بسم الله الرحمن الرحیم

فیزیک (۱)

رشته‌های علوم تجربی ــ ریاضی و فیزیک

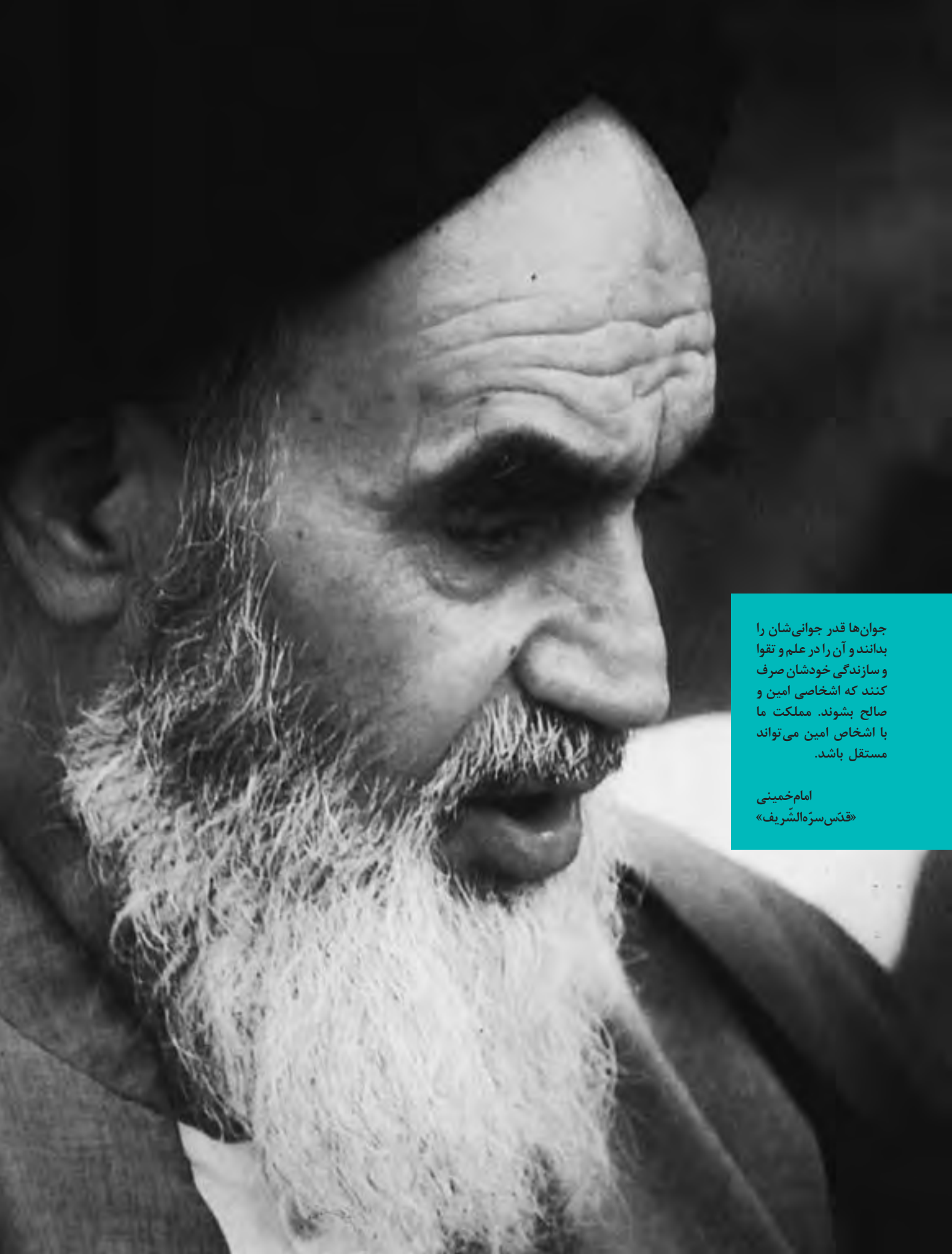
راهنمای معلّم

پایهٔ دهم
دورهٔ دوم متوسطه

وزارت آموزش و پرورش
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

نام کتاب: فیزیک پایهٔ دهم ـ ۱۱۰۳۷۵
پدیدآورنده: سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی
مدیریت برنامه‌ریزی درسی و تألیف: دفتر تألیف کتاب‌های درسی عمومی و متوسطه نظری
شناسه افزوده برنامه‌ریزی و تألیف: فصل‌های ۱، ۲ و ۳: روح‌اله خلیلی بروجنی ـ فصل‌های ۴ و ۵: محمدرضا خوش‌بین خوش‌نظر و محمدرضا شریف‌زاده اکباتانی (اعضای گروه تألیف)
مدیریت آماده‌سازی هنری: اداره کل نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی
شناسه افزوده آماده‌سازی: لیدا نیک‌روش (مدیر امور فنی و چاپ) ـ جواد صفری (مدیر هنری) ـ مهلا مرتضوی (صفحه‌آرا) ـ علی نجمی، علیرضا کاهه، فاطمه رئیسیان فیروزآباد، سیده‌فاطمه طباطبایی و زهرا ایمانی‌نصر (امور آماده‌سازی)
نشانی سازمان: تهران: خیابان ایرانشهر شمالی ـ ساختمان شمارهٔ ۴ آموزش و پرورش (شهید موسوی)
تلفن: ۹ـ۸۸۸۳۱۱۶۱، دورنگار: ۸۸۳۰۹۲۶۶، کد پستی: ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹
وبگاه: www.chap.sch.ir و www.irtextbook.ir
ناشر: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران تهران ـ کیلومتر ۱۷ جادهٔ مخصوص کرج ـ خیابان ۶۱ (داروپخش) تلفن: ۵ـ۴۴۹۸۵۱۶۱، دورنگار: ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی: ۱۳۹ـ۳۷۵۱۵
چاپخانه: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران «سهامی خاص»
سال انتشار و نوبت چاپ: چاپ اوّل ۱۳۹۶

شابک ۵ـ۲۹۱۹ـ۰۵ـ۹۶۴ـ۹۷۸
ISBN: 978_964_05_2919_5



جوان‌ها قدر جوانی‌شان را بدانند و آن را در علم و تقوا و سازندگی خودشان صرف کنند که اشخاصی امین و صالح بشوند. مملکت ما با اشخاص امین می‌تواند مستقل باشد.

امام‌خمینی
«قدّس‌سرّه‌الشّریف»

کلیهٔ حقوق مادی و معنوی این کتاب متعلّق به سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی وزارت آموزش و پرورش است و هرگونه استفاده از کتاب و اجزای آن به‌صورت چاپی و الکترونیکی و ارائه در پایگاه‌های مجازی، نمایش، اقتباس، تلخیص، تبدیل، ترجمه، عکس‌برداری، نقاشی، تهیهٔ فیلم و تکثیر به هر شکل و نوع، بدون کسب مجوّز ممنوع است و متخلّفان تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.

جهت دانلود رایگان منابع استخدامی دبیر علوم تجربی - فیزیک آزمون آموزش و پرورش، اینجا بزنید.

فهرست

بخش ۱ : کلّیات ۱

حوزهٔ علوم تجربی ۲
فلسفهٔ آموزش علوم تجربی ۳
اهداف کلی برنامه درسی آموزش فیزیک ۳
ماهیت پژوهش در علوم ۷
آموزش زمینه محور ۹
یادگیری پدیده محور ۱۲
ارزشیابی از آموخته‌های دانش‌آموزان ۱۵

بخش ۲ : راهنمای تدریس فصول ۱۹

فصل ۱ : فیزیک و اندازه‌گیری ۲۰

۱ـ۱ـ فیزیک : دانش بنیادی ۲۴
۱ـ۲ـ مدل‌سازی در فیزیک ۲۸
۱ـ۳ـ اندازه‌گیری و کمیّت فیزیکی ۳۰
۱ـ۴ـ اندازه‌گیری و دستگاه بین‌المللی یکاها ۳۱
۱ـ۵ـ اندازه‌گیری : خطا و دقت ۳۹
۱ـ۷ـ چگالی ۵۴
راهنمای پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۱ ..... ۵۶

فصل ۲ : کار، انرژی و توان ۶۱

۲ـ۱ـ انرژی جنبشی ۶۵
۲ـ۲ـ کار انجام‌شده توسط نیروی ثابت ۶۷
۲ـ۳ـ کار و انرژی جنبشی ۷۲
۲ـ۴ـ کار و انرژی پتانسیل ۷۶
۲ـ۵ـ پایستگی انرژی مکانیکی ۸۱
۲ـ۶ـ کار و انرژی درونی ۸۴
۲ـ۷ـ توان ۸۶
راهنمای پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۲ ..... ۹۲

فصل ۳ : ویژگی‌های فیزیکی مواد ۹۷

۳ـ۱ـ حالت‌های ماده ۱۰۰
۳ـ۲ـ ویژگی‌های فیزیکی مواد در مقیاس نانو ۱۱۱
۳ـ۳ـ نیروهای بین‌مولکولی ۱۱۲

۳ـ۴ـ فشار در شاره‌ها ۱۲۰
۳ـ۵ـ شناوری و اصل ارشمیدس ۱۲۸
۳ـ۶ـ شارهٔ در حرکت و اصل برنولی ۱۳۱
راهنمای پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۳ ..... ۱۴۰

فصل ۴ : دما و گرما ۱۴۵
۴ـ۱ـ دما و دماسنجی ۱۴۸
۴ـ۲ـ انبساط گرمایی ۱۵۲
۴ـ۳ـ گرما ۱۶۴
۴ـ۴ـ تغییر حالت‌های ماده ۱۷۱
۴ـ۵ـ روش‌های انتقال گرما ۱۸۲
۴ـ۶ـ قوانین گازها ۱۹۰
راهنمای پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۴ ..... ۱۹۶

فصل ۵ : ترمودینامیک ۲۰۵
۵ـ۱ـ معادلهٔ حالت ۲۰۸
۵ـ۲ـ فرایندهای ترمودینامیکی ایستاوار ۲۰۹
۵ـ۳ـ تبادل انرژی ۲۰۹
۵ـ۴ـ انرژی درونی و قانون اوّل ترمودینامیک ۲۱۰
۵ـ۵ـ برخی از فرایندهای ترمودینامیکی ۲۱۳
۵ـ۶ـ چرخهٔ ترمودینامیکی ۲۲۶
۵ـ۷ـ ماشین‌های گرمایی ۲۲۸
۵ـ۸ـ قانون دوم ترمودینامیک (به بیان ماشین گرمایی) ۲۳۵
۵ـ۹ـ قانون دوم ترمودینامیک و یخچال‌ها ۲۳۷
راهنمای پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۵ ..... ۲۴۸

سخنی با همکاران

در دنیای امروز، دسترسی به دانش و اطلاعات، بسیار متنوع و آسان شده است؛ از این‌رو، بی‌اطلاعی از دانش و فنّاوری روز، ناتوانی در به‌کارگیری و پردازش آنها، عدم مهارت در دستیابی و تحلیل اطلاعات، عدم مهارت در برخورد با یک مسئلهٔ جدید و عدم تصمیم‌گیری مبتنی بر پردازش اطلاعات، برای شهروند دنیای امروز غیرقابل قبول است. به همین منظور، نقش معلمان نسبت به سابق تغییر اساسی کرده است. نقش معلمان دیگر انتقال صرف دانش نیست، بلکه ایجاد نگرش مثبت و یاد دادن چگونگی برخورد با مسئله است؛ یعنی، دانش‌آموزان باید یاد بگیرند که سؤال‌های اساسی در یک مسئله یا یک موضوع را استخراج و اطلاعات موردنیاز خود را جمع‌آوری، پردازش و نتیجه‌گیری کنند. در این راستا، ابتدا معلم با طرح پرسش، نشان دادن یک تصویر و یا فیلم، طرح یک فعالیت، آزمایش یا ... در دانش‌آموزان ایجاد انگیزه کرده و آنها را با موضوع درگیر می‌کند و سپس آنها را هدایت می‌کند تا در تولید مفاهیم علمی مشارکت کنند. آموزش باید به‌گونه‌ای باشد که دانش‌آموزان نحوهٔ برخورد منطقی و علمی با مسائل را بیاموزند؛ لذا شایسته است، ما هم در به‌کارگیری شیوه‌های نوین آموزشی، آشنا شدن با دانش‌های جدید، کسب مهارت‌های مورد نیاز، استفاده از شبکه‌های اطلاعاتی، افزایش خلاقیت خود و... بکوشیم.

ساختار این کتاب پس از مطالعه، تحقیق، بررسی و بحث‌های بسیار مفصل بین کارشناسان آموزشی و همچنین مطالعه و بررسی کتاب‌های راهنمایی معلم چند کشور مختلف تنظیم شده است و با ارائهٔ الگوهایی، مشارکت هرچه بیشتر دانش‌آموزان را در فرایند یاددهی ــ یادگیری و کسب تجربه، فراهم می‌کند. در ادامه، به شرح مختصر عناوین مطرح شده در این کتاب می‌پردازیم.

الف) هدف‌ها : در مواردی که هدف یک بخش، فصل، آزمایش و یا ... خیلی مشخص نمی‌باشد، هدف‌های دانشی، مهارتی و نگرشی آن آورده شده است.

ب) دانسته‌های قبلی : در این قسمت، دانسته‌های قبلی دانش‌آموزان که در پایه‌های تحصیلی پایین‌تر مطرح شده و مرتبط با بخش است، آورده شده است.

پ) محدودهٔ بحث : به‌منظور تأکید روی مفاهیمی که در کتاب درسی به آنها پرداخته شده است، حوزه و محدودهٔ یادگیری در موارد ضروری، تعیین شده است.

ت) تصویر اوّل فصل : هر فصل با نمایش تصویری از کاربردهای مرتبط با موضوع آن فصل شروع می‌شود. هدف آن، درگیر کردن دانش‌آموزان با موضوع فصل و ایجاد انگیزه در آنها است. برای رسیدن به این اهداف، تشویق دانش‌آموزان برای بیشتر دانستن و پرورش مهارت مشاهده در آنها، پرسش‌هایی پیشنهاد شده است که دانش‌آموزان باید در قالب فعالیت گروهی به آنها پاسخ دهند. با تلفیق پرسش‌های دانش‌آموزان با این‌گونه پرسش‌ها می‌توان دانش‌آموزان را به بحث و گفت‌وگو واداشت. شما می‌توانید از تصاویر مناسب دیگری نیز استفاده کنید؛ به این طریق از دانسته‌های قبلی دانش‌آموزان آگاه می‌شویم و آنها را برای یادگیری موضوع موردنظر آماده می‌کنیم.

ث) راهنمای تدریس : در این قسمت، روش‌هایی برای شروع درس به معلم پیشنهاد شده است. این روش‌ها کاملاً انعطاف‌پذیرند و معلم می‌تواند با توجه به شرایط و اقتضای کلاس، هر روش دیگری را که بتواند دانش‌آموزان را بیشتر ترغیب کرده و آنها را به موضوع درس علاقه‌مند کند، به‌کار گیرد. همچنین به منظور شفاف شدن مطالب درسی توصیه‌هایی نیز ارائه شده است.

ج) فعالیت‌های پیشنهادی : به منظور درک عمیق‌تر مفاهیم درسی و درگیر کردن دانش‌آموزان به منظور تولید مفهوم، در هر واحد یادگیری، تعدادی فعالیت پیش‌بینی شده است که برخی از آنها به صورت فعالیت‌های خارج از کلاس تدارک دیده شده است. تأکید می‌شود که انجام همهٔ این فعالیت‌ها ضروری نیست و یک معلم مجرب، با توجه به وضعیت کلاس می‌تواند هر فعالیت دیگری را که مؤثر واقع شود، به‌دانش‌آموزان پیشنهاد کند.

چ) آزمایش‌های پیشنهادی : در اغلب موارد، قسمت عمده‌ای از یادگیری توسط انجام دادن آزمایش و کارهای عملی صورت می‌گیرد. برای افزایش عمق یادگیری و لذت بیشتر از آموختن و یادگیری تجربی، به آزمایش‌های متنوع و متعددی نیاز است؛ از این‌رو، در مواردی، آزمایش‌های کتاب تعمیم یافته یا آزمایش‌های ساده و جدیدی پیشنهاد شده است که دانش‌آموزان می‌توانند آنها را در گروه‌های خود انجام دهند.

ح) دانستنی‌های ضروری : برای آشنایی همکاران با برخی از موضوعات مرتبط با هر فصل، مطالبی در غالب «دانستنی‌های ضروری» تدارک دیده شده است. ضرورتی در انتقال این مفاهیم به دانش‌آموزان نیست و تنها می‌توان تحقیق در مورد برخی از آنها را به عنوان فعالیت خارج از کلاس به گروه‌های دانش‌آموزی واگذار کرد. در این کتاب در اغلب موارد نام دانستنی و اینکه در مورد چه موضوعی بحث می‌شود، در جعبه‌هایی آورده شده است و برای دسترسی به آزمایشگاه‌های مجازی و شبیه‌سازهای مناسب هر فصل و همچنین مجموعه آزمایش‌های مرتبط با مفاهیم فصل‌های فیزیک ۱، و همچنین کل دانستنی می‌توانید به سایت گروه فیزیک به آدرس http: //physics-dep.talif.sch.ir مراجعه نمایید.

خ) پاسخ فعالیت‌ها و تمرین‌ها : در بسیاری از موارد ابتدا اهداف تمرین‌ها و فعالیت‌های داخل هر فصل تعیین شده و سپس پاسخ آنها و پاسخ تمرین‌های آخر فصل آورده شده است.

بخش ۱

کلّیات

حوزهٔ علوم تجربی

یکی از حوزه‌های یادگیری در برنامه درسی ملی، حوزهٔ علوم تجربی است. در بیان این حوزه، تعریف کارکرد، قلمرو و جهت‌گیری‌های کلی به شرح زیر مورد توجه قرار گرفته است :

تعریف علوم تجربی

علوم تجربی، حاصل کوشش انسان برای درک واقعیت‌های هستی و کشف فعل خداوند است.

کارکرد حوزهٔ علوم تجربی

۱ برخورداری متربیان از سواد علمی فناورانه در بُعد شخصی و اجتماعی
۲ رشد و ارتقاء شایستگی‌های عقلانی، ایمانی، دانشی، مهارتی و اخلاقی
۳ شناخت و استفادهٔ مسئولانه از طبیعت به مثابه بخشی از خلقت الهی
۴ ایفای نقش سازنده در ارتقای سطح زندگی فردی، خانوادگی، ملی و جهانی
۵ زمینه‌سازی برای تعظیم نسبت به خالق متعال از طریق درک عظمت خلقت
۶ تعمیق و تعادل در نگرش توحیدی و دستیابی به درک غایت‌مند از خلقت.

قلمرو حوزهٔ علوم تجربی

۱ دانش : شامل زندگی و موجودات، زمین و پیرامون آن، ماده و تغییرات آن، انرژی و تغییرات آن، طبیعت و مواد فراوری شده، علوم در اجتماع، علوم در زندگی روزانه، تاریخ علم در ایران و اسلام و ...
۲ فرایندهای علمی : شامل مهارت‌های فرایندی مانند مشاهده، جمع‌آوری اطلاعات، اندازه‌گیری، تفسیر یافته‌ها، فرضیه و مدل‌سازی، پیش‌بینی، طراحی تحقیق، برقراری ارتباط و مهارت‌های پیچیدهٔ تفکر
۳ فناوری : زیست‌فناوری، نانوفناوری، انرژی‌های نو، نجوم.

جهت‌گیری‌های کلی

در سازماندهی محتوا و آموزش باید موارد زیر مورد توجه قرار گیرد :
۱ پذیرش اصل همه‌جانبه نگری براساس پذیرش رویکرد تلفیقی
۲ تلفیق نظر و عمل جهت پرورش مهارت‌های فرایندی علمی
۳ آموختن روش و مسیر کسب علم، آگاهی و توانایی
۴ پرورش انواع تفکر جهت نیل به خودیادگیری، ژرف‌اندیشی و تعالی‌جویی
۵ ایجاد ارتباط بین آموزه‌های علمی و زندگی واقعی (علم مفید، سودمند، هدفدار و ...)
۶ مرتبط ساختن محتوای یادگیری با کاربردهای واقعی (یادگیری معنادار)
۷ پرورش انسان‌هایی مسئولیت‌پذیر، متفکر و خلاق.

فلسفهٔ آموزش علوم تجربی

یکی از ویژگی‌های بارز انسان «کنجکاوی» است که از دوران کودکی تا پایان عمر، او را به «دانستن» و کشف حقایق و پرده‌برداری از مجهولات سوق می‌دهد. این نیروی درونی، تکاپوی انسان را برای کسب «علم» و گریز از «جهل» افزون می‌کند.

آنچه امروزه از دانش بشری، در شاخه‌های مختلف و رشته‌های گوناگون، در دسترس ماست، حاصل تلاش انسان‌های گذشته و همین نیروی درونی خدادادی آنهاست. بی‌تردید نسل‌های کنجکاو آینده بسیاری از مطالبی را که اکنون برای ما مجهول است، کشف خواهند کرد. بخشی از دانش امروز بشر که حاصل مطالعه و جست‌وجوی او در جهت شناخت جهان مادی و نظام‌ها و قوانین آن است، «علوم تجربی» نام دارد.

بشر برای کشف و شناخت اسرار این جهان مادی، عمدتاً از ابزارهای حسی خود استفاده می‌کند. به همین دلیل، نقش «تجربه» در این حوزه بسیار اساسی و تکیه بر آن بسیار ضروری است. بر این اساس، انسان برای توسعه و تقویت حوزهٔ عمل خود، به ساخت دستگاه‌های گوناگون و دقیق دست زده است.

ساخت و تولید ابزارهای گوناگون، توانایی انسان را برای کشف رازهای جهان و طبیعت بالا می‌برد و زندگی او را متحول می‌سازد.

استفاده از دستاوردهای علمی و فناوری، در بعضی جهات، رفاه نسبی به همراه می‌آورد و به انسان کمک می‌کند تا کارهایی را که در گذشته با رنج و سختی و صرف وقت زیاد انجام می‌داده است، بسیار راحت‌تر و سریع‌تر انجام دهد. دانش‌آموزی که به مدرسه وارد می‌شود، دارای نیروی خدادادی کنجکاوی است؛ نیرویی که هر لحظه او را به سوی دانشی تازه و پاسخی برای پرسش‌های بی‌شمار می‌کشاند. از سوی دیگر، او باید برای زندگی در دنیای علم و فناوری آماده شود. به این ترتیب، نظام آموزشی باید به‌گونه‌ای برنامه‌ریزی شود که هم قوهٔ جست‌وجوگری را در دانش‌آموزان شکوفا کند و دانستن و کشف مجهولات را برای آنها لذت‌بخش و نشاط‌آور سازد و هم آنچه را برای زندگی در دنیای امروز و فردا به آن نیازمندند، به آنها بیاموزد.

درس فیزیک که یکی از درس‌های اصلی رشته علوم تجربی است، به نوبهٔ خود باید بتواند به هردو هدف یاد شده دست یابد. در این درس، محتوا و روش باید به‌گونه‌ای طراحی شود که از یک‌سو به نیازهای فطری دانش‌آموزان در زمینهٔ شناخت محیط پاسخ گوید، به آنان در پی‌بردن به‌شگفتی‌های جهان خلقت کمک کند و معرفت آنان را نسبت به خالق جهان افزایش دهد و از سوی دیگر، آنها را با دانش و بینش موردنیاز زندگی حال و آینده آشنا سازد.

اهداف کلی برنامه درسی آموزش فیزیک

اهداف کلی برنامه درسی فیزیک در جهت انطباق با عناصر برنامه درسی ملی در پنج قلمرو و تفکر و تعقل، ایمان، باور و علایق، علم و آگاهی، عمل، اخلاق به شرح زیر است :

تفکر و تعقل

- کسب مهارت‌های تفکر (تفکر حل مسئله، تفکر تحلیلی، تفکر خلاق، تفکر نقاد)
- پرورش مهارت‌های فرایند تفکر (مفهوم‌سازی، درک معنا، درک روابط، طبقه‌بندی، فرضیه‌سازی، تجزیه و تحلیل، استدلال، قضاوت و داوری، دقت و تمرکز، نتیجه‌گیری، تعمیم)
- درک روابط علت و معلولی، تشخیص حقیقت از کذب، کشف راه حل، درک رابطه کل با جزء، درک سیستمی (ورودی، فرایند، خروجی، بازخورد) و ارتباط با سایر سیستم‌ها

- تفکر در پدیده‌های خلقت و روابط بین آنها به عنوان آثار قدرت خداوند
- تفکر در نحوهٔ برخورد مناسب با حوادث زندگی، و پند و عبرت‌آموزی از آنها

ایمان : باور و علایق

- تقویت ایمان به خداوند و احساس نیاز همیشگی به عنوان بندهٔ خدا
- علاقه به علم و فناوری و یادگیری مادام‌العمر
- باور به ارزشمندی مقام انسان و سایر مخلوقات
- علاقه‌مندی به آداب، سنن، مفاخر و شخصیت‌های علمی ایرانی و اسلامی
- باور به هدفدار بودن آفرینش انسان
- باور به هدفمند بودن عالم خلقت و زیبایی‌های آن به عنوان مظاهر فعل و جمال خداوند

علم و آگاهی

- آگاهی از نقش دین، علم و فناوری در حل مشکلات فردی و اجتماعی
- آشنایی با مفاهیم پایه فیزیک و منابع یادگیری آن
- آگاهی از جنبه‌های کاربردی فیزیک و فناوری اطلاعات و ارتباطات و توانایی بهره‌گیری از آنها
- درک زیبایی‌ها، رویدادها و قوانین جهان آفرینش به عنوان آیات الهی
- آشنایی با مخاطرات محیطی و راه‌های حفاظت از سیارهٔ زمین
- آگاهی از روابط انسان و محیط و درک یکپارچگی جهان هستی

عمل (مهارت‌ها)

- توانایی به‌کارگیری مهارت‌های روش علمی (مشاهده علمی، جمع‌آوری اطلاعات، طبقه‌بندی، فرضیه‌سازی، طراحی آزمایش، انجام آزمایش، تجزیه و تحلیل، تغییر یافته‌ها و ...) را در برخورد با پدیده‌های طبیعی و محیط به‌دست آورد.
- توانایی انجام کار عملی و تولید اطلاعات علمی را به‌دست آورد.
- توانایی ارائه یافته‌های علمی با استفاده از روش‌های مختلف مانند گزارش‌نویسی، استفاده از IT و ICT (اطلاعات، بازیافت اطلاعات، ذخیره‌سازی و انتقال اطلاعات) را به‌دست آورد.
- مهارت‌های علمی و روحیهٔ تحقیق و اکتشاف را کسب کرده و به کتاب‌خوانی و مطالعه توجه عملی داشته باشد.
- برای حفظ سلامت و بهداشت فردی و اجتماعی تلاش کند.
- توانایی انجام کارهای فردی را به‌طور مستقل به‌دست آورد و با مشکلات فردی و چالش‌های زندگی روزمره برخوردی عاقلانه داشته باشد.
- الگوی مصرف بهینه را در استفاده از منابع خدادادی رعایت کند.
- در برابر خداوند متعال و انجام اعمال احساس مسئولیت کند.
- توانایی برقراری ارتباط مناسب با دیگران را به‌دست آورد، روحیه کار جمعی و گروهی را به‌دست آورد.
- با پرهیز از تخریب طبیعت و هدر دادن منابع برای پاکیزه نگه‌داشتن محیط زندگی تلاش کند.

اخلاق

- از منابع طبیعی به‌طور صحیح و عاقلانه استفاده کند.
- در برابر محیط زیست و تلاش در جهت حفظ گیاهان و جانوران مسئولیت اخلاقی از خود نشان دهد.
- به معلم، والدین، همکلاسی و سایر افراد جامعه و رعایت حقوق آنان به آنها احترام بگذارد.
- در کسب روزی حلال و سخت‌کوشی در زندگی، احساس مسئولیت کند و از خود تعهد نشان دهد.

اهداف درس فیزیک و هماهنگی آن با اهداف سایر موضوعات درسی

بسیاری از مهارت‌ها، نگرش‌ها و عقایدی که دانش‌آموزان در درس فیزیک از طریق فعالیت‌های علمی کسب می‌کنند، به‌گونه‌ای است که می‌توانند آنها را در بقیهٔ موضوعات درسی نیز بیاموزند و به‌کار گیرند. کلیهٔ مهارت‌هایی که فرایند آموزش علوم و به‌ویژه فیزیک به آنها وابسته است، مثل مشاهده کردن، پیش‌بینی، استنباط و ... به‌عنوان مهارت‌های یادگیری در سطوح وسیعی از موضوعات درسی تلقی می‌شود. گرچه طبقه‌بندی یک فعالیت به‌عنوان فعالیت علوم تجربی یا ریاضی چندان تغییری در نحوهٔ فعالیت نمی‌دهد، و بسیاری از اهداف با اهداف موضوعات آموزشی دیگر یکسان است، اما باید دقت کرد که این یکسانی شامل همهٔ اهداف نمی‌شود. بنابراین آن دسته از فعالیت‌ها که دانش‌آموزان طی انجام آن با روش علمی و مشاهدهٔ اشیای اطراف عقایدی را کسب می‌کنند، به منزلهٔ آموزش علوم تجربی قلمداد می‌شود. و این وجه تمایز اصلی علوم تجربی با بسیاری از موضوعات درسی است.

بسیاری از نگرش‌هایی که ما از آنها به عنوان نگرش‌های علمی نام می‌بریم مانند کنجکاوی، پشتکار، انعطاف‌پذیری، عدم تعصب، در هر نوع آموزشی مهم است. بنابراین وقتی دانش‌آموز در فعالیتی مهارت‌ها و نگرش‌ها را به‌کار می‌برد، می‌توان گفت وی در حال یادگیری علوم تجربی است و این وابستگی شدید علوم و سایر موضوعات درسی را می‌رساند.

در برنامه درسی جدید اهداف آموزشی در سه حیطه کسب دانستنی‌ها، مهارت‌ها و نگرش‌های ضروری به‌صورت یکپارچه در قالب شایستگی‌ها تبیین گردیده است. این شکل از بیان اهداف نیازمند آن است تا دانش‌آموزان قادر باشند آموخته‌های خود را به‌صورت معنادار به‌کار گیرند و آن را به‌موقعیت جدید انتقال دهند. این مفهوم ناظر به بافت و زمینه‌ای که یادگیری در آن رخ می‌دهد و نیز پیامدهای حاصل از یادگیری است.

شایستگی‌ها (اهداف) پوشش‌دهنده از ساحت‌های تربیت

۱ با کشف و درک مفاهیم، الگوها و روابط حاکم بر پدیده‌های طبیعی (آیات الهی)، مسائل واقعی زندگی را بررسی کند و با به‌کارگیری معیارهای علمی برای آنها راه حل‌هایی ارائه دهد.

۲ با ارزیابی روش به‌کارگیری قوانین و اصول علمی در تولید محصولات و فرایندهای مورد استفاده در زندگی، ایده‌هایی مبتنی بر معیارهای ارزشی برای بهبود این فرایندها و محصولات ارائه کند.

۳ با مطالعهٔ ایده‌ها و یافته‌های علمی ــ فناورانه در سطح ملی و بین‌المللی، یافته‌های خود را طی فرایندی مشارکتی با رعایت اخلاق علمی ارائه کند.

شایستگی‌ها (اهداف) پوشش‌دهنده از حوزه‌های تربیت و یادگیری

۱ نظام‌مندی طبیعت را براساس درک و تحلیل مفاهیم، الگوها و روابط بین پدیده‌های طبیعی کشف و گزارش می‌کند و نتایج آن را برای حل مسائل حال و آینده در ابعاد فردی و اجتماعی در قالب ایده یا ابزار ارائه می‌دهد/ به‌کار می‌گیرد.

۲ با ارزیابی رفتارهای متفاوت در ارتباط با خود و دیگران در موقعیت‌های گوناگون زندگی، رفتارهای سالم را انتخاب می‌کند/ گزارش می‌کند / به‌کار می‌گیرد.

۳ با درک ماهیت، روش و فرایند علم تجربی، امکان به‌کارگیری این علم را در حل مسائل واقعی زندگی (حال و آینده)، تحلیل و محدودیت‌ها و توانمندی‌های علوم تجربی را در حل این مسائل گزارش می‌کند.

۴ با استفاده از منابع علمی معتبر و بهره‌گیری از علوم تجربی، می‌تواند ایده‌هایی مبتنی بر تجارب شخصی، برای مشارکت در فعالیت‌های علمی ارائه دهد و در این فعالیت‌ها با حفظ ارزش‌ها و اخلاق علمی مشارکت کند.

نگاهی به برخی از شیوه‌های آموزش

در بررسی اسناد سایر کشورها برای تولید راهنمای معلم بعد از دهه ۷۰چهار مدل متمایز آموزشی را می‌توان متناسب با مفروضات مطرح شده در آموزش موقعیت محورشناسایی نمود. در ذیل هریک از این چهار مدل معرفی می‌شود. معلمان گرامی می‌توانند با مطالعه این مدل‌ها بسته به نیاز، شرایط و موضوع درسی از هر یک از اینها استفاده کنند.

- آموزش پژوهش‌محور
- آموزش زمینه‌محور
- آموزش پدیده‌محور
- آموزش به روش طراحی معکوس

آموزش پژوهش محور چیست؟

آموزش پژوهش‌محور در علوم رویکردی است که از درک شیوهٔ یادگیری دانش‌آموز، ماهیت پژوهش علم و تأکید بر مفاهیم مهمی که باید آموخته شود نشأت می‌گیرد و بر این باور استوار است که دانش‌آموز به واقع آن چیزی را می‌آموزد که خود درک می‌کند و نه آنچه دیگران به او منتقل می‌کنند. این رویکرد قبل از اینکه یک فرایند یادگیری مصنوعی باشد که انگیزه آن براساس رضایت از پاداش است، به عمق یادگیری می‌پردازد و انگیزه آن رضایت از یادگیری و درک شخصی است. آموزش پژوهش محور به کمیت اطلاعات حفظ شده تأکید ندارد و ایده‌ها یا مفاهیم با رشد سنی یادگیرنده عمیق‌تر می‌شود.

آموزش پژوهش‌محور بر تجارب و پژوهش‌هایی استوار است که درک بسیار شفافی از چگونگی یادگیری دانش‌آموز ارائه می‌دهد. این تجارب بیان می‌کند که دست‌کم بخشی از کنجکاوی طبیعی دانش‌آموزان، برای شناخت دنیای طبیعی اطراف آنان است که از طریق توجه به الگوها و ارتباط‌ها در تجاربشان و در تعامل با دیگران ارضا می‌شود. دانش‌آموزان دانش و درک خود را از طریق انعکاس تجاربشان می‌سازند. این شیوهٔ کار در بعضی مواقع باعث درک نادرست از واقعیات می‌شود گرچه حاصل تفکر منطقی است. مثلاً بسیاری از دانش‌آموزان (و حتی بزرگسالان) هنوز فکر می‌کنند سایهٔ زمین باعث پیدایش مراحل مختلف ماه می‌شود. تجربه روزمرهٔ دانش‌آموز نشان می‌دهد که وقتی چیزی جلوی تابش نور را بگیرد، سایه درست می‌شود که این امر در مورد زمین هم صدق می‌کند که نور

خورشید به آن می‌تابد و زمین مسیر نور خورشید را سد می‌کند. این تفکر، گرچه منطقی است اما درست نیست و به دلیل کمبود تجارب و سابقهٔ ذهنی در این موارد است. آموزش علوم به دنبال بسط تجارب دانش‌آموزان به هدف درک درست و علمی جهان اطراف است.

ماهیت پژوهش در علوم

مبنای دیگر آموزش پژوهش محور درک فرایند پژوهش علمی است. این مراحل به‌صورت مراحلی که دانشمندان در کارهایشان دنبال می‌کنند ارائه می‌شود. اما باید متوجه بود که این مراحل گام‌هایی نیست که باید دنبال شود بلکه یک سری مراحلی است که فرایند را هدایت می‌کند. برای دانش‌آموزان با مرحله اکتشاف آغاز می‌شود که در آن دانش‌آموزان با پدیده‌ای که باید مطالعه کنند آشنا می‌شوند. به دنبال آن مرحله تحقیق آغاز می‌شود که ممکن است خود از چندین بخش تشکیل شود. مراحل رفت و برگشتی این مرحله نشان می‌دهد که این، یک فرایند خطی نیست. در پژوهش علمی، چه دانش‌آموز پژوهشگر باشد و چه یک دانشمند مراحل کار بسیار پیچیده است و مرتب رفت و برگشت دارد و کارها باید مجدداً وارسی شوند. برای مثال اگر حاصل آزمایش‌ها فرضیه دانش‌آموزان را تأیید نکند باید آنان پیش‌بینی و یا پرسش خود را تغییر دهند و دوباره از ابتدا تجربه جدیدی را شروع کنند. اگر طراحی آزمایش‌ها جواب ندهد باید آزمایش مجددی طرح شود و اگر به نتیجه‌ای متفاوت از نتیجهٔ گروه دیگر رسیدند لازم می‌شود هر دو گروه، کار خود را بازبینی کنند. در مرحلهٔ سوم نتایج آزمایش‌ها در کلاس باید تجزیه و تحلیل شود و به یک نتیجه‌گیری نهایی بیانجامد. در مرحلهٔ چهارم دانش‌آموزان نتایج کار خود (یافته‌ها و درک جدید) را به گروه وسیع‌تری از مخاطبان اعلام می‌کنند.

