mm ± ۰/۰۳mm بیان می‌شود. همچنین کمینهٔ تقسیم‌بندی ریزسنج‌هایی که در اغلب آزمایشگاه‌ها وجود دارد ۰/۰۱mm است (شکل ب) و نتیجهٔ نهایی یک اندازه‌گیری نوعی را می‌توان به صورت ۱/۶۳۸mm ± ۰/۰۰۵mm ثبت و گزارش کرد. در گروه خود چند جسم متفاوت انتخاب کنید. ابعاد مختلف این اجسام را به کمک کولیس و ریزسنج اندازه گیری کنید.



شرح کار با کولیس: (اطلاعات کامل تر را در لینک زیر ببینید)

http://gama.ir/learnfiles/detail/۱۶۴۷

جسمی را که منظور تعیین طول یا قطر خارجی آن است در بین شاخک‌های ثابت و متحرک بزرگ قرار می‌دهند بطوری که هر دو شاخک با بدنه جسم تماس داشته باشند سپس به کمک ورنیه و خط کش اندازه طول یا قطر گلوله را تعیین می‌کنند. درجات را از روی خط کش (عددی که صفر ورنیه در مقابل آن قرار دارد و یا از آن گذشته است) و کسر درجات را از روی ورنیه می‌خوانند برای کسر درجات از درجات ورنیه را پیدا می‌کنند که درست در برابر یکی از درجات خط کش قرار گرفته است.

به عنوان مثال ضخامت برخی از مواد که به کمک کولیس می‌توانید اندازه‌گیری کنید به صورت زیر است:

قطر خارجی خودکار	۰/۹ mm
ضخامت یک لوله	۳/۰ mm
قطر داخلی یک لوله	۲۳/۴ mm
قطر خارجی یک لوله	۲۶/۴ mm

شرح کار با ریزسنج: (اطلاعات کامل تر را در لینک زیر ببینید)

http://gama.ir/learnfiles/detail/۱۶۴۶

برای اندازه گیری جسم مورد نظر را از بین زبانه و سندان قرار می‌دهند و پیچ کلاهک آنقدر می‌چرخانند تا جسم با زبانه و سندان تماس پیدا کند. برای چرخاندن کلاهک پیچ ، پیچ هرز گرد را می‌پیچانند پس از تماس با زبانه با جسم ، پیچ هرز گرد صدا می‌کند. با شنیدن صدا عمل پیچاندن را متوقف می‌کنند. در غیر این صورت از حساسیت اسباب کاسته می‌شود درجات میلیمتر را از روی مهره و درجات صدم میلیمتر را از روی کلاهک پیچ می‌خوانند. درجه‌ای از کلاهک پیچ خوانده می‌شود که در امتداد خط افقی مهره قرار دارد .

به عنوان مثال ضخامت برخی از مواد که به کمک ریزسنج می‌توانید اندازه‌گیری کنید به صورت زیر است:

قطر خارجی خودکار	۰ / ۸۸ mm
ضخامت یک لوله	۳ / ۰۴ mm
قطر داخلی یک لوله	۲۳ / ۴۲ mm
قطر خارجی یک لوله	۲۶ / ۴۶ mm

فعالیت ۱-۶ ---------- صفحه ۱۸

الف) آزمایشی طراحی و اجرا کنید که به کمک آن بتوان جرم و حجم یک قطره آب را اندازه گیری کرد.

برای مثال با استفاده از یک قطره چکان ۷۰ قطره آب را داخل ظرفی بچکانید

اندازه‌گیری جرم: ظرفی را بر روی ترازوی دیجیتال قرار داده و ترازو را در وضعیت صفر قرار می‌دهیم. برای مثال با قطره‌چکان ۷۰ قطره اب در ظرف می‌چکانیم. حال اگر جرم نشان داده شده را بر ۷۰ قطره تقسیم کنیم، جرم یک قطره آب به دست می‌آید.

اندازه‌گیری حجم: آب داخل ظرف (۷۰ قطره) را با سرنگی می‌کشیم. حجم آب داخل سرنگ را قرائت کرده و بر ۷۰ تقسیم می‌کنیم تا حجم یک قطره آب به دست آید.

التهٔ می‌توانید از تعداد کمتری قطره آب برای این آزمایش استفاده کنید. ما برای دقت بیشتر ۷۰ قطره را پیشنهاد کردیم.

ب) تکه‌ای سیم لاکی نازک یا نخ قرقره به طول تقریبی یک متر تهیه کنید. آزمایشی طراحی و اجرا کنید که به کمک یک خط کش میلی متری بتوان قطر این سیم یا نخ را اندازه گیری کرد.

سیم را با دقت به دور یک قرقره طوری می‌پیچیم که هر دور به طور کامل چسبیده به دور بعدی و در کنار هم قرار گیرند (مانند فنری که حلقه های آن کاملاً به هم چسبیده‌اند). با این کار در هر دور به اندازه قطر سیم به طول فنر اضافه می شود. اگر طول فنر را با خط‌کش اندازه‌گیری کرده و بر تعداد دورهای سیم تقسیم کنیم قطر سیم به دست می‌آید.

تمرین ۱-۵ ---------- صفحه ۲۱

الف) تخمین بزنید در هر شبانه روز چند لیتر بخار بنزین وارد هوای شهر تهران می‌شود.

راهنمایی: برای به دست آوردن مقدار این تخمین، ابتدا باید راه هایی را مورد توجه قرار دهید که سبب تولید بخار بنزین و ورود آن به هوا می شود. یکی از راه های تولید بخار بنزین و ورود آن به هوا به صورت زیر است:

وقتی بنزین خودرویی به تدریج مصرف می شود بالای بنزین درون باک، بخار بنزین تشکیل می شود. وقتی خودرو برای سوخت‌گیری دوباره به جایگاه پمپ بنزین می‌رود، با ورود بنزین به باک، بخار بنزین از آن خارج و به هوای بیرون رانده می‌شود.

با ورود هر مقدار بنزین به یک مخزن به همان مقدار بخار بنزین از مخزن خارج می‌شود، بنزین برای اینکه در باک خودروها مصرف شود، در سه مرحله تبخیر می‌شود؛ یک بار هنگام سوخت‌گیری تانکرها از مخازن بنزین؛ یک بار هنگام تخلیه تانکرها در جایگاه‌ها و یک بار هم وقتی مردم بنزین می‌زنند. پس با مصرف هر لیتر بنزین ۳ لیتر بخار بنزین وارد هوا می‌شود. اگر تعداد خودروهای شهر تهران را یک میلیون و متوسط مصرف روزانه هر خودرو را ۹ لیتر در نظر بگیریم. آنگاه تخمین بخار بنزین از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$۹ \times ۳ \times ۱۰^{۶} \sim ۲ / ۷ \times ۱۰ \times ۱۰^{۶} \sim ۱۰^{۸} \times ۱۰ \times ۱۰^{۶} \sim ۱۰^{۷} L$$

ب) تحقیق کنید در کشورهای دوستدار محیط زیست، چه تدابیری می‌اندیشند تا این بخار، که برای محیط زیست و همچنین سلامتی انسان ها بسیار مضر است، وارد هوا نشود.

کنترل و کاهش و هدایت بخارات بنزین به گونه‌ای که انتشار این بخارات در هوا به حداقل برسد و امکان تبدیل دوباره آن به بنزین مایع وجود داشته باشد. تبخیر بنزین و به هوا رفتن آن تنها پیامدهای اقتصادی ندارد، آنچه خطرناک‌تر و در مواردی حتی غیرقابل جبران است، کاری است که بخارات بنزین با سلامت مردم می‌کنند.

تمرین ۶-۱ صفحه ۲۲

یکی دیگر از یکاهای متداول چگالی، گرم بر سانتی‌متر مکعب (g/cm^3) است. به روش تبدیل زنجیره‌ای نشان دهید:

$1000kg/m^3 = 1g/cm^3$

$$\begin{cases} 1kg = 10^3 g \\ 1m^3 = 10^6 cm^3 \end{cases} \Rightarrow 1000\frac{kg}{m^3} = (1000\frac{kg}{m^3})(1)(1) = (1000\frac{kg}{m^3})(\frac{1m^3}{10^6 cm^3})(\frac{10^3 g}{1kg})$$

$$= \frac{10^3 \times 10^3}{10^6}\frac{g}{cm^3} = 1\frac{g}{cm^3}$$

پرسش ۶-۱ صفحه ۲۲

چگالی بنزین $6/8\times10^2 kg/m^3$ است. توضیح دهید چرا آب مایع مناسبی برای خاموش کردن بنزین شعله‌ور نیست.

چگالی بنزین ($680\frac{kg}{m^3}$) کمتر از چگالی آب ($1000\frac{kg}{m^3}$) است، بنزین بر روی سطح آب قرار گرفته و آتش خاموش نمی‌شود.

تمرین ۷-۱ صفحه ۲۳

حجم خون در گردش یک فرد بالغ با توجه به جرمش، می‌تواند بین $4/70L$ تا $5/50L$ باشد. جرم $4/70L$ خون چند کیلوگرم است؟ چگالی خون خود را $1/05g/cm^3$ بگیرید.

$$V = 4/70L = 4/70\times10^3 cm^3 \quad , \quad \rho = 1/05\frac{g}{cm^3} \quad , \quad m = ?$$

$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow m = \rho V = 1/05 \times 4/70 \times 10^3 = 4/93 \times 10^3 g = 4/93kg \rightarrow m = 4/93kg$$

تمرین ۸-۱ صفحه ۲۳

جرم و وزن تقریبی هوای درون کلاستان را پیدا کنید.

چگالی هوای اتاق در دمای $20^\circ C$ برابر است با $\rho = 1/205\frac{kg}{m^3}$ است. ابعاد کلاس را ۶ و ۶ و ۳ متر فرض می‌کنیم:

$$V = 3\times6\times6 = 108m^3 \quad , \quad g = 10\frac{N}{kg} \quad , \quad \rho = 1/205\frac{kg}{m^3}$$

$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow m = \rho V = 1/205 \times 108 = 130/14kg \rightarrow m = 130/14kg$$ جرم هوای کلاس:

$$W = mg = 130/14 \times 10 = 1301/4kgN$$ وزن هوای کلاس:

فعالیت ۱-۷ ..... صفحه ۴۳

(ب) (الف)

اگر پرتقالی را درون ظرف محتوی آب بیندازیم پیش بینی کنید چه اتفاقی می‌افتد؟ آزمایش را انجام دهید (شکل الف) و نتیجهٔ مشاهده خود را با توجه به مفهوم چگالی توضیح دهید.

پرتقال با پوست بر روی سطح آب قرار می‌گیرد، چون چگالی آن کمتر از آب است.

اگر پرتقال را بدون پوست درون ظرف محتوی آب بیندازیم دوباره پیش بینی کنید چه اتفاقی می‌افتد؟ آزمایش را مطابق شکل(ب) انجام دهید و نتیجهٔ مشاهدهٔ خود را با توجه به مفهوم چگالی توضیح دهید.

پرتقال بدون پوست داخل آب فرو می‌رود، چون چگالی آن بیشتر از آب است.

در آزمایش (الف) پرتقال جرم بیشتری دارد و اصطلاحاً سنگین تر است. آیا سنگین تر بودن یک جسم دلیلی بر فرو رفتن آن در آب است؟ توضیح دهید.

خیر، برای فرو رفتن جسم در آب باید چگالی آن بیشتر از آب باشد. پرتقال با پوست جرم و حجم بیشتری نسبت به پرتقال پوست کنده دارد. ولی چون چگالی آن کمتر از چگالی آب است بر روی آب شناور باقی می‌ماند.

در پرتقال پوست کنده، حجم و جرم کاهش یافته است و لی حجم نسبت به جرم کاهش بیشتری یافته است. پس چگالی نسبت به حالت اول افزایش می‌یابد.

فعالیت ۱-۸ ..... صفحه ۴۳

الف) جرم و حجم تعدادی جسم جامد را اندازه بگیرید. در صورتی که شکل جسم ها منظم باشد، ابعاد آنها را به کمک کولیس یا ریزسنج اندازه بگیرید. اگر جسم جامد شکل نامنظمی داشته باشد، از روشی که در شکل روبه رو نشان داده شده است حجم آن را اندازه بگیرید.

نوع جسم	جرم	حجم
یک عدد سیب	۰/۱۴۵kg	۳۸۰ cm^3
قوطی کبریت خالی	۰/۰۲۳kg	۲۸ cm^3
یک عدد پاک‌کن	۰/۰۹۰kg	۱۸ cm^3
کلید	۰/۰۸۰kg	۶ cm^3

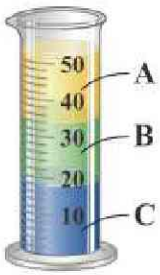
ب) با استفاده از سرنگ مدرج بزرگ و ترازوی با دقت مناسب، چگالی برخی از مایع‌های در دسترس مانند شیر، روغن، مایع ظرفشویی و... را اندازه بگیرید.

قبل و بعد از پرکردن سرنگ، جرم آن را اندازه بگیرید و به این روش جرم مایع را تعیین کنید.

نوع مایع	جرم	حجم	چگالی
شیر	$۲/۱g$	$۲cm^۳$	$۱۰۵۰\frac{kg}{m^۳}$
روغن مایع	$۱/۹g$	$۲cm^۳$	$۹۵۰\frac{kg}{m^۳}$
مایع ظرفشویی	$۱/۷g$	$۲cm^۳$	$۸۵۰\frac{kg}{m^۳}$

چگالی شیر از آب بیشتر و چگالی روغن مایع و مایع ظرفشویی از آب کمتر است.

پرسش ۵-۱ ---------- صفحه ۲۳



سه مایع مخلوط نشدنی A، B و C که چگالی‌های متفاوتی دارند درون استوانه‌ای شیشه‌ای ریخته شده‌اند. این سه مایع عبارت‌اند از: جیوه (با چگالی $۱۳/۶\times۱۰^۳\,kg/m^۳$)، روغن زیتون (با چگالی $۹/۲\times۱۰^۲\,kg/m^۳$) و آب (با چگالی $۱/۰۰\times۱۰^۳\,kg/m^۳$) است. جنس هر یک از مایع‌های A، B و C درون استوانه را مشخص کنید.

چون چگالی جیوه از همه بیشتر است پایین‌تر از بقیه قرار می‌گیرد. چون چگالی آب از روغن بیشتر است پایین‌تر از روغن قرار می‌گیرد. چون چگالی روغن از همه کمتر است بالاتر از سایر مایعات قرار می‌گیرد.

C جیوه - B آب - A روغن

پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۱

۱-۱ و ۱-۲ فیزیک: دانش بنیادی و مدل سازی در فیزیک

۱) در چه صورت یک مدل یا نظریهٔ فیزیکی بازنگری می‌شود؟

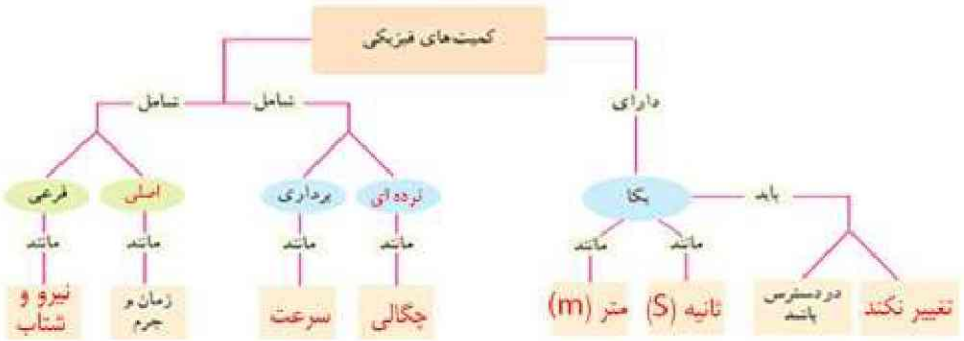
نتایج آزمایش های جدید ممکن است منجر به بازنگری مدل یا نظریه ای شود یا حتی ممکن است نظریه ای جدید جایگزین آن شود.

۲) فرآیند مدل‌سازی در فیزیک را با ذکر یک مثال توضیح دهید.

برای مثال در بررسی حرکت اجسام در قرقره‌ها از جرم نخ و قرقره و نیروی اصطکاک بین نخ و قرقره صرف نظر کرده و فقط نیروی وزن اجسام را در حرکت در نظر می‌گیریم.

۱-۳ و ۱-۴ اندازه گیری و کمیت‌های فیزیکی و اندازه گیری و دستگاه بین‌المللی یکاها

۳) نقشهٔ مفهومی زیر را کامل کنید.



۴) سعی کنید با نگاه کردن، طول برخی از اجسامی را که در محیط اطرافتان هستند، بر حسب سانتی‌متر یا متر برآورد کنید. سپس طول آنها را با خط‌کش یا متر اندازه بگیرید. برآوردهای شما تا چه حد درست بوده‌اند؟

تخمین امری تجربی است و با افزایش مهارت تخمین می‌توان برآوردهای بهتری انجام داد.

	طول میز معلم	طول یک خودکار	طول کلاس
اندازه برآورد شده	۱۲۰ cm	۱۶ cm	۶ m
اندازه واقعی	۱۳۵ cm	۱۳ cm	۶ / ۳ m

۵) جرم یک سوزن ته‌گرد را چگونه می‌توان با یک ترازوی آشپزخانه اندازه‌گیری کرد؟

برای مثال تعداد ۵۰ سوزن را بر روی ترازوی آشپزخانه قرار داده و جرم آنها را اندازه‌گیری می‌کنیم. اگر جرم قرائت شده با ترازو را به ۵۰ تقسیم کنیم، جرم هر سوزن به دست می‌آید.

۶) گالیله در برخی از کارهایش از ضربان نبض خود به عنوان زمان‌سنج استفاده کرد. شما نیز چند پدیده‌ی تکرار شونده در طبیعت را نام ببرید که می‌توان به عنوان ابزار اندازه‌گیری زمان به کار روند.

گردش زمین به دور خود، گردش زمین به دور خورشید، گردش ماه به دور زمین، جزر و مد دریاها

۷) الف) هر میکرو قرن، تقریباً چند دقیقه است؟

$$۱۰^{-۶}\,ccn \times (\frac{۱۰۰\,ycar}{۱\,ccn})(\frac{۳۶۵\,day}{۱\,ycar})(\frac{۲۴h}{۱\,day})(\frac{۶۰\,\min}{۱h}) = ۱۰^{-۶} \times ۱۰۰ \times ۳۶۵ \times ۲۴ \times ۶۰\,\min = ۵۲۵۶۰۰۰۰ \times ۱۰^{-۶}\,\min = ۵۲ / ۵۶\,\min$$

ب) یک میلیارد ثانیه‌ی دیگر، تقریباً چند سال پیرتر می‌شوید؟

$$۱۰۰۰۰۰۰۰۰۰s = ۱۰^۹ s = (۱۰^۹ s)(\frac{۱\min}{۶۰s})(\frac{۱h}{۶۰\min})(\frac{۱day}{۲۴h})(\frac{۱ycar}{۳۶۵\,day}) = \frac{۱۰^۹}{۶۰\times۶۰\times۲۴\times۳۶۵} \simeq ۳۱\,ycar$$

۸) هکتار از جمله یکاهای متداول مساحت است. هر هکتار برابر ۱۰ هزار متر مربع است.

الف) اگر زمین را کره‌ای یکنواخت به شعاع ۶۴۰۰ کیلومتر در نظر بگیریم (شکل روبه‌رو)، مساحت آن چند هکتار است؟

$$\pi \simeq ۳ \quad , \quad r = ۶۴۰۰km = ۶۴۰۰\times۱۰^۳ m = ۶۴\times۱۰^۵ m$$

$$S = ۴\pi r^۲ = ۴\times۳\times(۶۴\times۱۰^۵)^۲ = ۴\times۳\times۶۴^۲\times۱۰^{۱۰} = ۴۹۱۵۲\times۱۰^{۱۰} m^۲$$

$$۴۹۱۵۲\times۱۰^{۱۰} m^۲ = (۴۹۱۵۲\times۱۰^{۱۰} m^۲)(\frac{۱\ hcctarc}{۱۰^۴\ m^۲}) = ۴۹۱۵۲\times۱۰^۶ \text{ هکتار}$$

ب) تحقیق کنید مساحت کل سرزمین ایران، شامل خشکی و دریا، چند هکتار است؟ این مساحت چند درصد از مساحت کره‌ی زمین است؟

$$۱۶۴۸۱۹۵km^۲ = ۱۶۴۸۱۹۵\times۱۰^۶ m^۲ = (۱۶۴۸۱۹۵\times۱۰^۶ m^۲)(\frac{۱\ hcctarc}{۱۰^۴ m^۲}) = ۱۶۴۸۱۹۵\times۱۰^۲ \text{ هکتار} \quad \text{مساحت سرزمین ایران}$$

$$\frac{\text{مساحت ایران}}{\text{مساحت کره زمین}} = \frac{۱۶۴۸۱۹۵\times۱۰^۶}{۴۹۱۵۲\times۱۰^{۱۰}} = \frac{x}{۱۰۰} \rightarrow x = \frac{۱۶۴۸۱۹۵\times۱۰^۶\times۱۰۰}{۴۹۱۵۲\times۱۰^{۱۰}} \simeq ۳۳\times۱۰^{-۲} = ۰/۳۳ \text{ درصد}$$

۹) یکی از بزرگ‌ترین الماس‌های شناخته شده در ایران، دریای نور به جرم ۱۸۲ قیراط است. این الماس به رنگ کمیاب صورتی شفاف بوده و در خزانه‌ی جواهرات ملی نگه‌داری می‌شود. کوه نور نیز یکی دیگر از الماس‌های مشهور جهان است که جرمی حدود ۱۰۸ قیراط دارد و هم اکنون در برج لندن نگه‌داری می‌شود. با توجه به اینکه هر قیراط معادل ۲۰۰ میلی‌گرم است، جرم دریای نور و کوه نور بر حسب گرم چقدر است؟

$$\text{کوه نور: ۱۸۲ قیراط} = ۱۸۲\times(\frac{۲۰۰mg}{۱})(\frac{۱g}{۱۰^۳ mg}) = ۳۶/۴\,g$$

$$\text{دریای نور: ۱۰۸ قیراط} = ۱۰۸(\frac{۲۰۰mg}{۱})(\frac{۱g}{۱۰^۳ mg}) = ۲۱/۶g$$

۱۰) سریع‌ترین رشد گیاه متعلق به گیاهی موسوم به هِسپِرویوکا است که در مدت ۱۴ روز، ۳/۷ متر رشد می‌کند. (شکل روبه‌رو). آهنگ رشد این گیاه بر حسب میکرومتر بر ثانیه چقدر است؟

$$\text{مقدار رشد: } ۳/۷\,m = (۳/۷m)(\frac{۱۰^۶\,\mu m}{۱m}) = ۳/۷\times۱۰^۶\,\mu m$$

$$\text{۱ روز} = ۸۶۴۰۰s \qquad \text{زمان (۱۴ روز)} \ ۸۶۴۰۰\times۱۴ = ۱۲۰۹۶۰۰s$$

$$\text{آهنگ رشد} = \frac{\text{مقدار رشد}}{\text{زمان}} = \frac{۳/۷\times۱۰^۶}{۱۲۰۹۶۰۰} = ۳/۰۶\,\mu m/s$$

۱۱) دستگاه بریتانایی یکاها، دستگاهی است که در برخی از کشورها مانند آمریکا و انگلستان همچنان استفاده می‌شود. یکای اصلی طول در این دستگاه پا (فُوت) و یکای کوچک‌تر آن اینچ است به طوری که $۱ft = ۱۲in$ است. ارتفاع هواپیمایی را که در فاصله‌ی ۳۰۰۰۰ پا از سطح آزاد دریاها در حال پرواز است بر حسب متر به دست آورید. هر اینچ ۲/۵۴۰ سانتی‌متر است.

$$۳۰۰۰۰ft = (۳۰۰۰۰ft)(\frac{۱۲in}{۱ft})(\frac{۲/۵۴۰cm}{۱in})(\frac{۱m}{۱۰۰cm}) = ۹۱۴۴m$$

۱۲) قدیمی‌ترین سنگ‌نوشته‌ی حقوق بشر که تاکنون یافت شده است به حدود ۲۵۵۰ سال پیش باز می‌گردد که به فرمان کورش، پادشاه ایران در دوره‌ی هخامنشیان نوشته شده است. مرتبه‌ی بزرگی سن این سنگ‌نوشته بر حسب ثانیه چقدر است؟

$$۲۵۵۰ \times ۳۶۵ \times ۲۴ \times ۳۶۰۰s = ۲/۵۵۰ \times ۱۰^{۳} \times ۳/۶۵ \times ۱۰^{۲} \times ۲/۴ \times ۱۰^{۱} \times ۳/۶ \times ۱۰^{۳}$$
$$= ۸۰/۴ \times ۱۰^{۹} = ۸/۰۴ \times ۱۰^{۱۰}s \simeq ۱۰^{۱} \times ۱۰^{۱۰}s = ۱۰^{۱۱}s$$

۱۳) تندی شناورها در دریا بر حسب یکایی به نام گره بیان می‌شود. هر گره دریایی برابر ۰/۵۱۴۴ متر بر ثانیه است. تاریخچه‌ی گره دریایی به حدود ۴۰۰ سال پیش باز می‌گردد، زمانی که ملوانان تندی متوسط کشتی خود را با استفاده از وسیله‌ای به نام تندی‌سنج‌شناور اندازه می‌گرفتند. این وسیله، شامل طنابی بود که در فواصل مساوی، گره‌ای روی آن زده شده بود. در حین کشیده شدن طناب به دریا، تعداد گره‌های رد شده از دست ملوان در یک زمان معیّن شمرده می‌شود و تندی متوسط کشتی را به دست می‌آوردند. پس از آن، ملوان‌ها از واژه‌ی «گره» برای تندی متوسط کشتی استفاده می‌کنند.

الف) اگر یک کشتی حمل کالا با تندی ۱۴ گره از بندر شهید رجایی به طرف جزیره‌ی لاوان حرکت کند، تندی آن را بر حسب کیلومتر بر ساعت به دست آورید.

تندی کشتی بر حسب m/s :
$$۱۴ \text{ گره} = (۱۴)(\frac{۰/۵۱۴۴m/s}{۱}) = ۷/۲۰۱۶\frac{m}{s}$$

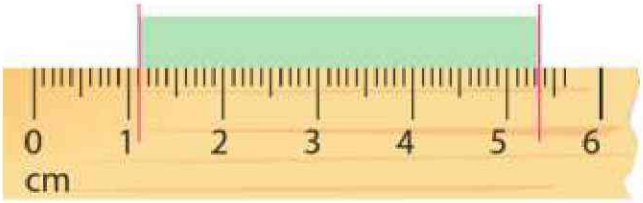
تندی کشتی بر حسب km/h :
$$۷/۲۰۱۶\frac{m}{s} = (۷/۲۰۱۶\frac{m}{s})(\frac{۳۶۰۰s}{۱h})(\frac{۱km}{۱۰۰۰m}) = ۲۵/۹۶\frac{km}{h}$$

ب) مایل، یکی دیگر از یکاهای متداول طول در دستگاه بریتانیایی است. یک مایل دریایی برابر ۱۸۵۲ متر است. تندی کشتی قسمت (الف) را بر حسب مایل بر ساعت به دست آورید.

$$۷/۲۰۱۶\frac{m}{s} = (۷/۲۰۱۶\frac{m}{s})(\frac{۱milc}{۱۸۵۲m})(\frac{۳۶۰۰s}{۱h}) \simeq ۱۴\frac{milc}{h}$$

۱-۵ اندازه‌گیری: خطا و دقت

۱۴) دانش‌آموزی برای اندازه‌گیری طول میله‌ای به کمک یک خط‌کش میلی‌متری، مطابق شکل زیر عمل کرده است. طول میله را بر حسب میلی‌متر، سانتی‌متر و متر گزارش کنید. در گزارش خود رقم حدسی (غیر قطعی) و خطای خط‌کش را مشخص کنید.



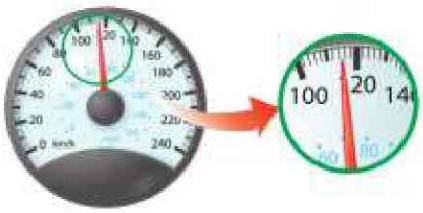
طول میله: $۴۲/۳\,mm$, $۴/۲۳\,cm$, $۰/۰۴۲۳m$

رقم غیر قطعی ۳ و خطای خط‌کش $\pm ۰/۵mm$ است.

۱۵) شکل زیر، صفحه‌ی تندی‌سنج یک خودرو را نشان می‌دهد. تندی خوردو چند کیلومتر بر ساعت است؟ رقم غیرقطعی و خطای تندی‌سنج را در گزارش مشخص کنید.

تندی خودرو $۱۱۵ \pm ۱ km/h$ است.

رقم غیر قطعی ۵ و خطای تندی سنج $\pm ۱ km/h$ است.



۱۶) شکل (الف) و (ب) به ترتیب یک ریز سنج و یک کولیس رقمی را نشان می‌دهد. رقم غیرقطعی و خطای هر یک از این وسیله‌ها را مشخص کنید.

الف) رقم غیر قطعی ۳ و خطای وسیله $\pm ۰/۰۰۱mm$ است.

ب) رقم غیرقطعی ۷ و خطای وسیله $\pm ۰/۰۱mm$ است.

۱-۶ تخمین مرتبه‌ی بزرگی در فیزیک

۱۷) الف) مرتبه‌ی بزرگی تعداد نفس‌هایی را که یک شخص در طول عمرش می‌کشد، تخمین بزنید.

متوسط تنفس هر شخص ۱۵ بار در دقیقه است، بنابراین مرتبه بزرگی تعداد تنفس شخص در هرثانیه برابر است با:

تخمین مرتبه بزرگی تعداد تنفس در هر ثانیه $x = \frac{۱۵}{۶۰} = ۰/۲۵ = ۲/۵ \times ۱۰^{-۱} \sim ۱۰^{۰} \times ۱۰^{-۱} \sim ۱۰^{-۱}$

تخمین مرتبه بزرگی عمر انسان (۷۲ سال) $۷/۲ \times ۱۰^{۱} \sim ۱۰^{۱} \times ۱۰^{۱} \sim ۱۰^{۲} year$

تخمین مرتبه بزرگی یک سا بر حسب ثانیه $۳ \times ۱۰^{۷} s \sim ۱۰^{۰} \times ۱۰^{۷} \sim ۱۰^{۷} s$

پس تعداد تنفس یک شخص در طول عمرش را به صورت زیر می‌توان تخمین زد:

تنفس $N \sim (۱۰^{۲} year)(\frac{۱۰^{۷} s}{۱ year})(\frac{۱۰^{-۱}}{۱ s}) \sim ۱۰^{۲} \times ۱۰^{۷} \times ۱۰^{-۱} \sim ۱۰^{۸}$

ب) مرتبه‌ی بزرگی تعداد پلک‌هایی را که چشم یک شخص در طول عمرش می‌زند، تخمین بزنید.

میانگین تعداد پلک زدن هر شخص ۳۰ بار در دقیقه است بنابراین مرتبه بزرگی تعداد پلک شخص در هر ثانیه برابر است با:

تخمین مرتبه بزرگی تعداد پلک زدن در هر ثانیه $x = \frac{۳۰}{۶۰} = ۰/۵ = ۵ \times ۱۰^{-۱} \sim ۱۰^{۱} \times ۱۰^{-۱} \sim ۱۰^{۰}$

پس تعداد پلک زدن یک شخص در طول عمرش را می‌توان به صورت زیر تخمین زد:

$$N \sim (۱۰^{۲}\,ycar)(\frac{۱۰^{۷}\,s}{۱\,ycar})(\frac{۱۰^{۰}}{۱\,s}) \sim ۱۰^{۲} \times ۱۰^{۷} \times ۱۰^{۰} \sim ۱۰^{۹}$$ پلک

۱۸) مرتبه‌ی بزرگی جرم آب اقیانوس‌ها را تخمین بزنید.

در مسئله (۸) مساحت کره زمین را محاسبه کردیم که برابر $۴۹۱۵۲ \times ۱۰^{۱۰} m^{۲}$ شد. حدود ۷۱ درصد کره زمین را اقیانوس ها در برگرفته‌اند و عمق متوسط اقیانوس ها ۳۶۸۲ متر است. بنابراین حجم کل آب اقیانوس‌ها را می‌توان به صورت زیر تخمین زد:

تخمین مرتبه بزرگی مساحت زمین $۴۹۱۵۲ \times ۱۰^{۱۰} m^{۲} = ۴ / ۹۱۵۲ \times ۱۰^{۴} \times ۱۰^{۱۰} m^{۲} \simeq ۱۰^{۰} \times ۱۰^{۴} \times ۱۰^{۱۰} m^{۲} = ۱۰^{۱۴} m^{۲}$

تخمین مرتبه بزرگی درصد آب ها $۰ / ۷۱ = ۷ / ۱ \times ۱۰^{-۱} \simeq ۱۰^{۱} \times ۱۰^{-۱} = ۱۰^{۰}$

تخمین مرتبه بزرگی عمق متوسط اب اقیانوس‌ها $۳۶۸۲ m = ۳ / ۶۸۲ \times ۱۰^{۳} m \simeq ۱۰^{۰} \times ۱۰^{۳} m = ۱۰^{۳} m$

تخمین مرتبه بزرگی حجم آب اقیانوس‌ها $V = ۱۰^{۱۴} m^{۲} \times ۱۰^{۰} \times ۱۰^{۳} m = ۱۰^{۱۷} m^{۳}$

با در نظر گرفتن $\rho = ۱۰۵۰ \frac{kg}{m^{۳}}$ آب دریا، داریم:

مرتبه‌ی بزرگی چگالی آب $\rho = ۱۰۵۰ \frac{kg}{m^{۳}} = ۱ / ۰۵۰ \times ۱۰^{۳} \frac{kg}{m^{۳}} \sim ۱۰^{۰} \times ۱۰^{۳} \sim ۱۰^{۳} \frac{kg}{m^{۳}}$

مرتبه بزرگی جرم آب اقیانوس‌ها $\rho = \frac{m}{V} \rightarrow m = \rho V = ۱۰^{۳} \times ۱۰^{۱۷} = ۱۰^{۲۰} kg$

۷-۱ چگالی

۱۹) الف) قطعه‌ای فلزی به شما داده شده است و ادعا می‌شود که از طلای خالص ساخته شده است. چگونه می‌توانید درستی این ادعا را بررسی کنید؟

جرم قطعه و حجم آن را اندازه‌گیری می‌کنیم و با استفاده از رابطه $\rho = \frac{m}{V}$ و با داشتن جرم و حجم، چگالی جسم را اندازه‌گیری می‌کنیم. چگالی جسم را با چگالی طلای خالص ($\rho = ۱۹۳۲۰ \frac{kg}{m^{۳}}$) مقایسه می‌کنیم. اگر هر دو یکسان بودند، جسم از طلای خالص است.

ب) بزرگ‌ترین شمش طلا با حجم $۱ / ۵۷۳ \times ۱۰^{۴} cm^{۳}$ و جرم $۲۵۰ / ۰ kg$ توسط یک شرکت ژاپنی ساخته شده است. (شکل روبه‌رو). چگالی این شمش طلارا به دست آورید.

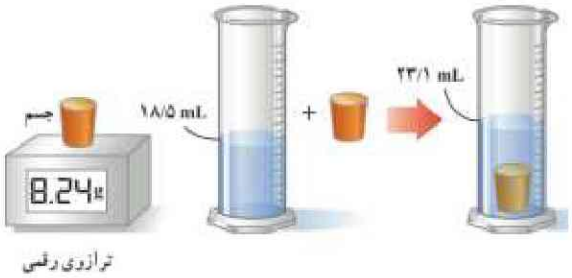
$$m = ۲۵۰ / ۰ kg \quad , \quad V = ۱ / ۵۷۳ \times ۱۰^{۴} cm^{۳} = ۱ / ۵۷۳ \times ۱۰^{-۲} m^{۳}$$

$$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow \rho = \frac{۲۵۰ / ۰ kg}{۱ / ۵۷۳ \times ۱۰^{-۲} m^{۲}} = ۱۵۸۹۳ \frac{kg}{m^{۳}}$$

پ) نتیجه‌ی بدست آمده در قسمت (ب) را با چگالی طلا در جدول ۱-۸ مقایسه کنید و دلیل تفاوت این دو عدد را بیان کنید.

اطلاعات جدول ۱-۸، چگالی طلای خالص در دمای صفر درجه و فشار یک اتمسفر نشان می‌دهد. عیار طلا و افزایش دما و فشار، روی حجم و چگالی اثر دارد.

۲۰) برای تعیین چگالی یک جسم جامد، ابتدا جرم و حجم آن را مطابق شکل زیر پیدا کرده‌ایم. با توجه به داده‌های روی شکل، چگالی جسم را بر حسب g / L و $g / cm^{۳}$ حساب کنید.



ترازوی رقمی

برای محاسبه چگالی جسم بر حسب g/L باید جرم جسم بر حسب گرم و حجم جسم بر حسب لیتر باشد، بنابراین:

$$m = ۸/۲۴g$$

$$V = (۲۳/۱ - ۱۸/۵)mL = (۴/۶mL)(\frac{۱۰^{-۳}L}{۱mL}) = ۴/۶ \times ۱۰^{-۳}L$$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{۸/۲۴g}{۴/۶ \times ۱۰^{-۳}L} = ۱/۷۹ \times ۱۰^{۳}\, g/L$$

$$\rho = ۱/۷۹ \times ۱۰^{۳}\, \frac{g}{L}(\frac{۱L}{۱۰۰۰cm^{۳}}) = ۱/۷۹\frac{g}{cm^{۳}}$$

۲۱) الف) ستاره‌های کوتوله‌ی سفید بسیار چگال هستند و چگالی آنها در SI حدود ۱۰۰ میلیون است. اگر شما یک قوطی کبریت از ماده‌ی تشکیل دهنده‌ی این ستاره‌ها در اختیار داشتید، جرم آن چند کیلوگرم می‌شد؟ ابعاد و حجم قوطی کبریت را خودتان تخمین بزنید.

ابعاد قوطی کبریت را ۵، ۳/۴ و ۱/۲ سانتی‌متر فرض می‌کنیم:

$$V = ۱/۲ \times ۳/۰ \times ۵ = ۱۸cm^{۳} = ۱۸ \times ۱۰^{-۶}m^{۳} \quad , \quad \rho = ۱۰۰ \times ۱۰^{۶}\, \frac{kg}{m^{۳}} \quad , \quad m = ?$$

$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow m = \rho V = ۱۰۰ \times ۱۰^{۶} \times ۱۸ \times ۱۰^{-۶} = ۱۸۰۰kg$$

ب) اگر جمعیت کره‌ی زمین ۷ میلیارد نفر، جرم میانگین هر نفر ۶۰ کیلوگرم و ماده‌ی تشکیل دهنده‌ی انسان‌ها از جنس ستاره‌های کوتوله‌ی سفید فرض شود (فرضی ناممکن!)، ابعاد این اتاق چقدر باشد تا همه‌ی انسان‌ها در آن جای گیرند؟

جرم ۷ میلیارد نفر: $V = ?$, $m = ۷ \times ۱۰^{۹} \times ۶۰ = ۴۲۰ \times ۱۰^{۹} = ۴۲ \times ۱۰^{۱۰}kg$, $\rho = ۱۰۰ \times ۱۰^{۶}\, \frac{kg}{m^{۳}}$

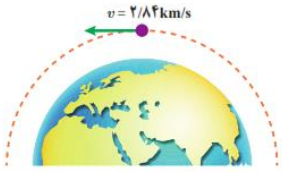
$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow V = \frac{m}{\rho} = \frac{۴۲ \times ۱۰^{۱۰}}{۱۰۰ \times ۱۰^{۶}} = \frac{۴۲ \times ۱۰^{۱۰}}{۱۰^{۸}} = ۴۲۰۰m^{۳}$$

حجم اتاق ← ابعاد اتاق : $۶۰ \times ۷ \times ۱۰$

فصل دوم: کار، انرژی و توان

تمرین ۲-۱ ..... صفحه ۳۰

ماهواره‌ای به جرم $۲۲۴kg$، با تندی ثابت $۲/۸۴\,km/s$ دور زمین می‌چرخد. انرژی جنبشی ماهواره را بر حسب ژول و مگاژول حساب کنید.



$$m=۲۲۴kg\ ,\ v=۲/۸۴\frac{km}{s}=۲/۸۴\times۱۰^{۳}\frac{m}{s}\ ,\ K=?$$

$$K=\frac{۱}{۲}mv^{۲}=\frac{۱}{۲}\times۲۲۴\times(۲/۸۴\times۱۰^{۳})^{۲}=\frac{۱}{۲}\times۲۲۴\times(۲/۸۴)^{۲}\times۱۰^{۶}\approx۹۰۳\times۱۰^{۶}=۹/۰۳\times۱۰^{۲}MJ$$

تمرین ۲-۲ ..... صفحه ۳۰

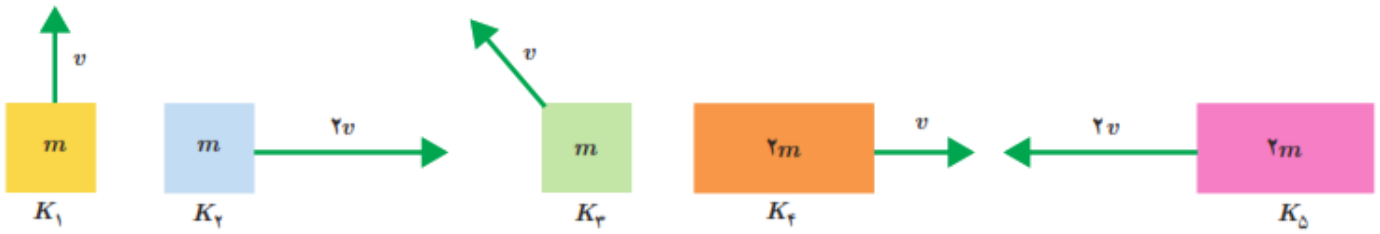
جرم خودرویی به همراه راننده‌اش $۸/۴۰\times۱۰^{۲}kg$ است (شکل زیر). تندی خودرو در دو نقطه از مسیرش روی شکل زیر داده شده است. تغییرات انرژی جنبشی خودرو ($\Delta K=K_{۲}-K_{۱}$) را بین این دو نقطه حساب کنید.

$$v_{۱}=۱۸\frac{m}{s}\ ,\ v_{۲}=۲۵\frac{m}{s}\ ,\ m=۸۴۰kg$$

$$\Delta K=K_{۲}-K_{۱}=\frac{۱}{۲}mv_{۲}^{۲}-\frac{۱}{۲}mv_{۱}^{۲}=\frac{۱}{۲}m(v_{۲}^{۲}-v_{۱}^{۲})=\frac{۱}{۲}\times۸۴۰\times(۲۵^{۲}-۱۸^{۲})=۱/۲۶\times۱۰^{۵}J$$

پرسش ۲-۱ ..... صفحه ۳۱

انرژی جنبشی هر یک از اجسام زیر را با هم مقایسه کنید و مقدار آن را به ترتیب از کمترین تا بیشترین بنویسید.



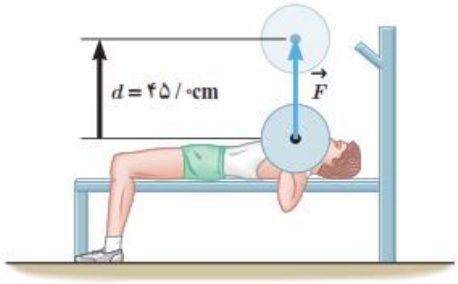
$$K_{۱}=\frac{۱}{۲}mv^{۲}\ ,\ K_{۲}=\frac{۱}{۲}m(۲v)^{۲}=\frac{۴mv^{۲}}{۲}=۲mv^{۲}\ ,\ K_{۳}=\frac{۱}{۲}mv^{۲}$$

$$K_{۴}=\frac{۱}{۲}(۲m)v^{۲}=\frac{۲mv^{۲}}{۲}=mv^{۲}\ ,\ K_{۵}=\frac{۱}{۲}(۲m)(۲v)^{۲}=\frac{۸mv^{۲}}{۲}=۴mv^{۲}$$

$$\rightarrow K_{۱}=K_{۳}<K_{۴}<K_{۲}<K_{۵}$$

تمرین ۲-۳ ..... صفحه ۳۳

ورزشکاری وزنه‌ای به جرم $۶۸/۰kg$ را به طور یکنواخت، $۴۵/۰cm$ بالای سر خود می‌برد (شکل روبه‌رو). کاری که این ورزشکار روی وزنه انجام داده است را محاسبه کنید. اندازه شتاب گرانش زمین را $g=۹/۸۱N/kg$ بگیرید.



$m = ۶۸kg \ , \ d = ۴۵cm = ۰/۴۵m \ , \ g = ۹/۸ \frac{N}{kg}$

نیرویی که ورزشکار به وزنه وارد می‌کند، برابر با وزن این وزنه است، بنابراین:

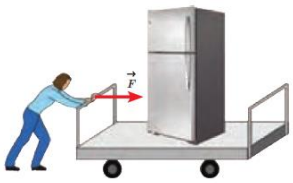
$F = mg = ۶۸ \times ۹/۸ = ۶۶۶N$

نیرو در جهت جابه‌جایی است، بنابراین کار ورزشکار روی وزنه برابر است با:

$W = Fd = ۶۶۶ \times ۰/۴۵ = ۲۹۹/۷J$

تمرین ۲-۴ صفحه ۳۳

شکل روبه‌رو شخصی را در حال هُل دادن یک گاری حمل بار روی سطحی هموار و بدون اصطکاک با نیرویی به بزرگی $F = ۶۶/۰N$ نشان می‌دهد. اگر گاری $۱۸/۴m$ در جهت نیرو جابه‌جا شود، کاری را که شخص روی گاری انجام می‌دهد، چقدر است؟



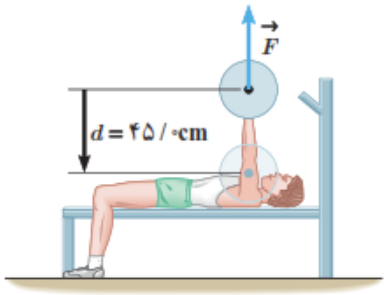
چون نیرو در جهت جابه‌جایی است کار انجام شده برابر است با:

$F = ۶۶N \ , \ d = ۱۸/۴m$

$W = Fd = ۶۶ \times ۱۸/۴ = ۱۲۱۴/۴J \rightarrow W = ۱/۲۱ \times ۱۰^{۳} J$

تمرین ۲-۵ صفحه ۳۵

تمرین ۲-۳ را دوباره ببینید. کار انجام شده توسط ورزشکار را روی وزنه برای حالتی حساب کنید که ورزشکار با وارد کردن همان نیروی $\vec{F}$، وزنه را به آرامی پایین می‌آورد (شکل روبه‌رو). توضیح دهید که در این دو حالت، چه تفاوتی بین مقادیر به دست آمده برای کار انجام شده توسط ورزشکار وجود دارد؟



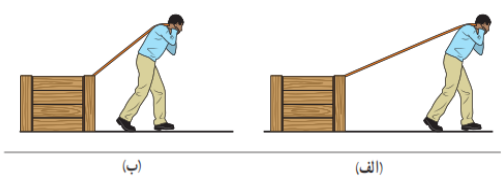
در این حالت جابجایی به پایین و نیروی ورزشکار رو به بالا است و زاویه بین نیرو و جابجایی برابر $\theta = ۱۸۰^{\circ}$ است. پس کار انجام شده توسط ورزشکار برابر است با:

$W = Fd\cos\theta = ۶۶۶ \times ۰/۴۵ \times \cos ۱۸۰^{\circ} = -۲۹۹/۷J$

توجه کنید که وقتی ورزشکار وزنه را بالا می برد، کار انجام شده توسط ورزشکار $۲۹۹/۷J$ است، یعنی به وزنه انرژی داده شده ولی زمانی که ورزشکار وزنه را پایین می آورد، کار انجام شده توسط ورزشکار $-۲۹۹/۷J$ است، یعنی از وزنه انرژی گرفته شده است.

پرسش ۲-۲ صفحه ۳۵

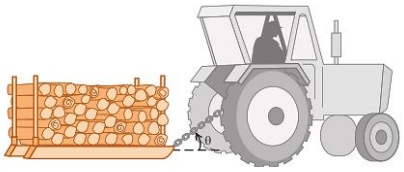
شخصی جسمی را یک بار با طنابی بلند (شکل الف) و بار دیگر با طنابی کوتاه‌تر (شکل ب) روی سطحی هموار می‌کشد. اگر جابجایی و کاری که این شخص در هر دو بار روی جعبه انجام می‌دهد، یکسان باشد، توضیح دهید در کدام حالت، شخص نیروی بزرگ‌تری وارد کرده است. اصطکاک را در هر دو حالت ناچیز فرض کنید.



رابطهٔ کار برابر $W = Fd\cos\theta$ است و کار و جابجایی در هر دو مورد برابر است و در حالت (ب) طول طناب کوتاه تر (زاویهٔ θ بزرگ‌تر) و در حالت (الف) طول طناب بلندتر (زاویهٔ θ کوچک‌تر) است. هر چه θ بزرگ تر باشد، $\cos\theta$ کوچک تر است و در نتیجه نیروی بیشتری نیاز است. بنابراین در حالت (ب) نیروی بیشتری نیاز است.

تمرین ۲-۶ ..... صفحه ۳۶

کشاورزی توسط تراکتور، سورتمه‌ای پر از هیزم را در راستای یک زمین هموار به اندازه‌ی $۲۳۵m$ جابه‌جا می‌کند (شکل زیر). وزن کل سورتمه و بار آن $mg = ۱/۴۷\times۱۰^{۴}N$ است. تراکتور نیروی ثابت $F_{۱} = ۵/۰۰\times۱۰^{۳}N$ را در زاویه‌ی $\theta = ۴۵^{\circ}$ بالای افق به سورتمه وارد می‌کند. نیروی اصطکاک جنبشی $f_k = ۳/۵۰\times۱۰^{۳}N$ است که بر خلاف جهت حرکت به سورتمه وارد می‌شود. کار کل انجام شده روی سورتمه را به دو روش محاسبه کنید.

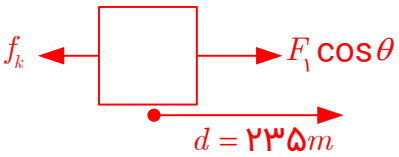


$(\cos۴۵^{\circ} = \frac{\sqrt{۲}}{۲}\ ,\ \cos۱۸۰^{\circ} = -۱)$

روش اول: کار هر یک از نیروها را در این جابه‌جایی به دست آورده و حاصل جمع آنها را محاسبه می کنیم:

$$\left.\begin{aligned} W_{۱} &= (F_{۱}\cos۴۵^{\circ})d = ۵\times۱۰^{۳}\times\frac{\sqrt{۲}}{۲}\times۲۳۵ \approx ۸۳۰۷۲۵J \\ W_{۲} &= (f_k\cos۱۸۰^{\circ})d = ۳/۵\times۱۰^{۳}\times(-۱)\times۲۳۵ \approx -۸۲۲۵۰۰J \end{aligned}\right\} \rightarrow W_t = W_{۱} + W_{۲} = ۸۳۰۷۲۵ - ۸۲۲۵۰۰ = ۸۲۲۵J$$

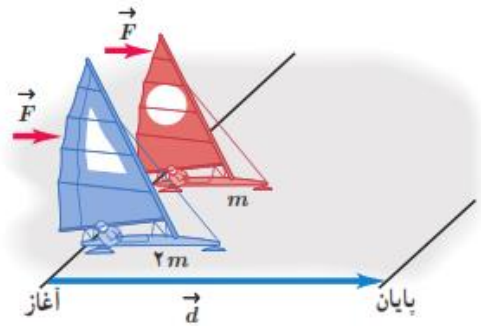
روش دوم: اندازه نیروی خالص در جهت جابجایی را محاسبه کرده و کار آن را به دست می آوریم:



$$F_t = F_{۱}\cos\theta - f_k = ۵\times۱۰^{۳}\times\cos۴۵^{\circ} - ۳/۵\times۱۰^{۳} = ۳۵۳۵ - ۳۵۰۰ \approx ۳۵N$$
$$W_t = F_t d = ۳۵\times۲۳۵ = ۸۲۲۵J \rightarrow W_t = ۸۲۲۵J$$

تمرین ۲-۷ ..... صفحه ۳۹

دو قایق بادبانی مخصوص حرکت روی سطوح یخزده، دارای جرم‌های m و ۲m روی دریاچه‌ی افقی و بدون اصطکاکی قرار دارند و نیروی ثابت و یکسان $\vec{F}$ با وزیدن باد به هر دو وارد می‌شود (شکل روبه‌رو). هر دو قایق از حال سکون شروع به حرکت می‌کنند و از خط پایان به فاصله‌ی d می‌گذرند. انرژی جنبشی و تندی قایق‌ها را درست پس از عبور از خط پایان، با هم مقایسه کنید.



چون نیرو F و جابه‌جایی d در هر دو قایق یکسان است، کار کل انجام شده در هر دو قایق برابر است:

$W_{۱} = W_{۲} \rightarrow$ کار کل قایق آبی (۲)= کار کل قایق قرمز (۱)

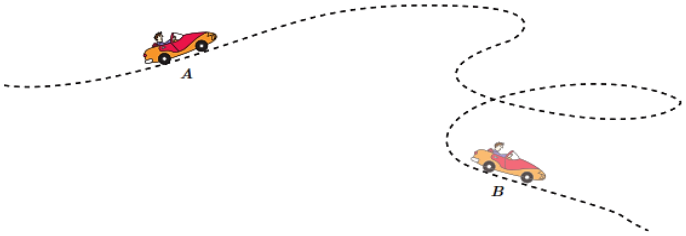
هر دو قایق از حالت سکون شروع به حرکت کرده اند، پس، انرژی جنبشی اولیه هر دو قایق صفر است:

$$K_{۱s} = K_{۲s} = ۰$$

$$\left.\begin{aligned} W_{۱} &= K_{۱e} - K_{۱s} = K_{۱e} = \frac{۱}{۲}mv_{۱e}^{۲} \\ W_{۲} &= K_{۲e} - K_{۲s} = K_{۲e} = \frac{۱}{۲}(۲m)v_{۲e}^{۲} \end{aligned}\right\} \xrightarrow{W_{۱}=W_{۲}} \frac{۱}{۲}mv_{۱e}^{۲} = \frac{۱}{۲}(۲m)v_{۲e}^{۲} \rightarrow v_{۱e} = \sqrt{۲}v_{۲e}$$

بنابراین سرعت قایق (۱)، $\sqrt{۲}$ برابر سرعت قایق (۲) است.

تمرین ۲-۸ صفحه ۴۰



جرم یک خودروی الکتریکی به همراه راننده‌اش $۸/۴\times۱۰^{۲}kg$ است. وقتی این خودرو از موقعیت A به موقعیت B می‌رود، کار کُل انجام شده روی خودرو $۷/۳۵\times۱۰^{۴}J$ است. اگر تندی خودرو در موقعیت A برابر $۵۴/۰km/h$ باشد، تندی آن در موقعیت B چند متر بر ثانیه است؟

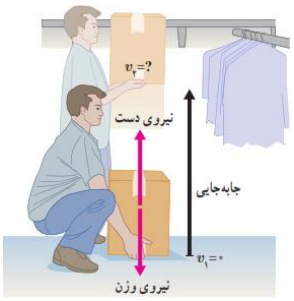
$$m=۸۴۰kg\ ,\ W_t=۷/۳۵\times۱۰^{۴}J=۷۳۵۰۰J\ ,\ V_A=۵۴km/h\times\frac{۱۰}{۳۶}=۱۵\frac{m}{s}\ ,\ V_B=?$$

$$W_t=K_B-K_A\rightarrow W_t=\frac{۱}{۲}mv_B^{۲}-\frac{۱}{۲}mv_A^{۲}\rightarrow ۷۳۵۰۰=\frac{۱}{۲}\times۸۴۰\times v_B^{۲}-\frac{۱}{۲}\times۸۴۰\times۱۵^{۲}$$

$$\rightarrow ۷۳۵۰۰=۴۲۰v_B^{۲}-۹۴۵۰۰\rightarrow ۷۳۵۰۰+۹۴۵۰۰=۴۲۰v_B^{۲}\rightarrow ۱۶۸۰۰۰=۴۲۰v_B^{۲}\rightarrow v_B^{۲}=\frac{۱۶۸۰۰۰}{۴۲۰}$$

$$\rightarrow v_B^{۲}=۴۰۰\rightarrow v_B=\sqrt{۴۰۰}=۲۰\rightarrow v_B=۲۰\frac{m}{s}$$

تمرین ۲-۹ صفحه ۴۰



شکل روبه‌رو شخصی را نشان می‌دهد که با وارد کردن نیروی ثابت $۵۲/۷N$، جعبه‌ای به جرم $۱۰/۴kg$ را از حال سکون در امتداد قائم جابجا می‌کند.

الف) کار انجام شده توسط شخص و کار انجام شده توسط نیروی وزن را روی جعبه در ارتفاع $۱/۴۰m$ به طور جداگانه حساب کنید.

$$m=۴/۱kg\ ,\ F=۵۲/۷N\ ,\ d=۱/۴m$$

نیروی دست در جهت جابجایی است، پس کار انجام شده توسط دست (شخص) برابر است با:

$$W_۱=Fd=۵۲/۷\times۱/۴=۷۳/۷۸J\rightarrow W_۱=۷۳/۸J$$

نیروی وزن جعبه در خلاف جهت جابه‌جایی است ($\theta=۱۸۰^\circ$)، کار انجام شده توسط نیروی وزن برابر است با:

$$W_۲=mgd\cos۱۸۰^\circ=۴/۱\times۱۰\times۱/۴\times(-۱)=-۵۷/۴J\rightarrow W_۲=-۵۷/۴J$$

ب) کار کل انجام شده روی جعبه تا ارتفاع $۱/۴۰m$ چقدر است؟

$$W_t=W_۱+W_۲=۷۳/۸-۵۷/۴=۱۶/۴J\rightarrow W_t=۱۶/۴J$$

پ) با استفاده از قضیه‌ی کار- انرژی جنبشی، تندی نهایی جعبه را در ارتفاع $۱/۴۰m$ حساب کنید.

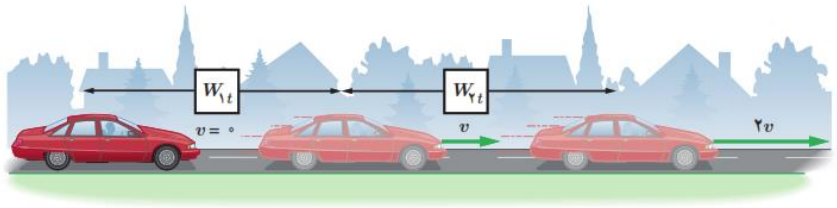
چون سرعت اولیه جعبه صفر است، انرژی جنبشی اولیه آن نیز صفر خواهد بود، بنابراین داریم:

$$W_t=K_۲-K_۱\rightarrow W_t=K_۲\rightarrow W_t=\frac{۱}{۲}mv_۲^{۲}\rightarrow ۱۶/۴=\frac{۱}{۲}\times۴/۱\times v_۲^{۲}\rightarrow ۱۶/۴=۲/۰۵v_۲^{۲}$$

$$v_۲^{۲}=\frac{۱۶/۴}{۲/۰۵}\rightarrow v_۲=\sqrt{۸}=۲\sqrt{۲}\frac{m}{s}$$

پرسش ۲-۳ صفحه ۴۰

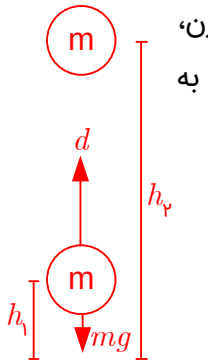
برای آنکه تندی خودرویی از حال سکون به ۷ برسد، باید کار کل W_{1t} روی آن انجام شود. همچنین برای آنکه تندی خودرو از ۷ به ۲۷ برسد، باید کار کل W_{2t} روی آن انجام شود (شکل زیر). نسبت W_{1t} / W_{2t} چقدر است؟



$$\frac{W_{1t}}{W_{2t}} = \frac{K_v - K_0}{K_{2v} - K_v} = \frac{\frac{1}{2}mv^2 - 0}{\frac{1}{2}m(2v)^2 - \frac{1}{2}mv^2} = \frac{\frac{1}{2}mv^2}{\frac{1}{2}m(4v^2 - v^2)} = \frac{v^2}{3v^2} = \frac{1}{3} \rightarrow \frac{W_{1t}}{W_{2t}} = \frac{1}{3}$$

تمرین ۲-۱۰ صفحه ۴۲

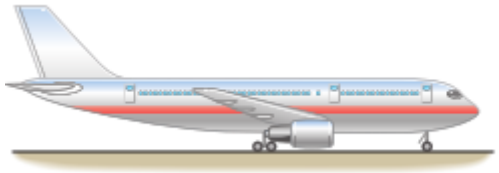
برای جسمی به جرم m که رو به بالا حرکت می‌کند و از سطح زمین دور می‌شود نشان دهید کار نیروی وزن، همچنان از رابطه‌ی ۲-۶ به دست می‌آید. فرض کنید که جسم به اندازه‌ی کافی نزدیک به سطح زمین بماند به گونه‌ای که وزن آن ثابت باشد.



$$W = mgd\cos 180^\circ = -mgd = -mg(h_2 - h_1) = -(mgh_2 - mgh_1)$$
$$= -(U_2 - U_1) \rightarrow W = -\Delta U$$

تمرین ۲-۱۱ صفحه ۴۴

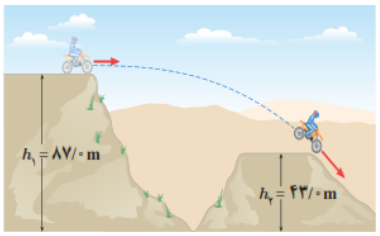
انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل گرانشی (نسبت به زمین) یک هواپیمای مسافربری به جرم $7/50 \times 10^4 kg$ که با تندی $864 km/h$ در ارتفاع $9/60 \times 10^3 m$ حرکت می‌کند چقدر است؟ مقدار این انرژی‌ها را با هم مقایسه کنید.



$$m = 7/5 \times 10^4 kg \ , \ v = 864 \frac{km}{h} \times \frac{10}{36} = 240 \frac{m}{s} \ , \ h = 9/6 \times 10^3 m \ , \ K = ? \ , \ U = ?$$
$$K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 7/5 \times 10^4 \times (240)^2 = 216000 \times 10^4 = 21/6 \times 10^8 J \rightarrow K = 21/6 \times 10^8 J$$
$$U = mgh = 7/5 \times 10^4 \times 10 \times 9/6 \times 10^3 = 72 \times 10^8 J \rightarrow U = 72/0 \times 10^8 J$$
$$U - K = 72 \times 10^8 - 21/6 \times 10^8 = 50/4 \times 10^8 \rightarrow U - K = 50/4 \times 10^8 J$$

در این ارتفاع انرژی پتانسیل گرانشی هواپیما $50/4 \times 10^8 J$ بیشتر از انرژی جنبشی آن است.

تمرین ۲-۱۲ ..... صفحه ٤٤



جرم موتورسواری با موتورش $۱۴۷kg$ است. این موتور سوار، پرشی مطابق شکل روبه‌رو انجام می‌دهد.

الف) انرژی پتانسیل گرانشی موتور سوار را روی هر یک از تپه‌ها حساب کنید ($۹/۸۱ m/s^۲$).

$$U_۱ = mgh_۱ = ۱۴۷ \times ۹/۸۱ \times ۸۷ = ۱۲۵۴۶۰/۰۹J \rightarrow U_۱ = ۱۲۵ \times ۱۰^۳ J$$
$$U_۲ = mgh_۲ = ۱۴۷ \times ۹/۸۱ \times ۴۳ = ۶۲۰۰۹/۰۱J \rightarrow U_۲ = ۶۲ \times ۱۰^۳ J$$

ب) کار نیروی وزن موتورسوار را در این جابجایی به دست آورید.

$$W = -\Delta U = -(U_۲ - U_۱) = -(۶۲ \times ۱۰^۳ - ۱۲۵ \times ۱۰^۳) = ۶۳ \times ۱۰^۳ J = W = ۶۳ \times ۱۰^۳ J$$ وزن

فعالیت ۲-۱ ..... صفحه ٤٦

یک فنر فلزی یا پلاستیکی نرم و نسبتاً بلند اختیار کنید. فنر را مطابق شکل روبه‌رو، از یک طرف آن در امتداد قائم آویزان کنید. ابتدا پیش‌بینی کنید که با رها کردن فنر چه اتفاقی می‌افتد؟ فنر را رها کنید و با دقت تمامی تبدیل‌های انرژی آن را بررسی کنید و نتیجه را به کلاس ارائه دهید. اگر دوربین با امکان ضبط و پخش آهسته‌ی فیلم در اختیار دارید، فیلمی از این فعالیت تهیه کنید و آن را به طور آهسته مشاهده کنید.

(۱) قبل از رها کردن، فنر انرژی پتانسیل کشسانی و گرانشی دارد.

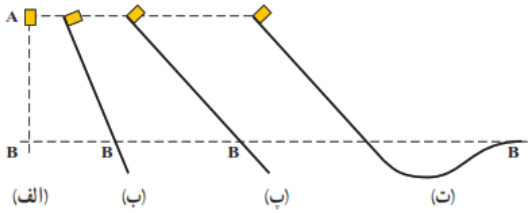
(۲) با رها کردن و باز شدن فنر، انرژی پتانسیل کشسانی و گرانشی آن کاهش و انرژی جنبشی آن افزایش می‌یابد تا به حالت تعادل برسد. در حالت تعادل بیشترین انرژی جنبشی را دارد.

(۳) با گذشتن فنر از حالت تعادل از انرژی جنبشی و پتانسیل گرانشی آن کاسته و به انرژی پتانسیل کشسانی آن افزوده می‌شود تا در نهایت فنر متوقف شده و باز می‌گردد.

(۴) در ادامه همین روند تکرار می‌شود.

پرسش ۲-٤ ..... صفحه ٤٧

شکل روبه‌رو، چهار وضعیت متفاوت را برای حرکت جسمی نشان می‌دهد. در وضعیت الف، جسم از حال سکون سقوط می‌کند و در سه وضعیت دیگر جسم از حال سکون روی مسیری بدون اصطکاک و رو به پایین حرکت می‌کند. تندی جسم را در نقطه‌ی B برای هر چهار وضعیت با هم مقایسه کنید.



چون مسیرها بدون اصطکاک هستند بنابراین بنا به قانون پایستگی انرژی مکانیکی کل انرژی مکانیکی هر حالت در نقطه A و B با هم برابر هستند. چون ارتفاع اولیه در هر چهار حالت برابر است، پس انرژی اولیه در هر چهار حالت برابر mgh_A است. نقاط B در هر چهار حالت نیز هم ارتفاع هستند، پس انرژی پتانسیل گرانشی در این نقطه نیز برای هر چهار حالت برابر است. بنابراین در هر چهار حالت انرژی جنبشی در نقطهٔ B با هم برابر است و تندی آنها نیز با هم برابر خواهد بود.

تمرین ۲-۱۳ صفحه ۴۸

در مثال ۲-۱۲ مبدأ انرژی پتانسیل گرانشی را در ارتفاع $h_۱$ بگیرید و بر این اساس تندی توپ را هنگام رسیدن به دهانه‌ی سبد حساب کنید.

$$h_۱=۰\ ,\ v_۱=۷/۲\frac{m}{s}\ ,\ h_۲=۳-۱/۹=۱/۱m\ ,\ v_۲=?$$

$$E_۱=E_۲\rightarrow K_۱+U_۱=K_۲+U_۲\rightarrow \frac{۱}{۲}mv_۱^۲+mgh_۱=\frac{۱}{۲}mv_۲^۲+mgh_۲$$

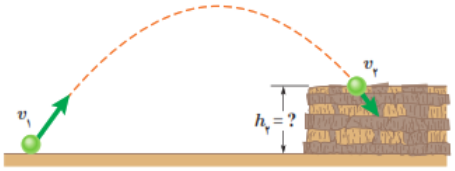
$$\rightarrow \frac{۱}{۲}v_۱^۲+gh_۱=\frac{۱}{۲}v_۲^۲+gh_۲\rightarrow \frac{۱}{۲}\times(۷/۲)^۲+۰=\frac{۱}{۲}v_۲^۲+۹/۸۱\times۱/۱$$

$$\rightarrow ۲۵/۹۲=\frac{۱}{۲}v_۲^۲+۱۰/۷۹\rightarrow ۲۵/۹۲-۱۰/۷۹=\frac{۱}{۲}v_۲^۲\rightarrow ۱۵/۱۳=\frac{۱}{۲}v_۲^۲\rightarrow v_۲^۲=۳۰/۲۶$$

$$\rightarrow v_۲=\sqrt{۳۰/۲۶}\approx ۵/۵\frac{m}{s}$$

اگر نقطهٔ دیگری را به عنوان مبدأ انرژی پتانسیل گرانشی در نظر بگیرید، تفاوتی در پاسخ ایجاد نمی شود.

تمرین ۲-۱۴ صفحه ۴۹



توپی مطابق شکل از سطح زمین با تندی $v_۱=۴۲/۰m/s$ به طرف صخره‌ای پرتاب می‌شود. اگر توپ با تندی $v_۲=۲۴/۰m/s$ به بالای صخره برخورد کند، ارتفاع $h_۲$ را به دست آورید. مقاومت هوا را هنگام حرکت توپ نادیده بگیرید.

$$v_۱=۴۲\frac{m}{s}\ ,\ h_۱=۰\ ,\ v_۲=۲۴\frac{m}{s}\ ,\ h_۲=?$$

$$E_۱=E_۲\rightarrow K_۱+U_۱=K_۲+U_۲\rightarrow \frac{۱}{۲}mv_۱^۲+mgh_۱=\frac{۱}{۲}mv_۲^۲+mgh_۲\rightarrow \frac{۱}{۲}v_۱^۲+gh_۱=\frac{۱}{۲}v_۲^۲+gh_۲$$

$$\rightarrow \frac{۱}{۲}\times۴۲^۲+۰=\frac{۱}{۲}\times۲۴+۹/۸۱\times h_۲\rightarrow ۸۸۲=۲۸۸+۹/۸۱h_۲\rightarrow ۸۸۲-۲۸۸=۹/۸۱h_۲$$

$$\rightarrow ۵۹۴=۹/۸۱h_۲\rightarrow h_۲=\frac{۵۹۴}{۹/۸۱}\approx ۶۰/۶m\rightarrow h_۲=۶۰/۶m$$

پرسش ۲-۴ صفحه ۴۹

شخصی توپ در حال حرکتی را با دست خود می‌گیرد (شکل روبه‌رو). پس از توقف توپ، انرژی جنبشی آن کجا رفته است؟

انرژی از بین نرفته است و به انرژی درونی توپ، دست و محیط تبدیل شده و سبب گرم‌تر شدن آنها می‌شود. در حقیقت این انرژی تلف شده است.

تمرین ۲-۱۵ صفحه ۵۱

توپی به جرم $۰/۴۵kg$ با تندی $v_۱=۸/۰m/s$ از نقطه‌ی A می‌گذرد. (شکل روبه‌رو). نیروی مقاومت هوا و نیروی اصطکاک در سطح تماس توپ با زمین، ۲۰ درصد انرژی جنبشی توپ را تا رسیدن به نقطه‌ی B تلف می‌کنند. تندی توپ را در این نقطه به دست آورید.

انرژی جنبشی اولیه توپ عبارت است از؛ $K_A = \frac{۱}{۲}mv_A^۲ = \frac{۱}{۲}\times ۰/۴۵\times ۸^۲ = ۱۴/۴J \rightarrow K_A \approx ۱۴J$

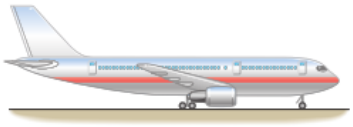
چون ۲۰% از انرژی جنبشی توپ در مسیر تلف شده است؛ بنابراین ۸۰% از انرژی جنبشی اولیه توپ به نقطه‌ی B می‌رسد. بنابراین انرژی جنشی توپ در نقطه‌ی B برابر است با:

$$K_B = \frac{۸۰}{۱۰۰}\times ۱۴ = ۱۱/۲J \rightarrow K_B = ۱۱J$$
$$K_B = \frac{۱}{۲}mv_B^۲ \rightarrow ۱۱ = \frac{۱}{۲}\times ۰/۴۵\times v_B^۲ \rightarrow ۱۱/۵۲ = ۰/۲۲۵v_B^۲ \rightarrow v_B^۲ = ۴۸ \rightarrow v_B \approx ۷\frac{m}{s}$$

تمرین ۲-۱۶ ..... صفحه ۵۲

هر یک از دو موتور جت یک هواپیمای مسافربری بوئینگ ۷۶۷، پیشرانه‌ای (نیروی جلوبر هواپیما) برابر $۱/۹۷\times ۱۰^۵N$ ایجاد می‌کند. اگر هواپیما در هر دقیقه $۱۵/۶km$ در امتداد این نیرو حرکت کند، توان متوسط هر یک از موتورهای هواپیما چند اسب بخار است؟

$$F = ۱/۹۷\times ۱۰^۵ \quad , \quad \Delta t = ۱min = ۶۰s \quad , \quad d = ۱۵/۶km = ۱۵۶۰۰m \quad , \quad \overline{P} = ?$$



کار انجام شده توسط هر موتور در هر دقیقه برابر است با:

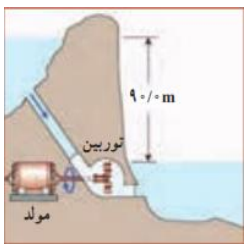
$$W = F\,d = ۱/۹۷\times ۱۰^۵ \times ۱۵۶۰۰ = ۳۰۷۳۲\times ۱۰^۵J \rightarrow W = ۳/۰۷\times ۱۰^۹J$$
$$\overline{P} = \frac{W}{\Delta t} = \frac{۳/۰۷\times ۱۰^۹}{۶۰} = ۵۱۱/۶\times ۱۰^۵W \rightarrow \overline{P} = ۵۱۲\times ۱۰^۵W$$

چون هر اسب بخار برابر ۷۴۶ وات است، پس توان متوسط هر یک از موتورها برابر است با:

$$\overline{P} = ۵۱۲\times ۱۰^۵ \div ۷۴۶ = ۶۸۶۳۲/۷hp \rightarrow \overline{P} = ۶۸۶\times ۱۰^۲hp$$

تمرین ۲-۱۷ ..... صفحه ۵۴

آب ذخیره شده در پشت سد یک نیروگاه برق‌آبی، از ارتفاع ۹۰/۰ متری روی پره‌های توربینی می‌ریزد و آن را می‌چرخاند. با چرخش توربین، مولد می‌چرخد و انرژی الکتریکی تولید می‌شود (شکل روبه‌رو). اگر ۸۵درصد کار نیروی گرانش به انرژی الکتریکی تبدیل شود، در هرثانیه چند متر مکعب آب باید روی توربین بریزد تا توان الکتریکی خروجی مولد نیروگاه به $۲۰۰MW$ برسد؟ جرم هر متر مکعب آب را $۱/۰۰\times ۱۰^۳kg$ در نظر بگیرید.



$$h_۱ = ۹۰m \quad , \quad h_۲ = ۰ \quad , \quad Ra = \frac{۸۵}{۱۰۰} = ۰/۸۵ \quad , \quad P = ۲۰۰MW = ۲۰۰\times ۱۰^۶W$$
$$\Delta t = ۱s \quad , \quad \rho = ۱۰۰۰\frac{kg}{m^۳} \quad , \quad g = ۱۰\frac{m}{s^۲} \quad , \quad V = ?$$

ابتدا مقدار انرژی خروجی توربین برای تأمین توان $۲۰۰MW$ را به دست می آوریم:

$$P_{\text{خروجی}} = \frac{E_{\text{خروجی}}}{\Delta t} \rightarrow E = P\times \Delta t = ۲۰۰\times ۱۰^۶ \times ۱ = ۲۰۰\times ۱۰^۶J \rightarrow E = ۲۰۰\times ۱۰^۶J$$

حال با استفاده از انرژی خروجی و بازده، انرژی ورودی به توربین را محاسبه می‌کنیم:

$$Ra=\frac{E_{\text{خروجی}}}{E_{\text{ورودی}}}\rightarrow E_{\text{ورودی}}=\frac{E_{\text{خروجی}}}{Ra}=\frac{۲۰۰\times۱۰^{۶}}{۰/۸۵}=۲۳۵/۲۹\times۱۰^{۶}J\rightarrow E=۲۳۵\times۱۰^{۶}J$$

انرژی ورودی به توربین برابر کار نیروی وزن آب است، بنابراین:

$$E_{\text{ورودی}}=W_{\text{وزن}}=-\Delta U=-(U_{۲}-U_{۱})=U_{۱}=mgh_{۱}\rightarrow E=mgh_{۱}$$

جرم آب

$$\rightarrow ۲۳۵\times۱۰^{۶}=m\times۱۰\times۹۰\rightarrow m=\frac{۲۳۵\times۱۰^{۶}}{۹۰۰}=۰/۲۶۱\times۱۰^{۶}kg\rightarrow m=۲۶۱\times۱۰^{۳}kg$$

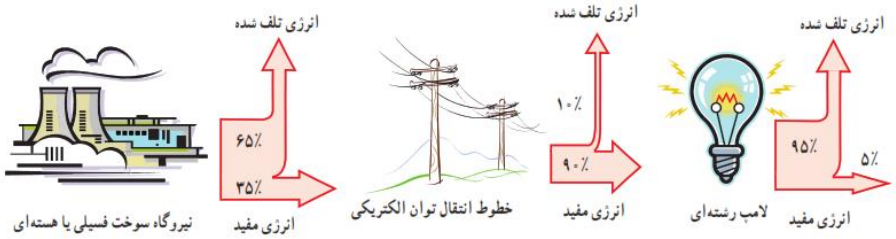
حجم آب

$$\frac{۲۶۱\times۱۰^{۳}}{۱/۰\times۱۰^{۳}}=۲۶۱m^{۳}\rightarrow V=۲۶۱m^{۳}$$

فعالیت ۲-۲ ..... صفحه ۵۴

شکل زیر طرح واره‌ای از درصد انرژی مفید و انرژی تلف شدن در یک نیروگاه سوخت فسیلی یا هسته‌ای را از آغاز تا مصرف در یک لامپ رشته‌ای نشان می‌دهد.

الف) یک نیروگاه سوخت فسیلی را در نظر بگیرید که با مصرف گازوئیل، انرژی الکتریکی تولید می‌کند. با سوختن هر لیتر گازوئیل ۳۴/۲ مگاژول انرژی گرمایی تولید می‌شود. برای اینکه یک لامپ رشته‌ای ۱۰۰ واتی در طول یک ماه به مدت ۱۸۰ ساعت روشن بماند (به طور میانگین هر شبانه‌روز ۶ ساعت)، چقدر گازوئیل باید در نیروگاه مصرف شود؟



کل زمان مصرف بر حسب ثانیه برابر است با؛ $\Delta t=۱۸۰h=۱۸۰\times۳۶۰۰=۶/۴۸\times۱۰^{۵}s$

بازده کل از تولید تا مصرف انرژی الکتریکی برابر است با؛ $Ra=۰/۳۵\times۰/۹=۰/۳۱۵$

انرژی مورد نیاز برای تأمین روشنایی لامپ رشته ای ۱۰۰ واتی برابر است با؛

$$E=P\times\Delta t=۱۰۰\times۶/۴۸\times۱۰^{۵}=۶/۴۸\times۱۰^{۷}J\rightarrow E=۶/۴۸\times۱۰^{۷}J$$

با توجه به بازده ۰/۳۱۵ برای تأمین این انرژی، نیروگاه باید انرژی زیر را تولید کند.

$$Ra=\frac{E_{\text{خروجی}}}{E_{\text{ورودی}}}\rightarrow E_{\text{ورودی}}=\frac{E_{\text{خروجی}}}{Ra}=\frac{۶/۴۸\times۱۰^{۷}}{۰/۳۱۵}\approx۲۰/۵۷\times۱۰^{۷}J\rightarrow E=۲۰/۶\times۱۰^{۷}J$$

اگر همه انرژی گرمایی گازوئیل به انرژی الکتریکی تبدیل شود، داریم:

$$\text{گازوئیل مصرفی بر حسب لیتر}=\frac{\text{انرژی مصرفی}}{\text{انرژی هر لیتر گازوئیل}}=\frac{۲۰/۶\times۱۰^{۷}}{۳۴/۲\times۱۰^{۶}}=۰/۶۰۲\times۱۰=۶/۰۲L$$

ب) با توجه به نتیجه قسمت الف، درک خود از هشدار معروف «لامپ اضافی خاموش!» را بیان کنید.

تلفات خیلی زیاد انرژی در مسیر تولید تا مصرف، مصرف ۶ لیتر گازوئیل برای روشن نگه داشتن هر لامپ رشته ای در ماه، بهره گیری از انرژی تجدیدناپذیر سوخت های فسیلی و همچنین آلودگی زیاد ناشی از مصرف این سوخت ها این هشدار را کاملاً جدی می سازد.

پ) اگر در سراسر ایران، هر خانه در طول یک ماه معادل انرژی الکتریکی مصرف شده در قسمت الف، صرفه‌جویی کند، مرتبه‌ی بزرگی گازوئیل صرفه‌جویی شده را تخمین بزنید.

تعداد خانوار در سراسر کشور : $۲۵.۰۰۰.۰۰۰ \approx ۲\times ۱۰^{۷} \approx ۱۰^{۷}$

گازوئیل صرفه‌جویی شده هر خانوار : $۶/۰۲ \approx ۱۰^{۱}$

کل گازوئیل صرفه‌جویی شده: $۱۰^{۷} \times ۱۰^{۱} \approx ۱۰^{۸}$

فعالیت ۲-۳ ..... صفحه ۵۵

مدت زمانی را که طول می‌کشد تا با دویدن به بالای یک راه پله برسید اندازه بگیرید. آهنگ انجام این کار را محاسبه کنید. پاسخ خود را بر حسب وات و اسب بخار بیان کنید.

$h = ۵m$, $\Delta t = ۱۰s$, $m = ۵۵kg$, $g = ۱۰\frac{N}{kg}$

کار انجام شده برابر است با تغییرات انرژی پتانسیل گرانشی:

$$W = \Delta U = (U_۲ - U_۱) = mg(h_۲ - h_۱) = mgh = ۵۵ \times ۱۰ \times ۵ = ۲۷۵۰J \rightarrow W = ۲۷۵۰J$$

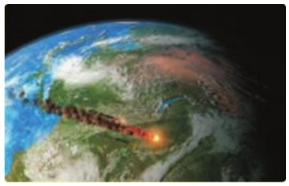
$$\overline{P} = \frac{W}{\Delta t} = \frac{۲۷۵۰}{۱۰} = ۲۷۵W \rightarrow \overline{P} = ۲۷۵W$$

چون هر اسب بخار ۷۴۶ وات است، توان متوسط بر حسب اسب بخار برابر است با:

$$\overline{P} = ۲۷۵ \div ۷۴۶ \approx ۰/۳۷hp \rightarrow \overline{P} = ۰/۳۷hp$$

پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۲

۲-۱ انرژی جنبشی



۱) تقریباً بیشتر شهاب‌سنگ‌هایی که وارد جوّ زمین می‌شوند به دلیل اصطکاک زیاد با ذرات تشکیل دهنده‌ی جوّ، به دمای بالایی می‌رسند و می‌سوزند. شکل روبه‌رو شهاب‌سنگی به جرم $۱/۳۵\times۱۰^{۵}kg$ را نشان می‌دهد که با تندی $۴/۱۲km/s$ وارد جوّ زمین شده است. انرژی جنبشی این شهاب سنگ را به دست آورید. این انرژی را با انرژی جنبشی یک هواپیمای مسافربری به جرم $۷/۲۵\times۱۰^{۴}kg$ که با تندی $۹۳۶km/h$ در حرکت است مقایسه کنید.

انرژی جنبشی شهاب سنگ عبارت است از؛

$$m=۱/۳۵\times۱۰^{۵}kg\ ,\ v=۴/۱۲\frac{km}{s}=۴/۱۲\times۱۰^{۳}\frac{m}{s}\ ,\ K_{۱}=?$$

$$K_{۱}=\frac{۱}{۲}mv^{۲}=\frac{۱}{۲}\times۱/۳۵\times۱۰^{۵}\times(۴/۱۲\times۱۰^{۳})^{۲}=\frac{۱}{۲}\times۱/۳۵\times۱۰^{۵}\times(۴/۱۲)^{۲}\times۱۰^{۶}\approx۱۱/۴۶\times۱۰^{۱۱}J$$

$$\rightarrow K_{۱}=۱۱/۵\times۱۰^{۱۱}J$$

انرژی جنبشی هواپیمای مسافربری برابر است با؛

$$m=۷/۲۵\times۱۰^{۴}kg\ ,\ v=۹۳۶\times\frac{۱۰}{۳۶}=۲۶۰\frac{m}{s}\ ,\ K_{۲}=?$$

$$K_{۲}=\frac{۱}{۲}mv^{۲}=\frac{۱}{۲}\times۷/۲۵\times۱۰^{۴}\times(۲۶۰)^{۲}=۲۴۵۰۵۰\times۱۰^{۴}\approx۲/۴۵\times۱۰^{۹}J\rightarrow K_{۲}=۰/۰۲۴۵\times۱۰^{۱۱}$$

انرژی جنبشی شهاب سنگ تقریباً $\frac{K_{۱}}{K_{۲}}=\frac{۱۱/۵\times۱۰^{۱۱}}{۰/۰۲۴۵\times۱۰^{۱۱}}\approx۴۶۹$ برابر انرژی جنبشی هواپیمای مسافربری است.

۲) حدود ۵۰۰۰۰ سال پیش شهاب سنگی در نزدیک آریزونای آمریکا بهزمین برخورد کرده و چاله‌ای بزرگ از خود به جای گذاشته است (شکل روبه‌رو). با اندازه‌گیری‌های جدید (۲۰۰۵ میلادی) برآورد شده است که جرم این شهاب‌سنگ حدود $۱/۴۰\times۱۰^{۸}kg$ بوده و با تندی $۱۲/۰km/s$ به زمین برخورد کرده است. انرژی جنبشی این شهاب‌سنگ هنگام برخورد به زمین چقدر بوده است؟ (خوب است بدانید انرژی آزاد شده توسط هر تُن TNT برابر $۴/۱۸\times۱۰^{۹}J$ است.)

$$m=۱/۴\times۱۰^{۸}kg\ ,\ v=۱۲\frac{km}{s}=۱۲\times۱۰^{۳}\frac{m}{s}\ ,\ K=?$$

$$K=\frac{۱}{۲}mv^{۲}=\frac{۱}{۲}\times۱/۴\times۱۰^{۸}\times(۱۲\times۱۰^{۳})^{۲}=\frac{۱}{۲}\times۱/۴\times۱۰^{۸}\times۱۲^{۲}\times۱۰^{۶}=۱۰۰/۸\times۱۰^{۱۴}\rightarrow K=۱/۰۱\times۱۰^{۱۶}J$$

۲-۲ و ۲-۳ کار انجام شده توسط نیروی ثابت و کار انرژی جنبشی

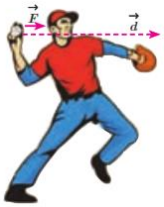
۳) در شکل‌های (الف) و (ب) جرم ارابه‌ها یکسان است. برای اینکه تندی ارابه‌ها از صفر به مقدار معین ۷ برسد، کار انجام شده در هر دو حالت را با هم مقایسه کنید.