در اینجا دو نتیجه نهایی وجود دارد : اول اینکه براساس موضوع موردنظر و ماهیت پژوهشی که طرح شده معلم ممکن است مراحل متفاوت دیگری پیشنهاد کند. دوم اینکه یک مرحله هیچ‌گاه همهٔ مراحل را شامل نمی‌شود. یعنی در این روش با یک گام نمی‌توان مسیر چندگام را پیمود.

یک چارچوب برای آموزش پژوهش محور می‌تواند به صورت مراحل پی‌درپی زیر باشد :

طرح پرسش، مناظره، مشارکت، ثبت، بازتاب دادن، به اشتراک گذاشتن، درگیرکردن و یا طرح پرسش‌هایی مثل :

مشکل من کجاست؟ پرسش من چیست؟ دانش من در این مورد چیست؟ چه چیز جالب است؟

طراحی و هدایت پژوهش در علوم

۱ **نقشه و طراحی** : پرسش من چیست؟ چه می‌خواهم بدانم؟ چگونه خواهم فهمید؟

۲ **اجرا** : چه مشاهده می‌کنم؟ آیا از ابزار درستی استفاده می‌کنم؟ تا چه اندازه جزئیات کار را ثبت می‌کنم؟

۳ **سازماندهی و تحلیل اطلاعات** : اطلاعات را چگونه سازماندهی کنم؟ چه الگویی می‌بینم؟ چه ارتباطی وجود دارد؟ این چه معنایی دارد؟

۴ **نتیجه‌گیری** : چه ادعایی می‌توانم ارائه کنم؟ چه شواهدی دارم؟ چه چیز دیگری باید بدانم؟

۵ **فرموله کردن یک پرسش جدید** : چه پرسشی از قبل هنوز بدون پاسخ مانده؟ چه پرسش تازه‌ای برایم طرح شده؟ چگونه می‌توانم بفهمم؟

۶ **نتیجه‌گیری نهایی** : از تمام پژوهش‌ها چه یاد گرفتیم؟ چه شواهدی برای پشتیبانی ایده‌هایمان داریم؟

۷ **تبادل نظر با مخاطبان دیگر** : من می‌خواهم به دیگران چه بگویم؟ چگونه بگویم؟ چه مواردی را باید حتماً بگویم؟

تذکر : یک واحد یادگیری یا بخشی از یک واحد یادگیری ممکن است پیش از رسیدن به نتیجه شامل چند مرحله آزمایش باشد. یک واحد یادگیری به ندرت ممکن است شامل همهٔ اجزای طراحی و انجام مراحل این نمودار باشد.

پرسشی که همواره مطرح است این است که : در پایه‌های مختلف دانش آموزان چه مفاهیم معینی را باید بیاموزند؟ انتظار چه سطحی از یادگیری منطقی است؟ چه اطلاعاتی اساسی است؟ پاسخ معمول به این پرسش‌ها به استانداردهای منطقه یا کشور مربوط می‌شود. اما به‌طور مشخص به‌ویژگی‌ها و پس‌زمینه‌های منطقه و نیز علایق معلم و دانش‌آموز وابسته است. به‌طور مثال موضوعات زیست‌محیطی (اکوسیستم) مورد علاقه همهٔ دانش‌آموزان است اما انتخاب یک سامانه زیستی خاص بستگی به منطقه مورد علاقه و محیط زندگی دانش‌آموز دارد. آیا دانش‌آموز نزدیک اقیانوس زندگی می‌کند یا پارکی در نزدیکی خانه و مدرسه وجود دارد؟ در موضوعات اجتماعی این فرایند می‌تواند در مدل رویدادها/ وقایع جاری در قالب مسئله‌های بازپاسخی که دانش‌آموزان قادر به بررسی و مطالعه آن در شرایط واقعی می‌باشند صورت گیرد.

اصول مهم رویکرد پژوهش‌محور چیست؟

آموزش پژوهش محور در کلاس‌های مختلف متفاوت است. موارد بسیار متعدد و متفاوتی برای سازگار کردن دانش، مهارت و علایق معلم و دانش‌آموزان وجود دارد. اما موارد مهمی در همهٔ آموزش‌های پژوهش محور مهم است. این روش‌ها برای اولین بار در حوزه علوم تجربی مطرح شد ولی بعداً با تعدیل‌هایی در سایر موضوعات درسی نیز مورد استفاده قرار گرفت. قابل ذکر است که آموزش پژوهش‌محور در حوزه‌های مختلف گام‌های متفاوتی دارد. برای مثال پژوهش در تاریخ یا برخی موضوعات اجتماعی گام تجربه مستقیم را ندارد و یا در علوم تجربی تجربه مستقیم هسته مرکزی آموزش علوم تجربی است.

در این رویکرد دانش‌آموز باید اولاً پرسش یا مسئله محوری کار را بداند و نسبت به آن احساس مالکیت کند، یعنی احساس کند پرسشی که طرح می‌کند پرسش خودش است. ثانیاً دانش‌آموزان لازم است که مهارت‌های مرتبط با حل مسئله در حوزه آموزشی ذی‌ربط را کسب کرده باشند. برای مثال در علوم تجربی برای اینکه دانش‌آموز بتواند پژوهش‌های علمی را انجام دهد باید مهارت‌هایی مانند مهارت مشاهده، مهارت کار با ابزار، طراحی آزمایش، توانایی در استدلال، تعامل با دیگران، نوشتن برای خود و برای دیگران و... را بیاموزد. این رویکرد در موضوعات تاریخی یا اجتماعی ناظر به‌مهارت کاوش تاریخی، تحلیل داده‌های تاریخی، درک الگوهای رفتاری، شناسایی شواهد معتبر، درک دیدگاه‌های دیگر، استنباط، مشاهده (مستقیم، غیرمستقیم، مشاهده مشارکتی) و... است که در قالب پروژه‌های خدماتی، تولیدی، کاوشگری مشارکتی اجرا می‌شود. در اجرای پروژه‌ها استفاده از منابع دست دوم آموزش تجارب دست اول را کامل می‌کند، علاوه بر آن یادگیری معمولاً حاصل یک فعالیت گروهی است.

اهمیت ملاحظات آموزشی در آموزش پژوهش‌محور

علاوه بر اصولی که در طراحی برنامه آموزش پژوهش محور لازم است درنظر گرفته شود موارد مهمی نیز در روش‌های آموزش باید لحاظ شود که به شرح زیر است :

- سازمان‌دهی کلاس (فضای فیزیکی کلاس)
- فرهنگ حاکم بر کلاس
- هنر بحث و گفت‌وگو
- استفاده از تجارب و ایده‌های قبلی دانش‌آموزان
- گفت‌وگوی گروهی
- هدایت دانش‌آموزان در یادداشت‌برداری / یادداشت گروهی، یادداشت کلاسی یا دفتر علوم

استراتژی‌های خاص در آموزش پژوهش‌محور

- هدایت دانش‌آموزان در هنگام طراحی تحقیق
- کمک به دانش‌آموزان در تحلیل حاصل کار برای رسیدن به یک نتیجه معتبر
- مقایسه و تقابل با «حقایق پذیرفته شده»
- سنجش تکوینی (مستمر و رشددهنده)

آموزش زمینه‌محور

زمینه محور بودن ویژگی است که در همهٔ انواع آموزش باید به دنبال آن باشیم. وقتی در رادیو، پزشکی از یک بیماری حرف می‌زند که ما یا یکی از عزیزانمان درگیر آن بیماری است، تمام هوش و حواسمان را به رادیو می‌دهیم تا از گفته‌های این پزشک چیزی یاد بگیریم که به کارمان می‌آید و شدیداً در زمان حال و یا آینده به آن نیاز داریم. چون گفته‌های پزشک در آن زمینه‌ای است که با زندگی ما در ارتباط است. این قاعده در تمام آموزش‌های رسمی هم جاری است.

هنگامی که می‌خواهیم مفهومی را در یک موضوع درسی آموزش دهیم، تأثیر تلاشمان دوچندان می‌شود. این امر زمانی تحقق می‌یابد که دانش‌آموزان بتوانند برای آنچه یاد می‌گیرند، دلیل و معنایی در محیط اطرافشان بیابند یا در یک جمله احساس کنند آنچه یاد می‌گیرند به زندگی آنان ارتباط دارد. همان‌طور که گفته شد این امر خاص دانش‌آموز نیست، بلکه هر یادگیرنده‌ای اگر برای آنچه می‌آموزد دلیلی در ارتباط با زندگی و محیط روزمره‌اش بیابد، بهتر یاد می‌گیرد.

هیچ نوع آموزشی نمی‌تواند در خلأ اتفاق بیفتد. هر آموزشی نیازمند بافت و زمینهٔ خاص خود است تا برای یادگیرنده معنادار شود. درست مثل اینکه رانندگی، خیاطی، مکانیکی و آشپزی یاد می‌گیریم تا از آنها استفاده کنیم، درس علوم تجربی نیز شامل محتوا، موضوع‌ها و مفاهیمی است که می‌تواند به محیط زندگی یادگیرنده وصل شود. این شیوه کار از ایده‌هایی که مفاهیم و موضوعات را در موقعیت‌های اصلی و واقعی آنها به‌کار می‌گیرد استفاده می‌کند و باعث می‌شود دانش‌آموزان حاصل یادگیری را به محیط واقعی زندگی بکشانند و از آن در عمل بهره بگیرند. شیوه یادگیری که به این ویژگی توجه خاص دارد آموزش «زمینه‌محور» خوانده می‌شود و می‌تواند بستر آموزش همهٔ موضوعات درسی قرار بگیرد.

ویژگی رویکرد زمینه‌محور

در رویکرد زمینه محور یا تماتیک، اصل این است که آموزش مفاهیم علمی در زمینه زندگی روزمره فراگیران اتفاق می‌افتد. این رویکرد از این بابت تماتیک نامیده می‌شود که تم‌ها (Themes) یا موضوع‌های مربوط به زندگی، زمینه آموزش قرار می‌گیرند و مفاهیم علمی در ارتباط با این موضوع‌ها طرح می‌شوند. در این فرایند فراگیران با موضوع احساس نزدیکی و آشنایی می‌کنند و انگیزه بیشتری برای یادگیری پیدا می‌کنند. زمانی که موضوع‌ها و زمینه‌های یادگیری دانش‌آموزان از بطن زندگی روزمرهٔ آنان اخذ می‌شود، آنان در فرایند یادگیری و در عمل با موضوع (Theme) درگیر می‌شوند و در ارتباط با آن موضوعات علمی آموخته‌های خود را به‌کار می‌گیرند و این به معنای به‌کارگیری و ارائهٔ علوم و موضوعات و مفاهیم علمی در موقعیت و مکان‌های آشنا و مناسب کودک است. به این ترتیب یادگیری برای آنان مفید و معنادار و به اصطلاح به درد بخور می‌شود. برای مثال یادگیری مفاهیمی در رابطه با اصطکاک زمانی مفید است که یادگیرنده مفاهیم را در قضاوت در مورد کفش مناسب پیاده‌روی، تایر مناسب برف برای ماشین، رفع مشکل دری که در باز و بسته شدن صدا می‌کند و یا موارد مرتبطی که با آن درگیر است بیاموزد.

این رویکرد بر این واقعیت تأکید دارد که یادگیری با شخصیت و احساساتی که مخاطب (فراگیر) از خود نشان می‌دهد ارتباط دارد.

در این فرایند تجربه‌های یادگیری از تعامل با محیط یادگیری کسب می‌شود و ساخت و ساز شخصی دانش هنگامی به واقع اتفاق می‌افتد که بین آنچه دانش‌آموز در زمان حال می‌داند و آنچه در ارتباط با محیط کسب می‌کند تعاملی روی دهد. (تأثیر زمینه و محیط بر یادگیری)

این رویکرد بسیاری از حوزه‌های برنامه درسی را، به هم پیوند می‌زند و یکپارچه می‌کند. در صورتی که این امر اتفاق بیافتد، آموخته‌های فراگیر پراکنده نیستند و از یک انسجام درونی برخوردار می‌شوند.

رویکرد زمینه محو یادگیری را به فرایندی لذت‌بخش، نشاط‌آور و پرفایده تبدیل می‌کند.

در رویکرد زمینه‌محور، معلم به وجوه مختلف و محیط‌های مختلف یادگیری (کلاس، آزمایشگاه، خانه، مزرعه گندم، زمین ورزش، آشپزخانه و غذاهای روزانه و ...) نظر دارد. این روش کار، به وی اجازه می‌دهد تا از محیط‌های یادگیری متنوعی استفاده کند (اجتماعی، فرهنگی، فیزیکی و روحی) که دستیابی به پیامدهای یادگیری را ممکن می‌سازد.

آموزش زمینه‌محور اهمیت و لزوم یادگیری را به‌فراگیر می‌چشاند. معلم مفاهیم را با مثال و مصداق‌هایی که از محیط زندگی فراگیر می‌گیرد آموزش می‌دهد، برای مثال در علوم تجربی در موضوع‌هایی مثل جانور، گیاه، آهن‌ربا، آب و خاک و سنگ و مثال‌های مربوطه از محیط زندگی دانش‌آموز گرفته می‌شود و در همان فضا پرورش می‌یابد. به عنوان مثال وقتی از جانوران و یا گیاهان صحبت می‌کند تا دانش فراگیر را در این زمینه‌ها زیادتر کند، جانور برای کودک آشناست و مثال‌ها از خود دانش‌آموز و در ارتباط با محیط آشنای او آورده می‌شود و در نهایت حاصل کار و تعامل دانش‌آموزان با یکدیگر و با معلم، فراگیر را به درک دانشی می‌رساند که خود در تعامل با محیط زندگیش کسب کرده است، متناسب با نیازهای اوست و امری و از بالا به پایین نیست.

اعتقاد بر این است که این شیوه یادگیری باعث می‌شود تا فراگیر آموزش را به محیط عادی و روزمرهٔ زندگی خود بکشاند. بدیهی است زمانی که فراگیر بین آموخته‌ها و نیازهای روزمره ارتباط تنگاتنگی می‌بیند انگیزه یادگیری او بیشتر شود، میزان مشارکت وی در فرایند یادگیری زیادتر و دامنه آموخته‌های وی وسیع‌تر می‌شود.

رویکرد زمینه محور از مهارت‌هایی که در رویکرد فرایند محور مورد تأکید است و یا روش‌هایی که در رویکرد پژوهش محور استفاده می‌شود بهره می‌جوید و نه تنها مغایرتی با این روش‌ها ندارد بلکه بر پرورش توانایی‌هایی که مورد تأکید رویکرد پژوهش‌محور یا مهارت‌محور است، نیز تمرکز دارد، و آنها را به‌کار می‌گیرد تا یادگیری را برای یادگیرنده معنادار، مرتبط با زندگی روزمره وی و کاربردی کند.

به‌طور خلاصه آموزش زمینه‌محور

- ارتباط فراوان با زندگی فراگیران دارد.
- انسجام درونی دارد، یکپارچه و مرتبط با هدف‌های آموزشی است، اهداف نگرشی، مهارتی و دانشی در محیطی اجتماعی و خلاق در یک زمینه آموزشی یکپارچه می‌شوند.
- قابلیت عمیق شدن دارد : در یک زمینه آموزشی به‌جای درگیر شدن با گستره یک موضوع، به عمق آن می‌پردازد تا یادگیری مؤثر و پربازده شود.
- نقاط اتصال خوبی به موضوع‌های مختلف دارد : این نقاط اتصال از یک‌سو پوشش به حوزهٔ محتوایی آموزش را دربر می‌گیرد و از سوی دیگر به خواست‌های برنامه درسی ملی و دیگر اسناد بالادستی و انتظارات سازمان‌ها و نهادهای گوناگون توجه می‌کند و درعین حال لازم است به ظرفیت متقابل حوزه‌های یادگیری مثل زبان، مطالعات اجتماعی، خلاقیت و هنر، دین و اخلاق عنایت داشته باشد و با حوزه‌های یادگیری مشترک بین دروس اتصال داشته باشد.

فعالیت‌های آموزش زمینه‌محور

با توجه به ویژگی آموزش زمینه‌محور هر فعالیتی که پیشنهاد می‌کنید باید دارای ویژگی‌های زیر باشد :

- در ارتباط با زندگی روزمره دانش‌آموز باشد (رویکرد مسئله محور) (مثال : مشکل کم‌آبی/ محیط زیستی/ انرژی/ آلودگی صوتی/ تصادفات جاده‌ای/ و ...).
- قابل تجربه و آزمایش باشد، به دانش‌آموز کمک کند تا با بروز خلاقیت‌های خود، کشف کند، اختراع کند و به ایده‌های نو بیندیشد. این فعالیت‌ها قلب یادگیری مفهومی هستند.
- کاربرد داشته باشد، مفاهیم و اطلاعاتی که نهادینه شده است دانش‌آموز را به تصور یک آینده مجازی می‌کشاند (ارتباط بین نظریه و عمل).
- تا حد امکان دانش‌آموز را به کار گروهی تشویق کند. یادگیری مشارکتی و تعاملی مقدمه یادگیری مفهومی پایدار است (یادگیری مشارکتی) (انجام پژوهش‌ها و یا جمع‌آوری اطلاعات به‌صورت گروهی و تعامل در مورد یافته‌ها و تجزیه و تحلیل آنها).
- از نتایج آموخته‌ها استفاده کند. به عبارت دیگر موقعیت‌های جدیدی فراهم کند که دانش‌آموز بتواند آموخته‌ها را در آن موقعیت‌ها نیز به‌کار گیرد (پژوهش علم در عمل) (مثال : انجام فعالیت‌هایی در مدرسه یا خانه برای حفاظت از آب/ جلوگیری از آلودگی آب/ صرفه‌جویی در مصرف آب/ ...)

پرسش‌هایی که در آموزش زمینه‌محور باید به آن پاسخ داد

- در هنگام برنامه‌ریزی برای تدریس پرسش‌های زیر می‌تواند میزان پای‌بندی به هدف‌های آموزش زمینه‌محور را ارزیابی کند. بدیهی است هرچه تعداد پاسخ‌های مثبت بیشتر باشد آموزش به رویکرد زمینه‌محور نزدیک‌تر است.
- آیا مفاهیمی که آموزش می‌دهید از محیط زندگی دانش‌آموز گرفته شده است؟ به عبارتی برای وی آشنا است؟
- مثال‌ها از زندگی روزمره دانش‌آموز گرفته شده است؟
- مفاهیم براساس دانش فعلی دانش‌آموز بنا نهاده شده است؟
- مثال‌ها و تمرین‌ها شامل موقعیت‌های حل مسئله واقعی است که دانش‌آموز با آنها آشناست/ درگیر است؟
- مثال‌ها و تمرین‌ها نگرشی در دانش‌آموز برای اینکه بگوید «من باید این را یاد بگیرم» ایجاد می‌کند.
- آیا دانش‌آموزان خودشان اطلاعات را جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل می‌کنند تا مفاهیم را بیاموزند؟
- آیا به دانش‌آموزان فرصت داده می‌شود تا اطلاعاتی را که جمع‌آوری کرده‌اند تجزیه و تحلیل کنند؟
- آیا فعالیت‌های آموزشی، دانش‌آموزان را به‌کاربرد مفاهیم و اطلاعات در زمینه‌های مفید و مرتبط با زندگی‌شان مثل تصور آینده (مثل آینده شغلی) و مکان‌های ناآشنا (مثل محیط‌های کاری و کارگاه‌ها) تشویق می‌کند؟
- آیا دانش‌آموزان به کار در گروه‌های تعاملی که طی آن گفت‌وگوهای مهم درمی‌گیرد و ایده‌ها رد و بدل می‌شوند و تصمیم‌گیری می‌شود شرکت می‌کنند؟
- آیا درس‌ها، تمرین‌ها و آزمایش‌ها توان خواندن و نوشتن و مهارت‌های ارتباطی دیگر، به غیر از استدلال‌های علمی را پرورش می‌دهد؟

یادگیری پدیده محور[۱]

در علوم تجربی، پدیده‌های بسیاری هستند که درک آنها در نگاه اول دشوار است. معمولاً کتاب‌های درسی فیزیک به‌گونه‌ای نوشته می‌شوند که ابتدا نظریه‌ها، که همان بیان ریاضی است. طرح می‌شوند و برهان‌ها، استدلال‌ها و کاربردها در مرحله بعدی ارائه می‌شوند. در این رویکرد برعکس این روش، هدف این است که ابتدا دانش‌آموزان وقوع یک پدیدهٔ فیزیکی را مشاهده کنند و سپس به قدر کافی کنجکاو شوند که بخواهند بدانند : «چرا چنین چیزی رخ داده است؟» دانش‌آموزان با ابزارها و وسیله‌های ساده‌ای آزمایش می‌کنند و از جنبه‌های مختلف به آن فکر می‌کنند.

درک کامل یک مفهوم، می‌تواند گام‌های متعددی داشته باشد، که هرگام شناخت عمیق‌تری از آن موضوع و مفهوم را فراهم می‌کند. در بعضی موارد، لازم است دانش‌آموزان پژوهش‌های بیشتری انجام دهند تا برخی مفهوم‌ها و عبارت‌ها را درک کنند. درست مثل دانشمندان واقعی، می‌توانند از دیگر همکلاسی‌هایشان نیز کمک بگیرند (یا به آنها کمک کنند). رویکرد PBL به آموزش فیزیک، برمبنای کنجکاوی و نوآوری و گشودن راهی شوق‌انگیز و سرگرم‌کننده برای یادگیری فیزیک است.

در رویکرد پدیده محور (PBL) یادگیری بر مبنای مشاهدهٔ پدیده‌های جهان واقعی انجام می‌گیرد. این شیوه همچنین از راهنمایی‌های همکلاسی‌ها یا اعضای گروه سود می‌برد و پژوهش‌ها نشان می‌دهد در مقایسه با آموزش به شیوهٔ سنتی و متعارف، یادگیری بیشتری به دنبال دارد. در یادگیری پدیده محور، دانش‌آموزان به‌طور گروهی دست به فعالیت و کاوش می‌زنند : فعالیت‌ها و تمرین‌ها در گروه انجام می‌شوند و نتیجه‌گیری‌های دانش‌آموزان از مشارکت گروهی برمی‌آیند. معلم، گروه‌ها را تشویق و راهنمایی کرده و در انتها، نتیجه‌ها را راست‌آزمایی و تأیید می‌کند. در یادگیری پدیده محور، مفهوم‌ها و پدیده‌ها از زوایای متفاوتی بررسی می‌شوند که هرکدام، تکه‌ای از پازلی هستند که سرانجام تصویر بهتری از آنچه که در واقع رخ می‌دهد، در اختیار دانش‌آموزان می‌گذارد.

یادگیری پدیده محور، یک شیوهٔ آموزشی مستقل نیست؛ بلکه روشی است که می‌تواند تصویر کامل‌تری از پدیده‌ها در اختیار ما بگذارد. روش PBL شامل اجزایی است که ممکن است آنها را در شیوه‌های آموزشی دیگری همچون یادگیری مبتنی بر کاوشگری، حل مسئله یا پروژه محور که با فعالیت‌های عملی ساده همراه شده باشند نیز دیده باشید. در آموزش فیزیک به شیوهٔ سنتی خیلی عادی است که یک پدیده را به بخش‌های کوچک و جداگانه تقسیم کنیم و هر بخش را به‌طور جدا از هم بررسی کنیم، به‌طوری که ارتباطی بین آنها مشاهده نشود. در رویکرد PBL مرزهای مصنوعی بین پدیده‌ها ترسیم نمی‌کنیم. در عوض، سعی می‌کنیم به پدیده فیزیکی به‌طور کلی نگاه کنیم.

یادگیری پدیده محور، متفاوت از یادگیری پروژه‌محور یا یادگیری حل مسئله است. در یادگیری پروژه محور، به دانش‌آموز پروژه‌ای داده می‌شود که دربرگیرندهٔ زمینه‌ای برای یادگیری است. مشکل این روش این است که دانش‌آموز صرفاً از روی کنجکاوی روی این پروژه کار نمی‌کند، بلکه به‌خاطر اینکه معلمش از او خواسته است این پروژه را انجام می‌دهد. برای اینکه اجرای پروژه صرفاً به عنوان یک تکلیف یا یافتن پاسخی برای یک پرسش یا مسئله دیده نشود، از یادگیری پدیده محور استفاده می‌کنیم تا کنجکاوی ذاتی دانش‌آموزان، انگیزه‌ای برای یادگیری آنها شود. در این رویکرد، دانش‌آموزان با مشاهدهٔ یک پدیده جالب، نه‌تنها علاقه‌مند به دانستن دربارهٔ اتفاقی می‌شوند که رخ می‌دهد، بلکه درگیر حل یک مسئله یا یافتن پاسخ یک پرسش نیز می‌شوند. این روشی کارآمد و اثربخش است، چون علاقه و انگیزه تنها از محتوا ایجاد نمی‌شود، بلکه با کشف جذابیت‌های نهفته در یک پدیده توسط دانش‌آموزان به‌وجود می‌آید. مشاهدهٔ یک پدیده توسط دانش‌آموزان، همواره جالب‌تر و به‌یادماندنی‌تر از خواندن مفاهیم و نظریه‌ها دربارهٔ یک موضوع یا مسئله است.

هدف یادگیری پروژه محور این است که دانش‌آموزان محصولی را تولید کنند؛ مطلبی را ارائه دهند یا عملکردی را به نمایش

این قسمت، از مقدمه کتاب «آموزش فیزیک با رویکرد پدیده‌محور، انتشارت مدرسه، ۱۳۹۶» برگرفته شده است.

۱. Phenomeno Based Leavning (PBL)

بگذارند. درحالی که در یادگیری پدیده محور، چنین الزامی وجود ندارد و دانش‌آموزان به سادگی از کاوش و کشف لذت می‌برند. این ماهیت علم است و منطبق بر فلسفهٔ استانداردهای علمی نسل آینده[۱] است. به‌جای اینکه دانش‌آموزان فقط حقایق و مفاهیمی را حفظ کنند که به سرعت فراموش می‌شوند، علم را به‌صورت واقعی درک می‌کنند. آنها درگیر کار گروهی، بحث و گفت‌وگو و تفکر نقادانه می‌شوند. از این طریق دانش‌آموزان درک عمیق‌تری از مفاهیم و نظریه‌های علمی به‌دست می‌آورند و کاربرد واقعی آنها را می‌بینند و این درست همان چیزی است که در استانداردهای علمی نسل آینده (NGSS) درنظر گرفته‌اند.

هدف یادگیری پدیده محور، فعال کردن ذهن دانش‌آموزان با مشاهدهٔ برخی پدیده‌ها و بحث و گفت‌وگوی گروهی بین آنهاست. در بیشتر موارد عملکرد یک وسیله یا ابزار، به معلمان کمک می‌کند تا کج‌فهمی‌های دانش‌آموزان را نیز بیابند. توجه مستقیم به کج‌فهمی‌ها مهم است، زیرا اگر این کج‌فهمی‌ها در فرایند آموزش اصلاح نشوند بسیار ماندگارند و در جاهای دیگر دانش‌آموزان از آنها استفاده می‌کنند و سبب درک و قضاوت نادرست آنها می‌شوند. معمولاً یک روش مؤثر برای اصلاح کج‌فهمی‌ها و باورهای نادرست دانش‌آموزان، حل مسائل، آزمایش کردن، اندیشیدن و بحث گروهی است تا سرانجام بتوانند خودشان به این نتیجه برسند که کج‌فهمی‌ها و باورهای نادرست با آنچه در دنیای واقعی مشاهده می‌کنند، منطبق نیست.

همچنین باید توجه داشته باشیم که دانش‌آموزان نمی‌توانند به تنهایی تمامی مفهوم‌ها و قانون‌های فیزیک را از نو بسازند، مگر اینکه خوش شانس باشید و یکی از شاگردان شما نیوتون یا اینشتین بعدی باشد! بدون تردید، دانش‌آموزان به حمایت، آموزش و راهنمایی نیاز دارند. دانش‌آموزان در حین آزمایش و یادگیری به بحث‌های کیفی (برای ساختن مفهوم‌ها) و بحث‌های کمی (برای آموزش فرایند اندازه‌گیری و انجام محاسبه‌های مفید) نیاز دارند. سروکار داشتن با هردوی اینها، ماهیت علم فیزیک را نمایان می‌سازد.

هدف اصلی این رویکرد، بر اندیشه‌ورزی بیشتر دانش‌آموزان و سخنرانی کمتر معلم استوار است. افزون بر این، به‌خاطر داشته باشیم که فرایند اندیشه‌ورزی و یادگیری، نوعی رقابت نیست. برای یادگیری و درک واقعی یک نظریه، لازم است دانش‌آموزان وقت کافی بگذارند و فکر کنند و... باز هم بیشتر فکر کنند. بنابراین مطمئن شوید که برای فرایندهای شناختی وقت کافی به آنها داده‌اید. برای مثال، یک آزمایش تنها در دو ثانیه مشاهده می‌شود اما برای اینکه دانش‌آموزان دربارهٔ این پدیده بیندیشند و آن را درک کنند، لازم است دربارهٔ مفاهیم فیزیکی با دیگر اعضای گروه بحث کنند، با استفاده از «زبان فیزیک» تمرین کنند و به درک عمیقی از این پدیده برسند که ممکن است ۲۰ دقیقه به‌طول بیانجامد. در طول این مدت دانش‌آموزان می‌توانند به موقعیت‌های واقعی زندگی که این پدیده در آن نقش اساسی دارد، فکر کنند. پس از آن می توان این نمونه‌ها را برای بحث کلاسی در کل کلاس مطرح کرد.

همچنین پی‌خواهید برد که پرسش‌ها یا آزمون‌های معمول در این روش وجود ندارد. راه‌های دیگری برای ارزیابی دانش‌آموزان در فعالیت‌ها وجود دارند؛ به‌عنوان مثال : اول، دقت کنید که تأکید روی پاسخ «درست» دادن نیست. معلمان نباید به پرسش‌ها پاسخ دهند و به اصطلاح راه میان‌بر به‌دانش‌آموزان نشان دهند ــ این کار به دانش‌آموزان فرصت نمی‌دهد بفهمند علم واقعاً چگونه کار می‌کند. هنگام نگاه کردن به پاسخ‌های دانش‌آموزان، نکته‌های زیر را درنظر بگیرید : آیا دانش‌آموزان بر مبنای شواهد نتیجه‌گیری می‌کنند؟ آیا نظر خود را با دیگر دانش‌آموزان گروه درمیان می‌گذارند؟ حتی اگر دانش‌آموزی نظر اشتباهی دارد، اگر دلایل و شواهدی برای اثبات نظر اشتباه خود دارد، رویکرد درستی را دنبال می‌کند. پس از اینکه تمام اعضای یک گروه باهم توافق کردند و به شما می‌گویند چه اتفاقی رخ خواهد داد، می‌توانید شک یا پرسش خود را در مورد توضیح دانش‌آموزان مطرح کنید و از آنها بخواهید دلیل خود را شرح دهند یا اینکه دربارهٔ آن بیشتر بحث کنند. مشارکت دانش‌آموزان به‌عنوان پژوهشگران علمی و توانایی آنها در ارائه دلیل‌ها برای توجیه خود، شاخصی کلیدی در درک درست دانش‌آموزان از فرایند علم است.

رویکرد PBL دانش‌آموزان را برای ثبت و نوشتن آنچه در فعالیت‌ها رخ می‌دهد، تشویق می‌کند. دانش‌آموزان باید نحوهٔ انجام

---

۱. Next Generation Science Standards (NGSS)

آزمایشی را که درگیر آن هستند (که ممکن است دربین گروه‌ها متفاوت باشد)، نظرات خود دربارهٔ پدیده‌ای که دربارهٔ آن در حال تحقیق‌اند (از جمله نظرات درست و نادرست)، کدام آزمایش‌ها و مشاهده‌ها نشان داده‌اند که نظرات نادرست، اشتباده بودند و همچنین پاسخ‌هایی که به پرسش‌های هر پژوهش و آنچه که در نتیجهٔ این پژوهش آموخته‌اند را بنویسند. ممکن است دانش‌آموزان بخواهند ویدیویی از این آزمایش تهیه کنند. از این ویدیو به عنوان مرجعی برای کارهای بعدی و همچنین برای نشان دادن به اعضای خانواده و دوستان می‌توانند استفاده کنند. این عالی نیست که دانش‌آموزان بیرون از کلاس درس دربارهٔ علوم صحبت کنند؟

پاسخ برخی از پرسش‌هایی که از دانش‌آموزان پرسیده می‌شود دشوار است. اینجا دوباره دانش‌آموزان حسی از قلمرو ثبت نشده کشفیات در دانشمندان واقعی را حس می‌کنند. یک دانش‌آموز ممکن است توضیح نادرستی ارائه دهد. دیگر دانش‌آموزان گروه ممکن است اصلاحاتی را پیشنهاد کنند یا اگر کسی این کار نکند، آزمایش‌های بیشتر با راهنمایی معلم ممکن است آنها را به مسیر درست هدایت کند. دانش‌آموزان درست مانند دانشمندان می‌توانند برای اینکه ببینند دیگران دربارهٔ پدیدهٔ موردنظر می‌دانند، پژوهش (امروزه از طریق اینترنت) انجام دهند. بنابراین راه‌های بسیاری برای برطرف کردن کج‌فهمی‌ها وجود دارد که برعکس در اختیار گذاشتن پاسخ پرسش، منجر به درک عمیق‌تر می‌شود. راهنمایی معلم می‌تواند شامل در اختیار گذاشتن ایده‌هایی دربارهٔ آنچه که هنگام انجام آزمایش باید مشاهده کنند و دادن مثال‌هایی برای شرایط دیگر که در آنها پدیده مشابهی رخ می‌دهد، باشد. اگرچه بسیاری از ایده‌های نادرست در بحث‌های گروهی ماندگار نخواهند ماند؛ اما معلم باید فعالانه بحث‌های گروهی را تحت نظر بگیرد و اطمینان حاصل کند که دانش‌آموزان از مسیر اصلی چندان دور نشده‌اند و در مسیر دستیابی به درک بیشتر هستند. تحلیلی از فیزیک نهفته در هر فعالیت را برای تمرکز راهنمایی‌های شما در اختیارتان قرار داده‌ایم.

نخست با کشف و در قدم بعدی رسیدن به درک نظری، دانش‌آموزان مانند دانشمندان واقعی کار می‌کنند. هنگامی که دانشمندان روی یک پدیده جدید کار می‌کنند، ابتدا با تبیین روبه‌رو نمی‌شوند و باید خودشان به این تبیین برسند. و این دقیقاً چیزی است که دانش‌آموزان در PBL انجام می‌دهند دانشمندان به‌طور گسترده‌ای با یکدیگر همکاری می‌کنند؛ و این همان کار گروهی است که دانش‌آموزان در اینجا انجام می‌دهند. تمامی واژه‌ها و مفهوم‌ها به تفصیل شرح داده نشده‌اند؛ هدف این کتاب شرح و توضیح نیست. دانش‌آموزان مانند دانشمندان واقعی می‌توانند اطلاعاتی را که لازم دارند، در یک کتاب مرجع فیزیک پیدا کنند. چیزی که ما ارائه داده‌ایم، رویکرد PBL است که در آن دانش‌آموزان ابتدا یک موضوع را کشف می‌کنند و برانگیخته می‌شوند تا رویکردهای خلاقانه‌ای را برای رسیدن به پاسخ‌ها پیگیری کنند و در این میان لذت هم ببرند.

آموزش به روش طراحی معکوس

در روش طراحی معکوس ابتدا پیامدهای آنچه قرار است آموزش داده شود مشخص می‌گردد. تعیین پیامدها برای روشن شدن مسیری که دانش‌آموز باید طی کند بسیار مهم است و نگاه معلم را همواره بر پیامد متمرکز نگاه می‌دارد. پیامد و یا اهداف معمولاً در چارچوب «ایده کلیدی» مطرح می‌شوند و این باعث می‌گردد تا معلم از محدودهٔ توجه به حافظه و به عبارتی «آموزش برای به‌خاطر سپردن» کاملاً خارج شود و همواره بر تحقق اهداف در قالب پیامدها متمرکز بماند. درصورت طی این مسیر، دانش‌آموزان قادر خواهند بود، بین اطلاعات جدید و دانش و آموخته‌های پیشین خود ارتباط برقرار کنند، واقعیت‌ها و حقایق را به «مسائل کلی» و روزمره‌ای که با آن برخورد می‌کنند پیوند دهند و آموخته‌های خود را در زمینه‌های جدید به‌کار گیرند. به این منظور باید در روند و پایان آموزش به‌سه سؤال زیر پاسخ داد :

۱ ایده‌های کلیدی، مفاهیم اساسی، مهارت‌هایی که دانش‌آموزان باید به آن دست یابند، کدام‌اند؟

۲ چه مدارک و شواهدی بیانگر آن است که پیامدها تحقق یافته و دانش‌آموزان به راستی مطالب اصلی را فراگرفته‌اند و می‌توانند

آموخته‌های خود را به نحوی معنادار و مؤثر در موقعیت‌های جدید به‌کار گیرند؟

۳ چه راهبردها و راهکارهایی (فعالیت‌های یادگیری، تکالیف عملکردی) به دانش‌آموزان کمک خواهد کرد تا خود مفاهیم را بسازند و به افرادی صاحب دانش و توانمند در زمینه‌ای خاص تبدیل شوند.