طبق قضیه کار و انرژی جنبشی $W_t = K_۲ - K_۱$

کار انجام شده در قسمت الف: $W_{t۱} = K_۲ - K_۱ = \frac{۱}{۲}mv_۲^۲ - \frac{۱}{۲}mv_۱^۲ = \frac{۱}{۲}mv^۲ \rightarrow W_{t۱} = \frac{۱}{۲}mv^۲$

کار انجام شده در قسمت ب: $W_{t۲} = K_۲ - K_۱ = \frac{۱}{۲}(۲m)v_۲^۲ - \frac{۱}{۲}(۲m)v_۱^۲ = mv^۲ \rightarrow W_{t۲} = mv^۲$

کار انجام شده در قسمت (ب) دو برابر کار انجام شده در قسمت (الف) است. زیرا $W_{t۲} = ۲W_{t۱}$



۴) ورزشکاری سعی می‌کند توپ بیسبالی به جرم $۱۴۵g$ را با بیشترین تندی ممکن پرتاب کند. به این منظور، ورزشکار نیرویی به بزرگی $F = ۷۵/۰N$ تا لحظه‌ی پرتاب توپ و در امتداد جابجایی ($d = ۱/۴۵m$) بر آن وارد می‌کند (شکل روبه‌رو). تندی توپ هنگام جدا شدن از دست ورزشکار چقدر است؟

$m = ۱۴۵g = ۰/۱۴۵kg$, $F = ۷۵N$, $d = ۱/۴۵m$, $v_۱ = ۰$, $v_۲ = ?$

طبق قضیه کار و انرژی جنبشی: $W_t = K_۲ - K_۱ \rightarrow W_F + W_{mg} = K_۲ - K_۱$

نیروی وزن بر جابه‌جایی عمود است، بنابراین $W_{mg} = ۰$ و انرژی جنبشی اولیه توپ صفر است: $K_۱ = ۰$

$$W_F + W_{mg} = K_۲ - K_۱ \rightarrow W_F = K_۲ \rightarrow F\,d = \frac{۱}{۲}mv_۲^۲ \rightarrow ۷۵ \times ۱/۴۵ = \frac{۱}{۲} \times ۰/۱۴۵ \times v_۲^۲$$

$$\rightarrow v_۲^۲ = \frac{۷۵ \times ۱/۴۵}{۰/۵ \times ۰/۱۴۵} = ۱۵۰۰ \rightarrow v_۲ = \sqrt{۱۵۰۰} \approx ۳۸/۷\frac{m}{s} \rightarrow v_۲ = ۳۸/۷\frac{m}{s}$$

۵) آیا کار کل انجام شده بر یک جسم در یک جابه‌جایی می‌تواند منفی باشد؟ توضیح دهید.

بله، در حرکت های کند شونده، کار کل انجام شده بر روی جسم منفی می‌شود. طبق قضیه کار و انرژی جنبشی اگر سرعت جسم کاهش یابد، انرژی جنبشی آن نیز کاهش یافته و مطابق رابطه $W_t = K_۲ - K_۱$، کار کل نیروهای وارد بر جسم منفی می‌شود.

۶) برای آنکه نیروی خالصی، بتواند تندی جسم را از صفر به v برساند باید مقدار کار W را روی آن انجام دهد. اگر قرار باشد تندی این جسم از صفر به $۳v$ برسد کاری که روی جسم باید انجام شود چند برابر W است؟

طبق قضیه کار و انرژی جنبشی، کار نیروی خالص وارد بر جسم برابر است با تغییر انرژی جنبشی جسم.

$$\left.\begin{array}{l} v_۱ = ۰ \ , \ v_۲ = v \ , \ W_۱ = K_۲ - K_۱ = \frac{۱}{۲}mv_۲^۲ - \frac{۱}{۲}mv_۱^۲ = \frac{۱}{۲}mv^۲ \rightarrow W_۱ = \frac{۱}{۲}mv^۲ \\ v_۱ = ۰ \ , \ v_۲ = ۳v \ , \ W_۲ = K_۲ - K_۱ = \frac{۱}{۲}mv_۲^۲ - \frac{۱}{۲}mv_۱^۲ = \frac{۱}{۲}m(۳v)^۲ = \frac{۹}{۲}mv^۲ \end{array}\right\} \rightarrow W_۲ = ۹W_۱$$

۷) اگر مطابق شکل روبه‌رو سطلی را در دست نگه دارید، آیا نیروی دست شما هنگامی که با تندی ثابت در مسیر افقی قدم می‌زنید روی سطل کاری انجام می‌دهد؟ اگر تندی حرکت شما در طول مسیر کم و زیاد شود چطور؟ پاسخ خود را در هر مورد توضیح دهید.

به سطل، نیرویی برابر با وزن سطل و رو به بالا به وارد می کنیم. چون سطل با تندی ثابت حرکت می‌کند، شخص نیرویی در جهت افقی به آن وارد نمی‌کند. از طرفی زاویه بین نیروی F و جابه‌جایی d، ۹۰° است. بنابراین؛

$W = Fd\cos\theta = Fd\cos ۹۰^\circ = ۰$

اگر تندی متغیر باشد، شتاب و در نتیجه نیروی خالصی در راستای جابه‌جایی به سطل وارد خواهد شد. این نیرو روی سطل کار انجام می‌دهد. $W = Fd\cos\theta > ۰$

۸) شخصی گلوله‌ای برفی به جرم $۱۵۸g$ را از روی زمین بر می‌دارد و تا ارتفاع $۱۸۵cm$ بالا می‌برد و سپس آن را با تندی $۱۲/۴m/s$ پرتاب می‌کند. کار انجام شده توسط شخص روی گلوله‌ی برف چقدر است؟

$m=۱۵۸g=۰/۱۵۸kg$ ، $h=۱۸۵cm=۱/۸۵m$ ، $v=۱۲/۴m/s$ ، $W=?$

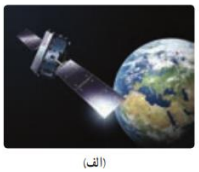
طبق قضیه کار و انرژی جنبشی، مقدار کا کار انجام شده برابر تغییرات انرژی جنبشی است.

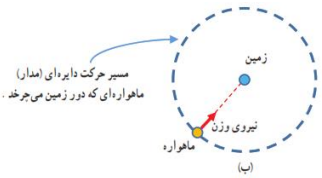
$$W_t=\Delta K=K_۲-K_۱=\frac{۱}{۲}m(v_۲^۲-v_۱^۲)=\frac{۱}{۲}\times ۰/۱۵۸\times(۱۲/۴)^۲=۱۲/۱J$$

کل کار برابر کار نیروی دست و نیروی وزن است. پس داریم؛

$$W_t=W_{mg}+W\rightarrow W=W_t-W_{mg}=W_t-mgh\cos(۱۸۰^\circ)=۱۲/۱-(-۲/۹)=۱۵J$$

۹) ماهواره‌ها در مدارهای معین و با تندی ثابتی دور زمین می‌چرخند. حرکت یک ماهواره به دور زمین (شکل الف) را می‌توان مطابق شکل (ب) مدل‌سازی کرد. همان‌طور که دیده می‌شود نیروی خالصی (نیروی وزن) همواره بر ماهواره وارد می‌شود. چگونه امکان دارد با وجود وارد شدن این نیرو به ماهواره، انرژی جنبشی آن ثابت بماند؟


(الف)



نیروی خالص وارد بر ماهواره عمود بر جهت جابه‌جایی است، پس کار کل ماهواره صفر است. از طرفی با توجه به قضیه کار و انرژی، $W_t=\Delta K$ ، تغییرات انرژی جنبشی نیز صفر است، پس انرژی جنبشی ماهواره و سرعت آن ثابت می‌ماند.

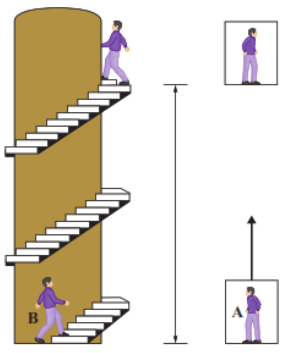
۴-۲ کار و انرژی پتانسیل

۱۰) آیا انرژی جنبشی یک جسم می‌تواند منفی باشد؟ انرژی پتانسیل گرانشی یک سامانه چطور؟ توضیح دهید.

مطابق رابطهٔ $K=\frac{۱}{۲}mv^۲$ انرژی جنبشی به جرم جسم (m) و مجذور سرعت ($v^۲$) بستگی دارد، چون هر دوی این عوامل کمیت‌های مثبتی هستند، بنابراین انرژی جنبشی جسم همواره مثبت است.

اگر مبدأ انرژی پتانسیل گرانشی را سطح زمین در نظر بگیریم، مطابق رابطهٔ $U=mgh$ انرژی پتانسیل گرانشی نیز به جرم جسم (m)، شتاب گرانشی (g) و ارتفاع (h) بستگی دارد. همه این عوامل مثبت هستند، بنابراین انرژی پتانسیل گرانشی یک سامانه نیز همواره مثبت است.

۱۱) دو شخص هم جرم A و B به طبقه‌ی سوم ساختمانی می‌روند. شخص A با آسانسور و شخص B به آرامی از پله‌های ساختمان بالا می‌روند. گزاره‌های درست را با ذکردلیل مشخص کنید.



الف) در طبقه سوم، انرژی پتانسیل گرانشی (نسبت به زمین) شخص A از شخص B کمتر است، زیرا آرام‌تر بالا رفته است.

نادرست، زیرا انرژی پتانسیل گرانشی یک جسم به جرم و ارتفاع جسم بستگی دارد و هر دو انرژی پتانسیل گرانشی برابری دارند.

ب) انرژی پتانسیل گرانشی (نسبت به زمین) شخص A کمتر از شخص B است، زیرا برای رسیدن به طبقه‌ی سوم ساختمان مسافت کمتری پیموده است.

نادرست، زیرا انرژی پتانسیل گرانشی یک جسم به مسافت پیموده شده توسط جسم بستگی ندارد.

پ) کار نیروی وزن برای هر دو شخص در طول مسیر یکسان است.

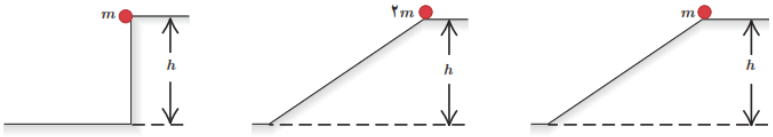
درست، چون کار نیروی وزن در جابه‌جایی جسم رو به بالا برابر است با : $W_{mg} = mgh\cos 180^\circ = -mgh$ و از طرفی پارامترهای m، g و h در هر دو شخص یکسان هستند، بنابراین کار نیروی وزن در هر دو شخص برابر است.

ت) انرژی پتانسیل گرانشی هر دو شخص در طبقه‌ی سوم ساختمان یکسان است.

درست، طبق رابطه $U = mgh$ چون m و g و h برای هر دو شخص برابر است، انرژی پتانسیل گرانشی هر دو شخص یکسان است.

۲-۵ و ۲-۶ پایستگی انرژی مکانیکی و کار و انرژی درونی

۱۲) در سه شکل زیر اجسامی از حالت سکون و ارتفاع h نسبت به سطح افق رها می‌شوند و نیروی اصطکاک و مقاومت هوا بر آنها وارد نمی‌شود. در کدام حالت، جسم:



الف) بیشترین تندی را هنگام رسیدن به سطح افقی دارد؟

هر سه جسم با تندی یکسانی به سطح افقی می رسند.

در شکل اول: $E_۱ = E_۲ \to U_۱ + K_۱ = U_۲ + K_۲ \to mgh_۲ = \frac{۱}{۲}mv_۲^۲ \to gh = \frac{v^۲}{۲} \to v^۲ = ۲gh \to v = \sqrt{۲gh}$

در شکل دوم: $E_۱ = E_۲ \to U_۱ + K_۱ = U_۲ + K_۲ \to (۲m)gh = \frac{۱}{۲}(۲m)v^۲ \to v^۲ = ۲gh \to v = \sqrt{۲gh}$

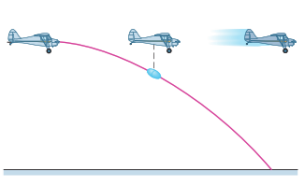
در شکل سوم: $E_۱ = E_۲ \to U_۱ + K_۱ = U_۲ + K_۲ \to mgh = \frac{۱}{۲}mv^۲ \to v^۲ = ۲gh \to v = \sqrt{۲gh}$

ب) تا هنگام رسیدن به پایین مسیر، بیشترین مقدار کار نیروی وزن روی آن انجام شده است؟

$W = -\Delta U = -(mgh_۲ - mgh_۱) = mgh$

کار نیروی وزن به جرم و ارتفاع جسم بستگی دارد. ارتفاع هر سه شکل برابر است و تنها جرم در شکل وسطی بیشتر است. بنابراین کار نیروی وزن آن بیشتر است.

۱۳) در شکل روبه‌رو هواپیمایی که در ارتفاع ۲۲۵m از سطح زمین و با تندی $۱۹۸km/h$ پرواز می‌کند، بسته‌ای را برای کمک به آسیب دیدگان زلزله رها می‌کند. تندی بسته هنگام برخورد به زمین چقدر است؟ (از تأثیر مقاومت هوا روی حرکت بسته چشم‌پوشی کنید.)



$h_۱ = ۲۲۵m \ , \ v_۱ = ۱۹۸\frac{km}{h} \times \frac{۱۰}{۳۶} = ۵۵\frac{m}{s} \ , \ h_۲ = ۰ \ , \ v_۲ = ?$

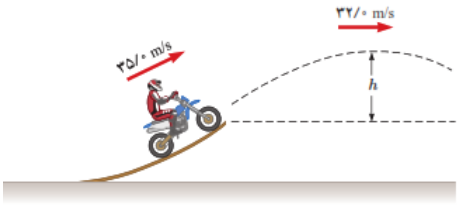
با صرف نظر از نیروی مقاومت هوا در طول مسیر، انرژی مکانیکی اولیه و نهایی بسته برابر است:

$E_۱ = E_۲ \to K_۱ + U_۱ = K_۲ + U_۲ \to \frac{۱}{۲}mv_۱^۲ + mgh_۱ = \frac{۱}{۲}mv_۲^۲ \to \frac{۱}{۲}v_۱^۲ + gh_۱ = \frac{۱}{۲}v_۲^۲$

$\to \frac{۱}{۲}(۵۵)^۲ + ۱۰ \times ۲۲۵ = \frac{۱}{۲}v_۲^۲ \to ۱۵۱۲/۵ + ۲۲۵۰ = ۰/۵v_۲^۲ \to ۳۷۶۲ = ۰/۵v_۲^۲$

$\to v_۲^۲ = \frac{۳۷۶۲/۵}{۰/۵} = ۷۵۲۵ \to v_۲ = \sqrt{۷۵۲۵} \approx ۸۶/۷\frac{m}{s}$

۱۴) موتورسواری از انتهای سکویی مطابق شکل روبه‌رو، پرشی را با تندی $۳۵/۰\,m/s$ انجام می‌دهد. اگر تندی موتور سوار در بالاترین نقطه‌ی مسیرش به $۳۲/۰\,m/s$ برسد، ارتفاع h را پیدا کنید. اصطکاک و مقاومت هوا را در طول مسیر حرکت موتورسوار نادیده بگیرید.

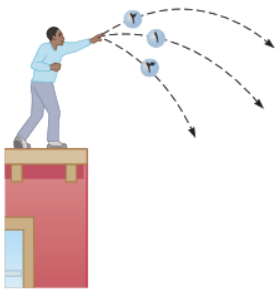


$$v_۱ = ۳۵\frac{m}{s}\ ,\ h_۱ = ۰\ ,\ v_۲ = ۳۲\frac{m}{s}\ ,\ h_۲ = h = ?$$

$$E_۱ = E_۲ \to K_۱ + U_۱ = K_۲ + U_۲ \to \frac{۱}{۲}\cancel{m}v_۱^۲ = \frac{۱}{۲}\cancel{m}v_۲^۲ = \cancel{m}gh \to \frac{۱}{۲}v_۱^۲ = \frac{۱}{۲}v_۲^۲ + gh$$

$$\to \frac{۱}{۲}\times(۳۵)^۲ = \frac{۱}{۲}\times(۳۲)^۲ + ۱۰\times h \to ۶۱۲/۵ = ۵۱۲ + ۱۰\times h \to h = \frac{۱۰۰/۵}{۱۰} \approx ۱۰/۲m$$

۱۵) سه توپ مشابه، از بالای ساختمانی با تندی یکسانی پرتاب می‌شوند (شکل روبه‌رو). توپ (۱) در امتداد افق، توپ (۲) با زاویه‌ای بالاتر از امتداد افق و توپ (۳) با زاویه‌ای پایین‌تر از امتداد افق پرتاب می‌شود. با نادیده گرفتن مقاومت هوا، انرژی جنبشی توپ‌ها را هنگام برخورد با سطح زمین، با یکدیگر مقایسه کنید.



انرژی پتانسیل گرانشی توپ ها به دلیل یکسان بودن جرم و مبدأ پرتاب با هم برابر است. انرژی جنبشی آنها نیز به دلیل یکسان بودن جرم و سرعت اولیه با هم برابر است.

$$E_۱ = E_۲ = E_۳$$

با نادیده گرفتن مقاومت هوا، انرژی‌های مکانیکی اولیه و نهایی هر یک از توپ‌ها برابر است. در زمان برخورد به زمین انرژی پتانسیل توپ ها صفر است و فقط انرژی جنبشی دارند. پس انرژی جنبشی توپ‌ها هنگام برخورد با زمین با یکدیگر برابر است.

۱۶) گلوله‌ای به جرم $۴۵/۰g$ از دهانه‌ی تفنگی با تندی $۱/۲۲km/s$ و ارتفاع $۱/۶۲\,\mathrm{m}$ از سطح زمین شلیک می‌شود. اگر گلوله با تندی $۰/۴۲۵km/s$ به زمین برخورد کند:

الف) در مدت حرکت گلوله کار نیروی مقاومت هوا چقدر است؟

$$m = ۴۵g = ۰/۰۴۵kg\ ,\ v_۱ = ۱/۲۲\frac{km}{s} = ۱/۲۲\times۱۰^۳\frac{m}{s} = ۱۲۲۰\frac{m}{s}\ ,\ h_۱ = ۱/۶۲m$$

$$v_۲ = ۰/۴۲۵\frac{km}{s} = ۰/۴۲۵\times۱۰^۳\frac{m}{s} = ۴۲۵\frac{m}{s}\ ,\ h_۲ = ۰\ ,\ g = ۱۰\frac{N}{kg}\ ,\ W_f = ?$$

کار نیروهای مقاوم برابر است با تغییر انرژی مکانیکی جسم. یعنی؛ $W_f = E_۲ - E_۱$

$$E_۱ = K_۱ + U_۱ = \frac{۱}{۲}mv_۱^۲ + mgh_۱ = \frac{۱}{۲}\times۰/۰۴۵\times(۱۲۲۰)^۲ + ۰/۰۴۵\times۱۰\times۱/۶۲ = ۳۳۴۸۹ + ۰/۷۲۹ \to E_۱ = ۳۳۴۹۰J$$

$$E_۲ = K_۲ + U_۲ = \frac{۱}{۲}mv_۲^۲ + mgh_۲ = \frac{۱}{۲}\times۰/۰۴۵\times(۴۲۵)^۲ = ۴۰۶۴J \to E_۲ = ۴۰۶۴J$$

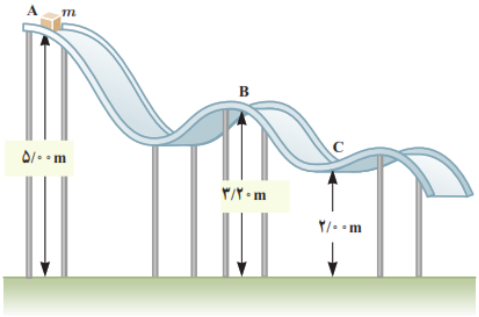
$$W_f = E_۲ - E_۱ = ۴۰۶۴ - ۳۳۴۹۰ = -۲۹۴۲۶J \to W_f = -۲/۹۴\times۱۰^۴J$$

ب) مقدار به دست آمده در قسمت (الف) را با کار نیروی وزن مقایسه کنید.

$$W = mgh = ۰/۰۴۵\times۱۰\times۱/۶۲ = ۰/۷۲۹J \to W = ۰/۷۲۹J$$

کار نیروی وزن در این حرکت بسیار ناچیز و قابل صرف نظر است.

۱۷) جسمی به جرم $m = ۱۲/۵kg$ در نقطه‌ی A از حالت سکون رها می‌شود و در مسیری بدون اصطکاک سُر می‌خورد (شکل زیر). تعیین کنید:



الف) تندی جسم را در نقطه‌ی B

$$m = ۱۲/۵kg \ , \ v_A = ۰ \ , \ h_A = ۵m \ , \ h_B = ۳/۲m \ , \ v_B = ? \ , \ g = ۱۰\frac{m}{s^۲}$$

$$E_A = E_B \rightarrow U_A + K_A = U_B + K_B \rightarrow mgh_A = mgh_B + \frac{۱}{۲}mv_B^۲ \rightarrow ۱۰\times ۵ = ۱۰\times ۳/۲ + \frac{v_B^۲}{۲}$$

$$\rightarrow ۵۰ - ۳۲ = \frac{v_B^۲}{۲} \rightarrow v_B^۲ = ۳۶ \rightarrow v_B = ۶\frac{m}{s}$$

ب) کار نیروی گرانشی را در حرکت جسم از نقطه‌ی A تا نقطه‌ی C.

$$W = -\Delta U = -(U_C - U_A) = -(mgh_C - mgh_A) = -mg(h_C - h_A) = -۱۲/۵\times ۱۰\times (۲-۵) = ۳۷۵J$$

۱۸) شکل روبه‌رو گلوله‌ای را نشان می‌دهد که از سقف کلاسی آویزان شده و دانش‌آموزی آن را از وضعیت تعادل خارج کرده و در برابر نوک بینی خود گرفته است.

الف) وقتی دانش‌آموز گلوله را رها می‌کند، هنگام برگشت به او برخورد نمی‌کند. چرا؟ (این تجربه‌ی ساده ولی هیجان انگیز را در صورت امکان در کلاستان انجام دهید.)

بخشی از انرژی مکانیکی اولیه گلوله در طول مسیر رفت و برگشت به دلیل مقاومت هوا تلف می شود. بنابراین انرژی مکانیکی گلوله در مسیر برگشت کاهش یافته و تا ارتفاع کمتری بالا می‌آید.

ب) اگر دانش‌آموز هنگام رها کردن گلوله، آن را هُل دهد، هنگام برگشت آن چه اتفاقی می‌افتد؟

در این حالت به دلیل اضافه شده مقداری نرژی جنبشی اولیه، کل انرژی مکانیکی اولیه گلوله نسبت به حالت قبل افزایش می یابد و گلوله می‌تواند در مسیر برگشت تا ارتفاع اولیه و حتی بیشتر از آن نیز بالا بیاید.

۷-۲ توان

۱۹) بالابری با تندی ثابت، باری به جرم $۶/۸۰\times ۱۰^۲kg$ را در مدت $۱۸۶s$ تا ارتفاع $۷۸/۴m$ بالا می‌برد. اگر جرم بالابر $۳/۲۰\times ۱۰^۲kg$ باشد، توان متوسط موتور آن چند وات و چند اسب بخار است؟

$$m = ۶۸ + ۳۲ = ۱۰۰kg \ , \ \Delta t = ۱۸۶s \ , \ h = ۷۸/۴m \ , \ g = ۱۰\frac{N}{kg}$$

کار انجام شده توسط آسانسور برابر است با تغییر انرژی پتانسیل گرانشی:

$$W = mgh = ۱۰۰۰\times ۱۰\times ۷۸/۴ = ۷۸/۴\times ۱۰^۴J$$

$$\overline{P} = \frac{W}{\Delta t} = \frac{۷۸/۴\times ۱۰^۴}{۱۸۶} = ۴۲۱۵W \rightarrow \overline{P} = ۴۲۱۵ \div ۷۴۶ = ۵/۶۵hp$$

۲۰) شخصی به جرم $۷۸/۵kg$ در مدت زمان $۸۴/۰s$ از تعداد ۵۰ پله بالا می‌رود. توان متوسط مفید او چند وات است؟ ارتفاع هر پله را $۲۸/۵cm$ فرض کنید.

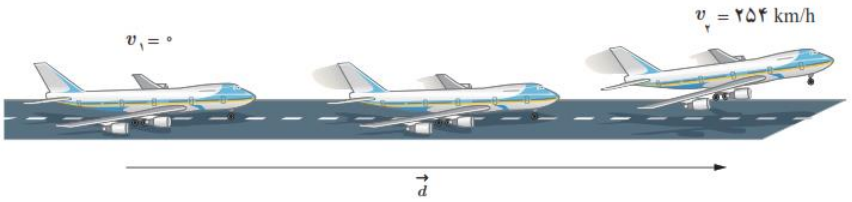
$$m=۷۸/۵kg\ ,\ \Delta t=۸۴s\ ,\ h=۵۰\times ۲۸/۵=۱۴۲۵cm=۱۴/۲۵m\ ,\ g=۱۰\frac{N}{kg}$$

کار مفید انجام شده توسط شخص برابر است با تغییر انرژی پتانسیل گرانشی شخص:

$$W=mgh=۷۸/۵\times ۱۰\times ۱۴/۲۵=۱۱۱۸۶/۲۵J$$

$$\overline{P}=\frac{W}{\Delta t}=\frac{۱۱۱۸۶/۲۵}{۸۴}=۱۳۳W\rightarrow \overline{P}=۱۳۳W$$

۲۱) شکل زیر هواپیمایی به جرم $۷/۲۰\times ۱۰^{۴}kg$ را نشان می‌دهد که از حال سکون شروع به حرکت می‌کند و پس از $۲/۰۵\times ۱۰^{۳}m$ جابه‌جایی در امتداد باند هواپیما، به تندی برخاستن $v_۲=۲۵۴km/h$ می‌رسد.



الف) کار کل نیروهای وارد بر هواپیما را در این جابجایی حساب کنید.

$$m=۷/۲۰\times ۱۰^{۴}kg\ ,\ v_۱=۰\ ,\ d=۲۰۵۰m\ ,\ v_۲۲۵۴\times\frac{۱۰}{۳۶}=۷۰/۵\frac{m}{s}\ ,\ W_t=?$$

$$W_t=K_۲-K_۱=\frac{۱}{۲}mv_۲^{۲}=\frac{۱}{۲}\times ۷/۲\times ۱۰^{۴}\times(۷۰/۵)^{۲}=۱۷۸۹۲/۹\times ۱۰^{۴}J$$

$$\rightarrow W_t=۱۷۸۹۳\times ۱۰^{۴}J=۱/۸\times ۱۰^{۸}J$$

یک دقیقه پس از برخاستن، هواپیما تا ارتفاع $۵۶۵m$ از سطح زمین اوج می‌گیرد و تندی آن به $۳۲۸km/h$ می‌رسد. در این مدت،

ب) کار نیروی وزن چقدر است؟

$$h=۵۶۵m\ ,\ W=?$$

$$W=-\Delta U=-(U_۲-U_۱)=-(mgh_۲-mgh_۱)=-mg(h_۲-h_۱)=-mgh=-۷/۲\times ۱۰^{۴}\times ۱۰\times ۵۶۵$$

$$=-۴۰۶۸۰\times ۱۰^{۴}J\rightarrow W=-۴\times ۱۰^{۸}J$$

پ) به جز نیروی وزن، چه نیروهای دیگری بر هواپیما اثر می‌کند (با این نیروها در علوم سال ششم آشنا شدید؟) کار کدام یک از این نیروها مثبت و کار کدام یک از آنها منفی است؟

کار نیروی رانشی و نیروی بالابر مثبت و کار نیروی مقاومت هوا منفی است.

ت) کار کل نیروهای وارد بر هواپیما چقدر است؟

$$v_۱=۲۵۴\times\frac{۱۰}{۳۶}=۷۰/۵\frac{m}{s}\ ,\ v_۲=۳۲۸\times\frac{۱۰}{۳۶}\ \square\ ۹۱/۱\frac{m}{s}\ ,\ W_t=?$$

$$W_t=K_۲-K_۱=\frac{۱}{۲}mv_۲^{۲}-\frac{۱}{۲}mv_۱^{۲}=\frac{۱}{۲}m(v_۲^{۲}-v_۱^{۲})=\frac{۱}{۲}\times ۷/۲\times ۱۰^{۴}\times(۹۱/۱)^{۲}-(۷۰/۵)^{۲}$$

$$=\frac{۱}{۲}\times ۷/۲\times ۱۰^{۴}\times ۳۳۲۸/۹۶=۱۱۹۸۴/۲۵\times ۱۰^{۴}J\rightarrow W_t=۱۱۹۸۴\times ۱۰^{۴}J=۱/۲\times ۱۰^{۸}$$

ث) توان کل انجام کار توسط نیروهای غیر از وزن را بیابید.

$W_t = W_{\text{وزن}} + W_{\text{غیر وزن}} \rightarrow W_{\text{غیر وزن}} = W_t - W_{\text{وزن}} = ۱/۲\times۱۰^۸ - (-۴\times۱۰^۸)$

$= ۱/۲\times۱۰^۸ + ۴/۰\times۱۰^۸ \rightarrow W = ۵/۲\times۱۰^۸ J$

$P_{\text{غیر وزن}} = \frac{W_{\text{غیر وزن}}}{\Delta t} = \frac{۵/۲\times۱۰^۸}{۶۰} = ۸/۶\times۱۰^۶ = ۸/۶ MW$

۲۲) سالانه نزدیک به ۱۲۵ میلیارد لیتر مواد و فرآورده‌های نفتی از طریق حدود $۱/۴۰\times۱۰^۴ km$ خطوط لوله در نقاط مختلف کشور توزیع می‌شود. این خطوط در طول مسیر خود از مراکز انتقال متعددی می‌گذرند تا توان لازم را برای ادامه‌ی راه به دست آورند. شکل زیر یکی از این مراکز را نشان می دهد که در ارتفاع $۲/۰۵\times۱۰^۳ m$ از سطح دریای آزاد قرار دارد. در این مرکز، در هر ثانیه یک متر مکعب مواد نفتی از طریق لوله‌ای با قطر ۳۲/۰ اینچ ($۸۱/۲ cm$) توسط دو دستگاه پمپ (تلمبه) تا ارتفاع $۲/۷۰\times۱۰^۳ m$ از سطح دریای آزاد فرستاده می‌شود. اگر بازده هر یک از پمپ‌های این مرکز ۲۸ درصد باشد، توان هر یک از آنها بر حسب مگاوات (MW) و اسب بخار (hp) چقدر است؟ (چگالی مواد نفتی را $۸/۶۰\times۱۰^۲ kg/m^۳$ بگیرید.)

مرکز انتقال نفت گندم‌کار، یکی از ۷ مرکزی است که در مسیر مارون ــ اصفهان قرار دارد. این مسیر، که طولی برابر ۴۳۱ کیلومتر دارد دومین مسیر سخت و صعب‌العبور خطوط انتقال مواد نفتی در دنیاست.

$h_۱ = ۲/۰۵\times۱۰^۳ m$ ، $h_۲ = ۲/۷۰\times۱۰^۳ m$ ، $Ra = \frac{۲۸}{۱۰۰} = ۰/۲۸$ ، $\rho = ۸/۶۰\times۱۰^۲ \frac{kg}{m^۳}$ ، $P = ?$

$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow m = \rho V = ۸/۶\times۱۰^۲ \times ۱ = ۸/۶\times۱۰^۲ kg$

$W = \Delta U = U_۲ - U_۱ = mgh_۲ - mgh_۱ = mg(h_۲ - h_۱) = ۸/۶\times۱۰^۲ \times ۱۰ \times (۲/۷\times۱۰^۳ - ۲/۰۵\times۱۰^۳)$

$= ۸/۶\times۱۰^۳ \times ۰/۶۵\times۱۰^۳ = ۵/۵۹\times۱۰^۶ J \Rightarrow W = E = ۵/۵۹\times۱۰^۶ J$

W خروجی برابر E خروجی برابر $۵/۵۹\times۱۰^۶ J$ است.

$Ra = \frac{E_{\text{خروجی}}}{E_{\text{ورودی}}} \rightarrow E_{\text{ورودی}} = \frac{E_{\text{خروجی}}}{Ra} = \frac{۵/۵۹\times۱۰^۶}{۰/۲۸} = ۱۹/۹\times۱۰^۶ J$

$P = \frac{E}{t} = \frac{۱۹/۹\times۱۰^۶}{۱} = ۱۹/۹\times۱۰^۶ W$

توان هر پمپ: $\frac{۱۹/۹\times۱۰^۶}{۲} = ۹/۹۵\times۱۰^۶ W \rightarrow ۹/۹۵\times۱۰^۶ \div ۷۴۶ = ۱/۳۳\times۱۰^۴ hp$

فصل سوم: ویژگی‌های فیزیکی مواد

فعالیت ۳-۱ ..... صفحه ۶۳

قلم‌زنی یکی از هنرهای صنعتی ایران و با قدمتی چندین هزار ساله است. تحقیق کنید صنعتگران قلم‌زن، چگونه از شُل و سفت شدن قیر کمک می‌گیرند تا بدون سوراخ شدن فلز، بر روی آن نقش و نگارهای متنوعی ایجاد کنند.

صنعتگران برای تنظیم گودی و برجستگی‌های ایجاد شده بر روی فلز و جلوگیری از سوراخ شدن سطحفلز با ضربات چکش، قیر را با گرما دادن شُل کرده و داخل ظروف کار خود می‌ریزند تا سطح داخلی آن را به طور کامل بپوشاند. هرچه قیر داغ‌تر باشد، فلز در حین ضربه بیشتر فرو می‌رود. زا قیر سفت شده نیز برای استحکام بخشی و جلوگیری از فرورفتن بیش از حد سطح و شکستن فلز در برابر ضربه و همچنین کاهش سر و صدا استفاده می‌کنند. در برخی از موارد نیز به قیر گچ اضافه می‌کنند تا تُرد و شکننده شده و بعد از کار به آسانی از سطح جدا شود.

فعالیت ۳-۲ ..... صفحه ۶۴

یک سرنگ، مثلاً ۱۰ سی‌سی اختیار کنید. پیشتون آن را بکشید تا هوا وارد سرنگ شود. انگشت خود را محکم روی دهانه‌ی خروجی سرنگ قرار دهید و تا جایی که می‌توانید پیستون را حرکت دهید تا هوای درون سرنگ متراکم شود.

هوای درون سرنگ را خالی و آن را تا نیمه از اب پر کنید. با مسدود نمودن انتهای سرنگ سعی کنید تا جایی که ممکن است مایع درون آن را متراکم کنید. از این آزمایش ساده چه نتیجه‌ای در مورد تراکم پذیری گازها و مایع‌ها می‌گیرید؟ توضیح دهید.

چون فاصله بین مولکولی در مایع‌ها کم است (تقریباً به اندازه جامدات است)، نیروی دافعه بین مولکولی اجازه نمی‌دهد که این فاصله را با وارد کردن فشار کاهش داد. ولی در گازها فاصله بین مولکول‌ها بسیار زیاد است. بنابراین مولکول‌های گاز را می‌توان تحت فشار به یکدیگر نزدیک و متراکم کرد. در نتیجه می‌توانیم بگوییم مایع‌ها تراکم ناپذیر و گازها تراکم‌پذیرند.

پرسش ۳-۱ ..... صفحه ۶۵

الف) وقتی درِ شیشه‌ی عطری را در گوشه‌ای از اتاق باز می‌کنید، پس از چند ثانیه ذرات عطر در همه جای اتاق پخش و بوی آن حس می‌شود. با توجه به شکل روبه‌رو، این پدیده را چگونه توجیه می‌کنید؟ چرا پدیده‌ی پخش در گازها سریع‌تر از مایع‌ها رخ می‌دهد؟

حرکت نامنظم و کاتوره‌ای مولکول‌های عطر و هوا در فضای اتاق و برخورد آنها با یکدیگر و انحراف مسیرشان باعث پراکنده شدن این مولکول‌ها در فضای اتاق می‌شود. حرکت مولکول‌ها در گازها سریع‌تر از مایع‌ها است بنابراین پدیده پخش در گازها با سرعت بیشتری رخ می‌دهد.

ب) هوای اطراف کره‌ی زمین، آمیزه‌ای از نیتروژن (۷۸ درصد)، اکسیژن (۲۱ درصد)، کربن دی‌اکسید، بخارآب و مقدار کمی گازهای بی‌اثر (کریپتون، نئون و هلیم) است. این مولکول‌ها به طور کاتوره‌ای و با تندی زیاد همواره در حرکت‌اند. برخورد مولکول‌های هوا به یکدیگر سبب پخش آنها می‌شود. اهمیت این پدیده را برای حیات روی کره‌ی زمین توضیح دهید.

اکسیژن تولید شده توسط گیاهان در جنگل‌ها طی فرآیند پخش و با وزش بادها در سراسر کره زمین پراکنده می‌شود. همچنین کربن دی‌اکسید و گازهای مضر تولید شده توسط ماشین‌آلات و کارخانه‌ها با فرآیند پخش پراکنده و در محل تولید باقی نمی‌ماند.

تمرین ۳-۱ ..... صفحه ۶۶

در مکعبی به ابعاد یک نانومتر، چه تعداد اتم را می‌توان جای داد؟ اگر ابعاد مکعب ۱۰ نانومتر باشد چطور؟ قطر هر اتم را $۱/۰ \times ۱۰^{-۱۰} m$ فرض کنید.

قطر اتم+ضلع مکعب $= ۱nm + ۱ \times ۱۰^{-۱۰} m = \frac{۱nm}{۱ \times ۱۰^{-۱۰} m} = \frac{۱ \times ۱۰^{-۹}}{۱ \times ۱۰^{-۱۰}} = ۱۰$

بنابراین تعداد کل اتم‌هایی که در این مکعب جای می‌گیرند برابر است با: $۱۰ \times ۱۰ \times ۱۰ = ۱/۰ \times ۱۰^{۳}$ تعداد کل اتم‌ها

اگر ابعاد مکعب $۱۰ nm$ (۱۰ برابر) شود تعداد اتم‌هایی که در هر یک از ابعاد طول و عرض و ارتفاع این مکعب جای می‌گیرند ۱۰۰ می‌شود بنابراین:

$۱۰۰ \times ۱۰۰ \times ۱۰۰ = ۱/۰ \times ۱۰^{۶}$ تعداد کل اتم‌ها

پرسش ۳-۲ ..... صفحه ۶۷

به نظر شما چرا در کتاب‌های مرجع دمای ذوب طلا را ۱۰۶۴° ذکر کرده اند؟

زیرا این دمای ذوب برای تمام کاربردهای علمی و صنعتی صحیح است و تمامی قطعه‌هایی از طلا که می‌توان آنها را با چشم دید در این دما ذوب می‌شوند. اما در مقیاس نانو، هرچه ذره کوچک‌تر باشد دمای ذوب کمتری دارد بنابراین نمی‌توان دمای ذوب ثابتی را برای طلا در نظر گرفت.

فعالیت ۳-۳ ..... صفحه ۶۸

علوم و فناوری نانو دستاوردهای فراوانی در عرصه‌های مختلف، از جمله: پزشکی و داروسازی، رایانه‌ها، ذخیره‌سازی داده‌ها و گوشی‌های تلفن همراه، صنایع هواپیماسازی و خودروسازی، پوشاک، خوردنی‌ها و ... داشته است. تأثیر علوم نانو را در یکی از این حوزه‌ها در گروه خود، به عنوان موضوع تحقیق انتخاب کرده و نتیجه‌ی تحقیق را به کلاس ارائه دهید.

دانش‌آموزان عزیز می‌توانند با مراجعه به سایت www.nano.ir و جستجوی شماره‌های مختلف ماهنامه «فن‌آوری نانو» با آخرین پیشرفت‌های این فناوری در علوم مختلف آشنا شوند.

پرسش ۳-۳ ..... صفحه ۶۹

وقتی شیشه می‌شکند با نزدیک کردن قطعه‌های آن به هم نمی‌توان اجزای شیشه را دوباره به هم چسباند؛ ولی اگر قطعه‌های شیشه را آن قدر گرم کنیم که نرم شوند می‌توان آنها را به هم چسباند. این پدیده‌ها را با توجه به کوتاه بُرد بودن نیروهای بین مولکولی توجیه کنید.

چون نیروهای بین مولکولی کوتاه برد هستند با نزدیک کردن قطعات شیشه نمی‌توان آنها را در فاصله بین مولکولی یکدیگر قرار داده و به هم چسباند ولی بعد از گرم کردن شیشه و اتصال آنها به هم، جنبش بین مولکول‌ها باعث قرار گرفتن آنها در فاصله‌های بین مولکولی شده و جاذبه بین مولکول‌ها سبب اتصال دوباره قطعات به یکدیگر می‌شود.

فعالیت ۳-۴ ..... صفحه ۷۰

الف) سعی کنید یک سوزن ته‌گرد یا گیره‌ی کاغذ را مطابق شکل روی سطح آب شناور کنید. برای این منظور می‌توانید از یک تکه دستمال کاغذی استفاده کنید.

ب) پس از شناور شدن سوزن یاگیره، سطح آب را به دقت مشاهده کنید و مشاهدات خود را به کلاس گزارش دهید.

سوزن یا گیره در محل تماس با سطح آب فرورفتگی ایجاد می‌کند. ولی روی سطح آب شناور بوده و به زیر آب نمی‌رود. (کشش سطحی ناشی از هم چسبی مولکول‌های سطح آب مانع از فرو رفتن جسم در آب می‌شود.)

پ) اکنون یکی دو قطره مایع شوینده را به آرامی به آب درون ظرف بیفزایید. مشاهدات خود را به کلاس گزارش کنید و دلیلی برای آن ارائه دهید.

با افزودن مایع ظرفشویی سوزن یا گیره در آب فرو می‌رود. زیرا مایع ظرفشویی نیروی هم چسبی مولکول‌های سطح آب و در نتیجه کشش سطحی آن را کاهش می‌دهد.

پرسش ۳-٤ ..... صفحه ۷۰

شکل روبه‌رو خروج قطره‌های روغن با دمای متفاوت را از دهانه‌ی دو قطره چکان نشان می‌دهد.

الف) توضیح دهید در کدام شکل دمای قطره‌های روغن کمتر است؟

در شکل سمت چپ- زیرا هر قدر روغن سردتر باشد، نیروی هم چسبی آن قوی تر است و در زمان جدا شدن از قطره‌چکان قطرات بزرگ‌تری را تشکیل می‌دهد. (با قوی‌تر شدن نیروی هم‌چسبی، قطره برای فرو افتادن و غلبه بر این نیرو باید جرم بیشتری داشته باشد.)

ب) افزایش دما چه تأثیری بر نیروی هم چسبی مولکول‌های یک مایع می‌گذارد؟

افزایش دما باعث افزایش جنبش مولکولی و در نتیجه ضعیف‌تر شدن نیروی هم چسبی مولکول‌های یک مایع می‌شود.

پ) چرا هنگام شستن ظروف، افزون بر استفاده از مایع ظرف‌شویی، ترجیح می‌دهیم از آب گرم نیز استفاده کنیم؟

گرما باعث افزایش جنبش مولکولی و در نتیجه غلبه بر نیروی دگر چسبی چربی‌ها و ظروف شده و ظروف راحت‌تر شسته می‌شوند.

فعالیت ۳-۵ ..... صفحه ۷۰

یک طرف یک تکه شیشه‌ی کوچک (با ابعادی حدود $۱۰cm$ در $۱۰cm$) را کمی بالاتر از شعله‌ی یک شمع بگیرید تا سطح شیشه به طور کامل دوداندود شود. شیشه را از طرف تمیز آن روی سطحی افقی قرار دهید و سپس روی سطح دود اندود شده‌ی آن چند قطره آب بریزید. آنچه را مشاهده می‌کنید در گروه خود به بحث بگذارید و نتیجه را به کلاس ارائه دهید.

چون نیروی هم‌چسبی بین مولکول‌های آب از نیروی دگر چسبی مولکول‌های آب و دوده بیشتر است، آب دوده را تَر نمی‌کند و قطرات آب بر روی دوده به شلک کروی باقی می‌مانند و به صورت قطره‌های کوچک روی سطح شیشه قرار می‌گیرد.

بار دیگر سطح شیشه را به جای دود اندود کردن، با روغن چرب کنید و آزمایش را تکرار کنید. مشاهده‌ی خود را توضیح دهید و نتیجه را به کلاس گزارش دهید. (پس از بحث کافی در خصوص این فعالیت، دوباره به تصویر و پرسش شروع فصل بازگردید و پاسخی قانع کننده ارائه دهید.)

چون نیروی هم‌چسبی بین مولکول‌های آب از نیروی دگر چسبی بین مولکول‌های آب و روغن بیشتر است آب بر سطح شیشه چرب شده با روغن پخش نمی‌شود و به صورت قطره‌های کوچک روی سطح شیشه قرار می‌گیرد.

فعالیت ۳-٦ ..... صفحه ۷۱

این فعالیت به شما کمک می‌کند تا درک بهتری از نیروی دگرچسبی به دست آورید. به این منظور از یک لیوان پر از آب، یک کارت بانکی و تعدادی وزنه چند گرمی یا سکه‌های پول استفاده کنید. ابتدا مطابق شکل الف، کارت را طوری روی لبه‌ی لیوان قرار دهید که تنها نیمی از آن با آب در تماس باشد. وزن‌های چند گرمی را روی قسمتی از کارت قرار دهید که با آب در تماس نیست (ابتدا وزنه ۵ گرمی، سپس ۱۰ گرمی و...). نتیجه‌ی مشاهده‌ی خود را با توجه به مفاهیمی که تاکنون فرا گرفته‌اید توضیح دهید.

چون نیروی دگرچسبی آب و کارت بیشت از نیروی هم چسبی بین مولکول‌های آب است با افزودن وزنه‌ها در یک سمت کارت، سوی دیگر علاوه بر اینکه از سطح اولیه خود بالاتر می‌آید سطح آب در تماس با خود را نیز بالا می‌برد. بنابراین کارت از سطح آب جدا نمی‌شود. با افزایش تعداد وزنه‌ها، نیروی وزن آنها بر نیروی دگر چسبی آب و کارت غلبه کرده و کارت از سطح آب جدا می‌گردد.

یکی دو قطره مایع شوینده به آب اضافه کنید و آزمایش را تکرار کنید. نتیجه‌ی مشاهده خود را در گروه خود به بحث بگذارید.
با افزون مایع ظرفشویی به آب، نیروی دگر چسبی کاهش یافته و کارت با قراردادن وزنه‌ها به راحتی از سطح آب جدا می‌شود.

(ب) (ب) (الف)

فعالیت ۳-۷ صفحه ۷۲

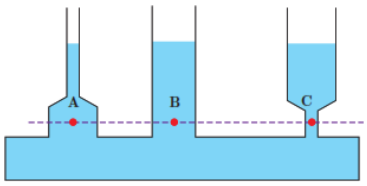
در ساختن دیوارهای ساختمان باید اثر مویینگی در نظر گرفته شود، زیرا تراوش آب از منفذهای مویین در این دیوارها می‌تواند سبب خسارت در داخل ساختمان شود. برای جلوگیری از این خسارت، دیوارهای داخل یا خارج ساختمان را معمولاً با مواد ناتراوا (مانند قیر) می‌پوشانند. تحقیق کنید در معماری سنتی ایران به جای قیر اندود کردن، چگونه از نفوذ آب به داخل سازه‌ها جلوگیری می‌کردند.

سازه‌های آبی شوشتر که از دوران هخامنشیان تا ساسانیان، جهت بهره‌گیری بیشتر از آب ساخته شده‌اند.

در نواحی بسیار مرطوب کرانه‌های نزدیک دریا خانه‌ها بر روی پایه‌های چوبی بنا می‌شد، شیب بندی مناسب بام‌ها نیز از عوامل مؤثر در جلوگیری از نفوذ آب بوده است. استفاده از کاهگل و روغن به عنوان اندود بر روی کاهگل‌ها، ملات‌های آهکی و ملات قیر چارو (ساروج گچ) که ترکیبی از گچ، گِل رس، شیره سوخته انگور یا خرما، خاکستر و مواد الیافی (مغز و پرزهای نوعی نی) است از جمله عایق‌های رطوبتی معماری سنتی ایران بوده است. (به طور کلی مواد که نیروی دگر چسبی آنها با آب کمتر از نیروی هم چسبی مولکول‌های آب باشند، ناتراوا بوده و عایق‌های رطوبتی خوبی هستند.)

پرسش ۳-۵ صفحه ۷۴

در علوم سال نهم دیدید که فشار در نقاط هم تراز از یک مایع ساکن مانند نقاط A و B و C در شکل یکسان است و به شکل ظرف بستگی ندارد. سازگاری این موضوع را با رابطه‌ی ۳-۳ توضیح دهید.



طبق رابطه $P = P_0 + \rho gh$ عوامل مؤثر بر فشار یک مایع عبارتند از فشار در سطح مایع، چگالی مایع، عمق مایع و شتاب گرانشی. چون همه این عوامل در نقاط A, B, C یکسان است، فشار در این نقاط با هم برابر است.

تمرین ۳-۲ صفحه ۷۶

شناگری در عمق ۵/۰ متری از سطح آب دریاچه‌ای شنا می‌کند. فشار ناشی از آب و همچنین فشار کل در این عمق چقدر است؟ اگر مساحت پرده گوش را یک سانتی‌متر مربع ($1cm^2$) فرض کنیم، بزرگی نیرویی که به پرده‌ی گوش این شناگر وارد می‌شود چند نیوتون است؟ فشار هوای محیط را $1/01\times10^5 Pa$ بگیرید.

$\rho = 1\times10^3 \frac{kg}{m^3}$ ، $g \simeq 10 \frac{N}{kg}$ ، $P_0 = 1/01\times10^5 Pa = 10/1\times10^4 Pa$

$A = 1cm^2 = 1\times10^{-4} m^2$ ، $h = 5m$

$P = \rho gh = 1\times10^3 \times 10 \times 5 = 5\times10^4 Pa \rightarrow P = 5\times10^4 Pa$ فشار شاره در عمق ۵ متری

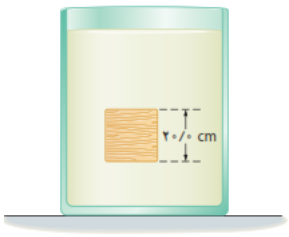
$$P = P_{\circ} + \rho gh = P_{\circ} + P = ۱۰/۱\times۱۰^{۴} + ۵\times۱۰^{۴} = ۱۵/۱\times۱۰^{۴}\,Pa \rightarrow P = ۱۵/۱\times۱۰^{۴}\,Pa$$

$$P = \frac{F}{A} \Rightarrow F = PA = ۱۵/۱\times۱۰^{۴}\times۱\times۱۰^{-۴} = ۱۵/۱N \rightarrow F = ۱۵/۱N$$ نیروی وارد بر پرده گوش

تمرین ۳-۳ صفحه ۷۶

جسمی مکعبی به طول ضلع $۲۰/\circ cm$ درون شاره‌ای غوطه‌ور و در حال تعادل است (شکل روبه‌رو). فشار در بالا و زیر جسم به ترتیب برابر ۱۰۵/۰ و ۱۰۶/۸ کیلوپاسکال است.

چگالی شاره چند کیلوگرم بر متر مکعب است؟ (راهنمایی: از رابطه‌ی ۳-۲ استفاده کنید.)



$$h = ۲\circ cm = \circ/۲m$$

$$g \simeq ۱\circ\frac{N}{kg} \quad , \quad \rho = ?$$

$$P_{۱} = ۱۰۵kPa = ۱۰۵\times۱۰^{۳}\,Pa$$

$$P_{۲} = ۱۰۶/۸kPa = ۱۰۶/۸\times۱۰^{۳}\,Pa$$

$$P_{۲} = P_{۱} + \rho gh$$

$$۱۰۶/۸\times۱۰^{۳} = ۱۰۵\times۱۰^{۳} + \rho\times۱۰\times\circ/۲ \rightarrow ۱۰۶/۸\times۱۰^{۳} - ۱۰۵\times۱۰^{۳} = ۲\rho \rightarrow ۱/۸\times۱۰^{۳} = ۲\rho$$

$$\rho = \frac{۱/۸\times۱۰^{۳}}{۲} = \circ/۹\times۱۰^{۳}\frac{kg}{m^{۳}} \rightarrow \rho = ۹۰۰\frac{kg}{m^{۳}}$$

تمرین ۳-۴ صفحه ۷۷

در هواشناسی و روی نقشه‌های آب و هوا، معمولاً از یکای بار (bar) برای فشار هوا استفاده می‌کنند به طوری که داریم:

$$۱bar = ۱/\circ\circ\circ\times۱۰^{۵}N/m^{۲} = ۱/\circ\circ\circ\times۱۰^{۵}Pa$$

یک ستون به سطح مقطع $۱m^{۲}$ در نظر بگیرید که از سطح دریای آزاد تا بالاترین بخش جو زمین ادامه می‌یابد. (شکل روبه‌رو). اگر فشار هوا ر ادر سطح دریا $۱bar$ در نظر بگیریم، چند کیلوگرم هوا در این ستون فرضی وجود دارد؟

$$A = ۱m^{۲} \quad , \quad P_{\circ} = ۱\times۱۰^{۵}Pa \quad , \quad g \simeq ۱\circ\frac{N}{kg} \quad , \quad m = ?$$

نیرویی که ستون هوا به سطح مقطع وارد می‌کند برابر است با:

$$P_{\circ} = \frac{F}{A} \rightarrow F = P_{\circ}A = ۱\times۱۰^{۵}\times۱ = ۱\times۱۰^{۵}N \rightarrow F = ۱\times۱۰^{۵}N$$

این نیرو برابر وزن هوای داخل ستون است بنابراین:

$$F = mg \rightarrow m = \frac{F}{g} \rightarrow \frac{۱\times۱۰^{۵}}{۱\circ} = ۱\times۱۰^{۴}kg \rightarrow m = ۱\circ\circ\circ\circ kg$$

با توجه به شکل ۳-۱۸-ب چند درصد این جرم تا ارتفاع ۹ کیلومتری این ستون فرضی قرار دارد؟

ابتدا جرم ستون هوا را از ارتفاع ۹ کیلومتری تا انتهای جو محاسبه می‌کنیم:

$$P = \frac{F}{A} \Rightarrow F = PA = ۳\circ\times۱۰^{۳}\times۱ = ۳\times۱۰^{۴}N \rightarrow F = ۳\times۱۰^{۴}N$$

$$F = mg \Rightarrow m = \frac{F}{g} = \frac{۳\times۱۰^{۴}}{۱\circ} = ۳\times۱۰^{۳} = ۳\circ\circ\circ kg \Rightarrow m = ۳\circ\circ\circ kg$$

بنابراین جرم ستون هوا از سطح زمین تا ارتفاع ۹ کیلومتری برابر است با:

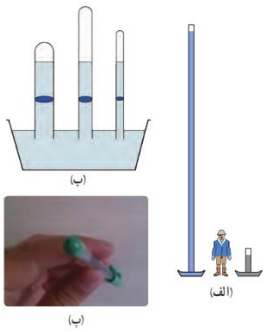
$$۱۰۰۰۰ - ۳۰۰۰ = ۷۰۰۰\,kg$$

$$\frac{۷۰۰۰}{۱۰۰۰۰} = \frac{x}{۱۰۰} \Rightarrow x = \frac{۱۰۰ \times ۷۰۰۰}{۱۰۰۰۰} = ۷۰\%$$

پرسش ۳-۶ صفحه ۷۸

الف) توضیح دهید چرا توریچلّی در آزمایش خود ترجیح داد به جای آب از جیوه استفاده کند؟ (ممکن است شکل الف بتواند در پاسخ به این پرسش به شما کمک کند.)

چون چگالی جیوه بسیار بیشتر از چگالی آب است، ارتفاع ستون جیوه در آزمایش بسیار کمتر از ارتفاع ستون آب می‌شود. بنابراین انجام آزمایش و اندازه‌گیری ارتفاع راحت‌تر است.



ب) برای لوله‌های غیر مویین، اگر سطح مقطع و طول لوله‌ها متفاوت باشد، ارتفاع ستون جیوه تغییر نمی‌کند (شکل ب). علت را توضیح دهید.

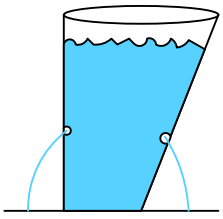
با توجه به رابطه‌ی $P_{\circ} = \rho g h$ ارتفاع ستون جیوه از رابطه $h = \frac{P_{\circ}}{\rho g}$ به دست می‌آید. چون $P_{\circ}$ و ρ و g در همه لوله‌ها ثابت هستند، پس ارتفاع h نیز مقداری ثابت است.

پ) در قلم خودکار، جوهر از طریق یک لوله وارد نوک قلم شده و در آنجا توسط یک گوی فلزی ضدزنگ غلتان، روی ورقه‌ی کاغذ پخش می‌شود. در بدانه‌ی لاکی یا درپوش بالایی این نوع قلم‌های خودکار سوراخ ریزی ایجاد می‌کنند (شکل پ). دلیل این کار را توضیح دهید.

فشار هوا از طریق این روزنه به سطح جوهر وارد و جوهر را به سمت گوی غلتان می‌فشارد.

فعالیت ۳-۸ صفحه ۷۹

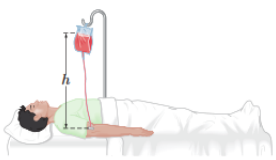
آزمایشی طراحی و سپس اجرا کنید که به کمک آن بتوان نشان داد فشار در یک عمق معین از معین به جهت‌گیری سطحی که فشار به آن وارد می‌شود بستگی ندارد.



ظرفی را مطابق شکل مقابل در نظر می‌گیریم و دو روزنه در محل‌های مشخص شده و با عمق‌های یکسان بر روی بدنه آن ایجاد می‌کنیم. اگر ظرف را از آب پر کرده و روزنه‌ها را باز کنیم، شدت خروج آب در هر دو روزنه برابر است. بنابراین فشار وارد شده از طرف مایع در هر دو نقطه است. (برای پی بردن به درستی این ادعا اگر خروجی از روزنه‌ها را جمع‌آوری کرده و مقایسه کنیم، مشاهده کنیم که حجم آب خروجی از دو روزنه برابر است.)

تمرین ۳-۵ صفحه ۸۰

شکل روبه‌رو یک کیسه‌ی پلاستیکی حاوی محلولی را نشان می‌دهد که در حال تزریق به یک بیمار است. سوزن سرنگی را به قسمت خالی از مایع بالای این کیسه وارد می‌کنند طوری که فشار هوا در این بخش از کیسه همواره با فشار هوای بیرون برابر بماند. اگر فشار پیمانه‌ای در سیاهرگ ۱۳۳۰ پاسکال باشد، ارتفاع کمینه‌ی h چقدر باشد تا محلول در سیاهرگ نفوذ کند؟ چگالی محلول را $۱۰۴۵ kg/m^{۳}$ بگیرید.



در ارتفاع کمینه فشار پیمانه‌ای سیاهرگ و فشار پیمانه‌ای محلول برابرند:

$$P_{g\ \text{سیاهرگ}} = P_{g\ \text{محلول}}$$

$$P_g = \rho g h \rightarrow ۱۳۳۰ = ۱۰۴۵ \times ۱۰ \times h \rightarrow h = \frac{۱۳۳۰}{۱۰۴۵۰} \simeq ۰/۱۲۷۳ \rightarrow h = ۱۲/۷۳cm$$

فعالیت ۳-۹ صفحه ۸۱

فویل آلومینیمی

درون یک ظرف مقداری آب بریزید. یک فویل آلومینیمی به ابعاد تقریبی $۲۰cm \times ۲۰cm$ اختیار کنید و آن را مچال کنید. پیش بینی کنید با قرار دادن فویل مچاله شده روی سطح آب، چه اتفاقی می‌افتد؟ آزمایش را انجام دهید.

فویل آلومینیمی مچاله‌شده

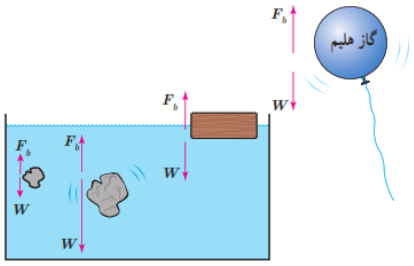
فویل مچاله شده بر روی آب شناور می‌ماند.

اکنون فویل مچاله شده را آن قدر فشار دهید تا تقریباً مشابه یک توپ کروی شود. اگر این توپ آلومینیمی را روی سطح آب قرار دهید، پیش بینی کنید چه اتفاقی می‌افتد؟ آزمایش را انجام دهید. پیش‌بینی‌ها و نتایج مشاهده‌ی (آزمایش) خود را در گروهتان به بحث بگذارید و نتیجه را به کلاس ارائه دهید.

در این حالت فویل مچاله شده در آب فرو می‌رود. از این آزمایش نتیجه می‌گیریم شناور شدن یا فرورفتن جسم در یک مایع به جرم جسم بستگی نداشته بلکه به چگالی جسم وابسته است. اگر چگالی جسم کمتر از چگالی مایع باشد، جسم بر روی مایع شناور می‌ماند و اگر چگالی جسم بیشتر از چگالی مایع باشد، جسم در مایع فرو می‌رود.

پرسش ۳-۷ صفحه ۸۱

در شکل روبه‌رو، نیروی شناوری F_b و نیروی وزن W وارد بر چند جسم نشان داده شده است. با توجه به نیروی خالص وارد بر هر جسم، وضعیت آن را به کمک یکی از واژه‌های شناوری، غوطه‌وری، فرو رفتن و بالا رفتن توصیف کنید.



بادکنک = بالا رفتن

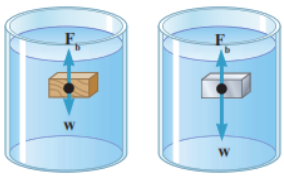
چوب (شکل سمت راست)= شناوری

شکل وسط= فرو رفتن

شکل سمت چپ= غوطه وری

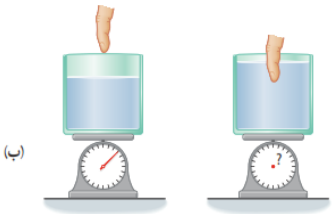
پرسش ۳-۸ صفحه ۸۲

۱) در شکل (الف) نیروهای وارد بر دو جسم با حجم یکسان و چگالی متفاوت نشان داده شده است که در شاره‌ای قرار دارند. جهت حرکت دو جسم را روی شکل تعیین کنید. همچنین چگالی هر جسم را با چگالی آب مقایسه کنید.



در شکل سمت راست چون نیروی وزن از نیروی شناوری بیشتر است، جسم به سمت پایین فرو می‌رود و در شکل سمت چپ چون نیروی شناوری بیشتر از نیروی وزن است جسم در مایع بالا می‌رود.

۲) شکل (ب) ظرفی محتوی آب را نشان می‌دهد که روی یک ترازوی عقربه‌ای قرار دارد. شخصی انگشت خود را وارد آب می‌کند. توضیح دهید عقربه‌ی ترازو چه تغییری می‌کند.


(ب)

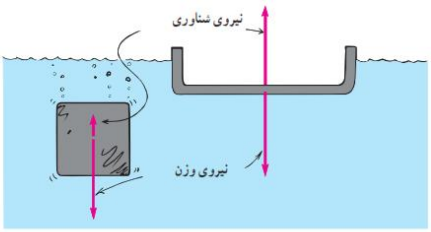
ترازو عدد بیشتری را در این حالت نشان می‌دهد. چون انگشت داخل آب قرار دارد، طبق اصل ارشمیدس آب به انگشت نیروی بالاسویی وارد می‌کند (F_b) و مطابق قانون سوم نیوتون انگشت نیز نیرویی در خلاف جهت و رو به پایین به آب وارد می‌کند. در نتیجه نیروی خالصی که از طرف آب به ترازو وارد می‌شود افزایش یافته و ترازو عدد بیشتری را نشان می‌دهد.

۳) جرم قطعه‌های آهنی در شکل (پ) با یکدیگر برابر است. دریافت خود را از این شکل بیان کنید.

برای دوجسم با جرم یکسان جسمی که حجم بیشتری دارد چون در زمان قرار گرفتن در مایع، حجم بیشتری از مایع را جابه‌جا می‌کند طبق اصل ارشمیدس نیروی شناوری وارد بر آن بیشتر است. اگر نیروی شناوری بیشتر از وزن جسم باشد، جسم بر روی مایع شناور می‌ماند و اگر نیروی شناوری کمتر از وزن جسم باشد، جسم در مایع فرو می‌رود.

۴) توضیح دهید چرا یک کشتی هوایی که با گاز هلیم (که چگالی آن کمتر از چگالی هواست) پر شده است نمی‌تواند به طور نامحدود به بالا رفتن ادامه دهد.

(ت)

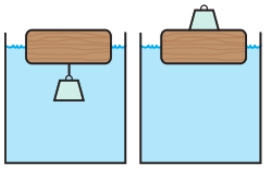


(پ)

چون چگالی هلیم کمتر از چگالی هوا است کششی هوایی در هوا به سمت بالا حرکت می‌کند. با افزایش ارتفاع، هوا رقیق‌تر شده و چگالی آن کمتر می‌شود تا در ارتفاع معینی چگالی کشتی و چگالی هوا برابر می‌شود، در نتیجه کشتی در هوا غوطه ور می‌ماند.

فعالیت ۳-۱۰ ..... صفحه ۸۳

یک قطعه‌ی چوبی را روی آب درون ظرفی قرار دهید. یک وزنه‌ی آهنی را یک بار روی چوب قرار دهید (شکل الف) و بار دیگر از زیر چوب آویزان کنید (شکل ب). پیش‌بینی کنید در کدام تجربه، چوب بیشتر در آب فرو می‌رود؟ آزمایش را انجام دهید. پیش‌بینی‌ها و نتایج مشاهده‌ی (آزمایش) خود را در گروهتان به بحث بگذارید و نتیجه را به کلاس ارائه دهید.


(ب) (الف)

اگر وزنه بر روی چوب قرار گیرد چوب بیشتر در آب فرو می‌رود؛ زیرا اگر وزنه را از زیر چوب آویزان کنیم، نیروی شناوری وارد بر وزنه نیروی خالص رو به پایین کاهش داده و باعث می‌شود چوب کمتر در آب فرو رود.

پرسش ۳-۹ ..... صفحه ۸۷

وقتی شیر آب را کمی باز کنید و آب به آرامی جریان یابد، مشاهده می‌شود که باریکه‌ی آب با نزدیک‌تر شدن به زمین، باریک‌تر می‌شود (شکل روبه‌رو). دلیل این پدیده را با توجه به معادله‌ی پیوستگی توضیح دهید.

معادله پیوستگی را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{v_2}{v_1}$$

طبق معادله پیوستگی سطح مقطع و تندی شاره نسبت عکس دارند.

چون با نزدیک‌تر شدن باریکه‌ی آب به زمین تندی آن افزایش می‌یابد، طبق معادله پیوستگی سطح مقطع آن کاهش خواهد یافت.

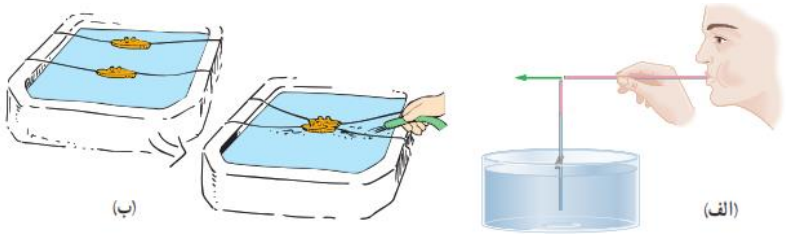
فعالیت ۳-۱۱ ..... صفحه ۸۸

الف) یک نی نوشابه را به طور عمودی درون ظرفی محتوی آب قرار دهید به طوری که ته نی با کف ظرف آب در تماس نباشد. مطابق شکل الف، درون یک نی افقی به گونه‌ای بدمید که جریان هوای خروجی درست از بالای سر نی عمودی بگذرد. مشاهده‌ی خود را گزارش کنید و دلیل آن را به کمک اصل برنولی توضیح دهید.

با دمیدن هوا در نی افقی سطح آب در نی عمودی بالا می‌آید. زیرا با افزایش تندی جریان هوا در بالای نی طبق اصل برنولی فشار هوای بالای نی کاهش یافته و اختلاف فشار هوای بیرون و هوای بالای نی باعث بالا آمدن آب در نی می‌شود.

ب) این فعالیت را می‌توانید در ظرف‌شویی آشپزخانه‌ی منزلتان یا یک تشت بزرگ در حیاط مدرسه انجام دهید. مطابق شکل یک جفت قایق اسباب‌بازی را روی سطح آب قرار داده و شُل کندر هم ببندید.سپس جریانی از آب را بین آنها برقرار کنید. به حرکت قایق‌ها نسبت به یکدیگر توجه کنید (شکل ب). با توجه به اصل برنولی توضیح دهید چرا قایق‌ها به طرف هم کشیده می‌شوند؟

با افزایش تندی جریان آب بین قایق‌ها، فشار آب در بین آنها کاهش یافته و اختلاف فشار آب ایجاد شده بین دو طرف قایق‌ها باعث کشیده شدن آن‌ها به سمت هم می‌شود.



پرسش ۳-۱۰ ..... صفحه ۸۹

الف) روزهایی که باد می‌وزد، ارتفاع موج‌های دریا یا اقیانوس بالاتر از ارتفاع میانگین می‌شود. با اصل برنولی چگونه می‌توان افزایش ارتفاع موج را توضیح داد؟

با وزش باد، فشار هوای بالای سطح آب کاهش یافته و در نتیجه امواج می‌توانند تا ارتفاع بیشتری بالا بیایند.

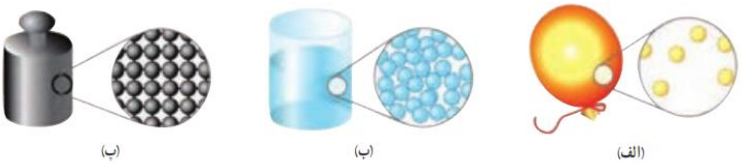
ب) شکل روبه‌رو کامیونی را در دو وضعیت سکون و در حال حرکت نشان می‌دهد. با استفاده از اصل برنولی توضیح دهید چرا وقتی کامیون در حال حرکت است پوشش برزنتی آن پُف می‌کند؟

با حرکت کامیون، تندی جریان هوا در بالای پوشش برزنتی افزایش یافته و طبق اصل برنولی فشار هوا در آن قسمت کاهش می‌یابد، در نتیجه اختلاف فشار هوای داخل و بیرون پوشش برزنتی باعث پُف کردن آن می‌شود.

پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۳

۳-۱ حالت‌های ماده

۱) دریافت خود را از شکل‌های زیر بر اساس مفاهیمی که از سه حالت معمول ماده فراگرفته‌اید بیان کنید.



الف) در گازها فاصله بین مولکول‌ها بسیار زیاد و مولکول‌ها نسبت به هم در وضعیت نامنظمی قرار دارند.

ب) در مایعات فاصله بین مولکول‌ها کم و مولکول‌ها به صورت نامنظم در کنار یکدیگر قرار دارند.

پ) در جامدات فاصله بین مولکول‌ها کم و مولکول‌ها به صورت منظمی در کنار هم قرار دارند.

۲) توضیح دهید از سه حالت مختلف ماده در چه بخش‌هایی از یک دوچرخه به چه دلیلی استفاده شده است؟

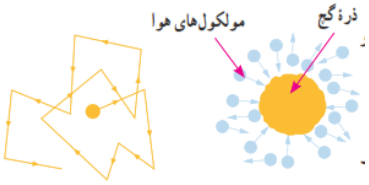
- از حالت جامد در ساخت بدنه و به دلیل استحکام زیاد استفاده شده است.
- از حالت مایع (روغن) در زنجیر و چرخ‌دنده به جهت روانکاری و کاهش اصطکاک استفاده شده است.
- از حالت گاز در باد لاستیک‌ها به جهت کاهش ضربه وارد شده به بدنه در حین حرکت و کاهش وزن استفاده شده است.

۳) هنگام پاک کردن تخته‌ی سیاه، ذرات گچ به طور نامنظم در هوای اطراف پراکنده شده و حرکت می‌کنند. این حرکت نامنظم ذرات گچ، مطابق شکل روبه‌رو مدل‌سازی شده است.

الف) چه عاملی باعث حرکت نامنظم ذره‌های گچ می‌شود؟

برخورد مولکول‌های هوا به ذرات گچ.

ب) مولکول‌های هوا بسیار کوچک‌تر و سبک‌تر از ذره‌های گچ هستند و توسط میکروسکوپ هم دیده نمی‌شوند. توضیح دهید چگونه این تجربه‌ی ساده، شاهدی بر وجود مولکول‌های هواست.



در مولکول‌های هوا جهت و تعداد برخوردهای انجام شده در راستا متفاوت و تندی حرکت مولکوها بسیار زیاد است؛ بنابراین حرکت نامنظمی در ذرات گچ ایجاد می‌شود. اگر مولکول‌های هوا وجود نداشتند، ذرات گچ با شتاب ثابت g در اثر نیروی وزن به سمت زمین سقوط می کردند.

۴) توضیح دهید چرا:

الف) پدیده‌ی پخش در گازها، سریع‌تر از مایع‌ها انجام می‌شود. در توضیح خود به چند مثال نیز اشاره کنید.

۱- تندی حرکت مولکول‌های گاز بیشتر از مایعات است. ۲- تراکم مولکول‌های گاز در محیط کمتر است بنابراین حرکت مولکول‌های گاز در محیط با سهولت بیشتری انجام می‌گیرد. پدیده پخش به دو دلیل بالا در گازها سریع‌تر از مایعات انجام می‌گیرد، مثلاً وقتی گلی خوشبو را به اتاق می‌بریم بوی گل در همه جای اتاق حس می‌شود ولی وقتی مقداری شکر را در آب می‌ریزیم تا زمانی که آن هم نزنیم همه آب به طور کامل شیرین نمی‌شود.

ب) یک بادکنک پر از باد، حتی اگر دهانه‌ی آن نیز کاملاً بسته شده باشد، باز هم رفته رفته کم باد می‌شود.

فاصله‌ی بین مولکول‌های دیواره بادکنک بزرگتر از اندازه مولکول‌های هوا است، بنابراین مولکول‌های هوا می‌توانند با برخورد به دیواره بادکنک از آن عبور کرده و در نتیجه بادکنک رفته‌رفته کم باد می‌شود.

۲-۳ ویژگی‌های فیزیکی مواد در مقیاس نانو

۵) هر یک از موارد زیر را توضیح دهید.

الف) علوم و فناوری نانو

دانش و ابزاری است که ما را قادر به بررسی، مشاهده و به کارگیری مواد در مقیاس نانو می‌کند. همچنین علم نانو شاخه‌ای از علوم است که تغییر در ویژگی‌های فیزیکی مواد را در مقیاس نانون بررسی می‌کند.

ب) ابعاد مواد مورد بررسی در علوم و فناوری نانون و اهمیت بررسی مواد در ابعاد نانو

ابعاد مواد مورد بررسی در مقیاس نانو بسته به نوع ماده و ویژگی‌های فیزیکی آن می‌تواند حدود ۱ تا ۱۰۰ نانومتر باشد، در این ابعاد ویژگی‌های فیزیکی مواد از قبیل نقطه ذوب، رسانندگی گرمایی و الکتریکی، شفافیت، استحکام، رنگ و... تغیر می‌کند. فناوری نانو در واقع از ویژگی‌های خاصی از مواد که در ابعاد نانو تغییر می‌کند بهره‌برداری می‌نماید.

پ) تفاوت نانو ذره و نانو لایه

در نانو ذره هر سه بعد ماده در مقیاس نانو است، ولی در نانو لایه فقط یک بُعد از ماده در مقیاس نانو است.

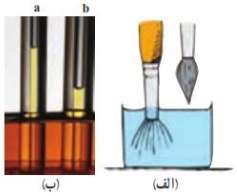
۳-۳ نیروهای بین مولکولی

۶) شیشه‌گران برای چسباندن تکه‌های شیشه به یکدیگر، آنها را آن قدر گرم می‌کنند که نرم شوند. این کار را با توجه به کوتاه بُرد بودن نیروی جاذبه‌ی بین مولکولی توضیح دهید.

چون نیروهای بین مولکولی کوتاه‌برد هستند، برای اتصال دو قطعه شیشه‌ای به هم باید مولکول‌های این دو قطعه را در فاصله‌ی مناسبی از هم قرار دهیم تا این نیروها بین مولکول‌های دو قطعه به وجود آید. افزایش حرارت باعث بیشتر شدن جنبش مولکولی می‌شود و در نتیجه مولکول‌های دو قطعه شیشه‌ای می‌توانند در لابه‌لای هم و در فاصله‌ی مناسبی از یکدیگر قرار گرفته تا نیروی جاذبه بین مولکولی سبب اتصال دو قطعه به هم شود.

۷) الف) توضیح دهید چرا وقتی قلم‌مویی را از آب بیرون می‌کشیم (شکل الف)، موهای آن به هم می‌چسبند؟ (اشاره: به پدیده‌ی کشش سطحی در مایع‌ها توجه کنید.)

با بیرون کشیدن قلمو از آب چون سطح خارجی با آب پوشیده می‌شود نیروی کشش سطحی که بین مولکول‌های آب وجود دارد این موها را در کنار هم قرار داده و به هم می‌چسبند.



ب) شکل (ب) دو لوله‌ی مویین هم جنس را نشان می‌دهد که درون مایعی قرار دارند. چرا ارتفاع مایع درون لوله‌ی b از دو لوله‌ی دیگر کمتر است؟ با توجه به شکل، نیروی هم چسبی مایع را با نیروی دگر چسبی مایع و لوله‌های مویین مقایسه کنید.

درلوله‌های مویین هر قدر قطر لوله بیشتر باشد تغییر ارتفاع مایع در لوله نسبت به سطح مایع ظرف کمتر است. در اینجا چون قطر لوله b بیشتر است، ارتفاع مایع در آن کمتر است.

نیروی دگرچسبی بین مولکول‌های مایع و مولکول‌های شیشه بیشتر از نیروی هم چسبی بین مولکول‌های مایع است.

۸) تغییرات اقلیمی سال‌های اخیر در کشورهای غرب ایران، پدیده‌ی خطرناک ریزگردها را به مناطق وسیعی از کشورمان گسترش داده است. چگالی ریزگردها در حالتی که ته نشین شده باشد تقریباً دو برابر چگالی آب است.

الف) چرا بادهای نسبتاً ضعیف قادرند توده‌های بزرگی از ریزگردها را به حرکت درآورند در حالی که توفان‌های شدید دریایی تنها مقدار اندکی آب را به صورت قطره‌های ریز به طرف بالا می‌پاشند؟

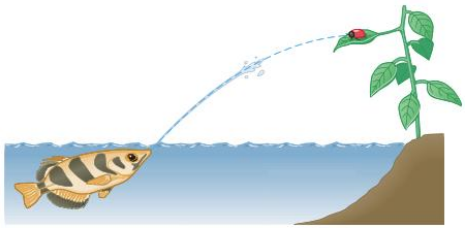
نیروی کشش سطحی آب مانع از جدا شدن قطرات ریز آب از سطح آن می‌شود ولی این نیرو در بین ذرات ریزگردها وجود ندارد.

ب) بررسی کنید برای مقابله با این پدیده و مهار آن، چه تدابیری را می‌توان اندیشید؟

هر قدر رطوبت سطح زمین بیشتر باشد جدا شدن این ریزگردها از سطح زمین کمتر است؛ بنابراین مقابله با خشکسالی و برداشت‌های بی‌رویه منابع آبی زمین و کاشت گیاهان از جمله عواملی است که می‌تواند رطوبت سطح زمین را حفظ و مانع از چنین پدیده‌هایی شود.

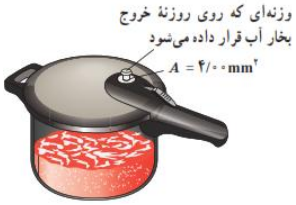
۹) نوعی ماهی به نام ماهی کمان‌گیر با جمع کردن آب در دهان خود و پرتاب آن به سوی حشراتی که در بیرون از آب، روی گیاهان نشسته‌اند، آنها را شکار می‌کند و می‌خورد (شکل الف). هدف گیری آنها به اندازه‌ای دقیق است که معمولاً در این کار اشتباه نمی‌کنند. کدام ویژگی آب این امکان را به ماهی کمان‌گیر برای شکار می‌دهد؟

نیروی دگر چسبی بین آب و بدن حشره باعث می‌شود تا آب در حین پایین آمدن حشره را نیز با خود به داخل آب بیاورد.



۳-۴ فشار در شاره‌ها

۱۰) مساحت روزنه‌ی خروج بخار آب، روی درب زودپزی $۴/۰۰\,mm^۲$ است (شکل روبه‌رو). جرم وزنه‌ای که روی این روزنه باید گذاشت چقدر باشد تا فشار داخل آن در $۲atm$ نگه داشته شود؟ فشار بیرون دیگ زودپز را $۱atm$ بگیرید.



$$A = ۴mm^۲ = ۴\times۱۰^{-۶}m^۲$$
$$P = ۲atm - ۱atm = ۱atm = ۱\times۱۰^۵Pa$$
$$g \simeq ۱۰\frac{N}{kg}\ ,\ m = ?$$

برای ثابت ماندن فشار داخل زودپز باید نیروی ناشی از اختلاف فشار داخل و بیرون ظرف با وزن وزنه برابر باشد:

$$F = mg \rightarrow PA = mg \rightarrow ۱\times۱۰^۵\times۴\times۱۰^{-۶} = m\times۱۰ \rightarrow ۰/۴ = ۱۰m \rightarrow m = \frac{۰/۴}{۱۰} = ۰/۰۴kg \rightarrow m = ۴۰g$$

۱۱) شکل روبه‌رو یک جوسنج ساده‌ی جیوه‌ای را نشان می‌دهد. (ضخامت دیواره‌ی شیشه‌ای را نادیده بگیرید.)

الف) در ناحیه‌ی A چه چیزی وجود دارد؟

مقدار بسیار ناچیزی بخار جیوه

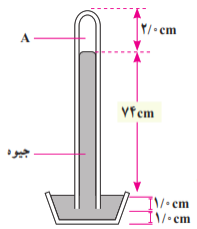
ب) چه عاملی جیوه را درون لوله نگه می‌دارد؟

فشار هوای محیط

پ) فشار هوای محیطی که این جوسنج در آنجا قرار دارد چقدر است؟

$$\rho = ۱۳۶۰۰\frac{kg}{m^۳}\ ,\ g \simeq ۱۰\frac{N}{kg}\ ,\ h = ۷۴cm = ۰/۷۴m$$
$$P_۰ = \rho gh = ۱۳۶۰۰\times۱۰\times۰/۷۴ = ۱۰۰۶۴۰Pa \rightarrow P_۰ = ۱/۰\times۱۰^۵Pa$$

ت) اگر این جوسنج را بالای کوهی ببریم چه تغییری در ارتفاع ستون جیوه‌ی درون لوله رخ می‌دهد؟ دلیل آن را توضیح دهید.



در ارتفاعات با کاهش فشار هوای محیط طبق رابطه $P_۰ = \rho gh$ و با توجه به اینکه ρ و g تقریباً ثابت هستند، ارتفاع ستون جیوه (h) کاهش می‌یابد.

۱۲) الف) ارتفاع چهار شهر مرتفع ایران از سطح دریا، به شرح زیر است:

فریدون شهر: $۲۶۱۲\,m$ سمیرم: $۲۴۳۴\,m$ بروجن: $۲۲۶۵m$ شهرکرد: $۲۰۷۲m$

با توجه به نمودار شکل ۳-۱۸-ب، فشار تقریبی هوا را در این چهار شهر بنویسید.

فریدون‌شهر $۷۴kPa$ ، سمیرم $۷۶kPa$ ، بروجن $۷۸kPa$ ، شهرکرد $۸۰kPa$

ب) چگالی میانگین هوا تا ارتفاع ۳ کیلومتری از سطح دریای آزاد حدود $\bar{\rho} = ۱/۰۱ kg/m^۳$ است. با استفاده از رابطه‌ی $P = P_۰ - \bar{\rho}gh$ فشار هوا را در این شهرها حساب کنید و مقادیر به دست آمده را با نتیجه قسمت الف مقایسه کنید.

فریدون‌شهر: $h = ۲۶۱۲m \ , \bar{\rho} = ۱/۰۱ \frac{kg}{m^۳} \ , \ g \simeq ۱۰ \frac{N}{kg} \ , \ P_۰ = ۱/۰۱ \times ۱۰^۵ Pa \ , \ P = ?$

$$P = P_۰ - \bar{\rho}gh = ۱۰۱۰۰۰ - ۱/۰۱ \times ۱۰ \times ۲۶۱۲ = ۱۰۱۰۰۰ - ۲۶۳۸۱/۲ \simeq ۷۴۶۱۹Pa = ۷۴/۶۱۹kPa$$

سمیرم: $h = ۲۴۳۴m$

$$P = P_۰ - \bar{\rho}gh = ۱۰۱۰۰۰ - ۱/۰۱ \times ۱۰ \times ۲۴۳۴ = ۱۰۱۰۰۰ - ۲۴۵۸۳/۴ \simeq ۷۶۴۱۷Pa = ۷۶/۴۱۷kPa$$

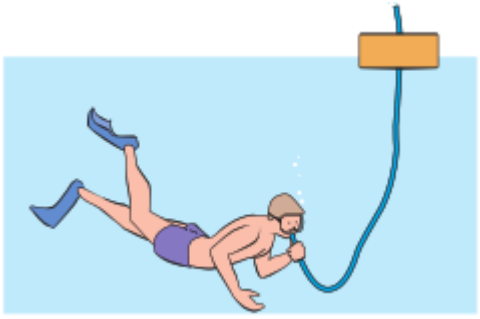
بروجن: $h = ۲۲۶۵m$

$$P = P_۰ - \bar{\rho}gh = ۱۰۱۰۰۰ - ۱/۰۱ \times ۱۰ \times ۲۲۶۵ = ۱۰۱۰۰۰ - ۲۲۸۷۶/۵ \simeq ۷۸۱۲۴Pa = ۷۸/۱۲۴kPa$$

شهرکرد: $h = ۲۰۷۲m$

$$P = P_۰ - \bar{\rho}gh = ۱۰۱۰۰۰ - ۱/۰۱ \times ۱۰ \times ۲۰۷۲ = ۱۰۱۰۰۰ - ۲۰۹۲۷/۲ \simeq ۸۰۰۷۳Pa = ۸۰/۰۷۳kPa$$

۱۳) غواص‌ها می‌توانند با قرار دادن یک سر لوله‌ای در دهان خود، در حالی کهسر دیگر آن از آب بیرون است، تا عمق بیشینه‌ای در آب فرو روند و نفس بکشند. (شکل روبه‌رو). با گذشتن از این عمق، اختلاف فشار درون و بیرون ریه‌ی غواص افزایش می‌یابد و غواص را ناراحت می‌کند. چون هوای درون ریه از طریق لوله با هوای بیرون ارتباط دارد، فشار هوای درون ریه، همان فشار جوّ است در حالی که فشار وارد بر قفسه‌ی سینه‌ی او، همان فشار در عمق آب است. در عمق $۶/۱۵m$ از سطح آب، اختلاف فشار درون ریه‌ی غواص با فشار وارد بر قفسه‌ی سینه‌ی او چقدر است؟ (خوب است بدانید که غواص‌های مجهز به مخزن هوای فشرده می‌توانند تا عمق بیشتری در آب فرو روند، زیرا فشار هوای درون ریه آنها با افزایش عمق، همپای فشار آب بر سطح بیرونی بدون زیاد می‌شود.)



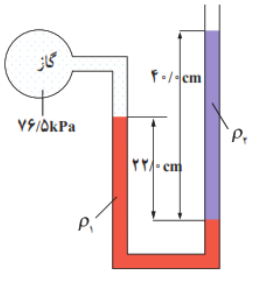
$$\rho = ۱۰۰۰ \frac{kg}{m^۳} \ , \ g \simeq ۱۰ \frac{N}{kg} \ , \ h = ۶/۱۵m$$

چون فشار هوای درون ریه غواص همان فشار جو ($P_۰$) و فشار وارد بر قفسه سینه غواص همان فشار در عمق آب (P) است. اختلاف فشار درون ریه با فشار وارد بر قفسه سینه به صورت زیر به دست می‌آید:

$$P = P_۰ + \rho gh \rightarrow P - P_۰ = \rho gh = ۱۰۰۰ \times ۱۰ \times ۶/۱۵ \rightarrow P - P_۰ = ۶/۱۵ \times ۱۰^۴ Pa$$

۱۴) درون لوله‌ی U شکلی که به یک مخزن محتوی گاز وصل شده است جیوه ($\rho_۱ = ۱۳/۶ \times ۱۰^۳ \ kg/m^۳$) و مایعی با چگالی $\rho_۲$ نامعلوم وجود دارد. (شکل روبه‌رو).