روش طراحی معکوس ضمن بهره‌گیری از انواع راهبردهای ذکر شده، فرایند یاددهی ــ یادگیری را با پاسخ به سه پرسش فوق دنبال می‌نماید. در این شیوه کار، در فرایند یاددهی ــ یادگیری باید موقعیت‌هایی ایجاد شود که در آنها دانش‌آموزان پرسش هدفدار و مرتبط طرح کنند، راه‌کارهایی برای حل مسئله ارائه دهند و در مورد اینکه چگونه به نتیجه موردنظر می‌رسند، توضیح دهند.

طراحی معکوس مبتنی بر درک اصیل[۱] و استفاده عقلانی و مؤثر از آموخته‌ها است، به‌گونه‌ای که ما را به آن‌سوی آنچه می‌بینیم و استفاده از ایده‌های کلیدی برای ساخت معنا هدایت کند. از این منظر درک یک پدیده «دیدن آن پدیده در ارتباط با سایر پدیده‌ها، توجه به شیوه کارکرد، نتایج و علل آن، مدل‌ها و ارائه توضیحات مؤثر است».

ارزشیابی از آموخته‌های دانش‌آموزان

از آنجایی که ارزشیابی از درس جزئی از مراحل آموزش و یادگیری است روش‌های ارزشیابی پیشنهادی زیر که توسط بیشتر معلمان در کلاس نیز اجرا می‌شود می‌تواند در ارزشیابی آنچه که دانش‌آموزان در هر جلسه و کل جلسات درس در طول سال یاد گرفته‌اند مفید واقع شود.

۱ **ارائه آموخته‌ها و گزارش فعالیت‌ها** : دانش‌آموزان با برنامه‌ریزی معلم می‌توانند بعضی آموخته‌های خود را به‌صورت سمینار در کلاس ارائه دهند یا نتایج انجام فعالیت‌های کتاب را که قرار است گزارش آن را تهیه کنند به‌صورت‌های مختلف در کلاس ارائه دهند. این ارائه می‌تواند به‌صورت پرده‌نگار، پوستر، روزنامه‌دیواری یا مقاله نوشته شده باشد. معلم با درنظر گرفتن موارد مختلف ارزیابی خود را از ارائه دانش‌آموز به‌صورت فهرست وارسی تهیه کرده و جمع‌بندی آن را در دفتر ثبت نمرات وارد می‌کند.

۲ **مشاهدهٔ کارهای عملی دانش‌آموزان** : در حین برگزاری آزمایش یا انجام فعالیت‌ها به‌صورت فردی یا گروهی ضمن درنظر داشتن میزان فعالیت دانش‌آموزان، چک‌لیست‌هایی نیز تهیه می‌شود که در حین برگزاری آزمایش و پس از آن پرشده و مطابق آنها نمراتی به دانش‌آموز تعلق می‌گیرد که در دفتر ثبت نمرات ثبت می‌شود.

۳ **پرسش کلاسی** : در هر جلسه بخشی از وقت کلاس به آن اختصاص داده شود و در آن از مباحث تدریس شده یا ارائه شده توسط دانش‌آموزان در جلسهٔ گذشته سؤالاتی به صورت شفاهی از تعدادی از دانش‌آموزان پرسیده شود. با توجه به پاسخ و میزان آمادگی و آشنایی دانش‌آموز، نمره‌ای به آن داده می‌شود که توسط معلم در دفتر ثبت نمرات ثبت می‌شود.

۴ **آزمونک** : بدون اطلاع دانش‌آموزان، می‌توان آزمون‌های کتبی کوتاهی را برگزار کرد که در آن به دو یا سه سؤال مطرح شده، پاسخ دهند. نمرهٔ کسب شده در این آزمونک‌ها نیز در دفتر ثبت نمرات ثبت می‌گردد.

۵ **آزمون پایان فصل** : پس از اتمام هریک از فصل‌های کتاب با هماهنگی دانش‌آموزان می‌توان آن را برگزار کرد که به‌صورت کتبی طراحی و در مدت زمان مشخص شده‌ای برگزار می‌گردد که این نمره نیز در دفتر ثبت می‌شود.

۶ **نمرهٔ مستمر دانش‌آموزان** : با جمع‌بندی نمرات شفاهی، آزمونک، پایان فصل، مشاهدهٔ کار عملی، ارائه دانش‌آموز و ...، همراه با نظر دبیر در مورد دانش‌آموز که در طول سال تحصیلی به‌دست آمده است، نمره‌ای به عنوان مستمر اول و دوم در کارنامه، ثبت می‌شود که حداکثر آن ۲۰ نمره است.

۷ **امتحان میان سال و پایان سال** : مطابق با بارم‌بندی پیشنهادی دفتر از بخش‌هایی از کتاب، آزمونی ۲۰ نمره‌ای طراحی و طبق برنامه و زمان مشخص شده، اجرا می‌شود که پس از تصحیح اوراق، نمرهٔ کسب شدهٔ دانش‌آموز به عنوان نمرهٔ میان سال و پایان سال در کارنامه، ثبت می‌شود.

---

۱. Genuine understanding

بارم‌بندی فیزیک ۱ پایه دهم رشته علوم تجربی ــ سال تحصیلی ۹۶ ــ ۱۳۹۵

فصل	نوبت اول		نوبت دوم		شهریور		
	محتوای نظری	فعالیت و آزمایش	محتوای نظری	فعالیت و آزمایش	فصل	محتوای نظری	فعالیت و آزمایش
اول	۵	۲	۱/۷۵	۰/۵	اول	۲/۷۵	۱
دوم	۸	۱	۲/۵	۰/۵	دوم	۴	۰/۵
سوم (تا ابتدای بخش ۳ـ۴ صفحه ۷۲)	۳	۱	۱/۲۵	۰/۵	سوم	۳/۵	۱/۲۵
سوم (از ابتدای بخش ۳ـ۴ تا پایان فصل)	ــ	ــ	۳	۱			
چهارم	ــ	ــ	۷/۵	۱/۵	چهارم	۵/۷۵	۱/۲۵
جمع	۱۶	۴	۱۶	۴	جمع	۱۶	۴
	۲۰		۲۰			۲۰	

۱ لازم است ۲۰ درصد نمرهٔ هر آزمون (۴ نمره) به ارزشیابی از بخش‌های مربوط به فعالیت‌ها و آزمایش‌های کتاب درسی و همچنین طراحی آزمایش اختصاص داده شود.

۲ نمرهٔ هر فصل حداکثر می‌تواند تا ۰/۵ نمره نسبت به جدول بالا تغییر کند.

۳ در طراحی پرسش یا مسئله از بخش ۱ــ۵ (اندازه‌گیری : خطا و دقت) توصیه می‌شود طرح یا تصویری از وسیلهٔ اندازه‌گیری (مدرج یا رقمی) داده شود تا دانش‌آموزان براساس جزئیات آن ابزار به ارائه گزارش بپردازند.

۴ از مطالب مربوط به خوب است بدانید، زندگینامهٔ دانشمندان و تاریخ علم، نتایج فعالیت‌های تحقیقی، واژه‌نامه و مواردی که در پاورقی برخی از صفحه‌های کتاب اشاره شده است نباید پرسش یا مسئله‌ای در آزمون‌ها طراحی شود.

۵ افزون بر موارد بالا، هنگام طراحی آزمون به نکات مندرج در هر بخش از راهنمای معلم نیز توجه شود.

بارم‌بندی فیزیک ۱ پایه دهم رشته ریاضی و فیزیک ــ سال تحصیلی ۹۶ ــ ۱۳۹۵

فصل	نوبت اول		نوبت دوم		شهریور	
	محتوای نظری	فعالیت و آزمایش	محتوای نظری	فعالیت و آزمایش	محتوای نظری	فعالیت و آزمایش
اول	۴	۱/۵	۱/۲۵	۰/۵	۲	۱/۲۵
دوم	۶	۰/۵	۲	۰/۲۵	۳/۲۵	۰/۲۵
سوم	۶	۲	۲/۲۵	۰/۷۵	۳	۱
چهارم	ــ	ــ	۶	۱/۷۵	۴/۵	۱
پنجم	ــ	ــ	۴/۵	۰/۷۵	۳/۲۵	۰/۵
جمع	۱۶	۴	۱۶	۴	۱۶	۴
	۲۰		۲۰		۲۰	

۱ لازم است ۲۰ درصد نمرهٔ هر آزمون (۴ نمره) به ارزشیابی از بخش‌های مربوط به فعالیت‌ها و آزمایش‌های کتاب درسی و همچنین طراحی آزمایش اختصاص داده شود.

۲ نمرهٔ هر فصل حداکثر می‌تواند تا ۰/۵ نمره نسبت به جدول بالا تغییر کند.

۳ در طراحی پرسش یا مسئله از بخش ۱ــ۵ (اندازه‌گیری : خطا و دقت) توصیه می‌شود طرح یا تصویری از وسیلهٔ اندازه‌گیری (مدرج یا رقمی) داده شود تا دانش‌آموزان براساس جزئیات آن ابزار به ارائه گزارش بپردازند.

۴ از مطالب مربوط به خوب است بدانید، زندگینامهٔ دانشمندان و تاریخ علم، نتایج فعالیت‌های تحقیقی، واژه‌نامه و مواردی که در پاورقی برخی از صفحه‌های کتاب اشاره شده است نباید پرسش یا مسئله‌ای در آزمون‌ها طراحی شود.

۵ افزون بر موارد بالا، هنگام طراحی آزمون به نکات مندرج در هر بخش از راهنمای معلم نیز توجه شود.

بخش ۲

راهنمای تدریس فصول

فصل ۱

فیزیک و اندازه‌گیری

فیزیک : دانش بنیادی ۱ـ۱
مدل‌سازی در فیزیک ۱ـ۲
اندازه‌گیری و کمیت‌های فیزیکی ۱ـ۳
اندازه‌گیری و دستگاه بین‌المللی یکاها ۱ـ۴
اندازه‌گیری : خطا و دقت ۱ـ۵
تخمین مرتبه بزرگی در فیزیکی ۱ـ۶
چگالی ۱ـ۷
پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۱

پیامدها

دانش‌آموزان با درک مفاهیم اساسی در مورد فیزیک و اندازه‌گیری به این شناخت می‌رسند که :

- فیزیک علمی تجربی است و اندازه‌گیری در آن اهمیت زیادی دارد.
- می‌توان پدیده فیزیکی را به‌طور کمی توسط کمیت‌های فیزیکی توصیف کرد.

چه شناختی مطلوب است؟

- برای بیان پدیده‌های فیزیکی از قانون‌ها، اصول و مدل‌ها استفاده می‌شود.
- قانون‌ها و اصول و نظریه‌های فیزیکی با توجه به آزمایش‌های جدید ممکن است دستخوش تغییر و یا حتی جایگزینی توسط نظریه‌ها و قانون‌های جدیدی شوند.
- کمیت‌های فیزیکی به دو صورت نرده‌ای و برداری هستند.
- هر اندازه‌گیری همراه با خطا است و دقت اندازه‌گیری در هربار اندازه‌گیری با توجه به ابزار اندازه‌گیری تعیین می‌شود.

چه پرسش‌هایی اساسی است و باید در نظر گرفته شوند؟

- آیا نظریه‌های فیزیکی در طول زمان ثابت‌اند؟
- چرا از مدل‌سازی برای بررسی پدیده‌های فیزیکی استفاده می‌کنیم؟
- تفاوت کمیت‌های فیزیکی (نرده‌ای و برداری) در چیست؟
- دقت ابزار اندازه‌گیری چگونه تعیین می‌شود و چه ارتباطی با خطای اندازه‌گیری دارد؟
- آیا می‌توان در هر بار اندازه‌گیری مستقیم فراتر از دقت ابزار اندازه‌گیری، گزارش داد؟
- چرا از تخمین مرتبهٔ بزرگی برای حل برخی مسئله‌ها در فیزیک استفاده می‌کنیم؟

در پایان این واحد یادگیری دانش‌آموزان چه دانش و مهارت‌های اساسی را کسب می‌کنند؟

دانش‌آموزان خواهند دانست که :

- واژگان کلیدی : پدیدهٔ فیزیکی، نظریه‌ها و مدل‌های فیزیکی، مدل‌سازی، کمیت‌های فیزیکی، دقت، خطا، رقم حدسی، مدرج، دیجیتال (رقمی)، تخمین مرتبهٔ بزرگی.
- نظریه‌های فیزیکی در طول زمان تغییر می‌کنند.

- در مدل‌سازی، عوامل کمتر تأثیرگذار روی مسئله را می‌توان نادیده گرفت.
- کمیت‌های فیزیکی به‌دو صورت نرده‌ای و برداری هستند.
- در ابزارهای مدرج، خطا به صورت $\pm\frac{۱}{۲}$ دقت اندازه‌گیری است.
- برای حل برخی از مسئله‌ها می‌توان از فرایند تخمین مرتبهٔ بزرگی استفاده کرد.

دانش‌آموزان قادر خواهند بود :

- پدیده‌ها و مسائل ساده را در فیزیک مدل‌سازی کنند.
- تفاوت اصل و قانون را با مثال‌های ساده‌ای بیان کنند.
- چند نمونه از کمیت‌های نرده‌ای و برداری را با ذکر ویژگی‌های آنها، بیان کنند.
- به کمک ابزارهای مدرج و دیجیتال (رقمی) اندازه‌گیری کنند و دقت و خطای ابزار را در گزارش خود مشخص کنند.
- به کمک فرایند تخمین مرتبهٔ بزرگی، برخی از مسئله‌های فیزیکی را حل کنند.

بودجه‌بندی پیشنهادی

- **جلسهٔ اول :** نگاهی به مقدمهٔ کتاب (سخنی با دانش‌آموز) + تصویر شروع فصل + بخش ۱ــ۱
- **جلسهٔ دوم :** بخش‌های ۱ــ۲ و ۱ــ۳
- **جلسه‌های سوم و چهارم :** بخش ۱ــ۴
- **جلسهٔ پنجم :** بخش ۱ــ۵
- **جلسهٔ ششم :** بخش ۱ــ۶
- **جلسهٔ هفتم :** بخش ۱ــ۷
- **جلسهٔ هشتم :** جمع‌بندی، رفع اشکال و حل پرسش‌های و تمرین‌های باقیمانده از پایان فصل
- **جلسهٔ نهم :** آزمون تشریحی اول

بررسی پرسش‌ها و مسئله‌های پایان فصل را، در جلسه‌های مختلف توزیع کنید.

راهنمای فرایند آموزش فیزیک ۱

هر فصل این کتاب با تصویری شروع می‌شود و هدف آن جلب توجه دانش‌آموزان به موضوع یا مفاهیمی است که قرار است در آن فصل بررسی شود. این تصویر به این دلیل انتخاب شده است تا توجه دانش‌آموزان را به اهمیت و کاربرد اندازه‌گیری در شاخه‌های مختلف علم و مهندسی جلب کند. افزون بر تصویر کتاب می‌توانید به مثال‌های دیگری، همچون اسطرلاب به‌عنوان مهم‌ترین ابزار اندازه‌گیری دانشمندان مسلمان در صدها سال پیش، برای محاسبه‌های نجومی، یافتن ارتفاع و زاویهٔ خورشید، محل ستارگان و سیاره‌ها، پیدا کردن ارتفاع کوه‌ها و عرض رودخانه‌ها بوده است هم اشاره کنید. این مقدمه می‌تواند شروع مناسبی برای ورود به فصل باشد.

۱ــ۱ــ فیزیک : دانش بنیادی

راهنمای تدریس : در بخش آغازین فصل اول، می‌خواهیم دانش‌آموزان با ماهیت و اهمیت فیزیک، به‌عنوان یک دانش بنیادی و تأثیرگذار در تمامی شاخه‌های علوم و مهندسی شناخت پیدا کنند.

تمامی آنچه در طبیعت پیرامون ما رخ می‌دهد، از رنگ آبی آسمان در طول روز تا شفاف بودن شیشه در برابر عبور نور مرئی، از نوسان یک آونگ تا فروافتادن برگ درختان به طرف زمین، همگی پدیده‌های فیزیکی (Physical Phenomena) نامیده می‌شوند. در این قسمت سعی کنید با آوردن مثال‌های ملموس توجه دانش‌آموزان را به پدیده‌های فیزیکی جلب کنید و اشاره کنید که فیزیکدانان با بررسی این پدیده‌ها می‌کوشند تا آنها را براساس مدل‌ها، نظریه‌ها، اصول و قانون‌های فیزیکی توصیف کنند.

هدف این قسمت تبیین اهمیت تفکر و اندیشه‌ورزی فعال در فرآیند آموزش است. به این منظور در کنار آموزش مفاهیم و توجه به آزمایش، باید مجال و فرصتی نیز فراهم شود یا دانش‌آموزان روی مفاهیم و نتایج آزمایش‌ها با یکدیگر به بحث و گفت‌وگو بپردازند.

هدف این پاراگراف و تصویری که در ادامه آن آمده است این است دانش‌آموزان با ماهیت اصلاح‌پذیری نظریه‌های فیزیکی با توجه به نتایج آزمایش‌های جدید آشنا شوند. به‌عبارت دیگر این در ماهیت هر نظریهٔ فیزیکی نهفته است که می‌توانیم یک نظریه را درصورت یافتن رفتاری که با آن ناسازگار است رد کنیم، ولی هرگز نمی‌توانیم ثابت کنیم که یک نظریهٔ فیزیکی همواره درست است.

در این قسمت سعی شده است تا دانش‌آموزان با مثال‌های ساده به تفاوت بین قانون (Law) و اصل (Principle) در فیزیک آشنا شوند. لازم به توضیح است که در اینجا منظور از اصل، اصل موضوعه (Postulate) نیست که مبنای برخی از نظریه‌های فیزیکی، مانند نظریهٔ نسبیت خاص یا نظریهٔ کوانتومی است.

مطالبی که در کادرهای خوب است بدانید آمده است جزو آموزش و ارزشیابی کلاسی نباید منظور شوند. در صورت فرصت و صلاح‌دید خودتان می‌توانید نگاهی اجمالی به آنها داشته باشید.

دانش‌آموزان باید توجه کنند که نتایج حاصل از نظریه‌های فیزیکی را دانشمندان همهٔ رشته‌ها به‌کار می‌برند. به‌عبارت دیگر فیزیک پایه و اساس تمامی مهندسی‌ها و فناوری‌های است. حتی اگر قرار باشد یک ابزار ساده مانند تله موش، عملکرد بهتری داشته باشد باید به مفاهیم فیزیکی نهفته در آن توجه شود!

در ادامهٔ این بخش سعی شده است تا دانش‌آموزان را با نقش فیزیک در عرصه‌های مختلف فناوری امروز آشنا شوند.

فعالیت پیشنهادی برای بخش ۱ــ۱

از دانش‌آموزان بخواهید منظور از «فرایندی دوسویه است» را در عبارت زیر با یکدیگر به بحث بگذارند.

گسترش نظریه‌های فیزیکی همواره فرایندی دو سویه است که سرآغاز و سرانجام آن مشاهده یا آزمایش است.

هدف این پرسش این است که دانش‌آموزان توجه کنند که از آنجا که فیزیک علمی تجربی است باید نظریه‌های فیزیکی توسط آزمایش مورد آزمون و تأیید قرار بگیرند. عبارت «فرایندی دوسویه» نیز بر این نکته تأکید دارد که در برخی مواقع از یک آزمایش و تجربه به یک نظریهٔ فیزیکی می‌رسند و در برخی مواقع نیز ابتدا نظریه‌ای مطرح می‌شود و آنگاه این نظریه در طول زمان با آزمایش مورد آزمون قرار می‌گیرد.

در اینجا دانش‌آموزان با نمونه‌هایی از کاربرد فیزیک در فناوری‌های مختلف نشان داده شده است. هرچند پرداختن به مبانی مورد نیاز برای شرح هر یک از این تصاویر و فیزیک نهفته در پشت هر کدام، به تخصص‌های بالایی نیاز دارد و خارج از اهداف این کتاب است با این وجود نگاهی اجمالی به شرح هر تصویر و تبیین بیشتر آن برای دانش‌آموزان، می‌تواند موجبات علاقه‌مندی آنها را به فیزیک و آموزش فیزیک فراهم کند. همان‌طور که در پانویس این صفحه نیز اشاره شده است هرگونه ارزشیابی از محتوای این شرح شکل‌ها خارج از اهداف برنامهٔ فیزیک ۱ است.

پاسخ فعالیت ۱ــ۱

در این فعالیت دانش‌آموزان با توجه به علاقه‌مندی خودشان یا راهنمایی شما، می‌توانند (ترجیحاً به‌صورت گروهی) فهرست دیگری از کاربردهای فیزیک را در فناوری یا زندگی روزمره تنظیم کنند و به کلاس درس ارائه دهند.

در ادامه این بخش، تعدادی دیگر از این کاربردهای فیزیک در پدیده‌ها، ابزارها و ورزش، در سه فهرست جداگانه آمده است که در صورت تمایل و داشتن فرصت کافی می‌توانید با دانش‌آموزان در میان بگذارید.

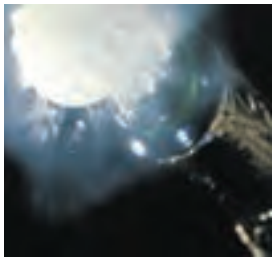
فیزیک در پدیده‌های طبیعی

فیزیک حمل بار سنگین توسط مورچه‌ها

فیزیک تشکیل توفان

فیزیک خانه‌های یخی

فیزیک تارهای عنکبوت



فیزیک تشکیل بخار هنگام باز کردن نوشابهٔ خنک

فیزیک تعریق بدن هنگام ورزش

فیزیک تشکیل حباب‌های آب صابون

فیزیک در ورزش

فیزیک پرش با طناب‌های کشسان

فیزیک هاکی روی یخ

فیزیک اسکیت سواری روی امواج و قایق‌های بادبانی

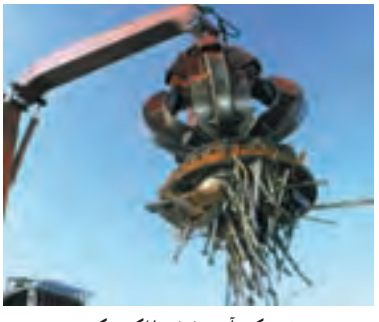
فیزیک بازی بیلیارد

فیزیک در ابزارها

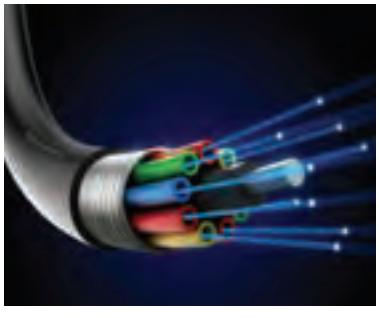
فیزیک باتری‌های شیمیایی

فیزیک سونوگرافی

فیزیک گیتارهای برقی



فیزیک آهنرباهای الکتریکی



فیزیک تارهای نوری

فیزیک کارت‌های بانکی

۱ــ۲ــ مدل‌سازی در فیزیک

هرچند ممکن است دانش‌آموزان در زندگی و گفتگوهای روزانهٔ خود واژهٔ مدل و مدل‌سازی را بارها و بارها شنیده و یا به‌کار برده باشند ولی این نخستین بار است که در کتاب‌های درسی فیزیک به‌مدل‌سازی در فیزیک پرداخته می‌شود و اهمیت آن با بیانی ساده و با مثال‌هایی ملموس تبیین می‌شود.

در آموزش این بخش در گام اول بهتر است سعی کنید تا ذهن دانش‌آموزان را به مفهوم و ماهیت مدل‌سازی در فیزیک نزدیک کنید و تمایز آن را با مفهوم مدل و مدل‌سازی در گفتگوهای روزانه تبیین کنید.

به این ترتیب توصیه می‌شود ابتدا از دانش‌آموزان بخواهید تا درک و شناخت خود را از واژهٔ مدل و مدل‌سازی بیان کنند.

انتظار می‌رود دانش‌آموزان به مدل‌های بدلی و کوچک نظیر مدلی است که برای یک خودرو یا هواپیما ساخته می‌شود اشاره کنند. حتی ممکن است به شخصی که به‌عنوان مدل، لباس‌هایی را به نمایش می‌گذارد نیز اشاره‌ای داشته باشند.

در ادامه از مدل بدلی که برای یک خودرو یا هواپیما ساخته می‌شود شروع کنید و از دانش‌آموزان بخواهید تا شباهت‌ها و تفاوت‌های این مدل بدلی را با نسخهٔ اصلی خودرو یا هواپیما بیان کنند. پس از آن با جمع‌بندی نظر دانش‌آموزان، به مدل و مدل‌سازی در فیزیک بپردازید.

پس از معرفی مدل‌های آرمانی، که در واقع ساده‌ترین مدل‌هایی هستند که برای بررسی یک پدیده یا سامانهٔ (دستگاه) فیزیکی به‌کار می‌بریم (مانند مثال کتاب در شکل ۱ــ۳)، اشاره‌ای نیز به مدل‌های کمتر آرمانی شده، مانند حرکت یک توپ با درنظر گرفتن مقاومت هوا یا حتی منظور کردن چرخش توپ بپردازید که در سطوح بالاتر آموزش فیزیک به آنها می‌پردازند. همچنین نگاهی کنید به مدل‌سازی مثال ساده‌ای که در حاشیه آمده است و در فصل دوم همین کتاب از آن استفادهٔ فراوانی خواهیم داشت. در پایان نیز خوب است تأکید کنید که در کتاب‌های درسی فیزیک سال‌های دهم تا دوازدهم، تمامی مباحث و موضوعات را با مدل‌های آرمانی آموزش می‌دهیم.

پرسش‌های پیشنهادی

۱ شکل الف شخصی را در حالت ایستاده نشان می‌دهد که جعبه‌ای در دست خود گرفته است. نیروهای وارد بر جعبه را مدل‌سازی کنید.

پاسخ : با توجه به وضعیت شخص، دو نیرو به جعبه وارد می‌شود. یکی نیروی دست، که از طرف شخص و رو به بالا به جعبه وارد می‌شود. نیروی دیگر، وزن جعبه است که رو به پایین و از طرف زمین به جعبه وارد می‌شود. در شکل ب، نیروهای وارد بر جعبه، که به‌صورت یک ذره مدل‌سازی شده، نشان داده شده است.

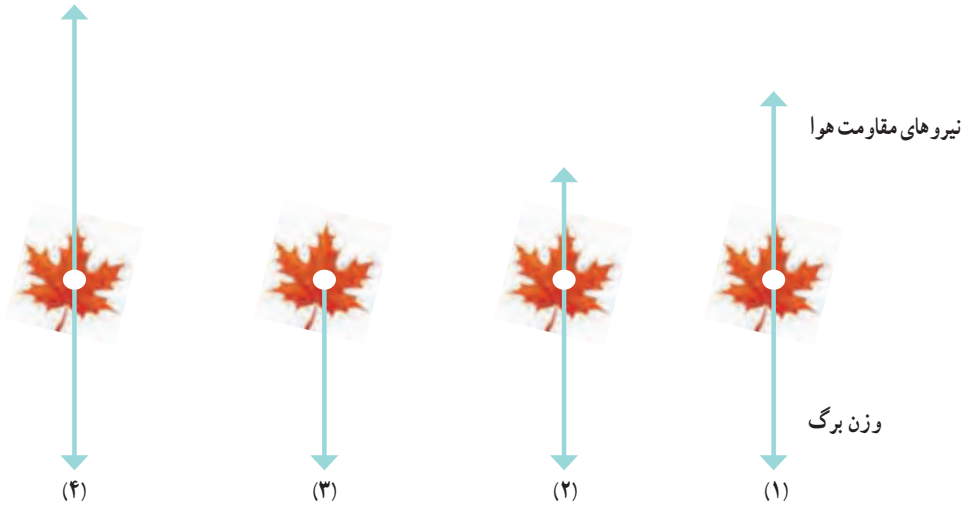
(الف)

(ب)

(پ)

۲ شکل پ سقوط برگ درختی را به‌طرف زمین نشان می‌دهد. کدام گزینه حرکت برگ درخت به‌طرف زمین را بهتر مدل‌سازی کرده است؟

پاسخ : با توجه به نوع حرکت برگ درخت هنگام سقوط به طرف زمین، گزینهٔ ۲ درست است.



در این کتاب هرگاه بالای نماد یک کمیت برداری از نشانهٔ پیکان استفاده نشده باشد، منظور بیان اندازه یا بزرگی (magnitude) آن کمیت برداری (شامل عدد و یکای آن) است.

تأکید دوباره : اگر بگوییم : کمیت نرده‌ای، کمیتی است که فقط دارای مقدار است، منظور این است که این نوع کمیت‌ها مانند جرم، طول و چگالی، تنها شامل عدد و یکا هستند. توجه کنید که در فیزیک، عدد با مقدار تفاوت دارد. عدد ماهیتی ریاضی دارد در حالی که در فیزیک، هر عددی که با یکا مناسب آن بیان شود، یک مقدار فیزیکی نامیده می‌شود. همچنین اگر بگوییم کمیت‌برداری، کمیتی است که افزون بر مقدار، دارای جهت نیز است، منظور این است که این نوع کمیت‌ها شامل عدد، یکا و جهت هستند.

پاسخ پرسش ۱ــ۱

آنچه لازم است تا دانش‌آموزان در پاسخ به این پرسش مورد توجه قرار دهند به شرح زیر است :

شکل الف، باریکه‌ای را نشان می‌دهد که از یک لیزر مدادی خارج شده است. باریکهٔ نور، به‌صورت پرتوهای موازی نور مدل‌سازی شده است. همان‌طور که می‌دانید مدل پرتوی نور در نور هندسی، اهمیت زیادی دارد و دانش‌آموزان در علوم سال هشتم نیز تا حدودی با برخی از جنبه‌های آن آشنا شده‌اند. در شکل ب از مدل پرتوی نور برای انتشار نور از یک چشمهٔ نور استفاده شده است. چون چشمهٔ نور در فاصلهٔ دوری قرار دارد پرتوهایی که به جسم رسیده‌اند به‌صورت موازی مدل‌سازی شده‌اند. برخی از پرتوها پس از بازتاب از جسم، وارد دوربین می‌شوند و تصویری از جسم تشکیل می‌دهند.

توجه : پیش از شروع این بخش لازم است به اشتباه رایجی که در خصوص کمیت‌های فیزیکی وجود دارد توجه شود. کمیت فیزیکی یا مقدار فیزیکی برگردان فارسی عبارت physical quantity است. همان‌طور که دیده می‌شود به جای واژهٔ انگلیسی quantity در فارسی واژهٔ مقدار یا کمیت به‌کار می‌رود. بنابراین به‌کار بردن عبارت مقدار کمیت، یک اشتباه رایج است! که بهتر است از آن اجتناب شود. در این کتاب تنها از عبارت کمیت فیزیکی استفاده شده است.

۱ــ۳ــ اندازه‌گیری و کمیت‌های فیزیکی

در این بخش دوباره توجه دانش‌آموزان را به این نکته جلب کنید که در فیزیک به مطالعه و بررسی پدیده‌های فیزیکی می‌پردازیم و برای توصیف کمی این پدیده‌ها، از کمیت‌های فیزیکی استفاده می‌کنیم. برای مثال، حرکت رفت و برگشتی یک آونگ، یک پدیده فیزیکی است که برای توصیف کمی حرکت آن، از کمیت‌های فیزیکی نظیر جرم آونگ، طول آونگ، دوره تناوب و بسامد آونگ استفاده می‌کنیم.

در ادامه، کمیت‌های نرده‌ای و کمیت‌های برداری را مطابق الگوی کتاب و واژگان به‌کار رفته به دانش‌آموزان معرفی کنید.

۱ــ۴ــ اندازه‌گیری و دستگاه بین‌المللی یکاها

در ابتدا به ویژگی مهم یکاهای استانداردی که برای کمیت‌های اصلی انتخاب می‌کنند اشاره کرده‌ایم. اگر دو آزمایشگاه مبنای اندازه‌گیری خود را بر یک استاندارد پذیرفته شده برای یکای کمیتی (مانند طول) بگذارند، می‌توانند نتیجه‌های اندازه‌گیری خود را به‌راحتی با هم مقایسه کنند. برای ممکن ساختن این کار، استانداردهای پذیرفته شده باید در دسترس کسانی باشد که می‌خواهند استانداردهای ثانویه خود را مدرج و بازتولید کنند و این استانداردها باید با گذشت زمان یا تغییر در شرایط فیزیکی محیط (دما، رطوبت و غیره) تغییرناپذیر باشند.

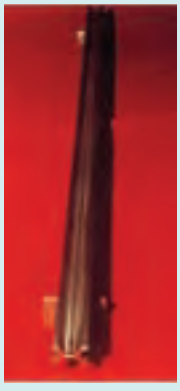
انتخاب هفت کمیت اصلی در SI به معنای استقلال این کمیت‌ها از یکدیگر و یا الزاماً به معنای بنیادی بودن این کمیت‌ها نیست.

به‌عنوان مثال طول را از قرن هفدهم تا دهه‌های میانی قرن بیستم به عنوان یک کمیت بنیادی درنظر می‌گرفتند. اما در دهه‌های پایانی قرن بیستم، تندی نور را با دقتی بسیار بیشتر از استاندارد قبلی طول(متر) اندازه‌گیری کردند. در نتیجه امروزه استاندارد طول (متر) را برحسب تندی نور و ثانیه (که هنوز بنیادی است) تعریف می‌کنند. این مورد نشان می‌دهد که چگونه اندازه‌گیری‌های جدید که دقتی به مراتب بیشتر از گذشته دارند، می‌تواند استانداردهای تثبیت شده را تغییر دهد و استانداردهای جدیدی را جایگزین آنها کند.

توافق بین‌المللی دربارهٔ استانداردها در یک سری نشست‌های جهانی کنفرانس عمومی دربارهٔ اوزان و مقادیر (که با سر واژهٔ CGPM فرانسوی معروف است) انجام می‌شود که از سال ۱۸۸۹ میلادی آغاز و بیست‌وپنجمین نشست آن در سال ۲۰۱۴ برگزار شده است.

برای آگاهی بیشتر اینجا را کلیک کنید.

دانستنی برای معلم



میله‌ای از آلیاژ پلاتین ایریدیم به نام متر استاندارد

در قرن هفدهم میلادی این فکر پدید آمد که استانداردها به گونه‌ای انتخاب شوند که در طبیعت وجود داشته باشند و با گذشت سال‌ها و قرن‌ها تغییر نکنند. براساس همین دیدگاه، در سال ۱۶۶۴ میلادی هویگنس پیشنهاد کرد که طول آونگی که در هر ثانیه یک نوسان می‌کند به‌عنوان یکای طول تعیین شوند. این پیشنهاد پذیرفته شد و تا سال ۱۷۷۱ که پیشنهاد دیگری برای استاندارد طول مطرح شد از آن استفاده می‌شد. درپیشنهاد جدید، طول مسیری را که جسمی پس از رها شدن و با سقوط آزاد در یک ثانیه می‌پیماید به‌عنوان استاندارد جدید طول پذیرفتند.

در سال ۱۷۹۰ و پس از انقلاب فرانسه، کمیسیونی از بهترین فیزیک‌دانان و ریاضی‌دانان آن زمان برای پیشنهاد استانداردهای جدید تشکیل شد که در بین پیشنهادهای مختلف، پیشنهادی که در شکل ۱ــ۶ آمده است به‌عنوان استاندارد طول پذیرفته شد. در سال ۱۷۹۹ استاندارد متر تهیه شد که امروزه در موزه سور فرانسه نگهداری می‌شود. جالب است بدانید با اندازه‌گیری‌های دقیق‌تری که در قرن نوزدهم انجام شد متوجه شدند که استاندارد ساخته شده ۰/۰۸mm کوتاه‌تر از تعریف عملیاتی متر است. با وجود این، میلهٔ استانداردی که در سال ۱۷۹۹ ساخته شده بود تا سال ۱۹۸۳ به‌عنوان یکای استاندارد طول مورد پذیرش بود.

توافق بین‌المللی دربارهٔ استانداردها در یک سری نشست‌های جهانی کنفرانس عمومی دربارهٔ اوزان و مقادیر (که با سرواژهٔ CGPM فرانسوی معروف است) انجام می‌شود که از سال ۱۸۸۹ میلادی آغاز و بیست‌وپنجمین نشست آن در سال ۲۰۱۴ برگزار شده است.
برای آگاهی بیشتر اینجا را کلیک کنید.

پاسخ پرسش ۱ــ۲

یکی از مزیت‌های این استاندارد برای یکای طول، در دسترس بودن آن است در حالی که تغییرپذیری آن بین اشخاص مختلف، یک از معایب آن است.