اگر فشار هوای بیرون لوله‌ی U شکل $۱۰۱kPa$ باشد، چگالی مایع را تعیین کنید.



$$P = ۷۶/۵kPa = ۷۶۵۰۰Pa \ , \ \rho_۱ = ۱۳/۶ \times ۱۰^۳ \frac{kg}{m^۳} \ , \ h_۱ = ۲۲cm = ۰/۲۲m$$

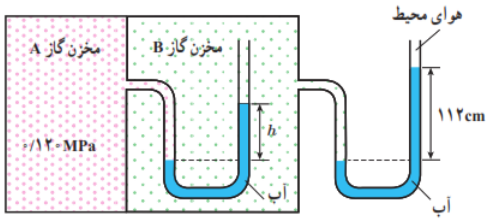
$$\rho_۲ = ? \ , \ h_۲ = ۴۰cm = ۰/۴m \ , \ P_۰ = ۱۰۱kPa = ۱۰۱۰۰۰Pa \ , g \simeq ۱۰ \frac{N}{kg}$$

$$P_{\text{مخزن}} + P_{\text{جیوه}} = P_{\text{مایع}} + P_۰$$

$P + \rho_1 g h_2 = \rho_2 g h_2 + P_0 \rightarrow ۷۶۵۰۰ + ۱۳۶۰۰ \times ۱۰ \times ۰/۲۲ = \rho_2 \times ۱۰ \times ۰/۴ + ۱۰۱۰۰۰ \rightarrow ۷۶۵۰۰ + ۲۹۹۲۰ = ۴\rho_2 + ۱۰۱۰۰۰$

$\rightarrow ۴\rho_2 = ۵۴۲۰ \rightarrow \rho_2 = \frac{۵۴۲۰}{۴} = ۱۳۵۵ \frac{kg}{m^3} \rightarrow \rho_2 = ۱/۳۶ \times ۱۰^3 \frac{kg}{m^3}$

۱۵) در شکل روبه‌رو مقدار h چند سانتی‌متر است؟ فشار هوای محیط را $۱۰۱kPa$ و چگالی آب را $۱/۰۰ \times ۱۰^3 kg/m^3$ بگیرید.



$P_0 = ۱۰۱kPa = ۱۰۱ \times ۱۰^3 Pa \quad , \quad \rho = ۱ \times ۱۰^3 \frac{kg}{m^3} \quad , \quad P_A = ۰/۱۲MPa = ۰/۱۲ \times ۱۰^6 Pa = ۱۲۰ \times ۱۰^3 Pa \quad ,$

$h_C = ۱۱۲cm = ۱/۱۲m \quad , \quad g \simeq ۱۰ \frac{N}{kg} \quad , \quad h_B = ?$

فشار مخزن A برابر است با: $\rho g h_B + P_B$

فشار مخزن B : $\rho g h_C + P_0$

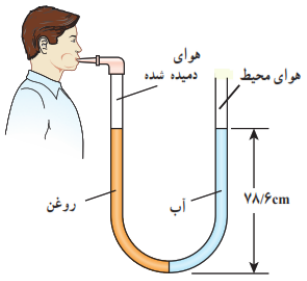
$\Rightarrow P_A = \rho g h_B + \rho g h_C + P_0 \rightarrow$

$۱۲۰ \times ۱۰^3 = ۱ \times ۱۰^3 \times ۱۰ \times h_B + ۱ \times ۱۰^3 \times ۱۰ \times ۱/۱۲ + ۱۰۱ \times ۱۰^3$

$۱۲۰ = ۱۰h_B + ۱۱/۲ + ۱۰۱ \rightarrow ۱۲۰ - ۱۱۲/۲ = ۱۰ h_B \rightarrow ۷/۸ = ۱۰h_B \rightarrow h_B = \frac{۷/۸}{۱۰} = ۰/۷۸m = ۷۸cm$

$\rightarrow h_B = ۷۸cm$

۱۶) لوله‌ی U‌شکلی را در نظر بگیرید که محتوی حجم مساوی از آب و روغن است (شکل روبه‌رو). با توجه به اطلاعات روی شکل، فشار پیمانه‌ای هوای درون ریه‌ی شخصی که از شاخه‌ی سمت چپ لوله درون آن دمیده،چقدر است؟ چگالی روغن را $۰/۸۰۵ kg/m^3$ بگیرید.



$h_W = h_O = ۷۸/۶cm = ۷۸/۶ \times ۱۰^2 m \quad , \quad \rho_W = ۱۰۰۰ \frac{kg}{m^3} \quad , \quad \rho_O = ۸۰۵ \frac{kg}{m^3} \quad , \quad g \simeq ۱۰ \frac{N}{kg}$

اگر فشار هوای درون ریه فرد را با P نشان دهیم می‌توان نوشت:

$P + P_{\text{روغن}} = P_{\text{آب}} + P_0 \rightarrow P_g = P_{\text{آب}} - P_{\text{روغن}} = \rho_{\text{آب}} g h_{\text{آب}} - \rho_{\text{روغن}} g h_{\text{روغن}}$

$P_g = gh(\rho_W - \rho_O) = ۱۰ \times ۷۸/۶ \times ۱۰^{-2}(۱۰۰۰ - ۸۰۵) = ۱۵۳۲/۷Pa \rightarrow P_g = ۱/۵۳ \times ۱۰^3$

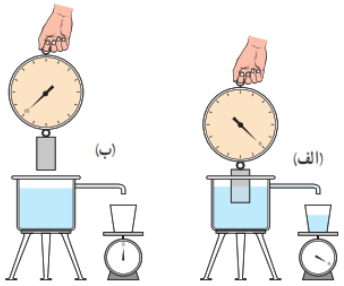
چون حجم آب و روغن برابر و سطح مقطع لوله ثابت است، ارتفاع آب روغن برابر است.

۳-۵ شناوری و اصل ارشمیدس

۱۷) دو قوطی نوشابه، یکی معمولی و دیگری رژیمی را در ظرفی محتوی آب بگذارید. متوجه خواهید بشد که نوشابه رژیمی شناور می‌ماند در حالی که نوشابه‌ی معمولی فرو می‌رود. بااستفاده از اصل ارشمیدس، این نتیجه را توضیح دهید. (اشاره: چگالی شیرین کننده‌های مصنوعی مورد استفاده در نوشابه‌های رژیمی کمتر از شکر است.)

هر دو نوشابه حجم ثابتی دارند، وقتی داخل آب قرار می‌گیرند وزن شاره جابه‌جا شده توسط آنها یکسان و در نتیجه طبق اصل ارشمیدس نیروی شناوری هر دو برابر است؛ از طرفی چون چگالی نوشابه رژیمی کمتر از چگالی نوشابه معمولی است وزن نوشابه رژیمی نیز کمتر از وزن نوشابه معمولی است، پس نیروی خالص که به نوشابه رژیمی وارد می‌شود رو به بالا و نیروی خالصی که به نوشابه معمولی وارد می‌شود رو به پایین است که باعث شناور شدن نوشابه رژیمی و فرو رفتن نوشابه معمولی در آب می‌شود.

۱۸) دریافت خود را از شکل‌های الف و ب بنویسید.



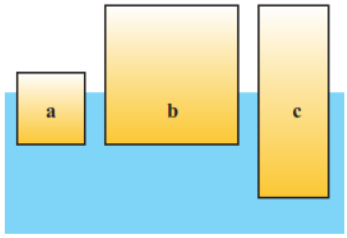
با توجه به شکل (ب) وزن جسم $۱۰N$ است؛ از طرفی چون نیروسنج نیروی خالص رو به پایین جسم را نشان می‌دهد در شکل (الف) می‌توان نوشت:

نیروی شناوری- وزن جسم= عدد نیروسنج

$$\rightarrow ۶ = ۱۰ - F_b \rightarrow F_b = ۴N$$

با توجه به ترازوی شکل (الف) نتیجه می‌گیریم نیروی شناوری با وزن مایع جابه‌جا شده توسط جسم برابر است.

۱۹) سه جسم a و b و c با چگالی‌های متفاوت، مطابق شکل روبه‌رو درون آب شناورند. چگالی این سه جسم را با یکدیگر مقایسه کنید.



هر قدر چگالی جسم نسبت به آب بیشتر باشد حجم بیشتری از جسم در آب فرو می‌رود

بنابراین: $\rho_a > \rho_c > \rho_b$

۲۰) توضیح دهید چرا نیروی شناوری برای جسمی که در یک شاره قرار دارد، روبه بالاست؟

برای جسمی که در شاره قرار دارد چون فشار وارد بر سطح پایینی جسم از سوی شاره بیشتر از فشار وارد بر سطح بالایی جسم از طرف شاره است، نیروی خالص رو به بالایی به جسم وارد می‌شود که همان نیروی شناوری است.

۲۱) توضیح دهید چه موقع نیروی شناوری وارد بر یک شناگر به بیشینه مقدار خود می‌رسد.

وقتی بدن شناگر به طور کامل درون آب قرار می‌گیرد از آنجا که وزن مایع جابه‌جا شده بیشترین مقدار است طبق اصل ارشمیدس نیروی شناوری نیز بیشینه خواهد بود.

۳-۶ شاره‌ی در حرکت و اصل برنولی

۲۲) در لوله‌ای پر از آب مطابق شکل زیر، آب از چپ به راست در جریان است. روی این لوله ۵ قسمت (A ،B ،C ،D و E) نشان شده است.

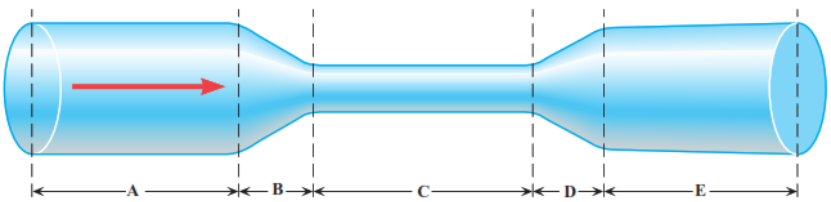
الف) در کدام یک از قسمت‌های لوله، تندی آب، در حال افزایش، در حال کاهش یا ثابت است؟

طبق معادله پیوستگی () تندی شاره و سطح مقطع نسبت عکس دارند، بنابراین در محل‌هایی که سطح مقطع کاهش می‌یابد تندی افزایش و در محل‌هایی که سطح مقطع افزایش می‌یابد تندی جریان آب کاهش می‌یابد. در محل‌هایی که سطح مقطع ثابت است، تندی جریان آب نیز ثابت است. بنابراین:

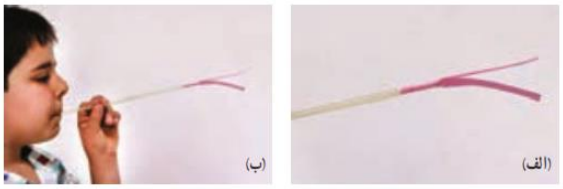
A: تندی ثابت است. B تندی افزایش می‌یابد.C تندی ثابت است. D تندی کاهش می‌یابد. E تندی ثابت است.

ب) تندی آب را در قسمت‌های C،A و E لوله با یکدیگر مقایسه کنید.

$$V_A = V_E < V_C$$

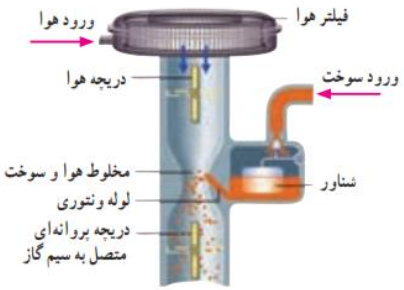


۲۳) دو نوار کاغذی به طول تقریبی ۱۰ سانتی‌متر را مطابق شکل (الف) به انتهای یک نی نوشابه بچسبانید. وقتی مطابق شکل (ب) به درون نی دمیده می‌شود نوارهای کاغذی به طرف یکدیگر جذب می‌شوند. با توجه به اصل برنولی دلیل این پدیده را توضیح دهید.



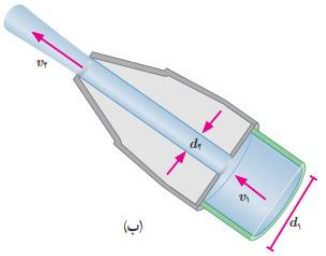
با دمیدن در نی تندی هوا در بین کاغذها افزایش و طبق اصل برنولی فشار هوا در بین آنها کاهش می‌یابد. در نتیجه فشار هوای خارج باعث نزدیک‌تر شدن نوارهای کاغذی به یکدیگر می‌شود.

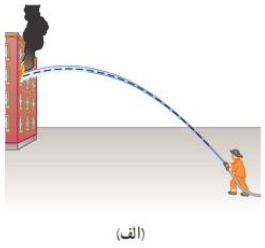
۲۴) شکل زیر کاربراتور یک موتور بنزینی قدیمی را نشان می‌دهد. حجم هوایی که وارد کاربراتور می‌شود توسط دریچه‌ی پروانه‌ای که به سیم گاز خودرو وصل شده، قابل تنظیم است. با توجه به کاربرد اصل برنولی در ساختمان یک کاربراتور، توضیح دهید چرا با فشردن بیشتر پدال گاز، دور موتور خودرو افزایش می‌یابد و خودرو می‌تواند سریع‌تر حرکت کند؟



با فشردن پدال گاز، دریچه پروانه‌ای باز و هوا به داخل کشیده می‌شود. در قسمت میانی لوله چون سطح مقطع کاهش می‌یابد طبق معادله پیوستگی تندی جریان هوا افزایش و در نتیجه طبق اصل برنولی فشار هوا کاهش می‌یابد. اختلاف فشار ایجاد شده بین مخزن سوخت و قسمت میانی لوله باعث انتقال سوخت به لوله می‌شود. هر قدر پدال بیشتر فشرده شود اختلاف فشار بیشتری ایجاد شود و سوخت بیشتری وارد و دور موتور افزایش می‌یابد.

۲۵) شکل (الف) آتش‌نشانی را در حال خاموش کردن آتش از فاصله‌ی نسبتاً دوری نشان می‌دهد. نمایی بزرگ شده از شیر بسته شده به انتهای لوله‌ی آتش‌نشانی در شکل (ب) نشان داده شده است. اگر آب با تندی $v_1 = 1/50\, m/s$ از لوله وارد شیر شود و قطر ورودی شیر $d_1 = 9/60 cm$ و قطر قسمت خروجی آن $d_2 = 2/50 cm$ باشد، تندی خروج آب را از شیر پیدا کنید.





شعاع ورودی شیر $d_1 = 9/6 cm \rightarrow r_1 = 9/4 cm \div 2 = 4/8 cm = 4/8 \times 10^{-2} m$, $v_1 = 1/5 \frac{m}{s}$

شعاع خروجی شیر $d_2 = 2/5 cm \rightarrow r_2 = 2/5 cm \div 2 = 1/25 cm = 1/25 \times 10^{-2} m$, $v_2 = ?$

با استفاده از معادله پیوستگی می‌توان نوشت:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \rightarrow \pi r_1^2 v_1 = \pi r_2^2 v_2 \rightarrow v_2 = \frac{r_1^2 v_1}{r_2^2} = \frac{(4/8 \times 10^{-2})^2 \times 1/5}{(1/25 \times 10^{-2})^2} = \frac{34/56 \times 10^{-4}}{1/5625 \times 10^{-4}}$$

$$v_2 \simeq 22/11 \frac{m}{s}$$

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

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:

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

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:

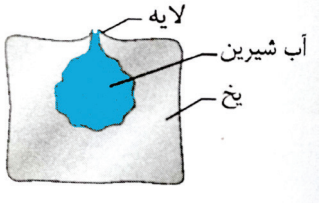
$$\rho_2 = \frac{\rho_1(1-\beta\Delta T)}{(1+\beta\Delta T)(1-\beta\Delta T)}$$
$$= \frac{\rho_1(1-\beta\Delta T)}{1-\beta^2(\Delta T)^2}$$

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

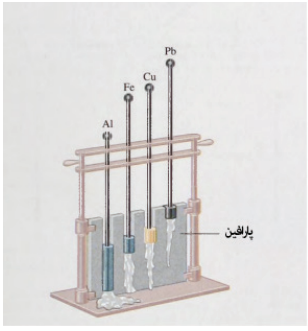
الف) در واقع دماسنج‌ها، دمای تعادل خود با محیط را اندازه می‌گیرند. پس، دماسنج دمای خود را که در تعادل با محیط است اندازه می‌گیرد.

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

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.

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

$$\Rightarrow c_۲ = \frac{m_۱c_۱(\theta-\theta_۱)}{m_۲(\theta-\theta_۲)} = \frac{(۰/۵۰۰kg)(۴۱۸۷J/kg.^\circ C)(۲۵/۰^\circ C - ۲۱/۰^\circ C)}{(۰/۲۵۰kg)(۲۱/۰^\circ C - ۳/۰^\circ C)}$$

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

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

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.

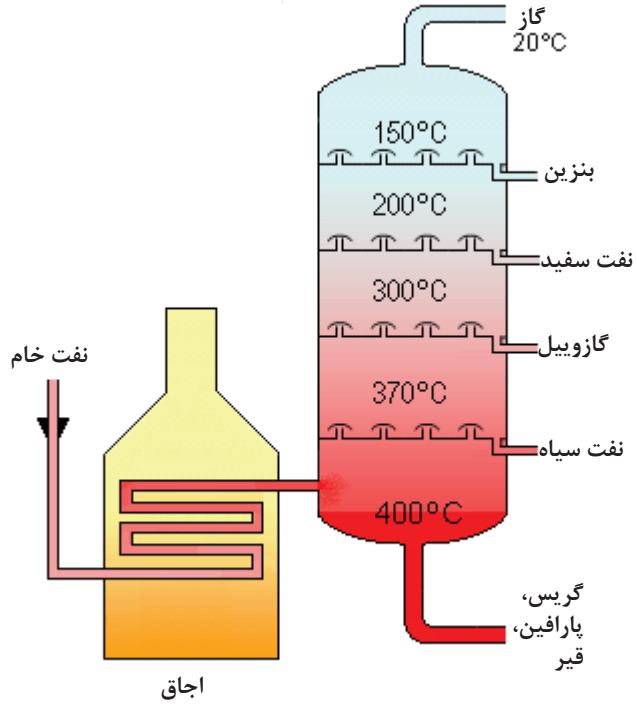
افزایش مساحت نیز موجب افزایش تبخیر سطحی می‌شود. چراکه هرچه مساحت سطح آزاد بیشتر شود بدیهی است که مولکول‌های بیشتری برای فرار از سطح آزاد مایع وجود خواهد داشت.

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.



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 $80^\circ C$ و در قلهٔ اورست نقطهٔ جوش آب در حدود $72^\circ C$ است. البته این دما برای پختن تخم‌مرغ که به دمای $70^\circ C$ نیاز دارد کافی است ولی زمان پختن را طولانی می‌کند. معمولاً گفته می‌شود کوه‌نوردان از نمک استفاده می‌کنند، ولی خوب است بدانید که افزودن $200\,g$ نمک (حدود یک لیوان) در ۱ لیتر آب حداکثر $2^\circ C$ بر نقطهٔ جوش آب می‌افزاید.

تمرین ۴ـ۶

گرمای لازم برای تبدیل یخ $-20^\circ C$ به بخار $100^\circ C$ از مجموع گرما در چهار فرایند حاصل می‌شود.

۱) تبدیل یخ $-20^\circ C$ به یخ $0^\circ C$

۲) تبدیل یخ $0^\circ C$ به آب $0^\circ C$

۳) تبدیل آب $0^\circ C$ به آب $100^\circ C$

۴) تبدیل آب $100^\circ C$ به بخار $100^\circ C$.

یعنی

$$
\begin{aligned}
Q &= mc_{\text{یخ}}\,\Delta\theta_1 + mL_F + mc_{\text{آب}}\,\Delta\theta_2 + mL_V \\
&= (1/0\,\text{kg})(2200\,\text{J/kg.}^\circ\text{C})(20^\circ\text{C}) + (1/0\,\text{kg})(333/7\times10^3\,\text{J/kg}) \\
&+ (1/0\,\text{kg})(4187\,\text{J/kg.}^\circ\text{C})(100^\circ\text{C}) + (1/0\,\text{kg})(2256\times10^3\,\text{J/kg}) \\
&= 3052800\,\text{J} \approx 3/1\times10^6\,\text{J}
\end{aligned}
$$

(توجه کنید گرچه جدول ۴ـ۳ گرمای ویژهٔ یخ را برای $-10^\circ C$ 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

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 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، 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.

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

$$= (۰/۶\,W/m.^{\circ}C)(۸۲۰\,m^{۲})\ \frac{(۲۵^{\circ}C - ۱۲^{\circ}C)}{۲/۰\,m}$$
$$= ۳۱۹۸W \approx ۳ \times ۱۰^{۳}W = ۳kW$$

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،

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 $\theta = ۸۰۰\,\mathrm{K}$ سه رقم بامعنا و در $V = ۲۰\,\mathrm{L}$ دو رقم فرض کرده‌ایم.

۱ـ

الف)

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

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

ب)

$$۲۷۳\mathrm{K} = -۰/۱۵^\circ\mathrm{C} \simeq ۰^\circ\mathrm{C}$$

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

پ)

$$۳۷۳\mathrm{K} = ۹۹/۸۵^\circ\mathrm{C} \simeq ۱۰۰^\circ\mathrm{C}$$

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

ت)

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

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

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)

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

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

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:

$$Pt = mc\Delta\theta$$

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

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

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.

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 $۲۰/۰^\circ C$ به نقطهٔ ذوب ($۹۶۰^\circ C$) می‌رسد و سپس نقره ذوب می‌شود:

$$Q = Q_۱ + Q_۲ = m_{\text{نقره}}\, c_{\text{نقره}}\, \Delta\theta + mL_F$$

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

$$= ۶۲۰۲۸J \approx ۶/۲۰ \times ۱۰^۴ J$$

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

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

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

$$= ۶/۲۶ \times ۱۰^۷ J$$

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

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

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

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

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

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

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

پ) برای اینکه آب $۱۰۰^\circ C$ به بخار $۱۰۰^\circ C$ 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

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

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

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

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

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 $۸۵۰\text{s} = ۳۰۰ - ۱۱۵۰$ 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:

$$Q_{\text{آب}} = Q_{\text{شخص}}$$

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

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 $Q = k\,\frac{A(T_H - T_L)}{L}\,t$ 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 کرده‌ایم.

الف) داده‌های مسئله عبارتند از

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

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

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 $Q = \frac{kA(T_H - T_L)}{L}\,t$ خواهیم داشت:

$$Q = (۰/۰۱۰\,\mathrm{W/m.K})(۰/۸۰\,\mathrm{m}^۲)\,\frac{۲۰/۰^\circ\mathrm{C}}{۰/۰۲۰\,\mathrm{m}} \times ۸۶۴۰۰\,\mathrm{s}$$
$$= ۶۹۱۲۰۰\,\mathrm{J} \simeq ۶/۹ \times ۱۰۵\,\mathrm{J}$$

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

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

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

$$V = \frac{\pi RT}{P} = \frac{(۱/۰۰\,\mathrm{mol})[۸/۳۱۴\,\mathrm{J/mol.K}](۲۷۳\,\mathrm{K})}{۱/۰۱۳\times۱۰^۵\,\mathrm{Pa}}$$

$= ۰/۰۲۲۴ \mathrm{m}^۳ = ۲۲/۴ L$

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.

فصل چهارم : دما و گرما

تمرین ٤-١ صفحه ۹۷

نشان دهید که تغییر دما در مقیاس‌های سلسیوس و کلوین با هم برابر است.

اگر T_1 و T_2 به ترتیب دمای اولیه و نهایی جسمی در مقیاس کلوین و θ_1 و θ_2 به ترتیب دمای اولیه و نهایی جسم در مقیاس سلسیوس باشد، می‌توان نوشت:

$$\begin{matrix} T_1 = \theta_1 + ۲۷۳ \\ T_2 = \theta_2 + ۲۷۳ \end{matrix} \rightarrow T_2 - T_1 = (\theta_2 + ۲۷۳) - (\theta_1 + ۲۷۳) = \theta_2 + ۲۷۳ - \theta_1 - ۲۷۳ = \theta_2 - \theta_1$$

$$\rightarrow T_2 - T_1 = \theta_2 - \theta_1$$

تمرین ٤-٢ صفحه ۹۷

الف) دمای بدن یک انسان سالم تقریباً $۳۷\,^\circ C$ است. این دما را بر حسب کلوین و فارنهایت بنویسید.

دمای بدن: $\theta = ۳۷\,^\circ C$

$$\begin{cases} T = \theta + ۲۷۳ = ۳۷ + ۲۷۳ = ۳۱۰K \\ F = \frac{۹}{۵}\theta + ۳۲ = \frac{۹}{۵} \times ۳۷ + ۳۲ = ۹۸/۶\,^\circ F \end{cases}$$

ب) گرم‌ترین نقطه‌ی روی زمین، ناحیه‌ای در کویر لوت است که دمای آن تا حدود $۷۰\,^\circ C$ و سردترین نقطه در قطب جنوب است که دمای آن تا $-۸۹\,^\circ C$ گزارش شده است. این دماها را بر حسب کلوین و فارنهایت به دست آورید.

$$\theta = ۷۰\,^\circ C \begin{cases} T = \theta + ۲۷۳ = ۷۰ + ۲۷۳ = ۳۴۳K \\ F = \frac{۹}{۵}\theta + ۳۲ = \frac{۹}{۵} \times ۷۰ + ۳۲ = ۱۵۸\,^\circ F \end{cases}$$

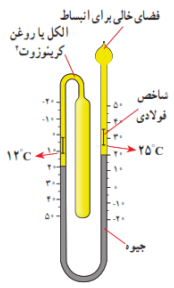
$$\theta = -۸۹\,^\circ C \begin{cases} T = \theta + ۲۷۳ = -۸۹ + ۲۷۳ = ۱۸۴K \\ F = \frac{۹}{۵}\theta + ۳۲ = \frac{۹}{۵} \times (-۸۹) + ۳۲ = -۱۲۸/۲\,^\circ F \end{cases}$$

فعالیت ٤-١ صفحه ۹۷

تحقیق کنید برای نگهداری یاخته‌های بنیادی بندناف خون، به چه دمایی نیازمندیم. این دما چگونه ایجاد و حفظ می‌شود؟

دمای نگهداری سلول‌های بند ناف در حدود $-۱۹۶\,^\circ C$ است. این دما توسط نیتروژن مایع با نقطه‌ی جوش $-۱۹۶\,^\circ C$ ایجاد می‌شود. در این حالت نیتروژن و سلول‌های بند ناف در تانک‌های خلاء که مبادله‌ی گرما با محیط را تقریباً به صفر می‌رسانند، نگهداری می‌شوند. در این تانک‌ها بین جداره‌ی داخلی و بیرونی خلاء وجود دارد.

فعالیت ٤-٢ صفحه ۹۹



نوع ویژه‌ای از دماسنج‌های مایعی که بیشینه و کمینه‌ی دما را در یک مدت زمان معیّن نشان می‌دهد، دماسنج بیشینه-کمینه نام دارد. از این دماسنج‌ها معمولاً در مراکز پروش گل و گیاه، باغداری، هواشناسی و... استفاده می‌شود. در مورد چگونگی کار این دماسنج‌ها تحقیق کنید.

طرح این نوع دماسنج در شکل مقابل رسم شده است. هنگامی که دما بالا می‌رود، به سبب انبساط الکل در مخزن سمت چپ، جیوه در لوله‌ی سمت راست به بالا رانده می‌شود و شاخص فولادی لوله‌ی سمت راست را

با خود بالا می‌برد. اگر سطح جیوه در لوله‌ی سمت راست پایین بیاید، شاخص فولادی که به آن فنرهای ریزی متصل است همراه با آن حرکت نمی‌کند و در همان محل قبلی خود در مقابل دمای بیشینه می‌ایستد. هنگامی که 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 به بالا می‌راند اگر سطح جیوه در لوله سمت چپ پایین بیاید. شاخص فولادی سمت چپ نیز که به آن فنرهای ریزی متصل است همراه با آن حرکت نمی‌کند و در همان محل قبلی خود در مقابل دمای کمینه می‌ایستد. در پایان مدت زمان مورد نظر، با استفاده از آهن‌ربا این دو شاخص به سطح جیوه برگردانده می‌شود. در شکل مقابل حداقل دما $0^\circ C$ و حداکثر آن $30^\circ C$ است.

پرسش ٤-١ ..... صفحه ۱۰۰

الف) چرا بهتر است قفل و کلید یک در، هم جنس باشند؟

زیرا در این صورت در اثر تغییر دما، ابعاد هر دو به یک میزان تغییر کرده و کلید در قفل گیر نمی‌کند.

ب) چرا در برخی از فصل‌های سال، بعضی از درب‌ها در چارچوب خود گیر می‌کنند؟

زیرا تغییرات دما در فصول مختلف سال، تغییرات متفاوتی را در ابعاد درب و چارچوب ایجاد کرده (این تغییر می‌تواند به دلیل تفاوت جنس درب و چارچوب باشد) و در نتیجه در گیر می‌کند.

فعالیت ٤-٣ ..... صفحه ۱۰۰

۱) شکل (الف) طرحی از دو قسمت متوالی خط آهن (ریل راه‌آهن) های قدیمی و شکل (ب) تصویر واقعی از آن را در گذشته نشان می‌دهد. اگر فاصله‌ی خالی بین این دو قسمت به حدّ کافی زیاد نمی‌بود، چه مشکلی پیش می‌آمد؟

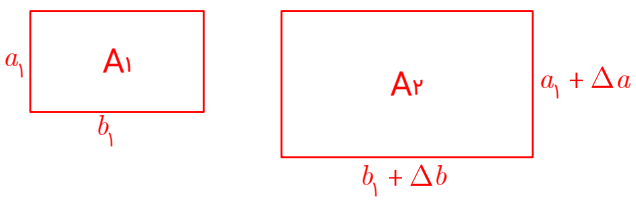
تغییر طول هر بخش از ریل‌ها در اثر انبساط و انقباض ناشی از تغییرات دما، موجب وارد شدن نیرو به بخش‌های دیگر می‌شد و این نیرو باعث خمیده شدن ریل‌ها و یا جدا شدن اتصالات آن می‌شد.

۲) امروزه بین قسمت‌های متوالی خطّ آهن فاصله‌ای در نظر گرفته نمی‌شود و این قسمت‌ها پشت سر هم جوشکاری می‌شوند. تحقیق کنید در این روش چگونه مشکل ناشی از انبساط در یک روز گرم تابستانی برطرف می‌شود؟

امروزه برای اتصال ریل‌ها به پایه‌های زیرین خطوط (به این پایه‌ها تراورس می‌گویند) از پیچ و مهره استفاده نمی‌شود بلکه ریل توسط بسط‌های فلزی محکمی به پایه‌ها می چسبد در نتیجه امکان انبساط طولی به هر میزان از دو طرف آزاد ریل که معمولاً در محل تعویض خطوط در ایستگاه‌ها است وجود دارد.

فعالیت ٤-٤ ..... صفحه ۱۰٤

ورقه‌ای فلزی و مستطیلی شکل به اضلاع a_1 و a_2 را در نظر بگیرید. بر اثر افزایش دمای ΔT، طول اضلاع مستطیل به اندازه‌ی Δa و Δb افزایش می‌یابند. اگر ضریب انبساط طولی ورقه α باشد، نشان دهید که افزایش مساحت این ورقه با تقریب مناسب از رابطه‌ی $\Delta A = 2\alpha A_1 \Delta T$ به دست می‌آید.

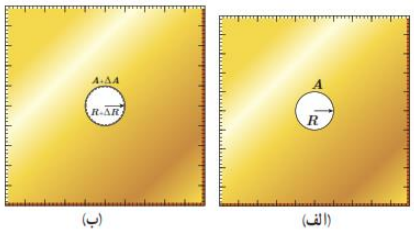


$$A_۲ = (a_۱ + \Delta a)(b_۱ + \Delta b) = a_۱b_۱ + a_۱\Delta b + b_۱\Delta a + \Delta a\Delta b$$
$$\left.\begin{matrix}\Delta a = a_۱\alpha\Delta T \\ \Delta b = b_۱\alpha\Delta T\end{matrix}\right\} \rightarrow A_۲ = a_۱b_۱ + a_۱b_۱\alpha\Delta T + b_۱a_۱\alpha\Delta T + a_۱\alpha\Delta T b_۱\alpha\Delta T$$
$$A_۱ = a_۱b_۱ \rightarrow A_۲ = A_۱ + A_۱\alpha\Delta T + A_۱\alpha\Delta T + A_۱(\alpha\Delta T)^۲$$

با توجه به کوچک بودن ضریب α از عبارت $A_۱(\alpha\Delta T)^۲$ می‌توان صرف نظر کرد. در نتیجه:

$$A_۲ = A_۱ + ۲A_۱\alpha\Delta T \rightarrow A_۲ - A_۱ = ۲\alpha A_۱\Delta T \rightarrow \Delta A = ۲\alpha A_۱\Delta T$$

تمرین ٤-٣ صفحه ١٠٤



شکل‌های (الف) و (ب) نشان می‌دهند که وقتی روی یک ورقه‌ی فلزی حفره‌ای دایره‌ای داشته باشیم و ورقه را گرم کنیم، قطر (یا مساحت) حفره بزرگ می‌شود. فرض کنید جنس ورقه، برنجی است و حفره‌ای به قطر یک اینچ ($۲/۵۴cm$) درون آن ایجاد شده است. وقتی دمای ورقه، $۲۰۰°C$ افزایش یابد، افزایش مساحت حفره چقدر خواهد شد؟

$$\alpha = ۱۹\times۱۰^{-۶}\frac{۱}{K} \quad , \quad R = ۲/۵۶ \div ۲ = ۱/۲۷ \quad , \quad \Delta T = ۲۰۰°C$$

شعاع حفره ۱/۲۷ است. حال مساحت اولیه‌ی حفره را محاسبه می‌کنیم:

$$A_۱ = \pi R^۲ = ۳/۱۴\times(۱/۲۷)^۲ \simeq ۵cm$$
$$\Delta A = ۲\alpha A_۱\Delta T = ۲\times۱۹\times۱۰^{-۶}\times۵\times۲۰۰ = ۲\times۱۹\times۵\times۲\times۱۰^{-۴} = ۳۸۰\times۱۰^{-۴} = ۳۸\times۱۰^{-۳}cm^۲ \rightarrow \Delta A = ۳/۸\times۱۰^{-۲}cm^۲$$

فعالیت ٤-٥ صفحه ١٠٦

آزمایشی را طراحی و اجرا کنید که با آن بتوانید حجم گلیسیرین سرریز شده در مثال ۴-۴ را اندازه بگیرید. سپس از روی آن، ضریب انبساط حجمی گلیسیرین را تعیین کنید.

وسایل آزمایش: گلیسیرین، استوانه‌ی مدرج، درپوش پلاستیکی استوانه‌ی مدرج با دو سوراخ، دماسنج، لوله‌ی مدرج، چراغ الکلی و پایه.

شرح آزمایش: داخل استوانه‌ی مدرج تا حجم $۱۰۰cm^۳$ گلیسیرین می‌ریزیم $V_۱ = ۱۰۰cm^۳$. دماسنج و لوله‌ی مدرج را از سوراخ‌های درپوش عبور داده و درپوش را بر روی ظرف طوری قرار می‌دهیم که سطح گلیسیرین را به طور کامل بپوشاند. دمای اولیه‌ی گلیسیرین را با دماسنج اندازه‌گیری می‌کنیم. ($\theta_۱ = ۲۰°C$)

ظرف را بر روی پایه قرار داده و توسط چراغ به آن گرما می‌دهیم تا دمای آن به $۶۰°C$ برسد ($\theta_۲ = ۶۰°C$). گلیسیرین منبسط شده و از لوله‌ی مدرج بالا می‌آید. حجم گلیسیرین منبسط شده در دمای $۶۰°C$ را توسط لوله‌ی مدرج مشخص می‌کنیم. ($\Delta V = ۲cm^۳$) حال با کمک رابطه $\Delta V = \beta V_۱\Delta T$ ضریب انبساط حجمی گلیسیرین را محاسبه می‌کنیم:

$$V_۱ = ۱۰۰cm^۳ \quad , \quad \theta_۱ = ۲۰°C \quad , \quad \theta_۲ = ۶۰°C \quad , \quad \Delta T = \Delta\theta = ۴۰°C \quad , \quad \Delta V = ۲cm^۳$$
$$\Delta V = \beta V_۱\Delta T \rightarrow ۲ = \beta\times۱۰۰\times۴۰ \rightarrow \beta = \frac{۲}{۴۰۰۰} \rightarrow \beta = ۵\times۱۰^{-۴} = ۵/۰\times۱۰^{-۴}\frac{۱}{K}$$

تمرین ٤-٤ صفحه ١٠٦

افزایش دما که به طور معمول موجب افزایش حجم اجسام می‌شود، بر جرم آنها تأثیری ندارد. به همین دلیل انتظار داریم که چگالی اجسام با افزایش دما کاهش یابد. رابطه‌ی چگالی با تغییر دما به صورت $\rho_۲ = \rho_۱/(۱+\beta\Delta T)$ است که در آن $\rho_۱$ و $\rho_۲$ به ترتیب چگالی ماده در دماهای $T_۱$ و $T_۲$، β ضریب انبساط حجمی و $\Delta T = T_۲ - T_۱$ است.

الف) رابطه‌ی چگالی با تغییر دما را به دست آورید.

$$V_۲ = V_۱ + \Delta T = V_۱ + \beta V_۱ \Delta V = V_۱(۱+\beta\Delta T) \rightarrow V_۲ = V_۱(۱+\beta\Delta T) \xrightarrow{V=\frac{m}{\rho}} \frac{m}{\rho_۲} = \frac{m}{\rho_۱}(۱+\beta\Delta T)$$

$$\rightarrow \frac{۱}{\rho_۲} = \frac{۱+\beta\Delta T}{\rho_۱} \rightarrow \rho_۲ = \frac{\rho_۱}{۱+\beta\Delta T}$$

ب) نشان دهید با تقریب مناسبی می‌توان چگالی جسم را از رابطه‌ی $\rho_۲ = \rho_۱(۱-\beta\Delta T)$ نیز به دست آورد.

عبارت $\frac{۱-\beta\Delta T}{۱-\beta\Delta T}$ را در ضرب می‌کنیم:

$$\rho_۲ = \frac{\rho_۱}{۱+\beta\Delta T} \times \frac{۱-\beta\Delta T}{۱-\beta\Delta T} = \frac{\rho_۱(۱-\beta\Delta T)}{۱-(\beta\Delta T)^۲}$$

با توجه به اینکه $(\beta\Delta T)^۲$ مقدار کوچکی است می‌توان از آن صرف نظر کرد. $((\beta\Delta T)^۲ \simeq ۰)$ بنابراین:

$$\rho_۲ = \frac{\rho_۱(۱-\beta\Delta T)}{۱-۰} \rightarrow \rho_۲ = \rho_۱(۱-\beta\Delta T)$$

فعالیت ٤-٦ صفحه ۱۰۸

وقتی آب در یک ظرف روباز یخ می‌بندد معمولاً یک برآمدگی مرکزی ایجاد می‌شود. در این مورد تحقیق کنید.

یخ زدن از سطح آب شروع شده و نقاطی که نزدیک به دیواره‌های ظرف هستند سریع‌تر یخ می‌زنند (چون رسانندگی گرمایی جامدها بیشتر از مایع‌ها است مولکول‌های آب نزدیک دیواره سریع‌تر گرمای خود را از دست می‌دهند) می‌دانیم با کاهش دمای آب از $۴^\circ C$ تا $۰^\circ C$ حجم آب افزایش می‌یابد. پس در حین یخ زدن آب از طرف دیواره‌ها حجم نیز افزایش می‌یابد. چون مایع‌ها تراکم ناپذیرند این افزایش حجم به تدریج به نقطه‌ی میانی ظرف منتقل و باعث بالا آمدن سطح آب در حین انجام می‌شود.

پرسش ٤-٢ صفحه ۱۰۹

الف) منظور از این جمله که «دماسنج‌های معمولی دمای خودشان را اندازه‌گیری می‌کنند» چیست؟

چون در اندازه‌گیری دما، دماسنج و محیط به تعادل گرمایی رسیده و هم دما می‌شوند، دماسنج‌ها با نشان دادن دمای خودشان، دمای محیط را نیز نشان می‌دهند.

ب) در یک کلاس درس میز، صندلی، دانش‌آموز، تخته، شیشه پنجره و... وجود دارد. در یک روز زمستانی، دمای کدام یک از آنها بیشتر از دمای هوای اتاق است؟ دمای کدام یک کمتر از دمای هوای اتاق است؟

بدن انسان چون منبع تولید گرماست دمایی بیشتر از دمای هوای کلاس دارد. اجسامی مثل شیشه و پنجره که به هوای بیرون در ارتباط هستند نیز به دلیل مبادله‌ی گرما با بیرون دمای کمتری نسبت به دمای هوای کلاس دارند. سایر اجسام داخل کلاس نیز چون همگی با هوای کلاس در تعادل گرمایی هستند دمای ثابتی دارند.

پ) در شکل ۴-۱۷ میانگین انرژی جنبشی ذرات دو جسم چگونه تغییر کرده است؟

با رسیدن به تعادل گرمایی، میانگین انرژی جنبشی ذرات جسم گرم کاهش و جسم سرد افزایش می‌یابد.

پرسش ٤-٣ صفحه ۱۱۱

چندگوی فلزی از جنس‌های مختلف، مثلاً از آلومینیم، فولاد، برنج، مس، سرب و...، را اختیار می‌کنیم که همگی جرم یکسانی داشته باشند. گوی‌ها را توسط ریسمان‌هایی داخل ظرف آبی قرار می‌دهیم که آب آن در حال جوشیدن است و پس از مدتی گوی‌ها را بیرون آورده

گوی‌ها بسته به جنس خود، ورقهٔ پارافین را در زمان‌های متفاوت ذوب می‌کنند.

و آنها را روی یک ورقه‌ی پارافین قرار می‌دهیم. به نظر شما کدام گوی، پارافین بیشتری را ذوب می‌کند و علت آن چیست؟ این آزمایش را نخستین بار فیزیک‌دان ایرلندی، جان تیندال (۱۸۹۳-۱۸۲۰م) طراحی و اجرا کرد.

گویی که گرمای ویژه‌ی بیشتری دارد پارافین بیشتری را ذوب می‌کند. زیرا اجسامی که گرمای ویژه‌ی بالاتری دارند در زمان سرد شدن گرمای بیشتری را به محیط و اجسامی که در تماس با آنها هستند منتقل می‌کنند.

تمرین ٤-٥ صفحه ١١٤

جسمی به جرم $۰/۲۵۰\,kg$ و دمای $۳/۰\,°C$ را درون ظرف عایقی حاوی $۰/۵۰۰\,kg$ آب $۲۵/۰\,°C$ می‌اندازیم. پس از چند دقیقه دمای تعادل را اندازه می‌گیریم. دمای تعادل $۲۱/۰\,°C$ می‌شود. گرمای ویژه‌ی جسم را محاسبه کنید. از تبادل گرما بین ظرف و سایر اجسام چشم‌پوشی کنید.

آب: $c = ۴۲۰۰\,\frac{J}{kg°C}$

ابتدا خلاصه اطلاعات مسئله را به صورت زیر می‌نویسیم:

$$\left.\begin{array}{l} \text{جسم}: m_۱ = ۰/۲۵\,kg \;,\; \theta_۱ = ۳\,°C \;,\; c_۱ = ? \\ \text{آب}\;\; : m_۲ = ۰/۵kg \;,\; \theta_۲ = ۲۵\,°C \;,\; c_۲ = ۴۲۰۰\,\frac{J}{kg°C} \end{array}\right\} \xrightarrow{\text{دمای تعادل}} \theta = ۲۱°C$$

چون جسم و آب به تعادل گرمایی رسیده‌اند، می‌توان نوشت:

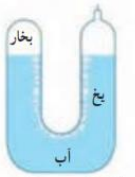
$$Q_{\text{جسم}} + Q_{\text{آب}} = ۰ \rightarrow m_۱c_۱(\theta - \theta_۱) + m_۲c_۲(\theta - \theta_۲) = ۰$$

$$\rightarrow ۰/۲۵ \times c_۱ \times (۲۱ - ۳) + ۰/۵ \times ۴۲۰۰(۲۱ - ۲۵) = ۰$$

$$۴/۵c_۱ - ۸۴۰۰ = ۰ \rightarrow ۴/۵c_۱ = ۸۴۰۰ \rightarrow c_۱ = \frac{۸۴۰۰}{۴/۵} \simeq ۱۸۶۶ \rightarrow c_۱ \simeq ۱/۸۷ \times ۱۰^۳\,\frac{J}{kg°C}$$

فعالیت ٤-٧ صفحه ١١٧

نقطه‌ی ذوب یخ در فشار $۱atm$ برابر $۰°C$ است. برای آب نقطه‌ای موسوم به نقطه‌ی سه‌گانه وجود دارد که در آن سه حالت یخ، آب و بخار در تعادل‌اند. دمای این نقطه $۰/۰۱°C$ است. تحقیق کنید برای رسیدن به این نقطه به چه فشاری نیاز است؟



در نقطهٔ سه‌گانهٔ آب، سه فاز آب در تعادل‌اند.