حل تمرین ۱ــ۱

الف) توجه کنید که چه بگوییم فاصلهٔ زمین و چه بگوییم فاصلهٔ منظومهٔ شمسی تا نزدیک‌ترین ستاره بعد از خورشید، تفاوتی با هم ندارند (به‌دلیل فاصلهٔ بسیار بسیار زیاد نزدیک‌ترین ستاره نسبت به ابعاد منظومهٔ شمسی). به این ترتیب فاصلهٔ زمین تا نزدیک‌ترین ستاره بعد از خورشید برحسب یکای نجومی برابر است با :

$$۴/۰\times۱۰^{۱۶}\text{m}=(۴/۰\times۱۰^{۱۶}\text{m})\left(\frac{۱\text{AU}}{۱/۵\times۱۰^{۱۱}\text{m}}\right)$$
$$\cong ۲/۷\times۱۰^{۵}\,\text{AU}$$

ب) ابتدا یک سال نوری را برحسب متر حساب می‌کنیم :

$$۱\text{ly}=(۳/۱۵\times۱۰^{۷}\text{s})(۳/۰۰\times۱۰^{۸}\text{m/s})$$
$$=۹/۴۵\times۱۰^{۱۵}\text{m}$$

به ترتیب فاصلهٔ کوازارها تا منظومهٔ شمسی برحسب سال نوری برابر است با :

$$۱/۰۰\times۱۰^{۲۶}\text{m}=(۱/۰۰\times۱۰^{۲۶}\text{m})\left(\frac{۱\text{ly}}{۹/۴۵\times۱۰^{۱۵}\text{m}}\right)$$
$$=۱/۰۵\times۱۰^{۱۰}\text{ly}$$

جرم : آشنا کردن دانش‌آموزان با یکاهای مختلف جرم در فرهنگ و تمدن ایران، یکی از اهداف این فعالیت است. هرچند برخی از این یکاها هم اینک در برخی از حرفه‌ها نیز کاربرد دارد. با این وجود خوب است توجه دانش‌آموزان را به این نکته هم جلب کنید که صدها سال قبل، ترازوهایی برای اندازه‌گیری جرم در ایران ساخته بودند که می‌توانستند جرمی تا حدود یک بیستم گرم را اندازه بگیرند.

دانستنی برای معلم

تعیین یکای اندازه‌گیری زمان، بسیار قدیمی‌تر از یکاهای دیگری همچون طول است. دلیل آن هم کاملاً روشن است. چرخش دائمی زمین به دور خودش (روز و شب) و همچنین دور خورشید (سال)، شیوه‌ای طبیعی برای انتخاب یکای زمان در اختیار انسان‌ها قرار داده بود. اصطلاح تعیین وقت از روی خورشید، هم اینک نیز دربرخی از جوامع سنتی، امری رایج است! وقتی خورشید در بالاسو و اصطلاحاً در وسط آسمان قرار دارد، نیمروز یا ظهر است و تعیین این وقت هم کار ساده‌ای است. کافی است چوبی را به‌طور قائم در زمین فرو کنیم و درازای سایهٔ آن را اندازه بگیریم و لحظه‌ای را که سایه چوب به کم‌ترین مقدار خود می‌رسد تعیین کنیم. روز بعد هم به همین شیوه می‌توانیم همان لحظه را مشخص کنیم. فاصلهٔ زمانی بین این دو لحظه یک شبانه‌روز است. بعد می‌توان این بازه را به ساعات، دقایق و ثانیه تقسیم کرد. یکاهای بزرگ اندازه‌گیری زمان، یعنی روز و سال را طبیعت در اختیار ما قرار داده است ولی یکاهای کوچک‌تر شامل ساعت، دقیقه و ثانیه را انسان‌ها وضع کرده اند. تقسیمات کنونی زمان، از تمدن‌های کهن به ما رسیده است! تقسیم شبانه‌روز به ۱۲ قسمت در بین بابلی‌ها و به ۲۴ قسمت در بین مصری‌ها، امری معمول بود. همچنین تقسیم هر ساعت به ۶۰ دقیقه و هر دقیقه به ۶۰ ثانیه، میراث سیستم ۶۰ قسمتی بابلی‌هاست.

در سال ۱۷۹۰ میلادی و پس از انقلاب فرانسه، جرم یک دسی‌متر مکعب (dm^3) آب در دمای $4^\circ C$ به‌عنوان استاندارد جرم (کیلوگرم) پذیرفته شد. بعداً مشخص شد که این تعریف عملیاتی برای جرم مشکلاتی دارد. در سال ۱۷۹۹ استانداردجرم، که وزن آن در ترازوی شاهین‌دار معادل بود با وزن $1dm^3$ آب در دمای $4^\circ C$ به‌عنوان کیلوگرم استاندارد ساخته شد که امروزه در موزهٔ سور فرانسه نگهداری می‌شود. از آن موقع تاکنون این استوانهٔ فلزی به‌عنوان کیلوگرم استاندارد بین‌المللی مورد پذیرش قرار گرفته است.

تبدیل یکاها : روش تبدیل زنجیره‌ای برای تبدیل یکاها به یکاهای موردنظر، روش استاندارد و متعارفی است که در کتاب‌های درسی از آن استفاده می‌شود و اشتباه دانش‌آموزان را نیز به حداقل ممکن می‌رساند. لذا توصیه می‌شود هم در آموزش کلاسی به این شیوه عمل کنید و هم از دانش‌آموزان بخواهید که این روش را برای تبدیل یکاها به‌کار ببرند.

حل تمرین ۱ــ۲

روش تبدیل زنجیره‌ای برای تبدیل یکاها، به‌خصوص وقتی می‌خواهیم چندین یکا را به یکاهای موردنظر تبدیل کنیم روشی مفید و کم اشتباه است.

$$۱۲۵\ cm^۳/s = ۱۲۵\ cm^۳/s\ (۱)\ (۱)$$

$$(۱۲۵\ cm^۳/s\ (\frac{۱L}{۱۰۰۰cm^۳})\ (\frac{۶۰s}{۱min}))= ۷/۵\ L/min$$

تمرین پیشنهادی

آبشارهای نیاگارا (Niagara Falls) به‌مجموعهٔ سه آبشار گفته می‌شود که در مرز آمریکا و کانادا قرار دارد. در زمان پُرآبی فراتر از ۱۶۸ هزار متر مکعب و در حالت عادی حدود ۱۱۰ هزار مترمکعب آب در دقیقه از این آبشار سرازیر می‌شود.

الف) به روش تبدیل زنجیره‌ای، میزان ریزش آب از این آبشار را در حالت عادی ($۱/۱\times۱۰^۵\ m^۳/min$) برحسب لیتر بر شبانه‌روز (L/day) حساب کنید.

ب) اگر مصرف میانگین هر شخص را در شبانه‌روز ۱۲۰ لیتر درنظر بگیریم، این مقدار آب، پاسخ‌گوی نیاز چند نفر خواهد بود؟

حل فعالیت ۱ــ۳

$$\frac{۶۴۰ \text{ مثقال}}{۱ \text{ من تبریز}} \times ۱۰۰ \text{ من تبریز} = ۱ \text{ خروار}$$

$$= ۱۰۰ \times ۶۴۰ \text{ مثقال} \times \frac{۴/۶۸ \text{ گرم}}{۱ \text{ مثقال}} = ۲۹۹ \times ۱۰^{۳} \text{g} = ۲۹۹ \text{kg}$$

$$۱ \text{ من تبریز} = ۱ \times \frac{۱ \text{خروار}}{۱۰۰ \text{ من تبریز}} \times \frac{۲۹۹ \times ۱۰^{۳} \text{g}}{۱ \text{ خروار}}$$

$$= ۲/۹۹ \times ۱۰^{۳} \text{g} = ۲/۹۹ \text{kg}$$

$$۱ \text{ سیر} = ۱ \times \frac{۶۴۰ \text{ مثقال}}{۴۰ \text{ سیر}} = ۱۶ \text{ مثقال}$$

$$= ۱۶ \text{مثقال} \times \frac{۴/۶۸ \text{ g}}{۱ \text{ مثقال}} = ۷۴/۹ \text{g} = ۷/۴۹ \times ۱۰^{-۲} \text{kg}$$

$$۱ \text{ نخود} = ۱ \times \frac{۱ \text{ مثقال}}{۲۴ \text{ نخود}} = ۰/۰۴۲ \text{ مثقال}$$

$$= ۰/۰۴۲ \text{مثقال} \times \frac{۴/۶۸ \text{ g}}{۱ \text{ مثقال}} = ۰/۱۹۵ \text{g} = ۰/۱۹۵ \times ۱۰^{-۳} \text{kg}$$

$$۱ \text{ گندم} = ۱ \times \frac{۱ \text{ مثقال}}{۹۶ \text{ گندم}} = ۰/۰۴۹ \text{g} = ۰/۰۴۹ \times ۱۰^{-۳} \text{kg}$$

پاسخ پرسش ۱ــ۳

$۰/۰۰۰۱۵ \text{kg} = ۱/۵ \times ۱۰^{-۴} \text{kg}$

نگاهی به تاریخچهٔ سازمان ملی استاندارد ایران

در فرهنگ مردم ایران زمین، توجه به استاندارد به گذشته‌ای بسیار کهن باز می‌گردد به‌نحوی که به سادگی می‌توان در آثار علمی، تاریخی و اجتماعی باقیمانده از قرون متمادی آثار و شواهد آن‌را به صورتی آشکار مشاهده نمود. لیکن حرکت نظام یافته آن مربوط به قرون اخیر است.

اولین حرکت مدون در ارتباط با استاندارد و استانداردنویسی در ایران با تصویب قانون اوزان و مقیاس‌ها در سال ۱۳۰۴ شمسی آغاز شد و در سال ۱۳۳۲ به لحاظ ضرورت تعیین ویژگی‌های کالاها و توجه تولیدکنندگان و واردکنندگان به اهمیت کالاهای استاندارد شده، تشکیلاتی برای تهیه و تدوین استانداردهای ملی به‌ویژه نظارت بر کیفیت کالاهای صادراتی و وارداتی به‌صورت یک اداره در وزارت بازرگانی وقت ایجاد شد. در سال ۱۳۳۹ با تصویب قانون تأسیس مؤسسه استاندارد ایران، کار رسمی این مؤسسه در چهارچوب اهداف و مسئولیت‌های تعیین شده در این قانون ادامه یافت و در راستای فعالیت خود در سال ۱۳۴۴ به هنگام تصویب اساسنامه مؤسسه، عبارت «تحقیقات صنعتی» نیز به نام مؤسسه استاندارد ایران افزوده شد.

شایان ذکر است که اولین استاندارد به امر ویژگی و درجه‌بندی کردن کالاهای صادراتی (عموماً محصولات کشاورزی) پرداخته و به‌صورت آزمایشی تدوین شده است. هدف از تدوین استاندارد آزمایشی در واقع اجرای آزمایشی این استانداردها از طرف تهیه‌کنندگان و صادرکنندگان و مشخص شدن نقایص و معایب آن بود. تهیه و تدوین آزمایشی استانداردها تا سال ۱۳۴۳ با تهیه و تدوین ۱۷ استاندارد که عموماً مربوط به کالاهای سنتی و به‌منظور کمک به بهبود صادرات بود ادامه یافت. پس از آن در این سال روش کار تغییر کرد و تصمیم گرفته شد که در تمامی زمینه‌ها استانداردهای لازم تدوین شود. همچنین تهیه استانداردها از حالت آزمایشی به حالت قطعی تغییر کرد. جالب توجه اینکه برای نخستین بار در سال ۱۳۴۵ علامت استاندارد ایران روی کالاهای ایرانی استفاده شد.

پس از انقلاب ۱۳۵۷ و ضرورت دگرگونی در ساختار اقتصادی کشور، توجه بیشتری به امر کیفیت و تدوین استانداردهای ملی و انجام تحقیقات کاربردی شد که با تجمیع مقررات مرتبط، قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران در سال ۱۳۷۱ توسط مجلس شورای اسلامی ایران تصویب گردید.

در سال ۱۳۹۰ با تشکیل شورای عالی اداری به ریاست رئیس جمهور، سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران از مجموعه وزارت صنعت، معدن و تجارت جدا و به‌صورت یک مؤسسه مستقل و با نام **سازمان ملی استاندارد ایران** زیر نظر ریاست جمهوری اداره می‌شود. در حال حاضر مشخصات سازمان ملی استاندارد ایران به شرح زیر است :

- سازمان ملی استاندارد ایران یک سازمان مستقل کشوری است.
- سازمان ملی استاندارد تنها سازمانی است که توسط مجلس شورای اسلامی به‌عنوان پژوهشگاه شناخته شده است.
- بالاترین رکن سازمان ملی استاندارد ایران، شورای عالی استاندارد است که ریاست آن برعهده رئیس‌جمهور است.

تعریف استاندارد (از نظر سازمان ملی استاندارد ایران)

تعریف اول : واژهٔ استاندارد به معنی نظم، قاعده، قانون، معیار و شاخص است. یکاها و برسنج‌های اندازه‌گیری

تعریف دوم : استاندارد مدرکی است دربرگیرنده قواعد، راهنمایی‌ها یا ویژگی‌هایی برای فعالیت‌ها یا نتایج آنها به منظور استفاده عمومی و مکرر که از طریق هم‌رأیی فراهم و به‌وسیله سازمان شناخته شده‌ای تصویب شده باشد و هدف از آن دست‌یابی به میزان مطلوبی از نظم در یک زمینه خاص است.

وظایف و مسئولیت‌ها

وظایف و مسئولیت‌های سازمان ملی استاندارد ایران براساس قانون به شرح زیر است :

- تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی.
- ترویج استانداردهای ملی.
- نظارت بر اجرای استانداردهای اجباری.
- نظارت و کنترل بر کیفیت محصولات تولید شده در کشور، خدمات و کالاهای صادراتی مشمول مقررات استاندارد اجباری و جلوگیری از صدور کالاهای نامرغوب به‌منظور فراهم نمودن امکان رقابت با کالاهای مشابه خارجی و حفظ بازارهای بین‌المللی.
- کنترل کیفیت کالاهای وارداتی مشمول مقررات استاندارد اجباری به‌منظور حمایت از مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان داخلی و جلوگیری از ورود کالاهای نامرغوب خارجی.
- ترویج دستگاه بین‌المللی یکاها (SI) به‌عنوان دستگاه رسمی اوزان و مقیاس‌ها در کشور و کالیبره کردن وسایل سنجش.
- آزمایش و تطبیق نمونه کالاها با استاندارد مربوطه، اعلام مشخصات و اظهارنظر مقایسه‌ای و صدور گواهی‌نامه محصول.
- تعیین عیار مصنوعات فلزی گران‌بها (طلا، نقره، پلاتین و...) و انگ‌گذاری آنها برحسب عیار.
- انجام تحقیقات کاربردی به‌منظور تدوین استانداردهای ملی، بالا بردن کیفیت تولیدات داخلی، کمک به بهبود روش‌های تولید و کارایی صنایع.

استاندارد ملی کیلوگرم که نسخهٔ دقیقی از استاندارد بین‌المللی سِور فرانسه است. این نمونه، در مرکز اندازه‌شناسی در سازمان ملی استاندارد ایران نگه‌داری می‌شود.

۱ــ۵ــ اندازه‌گیری : خطا و دقت

مطالب و قواعدی که در بخش اندازه‌گیری، خطا و دقت آمده است براساس آخرین استانداردهایی است که فراتر از یک دهه است در کتاب‌های درسی مرجع و در تمامی سطوح مورد استفاده قرار می‌گیرد.

از آنجا که در کتاب درسی مطالب و قواعد مربوط به اندازه‌گیری، دقت و خطا به اندازه کافی و به‌روشنی تبیین شده است، لذا برای آموزش مؤثرتر این بخش، توجه به مثال‌ها، تمرین‌ها و فعالیت‌های استاندارد، مطابق آنچه در کتاب درسی آمده و نمونه‌هایی نیز در ادامه آمده است توصیه می‌شود.

مثال ۱ــ۲

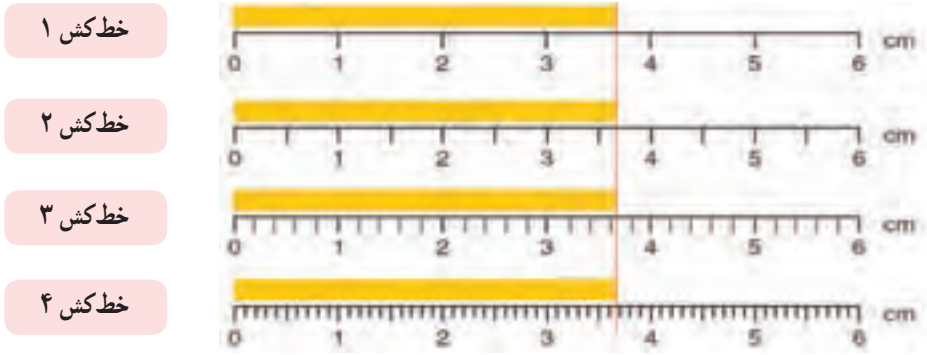
هرگاه لازم باشد مطابق آنچه در مثال ۱ــ۲ (خط‌کش ۲) دیده می‌شود، خطای ابزار اندازه‌گیری گِرد شود بنا به قاعده، همواره خطا را به‌طرف عدد بالاتر گِرد می‌کنند. برای مثال اگر دقت یک ابزار اندازه‌گیری مدرج ۳mm باشد، بنابرقاعده، خطای آن برابر ۱/۵mm ± می‌شود که باید به صورت ۲mm ± گرد شود.

توجه مهم : طرح هر گونه پرسش و مسئله، که به‌طور انتزاعی و معما گونه به موضوع اندازه‌گیری، خطا ودقت می‌پردازد و در آنها نوع، شکل و تصویر ابزار اندازه‌گیری برای دانش‌آموزان مشخص نیست نه تنها کمکی به شناخت و درک بهتر دانش‌آموزان نمی‌کند بلکه آنها را از واقعیت اندازه‌گیری مبتنی بر ابزار دورتر می‌کند. به همین دلیل توجه و پرداختن به این گونه آموزش و ارزشیابی انتزاعی از بحث اندازه‌گیری، خارج از اهداف برنامهٔ درسی این کتاب است.

تأکید می‌شود در هرگونه پرسش و مسئله، مطابق الگوی کتاب درسی، شکل یا تصویر وسیلهٔ اندازه‌گیری و ساختار آن به دانش‌آموزان نشان داده شود. آنگاه دانش‌آموزان براساس آن به ارائه گزارش اندازه‌گیری بپردازند.

تمرین‌های پیشنهادی

۱ خط‌کش‌های موجود در بازار معمولاً به یکی از صورت‌های زیر مدرج می‌شوند. نتیجهٔ اندازه‌گیری توسط هر خط‌کش را به همراه خطای آن بنویسید.



خط‌کش ۱ : ۳/۷cm ± ۰/۵cm = ۳۷mm ± ۵mm

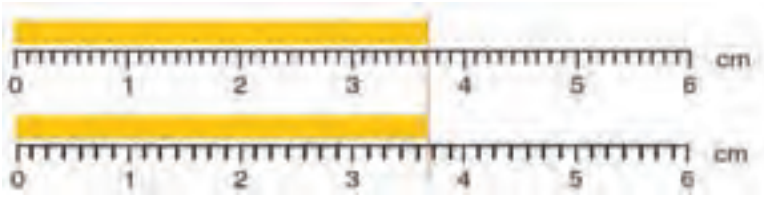
خط‌کش ۲ : ۳/۷cm ± ۰/۳cm = ۳۷mm ± ۳mm

خط‌کش ۳ : ۳/۶cm ± ۰/۱cm = ۳۶mm ± ۱mm

خط‌کش ۴ : ۳/۶۸cm ± ۰/۰۵cm = ۳۶/۸mm ± ۰/۵mm

هرچند گسترهٔ خطای این خط‌کش ±۰/۲۵cm است ولی باید به‌صورت ±۰/۳cm گرد شود تا از نظر فیزیک، جمع و تفریق دو عدد درست باشد.

۲ نتیجهٔ اندازه‌گیری توسط خط‌کش‌های زیر را به همراه خطای آنها بنویسید.



الف

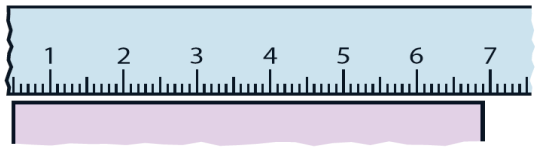
ب

پاسخ :

در خط‌کش الف هر سانتی‌متر به ۹ قسمت مساوی و در خط‌کش ب هر سانتی‌متر به ۷ قسمت مساوی تقسیم شده است. این نوع تقسیم‌بندی یا مدرج کردن یک وسیلهٔ اندازه‌گیری غیرمعمول و نامتعارف است و در عمل چنین وسیله‌ای به‌صورت خط‌کش و ابزارهای مدرج اندازه‌گیری دیگر وجود خارجی ندارد. **توجه کنید ابزارهای اندازه‌گیری را با این منطق مدرج می‌کنند که خواندن و گزارش نتیجه اندازه‌گیری تا حد ممکن ساده و سریع باشد.** همان‌طور که دیده می‌شود خواندن و گزارش نتیجه اندازه‌گیری با خط‌کش‌های الف و ب نیاز به صرف زمان زیادی دارد در حالی که با خط‌کش شکل پ که تا میلی‌متر مدرج شده است و نسبت به خط‌کش‌های الف و ب دقت بیشتری هم دارد بسیار ساده‌تر و سریع‌تر انجام می‌شود. بنابراین **از همکاران گرامی تقاضا داریم که ذهن و وقت دانش‌آموزان را درگیر این نوع ابزارهای مدرج انتزاعی، خودساخته و غیرواقعی نکنند.**

پ

۳ شکل زیر خط‌کشی را نشان می‌دهد که ابتدای آن از بین رفته است. نتیجهٔ اندازه‌گیری توسط این خط‌کش را به همراه خطای آن بنویسید.



پاسخ :

$$\text{طول جسم} = (۶۹/۲\text{mm} - ۵/۰\text{mm}) \pm ۰/۵\text{mm} = ۶۴/۲\text{mm} \pm ۰/۵\text{mm}$$

از آنجا که موقعیت جسم نسبت به ابزار اندازه‌گیری تغییری نکرده است، کافی است فقط یک بار خطا را گزارش کنیم.

۴ نتیجهٔ اندازه‌گیری توسط تندی سنج شکل زیر را به همراه خطای آن بنویسید.

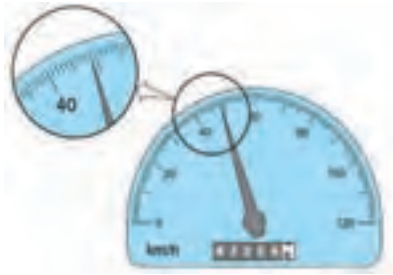
پاسخ :

$$۷۰\ km/h \pm ۵ km/h$$

رقم حدسی (غیرقطعی) — خطای وسیلهٔ اندازه‌گیری

مقدار واقعی تندی خودرو، بین ۶۵km/h و ۷۵km/h قرار دارد.

۵ نتیجهٔ اندازه‌گیری توسط تندی سنج شکل زیر را به همراه خطای آن بنویسید.



پاسخ :

$$۴۸/۹\ km/h \pm ۰/۵\ km/h$$

رقم حدسی (غیر قطعی) — خطای وسیلهٔ اندازه‌گیری

مقدار واقعی تندی خودرو، بین ۴۸/۴ km/h و ۴۹/۴km/h قرار دارد.

حل تمرین ۱ــ۴

۱

خطای وسیلهٔ اندازه‌گیری ۰/۵ cm ← ۴/۵cm ± ۰/۵ cm ← دو رقم بامعنا
رقم حدسی (غیر قطعی)

خطای وسیلهٔ اندازه‌گیری ۰/۰۵ cm ← ۴/۵۸cm ± ۰/۰۵ cm ← سه رقم بامعنا
رقم حدسی

خطای وسیلهٔ اندازه‌گیری ۰/۵ cm ← ۳/۰cm ± ۰/۵ cm ← دو رقم بامعنا
رقم حدسی

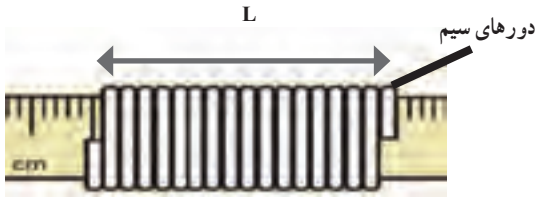
۲ خطای دماسنج برابر $1^{\circ}C$ است. بنابراین عدد غیرقطعی در نمایشگر دمای خارج و داخل گلخانه به ترتیب عدد صفر و ۸ است.

۳ $27^{\circ}C \pm 3^{\circ}C$

پاسخ فعالیت ۱ــ۴

الف) روش‌های متفاوتی برای انجام این فعالیت وجود دارد. یک روش این است که به کمک قطره‌چکان تعداد ۵۰ یا ۱۰۰ قطره آب را داخل یک استوانهٔ مدرج یا یک سرنگ ۱۰ سی‌سی بریزیم. آنگاه با تعیین جرم و حجم این تعداد قطره، جرم و حجم یک قطره را به‌دست آوریم.

ب) سیم را مطابق شکل زیر، (که به مقیاس رسم نشده است) دور یک خط‌کش میلی‌متری و کاملاً مجاور هم بپیچید. با تقسیم طول L بر تعداد دور سیم، قطر سیم به‌دست می‌آید. شرح بیشتری از این فعالیت، در صفحهٔ بعد آمده است.



هر چند در تمامی کتاب و در محاسبه‌های انجام شده در مثال‌ها، در طراحی تمرین‌ها و مسائل پایان هر فصل، به مواردی که در این «خوب است بدانید» آمده، به عنوان استاندارد کتاب درسی، توجه شده است ولی رعایت آنها نه برای دبیران محترم، هنگام آموزش و ارزشیابی و نه برای دانش‌آموزان عزیز، الزامی ندارد.

فعالیت پیشنهادی

چنانچه فرصت کافی در اختیار دارید، آموزش عملی نحوه خواندن و گزارش نتیجه اندازه‌گیری توسط کولیس و ریزسنج مدرج پیشنهاد می‌شود. در این فعالیت با توجه به امکانات آزمایشگاه مدرسه، فرصتی را در اختیار دانش‌آموزان قرار دهید تا با نحوه اندازه‌گیری کولیس و ریزسنج آشنا شوند.

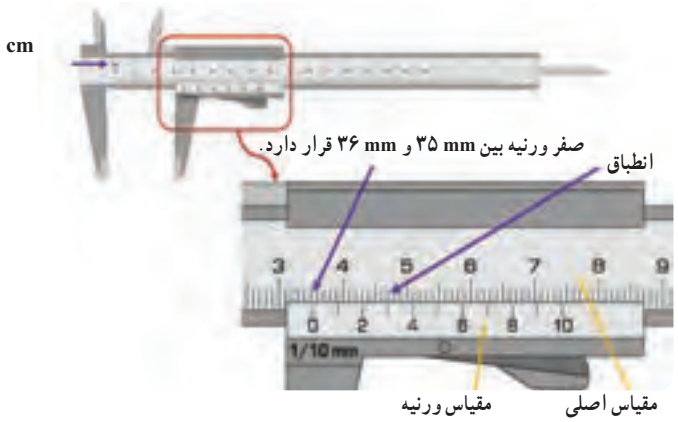
کولیس‌های مدرج معمولاً با دقت ۰/۰۲، ۰/۰۵ و ۰/۱ میلی‌متر ساخته می‌شوند.
در اینجا برای سادگی، تنها به کولیس‌های ۰/۱ میلی‌متر اشاره شده است.

- اگر دقت کولیسی که در اختیار دارید ۰/۱mm باشد در این صورت گسترهٔ خطای آن ±۰/۰۵mm است.
- اگر دقت کولیسی که در اختیار دارید ۰/۰۵ mm باشد در این صورت گسترهٔ خطای آن ±۰/۰۲۵ mm است که باید به صورت ±۰/۰۳ mm گرد شود. دلیل آن را در ادامه خواهید دید.
- اگر دقت کولیسی که در اختیار دارید ۰/۰۲ mm باشد در این صورت گسترهٔ خطای آن ±۰/۰۱ mm است.

ریزسنج‌های مدرج که معمولاً در آزمایشگاه مدارس وجود دارد دارای دقت ۰/۰۱ mm هستند. در این صورت، همان‌طور که در کتاب نیز اشاره شده است گسترهٔ خطای آنها ±۰/۰۰۵ mm است.

با توجه به امکانات آزمایشگاه مدرسه، فعالیت کار با کولیس و ریزسنج باید به‌طور عملی و توسط دانش‌آموزان (ترجیحاً گروه‌های سه تا پنج نفره) انجام شود.

نحوهٔ خواندن و گزارش نتیجهٔ اندازه‌گیری با کولیس $0/1\ mm = \frac{1}{10}\ mm$

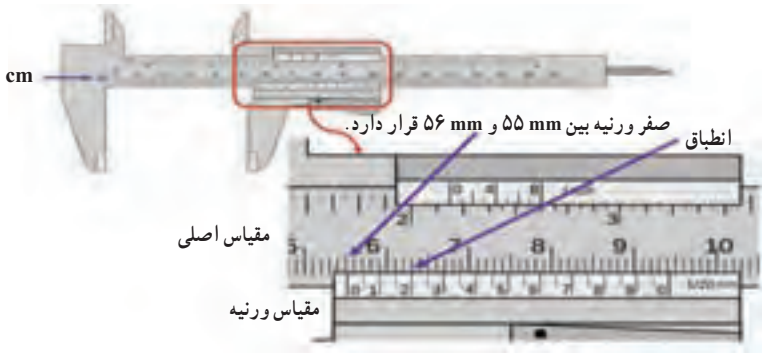


خطای وسیلهٔ اندازه‌گیری ← ۳۵/۳۰ mm ± ۰/۰۵ mm ← رقم غیرقطعی

توجه بسیار مهم : اگر نتیجهٔ اندازه‌گیری را به صورت زیر بنویسید، از نظر فیزیک **نادرست** است هر چند از نظر ریاضیات ایرادی بر آن وارد نیست!

$$۳۵/۳ \text{ mm} \pm ۰/۰۵ \text{ mm}$$

نحوهٔ خواندن و گزارش نتیجهٔ اندازه‌گیری با کولیس $\frac{۱}{۲۰}$ mm = ۰/۰۵ mm



$$۵۵/۲۰ \text{ mm} \pm ۰/۰۳ \text{ mm}$$

رقم غیرقطعی ← ۵۵/۲۰ mm

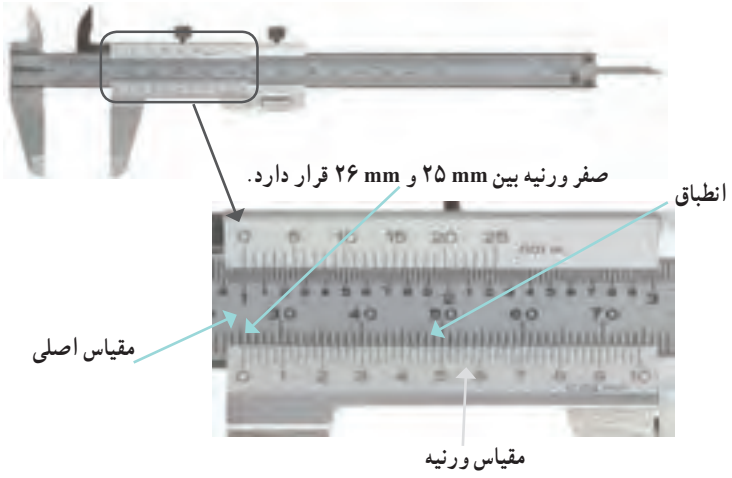
خطای وسیلهٔ اندازه‌گیری ← ±۰/۰۳ mm

توجه بسیار مهم : اگر نتیجهٔ اندازه‌گیری را به صورت زیر بنویسید، از نظر فیزیک **نادرست** است هر چند از نظر ریاضیات ایرادی بر آن وارد نیست!

$$۵۵/۲۰ \text{ mm} \pm ۰/۰۲۵ \text{ mm}$$

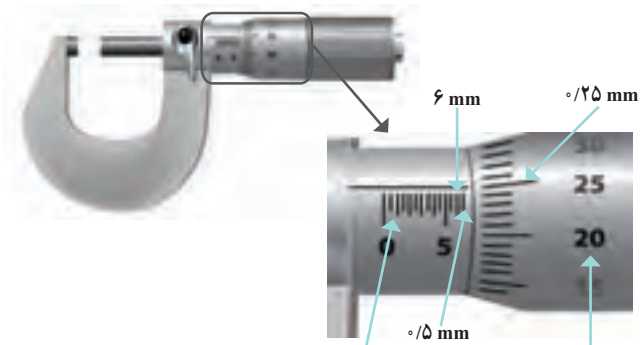
هرچند گسترهٔ خطای این کولیس ±۰/۰۲۵ mm است ولی باید به‌صورت ±۰/۰۳ mm گرد شود تا از نظر فیزیک، جمع و تفریق دو عدد صحیح باشد.

نحوهٔ خواندن و گزارش نتیجهٔ اندازه‌گیری با کولیس $\frac{۱}{۵۰}$ mm = ۰/۰۲ mm



خطای وسیلهٔ اندازه‌گیری ← ۰/۰۱ mm ± ۲۵/۴۶ mm ← رقم حدسی (غیرقطعی)

نحوهٔ خواندن و گزارش نتیجهٔ اندازه‌گیری با ریزسنج ۰/۰۱ mm



فاصلهٔ هر دو درجهٔ متوالی روی استوانهٔ مدرج ثابت برابر ۰/۵ mm است.

با هر دور چرخش کامل استوانهٔ مدرج چرخان، فک متحرک ۰/۵ mm نسبت به فک ثابت (استوانهٔ مدرج ثابت) جابه‌جا می‌شود.

خطای وسیلهٔ اندازه‌گیری ← ۰/۰۰۵ mm ± ۶/۷۵۰ mm ← رقم غیرقطعی

تمرین‌های پیشنهادی

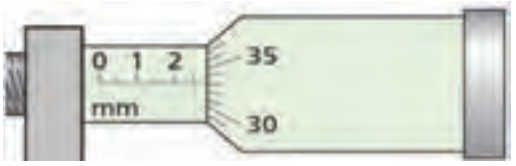
۱ شکل زیر بخشی از یک کولیس ۰/۰۵ mm را نشان می‌دهد. نتیجهٔ اندازه‌گیری را با ذکر خطای وسیله بنویسید.

پاسخ :

۲۴ /۷۰ mm ± ۰/۰۳ mm

رقم غیرقطعی ← خطای وسیلهٔ اندازه‌گیری

۲ شکل زیر بخشی از یک ریزسنج ۰/۰۱ mm را نشان می‌دهد. نتیجهٔ اندازه‌گیری را با ذکر خطای وسیله بنویسید.



پاسخ :

۲ /۸۳۲ mm ± ۰/۰۰۵ mm

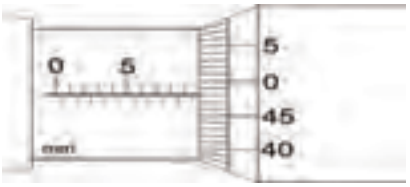
رقم غیرقطعی ← خطای وسیلهٔ اندازه‌گیری

۳ شکل‌های زیر بخشی از یک ریزسنج ۰/۰۱ mm را نشان می‌دهد. نتیجهٔ اندازه‌گیری را با ذکر خطای وسیله بنویسید.

پاسخ :

۱۲ /۴۰۰ mm ± ۰/۰۰۵ mm

رقم حدسی (غیرقطعی) ← خطای وسیلهٔ اندازه‌گیری



پاسخ :

۹ /۹۸۱ mm ± ۰/۰۰۵ mm

رقم حدسی (غیرقطعی) ← ۹ /۹۸۱ mm ± ۰/۰۰۵ mm ← خطای وسیلهٔ اندازه‌گیری

ابزارهای رقمی (دیجیتال)

پاسخ :

۳۶/۵°C ± ۰/۱°C

رقم غیرقطعی ← ۳۶/۵°C ± ۰/۱°C ← خطای وسیلهٔ اندازه‌گیری

مقدار واقعی دما، بین ۳۶/۴°C و ۳۶/۶°C قرار دارد.

پاسخ :

۲۵۰ /۰ g ± ۰/۱ g

رقم غیرقطعی ← ۲۵۰ /۰ g ± ۰/۱ g ← خطای وسیلهٔ اندازه‌گیری

مقدار واقعی جرم، بین ۲۴۹/۹ g و ۲۵۰/۱ g قرار دارد.

۴ نتیجهٔ اندازه‌گیری توسط کولیس رقمی را به همراه خطای آن بنویسید.

پاسخ :

۲۳ /۳۳ mm ± ۰/۰۱ mm

رقم غیرقطعی — خطای وسیلهٔ اندازه‌گیری

مقدار واقعی طول، بین ۲۳/۳۲ mm و ۲۳/۳۴ mm قرار دارد.

۵ نتیجهٔ اندازه‌گیری توسط ریزسنج رقمی را به همراه خطای آن بنویسید.