نقطه سه‌گانه آب نقطه ثابتی است که در آن یخ، آب و بخار در حال تعادل قرار دارند. این حالت فقط در فشار معینی حاصل می‌شود. فشار بخار آب در نقطه سه گانه ۴/۵۸ میلی‌مترجیوه یا ۶۱۲ پاسکال است.

فعالیت ٤-٨ صفحه ١١٧

برف و یخ دو شکل آشنای حالت جامد آب هستند، اما با وجود این، ظاهر متفاوتی دارند. دلیل این امر را تحقیق کنید.

علت این تفاوت مربوط به نحوه‌ی فرآیند تشکیل برف و یخ است. در تشکیل برف، هوای سرد، مولکول‌های بخار آب را به کریستال-های یخ تبدیل می‌کند. این کریستال‌ها در مسیر فرود به زمین با مولکول‌های بخارآب برخورد می‌کنند. به محض برخورد بخار آب با کریستال، بخار آب حالت گازی خود را از دست داده و به کریستال جامد تبدیل شده و به هسته‌ی دانه‌ی برف می‌پیوندد. این فرآیند مدام تکرار و دانه های بزرگ‌تری از برف ساخته می‌شود. ولی در فرایند شکل‌گیری یخ، مولکول‌های مایع از ابتدا در کنار هم قرار دارند، و با سرد شدن، ساختار یخ را تشکیل می‌دهند.

فعالیت ٤-٩ ..... صفحه ۱۱۹

تحقیق کنید وجود ناخالصی در مایع چه تأثیری بر نقطه‌ی انجماد آن دارد؟

وجود ناخالصی موجب می‌شود که مایع، نقطه‌ی انجماد مشخصی نداشته و انجماد در گستره‌ای دماها رخ دهد. مثلاً هنگام یخ زدن آب نمک، اولین بلورها در دمای کمتر از $0^\circ C$ تشکیل می‌شود و انجماد کامل در دماهای کمتر، (تا $-18^\circ C$) روی می‌دهد.

فعالیت ٤-١٠ ..... صفحه ۱۲۰

الف) بررسی کنید از دیدگاه مولکولی، افزایش دما و افزایش مساحت سطح مایع چگونه بر آهنگ تبخیر سطحی مایع اثر می‌گذارد؟

با افزایش دما جنبش مولکولی افزایش یافته و مولکول‌های بیشتری تندی کافی را برای جداشدن از سطح مایع پیدا می‌کنند. بنابراین آهنگ تبخیر سطحی افزایش می‌یابد. با افزایش مساحت مایع، تعداد مولکول‌های جدا شده از سطح نیز بیشتر می‌شود، در نتیجه آهنگ تبخیر سطحی افزایش می‌یابد.

ب) با بررسی تبخیر سطحی در شرایط مختلف سعی کنید از راه تجربه، عامل یا عامل‌های دیگری را پیدا کنید که بر آهنگ تبخیر سطحی مؤثر باشند؟

۱- جنس مایع: تبخیر سطحی در برخی مایع‌ها بیشتر از سایر مواد است. مثلاً تبخیر سطحی در الکل بسیار بیشتر از آب است.

۲- فشار سطح مایع: فشار سطح مایع و تبخیر سطحی نسبت عکس دارند، یعنی کاهش فشار بر سطح مایع‌ها باعث افزایش آهنگ تبخیر سطحی می‌شود. بنا بر همین قاعده، جریان هوا هم می‌تواند بر آهنگ تبخیر سطحی مؤثر باشد. طبق اصل برنولی، جریان هوا بر روی سطح مایع باعث کاهش فشار هوا در سطح مایع و در نتیجه افزایش آهنگ تبخیر سطحی می‌شود.

پ) تحقیق کنید کوزه‌های سفالی چگونه می‌توانند آب داخل خود را خنک کنند؟

کوزه‌های سفالی مولکول‌های آب را از داخل به سطح خارجی خود منتقل می‌کنند و چون تبخیر فرآیندی گرماگیر است این مولکول‌ها برای تبخیر شدن، از سطح کوزه گرما گرفته و آب درون کوزه خنک می‌شود.

فعالیت ٤-١١ ..... صفحه ۱۲۱

از تفاوت نقطه‌ی جوش اجسام مختلف در صنعت، استفاده‌ی زیادی می‌شود. تحقیق کنید چگونه از این ویژگی برای جدا کردن محصولات نفتی استفاده می‌شود؟

در این روش مخلوط مواد و محصولات نفتی را گرما می‌دهند. از آنجا که دمای جوش اجزای تشکیل دهنده‌ی مخلوط متفاوت است. بخارهای نفتی ایجاد شده در دماهای مختلف، هر یک مربوط به جزء خاصی از اجزای مخلوط است که طی فرایند میعان و تقطیر، جمع‌آوری می‌شوند.

پرسش ٤-٤ ..... صفحه ۱۲۱

چرا در جدول ۴-۵ گرمای تبخیر آب با افزایش دمای آن کاهش می‌یابد؟

با افزایش دما جنبش مولکولی و تندی حرکت مولکول‌ها افزایش یافته در نتیجه پیوند بین آنها سست‌تر می‌شود و مولکول‌ها برای جدا شدن از سطح به انرژی کمتری نیاز دارند؛ بنابراین با افزایش دمای آب گرمای کمتری برای تبخیر آن نیاز است.

پرسش ٤-٥ ..... صفحه ۱۲۳

الف) چرا غذا در دیگ زودپز، زودتر پخته می‌شود؟

بسته بودن درِ دیگ زودپز باعث محبوس شدن بخارآب در آن و افزایش فشار در سطح مایع می‌شود. بنابراین نقطه جوش مایع افزایش یافته و غذا در دمایی بالاتر قرار می‌گیرد و در نتیجه زودتر پخته می‌شود.

ب) دلیل دیرتر پخته شدن تخم‌مرغ در ارتفاعات چیست؟ کوهنوردان برای رفع این مشکل چه کاری انجام می‌دهند؟

در ارتفاعات به دلیل کاهش فشار هوا نقطه‌ی جوش آب پایین می‌آید . در نتیجه تخم‌مرغ در دمای کمتری قرار می‌گیرد و دیرتر پخته می‌شود. کوهنوردان برای رفع این مشکل تخم‌مرغ‌ها را در ظروف در بسته می‌جوشانند زیرا با بسته شدن درِ ظرف فشار هوا و در نتیجه نقطه جوش افزایش می‌یابد.

تمرین ٤-٦ ..... صفحه ۱۲٤

قطعه یخی به جرم $۱/۰kg$ و دمای اولیه‌ی $-۲۰°C$ را آن قدر گرم می‌کنیم تا تمام آن تبدیل به بخار $۱۰۰°C$ شود. کل گرمای مورد نیاز برای این تبدیل چند کیلوژول است؟

$$L_{F\,\text{یخ}} = ۳۳۴\frac{kJ}{kg} \quad , \quad c_{\text{یخ}} = ۲۱۰۰\frac{J}{Kg°C} \quad , \quad L_{V\,\text{آب}} = ۲۲۵۶\frac{KJ}{kg} \quad , \quad c_{\text{آب}} = ۴۲۰۰\frac{J}{kg°C}$$

مراحل طی شده در این فرآیند به صورت زیر است:

$$\boxed{\begin{matrix}۱kg\\ \text{یخ}\\ -۲۰°C\end{matrix}} \xrightarrow{Q_۱} \boxed{\begin{matrix}۱kg\\ \text{یخ}\\ ۰°C\end{matrix}} \xrightarrow{Q_۲} \boxed{\begin{matrix}۱kg\\ \text{آب}\\ ۰°C\end{matrix}} \xrightarrow{Q_۳} \boxed{\begin{matrix}۱kg\\ \text{آب}\\ ۱۰۰°C\end{matrix}} \xrightarrow{Q_۴} \boxed{\begin{matrix}۱kg\\ \text{بخار}\\ ۱۰۰°C\end{matrix}}$$

به منظور سهولت در محاسبات نتایج را بر حسب کیلوژول می‌نویسیم:

$$Q_۱ = mc\Delta\theta = ۱\times ۲۱۰۰\times(۰-(-۲۰)) = ۴۲۰۰۰J = ۴۲kJ$$
$$Q_۲ = mL_F = ۱\times ۳۳۴ = ۳۳۴kJ$$
$$Q_۳ = mc\Delta\theta = ۱\times ۴۲۰۰(۱۰۰-۰) = ۴۲۰۰۰۰J = ۴۲۰kJ$$
$$Q_۴ = mL_V = ۱\times ۲۲۵۶ = ۲۲۵۶kJ$$
$$Q = Q_۱+Q_۲+Q_۳+Q_۴ = ۴۲+۳۳۴+۴۲۰+۲۲۵۶ = ۳۰۵۲kJ \rightarrow Q = ۳/۱\times ۱۰^۳kJ$$

فعالیت ٤-۱۲ ..... صفحه ۱۲٤

در مورد ایجاد شبنم صبحگاهی روی گیاهان تحقیق کنید.

صبحگاهان قبل از طلوع خورشید خنک‌ترین زمان شبانه‌روز است. زیرا بیشترین فاصله‌ی زمانی را از زمان تابش خورشید به زمین دارد. در صبحگاهان بخار آب موجود در هوا در اثر برخورد بار سطوح سردتر مثل شاخه و برگ گیاهان با از دست دادن گرما و طی فرآیند میعان به مایع تبدیل شده و شبنم صبحگاهی ایجاد می‌شود.

فعالیت ٤-۱۳ ..... صفحه ۱۲٤

در فرآیندهای تغییر حالت (تغییر فاز) دما تغییر نمی‌کند، اما انرژی درونی ماده تغییر می‌کند. در این‌باره تحقیق کنید.

انرژی درونی مجموع انرژی‌های جنبشی همه‌ی اتم‌ها و مولکول‌های تشکیل دهنده جسم و انرژی پتانسیل مربوط به برهم کنش-های اتم‌ها و مولکول‌های آنهاست. وقتی جسم گرم می‌شود، چون انرژی جنبشی ذرات تشکیل دهنده‌ی آن افزایش می‌یابد، انرژی درونی آن بیشتر می‌شود. اما در زمان تغییر حالت ماده، چون گرمای داده شده صرف غلبه بر نیروهای بین مولکولی می‌شود انرژی جنبشی متوسط مولکول‌ها تغییر نمی‌کند، بنابراین دما ثابت می‌ماند ولی چون با از بین رفتن نیروهای بین مولکولی، انرژی پتانسیل آنها افزایش می‌یابد انرژی درونی بیشتر می‌شود.

پرسش ٤-٦ ..... صفحه ۱۲٦

برخی آشپزها برای آنکه سیب‌زمینی زودتر آب‌پز شود، ابتدا چند سیخ کوچک فلزی درون سیب‌زمینی فرو می‌کنند و بعد آن را در آب انداخته و روی اجاق قرار می‌دهند. علت این کار آشپزها چیست؟

چون فلزات رساناهای گرمایی خوبی هستند، گرما از طریق این میله‌های فلزی به داخل سیب‌زمینی منتقل شده و سیب‌زمینی زودتر پخته می‌شود.

تمرین ٤-٧ صفحه ۱۲۷

مساحت استخری با کف تخت، ۸۲۰ متر مربع و عمق آن ۲/۰ متر است. در یک روز گرم دمای سطح آب $25^\circ C$ و دمای کف آب $12^\circ C$ است. آهنگ رسانش گرمایی از سطح استخر به کف آن چقدر است؟

$$k = 0/6 \frac{W}{m.K} \ , \ A = 820 m^2 \ , \ L = 2m \ , \ T_H - T_L = 25 - 12 = 13K$$

$$H = k\frac{A(T_H - T_L)}{L} = \frac{0/6 \times 820 \times 13}{2} = 3198 \rightarrow H = 3/2 \times 10^3 W$$

فعالیت ٤-١٤ صفحه ۱۲۷

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

از آنجا که بخش عمده‌ای از گرمای بدن جانداران از طریق فرآیند رسانش به بیرون منتقل می‌شود و این فرآیند نیاز به محیط مادی دارد، توخالی بودن موهای خرس قطبی انتقال گرما به طریق رسانش را از بدن جاندار به حداقل می‌رساند.

تصویری بسیار بزرگ شده از موی یک خرس قطبی

پرسش ٤-٧ صفحه ۱۲۹

به نظر شما چه ارتباطی بین انتقال گرما به روش همرفت و ضریب انبساط حجمی، برای یک مایع وجود دارد؟

هرچه ضریب انبساط حجمی یک مایع بیشتر باشد پدیده همرفت با سرعت بیشتری در آن ماده رخ می‌دهد. چون پدیده همرفت به علت اختلاف چگالی بین شاره گرم و شاره سرد روی می دهد، این اختلاف چگالی در مایعاتی که ضریب انبساط حجمی بزرگ‌تری دارند بیشتر است.

فعالیت ٤-١٥ صفحه ۱۲۹

چهار بطری شیشه‌ای یکسان، دو رنگ جوهر قرمز و آبی، دو کارت ویزیت مقوایی و آب بسیار سرد و بسیار گرم تهیه کنید. در دو تا از بطری‌ها جوهر آبی و در دو بطری دیگر جوهر قرمز بریزید. سپس بطری‌های آبی را با آب خیلی سرد و بطری‌های قرمز را با آب خیلی گرم پر کنید. اکنون در حالی که دهانه‌ی یک بطری قرمز را با کارت ویزیت گرفته اید، دهانه‌ی آن را دقیقاً روی دهانه‌ی یک بطری آب قرار دهید و سپس کارت را بیرون بکشید. همین آزمایش را به طور معکوس نیز انجام دهید؛ یعنی این بار، یک بطری آبی رنگ که دهانه‌ی آن با کارت پوشیده شده است را روی دهانه‌ی بطری قرمز رنگ قرار دهید و سپس کارت را بیرون بکشید. مشاهدات خود را توضیح دهید. از این آزمایش چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

اگر بطری قرمز بالا باشد، با بیرون کشیدن کارت، رنگ‌ها به حالت اولیه خود باقی مانده و ترکیب نمی‌شوند. ولی اگر بطری آبی بالا باشد با بیرون کشیدن کارت، رنگ آبی به سمت پایین و رنگ قرمز به طرف بالا حرکت کرده و رنگ‌ها ترکیب می‌شوند.

از این آزمایش نتیجه می‌گیریم اختلاف دما بین بخش‌های مختلف یک شاره، تنها زمانی که شاره سردتر بالاتر از شاره‌ی گرم‌تر باشد موجب به وجود آمدن جریان همرفتی می‌شود.

فعالیت ٤-١٦ ..... صفحه ۱۳۱

رادیومتر وسیله‌ای است که از یک حباب شیشه‌ای تشکیل شده است که درون آن چهار پره‌ی فلزی قائم قرار دارد که می‌توانند حول یک محور (سوزن عمودی) بچرخند. دو وجهِ هر چهار پره، یک در میان سفید و سیاه است. وقتی این وسیله کنار یک چشمه‌ی نور قرار گیرد، پره‌ها حول سوزن عمودی می چرخند و هر چه شدت شدت نور بیشتر باشد، این چرخش سریع‌تر است. در مورد چرخش پره‌ها تحقیق کنید.

در این وسیله یک طرف هر پره سفید و طرف دیگر سیاه است. زمانی که این پره‌ها در مقابل نوری که از یک جسم گرم تابش می‌کند قرار می‌گیرند می‌چرخند، جهت چرخش به گونه‌ای است که سمت سیاه‌پره‌ها از نور دور و سمت سفید به نور نزدیک می‌شوند. در این وسیله گرما از طریق تابش امواج الکترومغناطیسی به سمت سیاه هر پرده که گرمای بیشتری را جذب می‌کند منتقل و سبب گرم شدن پره و مولکول‌های هوای اطراف آن می‌شود، با گرم شدن مولکول‌های هوا انرژی جنبشی آنها افزایش یافته و این مولکول‌ها به سطح پره سیاه برخورد کرده و ضربه می‌زنند که باعث حرکت پره سیاه می‌شود.

اگر داخل این وسیله خلاء کامل باشد مولکول‌های هوایی وجود ندارد که باعث حرکت پره‌ها شود و برعکس اگر با هوای تحت فشار جو پر شده باشد انباشت مولکول‌های هوا مانع از انتقال انرژی جنبشی مولکول‌های هوا به سطح پره برای چرخش می‌شود.

فعالیت ٤-١٧ ..... صفحه ۱۳۵

سرِ سرنگی را که پیستون آن آزادانه حرکت می‌کند به فشارسنجی می‌بندیم و آن را به طور افقی درون ظرف آبی می‌گذاریم و ظرف را به آرامی گرم می‌کنیم. توضیح دهید کدام یک از کمیت‌های دما، حجم، فشار و مقدار هوای درون سرنگ تغییر می‌کند و تغییر آنها چگونه است؟

۱) دمای هوای داخل سرنگ افزایش می‌یابد چون هوای سرنگ با آب داخل ظرف به تعادل گرمایی می‌رسد.

۲) فشار هوای درون سرنگ ثابت می‌ماند و مقدار آن برابر با مقدار فشاری است که از طرف آب و هوای بالای آن به سرنگ وارد می‌شود.

۳) حجم هوای سرنگ افزایش می‌یابد. چون در فشار ثابت، حجم و دمای گاز نسبت مستقیم دارند. با افزایش دما، حجم گاز هم افزایش می‌یابد.

۴) مقدارهوای داخل سرنگ تغییر نمی‌کند زیرا هوایی از سرنگ خارج نمی‌شود.

فعالیت ٤-١٨ ..... صفحه ۱۳۸

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

چون این نوشیدنی‌ها بر روی زمین پر می‌شوند، فشار هوای داخل آنها به اندازه‌ی فشار در سطح زمین است. زمانی که فشار هوای بیرون بسته‌ها کاهش می‌یابد، اختلاف فشار ایجاد شده بین داخل و بیرون نیرویی به در و دیواره بسته‌ها وارد و باعث باد کردن دیواره‌ها و بازشدن دربسته می‌شود.

پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۴

۴-۱ دماسنجی

۱) دماهای زیر را بر حسب درجه‌ی سلسیوس و فارنهایت مشخص کنید.

الف) $0K$
$$\theta = 0 - 273 = -273\,^\circ C$$
$$F = \frac{9}{5}\times(-273) + 32 = -459/4\,^\circ F$$

ب) $273K$
$$\theta = 273 - 273 = 0\,^\circ C$$
$$F = \frac{9}{5}\times 0 + 32 = 32\,^\circ F$$

پ) $373K$
$$\theta = 373 - 273 = 100\,^\circ C$$
$$F = \frac{9}{5}\times 100 + 32 = 212\,^\circ F$$

ت) $546K$
$$\theta = 546 - 273 = 273\,^\circ C$$
$$F = \frac{9}{5}\times 273 + 32 = 523/4\,^\circ F$$

۲) برای اندازه‌گیری دمای یک جسم توسط دماسنج به چه نکاتی باید توجه کنیم؟ (راهنمایی: به نکاتی که در فصل ۱ خواندید نیز توجه کنید.)

در اندازه‌گیری دمای یک جسم با دماسنج مدرج:

۱) جسم در تماس با مخزن دماسنج‌های جیوه‌ای و الکلی قرار گیرد.

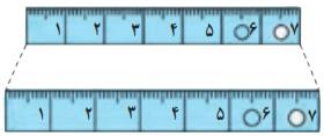
۲) بعد از تماس جسم با دماسنج مدتی صبر کرد تا جسم و دماسنج به تعادل گرمایی برسند.

۳) چشم در وضعیت عمود بر دماسنج‌های مدرج قرار گیرد تا اعداد به درستی خوانده شوند.

۴) اندازه‌گیری دما را باید چند بار تکرار کرد و اعدادی که فاصله زیادی با سایر اعداد دارند، کنار گذاشته و میانگین آنها را به عنوان نتیجه پذیرفت.

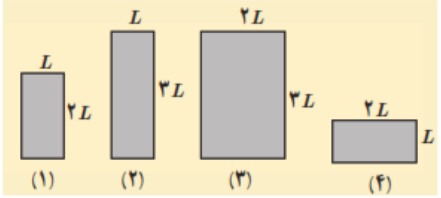
۴-۲ انبساط گرمایی

۳) شکل روبه‌رو، یک خط‌کش فلزی را که در آن سوراخی ایجاد شده است در دو دمای متفاوت نشان می‌دهد (برای روشن بودن مطلب، انبساط به صورت اغراق آمیزی رسم شده است.) از این شکل چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟



انبساط گرمایی در همه ابعاد (طول، سطح و حجم) ایجاد می‌شود و اگر حفره‌ای در جسمی وجود داشته باشد، اندازه حفره هم به همان نسبت افزایش پیدا می‌کند.

۴) شکل روبه‌رو چهار صفحه‌ی فلزی هم جنس به اضلاع متفاوت را در یک دما نشان می‌دهد. اگر دمای همه‌ی آنها را به اندازه‌ی یکسان زیاد کنیم،



الف) ارتفاع کدام صفحه یا صفحه‌ها بیشتر افزایش پیدا می‌کند؟

با توجه به رابطه $\Delta L = L_1\alpha\Delta T$، هر قدر طول اولیه جسم بیشتر باشد، تغییر طول آن در اثر انبساط نیز بیشتر است؛ بنابراین ارتفاع شکل‌های ۲ و ۳ افزایش بیشتری دارد.

ب) مساحت کدام یک بیشتر افزایش پیدا می‌کند؟

با توجه به رابطه $\Delta A = A_1(2\alpha)\Delta T$، هر قدر مساحت اولیه جسم بیشتر باشد، تغییر مساحت آن در اثر انبساط نیز بیشتر است، بنابراین مساحت شکل ۳ افزایش دارد.

پ) اگر در هر چهارتای آنها روزنه‌ی کوچک هم اندازه‌ای وجود داشته باشد، افزایش قطر چهار روزنه در اثر افزایش دمای یکسان را با هم مقایسه کنید.

چون جنس هر چهار قطعه یکسان است و هر چهار روزنه هم اندازه هستند، افزایش قطر آنها در اثر افزایش دمای یکسان به یک اندازه است.

۵) یک بزرگراه از بخش‌های بتونی به طول $۲۵/۰m$ ساخته شده است. این بخش‌ها در دمای $۱۰/۰°C$، بتون‌ریزی و عمل آورده شده‌اند. برای جلوگیری از تاب برداشتن بتون در دمای $۵۰/۰°C$، مهندسان باید چه فاصله‌ای را بین این قطعه‌ها در نظر بگیرند؟ (بتون $\alpha \simeq ۱۴\times۱۰^{-۶}K^{-۱}$)

$$L_۱ = ۲۵m \ , \ \Delta T = ۵۰-۱۰ = ۴۰K \ , \ \Delta L = ?$$
$$\Delta L = L_۱\alpha\Delta T \rightarrow \Delta L = ۲۵\times۱۴\times۱۰^{-۶}\times۴۰ = ۱۴۰۰۰\times۱۰^{-۶} = ۱/۴\times۱۰^{-۲}m = ۱/۴cm \rightarrow \Delta L = ۱/۴cm$$

۶) یک ظرف آلومینیمی با حجم $۴۰۰cm^۳$ در دمای $۲۰/۰°C$ به طور کامل از گلیسیرین پر شده است. اگر دمای ظرف و گلیسیرین به $۳۰/۰°C$ برسد، چقدر گلیسیرین از ظرف بیرون می‌ریزد؟

افزایش حجم ظرف و گلیسیرین را جداگانه محاسبه و اختلاف آنها را به دست می‌آوریم:

$$V_{۱\,\text{ظرف}} = ۴۰۰cm^۳ \ , \ \Delta T = ۳۰-۲۰ = ۱۰K \ , \ \alpha_{Al} = ۲۳\times۱۰^{-۶}\ K^{-۱} \ , \ \beta_{\text{گلیسرین}} = ۰/۴۹\times۱۰^{-۳}K^{-۱}$$

افزایش حجم ظرف $\Delta V_{\text{ظرف}} = V_{۱\,\text{ظرف}}(۳\alpha)\Delta T = ۴۰۰\times۳\times۲۳\times۱۰^{-۶}\times۱۰ = ۲۷۶۰۰۰\times۱۰^{-۶} = ۰/۲۷۶cm^۳$

چون ظرف به طور کامل از گلیسیرین پر شده است، حجم اولیه ظرف و گلیسیرین برابر است: $V_{۱\text{ظرف}} = V_{۱\text{گلیسیرین}}$

افزایش حجم گلیسیرین $\Delta V_{\text{گلیسیرین}} = V_{۱\text{گلیسیرین}}\beta\Delta T = ۴۰۰\times۰/۴۹\times۱۰^{-۳}\times۱۰ = ۱۹۶۰\times۱۰^{-۳} = ۱/۹۶cm^۳$

حجم گلیسیرین سرریز شده $\Delta V = \Delta V_{\text{گلیسیرین}} - \Delta V_{\text{ظرف}} = ۱/۹۶-۰/۲۷۶ = ۱/۶۸۴cm^۳ \rightarrow \Delta V = ۱/۶۸cm^۳$

۷) مقداری بنزین در مخزنی استوانه‌ای به ارتفاع $h = ۱۰m$ ریخته شده است. در دمای $-۱۰°C$ فاصله‌ی بین سطح بنزین تا بالای ظرف برابر $\Delta h = ۵۰cm$ است. اگر از انبساط ظرف در نتیجه‌ی افزایش دما چشم‌پوشی شود، در چه دمایی بنزین از ظرف سرریز می‌شود؟

تغییر ارتفاع جهت سرریز شدن $\Delta h = ۰/۵m$، ارتفاع اولیه بنزین $h = ۱۰-۰/۵ = ۹/۵m$ ، $\beta_{\text{بنزین}} = ۱\times۱۰^{-۳}\frac{۱}{K}$

ابتدا حجم اولیه بنزین را محاسبه می‌کنیم. اگر A سطح مقطع استوانه باشد، داریم:

$$V_۱ = A\times h = A\times۹/۵ = ۹/۵A$$
$$\Delta V = A\times\Delta h = A\times۰/۵ = ۰/۵A$$
$$\Delta V = V_۱\beta\Delta T \rightarrow ۰/۵A = ۹/۵A\times۱\times۱۰^{-۳}\times\Delta T$$
$$\rightarrow \Delta T = \frac{۰/۵}{۰/۵\times۱۰^{-۳}} \simeq ۰/۰۵۳\times۱۰^{۳} = ۵۳K$$
$$T_۲ = T_۱ + \Delta T \rightarrow T_۲ = -۱۰+۵۳ = ۴۳ \rightarrow T_۲ = ۴۳°C$$

۸) در شکل روبه‌رو با کاهش دما، نوار دو فلزه به طرف پایین خم می‌شود. اگر یکی از نوارها، برنجی و نوار دیگر فولادی باشد؛

الف) نوار بالایی از چه جنسی است؟

با سرد شدن فلزات طول آنها کاهش می‌یابد. طبق جدول ۴-۱ چون ضریب انبساط طولی برنج بیشتر از فولاد است، کاهش طول برنج در اثر کاهش دما بیشتر از کاهش طول فولاد خواهد بود؛ بنابراین فلز پایینی برنج و فلز بالایی فولاد است.

ب) اگر نوارها را گرم کنیم به کدام سمت خم می‌شوند؟

با گرم کردن نوارها چون ضریب انبساط طولی برنج بیشت است، افزایش طول آن نیز بیشتر خواهد بود. فلز پایینی برنج است؛ بنابراین نوار به سمت بالا خم خواهد شد.

۹) طول خط‌های لوله گاز و نفت در کشورمان که مواد سوختی را از جنوب کشور به مرکز و شمال منتقل می‌کند به چند صد کیلومتر می‌رسد. دمای هوا در زمستان ممکن است تا $-۱۰^\circ C$ و در تابستان تا $+۵۰^\circ C$ برسد. جنس این لوله‌ها عموماً از فولاد با $\alpha \approx ۱۰ \times ۱۰^{-۶} K^{-۱}$ است. طول خط لوله بین دو ایستگاه تهران- اصفهان تقریباً $۲۳۰km$ است.

الف) در اثر این اختلاف دما این خط چقدر منبسط می‌شود؟

$$\Delta T = ۵۰ - (-۱۰) = ۶۰K \quad , \quad \alpha \simeq ۱۰ \times ۱۰^{-۶} \frac{۱}{K} \quad , \quad L_۱ = ۲۳۰km = ۲۳۰ \times ۱۰^۳ m$$

$$\Delta L = L_۱ \alpha \Delta T \rightarrow \Delta L = ۲۳۰ \times ۱۰^۳ \times ۱۰ \times ۱۰^{-۶} \times ۶۰ = ۱۳۸m \rightarrow \Delta L = ۱۳۸m$$

ب) چگونه می‌توان تأثیر این انبساط را برطرف کرد؟

با عایق‌بندی صحیح لوله‌ها در زیرزمین می‌توان مانع از تغییر دما و در نتیجه تغییر طول لوله‌ها شد. همچنین استفاده از اتصالات آکاردئونی (قابل انعطاف) می‌تواند از خم شدن لوله‌ها در اثر افزایش طول جلوگیری کند.

۱۰) در یک روز گرم یک تانک حامل سوخت با $۳۰۰۰۰L$ بنزین بارگیری شده است. هوا در محل تحویل سوخت $۲۰/۰^\circ C$ سردتر از محلی است که در آنجا سوخت بار زده شده است. راننده چند لیتر سوخت را در این محل تحویل می‌دهد؟

$$V_۱ = ۳۰۰۰۰L \quad , \quad \Delta T = -۲۰K \quad , \quad \beta = ۱ \times ۱۰^{-۳} K^{-۱} \quad , \quad V_۲ = ?$$

$$V_۲ = V_۱ + \Delta V = V_۱ + V_۱ \beta \Delta T = V_۱(۱ + \beta \Delta T) \rightarrow V_۲ = V_۱(۱ + \beta \Delta T) = ۳۰۰۰۰(۱ + ۱ \times ۱۰^{-۳} \times (-۲۰))$$

$$V_۲ = ۳۰۰۰۰ \times (۱ - ۰/۰۲) = ۳۰۰۰۰ \times ۰/۹۸ = ۲۹۴۰۰L \rightarrow V_۲ = ۲۹۴۰۰L$$

۴-۳ گرما

۱۱) برای گرم کردن $۲۰۰g$ آب جهت تهیه‌ی چای، از یک گرمکن الکتریکی غوطه ور در آب استفاده می‌کنیم. روی برچسب گرمکن $۲۰۰W$ نوشته شده است. با نادیده گرفتن اتلاف گرما، زمان لازم برای رساندن دمای آب از $۳۰/۰^\circ C$ به $۱۰۰^\circ C$ را محاسبه کنید.

$$m = ۲۰۰g = ۰/۲kg \quad , \quad P = ۲۰۰W \quad , \quad \theta_۱ = ۳۰^\circ C \quad , \quad \theta_۲ = ۱۰۰^\circ C \quad , c = ۴۲۰۰ \frac{J}{kg.^\circ C} \quad , \quad t = ?$$

ابتدا مقدار گرمای لازم جهت تغییر دمای آب از $۳۰^\circ C$ به $۱۰۰^\circ C$ را محاسبه می‌کنیم:

$$Q = mc\Delta\theta = ۰/۲ \times ۴۲۰۰ \times (۱۰۰ - ۳۰) = ۵۸۸۰۰J \rightarrow Q = ۵۸۸۰۰J$$

با استفاده از رابطه توان در گرمکن الکتریکی می‌توان نوشت:

$$Q = Pt \rightarrow t = \frac{Q}{P} = \frac{۵۸۸۰۰}{۲۰۰} = ۲۹۴s$$

۱۲) دمای یک قطعه فلز $۰/۶$ کیلوگرمی را توسط یک گرمکن ۵۰ واتی در مدت $۱۱۰s$ از $۱۸^\circ C$ به $۳۸^\circ C$ رسانده‌ایم. این آزمایش برای گرمای ویژه‌ی فلز چه مقداری را به دست می‌دهد؟ حدس می‌زنید که این پاسخ از مقدار واقعی گرمای ویژه فلز بیشتر باشد یا کمتر؟ توضیح دهید.

$$m = ۰/۶kg \quad , \quad P = ۵۰W \quad , \quad \Delta\theta = ۳۸ - ۱۸ = ۲۰^\circ C \quad , \quad t = ۱۱۰s \quad , \quad c = ?$$

مقدار گرمای تولیدی گرمکن برابر است بامقدار گرمایی که آب برای تغییر دما دریافت می‌کند:

$$\begin{cases} Q = Pt \\ Q = mc\Delta\theta \end{cases} \rightarrow Pt = mc\Delta\theta \rightarrow c = \frac{Pt}{m\Delta\theta} = \frac{۵۰ \times ۱۱۰}{۰/۶ \times ۲۰} = \frac{۵۵۰۰}{۱۲} \simeq ۴۵۸ \frac{J}{kg.^\circ C}$$

چون در واقعیت همه گرمای تولیدی گرمکن به آب داده نمی‌شود و بخشی از آن هدر می‌رود، بنابراین در رابطه $c=\frac{Pt}{m\Delta\theta}$ فلز، صورت کسر کاهش و گرمای ویژه واقعی فلز کمتر از مقدار محاسبه شده خواهد بود.

۱۳) گرماسنجی به جرم ۲۰۰ گرم از مس ساخته شده است. یک قطعه‌ی ۸۰ گرمی از یک ماده‌ی نامعلوم همراه با ۵۰ گرم آب به دمای $۳۰^\circ C$ درون گرماسنج ریخته می‌شود. اکنون دمای این مجموعه $۳۰^\circ C$ شده است. در این هنگام ۱۰۰ گرم آب $۷۰^\circ C$ به گرماسنج اضافه می‌شود، دمای تعادل $۵۲^\circ C$ می‌شود. گرمای ویژه‌ی قطعه را محاسبه کنید.

گرماسنج: $m_۱=۲۰۰g=۰/۲kg$, $c_{مس}=۳۸۶\frac{J}{kg.^\circ C}$, $\theta_۱=۳۰^\circ C$

جسم: $m_۲=۸۰g=۰/۰۸kg$, $c=?$, $\theta_۲=۳۰^\circ C$

آب: $m_۳=۵۰g=۰/۰۵kg$, $c_{آب}=۴۲۰۰\frac{J}{kg.^\circ C}$, $\theta=۳۰^\circ C$

آب: $m_۴=۱۰۰g=۰/۱kg$, $c_{آب}=۴۲۰۰\frac{J}{kg.^\circ C}$, $\theta_۴=۷۰^\circ C$

دمای تعادل $\longrightarrow \theta=۵۲^\circ C$

در تعادل گرمایی: $Q_۱+Q_۲+Q_۳+Q_۴=۰$

$Q_۱=m_۱c_{مس}(\theta-\theta_۱)=۰/۲\times۳۸۶\times(۵۲-۳۰)=۱۶۹۸/۴J$

$Q_۲=m_۲c_{جسم}(\theta-\theta_۲)=۰/۰۸\times c_{جسم}\times(۵۲-۳۰)=۱/۷۶c_{جسم}$

$Q_۳=m_۳c_{آب}(\theta-\theta_۳)=۰/۰۵\times۴۲۰۰\times(۵۲-۳۰)=۴۶۲۰J$

$Q_۴=m_۴c_{آب}(\theta-\theta_۴)=۰/۱\times۴۲۰۰\times(۵۲-۷۰)=-۷۵۶۰J$

$۱۶۹۸/۴+۱/۷۶c_{جسم}+۴۶۲۰-۷۵۶۰=۰\rightarrow ۱/۷۶c_{جسم}=۱۲۴۱/۶$

$\rightarrow c_{جسم}=\frac{۱۲۴۱/۶}{۱/۷۶}\simeq ۷۰۵\frac{J}{kg^\circ C}\rightarrow c_{جسم}\simeq ۷۰۵\frac{J}{kg.^\circ C}$

۴-۴ تغییر حالت‌های ماده

۱۴) یکی از روش‌های بالابردن دمای یک جسم، دادن گرما به آن است. اگر به جسمی گرما دهیم، آیا دمای آن حتماً بالا می‌رود؟ توضیح دهید.

خیر، در برخی موارد گرمای داده شده به جسم دمای آن را افزایش نمی‌دهد بلکه صرف تغییر حالت جسم می‌شود، مثلاً اگر به یخ $۰^\circ C$ گرما دهیم تبدیل به آب $۰^\circ C$ می‌شود.

۱۵) قبل از تزریق دارو یا سرُم به یک بیمار، محل تزریق را با الکل تمیز می‌کنند. این کار سبب احساس خنکی در محل تزریق می‌شود. علت را توضیح دهید.

الکل برای تبخیر سطحی از روی پوست گرما گرفته و پوست در محل تماس با الکل خنک می‌شود.

۱۶) کدام گزینه درباره‌ی فرایند ذوب نادرست است؟

الف) افزایش فشار وارد بر جسم در بیشتر مواد، سبب پایین رفتن نقطه‌ی ذوب می‌شود.

ب) افزایش فشار بر روی یخ، سبب کاهش اندک نقطه‌ی ذوب آن می‌شود.

پ) فرآیند ذوب، عملی گرماگیر است.

ت) گرمایی که جسم جامد در نقطه‌ی ذوب خود می‌گیرد تا به مایع تبدیل شود، سبب تغییر دمای آن نمی‌شود.

(الف) نادرست است. در اکثر مواد افزایش فشار سبب افزایش نقطه‌ی ذوب می‌شود.

۱۷) کمترین گرمای لازم برای ذوب کامل $۲۰۰g$ که در آغاز در دمای $۲۰/۰°C$ قرار دارد چقدر است؟ (فشار هوا را یک اتمسفر فرض کنید.)

برای ذوب ۲۰۰g نقره با دمای اولیه $۲۰°C$ مراحل زیر طی می‌شود:

توجه: مطابق جدول ۴-۴ دمای ذوب نقره $۹۶۰°C$ است.

۲۰۰g نقره $۲۰°C$	$\xrightarrow{Q_1}$	۲۰۰g نقره $۹۶۰°C$	$\xrightarrow{Q_2}$	۲۰۰g نقره مذاب $۹۶۰°C$

$$m = ۲۰۰g = ۰/۲kg \ , \ c = ۲۳۶\frac{J}{kg.°C} \ , \ L_f = ۸۸/۳\frac{kJ}{kg} = ۸۸/۳\times۱۰^۳\frac{J}{kg}$$

$$Q_۱ = mc\Delta\theta = ۰/۲\times۲۳۶\times(۹۶۰-۲۰) = ۴۴۳۶۸J$$

$$Q_۲ = mL_f = ۰/۲\times۸۸/۳\times۱۰^۳ = ۱۷۶۶۰J$$

$$Q = Q_۱ + Q_۲ = ۴۴۳۶۸ + ۱۷۶۶۰ = ۶۲۰۲۸J \rightarrow Q = ۶۲۰۲۸J$$

۱۸) یک راه برای جلوگیر یاز سرد شدن بیش از حد یک سالن سربسته در شب هنگام، وقتی که دمای زیر صفر پیش بینی شده است، قرار دادن تشت بزرگ پر از آب در سالن است. اگر جرم آب درون تشت $۱۵۰kg$ و دمای اولیه‌ی آن $۲۰/۰°C$ باشد و همه‌ی آن به یخ $۰/۰°C$ تبدیل شود، آب چقدر گرما به محیط پیرامونش می‌دهد؟

مراحل طی شرده برای این فرآیند به صورت زیر است:

۱۵۰kg آب $۲۰°C$	$\xrightarrow{Q_1}$	۱۵۰kg آب $۰°C$	$\xrightarrow{Q_2}$	۱۵۰kg یخ $۰°C$

$$m = ۱۵۰kg \ , \ c = ۴۲۰۰\frac{J}{kg.°C} \ , \ L_f = ۳۳۳/۷\frac{kJ}{kg}$$

$$Q_۱ = mc\Delta\theta = ۱۵۰\times۴۲۰۰\times(۰-۲۰) = -۱۲/۶\times۱۰^۶J = -۱۲۶۰۰kJ \rightarrow Q_۱ = -۱۲۶۰۰kJ$$

$$Q_۲ = -mL_f = -۱۵۰\times۳۳۳/۷ = -۵۰۰۵۵kJ \rightarrow Q_۲ = -۵۰۰۵۵kJ$$

$$Q = Q_۱ + Q_۲ = -۱۲۶۰۰ - ۵۰۰۵۵ = -۶۲۶۵۵kJ \rightarrow Q = -۶۲۶۵۵kJ$$

۱۹) یک گرمکن ۵۰ واتی به طور کامل در ۱۰۰ گرم آب درون یک گرماسنج قرار داده می‌شود.

الف) این گرمکن در مدت یک دقیقه دمای آب و گرماسنج را از $۲۰°C$ به $۲۵°C$ می‌رساند. ظرفیت گرمایی گرماسنج را حساب کنید.

$$P = ۵۰W \ , \ m_{\text{آب}} = ۱۰۰g = ۰/۱kg \ , \ t = ۱\min = ۶۰s \ , \ \Delta\theta = ۲۵-۲۰ = ۵°C$$

$$C_{\text{آب}} = ۴۲۰۰\frac{J}{kg.°C} \ , \ C_{\text{گرماسنج}} = ?$$

گرمای تولیدی گرمکن $Q = Pt$، گرمای دریافتی گرماسنج $Q_۲ = C_{\text{گرماسنج}}\Delta\theta$، گرمای دریافتی آب $Q_۱ = m_{\text{آب}}c_{\text{آب}}\Delta\theta$

$$Q = Q_۱ + Q_۲ \rightarrow Pt = m_{\text{آب}}c_{\text{آب}}\Delta\theta + C_{\text{گرماسنج}}\Delta\theta \rightarrow ۵۰\times۶۰ = ۰/۱\times۴۲۰۰\times۵ + C_{\text{گرماسنج}}\times۵$$

$$\rightarrow ۳۰۰۰ = ۲۱۰۰ + ۵C_{\text{گرماسنج}} \rightarrow ۹۰۰ = ۵C_{\text{گرماسنج}} \rightarrow C_{\text{گرماسنج}} = \frac{۹۰۰}{۵} = ۱۸۰ \rightarrow C_{\text{گرماسنج}} = ۱۸۰\frac{J}{°C}$$

ب) چه مدت طول می‌کشد تا دمای آب درون گرماسنج از $۲۵\,^\circ C$ به نقطه‌ی جوش ($۱۰۰\,^\circ C$) برسد؟

چون با افزایش دمای آب، دمای گرماسنج نیز افزایش می‌یابد، گرمای تولیدی گرمکن برابر است با گرمای لازم برای تغییر دمای آب و گرماسنج.

$$m_{\text{آب}} = ۱۰۰g = ۰/۱kg \ , \ P = ۵۰۰W, \ c_{\text{آب}} = ۴۲۰۰ \frac{J}{kg.^\circ C}, \quad \Delta\theta = ۱۰۰ - ۲۵ = ۷۵\,^\circ C$$

$$C_{\text{گرماسنج}} = ۱۸۰ \frac{J}{^\circ C} \ , \ Q = Pt \ , \ Q_۱ = m_{\text{آب}} c_{\text{آب}} \Delta\theta, \ Q_۲ = C_{\text{گرماسنج}} \Delta\theta, \ t = ?$$

$$Q = Q_۱ + Q_۲ \rightarrow Pt = m_{\text{آب}} c_{\text{آب}} \Delta\theta + C_{\text{گرماسنج}} \Delta\theta$$

$$\rightarrow ۵۰ \times t = ۰/۱ \times ۴۲۰۰ \times ۷۵ + ۱۸۰ \times ۷۵$$

$$\rightarrow ۵۰t = ۳۱۵۰۰ + ۱۳۵۰۰ \rightarrow ۵۰t = ۴۵۰۰۰ \rightarrow t = \frac{۴۵۰۰۰}{۵۰} = ۹۰۰s \rightarrow t = ۹۰۰s$$

پ) چه مدت طول می‌کشد تا ۲۰ گرم آب در حال جوش درون این گرماسنج به بخار تبدیل شود؟

چون در نقطه جوش آب، دما افزایش نمی‌یابد، بنابراین گرمای تولیدی گرمکن صرف افزایش دمای آب و گرمکن نمی‌شود و صرفاً باعث تغییر فاز آب از مایع به بخار خواهد شد.

$$m = ۲۰g = ۰/۰۲kg \ , \ P = ۵۰W \ , \ L_{V\,\text{آب}} = ۲۲۵۶ \frac{kJ}{kg} = ۲۲۵۶ \times ۱۰^۳ \frac{J}{kg} \ , \ t = ?$$

$Q = Pt$ گرمای تولیدی گرمکن $Q' = m_{\text{آب}} L_{V\,\text{آب}}$ گرمای تبخیر آب

$$Q = Q' \rightarrow Pt = m_{\text{آب}} L_{V\,\text{آب}} \rightarrow ۵۰ \times t = ۰/۰۲ \times ۲۲۵۶ \times ۱۰^۳$$

$$\rightarrow ۵۰t = ۴۵۱۱۲۰ \rightarrow t = \frac{۴۵۱۱۲۰}{۵۰} = ۹۰۲/۴s \rightarrow t = ۹۰۲/۴s$$

۲۰) گرمکنی در هر ثانیه ۲۰۰/۰ ژول گرما می‌دهد.