پاسخ :

۱۹ /۹۷۷ mm ± ۰/۰۰۱ mm

رقم غیرقطعی — خطای وسیلهٔ اندازه‌گیری

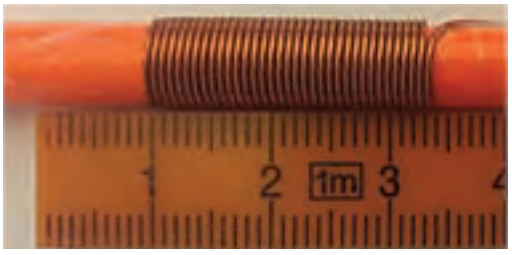
مقدار واقعی طول، بین ۱۹/۹۷۶ mm و ۱۹/۹۷۸ mm قرار دارد.

اندازه‌گیری ضخامت یک سیم مسی نازک

برای اندازه‌گیری ضخامت یک سیم مسی نازک می‌توان از روش مستقیم استفاده کرد. در این روش بهتر است که از یک ابزار با دقت بالا استفاده کنیم. مناسب‌ترین وسیله برای این کار استفاده از ریزسنج است. در صورتی که ریزسنج در اختیار نداشته باشیم چگونه ضخامت سیم مسی نازک را اندازه‌گیری کنیم؟ فرض کنید که یک خط‌کش معمولی در اختیار داریم و می‌خواهیم ضخامت این سیم را اندازه‌گیری کنیم. برای این کار باید سیم را در کنار درجه‌های خط‌کش قرار دهیم و ضخامت سیم را حدس بزنیم. برای مثال در شکل الف می‌توانیم مقدار خوانده شده را به صورت ۰/۶ mm ± ۰/۵ mm گزارش کنیم. چون مقدار گزارش شده در این روش، خیلی به خطای ابزار اندازه‌گیری نزدیک است بنابراین این اندازه‌گیری چندان قابل اطمینان نیست. البته قابل اطمینان بودن یک اندازه‌گیری بستگی به کاربرد ما دارد و گاهی همین قدر از دقت نیز می‌تواند برای ما کافی باشد. اگر بخواهیم دقت اندازه‌گیری را بالا ببریم یا باید از وسیلهٔ دقیق‌تری استفاده کنیم و یا باید روش کاررا تغییر دهیم. روشی که به کار می‌بریم این است که به جای اندازه‌گیری یک دور سیم، ضخامت چند دور سیم را اندازه می‌گیریم (توجه داشته باشید که مطابق شکل ب در این روش باید سیم‌ها بدون فاصله و چسبیده به هم پیچیده شده باشند.) سرانجام مقدار خوانده شده را به تعداد دور سیم‌ها تقسیم می‌کنیم مطابق شکل الف، تعداد **۲۹** دور سیم در ۲۰/۰ میلی‌متر پیچیده شده است. بنابراین قطر یک دور سیم برابر ۰/۶۷۹۶۵۵۱۷۲۴ میلی‌متر می‌شود که باید به صورت ۰/۶۹۰ میلی‌متر و با سه رقم بامعنا گرد شود. **توجه کنید که** در این روش دقت اندازه‌گیری بالا می‌رود و مقدار به‌دست آمده به مقدار واقعی ضخامت سیم نزدیک‌تر است. همچنین در این روش، خطا به کمک روابط آماری محاسبه می‌شود و نحوهٔ بررسی آن خارج از بحث کتاب فیزیک ۱ است. در صورتی که طول سیمی را که در اختیار دارید کم باشد می‌توانید آن را دور مدادی بپیچید و طول دور سیم‌ها را مطابق شکل پ با خط‌کش میلی‌متری یا مطابق شکل ت با کولیس اندازه بگیرید که این باعث می‌شود دقت افزایش یابد.

(الف)

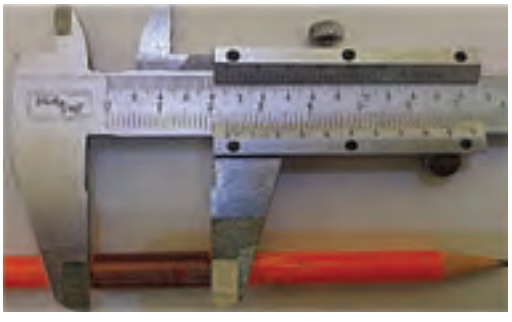
(ب)



(پ)

نتیجه با خط‌کش

۲۳/۵ mm ÷ ۳۵ = ۰/۶۷۱ mm



(ت)

نتیجه با کولیس

۲۳/۳۲ mm ÷ ۳۵ = ۰/۶۶۶۲ mm

۱ــ۶ــ تخمین مرتبهٔ بزرگی در فیزیک

راهنمای تدریس : موضوع تخمین مرتبهٔ بزرگی (order_of_magnitude estimate) در فیزیک، نخستین باری است که در کتاب‌های درسی فیزیک به آن پرداخته می‌شود. پیش از این و در کتاب‌های درسی فیزیک، معمولاً لابه‌لای برخی از فعالیت‌های فصل اندازه‌گیری، از دانش‌آموزان خواسته می‌شد تا برای مثال، ابعاد کلاس خودشان را تخمین بزنند و نتیجه را گزارش کنند. این نوع تخمین، که مبتنی بر حواس و مهارت‌های اندازه‌گیری دانش‌آموزان به‌وجود می‌آید به‌طور کامل با تخمین مرتبهٔ بزرگی که موضوع این بخش از کتاب فیزیک ۱ است تفاوت دارد.

همان‌طور که در این صفحه نیز تأکید شده است نوعی از تخمین در فیزیک، تخمین مرتبهٔ بزرگی است که به کمک آن می‌توان درک و شناختی بهتر از مسئلهٔ مورد بررسی پیدا کرد. نتیجهٔ محاسبات مبتنی بر این نوع تخمین، همواره باید به صورت مرتبه‌ای از ۱۰ بیان شود. در برخی موارد نتیجهٔ به‌دست آمده در مقایسه با مقدار واقعی، ممکن است یک یا دو مرتبه بزرگ‌تر یا کوچک‌تر باشد که اهمیت چندانی ندارد.

در تخمین مرتبهٔ بزرگی، بنا به قاعده‌ای که گفته شده است باید در حین فرایند حل مسئله یا در پایان آن، اعداد گرد شوند و نتیجه به صورت مرتبه‌ای از ۱۰ بیان شود. در صورتی که در تخمین مبتنی بر حواس، وقتی برای مثال طول جسمی را تخمین می‌زنیم باید آن را بدون گرد کردن گزارش کنیم.

توجه : هنگام طراحی مسئله‌های مربوط به تخمین مرتبهٔ بزرگی، برخی از داده‌ها و روابط مورد نیاز را باید در اختیار دانش‌آموزان بگذاریم. برای نمونه، در مثال ۱ــ۳، مساحت شهرستان رشت را به دانش‌آموزان داده‌ایم ولی نحوهٔ محاسبه حجم یک لایه به ضخامت d یا رابطهٔ مربوط به محاسبهٔ حجم یک کره را انتظار می‌رود که دانش‌آموزان از سال‌های قبل بدانند و در صورت نیاز در حل مسئله از آنها استفاده کنند.

مثال ۱ــ۳

به این مثال می‌توانید قسمت‌های دیگری را نیز اضافه کنید و به عنوان تمرین از دانش‌آموزان بخواهید تا درکلاس یا خانه انجام دهند. مثلاً دانش‌آموزان مرتبهٔ بزرگی تعداد قطره‌های یک لیتر آب را تخمین بزنند و بررسی کنند که این تعداد قطرهٔ باران معادل چند لیتر است. همچنین اگر مصرف میانگین روزانهٔ هر فرد را ۱۲۰ لیتر در نظر بگیریم این مقدار باران، برای مصرف چند نفر می‌تواند کافی باشد.

مثال ۱ــ۴

هر چند نتیجهٔ واقعی حدود ۱۵۰ میلیون لیتر می‌شود با وجود این، مرتبهٔ بزرگی این حجم از خون که توسط قلب یک نفر در طول عمرش پمپ می‌شود حکایت از کارکرد شگفت‌انگیز قلب دارد. به همین دلیل توصیه می‌شود تا دانش‌آموزان روی نتیجهٔ به‌دست آمده درنگی داشته باشند و به بزرگی این عدد و شگفتی‌های نهفته در خلقت انسان توجه کنند.

مثال ۱ــ۵

هنگام محاسبهٔ مساحت سطح زمین، برای سادگی و سرعت در محاسبه می‌توانید ابتدا شعاع زمین را گرد کرده و آن‌گاه در رابطهٔ آن قرار دهید ($R=۶/۴ \times ۱۰^{۶}\ m \sim ۱۰^{۷}$).

مقداری که براساس روابط تحلیلی به‌دست آمده است و در منابع به آن اشاره می‌کنند حدود $۱/۵۲ \times ۱۰^{۱۸}\ kg$ است که نشان می‌دهد روش تخمین مرتبهٔ بزرگی، روشی ساده و در عین حال قدرتمند برای حل مسائلی است که به ظاهر پیچیده به نظر می‌رسند!

حل تمرین ۱ــ۵

یکی از اهداف این تمرین توجه به یک مسئلهٔ زیست‌محیطی شهری است که به سادگی از کنار آن گذشته و معمولاً توجهی هم به آن نمی‌شود. در ایران نیز با اجزای طرح ملی کهاب (برای بازیافت ۳۰۰ هزار لیتر بنزین در شبانه‌روز) توسط شرکت ملی پخش فراورده‌های نفتی، کوشش می‌شود تا با اقداماتی از جمله نصب تجهیزاتی در جایگاه‌های سوخت‌رسان، حجم بخار بنزین وارد شده به هوای شهری را کاهش دهند.

همان‌طور که در قسمت راهنمایی تمرین نیز اشاره شده است برای حل این مسئله باید توجه کنیم که به چه روش‌هایی بخار بنزین می‌تواند وارد هوا شود. افزون بر مقدار کمی بنزین که هنگام سوخت‌گیری هدر می‌رود، دست کم به سه روش بخار بنزین به‌طور مستقیم وارد هوا می‌شود. از آنجا که میانگین مصرف روزانهٔ بنزین در تهران ۲۰ میلیون لیتر است لذا داریم :

$$\text{مرتبهٔ بزرگی حجم بخار بنزینی که وارد هوای شهر تهران می‌شود.} = ۲۰\ ML + ۲۰\ ML + ۲۰ ML \sim ۱۰^{۸}\ L$$

- $۲۰\ ML$: از مخزن تانکر، هنگام دریافت سوخت از خطوط لوله
- $۲۰\ ML$: از مخزن جایگاه پمپ‌بنزین هنگام دریافت سوخت از تانکر
- $۲۰\ ML$: از باک یک خودرو هنگام سوخت‌گیری

۱ــ۷ــ چگالی

راهنمای تدریس: همان‌طور که در کتاب نیز اشاره شده است دانش‌آموزان در علوم سال هفتم با تعریف چگالی آشنا شده‌اند و فعالیت‌های ساده‌ای را هم در این خصوص انجام داده‌اند. لذا در این بخش و با توجه به ماهیت فصل اول، ضمن یادآوری این تعریف، دانش‌آموزان را از طریق حل مسئله با یکاهای چگالی و تبدیل آنها با یکدیگر آشنا کرده‌ایم.

حل تمرین ۱ــ۶

به روش تبدیل زنجیره‌ای داریم:

$$۱۰۰۰\,kg/m^۳=(۱۰۰۰\,kg/m^۳)(۱)(۱)$$

$$=(۱۰۰۰\,kg/m^۳)\left(\frac{۱۰۰۰\,g}{۱\,kg}\right)\left(\frac{۱\,m^۳}{۱۰^۶\,cm^۳}\right)=۱\,g/cm^۳$$

پاسخ پرسش ۱ــ۴

با توجه به اینکه چگالی بنزین از چگالی آب کمتر است (با توجه به جدول ۱ــ۸) انتظار می‌رود دانش‌آموزان توضیحی قانع‌کننده برای پاسخ به پرسش ارائه دهند.

حل تمرین ۱ــ۷

$$V=۴/۷۰\,L=۴/۷۰\times۱۰^۳\,cm^۳$$

$$m=\rho V=(۱/۰۵\,g/cm^۳)(۴/۷۰\times۱۰^۲\,cm^۳)=۴۹۳\,g$$

دانستنی برای معلم

اُسمیم (Osmium) از عنصرهای جدول تناوبی و با نشان Os است که نخستین بار در سال ۱۸۰۳ میلادی کشف شد. این عنصر یکی از کمیاب‌ترین فلزها در پوستهٔ زمین است. نقطهٔ ذوب اسمیم کمی بیشتر از ۳۰۰۰ درجهٔ سلسیوس است و به‌طور عمده به عنوان عنصر آلیاژی در آلیاژهای پلاتینیم کاربرد دارد و حضور آن در این دسته از آلیاژها، سبب سختی بسیار زیاد آنها می‌شود. آلیاژ ۹۰٪ پلاتین و ۱۰٪ اسمیوم در ایمپلنت‌های پزشکی مانند ضربان‌ساز قلب و تعویض دریچهٔ قلب کاربرد دارد. همچنین اسمیوم تترااکسید برای بررسی‌های میکروسکوپی جهت تحریک بافت چربی و کشف اثر انگشت کاربرد دارد.

حل تمرین ۱ــ۸

قبل از حل این تمرین، بهتر است از دانش‌آموزان بخواهید تا پیش‌بینی کنند که جرم هوای داخل کلاس تقریباً چقدر است. معمولاً نتیجهٔ پیش‌بینی آنها خیلی کمتر از مقدار واقعی است!

برای تعیین حجم کلاس، ابتدا باید ابعاد کلاس توسط دانش‌آموزان تخمین زده شود. اگر ابعاد یک کلاس فرضی ۴m×۹m×۳m برآورد شود، در این صورت داریم :

$V = ۱۰۸\ m^۳$

$m = \rho V = (۱/۲۹\ kg/m^۳)\ (۱۰۸\ m^۳) = ۱۳۹\ kg$

پاسخ پرسش ۱ــ۵

با توجه به مفهوم چگالی دانش‌آموزان به سادگی می‌توانند به این پرسش پاسخ دهند.

توصیه می‌شود فعالیت‌های ۱ــ۷ و ۱ــ۸ به‌طور گروهی توسط دانش‌آموزان انجام شود.

پرسش پیشنهادی

با توجه به مفهوم چگالی، هر یک از شکل‌های ۱ تا ۴ را به یکی از گزینه‌های (الف) تا (ت) مرتبط کنید.

الف) چگالی جسم از چگالی آب بیشتر است.
ب) چگالی جسم بین ۰/۶ تا ۰/۸ گرم بر میلی‌لیتر است.
پ) چگالی آب و چگالی جسم مساوی‌اند.
ت) چگالی جسم حدود نصف چگالی آب است.

راهنمای پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۱

۱ دانش‌آموزان در پاسخ به این پرسش باید به موارد زیر توجه کنند : هیچ نظریه‌ای در فیزیک به عنوان حقیقت پایانی در نظر گرفته نشده است. این امکان همواره وجود دارد که مشاهده‌های جدید ایجاب کنند که نظریه‌ای بازنگری یا رد شود. این در ماهیت نظریهٔ فیزیکی نهفته است که می‌توانیم یک نظریه را در صورت یافتن رفتاری که با آن ناسازگار است رد کنیم.

۲ در پاسخ به این پرسش توجه کنند که : در فیزیک، مدل صورت ساده شده‌ای از یک دستگاه فیزیکی است که تحلیل آن در شرایط واقعی و با جزئیات کامل، دارای پیچیدگی‌های فراوانی است. مدل آرمانی، ساده‌ترین شکل ممکن برای بررسی یک دستگاه یا پدیدهٔ فیزیکی است. برای ساختن یک مدل آرمانی، باید روی مهم‌ترین ویژگی‌های دستگاه تمرکز کنیم و اثرهای جزئی‌تر را نادیده بگیریم.

۳ به ترتیب از راست به چپ (قسمت بالا) : نرده‌ای، اصلی
به ترتیب از راست به چپ (قسمت پایین) : تغییر نکنند، متر، ثانیه، تندی متوسط، سرعت متوسط، نیرو و شتاب.

۴ در این گونه تخمین یا برآورد طول اجسام اطرافمان، از چشم و ذهن خود کمک می‌گیریم. در این گونه تخمین‌ها، که به تخمین‌های مبتنی بر حواس نیز مرسوم‌اند، مقدار براورد شده را گزارش می‌کنیم.

۵ امروزه ترازوهای آشپزخانه عمدتاً به صورت رقمی (دیجیتال) ساخته می‌شوند و دقت خوبی دارند (مانند ترازوی شکل صفحه بعد که دقت آن یک گرم است). ترازوهای مدرج آشپزخانه، معمولاً دقت کمی دارند و برای انجام این فعالیت توصیه نمی‌شوند (مانند ترازوی شکل صفحه بعد که دقت آن ۲۰گرم است). اگر جرم تعدادی سوزن (مثلاً ۵۰ عدد) را به کمک ترازوی رقمی به‌دست آوریم و مقدار حاصل را بر عدد ۵۰ تقسیم کنیم، مقدار به‌دست آمده به جرم واقعی یک سوزن تقریباً نزدیک است.

ترازوی رقمی آشپزخانه با دقت یک گرم

ترازوی مدرج آشپزخانه با دقت ۲۰ گرم

۶ دانش‌آموزان می‌توانند به حرکت رفت و برگشتی یک آونگ، خروج قطره‌های آب از یک شیر آب که سفت بسته نشده است برای مقیاس‌های کوچک زمان اشاره کنند و برای مقیاس‌های بزرگ زمان نیز می‌توانند به شبانه روز، ماه، فصل و سال به عنوان پدیده‌های تکرار شوندهٔ طبیعی اشاره کنند.

۷ الف) با توجه به جدول ۱ــ۵، هر سال تقریباً $۳/۱۵\times۱۰^{۷}s$ است. بنابراین یک قرن برابر $۳/۱۵\times۱۰^{۹}s$ و یک میکروقرن برابر $۳/۱۵\times۱۰^{۳}s$ خواهد شد که برابر ۵۲/۵ min یا تقریباً ۵۰ min می‌شود. (اشاره : امروزه در بیشتر نظام‌های آموزشی دنیا، هر جلسهٔ مفید کلاس درس را ۵۰ دقیقه که تقریباً برابر با یک میکروقرن است در نظر می‌گیرند.)

ب) به روش تبدیل زنجیره‌ای داریم :

$$۱۰^{۹}s=(۱۰^{۹}s)(۱)=(۱۰^{۹}s)\left(\frac{۱year}{۳/۱۵\times۱۰^{۷}s}\right)=۳۱/۷\ year$$

۸ الف) با توجه به فرض‌های مسئله، ابتدا مساحت سطح زمین را پیدا می‌کنیم.

$$A=۴\pi R^{۲}=۴\times۳/۱۴(۶/۴۰\times۱۰^{۶}m)^{۲}=۵/۱۴\times۱۰^{۱۴}m^{۲}$$

$$A=(۵/۱۴\times۱۰^{۱۴}m^{۲})\left(\frac{\text{هکتار }۱}{۱۰^{۴}m^{۲}}\right)=۵/۱۴\times۱۰^{۱۰}\text{هکتار}$$

ب) مساحت کل کشوری که به دریا دسترسی دارد، شامل مساحت خشکی و مساحت بخشی از دریا (رودخانه‌های مرزی، جزایر و نوار ساحلی) است. برای محاسبه مساحت یک بخش از دریا و برای سادگی، منطقه مورد نظر را به صورت مستطیل در نظر می‌گیریم.

محاسبهٔ مساحت محدوده آب‌های سرزمینی در شمال ایران :

طول خط ساحلی در شمال کشور (طول مستطیل مورد نظر) با در نظر گرفتن مقیاس حدود ۹۰۰ کیلومتر است. از طرفی عرض آب‌های سرزمینی در این منطقه ۱۵ مایل دریایی است (با توجه به توافق سال ۱۳۹۴ شمسی بین رؤسای جمهور پنج کشور حاشیه دریای خزر). با در نظر گرفتن اینکه هر مایل دریایی معادل ۱۸۵۲ متر است، بنابراین عرض آب‌های سرزمینی در شمال کشور ۲۷۷۸۰ متر است. بنابراین مساحت آب‌های سرزمینی منطقه شمالی کشورمان حدود ۲۵۰۰۰ کیلومتر مربع است.

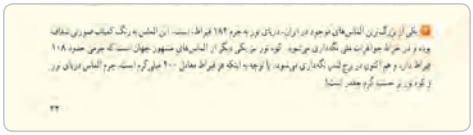
محاسبهٔ مساحت محدوده آب‌های سرزمینی در جنوب ایران :

طول خط ساحلی در جنوب کشور ۴۹۰۰ کیلومتر و عرض آب‌های سرزمینی در این منطقه به استناد یک کوانسیون بین‌المللی، ۱۲ مایل دریایی یا معادل ۲۲/۲۲۴ کیلومتر است. بنابراین مساحت آب‌های سرزمینی منطقه جنوبی کشورمان حدود ۱۰۹۰۰۰ کیلومتر مربع است.

محاسبهٔ مساحت کل سرزمین ایران :

از آنجا که مساحت بخش خشکی ایران برابر ۱۶۴۸۱۹۵ کیلومترمربع است، مساحت کل سرزمین ایران برابر ۱۷۸۲۱۹۵ کیلومتر مربع است که حدود ۷/۵ درصد آن مربوط به بخش دریاهاست.

با توجه به نتیجهٔ قسمت (الف)، مساحت کل سرزمین ایران، حدود ۳۵ صدم درصد از کل مساحت زمین است.



۹ هدف این مسئله، آشنا کردن دانش‌آموزان با یکای قیراط است که ممکن است در رسانه‌های مختلف در خصوص آن مطالبی بخوانند یا بشنوند.

۱۰ با توجه به داده‌های مسئله، آهنگ رشد این گیاه را برحسب میکرومتر بر ثانیه به روش تبدیل زنجیره‌ای پیدا می‌کنیم :

$$\frac{۳/۷\text{m}}{۱۴\text{day}}=(\frac{۳/۷\text{m}}{۱۴\text{day}})(۱)(۱)=(\frac{۳/۷\text{m}}{۱۴\text{day}})(\frac{۱\text{day}}{۸۶۴۰۰\text{s}})(\frac{۱۰^{۶}\mu\text{m}}{۱\text{m}})$$

$$=۳/۰۶\frac{\mu\text{m}}{\text{s}}$$

۱۱ با توجه به داده‌های مسئله داریم :

$$۱\text{ft}=۱۲\text{in}=۱۲\times۲/۵۴\text{cm}=۳۰/۴۸\text{cm}=۰/۳۰۴۸\text{m}$$

$$۳۰۰۰۰\text{ft}=۳۰۰۰۰\times۰/۳۰۴۸=۹۱۴۴\text{m}\approx۹\text{km}$$

۱۲ با توجه به جدول ۱ــ۵، هر سال تقریباً $۳/۱۵\times۱۰^{۷}\text{s}$ است، بنابراین داریم :

$$۲۵۵۰\ \text{year}=۲۵۵۰\times۳/۱۵\times۱۰^{۷}\approx۸\times۱۰^{۱۰}\text{s}\sim۱۰^{۱۱}\text{s}$$

مرتبهٔ بزرگی سن سنگ نوشته بر حسب ثانیه

۱۳ هدف این مسئله، آشنا کردن دانش‌آموزان با برخی از یکاهای متداول در صنعت حمل و نقل دریایی است.

الف) با توجه به داده‌های مسئله داریم :

$$۱\text{Knot}=۰/۵۱۴۴\text{m/s}$$

$$۱۴\text{Knot}=(۱۴\text{Knot})(\frac{۰/۵۱۴۴\text{m/s}}{۱\text{Knot}})\approx۷/۲۰\text{m/s}=۲۶\text{km/h}$$

ب)

$$۷/۲۰\text{m/s}=(۷/۲۰\text{m/s})(۱)(۱)$$

$$=(۷/۲۰\text{m/s})=(\frac{۱\text{mi}}{۱۸۵۲\text{m}})(\frac{۳۶۰۰\text{s}}{۱\text{h}})\approx۱۴\text{mi/h}$$

۱۴ طول جسم = (۵۳/۵mm − ۱۱/۰mm) ± ۰/۵mm = ۴۲/۵mm ± ۰/۵mm

از آنجا که موقعیت جسم نسبت به ابزار اندازه‌گیری تغییری نکرده است، کافی است فقط یک بار خطا را گزارش کنیم.

۱۵ با توجه به شکل، دقت تندی سنج ۲km/h و خطای آن ±۱km/h است.

۱۱۵ km/h ± ۱km/h

رقم غیرقطعی

۱۶ دانش‌آموزان باید توجه کنند که در ابزارهای رقمی، یک واحد از آخرین رقم نمایش داده شده در نمایشگر ابزار رقمی، برابر دقت آن است. مثبت و منفی دقت نیز، برای خطای ابزار رقمی است.

الف)

۲۰/۰۸۳mm ± ۰/۰۰۱mm

ب)

۱۶/۶۷mm ± ۰/۰۱mm

خطای ابزار اندازه‌گیری

رقم غیرقطعی با رنگ آبی مشخص شده است.

۱۷ الف) یک فرد بزرگسال به‌طور میانگین در هر ۴ ثانیه یک مرتبه نفس می‌کشد. با توجه به جدول ۱ـ۵، هر سال تقریباً $۳/۱۵ \times ۱۰^{۷}\,s$ است. بنابراین مرتبهٔ بزرگی نفس‌های یک شخص در مدت یک سال، از مرتبهٔ $۱۰^{۷}$ است. سن میانگین یک فرد نیز ۷۵ سال است که مرتبهٔ بزرگی آن $۱۰^{۲}$ سال است. به این ترتیب تعداد نفس‌هایی که یک شخص در طول عمر خود می‌کشد از مرتبهٔ $۱۰^{۹}$ تخمین زده می‌شود.

ب) چشم هر فرد معمولاً در هر ۱۰ ثانیه یک بار پلک می‌زند و یک سوم هر شبانه‌روز را هم در حال خواب است. به این ترتیب تعداد پلک‌هایی که چشم یک شخص در مدت یک سال می‌زند، از مرتبهٔ $۱۰^{۶}$ و در طول عمرش از مرتبهٔ $۱۰^{۸}$ تخمین زده می‌شود.

۱۸ ابتدا مساحت سطح زمین را پیدا می‌کنیم :

$$A = ۴\pi R^{۲} = ۴ \times ۳/۱۴\ (۶/۴۰ \times ۱۰^{۶}m)^{۲} = ۵/۱۴ \times ۱۰^{۱۴}m^{۲}$$

از آنجا که حدود ۷۰ درصد سطح زمین را آب اقیانوس‌ها فرا گرفته است و عمق اقیانوس‌ها از مرتبهٔ $۱۰^{۳}m$ است، مرتبهٔ بزرگی حجم آب اقیانوس به صورت زیر تخمین زده می‌شود.

$$V = Ah \sim ۱۰^{۱۴}m^{۲} \times ۱۰^{۳}m = ۱۰^{۱۷}\,m^{۳}$$

با توجه به اینکه بزرگی چگالی آب اقیانوس از مرتبه $۱۰^{۳}kg/m^{۳}$ است، می‌توان نوشت :

$$m = \rho V \sim ۱۰^{۲۰}kg$$

خوب است بدانید نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های دقیق‌تر، مقدار $۱/۴ \times ۱۰^{۲۱}kg$ را گزارش کرده‌اند.

۱۹ الف)با به‌دست آوردن حجم و جرم قطعهٔ طلا، چگالی را به کمک رابطهٔ ۱ــ۱ حساب می‌کنیم. اگر مقدار به‌دست آمده با مقدار درج شده در جدول ۱ــ۸ منطبق باشد، می‌توان ادعای ساخته شدن قطعه از طلای خالص را پذیرفت.

ب) با استفاده از داده‌های مسئله و رابطهٔ ۱ــ۸ داریم :

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{۲۵۰\,kg}{۱/۵۷۳\times۱۰^{-۲}\,m^۳} = ۱۵۸۹۳\,kg/m^۳$$

پ) چگالی طلا در جدول ۱ــ۸ برابر $۱۹۳۰۰\ kg/m^۳$ گزارش شده است. همان‌طور که می‌دانید طلای خالص، فلزی نرم و انعطاف‌پذیر است. برای استحکام قطعه‌هایی که از طلا ساخته می‌شوند مقداری از فلزهای مس، نقره، نیکل، پالادیوم و روی را با آن مخلوط می‌کنند.

۲۰ با توجه به داده‌های روی شکل داریم :

$$m = ۸/۲۴g$$

$$V = (۲۳/۱ - ۱۸/۵)mL = ۴/۶\times۱۰^{-۳}\,L$$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{۸/۲۴g}{۴/۶\times۱۰^{-۳}\,L} = ۱۷۹۱\,g/L$$

از آنجا که $1L = ۱۰^۳\,cm^۳$ است، داریم :

$$\rho = ۱/۷۹۱\,g/cm^۳$$

۲۱ الف) اگر ابعاد یک قوطی کبریت را $۵cm\times۳/۵cm\times۱/۵cm$ تخمین بزنیم در این صورت حجم آن حدود $V = ۲۶cm^۳ = ۲/۶\times۱۰^{-۵}m^۳$ می‌شود. به این ترتیب داریم :

$$m = \rho V = (۱۰^۸\,kg/m^۳)\,(۲/۶\times۱۰^{-۵}m^۳) = ۲۶۰۰\,kg$$

ب) ابتدا جرم کل تقریبی جمعیت زمین را به‌دست می‌آوریم :

$$m = ۷\times۱۰^۹\times۶۰\,kg = ۴/۲\times۱۰^{۱۱}\,kg$$

به این ترتیب با توجه به فرض مسئله، که فرضی ناممکن است، داریم :

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{۴/۲\times۱۰^{۱۱}\,kg}{۱۰^۸\,kg/m^۳} = ۴۲۰۰\,m^۳$$

بنابراین در فضایی به ابعاد $۵۶m\times۲۵m\times۳m$ می‌توان کل جمعیت کرهٔ زمین را جای داد!

فصل ۲

کار، انرژی و توان

انرژی جنبشی ۲ـ۱
کار انجام‌شده توسط نیروی ثابت ۲ـ۲
کار و انرژی جنبشی ۲ـ۳
کار و انرژی پتانسیل ۲ـ۴
پایستگی انرژی مکانیکی ۲ـ۵
کار و انرژی درونی ۲ـ۶
توان ۲ـ۷
پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۲

پیامدها

دانش‌آموزان با درک مفاهیم انرژی، کار و توان :

- متوجه می‌شوند که انرژی در همه‌چیز و همه‌جا وجود دارد.
- انرژی به شکل‌های مختلف وجود دارد و این شکل‌های مختلف انرژی می‌توانند به یکدیگر تبدیل شوند.
- با انجام کار روی یک دستگاه یا سامانه، می‌توان انرژی را به آن منتقل کرد.

چه شناختی مطلوب است؟

- هر جسم در حال حرکت انرژی دارد که آن را انرژی جنبشی می‌نامند.
- کار انرژی را منتقل می‌کند و اگر نیرو وارد به جسم در حین جابه‌جایی ثابت بماند، کار را می‌توان محاسبه کرد.
- کار برایند نیروهای وارد بر جسم، برابر تغییرات انرژی جنبشی آن است.
- کار نیروی وزن، با منفی تغییرات انرژی پتانسیل گرانشی جسم برابر است.
- کار نیروی فنر با منفی تغییرات انرژی پتانسیل کشسانی آن برابر است.
- در نبود نیروهای اتلافی، انرژی مکانیکی جسم پایسته می‌ماند.
- در یک سامانهٔ منزوی، مجموع کل انرژی‌ها پایسته می‌ماند.
- آهنگ انجام کار، توان است.

چه پرسش‌هایی اساسی است و باید در نظر گرفته شوند؟

- مفهوم انرژی از منظر مصادیق آن چیست؟
- مفهوم کار چیست؟
- کار کل روی یک سامانه چگونه محاسبه می‌شود؟
- قضیهٔ کار ــ انرژی جنبشی چیست؟
- اصل پایستگی انرژی مکانیکی و قانون پایستگی انرژی چیست؟
- توان مکانیکی یک سامانه چیست؟

در پایان این واحد یادگیری دانش‌آموزان چه دانش و مهارت‌های اساسی را کسب می‌کنند؟

الف) دانش‌آموزان خواهند دانست که :

- **واژگان کلیدی** : انرژی و شکل‌های آن، کار نیروی ثابت، پایستگی انرژی مکانیکی، قانون پایستگی انرژی، توان.
- **انواع انرژی مکانیکی شامل** : انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل.
- **انواع انرژی پتانسیل شامل** : انرژی پتانسیل گرانشی، کشسانی، شیمیایی و ...

ب) دانش‌آموزان قادر خواهند بود که :

- کار نیروی ثابت را محاسبه کنند.
- کار کل را به دو روش محاسبه کنند.
- کار نیروی وزن را محاسبه کنند.
- توان را محاسبه کنند.
- با کمک اصل پایستگی انرژی مکانیکی و قانون پایستگی انرژی مسائل آخر فصل را حل نمایند.

بودجه‌بندی پیشنهادی فصل دوم

- **جلسهٔ اوّل** : نگاهی به تصویر و مقدمهٔ فصل + بخش ۲ــ۱ و بخش ۲ــ۲ تا ابتدای مهارت ریاضی
- **جلسهٔ دوم** : بخش ۲ــ۲ از مهارت‌های ریاضی تا پایان بخش ۲ــ۲
- **جلسهٔ سوم** : بخش ۲ــ۳
- **جلسهٔ چهارم و پنجم** : بخش ۲ــ۴
- **جلسهٔ ششم** : بخش‌های ۲ــ۵ و ۲ــ۶
- **جلسهٔ هفتم** : بخش ۲ــ۷
- **جلسهٔ هشتم** : جمع‌بندی، رفع اشکال و حل پرسش‌ها و تمرین‌های باقیمانده از پایان فصل دوم
- **جلسهٔ نهم** : آزمون تشریحی فصل دوم

آنچه لازم است همکاران گرامی، قبل از آموزش فصل دوم، به آن توجه داشته باشند :

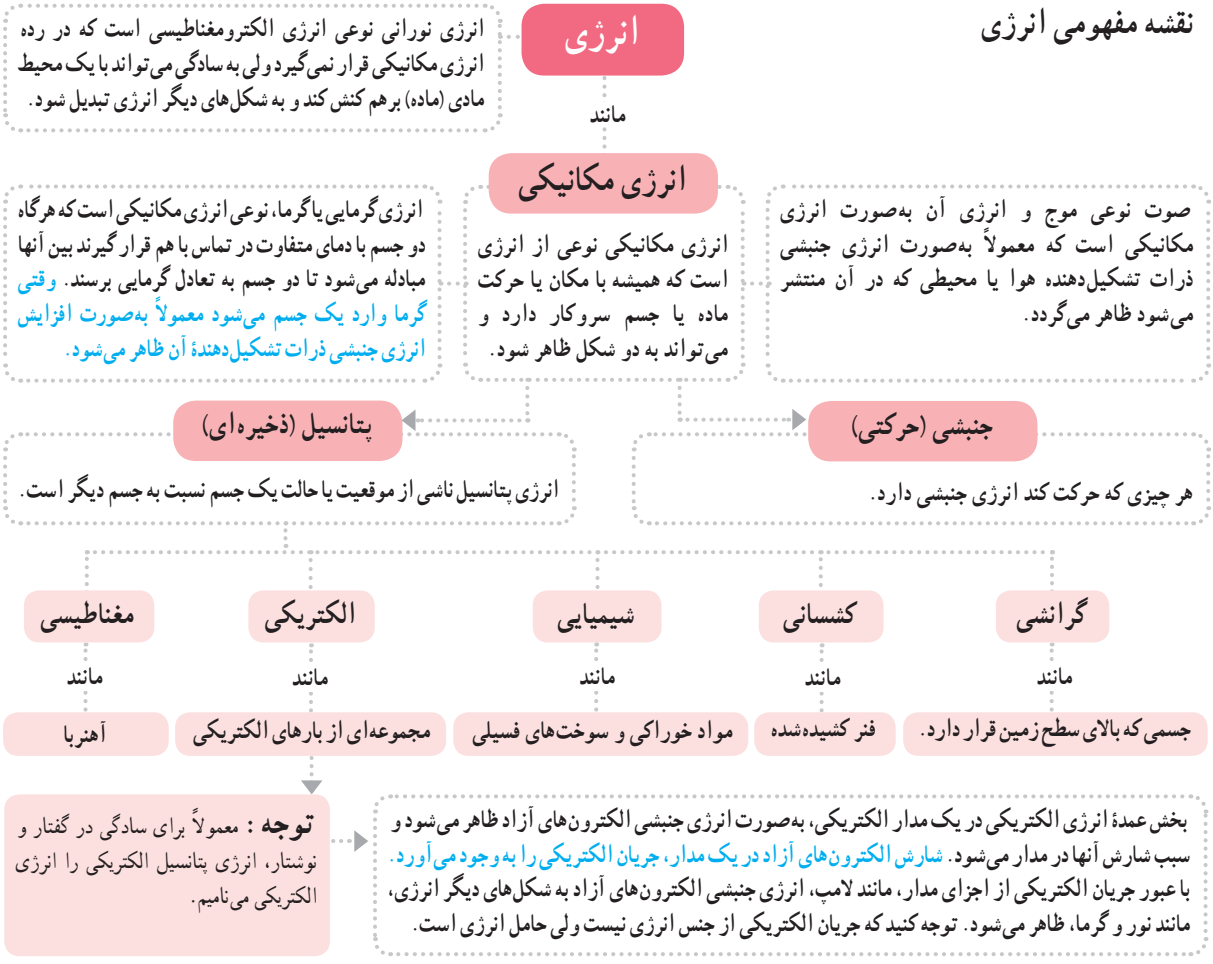
دانش‌آموزان در کتاب علوم تجربی سال هفتم، در فصل‌هایی با انرژی و منابع انرژی، با برخی از مفاهیم از قبیل کارنیروی ثابت در جهت جابه‌جایی، آشنایی کیفی با شکل‌های مختلف انرژی و منابع انرژی و اهمیت آنها در دنیای امروز آشنا شده‌اند. همچنین دانش‌آموزان در علوم سال نهم، در دو فصل با عناوین حرکت چیست؟ و نیرو با مبانی لازم برای ورود به فصلی که هم‌اینک در اختیار دارید آشنا شده‌اند. دانش‌آموزان در این دو فصل، ضمن شناخت مفاهیم اولیهٔ حرکت از قبیل مسافت، جابه‌جایی (به‌صورت یک کمیت برداری)، تندی، سرعت (به‌صورت یک کمیت برداری)، شتاب (به‌صورت یک کمیت برداری) با قانون‌های نیوتون نیز آشنا شده‌اند و درک خوبی از تفاوت بین کمیت‌های تندی و سرعت به‌دست آورده‌اند.

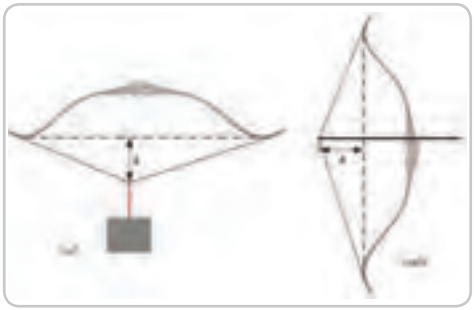
نیرو را به عنوان یک کمیت برداری می‌شناسند و با نیروهای متوازن و نامتوازن و نحوهٔ محاسبهٔ نیروهای نامتوازن در یک راستا آشنا شده‌اند. در رابطهٔ F=ma، نیروی F را به عنوان اندازهٔ نیروی خالص وارد بر جسم می‌شناسند و با محاسبهٔ نیروی خالص برای حالتی که چندین نیرو در یک راستا به جسم وارد شده است آشنایی دارند. افزون بر اینها، شناختی کیفی از نیروهای اصطکاک ایستایی و جنبشی پیدا کرده‌اند. به این ترتیب تأکید می‌کنیم که :

مفاهیم و تعریف‌های فصل کار، انرژی و توان به گونه‌ای سازمان‌دهی و تألیف شده‌اند که بر پایهٔ آموخته‌های قبلی دانش‌آموزان در دورهٔ اول متوسطه باشند و نیازی به حرکت‌شناسی و دینامیک، فراتر از آنچه در علوم سال نهم خوانده‌اند نباشد.

لذا به دبیران محترم فیزیک، که کتاب فیزیک ۱ پایهٔ دهم را آموزش می‌دهند، توصیه می‌کنیم کتاب‌های دانش‌آموز و راهنمای معلم علوم تجربی سال‌های هفتم و نهم را ببینند (برای دانلود فایل این راهنماها به سایت www.chap.sch.ir مراجعه کنید).

نقشه مفهومی انرژی





راهنمای تدریس : در تصویر شروع فصل که با یک پرسش شروع شده است، لازم است ذهن دانش‌آموزان را برای دقایقی به آن معطوف کنید. از آنجا که دانش‌آموزان از علوم سال هفتم، با مفاهیم انرژی و شکل‌های آن، کار و محاسبهٔ کار نیروی ثابت در جهت جابه‌جایی، آشنایی دارند لذا با توجه به شناخت قبلی آنها سعی کنید تا مروری بر آن مفاهیم شود. در مقدمهٔ این فصل، انرژی از منظر مصادیق آن و با یادآوری از آنچه در علوم هفتم خوانده‌اند، مرور شده است. برای پاسخ به پرسش زیر شکل، می‌توان به‌طور غیرمستقیم انرژی پتانسیل کشسانی لازم را بدون استفاده از رابطهٔ آن، به‌دست آورد. کافی است مطابق شکل (ب) کمان را به‌طور افقی نگه‌داریم و وزنه‌ای را از قسمت کشسان آن آویزان کنیم تا کشیدگی آن مطابق شکل (الف) باشد. در این‌صورت انرژی پتانسیل گرانشی جسم در حالت (ب) برابر انرژی پتانسیل کشسانی در حالت (الف) خواهد بود.

به‌این‌ترتیب، با داشتن جرم تیر، می‌توان تندی آن را هنگام رها شدن از کمان به‌دست آورد.

دانستنی برای معلم

ابداع مفهوم انرژی یکی از برجسته‌ترین نمونه‌های خلاقیت بشر در زمینهٔ علمی است. مطالعهٔ دنیای فیزیکی پیرامون، از هر نوعی که باشد در نهایت سر از مفاهیم ماده و انرژی در می‌آورد. این دو مفهوم در کنار یکدیگر، همان چیزی است که عالم را تشکیل می‌دهد. درک شهودی ما از ماده در همان سال‌های آغازین زندگی شکل می‌گیرد و حتی برخی از جنبه‌های کمی آن را نیز شامل می‌شود. اما در مقابل، ایده یا پندارهٔ مربوط به انرژی ظریف‌تر و انتزاعی‌تر است. ما عموماً نمی‌توانیم انرژی را مستقیماً حس یا لمس کنیم، ببینیم، و یا بشنویم. در عوض معمولاً انرژی را در جسمی (یا موجی) که با جسم دیگری برهم‌کنش دارد احساس می‌کنیم. مثلاً انرژی موجود در یک موج صوتی را هنگامی که موج صوتی مطابق شکل زیر یک جام شیشه‌ای را می‌شکند حس می‌کنیم.

تقریباً غیرممکن است که بتوانیم مفهوم انرژی را بدون در نظر گرفتن مفهوم کار، که رابطهٔ تنگاتنگی با آن دارد، به تصور کنیم. انرژی را به کمک مقدار کاری که می‌تواند انجام دهد اندازه‌گیری می‌کنند. از این‌رو درک روشن مفهوم انرژی مستلزم درک روشن مفهوم کار است.

۲ــ۱ــ انرژی جنبشی

راهنمای تدریس : دانش‌آموزان در علوم سال هفتم، به‌طور کیفی با مفهوم انرژی جنبشی (حرکتی) آشنا شده‌اند. در این بخش ضمن توجه به این موضوع، رابطهٔ کمی انرژی به همراه تعدادی مثال و تمرین آمده است.

از آنجا که دانش‌آموزان با مفهوم تندی در علوم سال نهم آشنا شده‌اند، لذا رابطهٔ انرژی جنبشی به شکل استاندارد آن معرفی شده است. در رابطهٔ انرژی جنبشی، کمیت V، نشان‌دهندهٔ تندی لحظه‌ای جسم است که برای سادگی آن را تندی می‌نامیم. توصیه می‌شود برای تمایز بین کمیت‌های تندی متوسط، تندی لحظه‌ای (تندی)، سرعت متوسط، سرعت لحظه‌ای (سرعت)، به راهنمای معلم فصل حرکت علوم نهم مراجعه کنند (برای دانلود به سایت www.chap.sch.ir مراجعه کنید).

حل تمرین ۲ــ۱

$m = ۲۲۰\ kg$

$v = ۲/۵\ km/s = (۲/۵\ km/s)(\frac{۱۰۰۰\ m}{۱\ km}) = ۲/۵ \times ۱۰^{۳}\ m/s$

$K = \frac{۱}{۲}mv^{۲} = \frac{۱}{۲}(۲۲۰\ kg)(۲/۵ \times ۱۰^{۳}\ m/s)^{۲} = ۶۹ \times ۱۰^{۷}\ J = ۹۰۳\ MJ$

حل تمرین ۲ــ۲

$m = ۸/۴۰ \times ۱۰^{۲}\ kg$

$v_{۱} = ۱۸/۰\ m/s$

$v_{۲} = ۲۵/۰\ m/s$

$K_{۱} = \frac{۱}{۲}mv_{۱}^{۲} = -(۸/۴۰ \times ۱۰^{۲}\ kg)(۱۸/۰\ m/s)^{۲} = ۱۳۶ \times ۱۰^{۳}\ J = ۱۳۶\ kJ$

$K_{۲} = \frac{۱}{۲}mv_{۲}^{۲} = \frac{۱}{۲}(۸/۴۰ \times ۱۰^{۲}\ kg)(۲۵/۰\ m/s)^{۲} = ۲۶۲ \times ۱۰^{۳}\ J = ۲۶۲\ kJ$

$\Delta K = K_{۲} - K_{۱} = ۲۶۲\ kJ - ۱۳۶\ kJ = ۱۲۶\ kJ$

پاسخ پرسش ۲ــ۱

انرژی جنبشی کمیتی نرده‌ای است و فقط به تندی و جرم جسم بستگی دارد.

برای حل این پرسش ابتدا انرژی جنبشی اجسام را محاسبه کرده و برحسب K_1 می‌نویسیم.

$$K_1 = \frac{1}{2}mv^2$$

$$K_2 = \frac{1}{2}m(2v)^2 = \frac{1}{2}m \times (4v^2) = 4\left(\frac{1}{2}mv^2\right) = 4K_1$$

$$K_3 = \frac{1}{2}mv^2 = K_1$$

$$K_4 = \frac{1}{2}(2m)v^2 = 2\left(\frac{1}{2}mv^2\right) = 2K_1$$

$$K_5 = \frac{1}{2}(2m)(2v)^2 = \frac{1}{2} \times 2m \times (4v^2) = 8\left(\frac{1}{2}mv^2\right) = 8K_1$$

بنابراین می‌توان نوشت :

$$(K_1 = K_3) < K_4 < K_2 < K_5$$

۲ــ۲ــ کار انجام‌شده توسط نیروی ثابت

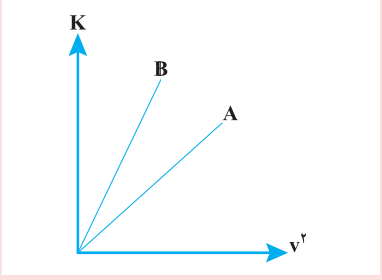
راهنمای تدریس : قسمت اول این بخش تا قبل از مهارت‌های ریاضی، یادآوری از علوم سال هفتم است ضمن آنکه در مثال ۲ــ۳، از اطلاعات دانش‌آموزان از علوم سال نهم نیز استفاده شده است. همان‌طور که پیش از این نیز اشاره شد، دانش‌آموزان در علوم سال نهم با قانون دوم نیوتون به‌صورت F=ma آشنایی دارند و F را به عنوان نیروی خالص وارد بر جسم می‌شناسند.

تمرین‌های پیشنهادی بخش ۲ ــ ۱

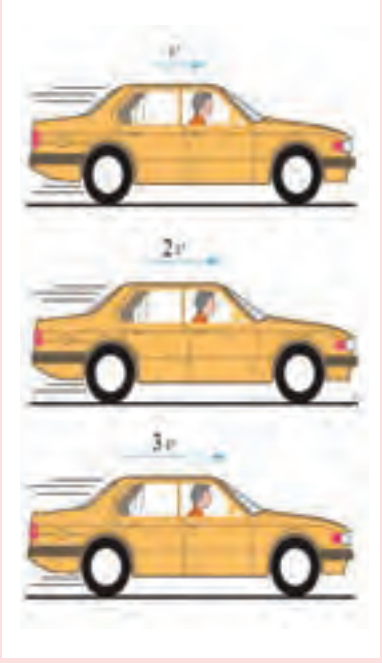
۱ شکل روبه‌رو کامیونی به جرم ۲۵ تن و خودرویی به جرم ۹۰۰kg را نشان می‌دهد که در امتداد مسیر مستقیمی در حرکت‌اند.

الف) اگر تندی کامیون و خودرو یکسان و برابر ۷۲km/h باشد، انرژی جنبشی هر کدام را به طور جداگانه پیدا کنید.

ب) اگر کامیون با تندی ۱۰m/s در حرکت باشد، خودرو باید با چه تندی‌ای حرکت کند تا انرژی جنبشی آن با انرژی جنبشی کامیون برابر شود؟



۲ نمودار تغییرات انرژی جنبشی دو توپ به جرم‌های m_A و m_B برحسب مجذور تندی آنها مطابق شکل روبه‌رو است. به کمک این نمودار جرم دو توپ را با هم مقایسه کنید.



۳ الف) در شکل روبه‌رو، جرم هر سه خودرو یکسان ولی تندی حرکت آنها متفاوت است. انرژی جنبشی هر خودرو را پیدا کنید.

ب) با توجه به نتیجه قسمت الف جمله زیر را کامل کنید.

هرگاه تندی حرکت جسمی دو برابر شود انرژی جنبشی آن ..... برابر می‌شود. همچنین هرگاه تندی حرکت جسمی به $\frac{۱}{۳}$ مقدار اولیه برسد انرژی جنبشی آن ..... برابر می‌شود.

حل تمرین ۲ــ۳

$m=۶۵\ kg$

$d=۴۵\ cm=(۴۵\ cm)\times(\frac{۱\ m}{۱۰۰\ cm})=۴۵\times۱۰^{-۲}m$

$g=۹/۸\ N/kg$

چون حرکت وزنه یکنواخت است بنابراین نیروی F با نیروی وزن برابر است و داریم :

$F=mg$

$F=۶۵\ kg\times۹/۸\ N/kg=۶/۴\times۱۰^{۲}\ N$

$W=Fd=۶/۴\times۱۰^{۲}N\times۴۵/۰\times۱۰^{-۲}m=۲/۹\times۱۰^{۲}J$

برای آگاهی از سطح آشنایی دانش‌آموزان به مبحث بردارها، به کتاب ریاضی سال هشتم آنها مراجعه کنید. در این کتاب در یک فصل موضوع بردارها بررسی شده است.

ادامهٔ راهنمای تدریس : همان‌طور که در کتاب درسی نیز اشاره شده است لازم است دانش‌آموزان بتوانند مؤلفهٔ نیروی در امتداد جابه‌جایی را پیدا کنند؛ زیرا کار مؤلفه عمود بر جابه‌جایی همواره صفر است. به همین دلیل در رابطهٔ محاسبهٔ کار (رابطهٔ ۲ــ۳)، مؤلفهٔ نیرو در امتداد جابه‌جایی به‌طور جداگانه و در یک پرانتز آمده است ($F\cos\theta$).

حل تمرین ۲ــ۴

چون گفته به آرامی پایین می‌آورد $F=mg$

$F=۶/۴\times۱۰^{۲}N$

$d=۴۵cm=۷۴۵\ m$

$g=۱۸۰^\circ\Rightarrow\cos۱۸۰^\circ=-۱$

$W=(F\cos\theta)d=-۶/۴\times۱۰^{۲}N\times۰/۴۵m=-۲/۹\times۱۰^{۲}J$

در این حالت کار انجام‌شده توسط ورزشکار منفی است.

پاسخ پرسش ۲ــ۲

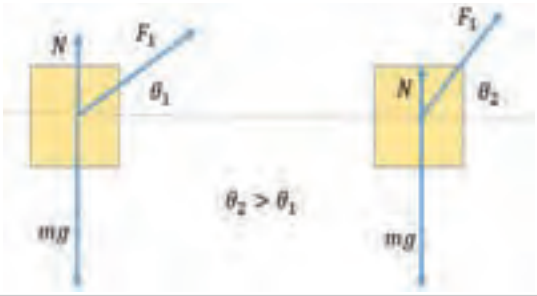
در هر دو حالت نیروهای وارد بر جسم را رسم می‌کنیم.

$W_۱ = (F_۱\cos\theta_۱)\, d$

$W_۲ = (F_۲\cos\theta_۲)\, ۱$

$W_۱ = W_۲ \Longrightarrow F_۱\cos\theta_۱\, d = F_۲\cos\theta_۲\, d$

$F_۱\cos\theta_۱ = F_۲\cos\theta_۲$ چون $\cos\theta_۲ < \cos\theta_۱ \Longrightarrow F_۲ > F_۱$



حل تمرین ۲ــ۵

$d = ۲۰۰\ m$

$mg = ۱۵۰۰۰N$

$F_۱ = ۵۵۰۰N$

$\theta = ۴۵^\circ$

$f_k = ۳۵۰۰N$

روش اول :

$W_۱ = (F_۱\cos\theta)d = (۵۵۰۰N \times \frac{\sqrt{۲}}{۲})(۲۰۰m) = ۷۷۸ \times ۱۰^۳ J$

$W_{fk} = (f_k\cos\theta)d = [۳۵۰۰N \times (-۱)](۲۰۰m) = -۷۰۰ \times ۱۰^۳ J$

چون نیروی وزن و نیروی عمودی سطح بر جابه‌جایی عمود هستند پس کار آنها صفر است بنابراین

$W_t = W_۱ + W_{f_k} = ۷۷۸ \times ۱۰^۳ J - ۷۰۰ \times ۱۰^۳ J = +۷۸ \times ۱۰^۳ J$

روش دوم :

ابتدا نیروها و مؤلفه‌های نیروهایی را که در امتداد جابه‌جایی بر جسم وارد می‌شوند شناسایی می‌کنیم. اندازه نیروی خالص در امتداد جابه‌جایی برابر است با :

$F = F_۱\cos۴۵ - f_k = ۵۵۰۰N \times \frac{\sqrt{۲}}{۲} - ۳۵۰۰N = ۳۸۹N$

$W_t = Fd = (۳۸۹N)(۲۰۰m) = ۷۸ \times ۱۰^۳ J$

دانستنی برای معلم

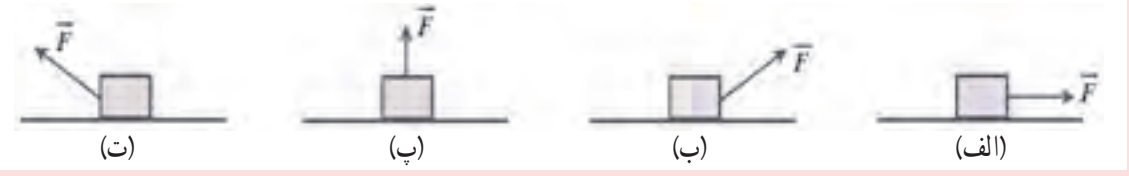
کارهایی که انجام می‌گیرند را معمولاً می‌توان به دو گروه تقسیم کرد :

۱ کاری که در برابر نیروی دیگر انجام می‌شود مثل وقتی که کمان‌گیر زه کمان خود را می‌کشد و در برابر نیروی کشسانی کمان کار انجام می‌دهد. یا وقتی باری را روی سطح شیب‌داری بالا می‌بریم و در مقابل نیروی گرانش کار انجام می‌دهیم.

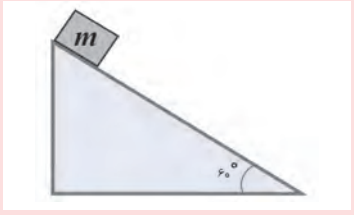
۲ نوع دیگر کار را می‌توان کاری در نظر گرفت که برای تغییر انرژی جنبشی (تغییر سرعت) یک جسم انجام می‌شود. این کاری است که باعث افزایش یا کاهش سرعت جسم می‌شود. در هر دو مورد کار متضمن انتقال انرژی است.

تمرین‌های پیشنهادی بخش ۲ـ۲

۱ شکل زیر چهار وضعیت را نشان می‌دهد که در آنها بر جعبه‌ای که روی سطح بدون اصطکاکی به طرف راست به اندازهٔ مسافت d می‌لغزد، نیرویی وارد می‌شود. بزرگی نیروها یکسان و جهت آنها در شکل نشان داده شده است. این چهار وضعیت را بنابر کار انجام‌شده روی جعبه در حین جابه‌جایی، از مثبت‌ترین مقدار تا منفی‌ترین مرتب کنید.



۲ جسمی به جرم ۲kg از بالای سطح شیب‌داری با زاویهٔ شیب 60° مطابق شکل روبه‌رو به پایین می‌لغزد. کار نیروی عمودی تکیه‌گاه، که از طرف سطح به جسم وارد می‌شود، پس از ۲m جابه‌جایی جسم چقدر است؟



۳ دانش‌آموزی جعبه‌ای را به آرامی از زمین بلند می‌کند و روی میزی می‌گذارد (شکل روبه‌رو). دانش‌آموز دیگری به او می‌گوید : «هیچ کاری انجام نداده‌ای، چون در حین جابه‌جایی جعبه، دو نیرو بر آن وارد شده است. یکی نیروی وزن جعبه، mg، رو به پایین و دیگری نیروی دست شما که رو به بالا وارد کرده‌اید. جمع این دو نیرو صفر می‌شود و در نتیجه کاری انجام نداده‌اید.» آیا آنچه دانش‌آموز دوم ادعا کرده، درست است؟ توضیح دهید.

۲ــ۳ــ کار و انرژی جنبشی

راهنمای تدریس : طرح قضیهٔ کار و انرژی جنبشی برای درک ارتباط کار انجام شده و تغییر انرژی جنبشی است. کسب مهارت در حل مسئله‌ها با به‌کارگیری این قضیه نیز بسیار اهمیت دارد.

حل تمرین ۲ــ۶

قضیه کار ـ انرژی جنبشی را برای هر دو قایق می‌نویسیم

$W_{t_1} = K_2 - K_1 = K_2$ قایق اول (سبک)

$W_{t_2} = K'_2 - K'_1 = K'_2$ قایق دوم (سنگین)

چون $W_{t_1}=W_{t_2}$ بنابراین انرژی جنبشی هر دو قایق درست پس از عبور از خط پایان با هم برابر است امّا تندی آنها یکی نیست.

$$K_2=\frac{1}{2}mv_1^2=\frac{1}{2}(2m)v_2^2\Rightarrow v_1^2=2v_2^2\Rightarrow v_1=\sqrt{2}\,v_2$$

حل تمرین ۲ــ۷

$m=۸/۴۰\times۱۰^{۲}kg, W_t=۷/۳۵\times۱۰^{۴}J, v_A=۵۴/۰ km/h, v_B=?$

حل : ابتدا تندی در موقعیت A را برحسب m/s می‌نویسیم :

$$v_A=(۵۴/۰\ km/h)\left(\frac{۱}{۳۶۰۰}\frac{h}{s}\right)\left(\frac{۱۰۰۰ m}{۱\ km}\right)=۱۵/۰\ m/s$$

$$W_t=K_B-K_A$$

$$۷/۳۵\times۱۰^{۴}J=\frac{۱}{۲}(۸/۴۰\times۱۰^{۲}kg)\,v_b^{۲}$$

$$-\frac{۱}{۲}(۸/۴۰\times۱۰^{۲}kg)(۱۵/۰\ m/s)^{۲}$$

$$\Rightarrow v_B^{۲}=۴۰۰\Rightarrow v_B=۲۰ m/s$$

حل تمرین ۲ــ۸

توجه : قبل از حل تمرین نیروی ثابت وارد به جعبه به اشتباه ۵۰N تایپ شده است آن را به ۱۵۰N تبدیل کنید.

$F=۱۵۰N$

$m=۱۰\ kg$

$d=۱/۵\ m\ ,\ g=۹/۸$

الف)

$$W_{mg}=mg\times d\cos ۱۸۰^{\circ}=۱۰N\times ۹/۸\ N/kg\times ۱/۵\ m\times(-۱)=-۱۴۷\ J$$

$$W_F=F\times d\times\cos ۰^{\circ}=۱۵۰N\times ۱/۵\ m\times(۱)=۲۲/۵\ J$$

ب)

$$W_t=W_{mg}+W_F=-۱۴۷J+۲۲/۵J=۷۸J$$

پ)

$$W_t=K_۲-K_۱\Rightarrow ۷۸J=\frac{۱}{۲}\times۱۰\times v_۲^{۲}$$

$$\Rightarrow v_۲^{۲}=۱۵/۶\Rightarrow v_۲=۳/۹\ m/s$$

پاسخ پرسش ۲ــ۳

$$W_{۱t}=K_۲-K_۱=\frac{۱}{۲}mv^{۲}-۰=\frac{۱}{۲}mv^{۲}\ ,\ W_{۲t}=K_۲-K_۱=\frac{۱}{۲}m(۲v)^{۲}-\frac{۱}{۲}mv^{۲}=\frac{۳}{۲}mv^{۲}$$

$$\Rightarrow W_{۱t}/W_{۲t}=\frac{\frac{۱}{۲}mv^{۲}}{\frac{۳}{۲}mv^{۲}}=\frac{۱}{۳}$$

مثال پیشنهادی

جسمی به جرم ۲kg را با شتاب ثابت $۲/۲\frac{m}{s^۲}$ تا ارتفاع ۱۰m از سطح زمین بالا می‌بریم، کار انجام‌شده توسط نیروی بالابر (نیرویی که جسم را بالا می‌برد) و کارنیروی وزن را به‌دست آورید. انرژی‌های پتانسیل گرانشی و افزایش انرژی جنبشی را با کارنیروی بالابر مقایسه کنید.

حل :

مطابق قانون دوم نیوتون داریم : $F - mg = ma$

نیروی بالابر $F = m(g + a) = ۲(۹/۸ + ۲/۲) = ۲۴$

کار نیروی بالابر $W_F = Fd\cos۰^\circ = ۲۴ \times ۱۰ \times ۱ = ۲۴۰J$

$W_g = mgh\cos۱۸۰^\circ = ۲ \times ۹/۸ \times ۱۰ \times (-۱) = -۱۹۶J$

انرژی پتانسیل گرانشی در این وضعیت : $\Delta U = -W_g = ۱۹۶J$

مطابق قضیهٔ کار و انرژی افزایش انرژی جنبشی جسم برابر کار برایند نیروهاست.

$\Delta K = K_۲ - K_۱ = F_R d\cos۰^\circ$

$F_R = ma = ۲ \times ۲/۲ = ۴/۴N$

کار برایند $W_R = ۴/۴ \times ۱۰ = ۴۴J$

$W_T = ۲۴۰ - ۱۹۶ = ۴۴J$

دیدیم که کار برآیند نیروها برابر مجموع کارهای انجام‌شده است.

اندازهٔ کار نیروی بالابر ۲۴۰J ژول کار و نیروی گرانشی ۱۹۶J و ۴۴J صرف افزایش انرژی جنبشی جسم شده است. به عبارت دیگر کار نیروی برایند صرف کار در مقابل نیروی گرانشی زمین و افزایش انرژی جنبشی جسم شده است.

حل :

الف) $d = ۱/۴۰m$

$W_F = Fd\cos۰^\circ = ۵۲/۷N \times ۱/۴۰m = +۷۳/۸J$

$W_{mg} = mgd\cos۱۸۰^\circ = ۴/۱۰kg \times ۹/۸۱N/kg \times ۱/۴۰m \times (-۱) = -۵۶/۳J$

ب) $W_t = W_{\text{نیروی دست}} + W_{\text{نیروی وزن}} = ۷۳/۸J - ۵۶/۳J = ۱۷/۵J$

پ) جسم از حال سکون شروع به حرکت کرده است. $W_t = K_۲ - K_۱$

$۷۱/۵\,J = \frac{۱}{۲}mv_۲^۲ \Rightarrow \frac{۱۷/۵J \times ۲}{۴/۱۰kg} = v_۲^۲ \Rightarrow v_۲^۲ = ۸/۵۳$

$v_۲ = ۲/۹۲m/s$

تمرین‌های پیشنهادی بخش ۲ــ۳

۱ قضیهٔ کار ــ انرژی جنبشی به صورت رابطهٔ $W=K_2-K_1$ بیان می‌شود. این رابطه نشان می‌دهد

الف) کار برایند نیروهای وارد بر جسم در یک جابه‌جایی با تغییر انرژی جنبشی جسم در این جابه‌جایی برابر است.

(درست ☐ نادرست ☐)

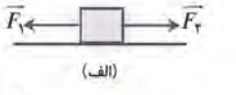
ب) اگر کار برایند نیروهای وارد بر جسم مثبت باشد، انرژی جنبشی جسم کاهش می‌یابد.

(درست ☐ نادرست ☐)

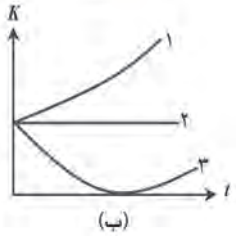
پ) اگر کار برایند نیروهای وارد بر جسم صفر باشد، جسم با تندی ثابت در حرکت است.

(درست ☐ نادرست ☐)

۲ شکل الف دو نیروی افقی را نشان می‌دهد که بر قطعه‌ای که روی سطح افقی بدون اصطکاکی به طرف راست می‌لغزد وارد شده‌اند. شکل ب سه نمودار انرژی جنبشی K قطعه را برحسب زمان t نشان می‌دهد. هر یک از این سه نمودار با کدام‌یک از سه وضعیت زیر بهتر سازگار است؟



(الف)



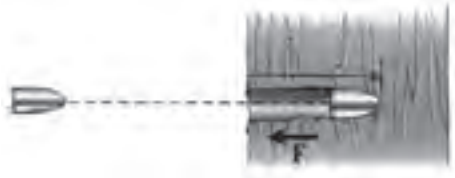
(ب)

الف) $F_1 = F_2$

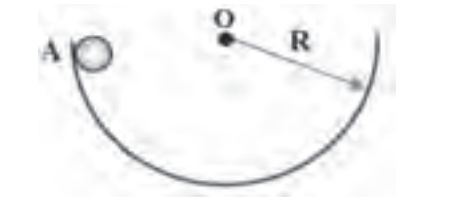
ب) $F_1 > F_2$

پ) $F_1 < F_2$

۳ گلوله‌ای به جرم ۱۶g و با تندی ۲۶۰m/s به تنه درختی برخورد می‌کند و پس از طی مسافت ۱۲cm درون تنه درخت، متوقف می‌شود (شکل روبه‌رو). نیروی میانگین وارد بر گلوله هنگام حرکت درون تنه درخت چقدر است؟



۴ گلوله‌ای به جرم m درون سطح نیم‌کره‌ای مطابق شکل روبه‌رو، از نقطهٔ A رها می‌شود و پس از چند حرکت رفت و برگشتی، در پایین سطح می‌ایستد. نسبت کار نیروی گرانشی زمین به کار نیروی اصطکاک کدام است؟



الف) ۱ ب) $\frac{1}{2}$ پ) ۱

ت) $-\frac{1}{2}$ ث) ۲ ج) ۲-

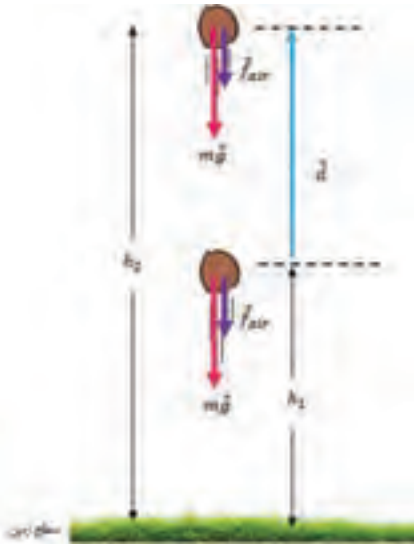
۲ــ۴ــ کار و انرژی پتانسیل

راهنمای تدریس: دانش‌آموزان از علوم سال هفتم به‌طور کیفی با مفهوم و انواع انرژی پتانسیل آشنا شده‌اند. در اینجا تأکید روی این است که انرژی پتانسیل مربوط به یک جسم نیست بلکه در سامانه‌ای شامل دست کم دو جسم ذخیره می‌شود. پس از آن انرژی پتانسیل گرانشی به عنوان نوع مهمی از انرژی پتانسیل، با تفصیل بیشتری بررسی شده است.

حل تمرین ۲ــ۹

جسمی را در نظر می‌گیریم که به طرف بالا پرتاب شده است نیروی وزن و نیروی مقاومت هوا در یک جهت هستند.

$$W_{وزن} = (mg\cos\theta)d = (mg\cos 180^\circ)d = -mg$$
$$= -mgd(h_2 - h_1)$$



بنابراین داریم:

$$W_{وزن} = -(mgh_2 - mgh_1) = -(U_2 - U_1) = -\Delta U$$

حل تمرین ۲ــ۱۰

الف)

$m = ۱۵۰\,kg\ ,\ h_۱ = ۹۰\,m\ ,\ h_۲ = ۵۰\,m$

$U_۱ = mgh_۱ = ۱۵۰\,kg \times ۹/۸N/kg \times ۵۰\,m = ۱/۳ \times ۱۰^۵ J$

$U_۲ = mgh_۲ = ۱۵۰\,kg \times ۹/۸N/kg \times ۵۰\,m = ۷/۳ \times ۱۰^۴ J$

ب)

$W_{وزن} = -\Delta U = -(U_۲ - U_۱) = U_۱ - U_۲ = ۱/۳ \times ۱۰^۵ J - ۷/۳ \times ۱۰^۴ J$

$\Rightarrow W_{وزن} = +۵/۹ \times ۱۰^۴ J$

چون علامت آن مثبت است یعنی نیروی وزن کار انجام داده است.

حل تمرین ۲ــ۱۱

$m = ۷/۵۰ \times ۱۰^۴ kg$

$v = ۸۶۴\ km/h = (۸۶۴ km/h)(\frac{۱۰۰۰ m}{۱\ km})(\frac{۱}{۳۶۰۰}\ \frac{h}{s}) = ۲/۴۰ \times ۱۰^۲ m/s$

$h = ۹/۶۰ \times ۱۰^۳ m$

$K = \frac{۱}{۲} mv^۲ \Rightarrow K = \frac{۱}{۲} \times ۷/۵۰ \times ۱۰^۴ kg \times (۲۴۰\ m/s)^۲ = ۲/۱۶ \times ۱۰^۹ J$

$U = mgh = ۷/۵۰ \times ۱۰^۴ kg \times ۹/۸۱ N/kg \times ۹/۶۰ \times ۱۰^۳ m = ۷۰۶ \times ۱۰^۷ J = ۷/۰۶ \times ۱۰^۹ J$

$\frac{U}{K} = \frac{۷/۰۶ \times ۱۰^۹ J}{۲/۱۶ \times ۱۰^۹ J} \simeq ۳ \Rightarrow U \approx ۳K$

پاسخ فعالیت ۲ــ۱

مشاهده می‌شود که قسمت انتهای آزاد فنر تا زمانی که فنر به‌طور کامل جمع نشده است سقوط نخواهد کرد. یعنی ابتدا فنر جمع می‌شود و انرژی پتانسیل کشسانی آن باعث می‌شود فنر به حالت تعادل (حالتی که کشیده نشده است) درآید. و سپس فنر سقوط خواهد کرد و انرژی پتانسیل گرانشی آن آزاد خواهد شد. البته توجه داشته باشید در قسمت اول حرکت فنر هم با وجود اینکه انتهای آن ثابت است اما مرکز جرم فنر در حال سقوط است.

دانستنی برای معلم

انرژی شیمیایی سوخت‌ها نیز نوعی انرژی پتانسیل است. در واقع، این انرژی مربوط به مکان در مقیاس میکروسکوپی است. این انرژی وقتی در اختیار قرار می‌گیرد که مکان بارهای الکتریکی داخل و بین مولکول‌ها تغییر کند، یعنی وقتی تغییر شیمیایی صورت گیرد. هر ماده‌ای که بتواند از طریق واکنش شیمیایی کار انجام دهد دارای انرژی پتانسیل شیمیایی است. انرژی پتانسیل را می‌توان در سوخت‌های فسیلی، باتری‌های الکتریکی و غذایی که مصرف می‌کنیم یافت.

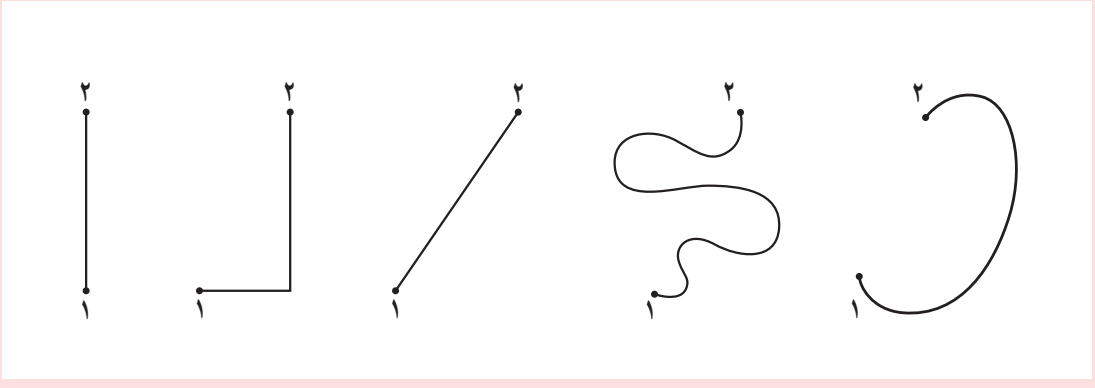
یک جسم به دلیل برهم‌کنش با جسم‌های دیگر که به آن نیرو وارد می‌کنند، انرژی جنبشی به‌دست می‌آورد یا از دست می‌دهد. تغییر در انرژی جنبشی جسم در حین هر برهم‌کنش برابر است با کار کل انجام‌شده روی جسم توسط نیروهایی که بر آن وارد می‌شوند. در بسیاری وضعیت‌ها این‌گونه به نظر می‌رسد که گویی انرژی در دستگاهی ذخیره می‌شود تا بعدها از آن استفاده شود. به عنوان مثال برای بالا بردن سنگی بالای سر خود باید کار انجام دهیم. این منطقی به نظر می‌آید که در بالا بردن سنگ در هوا در آن انرژی ذخیره می‌کنیم، انرژی‌ای که بعداً به هنگام رها کردن سنگ و سقوط آن به انرژی جنبشی تبدیل می‌شود.