الف) چقدر طول می‌کشد تا این گرمکن ۰/۱۰۰ کیلوگرم آب $۱۰۰\,^\circ C$ را به بخار آب $۱۰۰\,^\circ C$ تبدیل کند؟

$$P = ۲۰۰W \ , \ m = ۰/۱kg \ , \ L_V = ۲۲۵۶ \frac{kJ}{kg} = ۲۲۵۶ \times ۱۰^۳ \frac{J}{kg} \ , t = ?$$

گرمای تولیدی گرمکن برابر است با گرمای لازم جهت تبدیل $۰/۱kg$ آب $۱۰۰\,^\circ C$ به بخار $۱۰۰\,^\circ C$.

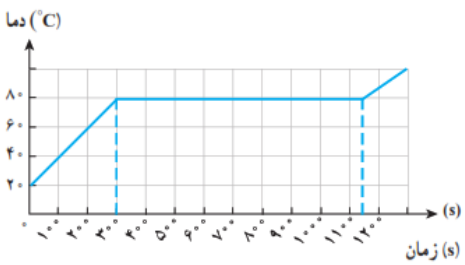
$$Q = Q' \rightarrow Pt = mL_V \rightarrow ۲۰۰t = ۰/۱ \times ۲۲۵۶ \times ۱۰^۳ \rightarrow t = \frac{۲۲۵۶ \times ۱۰^۲}{۲ \times ۱۰^۲} = ۱۱۲۸s \rightarrow t = ۱۱۲۸s$$

ب) این گرمکن در همین مدت، چه مقدار یخ $۰\,^\circ C$ را می‌تواند به آب $۰\,^\circ C$ تبدیل کند؟

$$P = ۲۰۰W \ , t = ۱۱۲۸s, \ L_f = ۳۳۳/۷ \frac{kJ}{kg} = ۳۳۳/۷ \times ۱۰^۳ \frac{J}{kg} \ , \ m = ?$$

$$Q = Q' \rightarrow Pt = mL_f \rightarrow ۲۰۰ \times ۱۱۲۸ = m \times ۳۳۳/۷ \times ۱۰^۳ \rightarrow m = \frac{۲۰۰ \times ۱۱۲۸}{۳۳۳/۷ \times ۱۰^۳} \simeq ۶۷۶ \times ۱۰^{-۳} kg \Rightarrow m \simeq ۶۷۶g$$

۲۱) اگر به جسم جامدی که ابعاد آن به اندازه‌ی کافی کوچک است با توان ثابتی گرما بدهیم نمودار دما-زمان آن به صورت کیفی مانند شکل روبه‌رو می‌شود. این نمودار در اینجا برای جسم جامدی به جرم $۵۰/۰g$ رسم شده که توسط یک گرمکنِ $۱۰/۰W$ گرم شده است.



الف) چقدر طول می‌کشد تا این جامد به نقطه‌ی ذوب خود برسد؟

با توجه به نمودار در بازه زمانی ۰ تا $۳۰۰s$ دمای جسم افزایش می‌یابد و در بازه زمانی $۳۰۰s$ تا $۱۱۵۰s$ دمای جسم ثابت بوده و جسم تغییر حالت می‌دهد (ذوب می‌شود) پس $۳۰۰s$ طول می‌کشد تا جسم به نقطه‌ی ذوب برسد.

ب) گرمای ویژه‌ی جامد و پ) گرمای نهان ذوب آن را محاسبه کنید.

با توجه به شکل و اطلاعات مسأله داریم:

$$m = ۵۰g = ۰/۰۵kg \ , \ P = ۱۰W \ , t = ۳۰۰s \ , \ \Delta\theta = ۸۰ - ۲۰ = ۶۰°C \ , \ c = ?$$

$$Q = Q' \rightarrow Pt = mc\Delta\theta \rightarrow ۱۰ \times ۳۰۰ = ۰/۰۵ \times c \times ۶۰$$

$$\rightarrow ۳۰۰۰ = ۳۰c \rightarrow c = \frac{۳۰۰۰}{۳} = ۱۰۰۰\frac{J}{kg.°C} \rightarrow C = ۱۰۰۰\frac{J}{kg.°C}$$ گرمای ویژه جسم

$$Q = Q' \rightarrow Pt = mL_f \rightarrow ۱۰ \times ۸۵۰ = ۰/۰۵ \times L_f \rightarrow L_f = \frac{۸۵۰۰}{۰/۰۵} = ۱۷۰۰۰۰\frac{J}{kg}$$

$$\rightarrow L_f = ۱۷۰۰۰۰\frac{J}{kg}$$ گرمای نهان ذوب جسم

۲۲) در چاله‌ی کوچکی $۱/۰۰kg$ آب $۰°C$ قرار دارد. اگر بر اثر تبخیر سطحی قسمتی از آب تبخیر شود و بقیه‌ی آن یخ ببندد، جرم آب یخ زده چقدر می‌شود؟

مقدار گرمایی که بخشی از آب برای انجماد از دست می‌دهد برابر است با مقدار گرمایی که بخش دیگر آب برای تبخیر می‌گیرد.

در دمای $۰°C$ داریم:

$$L_V = ۲۴۹۰\frac{kJ}{kg} \quad , \quad L_f = ۳۳۳/۷\frac{kJ}{kg}$$

اگر جرم آب یخ زده را با m و جرم آب تبخیر شده را با m' نشان دهیم، می‌توان نوشت:

$$Q_{\text{انجماد}} + Q_{\text{تبخیر}} = ۰ \rightarrow -mL_f + m'L_V = ۰ \rightarrow m'L_V = mL_f \rightarrow m' = m\frac{L_f}{L_V}$$

مجموع جرم آب یخ زده و جرم آب تبخیر شده $۱kg$ است، بنابراین:

$$m + m' = ۱ \rightarrow m + \frac{mL_f}{L_V} = ۱ \rightarrow \frac{mL_V + mL_f}{L_V} = ۱ \rightarrow m\frac{L_V + L_f}{L_V} = ۱ \rightarrow m = \frac{۱}{\frac{L_V + L_f}{L_V}}$$

$$\rightarrow m = \frac{L_V}{L_V + L_f} \rightarrow m = \frac{۲۴۹۰}{۲۴۹۰ + ۳۳۳/۷} = \frac{۲۴۹۰}{۲۸۲۳/۷} \simeq ۰/۸۸۲kg \rightarrow m \simeq ۸۸۲g$$

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

الف) چه مقدار آب تبخیر شود تا دمای بدن شخصی به جرم $۵۰/۰kg$ به اندازه‌ی $۱/۰۰°C$ کاهش یابد؟ گرمای نهان تبخیر آب در دمای بدن ($۳۷°C$) برابر $۲/۴۲ \times ۱۰^۶ J/kg$ و گرمای ویژه‌ی بدن در حدود $۳۴۸۰J/kg.K$ است.

گرمایی که شخص در کاهش دمای بدن، شخص از دست می‌دهد برابر است با گرمایی که آب هنگام تبخیر می‌گیرد. بنابراین:

$$Q = Q' \rightarrow mL_V = mc\Delta\theta \rightarrow m \times ۲/۴۲ \times ۱۰^۶ = ۵۰ \times ۳۴۸۰ \times ۱$$

جرم آب: $$m = \frac{۵۰ \times ۳۴۸۰}{۲/۴۲ \times ۱۰^۶} = ۷۱۹ \times ۱۰^{-۴} kg = ۷۱/۹ \times ۱۰^{-۳} kg \simeq ۷۲g \rightarrow m \simeq ۷۲g$$

ب) حجم آبی که شخص باید برای جبران آب تبخیر شده بنوشد، چقدر است؟

$$\rho = ۱۰۰۰\frac{kg}{m^۳} = ۱\frac{g}{cm^۳} \quad , \quad \rho = \frac{m}{V} \rightarrow V = \frac{m}{\rho} = \frac{۷۲}{۱} = ۷۲cm^۳ \rightarrow V = ۷۲cm^۳$$

۴-۵ روش‌های انتقال گرما

۲۴) اگر شما یک تیر چوبی و یک لوله‌ی فلزی سرد را که هم دما هستند لمس کنید، چرا حس می‌کنید که لوله سردتر است؟ چرا ممکن است دست شما به لوله بچسبد؟

چوب رسانای ضعیف گرما است، بنابراین گرمای دست را در محل تماس نگه داشته و گرم به نظر می‌رسد ولی فلز چون رسانای گرما است، گرمای دست را از محل تماس منتقل کرده و سردتر به نظر می‌رسد. اگر دمای لوله خیلی پایین باشد، رطوبتی که بین پوست دست و سطح فلز قرار دارد، در اثر کاهش دما به بلورهای یخ تبدیل شده و دست را به سطح فلز می‌چسباند.

۲۵) یک پالتو چگونه شما را گرم نگه می‌دارد؟ چرا استفاده از چند لباس زیر پالتو این عمل را تشدیدمی‌کند؟

لایه‌ای از هوا در بین الیاف پالتو قرار گرفته و چون هوا رسانای ضعیف گرما است، مانع از انتقال گرمای بدن به خارج می‌شود. با افزایش ضخامت لایه‌های عایق پوشاننده بدن، آهنگ رسانش گرمای بدن به هوای بیرون کاهش می‌یابد.

۲۶) شیشه‌ی پنجره‌ای دارای عرض ۲/۰ متر، ارتفاع ۱/۰ متر و ضخامت $۴/۰mm$ است.

الف) در یک روز زمستانی دمای وجهی از شیشه که در تماس با هوای سرد بیرون است $۲/۰°C$ و دمای وجهی از شیشه که در تماس با هوای گرم داخل اتاق است $۷/۰°C$ است. چه مقدار گرما در هر ثانیه از طریق شیشه ($k \simeq ۱/۰ W/m.K$) به بیرون اتاق انتقال پیدا می‌کند؟

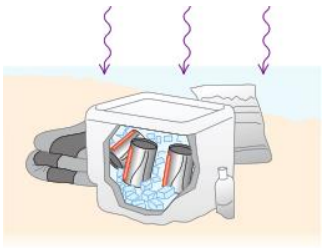
$$A = ۲\times ۱ = ۲m^۲ \ , \ L = ۴mm = ۴\times ۱۰^{-۳}m \ , \ T_L = ۲°C \ , \ T_H = ۷°C \ , \ k = ۱\frac{W}{m.k}, \ \mathrm{H} = ?$$

$$\mathrm{H} = \mathrm{k}\frac{A(T_H - T_L)}{L} = ۱\times \frac{۲\times(۷-۵)}{۴\times ۱۰^{-۳}} = ۲/۵۸\times ۱۰^{۳}W \rightarrow H = ۲/۵\times ۱۰^{۳}W$$

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

یک روز ۸۶۴۰۰ ثانیه است، بنابراین انرژی‌ای که در طول یک روز تلف می‌شود برابر است با:

$$Q = Ht \rightarrow Q = ۲/۵\times ۱۰^{۳}\times ۸۶۴۰۰ = ۲/۱۶\times ۱۰^{۸}J \rightarrow Q = ۲/۱۶\times ۱۰^{۸}J$$



۲۷) جعبه‌ی یخ‌دانی از جنس پلی استیرن با مساحت کل دیواره‌های $۰/۸۰m^۲$ و ضخامت دیواره‌های $۲/۰cm$ در اختیار دارید. اختلاف دمای سطح داخلی و خارجی یخ‌دان $۲۰/۰°C$ است. در یک روز ($۲۴h$) چقدر یخ آب می‌شود؟ رسانندگی گمایی پلی استیرن برابر است با $k = ۰/۰۱W/m.K$.

برای محاسبه مقدار گرمایی که در مدت ۲۴ ساعت از بیرون به داخل جعبه منتقل می‌شود باید آهنگ رسانش گرما از جعبه را به دست آوریم:

$$A = ۰/۸m^۲ \ , \ L = ۲cm = ۲\times ۱۰^{-۲}m \ , \ T_H - T_L = ۲۰°C \ , \ t = ۲۴h = ۸۶۴۰۰s, \ m = ? \ , \ L_f = ۳۳۳/۷\frac{kJ}{kg} \ , \ k = ۰/۰۱\frac{W}{m.k}$$

$$H = k\frac{A(T_H - T_C)}{L} = ۰/۰۱\times \frac{۰/۸\times ۲۰}{۲\times ۱۰^{-۲}} = \frac{۱۶\times ۱۰^{-۲}}{۲\times ۱۰^{-۲}} = ۸W \rightarrow H = ۸W$$

گرمایی که در ۲۴ ساعت به داخل جعبه منتقل می‌شود:

$$Q = H.t \rightarrow Q = ۸\times ۸۶۴۰۰ = ۶۹۱۲۰۰J \rightarrow Q = ۶۹۱۲۰۰J$$

حال باید ببینیم این مقدار گرما چند گرم یخ $۰°C$ را ذوب می‌کند:

$$Q = mL_f \rightarrow m = \frac{Q}{L_f} = \frac{۶۹۱۲۰۰}{۳۳۳/۷\times ۱۰^{۳}} \simeq ۲kg \rightarrow m = ۲kg$$

۲۸) دو قوری همجنس و هم اندازه را در نظر بگیرید که سطح بیرونی یک سیاه رنگ و دیگری سفیدرنگ است. هر دو را با آب داغ با دمای یکسان پر می‌کنیم. آب کدام قوری زودتر خنک می‌شود؟

قوری تیره، چون تابش گرمایی گسیل شده از سطوح تیره و مات بیشتر از سطوح صاف و روشن است، آهنگ تابش گرما از قوری تیره بیشتر بوده و زودتر خنک می‌شود.

۴-۶ قوانین گازها

۲۹) گازی در دمای $۲۰^\circ C$ دارای حجم $۱۰۰/۰ cm^۳$ است.

الف) این گاز را باید تا چه دمایی گرم کنیم تا در فشار ثابت، حجم آن $۲۰۰/۰ cm^۳$ شود؟

فشار ثابت، $T_۱ = ۲۰ + ۲۷۳ = ۲۹۳K \ , \ V_۱ = ۱۰۰cm^۳ \ , \ V_۲ = ۲۰۰cm^۳ \ , \ T_۲ = ?$

$$\frac{P_۱V_۱}{T_۱} = \frac{P_۲V_۲}{T_۲} \rightarrow \frac{V_۱}{T_۱} = \frac{V_۲}{T_۲} \rightarrow \frac{۱۰۰}{۲۹۳} = \frac{۲۰۰}{T_۲} \rightarrow T_۲ = \frac{۲۹۳ \times ۲۰۰}{۱۰۰} = ۵۸۶K \rightarrow T_۲ = ۵۸۶K = ۳۱۳^\circ C$$

ب) این گاز در همین فشار در چه دمایی دارای حجم $۵۰/۰ cm^۳$ خواهد شد؟

فشار ثابت، $T_۱ = ۲۹۳K \ , \ V_۱ = ۱۰۰cm^۳ \ , \ V_۲ = ۵۰cm^۳ \ , \ T_۲ = ?$

$$\frac{P_۱V_۱}{T_۱} = \frac{P_۲V_۲}{T_۲} \rightarrow \frac{V_۱}{T_۱} = \frac{V_۲}{T_۲} \rightarrow \frac{۱۰۰}{۲۹۳} = \frac{۵۰}{T_۲} \rightarrow T_۲ = \frac{۵۰}{۱۰۰} = ۱۴۶/۵K \rightarrow T_۲ = ۱۴۶/۵K = -۱۲۶/۵^\circ C$$

۳۰) هوایی با فشار $۱/۰ atm$ درون استوانه‌ی یک تلمبه دوچرخه به طول $۲۴cm$ محبوس است. راه‌های ورودی و خروجی هوای استوانه تلمبه را می‌بندیم. اکنون:

الف) اگر طول استوانه را در دمای ثابت به $۳۰/۰ \text{cm}$ افزایش دهیم، فشار هوای محبوس چقدر خواهد شد؟

دما ثابت ، $P_۱ = ۱atm \ , \ L_۱ = ۲۴cm \ , \ L_۲ = ۳۰cm \ , \ P_۲ = ?$

$$\frac{P_۱V_۱}{T_۱} = \frac{P_۲V_۲}{T_۲} \rightarrow P_۱V_۱ = P_۲V_۲ \overset{V=AL}{\rightarrow} P_۱AL_۱ = P_۲AL_۲ \rightarrow P_۱L_۱ = P_۲L_۲$$

$$\rightarrow ۱ \times ۲۴ = P_۲ \times ۳۰ \rightarrow P_۲ = \frac{۲۴}{۳۰} = ۰/۸atm \rightarrow P_۲ = ۰/۸atm$$

ب) برای آنکه در دمای ثابت، فشار هوای محبوس $۰/۳ atm$ شود، طول استوانه را چقدر باید کاهش دهیم؟

دما ثابت، $P_۱ = ۱atm \ , \ L_۱ = ۲۴cm, \ P_۲ = ۳atm \ , \ L_۲ = ?$

$$\frac{P_۱V_۱}{T_۱} = \frac{P_۲V_۲}{T_۲} \rightarrow P_۱V_۱ = P_۲V_۲ \rightarrow P_۱AL_۱ = P_۲AL_۲$$

$$P_۱L_۱ = P_۲L_۲ \rightarrow ۱ \times ۲۴ = ۳ \times L_۲ \rightarrow L_۲ = \frac{۲۴}{۳} = ۸cm \rightarrow L_۲ = ۸cm$$

$$\left|\Delta L\right| = \left|L_۲ - L_۱\right| = \left|۸ - ۲۴\right| = ۱۶cm \rightarrow \left|\Delta L\right| = ۱۶cm$$

تغییر طول استوانه ۱۶ سانتی‌متر است.

۳۱) لاستیک یک اتومبیل حاوی مقدار معینی هواست. هنگامی که دمای هوا $۱۷^\circ C$ است، فشار سنج، فشار درون لاستیک ۲/۰۰ اتمسفر را نشان می‌دهد. دمای هوای درون لاستیک در این وضعیت چقدر است؟ حجم لاستیک را ثابت و فشار جو را ۱/۰۰ اتمسفر در نظر بگیرید.

چون فشارسنج‌ها، فشار پیمانه‌ای گاز را اندازه‌گیری می‌کنند. برای محاسبه فشار مطلق هوای داخل لاستیک باید فشار پیمانه‌ای را با فشار جو جمع کرد: $P = P_g + P_۰$

حجم ثابت، $T_۱ = ۱۷ + ۲۷۳ = ۲۹۰K \ , \ P_۱ = ۲ + ۱ = ۳atm \ , \ P_۲ = ۲/۳ + ۱ = ۳/۳atm \ , \ T_۲ = ?$

$$\frac{P_۱V_۱}{T_۱} = \frac{P_۲V_۲}{T_۲} \rightarrow \frac{P_۱}{T_۱} = \frac{P_۲}{T_۲} \rightarrow \frac{۳}{۲۹۰} = \frac{۳/۳}{T_۲} \rightarrow T_۲ = \frac{۲۹۰ \times ۳/۳}{۳} = ۳۱۹K \rightarrow T_۲ = ۳۱۹K = ۴۶^\circ C$$

۳۲) دما و فشار متعارف (STP) برای گاز، دمای $۰^\circ C = ۲۷۳K$ و فشار $۱atm = ۱/۰۱۳ \times ۱۰^۵ Pa$ معرفی می‌شود. حجم یک مول گاز کامل در دما و فشار متعارف چقدر است؟

$T = ۲۷۳K\ ,\ P = ۱atm = ۱/۰۱۳\times ۱۰^{۵}Pa\ ,\ n = ۱mol\ ,\ R = ۸/۳۱۴\frac{J}{mol.K}\ ,\ V = ?$

طبق قانون گازها داریم:

$$PV = nRT \rightarrow V = \frac{nRT}{P} = \frac{۱\times ۸/۳۱۴\times ۲۷۳}{۱/۰۱۳\times ۱۰^{۵}} \simeq ۲۲۴۰\times ۱۰^{-۵}m = ۲۲/۴۰\times ۱۰^{-۳}m^{۳} \rightarrow V \simeq ۲۲/۴L$$

۳۳) یک حباب هوا به حجم $۰/۲۰cm^{۳}$ در ته یک دریاچه به عمق $۴۰/۰m$ قرار دارد که دما در آن‌جا $۴/۰°C$ است. حباب تا سطح آب بالا می‌آید که در آنجا دما $۲۰°C$ است (دمای هوای حباب با دمای آب اطراف آن یکسان است). در لحظه‌ای که حباب به سطح آب می‌رسد حجم آن چقدر است؟ فشار هوا در سطح دریاچه را $۱/۰۱\times ۱۰^{۵}Pa$ در نظر بگیرید.

$V_۱ = ۰/۲cm^{۳}\ ,\ T_۱ = ۴ + ۲۷۳ = ۲۷۷K\ ,\ T_۲ = ۲۰ + ۲۷۳ = ۲۹۳K$

$P_۱ = P_۰ + \rho gh = ۱/۰۱\times ۱۰^{۵} + (۱۰۰۰\times ۱۰\times ۴۰)$

$P_۱ = ۵/۰۱\times ۱۰^{۵}Pa \rightarrow$ و فشار در عمق ۴۰ متری دریاچه $P_۲ = P_۰ = ۱/۰۱\times ۱۰^{۵}Pa$ فشار در سطح آب

$$\frac{P_۱V_۱}{T_۱} = \frac{P_۲V_۲}{T_۲} \rightarrow \frac{۵/۰۱\times ۱۰^{۵}\times ۰/۲}{۲۷۷} = \frac{۱/۰۱\times ۱۰^{۵}\times V_۲}{۲۹۳} \rightarrow \frac{۱/۰۰۲}{۲۷۷} = \frac{۱/۰۱V_۲}{۲۹۳}$$

$\rightarrow V_۲ = \frac{۲۹۳\times ۱/۰۰۲}{۲۷۷\times ۱/۰۱} \simeq ۱/۰۵cm^{۳} \rightarrow V_۲ \simeq ۱/۰۵cm^{۳}$ حجم حباب در سطح آب:

۳۴) سحابی سیاره‌ای، ابری است حلقوی (شکل روبه‌رو) که عمدتاً از گاز هیدروژن با غلظت $۱۰۰۰/۰$ مولکول بر سانتی‌متر مکعب و دمای $۱۰۰۰۰K$ تشکل شده است. فشار گاز در این سحابی را محاسبه کنید.

$N = ۱۰۰۰\ ,\ V = ۱cm^{۳} = ۱\times ۱۰^{-۶}\ m^{۳}\ ,\ T = ۱۰۰۰۰K = ۱\times ۱۰^{۴}K\ ,\ Na = ۶/۰۲\times ۱۰^{۲۳}$

$R \simeq ۸/۳۱۴\frac{J}{mol.K}\ ,\ P = ?$

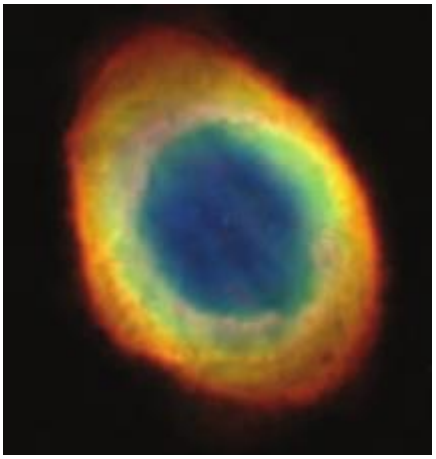
با توجه به تعریف مول داریم:

$$N = n\,Na = n = \frac{N}{Na}$$

با توجه به قانون گازها می‌توان نوشت:

$$PV = nRT \rightarrow PV = \frac{N}{Na}RT \rightarrow PV = \frac{NRT}{Na} \rightarrow P = \frac{NRT}{VNa}$$

$$\rightarrow P = \frac{۱۰۰۰\times ۸/۳۱۴\times ۱۰^{۴}}{۱۰^{-۶}\times ۶/۰۲\times ۱۰^{۲۳}} = ۱/۳۸\times ۱۰^{-۱۰}Pa$$



فصل پنجم : ترمودینامیک

پرسش ۵-۱ ..... صفحه ۱۵۱

روی قوطی‌های اسپری، هشدار داده شده است که از انداختن آن در آتش خودداری کنید. علت این توصیه را بر اساس فرآیند هم حجم توضیح دهید.

با افزایش دما حجم قوطی تقریباً ثابت است (فرایند هم حجم) ولی فشار گاز داخل آن افزایش می‌یابد که این افزایش فشار اگر از حد معینی (بسته به جنس گاز و اندازه قوطی) بیشتر شود باعث انفجار قوطی خواهد شد.

تمرین ۵-۱ ..... صفحه ۱۵۲

دمای n مول گاز با گرمای ویژه‌ی مولی در حجم ثابت C_V، در یک فرآیند هم حجم از T_1 به T_2 رسیده است.

الف) تغییر انرژی درونی گاز در این فرآیند را بیابید.

در فرآیند هم حجم $W = 0$ بنابراین:

$$\Delta U = Q + \cancel{W}^{0} \rightarrow \Delta U = Q = nC_V\Delta T \rightarrow \Delta U = nC_V\Delta T = nC_V(T_2 - T_1)$$

ب) اگر این گاز، گاز آرمانی و تک اتمی باشد، تغییر انرژی درونی آن به چه صورتی نوشته می‌شود؟

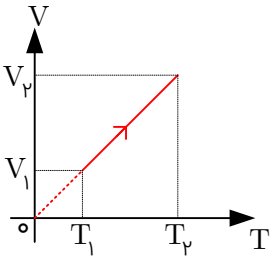
در گاز تک‌اتمی داریم $C_V = \frac{3}{2}R$ بنابراین:

$$\Delta U = n \times \frac{3}{2}R \times \Delta T \rightarrow \Delta U = \frac{3}{2}nR\Delta T$$

تمرین ۵-۲ ..... صفحه ۱۵۳

نشان دهیدنمودار V-T برای فرآیند هم فشارِ یک گاز آرمانی، خط راستی است که امتداد آن از مبدأ مختصات می‌گذرد.

چون گاز آرمانی است با استفاده از معادله حالت گاز داریم:



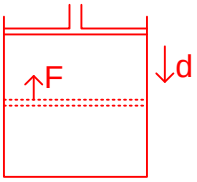
$$PV = nRT \rightarrow V = \frac{nRT}{P} \rightarrow V = (\frac{nR}{P})T$$

چون $(\frac{nR}{P})$ مقداری ثابت است رابطه فوق معادله خط راستی است که امتداد آن از مبدأ مختصات می‌گذرد.

تمرین ۵-۳ ..... صفحه ۱۵۳

نشان دهید رابطه‌ی ۵-۳ که برای یک انبساط هم فشار به دست آمده، برای یک تراکم هم فشار نیز برقرار است.

اگر طی یک فرآیند تراکم در پیستون فشار گاز P، مساحت پیستون A و جابه‌جایی آن d در نظر گرفته شود با توجه به اینکه نیرویی که از طرف گاز به پیستون وارد می‌شود در خلاف جهت جابجایی است، می‌توان نوشت:

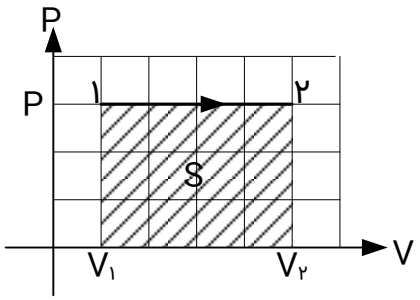


کار گاز روی پیستون $= F \times d \times \cos 180^\circ = -FD = -PAd$

در تراکم: $Ad = V_1 - V_2 = -\Delta V$

کار گاز روی پیستون $= -p(-\Delta V) = P\Delta V$ کار پیستون روی گاز: $W = -P\Delta V$

فعالیت ۵-۱ ..... صفحه ۱۵۳



با توجه به نمودار شکل روبه‌رو، نشان دهید در فرایند هم فشار، مساحت سطح زیر نمودار P-V برابر با قدر مطلق کار انجام شده است.

$$\left.\begin{array}{l} W = -P\Delta V = -P(V_۲ - V_۱) \\ S = (P - ۰)(V_۲ - V_۱) = P(V_۲ - V_۱) \end{array}\right\} \rightarrow S = |W|$$

تمرین ۵-۴ ..... صفحه ۱۵۷

مشابه آنچه که برای تراکم هم دما شرح دادیم، انبساط هم دمای گاز کامل را شرح دهید و علامت‌های Q و Wرا برای چنین فرآیندی تعیین و نمودارهای P-T و V-T را برای آن رسم کنید.

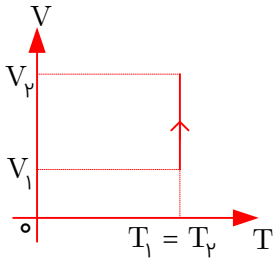
در انبساط هم‌دما، استوانه حاوی گاز را در تماس با یک منبع گرمایی با دمای ثابت و برابر با دمای اولیه گاز قرار می‌دهیم. فشار گاز داخل استوانه را با برداشتن تدریجی ساچمه‌های سربی روی پیستون، به آهستگی کاهش می‌دهیم، حجم گاز داخل استوانه به تدریج زیاد می‌شود. چون در این فرایند دما ثابت است تغییر انرژی درونی صفر است و می‌توانیم بنویسیم:

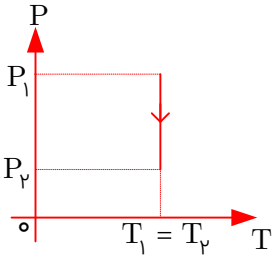
$$\Delta U = Q + W = ۰ \rightarrow Q + W = ۰ \rightarrow Q = -W$$

چون در انبساط، کار انجام شده بر روی گاز منفی است، Q مثبت می‌شود. یعنی در انبساط هم دما گاز گرما می‌گیرد.

$W \longrightarrow$ منفی ، $Q \longrightarrow$ مثبت

نمودارهای P-T و V-T این فرآیند به صورت زیر است:





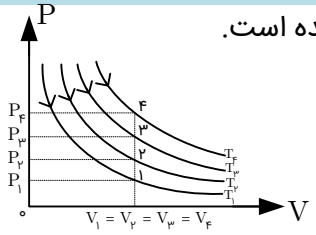
فعالیت ۵-۲ ..... صفحه ۱۵۷

انتهای یک سرنگ حاوی هوا را مسدود و آن را وارد حجم بزرگی از آب کنید. پس از مدتی، پیستون سرنگ را به آرامی بفشارید. هوای درون سرنگ چه فرآیندی را طی می‌کند؟

این فرآیند یک تراکم هم دماست که در آن آب نقش یک منبع گرمایی را دارد.

تمرین ۵-۵ ..... صفحه ۱۵۸

در شکل روبه‌رو، نمودار P-V مربوط به انبساط هم دمای یک گاز آرمانی در دماهای مختلف رسم شده است.



الف) نشان دهید: $T_۴ > T_۳ > T_۲ > T_۱$. (راهنمایی: خطی عمود بر محور V یا عمود بر محور P رسم کنید، به گونه‌ای که هر چهار نمودار را قطع کند و سپس قانون گازهای آرمانی را برای نقطه‌های برخورد با منحنی‌ها به کار ببندید.)

خط عمود بر محور V رسم می‌کنیم به طوری که هر چهار نمودار را قطع کند. نقاط برخورد را نامگذاری می‌کنیم.

با توجه به قانون گازها می‌توان نوشت:

$$P_۱V_۱ = nRT_۱ \ , \ P_۲V_۲ = nRT_۲ \ , \ P_۳V_۳ = nRT_۳ \ , \ P_۴V_۴ = nRT_۴$$

با توجه به نمودار رابطه فشار در نقاط ۱ و ۲ و ۳ و۴ برابر است با:

$$P_۱ < P_۲ < P_۳ < P_۴$$

چون حجم گاز در تمام این نقاط با هم برابر است می‌توان نوشت:

$$P_۱V_۱ < P_۲V_۲ < P_۳V_۳ < P_۴V_۴$$

با استفاده از قانون گازها داریم:

$$nRT_۱ < nRT_۲ < nRT_۳ < nRT_۴$$

با حذف مقدار nR از نامساوی می‌توان نوشت:

$$T_۱ < T_۲ < T_۳ < T_۴$$

ب) در یک تغییر حجم معین، اندازه‌ی کار انجام شده در کدام فرآیند بیشتر است؟

چون قدر مطلق کار انجام شده برابر با سطح زیر نمودار (P-V) است، هر چه نمودار بالاتر باشد مساحت زیر آن و در نتیجه کار انجام شده در آن فرآیند بیشتر است. پس : $|W_۱| < |W_۲| < |W_۳| < |W_۴|$

فعالیت ۵-۳ ..... صفحه ۱۵۹

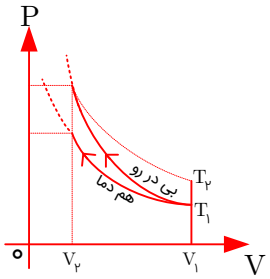
وقتی درِ یک نوشابه‌ی گازدار خیلی سرد را سریع باز می‌کنیم، مشاهده می‌شود که هاله‌ی رقیقی در اطراف دهانه‌ی نوشابه ایجاد می‌شود. این پدیده را توجیه کنید.

در قسمت بالای بطری نوشابه‌ای که در آن باز نشده مخلوطی از گاز کربن‌دی‌اکسید و بخار آب وجود دارد. وقتی که در نوشابه را سریع باز می‌کنیم به علت سرعت بالای انجام این کار، گاز داخل بطری نوشابه فرصت تبادل گرما با محیط را ندارد و فرآیندی بی‌دررو را طی می‌کند. در این فرآیند فشار گاز کاهش و حجم آن افزایش می‌یابد. در نتیجه انرژی درونی گاز و دمای آن کاهش می‌یابد و این کاهش دما باعث می‌شود تا بخار آب موجود در بطری نوشابه به مایع تبدیل و به صورت ابری رقیق دیده شود.

تمرین ۵-۶ ..... صفحه ۱۶۰

مثال ۵-۱۱ را با فرض آنکه گاز به جای انبساط، تراکم یابد پاسخ دهید.

در شکل، دو منحنی هم دما برای دماهای $T_۱$ و $T_۲$ رسم شده‌اند. در تراکم هم‌دما، دما تغییر نمی‌کند. بنابراین گاز در مسیر ($T_۱$) باقی می‌ماند ولی در تراکم بی‌دررو، چون دمای گاز افزایش می‌یابد گاز از مسیر ($T_۱$) خارج و به دمایی بالاتر در مسیر ($T_۲$) می‌رود. در اینجا چون سطح زیر نمودار فرآیند بی‌دررو بیشتر است |W| برای این فرآیند مقدار بیشتری دارد.



پرسش ۵-۲ ..... صفحه ۱۶۱

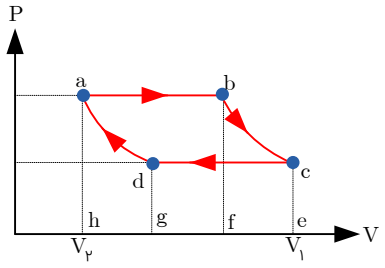
سرنگ آتش‌زنه استوانه‌ی کوچکی است مجهز به پیستونی که کاملاً بر سطح داخلی استوانه منطبق است. در فضای محبوس داخل سرنگ فقط هوا و تکه کاغذ کوچکی قرار دارد. با راندن سریع پیستون به داخل و تراکم بی دررو هوای محبوس، تکه کاغذ مشتعل می‌شود. معمولاً از کاغذ نیتروسلولز در این آزمایش استفاده می‌شود که نقطه‌ی اشتعال بسیار پایینی دارد. چرا کاغذ در این فرآیند آتش می‌گیرد؟

می‌دانیم در تراکم بی‌دررو دمای گاز افزایش می‌یابد بنابراین اگر تراکم سرنگ سریع و مقدار آن زیاد باشد، دمای هوای داخل سرنگ به حدی افزایش می‌یابد که باعث اشتعال کاغذ درون سرنگ می‌شود.

فعالیت ۵-۴ ..... صفحه ۱۶۲

شکل روبه‌رو یک چرخه‌ی ترمودینامیکی فرضی را نشان می‌دهد.

الف) کار انجام شده روی دستگاه در هر فرآیند را بر حسب سطح زیر نمودار ان بیان کنید.



$$|W_{ab}| = S_{abfh} \xrightarrow{\text{انبساط}} W_{ab} = -S_{avfh}$$
$$|W_{cd}| = S_{cdge} \xrightarrow{\text{تراکم}} W_{cd} = +S_{cdge}$$
$$|W_{bc}| = S_{bcef} \xrightarrow{\text{انبساط}} W_{bc} = -S_{bcef}$$
$$|W_{da}| = S_{dahg} \xrightarrow{\text{تراکم}} W_{da} = +S_{dahg}$$

ب) نشان دهید مقدار کار کل انجام شده روی دستگاه برابر با مساحت داخل چرخه است.

$$W_t = W_{ab} + W_{bc} + W_{cd} + W_{da} = -S_{abfh} - S_{bcef} + S_{cdge} + S_{dahg} = -S_{abceh} + S_{adceh} = -S_{abcd}$$

$$\Rightarrow W_t = -S_{abcd} = -S \text{ چرخه}$$

پ) کار کل انجام شده روی دستگاه مثبت است یا منفی؟ توضیح دهید.

چون مساحت زیر نمودار در بخش انبساط (abc) بزرگ‌تر از مساحت زیر نمودار در بخش تراکم cda است. بنابراین کار انجام شده بر روی دستگاه در این چرخه منفی است:

$$W_t = -S_{\text{چرخه}}$$

فعالیت ۵-۵ ..... صفحه ۱۶۴

در مورد ماشین‌های بخاری که امروز در نیروگاه‌های گرمایی (حرارتی) استفاده می‌شود و نحوه‌ی کارکرد آنها تحقیق کنید و نتیجه تحقیق را در کلاس ارائه نمایید.

دانش‌آموزان عزیز می‌توانند با مراجعه به سایت www.mechanism.ir و جستجوی عبارت «توربین بخار چیست» و «توربین چیست» در قسمت جستجو در سایت، تصاویر و توضیحاتی را در مورد توربین‌های بخار نیروگاه‌های حرارتی به دست آورند.

فعالیت ۵-۶ ..... صفحه ۱۶۴

قایق پوت-پوت، نوعی قایق اسباب‌بازی است که اساس کار آن مانند ماشین‌های برون‌سوز است. در مورد این قایق‌های اسباب‌بازی تحقیق کرده و سعی کنید آن را بسازید.

در این قایق‌ها، مخزنی از آب قرار دارد که توسط یک ماده اشتعال‌زا مانند الکل یا شمع، گرم و به نقطه‌ی جوش می‌رسد. فشار بخارآبی که از انتهای قایق خارج می‌شود نیروی پیشران آن را تأمین می‌کند. (دانش‌آموزان عزیز می‌توانند با مراجعه به سایت www.aparat.com مراحل ساخت قایق بخار را آموزش ببینند.)

پرسش ۵-۳ ..... صفحه ۱۷۳

با فرض آنکه بتوان ضریب عملکرد یک یخچال را با ضریب عملکرد یخچال کارنو توصیف کرد، به گمان شما یک کولر گازی در آب و هوای معتدل بهتر کار می‌کند، یا در آب و هوای گرم؟

در آب و هوای معتدل بهتر کار می‌کند. زیرا هر قدر دمای منبع گرم T_H (دمای هوای بیرون) بیشتر باشد مقدار $T_H - T_L$ بیشتر است بنابراین با افزایش مقدار مخرج در رابطه $K = \frac{T_L}{T_H - T_L}$ ضریب عملکرد کاهش می‌یابد.

پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۵

۵-۴ انرژی درونی و قانون اول ترمودینامیک

۱) ظرفی شامل ۳/۰kg آب است. با هم زدن آب داخل ظرف، ۴۰kJ کار روی آن انجام می‌دهیم و در این مدت ۳۱kJ گرما از ظرف به بیرون منتقل می‌شود. انرژی درونی آب چقدر تغییر می‌کند؟

طبق قانون اول ترمودینامیک داریم:

$$W = ۴۰kJ \ , \ Q = -۳۱kJ \ , \ \Delta U = ?$$
$$\Delta U = Q + W = -۳۱ + ۴۰ = ۹kJ \rightarrow \Delta U = ۹kJ$$

۵-۵ برخی فرآیندهای ترمودینامیکی

۲) الف) در فرآیند هم حجم چگونه می‌توان فشار گاز را افزایش یا کاهش داد؟

در فرآیند هم حجم با افزایش دما، فشار گاز افزایش و با کاهش دما، فشار گاز کاهش می‌یابد.

ب) در فرآیند هم فشار چگونه می‌توان حجم گاز را افزایش یا کاهش داد؟

در فرآیند هم‌فشار اگر دما افزایش یابد، حجم گاز افزایش و اگر دما کاهش یابد، حجم گاز کاهش می‌یابد.

۳) ته یک سرنگ را که دسته‌ی آن می‌تواند آزادانه حرکت کند مسدود می‌کنیم، آن را درون مقداری آب می‌اندازیم و آب را به تدریج گرم می‌کنیم. هوای درون سرنگ چه فرآیندی را طی می‌کند؟

فرآیند انبساط هم‌فشار

۴) حجم ۰/۵۰ مول از یک گاز آرمانی تک اتمی ۸/۳ لیتر و فشار آن ۱/۵ اتمسفر است.