این مثال ساده بر این نظر اشاره دارد که انرژی مکان جسم‌ها در یک دستگاه (سیستم) بستگی دارد. این نوع انرژی معیاری است از پتانسیل یا امکان انجام کار. هنگامی که سنگی را در هوا بالا می‌بریم این پتانسیل وجود دارد که نیروی دست‌ها روی آن کار انجام دهد، ولی تنها به این شرط که سنگ بتواند به زمین سقوط کند. به این دلیل انرژی وابسته به مکان را انرژی پتانسیل می‌نامند. اگر این امکان مربوط به وزن جسم و ارتفاع آن از سطح زمین باشد به آن انرژی پتانسیل گرانشی می‌گویند. اگر این امکان مربوط به فاصله اتم‌ها و مولکول‌های یک جسم نسبت به یکدیگر باشد به آن انرژی پتانسیل شیمیایی می‌گویند و اگر این امکان (از دید ماکروسکوپی) مربوط به فشردگی یا کشیدگی یک حجم کشسان باشد به آن انرژی پتانسیل کشسانی می‌گویند. همچنین می‌توان گفت وقتی فنری را می‌کشیم یا می‌فشاریم پیوندهای الکتریکی میان اتم‌های آن را تغییر شکل می‌دهیم (از دید میکروسکوپی) و فنر دارای انرژی پتانسیل کشسانی می‌شود.

تمرین‌های پیشنهادی بخش ۲ـ۴

۱ بالابری بسته‌ای به جرم ۱۲۰kg را ابتدا به ارتفاع ۱۰ متری سطح زمین می‌برد و سپس آن را ۲/۰ متر پایین می‌آورد. تغییر انرژی پتانسیل گرانشی این بسته نسبت به هنگامی که روی زمین بود چقدر است؟

۲ جسمی با طی پنج مسیر متفاوت مطابق شکل زیر از نقطهٔ ۱ به نقطهٔ ۲ با ارتفاع‌های یکسان منتقل می‌شود. انرژی پتانسیل گرانشی سامانهٔ جسم زمین در نقطه ۲ در کدام مسیر بیشتر و در کدام مسیر کمتر است؟



۳ با توجه به شکل زیر که آونگ در حال نوسانی را نشان می‌دهد، جاهای خالی را پر کنید. نقطهٔ B را به عنوان مبدأ انرژی پتانسیل گرانشی بگیرید.

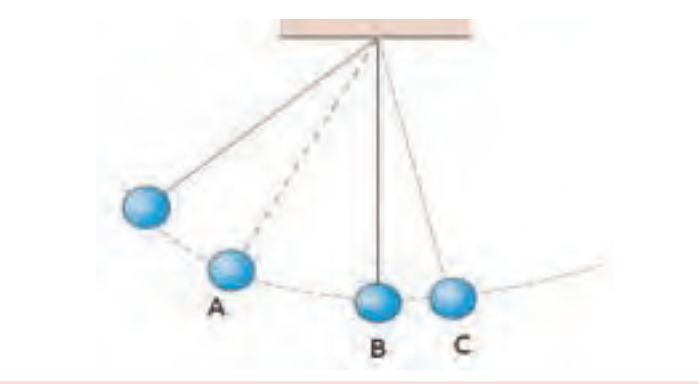
الف) انرژی آونگ در نقطهٔ A، شامل انرژی ..... و انرژی ..... است.

ب) انرژی آونگ در نقطهٔ B تنها از نوع انرژی ..... است.

پ) انرژی پتانسیل گرانشی آونگ در نقطهٔ ..... کمینه است.

ت) انرژی جنبشی آونگ در نقطهٔ ..... بیشتر از نقطهٔ ..... است.

ث) تندی آونگ در نقطهٔ ..... بیشینه است.



۴ شکل زیر ورزشکاری را در حال پرتاب یک توپ بسکتبال به طرف حلقه نشان می‌دهد. اگر تندی توپ در لحظهٔ پرتاب ۶/۰ m/s باشد، مطلوب است :

الف) انرژی جنبشی توپ در لحظهٔ پرتاب.

ب) تندی توپ هنگام عبور از حلقه.

جرم توپ را ۵۹۰g بگیرید و مقاومت هوا را در حین حرکت توپ ناچیز فرض کنید.

۲ــ۵ــ پایستگی انرژی مکانیکی

راهنمای تدریس : اهمیت این بخش در آن است که در نبود نیروهای اتلافی، به کمک اصل پایستگی انرژی مکانیکی می‌توان به حل مسئله‌های مختلفی پرداخت که حل بسیاری از این مسئله‌ها، به روش‌های دیگر یا اساساً امکان‌پذیر نیست و یا دشوار است. با حل مثال‌های متنوعی می‌توانید دانش‌آموزان را با اهمیت این اصل در حل مسئله‌ها آشنا کنید.

پاسخ پرسش ۲ــ۴

چون ارتفاع جسم در هر چهار حالت نسبت به نقطه B با هم برابر است بنابراین نسبت به این نقطه انرژی پتانسیل گرانشی یکسانی دارد. چون اصطکاک نداریم بنابراین کل این انرژی پتانسیل گرانشی زمانی که جسم به نقاط B می‌رسد، بدون توجه به شکل مسیر به انرژی جنبشی تبدیل می‌شود و بنابراین سرعت در تمام حالت‌ها برابر است.

حل تمرین ۲ــ۱۲

در این حالت $h_1 = 0$ است و $h_2 = 1/0\,m$، بنابراین داریم :

$$K_1 + U_1 = K_2 + U_2$$

$$\frac{1}{2}m\,(7m/s)^2 + 0 = \frac{1}{2}m\,v_2^2 + m \times (9/8\,N/kg) \times (1/0\,m)$$

$$\frac{49}{2} = \frac{1}{2}\,v_2^2 + 9/8$$

$$\Rightarrow v_2 = 5/4\ \text{—}$$

مثال پیشنهادی

در گروه خود بحث کنید که در چه صورت انرژی مکانیکی یک دستگاه ثابت (پایسته) می‌ماند و در چه صورت پایستگی انرژی مکانیکی برای یک دستگاه برقرار نیست.

پاسخ : در مواردی که به جسم در حال حرکت نیروی اصطکاک جنبشی یا نیروی اتلاف‌کنندهٔ دیگری مانند مقاومت هوا اثر می‌کند، انرژی مکانیکی جسم کاهش می‌یابد. انرژی کاهش یافته به‌صورت انرژی درونی در جسم و سطح یا محیط در می‌آید. در این‌گونه موارد انرژی مکانیکی پایسته نمی‌باشد.

اکنون موردی را ذکر کنید که با وجود نیروی اتلاف کننده بتوان فرض کرد که انرژی مکانیکی یک جسم پایسته است.

پاسخ : وقتی انرژی تلف شده نسبت به انرژی مکانیکی جسم قابل اغماض باشد، به‌طور مثال وقتی سنگی را از ارتفاع چند متری بالای زمین رها می‌کنیم، می‌توان از اثر مقاومت هوا در حرکت جسم صرف نظر کرد و فرض کرد تنها نیروی گرانشی بر جسم اثر می‌کند و در این صورت انرژی مکانیکی جسم پایسته می‌ماند.

حال اگر یک ورقهٔ کاغذ را از همین ارتفاع رها کنیم، اثر مقاومت هوا قابل ملاحظه است و انرژی مکانیکی جسم پایسته نمی‌ماند.

تمرین‌های پیشنهادی بخش ۲ــ۵

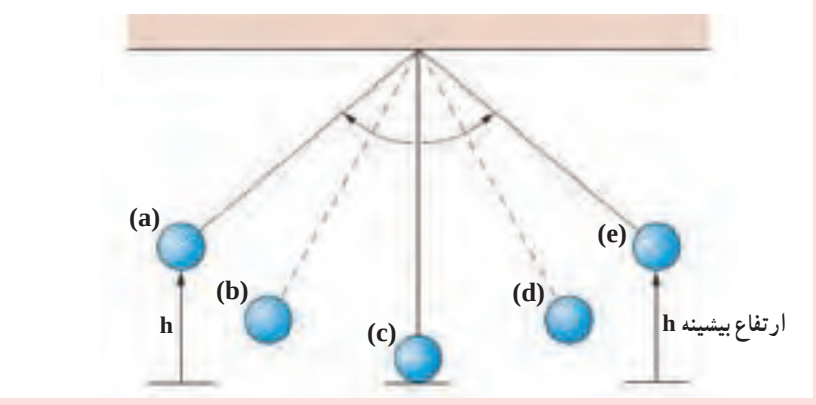
۱ توپی به جرم ۴۵۰g را با تندی ۷m/s در امتداد قائم به طرف بالا پرتاب می‌کنیم. انرژی پتانسیل گرانشی در بالاترین نقطه نسبت به سطح زمین چقدر است؟ این ارتفاع را به دست آورید (از مقاومت هوا چشم‌پوشی کنید).

۲ شکل زیر آونگ ساده‌ای را در چند وضعیت مختلف نشان می‌دهد.

الف) در کدام وضعیت انرژی جنبشی آونگ بیشینه است؟

ب) تندی آونگ در وضعیت (a) چقدر است؟

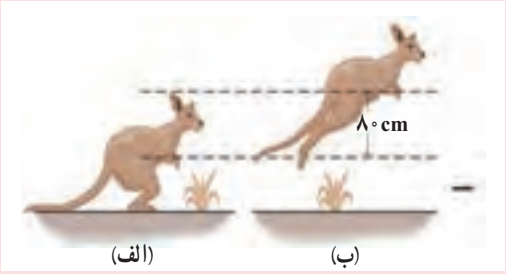
پ) در وضعیت (d) آونگ دارای چه نوع انرژی‌هایی است؟



۳ بچه کانگوروبی به جرم ۱۲kg با تندی ۵m/s تا ارتفاع ۸۰cm به طرف بالا می‌پرد (شکل روبه‌رو)

الف) انرژی جنبشی کانگورو هنگام پرش (شکل الف) چقدر است؟

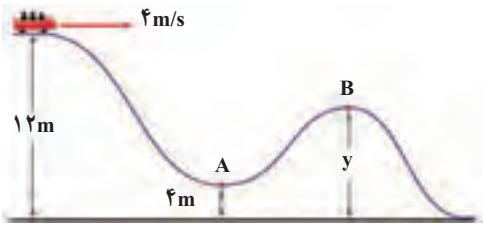
ب) با نادیده گرفتن اتلاف انرژی، انرژی پتانسیل گرانشی کانگورو در وضعیت شکل ب چقدر است؟



۴ یک قطار تفریحی همانند شکل روبه‌رو، در ارتفاع ۱۲ متری دارای تندی ۴m/s است. اگر اصطکاک و مقاومت هوا در طول مسیر قطار، ناچیز باشد، مطلوب است :

الف) تندی قطار در نقطهٔ A.

ب) اگر تندی قطار در نقطهٔ B برابر ۱۰m/s باشد، ارتفاع y چقدر است؟



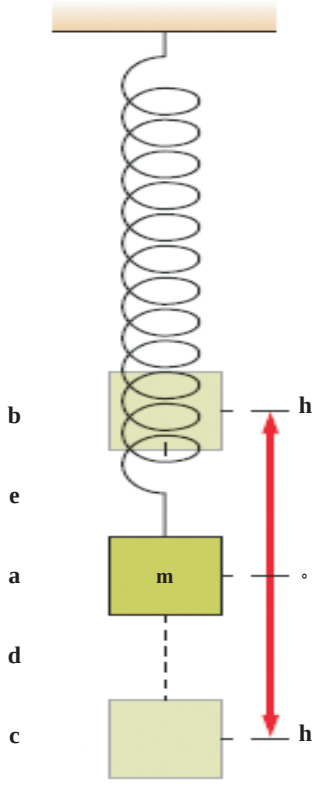
۵ شکل روبه‌رو وزنه‌ای به جرم m را نشان می‌دهد که به انتهای فنری سبک بسته شده و در حال نوسان در امتداد قائم است. با فرض ناچیز بودن اتلاف انرژی در حین نوسان وزنه، به هر یک از پرسش‌های زیر پاسخ دهید.

الف) در نقطهٔ a وزنه دارای چه نوع انرژی است؟

ب) در چه نقطه‌هایی انرژی پتانسیل کشسانی فنر بیشینه است؟

پ) در چه نقطه‌هایی انرژی پتانسیل کشسانی فنر صفر است؟

ت) در نقطه‌های e و d وزنه دارای چه نوع انرژی(هایی) است؟



حل تمرین ۲ــ۱۳

$K_۱ + U_۱ = K_۲ + U_۲$

$v_۱ = ۴۰\,m/s$

$v_۲ = ۲۵\,m/s$

$$\frac{۱}{۲}mv_۱^۲ + mgh_۱ = \frac{۱}{۲}mv_۲^۲ + mgh_۲$$

$$\frac{۱}{۲}(۴۰\,m/s)^۲ + ۰ = \frac{۱}{۲}(۲۵m/s)^۲ + ۹/۸N/kg \times h_۲ \Rightarrow h_۲ = ۶۰/۵m$$

۲ــ۶ــ کار و انرژی درونی

راهنمای تدریس: در این بخش دانش‌آموزان متوجه می‌شوند که در وجود نیروهای اتلافی انرژی مکانیکی سامانه پایسته نمی‌ماند. انرژی تلف شده سرانجام به‌صورت انرژی درونی سامانه و محیط درمی‌آید.

در خصوص رابطهٔ ۲ــ۱۰ باید توجه کنید که فرض بر این است که به جز نیروهای اتلافی (مانند مقاومت هوا و اصطکاک)، نیرویی که سبب انجام کار مثبت روی جسم شود وارد نمی‌شود. اگر در حین حرکت جسم، نیرویی مانند، نیروی دست به جسم وارد شود به طوری که سبب شود این نیرو روی جسم کار مثبت انجام دهد در این صورت باید رابطهٔ ۲ــ۱۰، به شکل کامل‌تر آن، که در برگیرندهٔ همهٔ نیروها باشد، نوشته شود که خارج از اهداف کتاب درسی است.

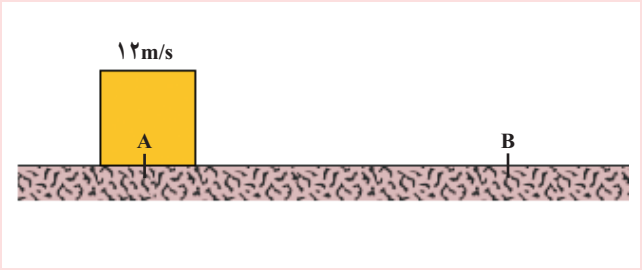
پاسخ پرسش ۲ــ۴

انرژی جنبشی توپ در اثر برخورد با مولکول‌های هوا و سرانجام برخورد با دست، باعث بالا رفتن انرژی درونی محیط اطراف و دست می‌شود.

تمرین‌های پیشنهادی بخش ۲ـ۶

۱ شکل زیر صندوقی به جرم ۱۵kg را نشان می‌دهد که از بالای یک سراشیبی به طرف پایین در حرکت است و در انتهای مسیر به فنری برخورد می‌کند و متوقف می‌شود. اگر در طول مسیر ۲۰ درصد انرژی صندوق تلف شود (بر اثر اصطکاک به انرژی درونی صندوق و مسیر تبدیل شود)، بیشترین مقدار انرژی پتانسیل کشسانی که در فنر ذخیره می‌شود چقدر است؟

۲ شکل زیر قطعه‌ای به جرم ۲۰۰g را نشان می‌دهد که روی مسیری ناصاف از نقطهٔ A به طرف نقطهٔ B در حرکت است. اگر تندی قطعه هنگام رسیدن آن به نقطهٔ B برابر ۸m/s باشد، چقدر از انرژی جنبشی قطعه به انرژی درونی قطعه و سطح تبدیل شده است؟



۳ توپی به جرم ۵۰۰g مطابق شکل زیر با تندی ۱۰m/s از نقطهٔ A شروع به حرکت می‌کند. اگر هنگامی که توپ به نقطهٔ B می‌رسد ۲۰ درصد انرژی آن بر اثر اصطکاک بین توپ و سطح به انرژی درونی تبدیل شده باشد،

الف) تغییر انرژی درونی توپ و سطح را در حین این جابه‌جایی پیدا کنید.

ب) تندی توپ در نقطهٔ B چقدر است؟

حل تمرین ۲ــ۱۴

می‌توان گفت که ۸۰ درصد انرژی جنبشی اولیه توپ به انرژی جنبشی آن در نقطه B تبدیل می‌شود.

$m = ۰/۴۵kg\ ,\ v_۱ = ۸/۰\ m/s$

$$\frac{۸۰}{۱۰۰} K_A = K_B \Rightarrow \frac{۸۰}{۱۰۰} \times \frac{۱}{۲} m \times (۸/۰\ m/s)^۲ = \frac{۱}{۲} m v_B^۲$$

$$\Rightarrow v_B = ۷/۱\ m/s$$

۲ــ۷ــ توان

راهنمای تدریس: دانش‌آموزان از دورهٔ متوسطه اول به‌طور ضمنی با مفهوم توان آشنا شده‌اند. در اینجا به‌طور دقیق‌تر و همچنین براساس رابطهٔ (۲ــ۱۱) می‌توانند به یافتن توان هر ماشینی بپردازند.

حل تمرین ۲ــ۱۵

$$P = \frac{W_{\text{موتور}}}{\Delta t}$$

$$= \frac{Fd\cos\theta}{\Delta t} = \frac{۲/۰ \times ۱۰^۵ N \times ۱۵ \times ۱۰^۳ m}{۶۰ s}$$

$$= ۵۰ MW$$

$$P = ۵۰ \times ۱۰^۶ W \times \left(\frac{۱ hp}{۷۴۶ W}\right) = ۶/۷ \times ۱۰^۴ hp$$

مثال پیشنهادی

۱ دو تلمبهٔ A و B از دو چاه آب می‌کشند. تلمبهٔ A، $۲m^۳$ آب را در مدت ۰/۵ ساعت، ۲۰m و تلمبهٔ B، $۴m^۳$ آب را در مدت ۱ ساعت، ۸m بالا می‌برد. کار هریک از تلمبه‌ها را در مدت ۱s محاسبه و نتیجه را با هم مقایسه کنید.

پاسخ : جرم آبی که تلمبهٔ A بالا می‌کشد $m_A=۲۰۰۰kg$ است.

(هر متر مکعب آب تقریباً ۱۰۰۰kg جرم دارد زیرا چگالی آب در حدود $۱۰۰۰kg/m^۳$ است) و جرم آبی که تلمبهٔ B بالا می‌کشد ۴۰۰۰kg است.

کار تلمبهٔ A $W_A=m_Agh_A=۲۰۰۰\times۹/۸\times۲۰=۳/۹۲\times۱۰^۵J$

کار تلمبهٔ B $W_B=m_Bgh_B=۴۰۰۰\times۹/۸\times۱۶=۶/۲۷۲\times۱۰^۵J$

کاری که تلمبهٔ A در مدت یک ثانیه انجام می‌دهد برابر است با :

$$\frac{۳/۹۲\times۱۰^۵}{۳۶۰۰\times۰/۵}=۲۱۶/۷J/s$$

و کاری که تلمبهٔ B در مدت یک ثانیه انجام می‌دهد برابر است با :

$$\frac{۶/۲۷۲\times۱۰^۵}{۳۶۰۰}=۱۷۴/۳$$

مشاهده می‌کنیم کاری که تلمبهٔ A در یک ثانیه انجام می‌دهد بیشتر از تلمبهٔ B است. در اصطلاح می‌گویند توان متوسط تلمبهٔ A بیشتر از توان متوسط تلمبهٔ B است.

۲ معمولاً جاده‌های کوهستانی با شیب تند، پیچ و خم زیادی دارند. چرا این جاده‌ها را مستقیم نمی‌سازند؟

پاسخ : خودروها توان مصرفی محدودی دارند. به‌طور مثال وقتی توان خودرویی ۶۰ اسب بخار باشد، نمی‌تواند با بیش از این توان حرکت کند.

طول مسیر مارپیچ همواره از مسیر مستقیم بیشتر است. در نتیجه در سرعت معین هر قدر نیروی موتور کمتر باشد، توان مصرفی آن کمتر است ($P=F.v$). چون شیب جاده مارپیچ کمتر از جاده مستقیم است، نیروی لازم برای بالا رفتن کمتر می‌شود.

حل تمرین ۲ــ۱۶

$h = ۹۰/۰\ m$

$P = ۲۰۰\ MW = ۲۰۰ \times ۱۰^{۶} W$

$$P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{mgh}{۱s} \Rightarrow ۲۰۰ \times ۱۰^{۶} = \frac{۰/۸۵ \times m \times ۹/۸۱ \times ۹۰/۰}{۱s}$$

$$\Rightarrow m = ۲/۶۶ \times ۱۰^{۵} kg$$

حجم آبی که باید در هر ثانیه روی توربین ریخته شود برابر است با :

$$\text{حجم آب } V = \frac{۲/۶۶ \times ۱۰^{۵}}{۱/۰۰ \times ۱۰^{۳}} = ۲/۶۶ \times ۱۰^{۲}\ m^{۳}$$

پاسخ فعالیت ۲ــ۲

الف) مقدار انرژی لازم برای یک لامپ رشته‌ای ۱۰۰ واتی

$$W = Pt = ۱۰۰\ W \times (۱۸۰h) \times (۳۶۰۰ \frac{s}{۱h}) = ۶/۴۸ \times ۱۰^{۷} J$$

انرژی مفیدی که با سوختن یک لیتر گازوئیل تأمین می‌شود برابر است با :

$$\frac{۹۵}{۱۰۰} \times \frac{۳۵}{۱۰۰} \times ۳۴/۲ \times ۱۰^{۶}\ J/L$$

به این ترتیب حجم گازوئیل موردنیاز برابر است با :

$$V = \frac{۶/۴۸ \times ۱۰^{۷} J}{۰/۳۵ \times ۳۴/۲ \times ۱۰^{۶} J/L} = ۵/۴۱ L$$

تمرین‌های پیشنهادی بخش ۲ـ۷

۱ از یک جرثقیل دستی برای بالا کشیدن باری به جرم ۲۰۰kg تا سقف ساختمانی به ارتفاع ۱۰m بهره می‌گیرند (شکل زیر). با فرض اینکه بتوانید با این جرثقیل با آهنگ ثابت ۲۰۰W کار کنید، چه مدت طول می‌کشد تا بار را به سقف ساختمان بکشید؟ (اتلاف انرژی ناشی از اصطکاک را نادیده بگیرید.)

۲ یک دوندهٔ ماراتون به جرم ۵۰kg، از پله‌های برجی بلند به ارتفاع ۴۴۳m، در مدت ۱۵ دقیقه بالا می‌رود (شکل زیر). توان متوسط او چند وات و چند کیلو وات است؟

۳ نیروگاه تلمبه ذخیره‌ای سیاه‌بیشه در ۱۰کیلومتری شمال تونل کندوان و در مسیر رودخانهٔ چالوس ساخته شده است. این نیروگاه دارای دو سد بالادست و پایین‌دست است. در مواقعی که مصرف برق در کشور کم و تولید سایر نیروگاه‌ها بیش از مصرف باشد، آب انباشته شده در سد پایین‌دست به سد بالادست تلمبه می‌شود و در ساعاتی که نیاز به مصرف برق بیش از توان تولیدی نیروگاه‌های کشور باشد، توربین‌های این نیروگاه مانند نیروگاه‌های برق آبی عمل می‌کنند و با استفاده از ذخیرهٔ آب سد بالادست به تولید برق می‌پردازند (شکل زیر).

دانستنی برای معلم

یکی از ویژگی‌های خودروها توان آنهاست به طور مثال توان خودروی پژو پارس ۱۰۰hp و توان خودروی پراید ۶۲hp است. این اعداد حداکثر توان اسمی خودرو را بیان می‌کنند. وقتی خودرو در جادهٔ افقی و مستقیم با سرعت ثابت حرکت می‌کند، مجموع نیروهای مقاوم در برابر حرکت برابر نیروی موتور است و توان مصرفی خودرو در این حالت برابر با : $P=Fv$ است. بنابراین وقتی خودرو بیشترین توان را مصرف می‌کند، سرعت آن نیز به بیشترین مقدار می‌رسد، حال فرض کنید خودرویی به جرم ۱ تن با سرعت ثابت ۵۴/۰km/h در جادهٔ افقی و مستقیم در حرکت باشد، در این صورت مجموع نیروهای مقاومت (مقاومت هوا و اصطکاک) برابر نیروی موتور است. اگر توان مصرفی خودرو در این وضعیت به‌طور مثال ۱۰/۰hp باشد، آنگاه :

$$P=Fv$$

$$F=\frac{۷۴۶^{\circ}}{۱۵/۰}=۷۹۷\,N$$

حال فرض کنید خودرو وارد جاده شیب‌داری با زاویهٔ $\theta=۱۴/۵^{\circ}$ می‌شود و از آن بالا می‌رود. در این صورت علاوه بر نیروهای اصطکاک و مقاومت هوا، مؤلفهٔ نیروی وزن نیز در خلاف جهت حرکت ظاهر می‌شود. اگر راننده بخواهد با همان سرعت ۱۵/۰ m/s بالا رود باید توان مصرفی خودرو افزایش یابد.

$F'=F+mg\sin\theta=۷۹۷+۱۰۰۰\times۹/۸\times۰/۲۵=۳/۲۵\times۱۰^{۳}N$ (مجموع نیروهای مقاوم در سطح شیب‌دار)

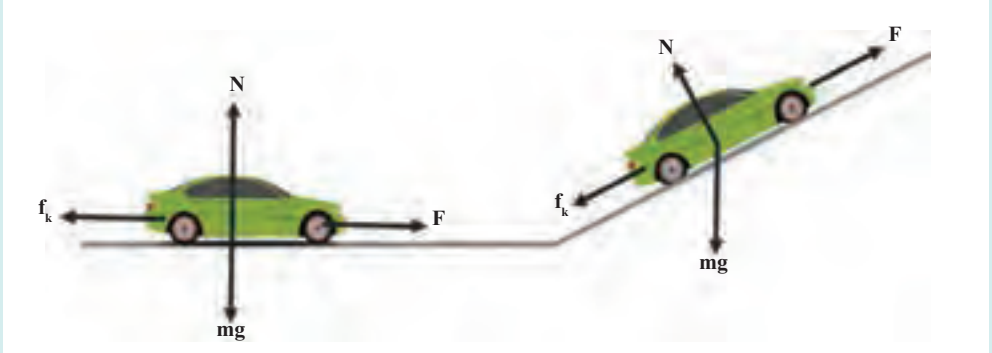
و توان مصرفی برابر خواهد بود با :

$P'=F'v=۲۹۴۶/۷\times۱۵/۰=۴/۸۷\times۴$ وات

$P'=۶۵/۳\,hp$

حال اگر حداکثر توان خودرو در حدود ۶۶ hp باشد خودرو با همان سرعت ۵۴km/h می‌تواند از جاده شیب‌دار بالا رود در غیر این صورت باید سرعت خودرو را کاهش دهد.

در دفترچه خودروها، اغلب حداکثر شیب را برای خودرو می‌نویسند به طور مثال برای خودروهای نسبتاً مرغوب حدود ۳۶° است. این بدان معناست که خودرو با دندهٔ سنگین و سرعت کم از شیب ۳۶° بالا می‌رود. یعنی توان مصرفی خودرو در این حالت به اندازه حداکثر توان خودرو است.



$$V=\frac{۶/۴۸\times۱۰^{۷}J}{۰/۹۵\times۰/۳۵\times۳۴/۲\times۱۰^{۶}J/L}\simeq ۵/۷L$$

مقدار ۵/۷ لیتر گازوئیل باید مصرف شود.

ب) هرچه انرژی الکتریکی کمتر مصرف شود سوخت کمتری مصرف شده و آلودگی کمتری هم به‌وجود خواهد آمد.

پ) فرض کنیم جمعیت ایران ۸۰ میلیون نفر باشد و هر خانواده ۴ نفر باشد بنابراین ۲۰ میلیون خانواده داریم یعنی ۲×۱۰^{۷} که می‌توانیم مرتبهٔ بزرگی آن را به صورت $۱۰^{۷}$ بگیریم.

مرتبهٔ بزرگی مقدار گازوئیل مصرفی را هم $۱۰^{۱}$ در نظر می‌گیریم. بنابراین مقدار گازوئیل صرفه‌جویی شده برابر خواهد بود با :

$$۱۰^{۱}\times۱۰^{۷}=۱۰^{۸}L$$

یعنی مرتبهٔ بزرگی گازوئیل صرفه‌جویی شده در هر ماه از مرتبه $۱۰^{۸}L$ است!

پاسخ فعالیت ۲ــ۳

برای این کار به کمک زمان‌سنج تلفن همراه، مدت زمان را اندازه گرفته و ارتفاع هر پله (y) را در تعداد آنها (n) ضرب می‌کنیم. بنابراین می‌توان نوشت (h = ny) :

$$P=\frac{W}{\Delta t}=\frac{mgh}{\Delta t}$$

راهنمای پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۲

۱

$m_{\text{شهاب سنگ}} = ۱/۳۵ \times ۱۰^{۵}\text{kg}$

$v_{\text{شهاب سنگ}} = ۴/۱۲\text{km/s} = ۴/۱۲ \times ۱۰^{۳}\text{m/s}$

$K_{\text{شهاب سنگ}} = \frac{۱}{۲} mv^{۲} = \frac{۱}{۲}(۱/۳۵ \times ۱۰^{۵}\text{kg})(۴/۱۲ \times ۱۰^{۳}\text{m/s})^{۲}$

$= ۱۱/۵ \times ۱۰^{۱۱}\text{J}$

$m_{\text{هواپیما}} = ۷/۲۵ \times ۱۰^{۴}\text{kg}$

$v_{\text{هواپیما}} = ۹۳۶\text{km/h} = (۹۳۶\text{km/h}) \times \left(\frac{۱۰^{۳}\text{m}}{۱\text{km}}\right) \times \left(\frac{۱}{۳۶۰۰}\ \frac{\text{h}}{\text{s}}\right)$

$= ۲/۶۰ \times ۱۰^{۲}\text{m/s}$

$K_{\text{هواپیما}} = \frac{۱}{۲} mv^{۲} \times ۷/۲۵ \times ۱۰^{۴}\text{kg} \times (۲/۶۰ \times ۱۰^{۲}\text{m/s})^{۲}$

$= ۲۴/۵ \times ۱۰^{۸}\text{J}$

$$\frac{K_{\text{شهاب سنگ}}}{K_{\text{هواپیما}}} = \frac{۱۱/۵ \times ۱۰^{۱۱}\text{J}}{۲۴/۵ \times ۱۰^{۸}\text{J}} = \frac{۱۱۵۰۰ \times ۱۰^{۸}\text{J}}{۲۴/۵ \times ۱۰^{۸}\text{J}} \approx ۴۶۹$$

$K_{\text{شهاب سنگ}} \simeq ۴۷۰ K_{\text{هواپیما}}$

۲

$m = ۱/۴۰ \times ۱۰^{۸}\text{kg}$

$v = ۱۲/۰\text{km/s} = (۱۲/۰\text{km/s})\left(۱۰^{۳}\frac{\text{m}}{\text{km}}\right) = ۱۲/۰ \times ۱۰^{۳}\text{m/s}$

$K = \frac{۱}{۲} mv^{۲} = \frac{۱}{۲} \times ۱/۴۰ \times ۱۰^{۸}\text{kg} \times (۱۲/۰ \times ۱۰^{۳}\text{m/s})^{۲} = ۱۰۱ \times ۱۰^{۱۴}\text{J}$

اگر بخواهیم مقایسه‌ای با انرژی آزاد شده توسط هر تن TNT داشته باشیم، داریم :

$$\frac{۱۰۱ \times ۱۰^{۱۴}\text{J}}{۴/۱۸ \times ۱۰^{۹}\text{J}} = \frac{۱۰۱}{۴/۱۸} \times ۱۰^{۵} \simeq ۲/۴ \times ۱۰^{۶}$$

یعنی تقریباً انرژی آن معادل دو نیم میلیون تن TNT بوده است.

۳

$W_t = \Delta K$

$W_t = K_۲ - K_۱$

(حالت الف) $W_t = \frac{۱}{۲} mv^{۲}$

(حالت ب) $W'_t = \frac{۱}{۲}(۲m)v^{۲}$

$$\frac{W_t}{W_t} = \frac{\frac{۱}{۲}(۲)mv^{۲}}{\frac{۱}{۲}mv^{۲}} = ۲$$

کار انجام شده در حالت (ب) باید دو برابر حالت (الف) باشد.

۴

$m = ۱۵۰\,g = (۱۵۰\,g)(۱۰۰۰\,kg/g) = ۱۵۰ \times ۱۰^{-۳}\,kg$

$F = ۷۵/۰\,N\ ,\ d = ۱/۵\,m\ ,\ W_t = \Delta K$

از کار مقاومت هوا صرف نظر می‌کنیم

$Fd\cos\theta = K_۲ - K_۱$

$۷۵/۰\,N \times ۱/۵\,m = \frac{۱}{۲} \times ۱۵۰ \times v^۲$

$\Rightarrow v = \sqrt{۱/۵۰ \times ۱۰^۳} \Rightarrow v \quad ۳۹\,m/s$

۵ بله. با توجه به رابطه کار ـ انرژی جنبشی داریم

$W_t = K_۲ - K_۱$

اگر W_t منفی باشد به این معنی است که $K_۱ > K_۲$ یعنی تندی جسم کاهش پیدا کرده است و این اتفاق زمانی برقرار است که یک خودرو ترمز می‌گیرد.

۶

در حالت اول $W_۱ = K_۲ - K_۱ = \frac{۱}{۲} mv^۲$

در حالت دوم $W_۲ = \Delta K$

$W_۲ = K_۲ - K_۱$

$W_۲ = \frac{۱}{۲} m(۳v)^۲ = ۹(\frac{۱}{۲} mv^۲) = ۹\,W_۱$

در نتیجه باید ۹ برابر کار انجام شود.

۷ خیر. زیرا نیروی دست ما بر جابه‌جایی عمود است.

در حالتی که تندی تغییر کند چون زاویه نیروی دست ما با راستای جابه‌جایی عمود نمی‌ماند بنابراین کار انجام خواهد شد. توجه کنید که از منظر انرژی، وقتی روی جسمی کار انجام می‌شود یا انرژی جنبشی، یا انرژی پتانسیل و یا هر دوی آنها می‌تواند تغییر کند.

۸

$m = ۱۵۰\,g = (۱۵۰\,g)(\frac{kg}{۱۰۰۰\,g}) = ۱۵۰ \times ۱۰^{-۳}\,kg$

$h = ۱۸۰\,m\ ,\ v = ۱۲\,m/s$

در مرحله اول این کار برابر منهای کار نیروی وزن است و در حالت دوم برابر تغییرات انرژی جنبشی جسم.

مرحله اول $W_۱ = mgh = ۱۵۰ \times ۱۰^{-۳}\,kg \times ۹/۸\,N/kg \times ۱۸۰ \simeq ۲/۶ \times ۱۰^۲\,J$

مرحله دوم $W_۲ = \Delta K = K_۲ - K_۱ = \frac{۱}{۲} mv^۲ = \frac{۱}{۲} \times ۱۵۰ \times ۱۰^{-۳}\,kg \times (۱۲\,m/s)^۲ \simeq ۱۱\,J$

کار کل برابر مجموع این دو مقدار است.

$W_{کل} = ۲/۶ \times ۱۰^۲\,J + ۱۱\,J = ۲۷۱\,J$

۹ چون این نیرو بر مسیر حرکت ماهواره همواره عمود است؛ بنابراین کاری روی ماهواره انجام نمی‌دهد. بنابراین انرژی جنبشی ماهواره ثابت می‌ماند.

۹۴

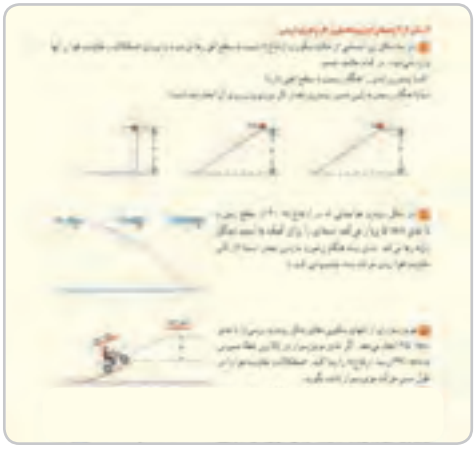
۱۰ انرژی جنبشی جسم همواره مقداری مثبت است. پرسش کتاب در خصوص انرژی پتانسیل، معطوف به انرژی پتانسیل گرانشی است که با جزئیات بیشتری بررسی شده است. امّا انرژی پتانسیل گرانشی یک سامانه، به مبدأ که در نظر می‌گیریم بستگی دارد و می‌تواند مثبت، منفی و یا صفر باشد. توجه کنید همان طور که در کتاب نیز توضیح داده شده است کمیتی که در فیزیک اهمیت دارد ΔU است نه U.