الف) مقداری گرما به گاز می‌دهیم تا فشار آن از طریق یک فرآیند هم حجم دو برابر شود. کار و گرمای مبادله شده را برای این فرآیند محاسبه کنید.

$$n = ۰/۵mol, \ \text{گاز تک اتمی} \ , V_۱ = ۸/۳L = ۸/۳ \times ۱۰^{-۳}m^۳ \ , \ P_۱ = ۱/۵atm = ۱/۵ \times ۱۰^۵Pa$$
$$\text{فرایند هم حجم} \ , P_۲ = ۲P_۱ = ۲ \times ۱/۵ \times ۱۰^۵ = ۳ \times ۱۰^۵Pa \ , W = ? \ , \ Q = ?$$

کارهای انجام شده در فرایند هم حجم صفر است بنابراین: $W = ۰$

گرمای مبادله شده در فرایند هم حجم برابر است با:

$$Q = nC_V\Delta T = n \times \frac{۳}{۲}R(T_۲ - T_۱) = \frac{۳}{۲}(nRT_۲ - nRT_۱) = \frac{۳}{۲}(P_۲V_۲ - P_۱V_۱) \rightarrow Q = \frac{۳}{۲}V\Delta P$$
$$\rightarrow Q = \frac{۳}{۲} \times ۸/۳ \times ۱۰^{-۳} \times (۳ - ۱/۵) \times ۱۰^۵ = ۱۸/۶۷۵ \times ۱۰^۲J \rightarrow Q = ۱/۹ \times ۱۰^۳J$$

ب) اگر به جای گرما دادن به گاز مقداری گرما از گاز بگیریم تا حجم آن در طی یک فرآیند هم فشار نصف شود، کار و گرمای مبادله شده در این فرآیند چقدر می‌شود؟

$$\text{فرایند هم فشار} \ V_۱ = ۸/۳ \times ۱۰^{-۳}m^۳ \ , \ V_۲ = \frac{۱}{۲}V_۱ = \frac{۱}{۲} \times ۸/۳ \times ۱۰^{-۳} = ۴/۱۵ \times ۱۰^{-۳}m \ , \ W = ? \ , Q = ?$$

کار انجام شده در فرآیند هم‌فشار برابر است با:

$$W = -P\Delta V = -۱/۵ \times ۱۰^۵ \times (۴/۱۵ - ۸/۳) \times ۱۰^{-۳} = +۶/۲۲۵ \times ۱۰^۲J \rightarrow W = ۶/۲ \times ۱۰^۲J$$

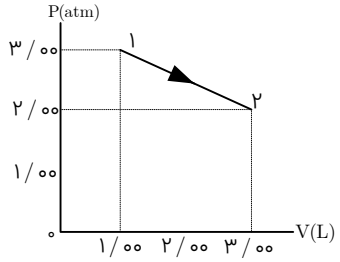
گرمای مبادله شده در فرایند هم فشار نیز برابر است با:

$$Q = nC_p\Delta T = n \times \frac{۵}{۲} \times R(T_۲ - T_۱) = \frac{۵}{۲}(nRT_۲ - nRT_۱) = \frac{۵}{۲}(P_۲V_۲ - P_۱V_۱) \rightarrow Q = \frac{۵}{۲}P\Delta V$$
$$Q = \frac{۵}{۲} \times ۱/۵ \times ۱۰^۵ \times (۴/۱۵ - ۸/۳) \times ۱۰^{-۳} = ۱۵/۵۶۲۵ \times ۱۰^۲J \rightarrow Q = ۱/۶ \times ۱۰^۳ \times ۱۰^۲J$$

نکته: برای گازهای تک‌اتمی گرمای مبادله شده در فرایند هم حجم را می‌توان از رابطه $Q_{\text{هم حجم}} = \frac{۳}{۲}V\Delta P$ و گرمای مبادله شده در فرایند هم فشار را می‌توان از رابطه $Q_{\text{هم فشار}} = \frac{۵}{۲}P\Delta V$ به دست آورد.

نکته: برای گازهای دو اتمی نیز گرمای مبادله شده در فرایند هم حجم از رابطه $Q_{\text{هم حجم}} = \frac{۵}{۲}V\Delta P$ و هم فشار از رابطه $Q_{\text{هم فشار}} = \frac{۷}{۲}P\Delta V$ به دست می‌آید.

۵) نمودار P-Vی گازی رقیق در شکل روبه‌رو نشان داده شده است. در این فرآیند با فرض آنکه انرژی درونی در نقطه‌ی (۱) برابر ۴۵۶J و در نقطه‌ی (۲) برابر ۹۱۲Jباشد، چقدر گرما مبادله شده است؟ آیا گاز گرما گرفته است یا از دست داده است؟



با توجه به انرژی درونی اولیه و نهایی، تغییر انرژی درونی فرایند برابر است با:

$U_۱ = ۴۵۶J \;,\; U_۲ = ۹۱۲J \rightarrow \Delta U = U_۲ - U_۱ = ۹۱۲ - ۴۵۶ = ۴۵۶J \rightarrow \Delta U = ۴۵۶$

برای محاسبه گرمای مبادله شده ابتدا باید کار انجام شده در این فرایند را محاسبه کنیم که برابر است با مساحت سطح زیر نمودار P-V:

$$|W|_{\text{چرخه}} = S_{\text{ذوزنقه}} = \frac{\text{ارتفاع} \times \text{مجموع دو قاعده}}{۲} = \frac{(۲+۳)\times ۱۰^{۵} \times (۳-۱)\times ۱۰^{-۳}}{۲} = \frac{۵ \times ۱۰^{۵} \times ۲ \times ۱۰^{-۳}}{۲}$$

$$= ۵۰۰ \times ۱۰^{۲} = ۵۰۰J \rightarrow |W| = ۵۰۰J$$

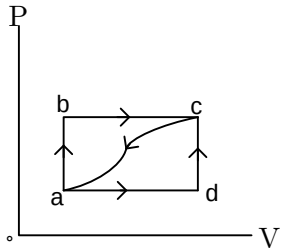
چون در این فرایند گاز منبسط شده علامت کار منفی است: $W = -۵۰۰J$

حال با دانستن تغییر انرژی درونی و کار انجام شده و با استفاده از قانون اول ترمودینامیک، گرمای مبادله شده برابر است با:

$Q = \Delta U - W = ۴۵۶ - (-۵۰۰) = ۴۵۶ + ۵۰۰ = ۹۵۶J \rightarrow Q = ۹۵۶J$

علامت Q مثبت است بنابراین گاز در این فرایند گرما گرفته است.

۶) گازی مطابق شکل، از طریق مسیر abc از حالت a به c می‌رود. گاز در این مسیر، ۹۰ ژول گرما می‌گیرد و ۷۰ ژول کار انجام می‌دهد.



الف) تغییر انرژی درونی گاز در مسیر abc چقدر است؟

$Q = +۹۰J \;,\; W = -۷۰J \rightarrow \Delta U = Q + W = ۹۰ - ۷۰ = ۲۰J \rightarrow \Delta U = ۲۰J$

ب) اگر برای رسیدن به حالت c فرایند از مسیر adc انجام شود، کار انجام شده توسط گاز در مقایسه با مسیر abc بیشتر است یا کمتر؟ گرمای داده شده به گاز بیشتر است یا کمتر؟

چون مساحت سطح زیر نمودار در مسیر adcکمتر است، قدر مطلق کار نیز در این مسیر کمتر است. نقاط ابتدا و انتهای هر دو مسیر مشترک است پس تغییر انرژی درونی هر دو مسیر یکسان است؛ از طرفی چون گاز در مسیر adc کار کمتری را انجام داده است، گرمای کمتری نیز دریافت کرده است.

پ) اگر گاز را از مسیر خمیده از حالت c به حالت a برگردانیم، چقدر باید از آن انرژی بگیریم؟

انرژی که از گار در مسیر c به a گرفته می‌شود برابر با تغییر انرژی درونی گاز در این مسیر است، بنابراین:

$$\Delta U_{a\to c} = ۲۰J \to \Delta U_{c\to a} = -۲۰J$$

۷) ۱۲/۰g گاز اکسیژن ($O_۲$) در فشار متعارف جو ($۱/۰۱\times۱۰^۵Pa$) از $۲۵/۰°C$ تا $۱۲۵°C$ گرم می‌شود. نسبت تغییر انرژی درونی گاز به گرمای داده شده به آن را به دست آورید.

روش اول:

$$\left.\begin{array}{l}\Delta U = nC_V\Delta T \text{ تغییر انرژی درونی در هر فرایند:}\\ Q = nC_P\Delta T \text{ گرمای مبادله شده در فرایند هم فشار:}\end{array}\right\} \to \frac{\Delta U}{Q} = \frac{nC_V\Delta T}{nC_P\Delta T} = \frac{C_V}{C_p} \Rightarrow \frac{\Delta U}{Q} = \frac{۲۱/۲}{۲۹/۴} = ۰/۷۲۱$$

روش دوم: برای اکسیژن داریم:

$$C_V = ۲۱/۲\frac{J}{mol.K}\ ,\ C_p = ۲۹/۴\frac{J}{mol.K}\ ,\ M_{O_۲} = ۳۲\frac{g}{mol}\ ,\ \Delta T = ۱۲۵-۲۵ = ۱۰۰K\ ,\ m = ۱۲g$$

$$n = \frac{m}{M} = \frac{۱۲}{۳۲} = \frac{۳}{۸}mol \to n = \frac{۳}{۸}mol_{n_۲}$$

$$\left.\begin{array}{l}\Delta U = nC_V\Delta T = \frac{۳}{۸}\times۲۱/۲\times۱۰۰ = \frac{۶۳۶۰}{۸}J\\ \Delta Q = nC_P\Delta T = \frac{۳}{۸}\times۲۹/۴\times۱۰۰ = \frac{۸۸۲۰}{۸}J\end{array}\right\} \to \frac{\Delta U}{Q} = \frac{\frac{۶۳۶۰}{۸}}{\frac{۸۸۲۰}{۸}} = \frac{۶۳۶۰}{۸۸۲۰} \simeq ۰/۷ \to \frac{\Delta U}{Q} = ۰/۷۲۱$$

۸) یک مکعب آلومینیمی توپُر به ضلع $۲۰/۰cm$ از $۵۰/۰°C$ تا $۱۵۰/۰°C$ در فشار متعارف جو ($۱/۰۱\times۱۰^۵Pa$) گرم می‌شود. کار انجام شده توسط مکعب و تغییر انرژی درونی آن را محاسبه کنید.

$$V_۱ = ۲۰\times۲۰\times۲۰ = ۸۰۰۰cm^۳\ ,\ \Delta T = ۱۵۰-۵۰ = ۱۰۰K\ ,\ P = ۱/۰۱\times۱۰^۵Pa \text{ فشار ثابت است،}$$

$$\alpha_{AL} = ۲۳\times۱۰^{-۶}\frac{۱}{K}\ ,\ c_{AL} = ۹۰۰\frac{J}{mol.K}\ ,\ \rho_{AL} = ۲/۷\times۱۰^۳\frac{kg}{m^۳}$$

ابتدا تغییر حجم جسم را از رابطه انبساط حجمی جامدها محاسبه می‌کنیم:

$$\Delta V = V_۱(۳\alpha)\Delta T = ۸۰۰۰\times۳\times۲۳\times۱۰^{-۶}\times۱۰۰ = ۵۵/۲cm^۳ \to \Delta V = ۵۵/۲\times۱۰^{-۶}m^۳$$

کار انجام شده در فرایند هم فشار برابر است با:

$$W = -P\Delta V = -۱/۰۱\times۱۰^۵\times۵۵/۲\times۱۰^{-۶} = -۵/۵۷J \to W = -۵/۵۷J \to \text{کار انجام شده توسط مکعب}$$

برای محاسبه تغییر انرژی درونی مکعب با استفاده از قانون اول ترمودینامیک ($\Delta U = Q + W$) به گرمای داده شده به مکعب نیاز داریم:

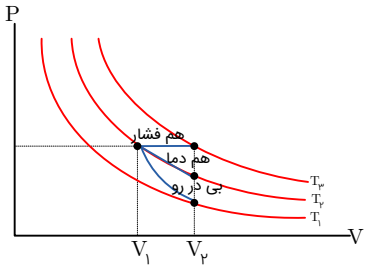
$$\begin{cases}Q = mc_{Al}\Delta\theta = ۲۱/۶\times۹۰۰\times۱۰۰ = ۱۹۴/۴\times۱۰^۴J \to Q = ۱/۹۴\times۱۰^۶J\\ m = \rho V = ۲/۷\times۱۰^۳\times۸۰۰۰\times۱۰^{-۶} = ۲۱/۶kg\end{cases}$$

کار انجام شده توسط مکعب نسبت به گرمای داده شده به آن بسیار ناچیز است؛ بنابراین با صرف‌نظر کردن از کار انجام شده توسط مکعب داریم:

$$\Delta U = Q + W \overset{W=۰}{\to} \Delta U = Q = ۱/۹۴\times۱۰^۶J$$

نتیجه: در جامدها تقریباً همه‌ی گرمای داده شده به جسم صرف تغییر انرژی درونی آن می‌شود.

۹) مطابق شکل روبه‌رو، حجم گازی آرمانی طی سه فرآیند هم‌فشار، هم دما و بی دررو از V_1 به حجم بزرگ‌تر V_2 می‌رسد.



الف) اندازه‌ی کار انجام شده توسط گاز را در این سه فرآیند مقایسه کنید.

با توجه به مساحت سطح زیر نمودار در سه فرایند داریم:

$$|W_{\text{هم فشار}}| > |W_{\text{هم دما}}| > |W_{\text{بی دررو}}|$$

ب) دمای نهایی را در این فرآیندها مقایسه کنید.

مطابق نمودار $T_3 > T_2 > T_1$ بنابراین:

$$T_{f\,\text{هم فشار}} > T_{f\,\text{هم دما}} > T_{\text{بی دررو}}$$

پ) گرمای داده شده به گاز را در این فرآیندها مقایسه کنید.

در فرایند بی در رو= $Q_{\text{بی در رو}}$

در فرایند هم دما داریم:

$$\left.\begin{array}{l}\Delta U = 0 \Rightarrow Q = -W \\ \text{فرایند انبساط} \Rightarrow W < 0\end{array}\right\} \Rightarrow Q_{\text{هم دما}} > 0$$

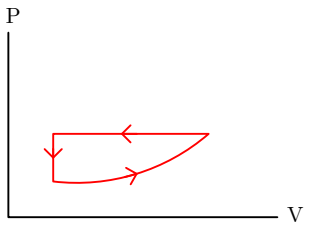
در فرایند هم فشار داریم:

$$Q_{\text{هم فشار}} = nC_P\Delta T = \frac{C_P}{R}nR\Delta T = \frac{C_P}{R}P\Delta V = \frac{C_P}{R}|W_{\text{هم فشار}}|$$

$$\left.\begin{array}{l}Q_{\text{هم فشار}} = \frac{C_P}{R}|W_{\text{هم فشار}}| \\ Q_{\text{هم دما}} = |W_{\text{هم دما}}|\end{array}\right\} \xrightarrow[\frac{C_P}{R} > 1]{|W_{\text{هم فشار}}| > |W_{\text{هم دما}}|} Q_{\text{هم فشار}} > Q_{\text{هم دما}} > Q_{\text{بی در رو}} = 0$$

۶-۵ چرخه‌ی ترمودینامیکی

۱۰) برای چرخه‌ی گازی که نمودار P-V‌ی آن در اینجا نشان داده شده است، ΔU گاز، W و Q مثبت است یا منفی و یا برابر صفر است؟

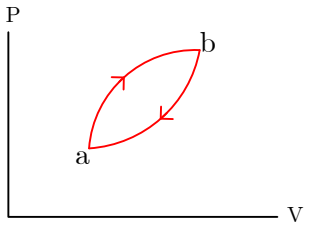


تغییر انرژی درونی در یک چرخه صفر است بنابراین $\Delta U = 0$

چرخه پادساعتگرد است بنابراین کار انجام شده در چرخه مثبت است (W مثبت)

در چرخه: $\Delta U = 0 \rightarrow Q + W = 0 \rightarrow Q = -W \rightarrow Q < 0$

۱۱) شکل روبه‌رو چرخه‌ای را نشان می‌دهد که یک گاز طی کرده است.



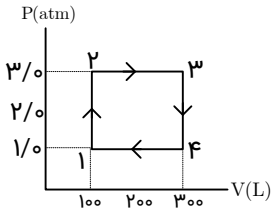
الف) تعیین کنید که گاز در این چرخه گرما گرفته یا از دست داده است؟

$W<0 \xrightarrow{Q=-W} Q>0 \rightarrow$ گاز گرما گرفته است. $\rightarrow$ چرخه ساعتگرد

ب) اگر مقدار گرمای مبادله شده در این چرخه ۴۰۰J باشد، کار انجام شده روی گاز چقدر است؟

$Q=-W \rightarrow W=-Q=-۴۰۰ \rightarrow W=-۴۰۰J$ ،درچرخه، $Q=۴۰۰J$

۱۲) یک گاز کامل دو اتمی چرخه‌ی نشان داده شده در شکل زیر را می‌پیماید. دمای گاز در حالت (۱) برابر ۲۰۰K است.



الف) دما در سه‌نقطه‌ی دیگر چقدر است؟

$$\frac{P_۱V_۱}{T_۱}=\frac{P_۲V_۲}{T_۲} \xrightarrow{\text{فرایند ۱ به ۲ هم حجم}} \frac{P_۱}{T_۱}=\frac{P_۲}{T_۲} \rightarrow \frac{۱}{۲۰۰}=\frac{۳}{T_۲} \rightarrow T_۲=۶۰۰K$$

$$\frac{P_۲V_۲}{T_۲}=\frac{P_۳V_۳}{T_۳} \xrightarrow{\text{فرایند ۲ به ۳ هم فشار}} \frac{V_۲}{T_۲}=\frac{V_۳}{T_۳} \rightarrow \frac{۱۰۰}{۶۰۰}=\frac{۳۰۰}{T_۳} \rightarrow T_۳=۱۸۰۰K$$

$$\frac{P_۳V_۳}{T_۳}=\frac{P_۴V_۴}{T_۴} \xrightarrow{\text{فرایند ۳ به ۴ هم حجم}} \frac{P_۳}{T_۴}=\frac{P_۴}{T_۴} \rightarrow \frac{۳}{۱۸۰۰}=\frac{۱}{T_۴} \rightarrow T_۴=۶۰۰K$$

ب) کار انجام شده در چرخه چقدر است؟

$$|W|=S=(۳-۱)\times۱۰^۵\times(۳۰۰-۱۰۰)\times۱۰^{-۳}=۲\times۱۰^۵\times۲۰۰\times۱۰^{-۳}=۴۰۰\times۱۰^۲J=۴\times۱۰^۴J$$

چرخه ساعتگرد $\rightarrow W=-۴\times۱۰^۴J$

پ) در چه فرآیندهایی گار گرما گرفته است؟

با توجه به رابطه‌های $Q=nC_V\Delta T$ هم‌حجم و $Q=nC_P\Delta T$ هم فشار، در فرایندهای هم‌حجم و هم‌فشار گرمای مبادله شده با افزایش دما مثبت و با کاهش دما منفی است بنابراین:

فرایند ۱ به ۲ $\xrightarrow{\text{افزایش دما}}$ $Q>0 \rightarrow$ گاز گرما گرفته است

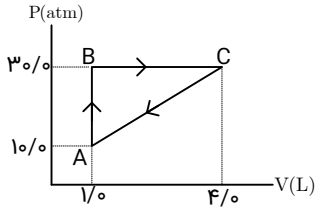
فرایند ۲ به ۳ $\xrightarrow{\text{افزایش دما}}$ $Q>0 \rightarrow$ گاز گرما گرفته است

ت) در چه فرآیندهایی گاز گرما از دست داده است؟

فرایند ۳ به ۴ $\xrightarrow{\text{کاهش دما}}$ $Q<0 \rightarrow$ گاز گرما از دست داده است.

فرایند ۴ به ۱ $\xrightarrow{\text{کاهش دما}}$ $Q<0 \rightarrow$ گاز گرما از دست داده است.

۱۳) گاز داخل یک استوانه، چرخه‌ای مطابق شکل روبه‌رو را می‌پیماید، گرمای بادله شده در این چرخه چند ژول است؟



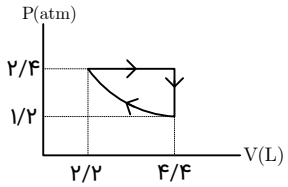
با توجه به اینکه در یک چرخه Q=-W برای محاسبه گرمای مبادله شده در یک چرخه باید کار انجام شده در چرخه را محاسبه کنیم:

$$|W_{\text{چرخه}}| = S_{\text{مثلث}} = \frac{(۳۰-۱۰)\times ۱۰^{۵}\times(۴-۱)\times ۱۰^{-۳}}{۲} = \frac{۲۰\times ۱۰^{۵}\times ۳\times ۱۰^{-۳}}{۲} = ۳۰۰۰J$$

$$\xrightarrow{\text{چرخه ساعتگرد}} W = -۳۰۰۰J$$

$$Q = -W = -(-۳۰۰۰) = +۳۰۰۰J \rightarrow Q = ۳۰۰۰J$$

۱۴) دستگاهی متشکل از $۰/۳۲mol$ گاز کامل تک اتمی حجمی برابر $۲/۲L$ را در فشار $۴atm$ اشغال کرده است. این دستگاه چرخه‌ای مطابق شکل را می‌پیماید که در آن فرآیند CA فرآیندی هم دما است.



الف) دما در نقاط A ،B و C چقدر است.

$$n = ۰/۳۲mol\ ,\ R \simeq ۸\frac{J}{mol.K}$$

در نقطه A : $P_AV_A = nRT_A \rightarrow T_A = \frac{P_AV_A}{nR} = \frac{۲/۴\times ۱۰^{۵}\times ۲/۲\times ۱۰^{-۳}}{۰/۳۲\times ۸} = ۲۰۶/۲۵K$

فرایند A به B هم فشار $\frac{P_AV_A}{T_A} = \frac{P_BV_B}{T_B} \rightarrow \frac{V_A}{T_A} = \frac{V_B}{T_B} \rightarrow \frac{۲/۲}{۲۰۶/۲۵} = \frac{۴/۴}{T_B}$

$$\rightarrow T_B = \frac{۴/۴\times ۲۰۶/۲۵}{۲/۲} = ۴۱۲/۵K \rightarrow T_B = ۴۱۲/۵K$$

فرایند B به C هم حجم $\frac{P_BV_B}{T_B} = \frac{P_CV_C}{T_C} \rightarrow \frac{P_B}{T_B} = \frac{P_C}{T_C} \rightarrow \frac{۲/۴}{۴۱۲/۵} = \frac{۱/۲}{T_C}$

$$\rightarrow T_C = \frac{۴۱۲/۵\times ۱/۲}{۲/۴} = ۲۰۶/۲۵K \rightarrow T_C = ۲۰۶/۲۵K$$

ب) ΔU را برای هر یک از سه فرآیند چرخه به دست آورید.

تغییر انرژی درونی در همه فرایندها از رابطه $\Delta U = nC_V\Delta T$ به دست می‌آید:

$$n = ۰/۳۲mol\ ,\ C_V = \frac{۳}{۲}R$$

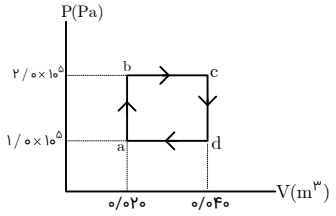
$$\Delta U_{AB} = nC_V(T_B - T_A) = ۰/۳۲\times\frac{۳}{۲}\times ۸\times(۴۱۲/۵ - ۲۰۶/۲۵) = ۷۹۲J \rightarrow \Delta U_{AB} = ۷۹۲J$$

$$\Delta U_{BC} = nC_V(T_C - T_B) = ۰/۳۲\times\frac{۳}{۲}\times ۸\times(۲۰۶/۲۵ - ۴۱۲/۵) = -۷۹۲J \rightarrow \Delta U_{BC} = -۷۹۲J$$

فرایند CA هم دما است. $\rightarrow \Delta U_{CA} = ۰$

۵-۷ ماشین‌های گرمایی

۱۵) یک مول از یک گاز کامل تک اتمی در یک ماشین گرمایی آرمانی، چرخه‌ای را مطابق شکل روبه‌رو می‌پیماید. مطلوب است:



الف) کار انجام شده توسط ماشین گرمایی در پیمودن یک چرخه.

کار انجام شده در یک چرخه برابر است با مساحت داخل چرخه بنابراین:

$$|W_{\text{چرخه}}| = S = (۲-۱)\times ۱۰^۵ \times (۰/۰۴ - ۰/۰۲) = ۲۰۰۰ \xrightarrow[\text{چرخه ساعتگرد}]{} W = -۲۰۰۰J$$

ب) گرمای مبادله شده در فرآیند abc.

$$Q_{abc} = Q_{ab} + Q_{bc}$$

فرایند ab هم‌حجم است. $\rightarrow Q_{ab} = \frac{۳}{۲}V\Delta P = \frac{۳}{۲}\times ۰/۰۲ \times (۲-۱)\times ۱۰^۵ = ۳۰۰۰J \rightarrow ۳/۰kJ$

فرایند bc هم‌فشار است. $\rightarrow Q_{bc} = \frac{۵}{۲}P\Delta V = \frac{۵}{۲}\times ۲\times ۱۰^۵ \times (۰/۰۴ - ۰/۰۲) = ۱۰۰۰۰J \rightarrow Q_{bc} = ۱۰kJ$

$$\rightarrow Q_{abc} = ۳/۰ + ۱۰ = ۱۳kJ \rightarrow Q_{abc} = ۱۳kJ$$

پ) گرمای مبادله شده در فرایند cda

$$Q_{cda} = Q_{cd} + Q_{da}$$

فرایند cd هم‌حجم است. $\rightarrow Q_{cd} = \frac{۳}{۲}\times V\Delta P = \frac{۳}{۲}\times ۰/۰۴ \times (۱-۲)\times ۱۰^۵ = -۶۰۰۰J \rightarrow Q_{cd} = -۶/۰kJ$

فرایند bc هم‌فشار است. $Q_{da} = \frac{۵}{۲}P\Delta V = \frac{۵}{۲}\times ۱\times ۱۰^۵ \times (۰/۰۲ - ۰/۰۴) = -۵۰۰۰J \rightarrow Q_{da} = -۵/۰kJ$

$$\rightarrow Q_{cda} = -۶/۰ - ۵/۰ = -۱۱kJ \rightarrow Q_{cda} = -۱۱kJ$$

ت) تغییر انرژی درونی در فرآیند abc

$$\Delta U_{abc} = \Delta U_{ab} + \Delta U_{bc} = (Q_{ab} + W_{ab}) + (Q_{bc} + W_{bc})$$

فرایند ab هم‌حجم است. $\rightarrow W_{ab} = ۰$

فرایند bc هم‌فشار است. $\rightarrow W_{bc} = -P\Delta V = -۲\times ۱۰^۵ \times (۰/۰۴ - ۰/۰۲) = -۴/۰kJ \rightarrow W_{bc} = -۴kJ$

$$\Delta U_{abc} = (۳/۰ + ۰) + (۱۰ - ۴/۰) = ۹/۰kJ \rightarrow \Delta U_{abc} = ۹/۰kJ$$

۱۶) یک ماشین گرمایی آرمانی در هر چرخه $۱۰۰/۰J$ گرما از منبع دما بالا می‌گیرد و $۶۰/۰J$ گرما به منبع دما پایین می‌دهد.

الف) بازده این ماشین چقدر است؟

$$Q_H = ۱۰۰J \ , \ Q_L = -۶۰J \ , \ t = ۰/۵s \ , \ \eta = ? \ , \ P = ?$$

$$\eta = ۱ - \frac{|Q_L|}{Q_H} = ۱ - \frac{۶۰}{۱۰۰} = ۱ - ۰/۶ = ۰/۴ \rightarrow \eta = ۴۰\%$$

ب) اگر هر چرخه $۰/۵۰۰s$ طول بکشد، توان خروجی این ماشین چقدر است؟

$$|W| = Q_H - |Q_L| = ۱۰۰ - ۶۰ = ۴۰J \ , \ P = \frac{|W|}{t} = \frac{۴۰}{۰/۵} = ۸۰W \rightarrow P = ۸۰W$$

۱۷) بازده‌ی یک ماشین آرمانی ۲۵/۰ درصد است و در هر چرخه $۸/۲\times۱۰^{۳}J$ کار انجام می‌دهد.

الف) Q_H و $|Q_L|$ را در هر چرخه ماشین به دست آورید.

$$\eta=\frac{۲۵}{۱۰۰}=۰/۲۵\ ,\ |W|=۸/۲\times۱۰^{۳}J\ ,\ Q_H=?\ ,\ Q_L=?$$

$$\eta=\frac{|W|}{Q_H}\rightarrow Q_H=\frac{|W|}{\eta}=\frac{۸/۲\times۱۰^{۳}}{۰/۲۵}=۳۲/۸\times۱۰^{۳}J\rightarrow Q_H=۳۲/۸\times۱۰^{۳}$$

$$Q_H=|W|+|Q_L|\rightarrow|Q_L|=Q_H-|W|=۳۲/۸\times۱۰^{۳}-۸/۲\times۱۰^{۳}=۲۴/۶\times۱۰^{۳}\rightarrow|Q_L|=۲۴/۶\times۱۰^{۳}J$$

ب) اگر با تنظیم موتور، بازده‌ی ماشین به ۳۰/۰ درصد افزایش یابد، Q_H و $|Q_L|$ به ازای همان مقدار کار چقدر می‌شود؟

$$\eta=\frac{۳۰}{۱۰۰}=۰/۳\ ,\ |W|=۸/۲\times۱۰^{۳}J\ ,\ Q_H=?\ ,\ Q_L=?$$

$$\eta=\frac{|W|}{Q_H}\rightarrow Q_H=\frac{|W|}{\eta}=\frac{۸/۲\times۱۰^{۳}}{۰/۳}\simeq۲۷/۳\times۱۰^{۳}J\rightarrow Q_H\simeq۲۷/۳\times۱۰^{۳}J$$

$$|Q_L|=Q_H-|W|=۲۷/۳\times۱۰^{۳}-۸/۲\times۱۰^{۳}=۱۹/۱\times۱۰^{۳}J\rightarrow|Q_L|=۱۹/۱\times۱۰^{۳}J$$

۱۸) یک ماشین‌بخار در هر دقیقه $۱/۵\times۱۰^{۵}MJ$ گرما از دیگ بخار دریافت می‌کند و $۹/۰\times۱۰^{۴}MJ$ گرما در چگالنده از دست می‌دهد. با فرض آرمانی بودن این ماشین:

الف) کار انجام شده توسط ماشین در هر دقیقه چند مگاژول است؟

$$Q_H=۱/۵\times۱۰^{۵}MJ\ ,\ |Q_L|=۹\times۱۰^{۴}MJ=۰/۹\times۱۰^{۵}MJ\ ,\ |W|=?$$

$$|W|=Q_H-|Q_L|=۱/۵\times۱۰^{۵}-۰/۹\times۱۰^{۵}=۰/۶\times۱۰^{۵}MJ\rightarrow|W|=۶\times۱۰^{۴}MJ$$

ب) بازده این ماشین چقدر است؟

$$\eta=\frac{|W|}{Q_H}=\frac{۶\times۱۰^{۴}}{۱/۵\times۱۰^{۵}}=۰/۴=۴۰\%\rightarrow\eta=۴۰\%$$

۱۹) یک ماشین گرمایی درون‌سوز در هر چرخه ۸/۰۰kJ گرما از سوزاندن سوخت دریافت می‌کند و ۲/۰۰kJ کار تحویل می‌دهد. گرمای حاصل از سوخت $۵/۰\times۱۰^{۴}J/g$ است و ماشین در هر ثانیه ۴۰/۰ چرخه را می‌پیماید. کمیت‌های زیر را حساب کنید.

الف) بازده ماشین.

$$Q_H=۸kJ=۸\times۱۰^{۳}J\ ,\ |W|=۲kJ=۲\times۱۰^{۳}J,\ \text{گرمای سوختن}=۵\times۱۰^{۴}\frac{J}{g}\ \text{هر ثانیه ۴۰ چرخه،}$$

$$\eta=\frac{|W|}{Q_H}=\frac{۲\times۱۰^{۳}}{۸\times۱۰^{۳}}=۰/۲۵\rightarrow\eta=۲۵\%$$

ب) با فرض آرمانی بودن ماشین، گرمای تلف شده در هر چرخه.

$$|Q_L|=Q_H-|W|=۸\times۱۰^{۳}-۲\times۱۰^{۳}=۶\times۱۰^{۳}J\rightarrow|Q_L|=۶\times۱۰^{۳}J$$

پ) سوخت مصرف شده در هر چرخه.

$$\frac{۱}{x}=\frac{۵\times۱۰^{۴}}{۸\times۱۰^{۳}}\rightarrow x=\frac{۸\times۱۰^{۳}}{۵\times۱۰^{۴}}=۰/۱۶g\rightarrow x=۰/۱۶g$$

ت) توان ماشین.

$$|W|=۴۰\times۲\times۱۰^{۳}=۸\times۱۰^{۴}\ ,\ t=۱S\ ,\ P=\frac{|W|}{t}\rightarrow P=\frac{۸\times۱۰^{۴}}{۱}=۸\times۱۰^{۴}W\ \text{توان ماشین}$$

۵-۸ قانون دوم ترمودینامیک (به بیان ماشین گرمایی)

۲۰) مخترعی مدعی است ماشینی ساخته که بین نقطه‌های جوش (در فشار متعارف جو) و انجماد کار می‌کند و بازده‌ی آن ۷۰/۰ درصد است. آیا ادعای این مخترع می‌تواند درست باشد؟ توضیح دهید.

بازده کارنوی ماشین گرمایی که بین این دو دما کار می‌کند را بدست می‌آوریم:

$$T_H = ۱۰۰ + ۲۷۳ = ۳۷۳K \quad , \quad T_L = ۰ + ۲۷۳ = ۲۷۳K \quad , \quad \eta = ?$$

$$\eta = ۱ - \frac{T_L}{T_H} = ۱ - \frac{۲۷۳}{۳۷۳} = ۱ - ۰/۷۳ = ۰/۲۷ \rightarrow \eta = ۲۷\%$$

با توجه به اینکه حداکثر بازده ماشین گرمایی که بین این دماها کار می‌کند، ۲۷ درصد است، ادعای این مخترع نادرست است.

۲۱) می‌خواهیم بازده یک ماشین کارنو را افزایش دهیم. با مثالی عددی بررسی کنید آیا بهتر است که دمای منبع دما بالا را افزایش دهیم یا دمای منبع دما پایین را به همان مقدار کاهش دهیم؟

با فرض $T_H = ۴K$ و $T_L = ۲K$ بازده کارنو برابر است با:

$$\text{کارنو} \quad \eta = ۱ - \frac{T_L}{T_H} = ۱ - \frac{۲}{۴} = ۰/۵$$

اگر دمای منبع بالا را یک درجه افزایش دهیم داریم:

$$\text{کارنو} \quad \eta = ۱ - \frac{۲}{۴+۱} = \frac{۳}{۵} = ۰/۶$$

اگر دمای منبع پایین را یک درجه کاهش دهیم داریم:

$$\text{کارنو} \quad \eta = ۱ - \frac{۱}{۴} = \frac{۳}{۴} = ۰/۷۵$$

با توجه به نتایج به دست آمده در مثال فوق برای افزایش بازده ماشین کارنو بهتر است دمای منبع دما پایین را کاهش دهیم.

۲۲) مخترعی ادعا می‌کند چهار ماشینساخته است که هر یک بین منبع‌های با دمای ۳۰۰K و ۴۰۰K کار می‌کنند. داده‌های هر ماشین در هر چرخه عبارت‌اند از:

ماشین A	$Q_H = ۲۰۰۰J$	$Q_L = -۱۷۵۰J$	$W = -۴۰J$
ماشین B	$Q_H = ۵۰۰J$	$Q_L = -۲۰۰J$	$W = -۴۰۰J$
ماشین C	$Q_H = ۶۰۰J$	$Q_L = -۲۰۰J$	$W = -۴۰۰J$
ماشین D	$Q_H = ۱۰۰J$	$Q_L = -۹۰J$	$W = -۱۰J$

با فرض آرمانی بودن این چهار ماشین:

الف) کدام یک از ماشین‌ها قانون اول ترمودینامیک را نقض می‌کنند؟

قانون اول ترمودینامیک همان قانون اول پایستگی انرژی است یعنی در هر ماشین گرمایی $Q_H = |Q_L| + |W|$ بنابراین:

$$\text{ماشین A} : \begin{cases} |Q_L| + |W| = ۱۷۵۰ + ۴۰ = ۱۷۹۰J \\ Q_H = ۲۰۰۰J \end{cases} \rightarrow Q_H \neq |Q_H| + |W| \rightarrow \text{قانون اول نقض می‌شود}$$

$$\text{ماشین B} : \begin{cases} |Q_L| + |W| = ۴۰۰ + ۲۰۰ = ۶۰۰J \\ Q_H = ۵۰۰J \end{cases} \rightarrow Q_H \neq |Q_L| + |W| \rightarrow \text{قانون اول نقض می‌شود}$$

$$\text{ماشین C} : \begin{cases} |Q_L| + |W| = ۴۰۰ + ۲۰۰ = ۶۰۰J \\ Q_H = ۶۰۰J \end{cases} \rightarrow Q_H = |Q_L| + |W| \rightarrow \text{قانون اول برقرار است}$$

$$\text{ماشین D} : \begin{cases} |Q_L| + |W| = ۱۰ + ۹۰ = ۱۰۰J \\ Q_H = ۱۰۰J \end{cases} \rightarrow Q_H = |Q_L| + |W| \rightarrow \text{قانون اول برقرار است}$$

ب) کدام یک از ماشین‌ها قابل ساخت هستند؟

حداکثر بازده یک ماشین گرمایی که بین دو منبع گرم و سرد با دمای ۳۰۰K و ۴۰۰K کار می‌کند برابر است با:

$$\eta_{\text{کارنو}} = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 1 - \frac{300}{400} = \frac{1}{4} = 0/25 \rightarrow \eta = 0/25$$

بازده ماشین‌های C و Dرا محاسبه کرده و با بازده کارنو مقایسه می‌کنیم، ماشینی قابل ساخت است که در آن هم قضیه کارنو و هم قانون اول ترمودینامیک برقرار باشد:

$$\eta_C = 1 - \frac{|Q_L|}{|Q_H|} = 1 - \frac{200}{600} = 1 - 0/33 = 0/67 \rightarrow \eta_C > \eta \rightarrow$$ قضیه کارنو برقرار نیست:

$$\eta_D = 1 - \frac{|Q_L|}{|Q_H|} = 1 - \frac{900}{100} = 1 - 0/9 = 0/1 \rightarrow \eta_D < \eta \rightarrow$$ قضیه کارنو برقرار است:

۲۳) یک ماشین کارنو بین دماهای $280/0K$ و $360/0K$ کار می‌کند. این ماشین در هر چرخه $750/0J$ گرما از منبع دما بالا می‌گیرد.

الف) در هر چرخه $|W|$ چقدر است؟

$$T_L = 280K \ , \ T_H = 360K \ , \ Q_H = 750J \ , \ |W| = ? \ , \ |Q_L| = ?$$

$$\eta_{\text{کارنو}} = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 1 - \frac{280}{360} = 1 - \frac{28}{36} = \frac{8}{36} = \frac{2}{9}$$

$$\eta = \frac{|W|}{Q_H} \rightarrow |W| = \eta Q_H = \frac{2}{9} \times 750 = \frac{500}{3} \rightarrow |W| = \frac{500}{3} J$$

ب) در هر چرخه چقدر گرما به منبع دما پایین داده می‌شود؟

$$|Q_L| = Q_H - |W| \rightarrow |Q_L| = 750 - \frac{500}{3} = \frac{1750}{3} \rightarrow |Q_L| = \frac{1750}{3} J$$

۹-۵ قانون دوم ترمودینامیک و یخچال‌ها

۲۴) قرار است نیم‌ساعت دیگر مهمانی برای شما برسد در حالی که هیچی یخی را برای نوشابه‌ی خود آماده نکرده‌اید. به سرعت $1/00L$ آبِ $10/0°C$ را در قالب‌های یخ می‌ریزید و در فریزر قرار می‌دهید. آیا در زمانی که مهمان می‌رسد، یخ خواهید داشت؟ ضریب عملکرد یخچال ۴/۰ و توان آن $110/0W$ است. (فرض کنید همه‌ی توان الکتریکی یخچال صرف سرد کردن ویخ زدن آب می‌شود.)

$$V = 1L = 1 \times 10^{-3} m^3 \ , \ c_{\text{آب}} = 4200 \frac{J}{kg.K} \ , \ L_{F_{\text{یخ}}} = 333/7 \times 10^3 \frac{J}{kg} \ , \ \rho_{\text{آب}} = 1000 \frac{kg}{m^3}$$

$$K = 4 \ , \ P = 110W \ , \ t = ?$$

با استفاده از رابطه $\rho = \frac{m}{V}$ جرم آب را محاسبه می‌کنیم:

$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow m = \rho V = 1000 \times 1 \times 10^{-3} = 1kg \rightarrow m = 1kg$$

مقدار گرمایی که $1kg$ آب $10°C$ از دست می‌دهید تا به یخ $0°C$ تبدیل شود به صورت زیر به دست می‌آید:

$$Q = mc\Delta\theta - mL_F = 1 \times 4200 \times (0 - 10) - (1 \times 333/7 \times 10^3)$$

$$= -42000 - 333700 = -375700 \rightarrow |Q_L| = 375700J$$

کاری که یخچال از آب برای یخ زدن می‌گیرد:

کاری که یخچال برای یخ‌زدن آب انجام می‌دهد:

$$K=\frac{|Q_L|}{W}\rightarrow W=\frac{|Q_L|}{K}=\frac{۳۷۵۷۰۰}{۴}=۹۳۹۲۵J\rightarrow W=۹۳۹۲۵J$$

زمانی که طول می‌کشد تا آب یخ بزند:

$$P=\frac{W}{t}\rightarrow t=\frac{W}{P}=\frac{۹۳۹۲۵}{۱۱۰}=۸۵۳S\rightarrow t\simeq ۱۴\,min$$

با توجه به اینکه تقریباً ۱۴ دقیقه طول می‌کشد تا همه آب به یخ $۰^\circ C$ تبدیل شود زمان کافی برای درست کردن یخ خواهیم داشت.

۲۵) یک کولر گازی در هر دقیقه $۹/۰\times۱۰^۴J$ گرما از اتاق می‌گیرد و در همان مدت $۱/۳\times۱۰^۵J$ گرما به فضای بیرون می‌دهد. با فرض آرمانی بودن کولر،

الف) توان مصرفی این کولر چند وات است؟

$$t=۶۰s\ ,\ |Q_L|=۹\times۱۰^۴J\ ,\ Q_H=۱۳\times۱۰^۴J\ ,\ P=?\ ,\ K=?$$

برای بدست آوردن توان مصرفی کولر ابتدا باید کار انجام شده توسط کولر را محاسبه کرد:

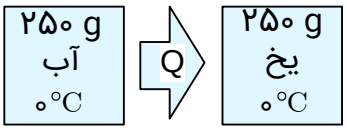
در یخچال‌ها : $|Q_H|=Q_L+W\rightarrow W=|Q_H|-Q_L=۱۳\times۱۰^۴-۹\times۱۰^۴=۴\times۱۰^۴J\rightarrow W=۴\times۱۰^۴J$

$$P=\frac{W}{t}=\frac{۴\times۱۰^۴}{۶۰}=\frac{۲}{۳}\times۱۰^۳W\rightarrow P=\frac{۲}{۳}\times۱۰^۳W$$ توان مصرفی کولر

ب) ضریب عملکرد آن چقدر است؟

$$K=\frac{|Q_L|}{W}=\frac{۹\times۱۰^۴}{۴\times۱۰^۴}=۲/۲۵\rightarrow K=۲/۲۵$$ ضریب عملکرد کولر

۲۶) فرض کنید $۲۵۰/۰g$ آب صفر درجه سلسیوس در اختیار داریم. می‌خواهیم با قرار دادن این آب در یخچال، یخ تهیه کنیم. یخچال در اتاقی قرار دارد که دمای آن $۲۲/۰^\circ C$ است. دمای داخل یخچال در $-۵/۰^\circ C$ ثابت نگه داشته شده است. کمترین مقدار انرژی الکتریکی که باید به یخچال داده شود تا یخ صفر درجه‌ی سلسیوس تشکیل شود، چقدر است؟



$$m=۲۵۰g=۰/۲۵kg\ ,\ T_H=۲۲+۲۷۳=۲۹۵K\ ,\ T_L=-۵+۲۷۳=۲۶۸K\ ,\ W=?$$

یخ $۳۳۳/۷\times۱۰^۳\ \frac{J}{kg}$

$$Q_L=-mL_F=-۰/۲۵\times۳۳۳/۷\times۱۰^۳=-۸۳۴۲۵J\rightarrow Q_L=۸۳۴۲۵J$$

کمترین مقدار انرژی داده شده به یخچال زمانی است که یخچال بیشترین بازده را داشته باشد: کارنو K=K

ضریب عملکرد یخچال:

$$K_{\text{کارنو}}=\frac{T_L}{T_H-T_L}=\frac{۲۶۸}{۲۹۵-۲۶۸}=\frac{۲۶۸}{۲۷}\simeq ۱۰\rightarrow K_{\text{کارنو}}=K=۱۰$$

$$K=\frac{|Q_L|}{W}\rightarrow W=\frac{|Q_L|}{K}=\frac{۸۳۴۲۵}{۱۰}=۸۳۴۲/۵J\rightarrow W=۸۳۴۲/۵J$$