۱۱ الف) نادرست ـ انرژی پتانسیل گرانشی (نسبت به زمین) برای دو شخص هم جرم، فقط به ارتفاع از مبدأ درنظر گرفته شده بستگی دارد.

ب) نادرست

پ) درست ـ زیرا این کار با تغییرات انرژی پتانسیل گرانشی آنها یکسان است.

ت) درست



۱۲ الف) تندی هر سه یکسان است زیرا از ارتفاع‌های یکسان رها شده‌اند و تندی در پایین سطح شیب‌دار بدون اصطکاک تنها به ارتفاع بستگی دارد ($v = \sqrt{2gh}$).

ب) کار نیروی وزن با تغییرات انرژی پتانسیل گرانشی برابر است و این کار برای جسم وسطی بیشتر است زیرا جرم بیشتری دارد.

۱۳

$h = 300\,m$

$v = 50\,m/s$

$K_1 + U_1 = K_2 + U_2$

سطح زمین را مبدأ پتانسیل گرانشی می‌گیریم بنابراین $U_2 = 0$

$$\frac{1}{2}m(50\,m/s)^2 + m \times 9/8\,N/kg \times 300\,m = \frac{1}{2}mv_2^2 \Rightarrow v_2 \simeq 91\,m/s$$

۱۴

$v_1 = 35/0\,m/s\ ,\ v_2 = 32/0\,m/s\ ,\ h = ?$

مکان جدا شدن از سکو را مبدأ پتانسیل درنظر می‌گیریم بنابراین داریم :

$$K_1 + U_1 = K_2 + U_2 = \frac{1}{2}m(35/0\,m/s)^2 = \frac{1}{2}m(32/0\,m/s)^2 = m \times 9/8\,N/kg \times h \Rightarrow h = 10/2\,m$$

۱۵ چون اصطکاک نداریم طبق اصل پایستگی انرژی مکانیکی، چون ارتفاع و تندی همه آنها در ابتدا یکسان است بنابراین تندی آنها در لحظه برخورد با زمین هم یکسان خواهد بود و در نتیجه چون جرم یکسان دارند انرژی جنبشی یکسانی نیز خواهند داشت.

۱۶

$m = ۵۰\,g$

$v_۱ = ۱/۵\ km/s = (۱/۵\ km/s)(۱۰^۳ \frac{m}{km}) = ۱/۵ \times ۱۰^۳ m/s$

$h = ۱/۶ m$

$v_۲ = ۰/۴۵ km/s = ۰/۴۵ \times ۱۰^۳ m/s$

الف)

$W_f = E_۲ - E_۱$

$W_f = (K_۲ + U_۲) - (K_۱ + U_۱) = [\frac{۱}{۲} \times ۵۰ \times ۱۰^{-۳} kg \times (۰/۴۵ \times ۱۰^۳ \frac{m}{s})^۲] + ۰ - [\frac{۱}{۲} \times ۵۰ \times ۱۰^{-۳}\ kg \times (۱/۵ \times ۱۰^۳ \frac{m}{s})^۲ + ۵۰ \times ۱۰^{-۳} kg \times ۹/۸ \frac{m}{s^۲} \times ۱/۶ m] = -۵/۱ \times ۱۰^۴ J$

ب) کار نیروی وزن برابر $۷۸۴ \times ۱۰^{-۳} J$ است که در مقابل کار نیروی اصطکاک قابل چشم‌پوشی است.

۱۷

$m = ۱۲ kg\ ,\ h_A = ۵/۰ m\ ,\ h_B = ۳/۲ m\ ,\ v_B = ?$

الف)

$E_A = E_B$

$U_A + K_A = U_B + K_B$

$mgh_A = mgh_B + \frac{۱}{۲} m v_B^۲$

$۹/۸ N/kg \times ۵/۰ m = ۹/۸ N/kg \times ۳/۲ m + \frac{۱}{۲} v_B^۲ \Rightarrow v_B = ۵/۹ m/s$

ب) کار نیروی وزن برابر است، با منفی تغییرات انرژی پتانسیل گرانش جسم

$W_{mg} = -mg\Delta h = -mg(h_C - h_A) = -۱۲ kg \times ۹/۸ N/kg \times (۲/۰ m - ۵/۰ m) = +۳/۵ \times ۱۰^۲ J$

۱۸ الف) انرژی گلوله قبل از رها کردن برابر است با انرژی پتانسیل گرانشی آن (توجه شود که گلوله باید رها شود و هیچ‌گونه انرژی جنبشی نباید به گلوله داده شود) بنابراین در برگشت مقداری از انرژی آن به‌دلیل مقاومت هوا تلف خواهد شد و مطمئن خواهیم بود که تا ارتفاعی کمی پایین‌تر از محل رها شدن بالا خواهد آمد.

ب) در این حالت احتمال برخورد با صورت دانش‌آموز وجود دارد.

۹۶

۱۹

$m_۱ = ۶/۵۰ \times ۱۰^۲ kg , t = ۱۸۰ s , h = ۷۵m , ۲m = ۳/۲۰ \times ۱۰^۲ kg$

$m = m_۱ + m_۲ = ۹/۷ \times ۱۰^۲ kg$

$$P = \frac{W}{t} = \frac{mgh}{t} = \frac{۹/۷ \times ۱۰^۲ \times ۹/۸ \times ۷۵m}{۱۸۰s}$$

$P \simeq ۳/۹ \times ۱۰^۳ W$

$$P = (۳/۹ \times ۱۰^۳ W)(\frac{۷۴۶}{۱}\ \frac{hp}{W}) \simeq ۲/۹۰ \times ۱۰^۳ hp$$

۲۰

$m = ۷۲ kg , t = ۹۰ s , n = ۵۰ \text{ پله} , y = ۳۰ cm$

$h = ny = ۵۰ \times ۳۰ = ۱/۵ \times ۱۰^۳ cm = ۱۵m$

$$P = \frac{W}{t} = \frac{mgh}{t} = \frac{۷۲ \times ۹/۸ \times ۱۵}{۹۰} = ۱/۲ \times ۱۰^۲ W$$

۲۱

$v_۱ = ۰ , m = ۷۲/۰ \times ۱۰^۴ kg , d = ۲/۰۵ \times ۱۰^۳ m$

$v_۲ = ۷۰ m/s$

الف)

$W_t = \Delta K$

$$W_t = \frac{۱}{۲} m(v_۲^۲ - v_۱^۲) = \frac{۱}{۲} \times ۷/۲۰ \times ۱۰^۴ kg\ (۷۰^۲ - ۰^۲) = ۱/۸ \times ۱۰^۴ J$$

$h = ۵۶۰ m , v_۳ = ۱۴۰ m/s$

ب)

$W_{mg} = -\Delta U = -mg(h_۲ - h_۱) = -۷۲/۰ \times ۱۰^۴ kg \times ۹/۸ N/kg \times ۵۶۰ m = -۳/۹ \times ۱۰^۹ J$

پ) سه نیروی دیگر بر هواپیما اثر می‌کند. ۱ـ نیروی جلو بر هواپیما (پیشرانه thrust) ۲ـ نیروی بالابر (lift) ۳ـ نیروی مقاومت هوا (drag) که کار نیروی مقاومت هوا منفی و سایر نیروها زمانی که هواپیما در حال جلو رفتن و اوج گرفتن است مثبت است.

۲۲

$h_۱ = ۲/۰۵ \times ۱۰^۳ m , h_۲ = ۲/۷۰ \times ۱۰^۳ m , \Delta h = ۶/۵۰ \times ۱۰^۲ m$

برای ۲ پمپ $\Delta U = mg\Delta h = (۸/۶۰ \times ۱۰^۲ kg) \times (۹/۸ N/kg) \times (۶/۵۰ \times ۱۰^۲ m) = ۵/۴۸ \times ۱۰^۶ J$

برای یک پمپ $\frac{\Delta U}{۲} = \frac{۵/۴۸ \times ۱۰^۶}{۲} = ۲/۷۴ \times ۱۰^۶ J$

توان هر پمپ $= (۰/۲۸) P \Rightarrow P = \frac{\frac{۲/۷۴ \times ۱۰^۶ J}{۰/۲۸}}{۱ s} = ۹/۷۸ \times ۱۰^۶ W = ۹/۷۸ MW$

$= (۹/۷۶ \times ۱۰^۶ W) \times (\frac{hp}{۷۴۶ W}) = ۱/۳۱ \times ۱۰^۴ hp$

فصل ۳

ویژگی‌های فیزیکی مواد

حالت‌های ماده ۳ـ۱
ویژگی‌های فیزیک مواد در مقیاس نانو ۳ـ۲
نیروهای بین مولکولی ۳ـ۳
فشار در شاره‌ها ۳ـ۴
شناوری و اصل ارشمیدس ۳ـ۵
شارهٔ در حرکت و اصل برنولی ۳ـ۶
پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۳

پیامدها

دانش‌آموزان با درک مفاهیم اساسی در مورد ویژگی‌های فیزیکی مواد :

- قادرند مواد را بر حسب ویژگی‌های فیزیکی آنها به چهار دستهٔ جامد، مایع، گاز و پلاسما تقسیم‌بندی کنند.
- از مفاهیم فشار در زندگی خود استفاده کنند.
- اصل شناوری و اصل برنولی را در پدیده‌ها، ابزارها و موقعیت‌های مختلف بتواند به‌کار برد.

چه شناختی مطلوب است؟

- مواد به چهار حالت در طبیعت یافت می‌شوند.
- نیروهای بین مولکولی کوتاه‌بردند و در فواصل چند اتم یا مولکول اثر می‌کنند.
- پدیده‌های بسیاری را به کمک ویژگی نیروی بین مولکولی (هم‌چسبی و دگرچسبی) می‌توان توضیح داد.
- ویژگی‌های فیزیکی مواد درمقیاس نانو تغییر می‌کند.
- فشار در یک شاره ساکن، به ارتفاع از سطح شاره، چگالی و شتاب گرانش زمین بستگی دارد.
- بر هر جسمی که درون شاره‌ای باشد، نیروی رو به بالا از طرف شاره وارد می‌شود.
- در یک شارهٔ محصور در حال حرکت، هرجا فشار شاره بیشتر باشد، تندی آن کمتر است و برعکس.

چه پرسش‌هایی باید در نظر گرفته شوند؟

- تفاوت مواد را از منظر نیروی بین‌مولکولی بیان کنید.
- در مقیاس نانو، ویژگی‌های مواد چه تغییری می‌کند؟
- عوامل مؤثر بر فشار در یک شاره چیست؟
- به یک جسم شناور در یک شاره چه نیروهایی وارد می‌شود؟
- اصل برنولی چیست؟

در پایان این واحد یادگیری دانش‌آموزان چه دانش و مهارت‌های اساسی را کسب می‌کنند؟

دانش‌آموزان خواهند دانست که :

- واژگان کلیدی : جامد، مایع، گاز، پلاسما، نیروهای بین‌مولکولی، فشار، شاره، شناوری، نیروی شناوری، اصل ارشمیدس، اصل برنولی
- انواع مواد و ویژگی‌های فیزیکی آنها
- بررسی مواد در مقیاس نانو
- فشار در شاره‌ها و عوامل مؤثر در آن
- اصل ارشمیدس و عوامل مرتبط به آن
- اصل برنولی و عوامل مرتبط به آن

دانش‌آموزان قادر خواهند بود که :

- ویژگی‌های فیزیکی مواد مختلف را بر حسب نیروی بین‌مولکولی توضیح دهند.
- ویژگی‌های فیزیکی مواد را در مقیاس نانو توضیح دهند.
- تفاوت نانو ذره‌ها و نانو لایه‌ها را بیان کنید.
- عوامل مؤثر در فشار شاره‌ها را بیان کنند.
- اصل ارشمیدس و نیروهای وارد بر یک جسم را در شاره بیان کنند.
- اصل برنولی را بیان کنند و کاربرد آن را در چند پدیده توضیح دهند.

بودجه‌بندی پیشنهادی فصل سوم

- **جلسهٔ اول و دوم** : تصویر شروع فصل + بخش ۳ـ۱ و بخش ۳ـ۲
- **جلسهٔ سوم** : بخش ۳ـ۳
- **جلسهٔ چهارم و پنجم** : بخش ۳ـ۴
- **جلسهٔ ششم** : بخش ۳ـ۵
- **جلسهٔ هفتم** : بخش ۳ـ۶
- **جلسهٔ هشتم** : جمع‌بندی، رفع اشکال و حل پرسش‌ها و تمرین‌های باقیمانده از پایان فصل
- **جلسهٔ نهم** : آزمون تشریحی فصل سوم

بررسی پرسش‌ها و مسئله‌های پایان فصل را، در جلسه‌های مختلف توزیع کنید.

فصل ۳
ویژگی های فیزیکی مواد

توجه :
همان‌طور که در کتاب درسی نیز اشاره شده است همکاران ارجمند می‌توانند این فصل را قبل از فصل دوم آموزش دهند.

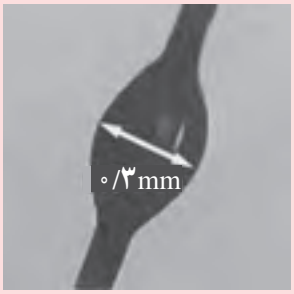
راهنمای تدریس : در تصویر شروع فصل که با یک پرسش شروع شده است، لازم است ذهن دانش‌آموزان را برای دقایقی به آن معطوف کنید. از آنجا که دانش‌آموزان در زندگی روزمره و در جاهای مختلف با این پدیده مواجه شده‌اند، شناخت دلایل آن می‌تواند برای آنها جذاب و مفید باشد.

۳ــ۱ــ حالت‌های ماده

راهنمای تدریس : هدف از این بخش آشنا ساختن دانش‌آموزان با حالت‌های ماده از دیدگاه مولکولی است. هرچند در کتاب‌های علوم دورهٔ اول تا حدودی با ساختار اتم و مولکول آشنا شده‌اند ولی در اینجا توجه دانش‌آموزان را به اندازهٔ تقریبی اتم‌ها، که حدود $1A^{\circ}=10^{-10}m$ است معطوف کنید. همچنین اشاره کنید که مولکول‌ها از اتم‌ها ساخته شده‌اند و مولکول‌ها می‌توانند حاوی دو، سه و . . . اتم باشند. به مولکول‌هایی که حاوی تعداد بسیار زیادی اتم باشند به آن (پلیمر) می‌گویند.

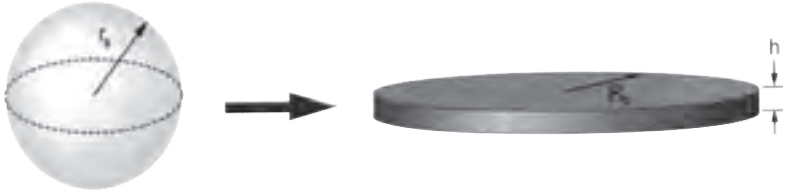
فعالیت پیشنهادی

هدف اصلی این **برآورد** اندازهٔ یک مولکول است. برای انجام این فعالیت بهتر است به توصیه‌هایی که در ادامه آمده است، توجه شود. به‌جای روغن می‌توانید از صابون مایع نیز استفاده کنید. برای جداسازی یک قطره روغن یا صابون مایع و قرار دادن آن بر سطح آب می‌توانیم انتهای یک مو را به آرامی داخل ظرف محتوی روغن یا صابون مایع کرده و آن را خارج کنیم و به آرامی روی سطح آب درون ظرف قرار دهیم. توجه کنید که ضخامت موی انسان حدود ۰/۱mm و قطر قطرهٔ روغنی که در انتهای مو تشکیل می‌شود حدود ۰/۳mm است (شکل ۱).



شکل ۱

همچنین برای آنکه گسترش قطرهٔ روغن یا صابون مایع را بر روی سطح آب به خوبی مشاهده کنیم بهتر است به کمک نمک‌پاش! مقداری فلفل را بر روی سطح آب بپاشیم. این کار را پیش از قرار دادن قطرهٔ روغن روی سطح آب انجام می‌دهیم.
پس از آنکه گسترش سطح قطرهٔ روغن یا صابون مایع بر روی سطح آب به حد کافی رسید و تقریباً متوقف گردید با توجه به اندازه‌گیری قطر لایهٔ روغن یا صابون مایع روی آن می‌توانیم اندازهٔ تقریبی قطر یک مولکول را با توجه به شکل ۲ پیدا می‌کنیم.



شکل ۲

نکتهٔ مهم پیرامون فعالیت پیشنهادی : همان‌طور که اشاره شد هدف اصلی این برآورد اندازهٔ یک مولکول است ولی باید توجه کرد که ضخامت لایهٔ روغن یا صابونی که روی سطح آب تشکیل می‌شود نمی‌تواند کمتر از قطر یک مولکول باشد. هرچند نمی‌توان تضمین کرد که لایه از یک مولکول تشکیل شده باشد.

جامد : همان‌طور که در کتاب نیز اشاره شده است مهم‌ترین وجه تمایز جامد با دیگر حالت‌های ماده این است که اتم‌ها یا مولکول‌های جامد در جای خود ثابت‌اند و تنها نوسان بسیار بسیار اندکی نسبت به وضعیت تعادل خود دارند. به عبارت دیگر جاذبه یا برهم‌کنش بین اتم‌ها یا مولکول‌های جامد آن‌قدر شدید است که نمی‌گذارد مانند مولکول‌های مایع یا گاز به اطراف حرکت کنند.

در ادامهٔ تدریس باید موضوع تقسیم‌بندی جامدها به دو نوع بلورین و بی‌شکل مطرح شود. برای ورود به این بحث پیشنهاد می‌شودکه چند نوع جامد مختلف مانند گچ، چوب، آهن و شیشه را مثال بزنید و از دانش‌آموزان بخواهید تا به فرق آنها با یکدیگر اشاره کنند. به احتمال زیاد بیشتر اشارهٔ دانش‌آموزان به تفاوت‌های ظاهری خواهد بود و کمتر به تفاوت در ساختار داخلی آنها و نحوهٔ قرار گرفتن اتم‌ها نسبت به یکدیگر اشاره کنند. با این حال، همین موضوع فضای مناسبی را فراهم می‌کند تا توجه دانش‌آموزان را به تفاوت ساختاری جامدها نسبت به یکدیگر جلب و آنچه در کتاب درسی در خصوص جامدهای بلورین و بی‌شکل آمده، برای دانش‌آموزان مطرح کنید.

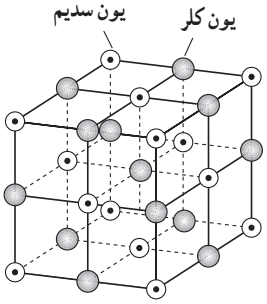
دانستنی برای معلم

مواد آمورف، جامدهای بی‌شکل

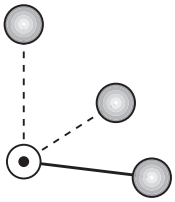
مقدمه : تقریباً تمام مواد جامدی که ما امروزه با آنها سروکار داریم، بلورند؛ یعنی به‌صورت مجموعه‌ای از اتم‌ها یا مولکول‌هایی هستند که به‌صورت شبکه‌ای منظم و مشخص در کنار هم قرار گرفته‌اند. به عبارت دقیق‌تر، بلور یک آرایهٔ دوره‌ای سه‌بعدی از اتم و مولکول‌هاست و فیزیک حالت جامد به عنوان گسترشی از فیزیک اتمی، به مطالعهٔ آنها و همچنین چگونگی رفتار و برهم‌کنش الکترون‌های موجود در آنها می‌پردازد.

جامدهای بلورین : یک جامد بلورین ایده‌آل از تکرار بی‌پایان واحدهای ساختاری مشابه (بلورک‌های کوچک) در فضا به‌وجود می‌آید (شکل ۳). فیزیک‌دانان حالت جامد، برای راحتی، عموماً کارشان را با توجه به خواص و ویژگی‌های این‌گونه جامدها محدود کرده‌اند. هرچند بررسی دقیق این مواد نیز می‌تواند فوق‌العاده پیچیده باشد. در ساده‌ترین جامدهای بلورین، مانند مس، نقره، آهن، آلومینیم و فلزات قلیایی به‌ندرت می‌توان شاهد یک بلور ایده‌آل بود. حتی ساختار شبکهٔ بلورک‌های کوچک نیز به‌ندرت کامل است. در بعضی از نواحی این بلورک‌ها، اتم‌ها در محل نادرستی قرار گرفته‌اند (شکل ۴) و یا شاید اصلاً حضور ندارند (شکل ۵)؛ همین‌طور

ناخالصی‌هایی از جنس اتم‌های دیگر نیز در آنها یافت می‌شود (شکل ۶). در حالت‌هایی، مثلاً در شیشه و بسیاری از بسپارها، نظم آرایش اتم‌ها به چنان فاصله‌های کوتاهی محدود می‌شود که به سختی می‌توان ادعا کرد که ماده دارای ساختار بلوری است (شکل ۷). از همین‌رو این مواد، مواد آمورف یا جامدهای بی‌شکل نامیده می‌شوند. سرانجام در مراحل پیچیده‌تر، با مواد مهم و متداول دیگری مانند چوب و پشم‌شیشه سروکار داریم که ماهیت ترکیبی دارند و بررسی ویژگی‌های آنها بسیار دشوار است.

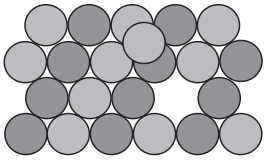


الف) ساختار بلوری سدیم کلرید، در این بلور هر یون توسط ۶ یون همسایه اول‌بار مخالف احاطه می‌شود.

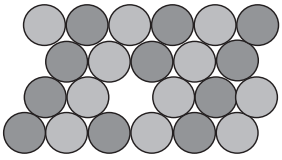


ب) واحد ساختار بلوری سدیم کلرید

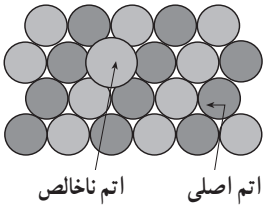
شکل ۳



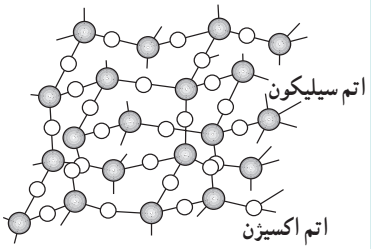
شکل ۴



شکل ۵

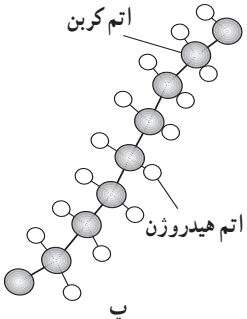


شکل ۶



الف

ب



پ

الف) ساختار بی‌شکل شیشه

ب و پ) یک مولکول بسپار را نشان می‌دهد که ساختار بی‌شکل دارند.

شکل ۷

جامدهای بی‌شکل : آرایش اتم‌ها یا مولکول‌ها در جامدهای بی‌شکل، مانند شیشه‌ها و بسیاری از بسپارها، کاملاً منظم نیست و از این نظر با جامدهای بلورین تفاوت دارند. همان‌گونه که پیش از این اشاره کردیم، اتم‌ها در بلور در شبکهٔ منظمی قرار دارند و در نتیجه، اگر چگونگی نقش اتم‌ها را در یک ناحیه از ماده بدانیم، می‌توانیم به دقت پیش‌بینی کنیم که اتم‌ها در سایر بخش‌های بلور باید کجا باشند. در جامدهای بی‌شکل، اتم‌ها چنین نظمی را در مکان خود ندارند، اما این موضوع به آن معنی نیست که به‌طور کاتوره‌ای در کنار یکدیگر چیده شده‌اند.

نیروهای بین اتمی و پیوندهای بین اتم‌ها در جامدهای بی‌شکل نیز شباهت زیادی به نیروها و پیوندها در جامدهای بلورین دارند. این شباهت‌ها باعث می‌شود که فاصلهٔ اتم‌ها، تعداد همسایه‌های اول هر اتم به‌طور میانگین در تمام نقاط نمونهٔ جسم جامد یکسان باشد. در یک جامد بی‌شکل، پیرامون هر اتم بسیار شبیه به پیرامون هر اتم دیگر است، ولی دقیقاً یکسان نیست. به‌علت این تغییرات بسیار کوچک در فاصله و سمت‌گیری در تمام ماده این نتیجه به‌دست می‌آید که مکان دقیق اتم‌های دور را نمی‌توان پیش‌بینی کرد.

انواع جامدهای بی‌شکل : جامدهای بی‌شکل را می‌توان به دو گروه عمده تقسیم‌بندی کرد. گروه اول آنهایی هستند که وقتی ساخته می‌شوند ساختار بی‌شکل به خود می‌گیرند. اینها همان مواد سازندهٔ شیشه طبیعی‌اند. گروه دیگر موادی هستند که معمولاً به‌صورت ساختار بلورین جامد می‌شوند، ولی آنها را می‌توان با سرد کردن سریع ماده مذاب و یا از طریق مایع کردن بخار آن بر روی یک سطح سرد به‌دست آورند.

ماهیت بی‌شکل شیشه‌های طبیعی کاملاً پایدار است، اما موادی که تنها می‌توان با سرد کردن سریع مادهٔ مذاب و یا بخار آنها را تولید کرد، معمولاً، وقتی تا دمای معینی گرم می‌شوند، به‌سرعت به شکل بلور در می‌آیند.

یکی از ساده‌ترین و متداول‌ترین مواد سازندهٔ شیشه طبیعی، سیلیس بی شکل، SiO_2، است که به شکل‌های بلورین به‌صورت کریستوبالیت و کوارتز نیز یافت می‌شود. شیشه‌های معمولی پنجره (و یا بطری‌ها) عمدتاً از SiO_2 به اضافهٔ Na_2O و CaO ساخته می‌شوند. اما هزاران فرمول شیشه برای مقاصد خاصی وجود دارد که برای تغییر خواص اپتیکی، الکتریکی، مکانیکی و یا گرمایی، مواد دیگری به آنها می‌افزایند. ترکیب‌های گوگرد«S»، سلنیم«Se» یا تلوریم«Te»، با عناصری چون ارسنیک«As» و ژرمانیم«Ge»، نیز شیشه‌های دیگری‌اند که به‌خاطر نیم‌رسانا بودن، مورد توجه‌اند. این شیشه‌ها کالکوژینِد نامیده می‌شوند.

گروه دیگری از مواد سازندهٔ شیشه‌های طبیعی که از مولکول‌های خیلی بزرگ (ماکرومولکول‌ها) تشکیل می‌شوند. این‌گونه مولکول‌ها نمی‌توانند دوران کنند و به‌راحتی با یکدیگر جور شوند (این خاصیت را ممانعت فضایی می‌نامند) درنتیجه نمی‌توانند بلور تشکیل دهند. گلیسیرین و گلوکز نمونه‌های ساده‌ای از این مورد هستند. اما بسیاری از پلیمرها مانند پلی‌استرین و لاستیک‌ها بی‌شکل‌اند.

تهیهٔ جامدهای بی‌شکل : جامدهای بی‌شکل از طریق سرمایش سریع به‌دست می‌آیند عبارت‌اند از : فلزات خالص، آلیاژها و عنصرها و ترکیبات نیم‌رسانا. برای تهیهٔ این‌گونه مواد به‌صورت جامد چند روش متفاوت وجود دارد.

در یک شیوهٔ کارآمد، فواره‌ای از مادهٔ مذاب را روی لبهٔ یک چرخ مسی که به سرعت می‌گردد و یا بین دو غلتک چرخان، می‌افشانند و ماده در آنجا جامد می‌شود. این جامد را پیوسته بیرون می‌کشند و به این ترتیب نوار بلندی از مادهٔ بی‌شکل تشکیل می‌شود. روش دیگری برای تهیهٔ نمونه‌های کوچک از جامدهای بی‌شکل، سرد کردن مادهٔ مذاب در آب است. روش‌های دیگر متضمن رسوب دادن بخار بر روی یک سطح سردند. هدف همهٔ این روش‌ها و تکنیک‌ها، منجمد کردن اتم‌ها در مکان‌های نامنظم در دمای آنقدر پایین است که انرژی گرمایی برای بازآرایش اتم‌ها به شکل بلورین کافی نیست.

در واقع، لایه‌هایی از جامدهای فلزی بی‌شکل را می‌توان با سرد کردن بخار آنها بر روی سطحی که تا دمای نیتروژن مایع یا هلیم مایع سرد شده است، به‌دست آورد. لیکن، اینها، هنگامی که تا دمای اتاق گرم می‌شوند، تقریباً همیشه به‌صورت بلور در می‌آیند.

پاسخ فعالیت ۳ــ۱

فعالیت ۳ــ۱ را باید دانش‌آموزان (ترجیحاً به‌طور گروهی) تحقیق کنند و گزارشی به کلاس ارائه دهند.

پدیدهٔ پخش در مایع‌ها

راهنمای تدریس : ابتدا فعالیت ساده‌ای مطابق شکل ۳ــ۴ کتاب درسی، را دانش‌آموزان به‌طور گروهی انجام دهند و نتیجهٔ مشاهدات خودرا پس از بحث در گروه، به کلاس درس ارائه دهند.

گاز

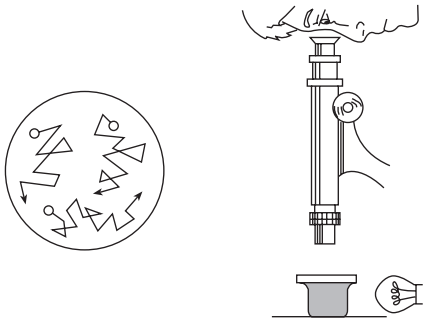
راهنمای تدریس : در اینجا ویژگی گازها به‌طور عام مورد نظر است و از بحث در خصوص مدل آرمانی گازها که به گاز آرمانی موسوم است و در فصل چهارم مورد بررسی قرار می‌گیرد لازم نیست بپردازید.

فعالیت ۳ــ۲

هدف اصلی این فعالیت مقایسه بین تراکم‌پذیری گازها و مایع‌هاست.

حرکت براونی: در بررسی حرکت براونی لازم است توجه کنید که ذره‌های دود به‌طور زیگزاگی و نامنظم حرکت می‌کنند و با توجه به این نوع حرکت ذرات دود، نتیجه می‌شود که ذرات و مولکول‌های هوا یا گاز نیز باید رفتار و حرکت مشابهی داشته باشند.

در صورت امکان آزمایش شکل ۳ــ۷ را برای دانش‌آموزان انجام دهید تا با جزئیات حرکت براونی بیشتر آشنا شوند. به این منظور ظرفی شیشه‌ای را از دود پر کنید (مثلاً تکه‌ای کاغذ در آن آتش زده و خاموش کنید) و مطابق شکل ۸ توسط لامپی روشن پرتوهای نور به آن بتابانید. به کمک میکروسکوپ به ذره‌های دود درون ظرف نگاه کنید و به حرکت نامنظم و درهم و برهم آنها توجه کنید. این حرکت کاتوره‌ای را حرکت براونی نیز می‌گویند.



شکل ۸

پاسخ پرسش ۳ــ۱

الف) ذرات هوا که با تندی بسیار زیادی در حرکت‌اند (در دمای اتاق حدود $500\ m/s$ است) سبب می‌شوند تا مولکول‌های عطر با وجود حرکت کاتوره‌ای و نامنظم، در مدت چند ثانیه از یک سوی اتاق به سوی دیگر اتاق پراکنده شوند. تندی میانگین مولکول‌های مایع بسیار اندک است و به عبارتی تنها روی یکدیگر می‌لغزند.

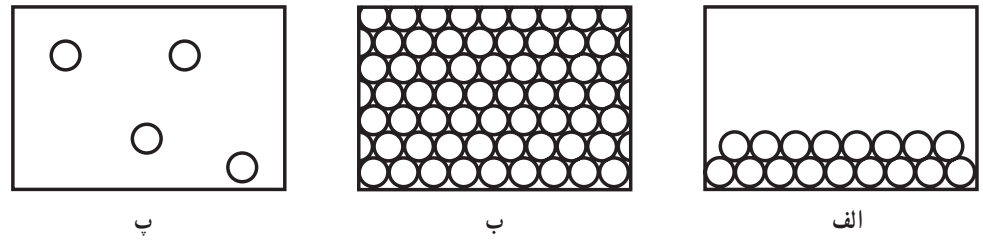
ب) اگر پدیدهٔ پخش در هوا رخ نمی‌داد، سبب می‌شد تا جو زمین به‌طور لایه‌ای شکل بگیرد. به‌طوری‌که در لایه‌های نزدیک به سطح زمین، مولکول‌های سنگین‌تر قرار می‌گرفتند.

پرسش‌های پیشنهادی

۱ در کدام یک از سه حالت ماده، ذره‌های ماده
الف) منظم‌اند.
ب) نامنظم‌اند.
پ) با آزادی در جهت‌های مختلف حرکت می‌کنند.
ت) در مکان‌های ثابتی نوسان می‌کنند.

۲ الف) چگونه می‌توان حرکت براونی را مشاهده کرد؟
ب) در این آزمایش چه پدیده‌ای را مشاهده می‌کنید؟
پ) حرکت براونی چه دلیلی برای ذره‌ای بودن ماده ارائه می‌دهد؟
ت) گاهی هنگام نگاه کردن به ذره‌ای در میکروسکوپ، ذره ناگهان ناپدید می‌شود. چرا چنین است؟

۳ شکل ۹ چگونگی قرار گرفتن مولکول‌ها را در جامدها، مایع‌ها و گازها نشان می‌دهد.
الف) کدام یک از شکل‌ها ترتیب قرار گرفتن مولکول‌های یک جامد را نشان می‌دهد؟
ب) کدام‌یک از این شکل‌ها ترتیب قرار گرفتن مولکول‌های یک مایع را نشان می‌دهد؟



دانستنی برای معلم

حرکت براونی

در سال ۱۸۲۸ گیاه‌شناسی به نام رابرت براون، حرکت «درهم و برهم» و بی‌وقفه گرده‌های گیاهی را در آب توصیف کرد. ذرات کوچکی که او در میکروسکوپ خود مشاهده کرده بود، به‌طور بی‌وقفه در حرکت بودند. آلبرت اینشتین در ماه مه ۱۹۰۵، هنگامی که بیست‌وشش سالش بود و در ادارهٔ ثبت اختراعات برای دولت سوئیس کار می‌کرد، مقالهٔ کوتاهی برای Annalen der Physik فرستاد که در آن حرکت براونی به‌صورت کمی توضیح داده شده بود. او در این مقاله نشان داد که حرکت براونی ذرات، بر اثر نیروهای متغیری است که از برخورد ذرات با مولکول‌ها حاصل می‌شوند. هرچند در آن زمان، حتی وجود مولکول‌ها هم برای همهٔ دانشمندان مسلم نشده بود. اما چند سال بعد ژان پرن با استفاده از نتایج اینشتین توانست جرم مولکول‌ها را از طریق اندازه‌گیری‌هایش در حرکت براونی تعیین کند، و بی هیچ تردیدی وجود مولکول‌ها را نشان دهد.

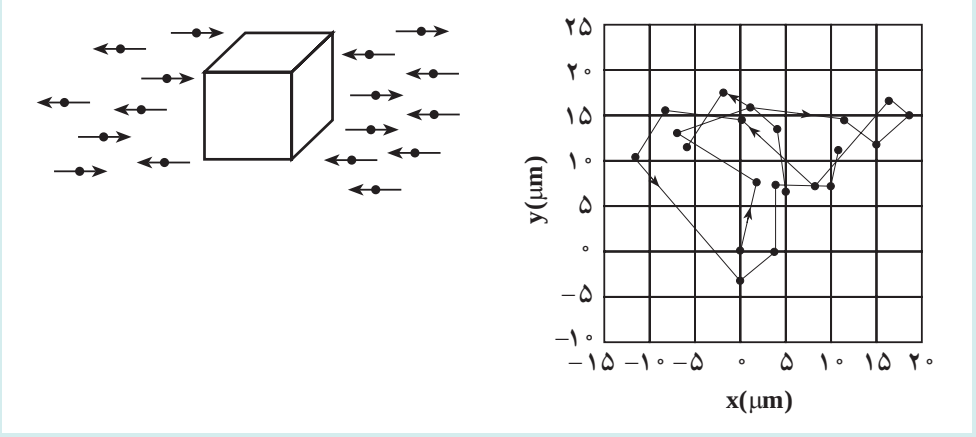
اگرچه براون و پرن ذرات کوچک موجود در آب را مطالعه کردند، اما در اینجا حرکت براونی در هوا را که ساده‌تر است به بحث می‌گذاریم. نمودار سمت چپ شکل ۹ مکعبی را نشان می‌دهد که مولکول‌های اکسیژن و نیتروژن موجود در هوا آن را بمباران می‌کنند؛ به‌خاطر سادگی فقط حرکت در یک بعد را در نظر گرفته‌ایم. فشار وارد بر مکعب از برخورد مولکول‌ها حاصل می‌شود. برخورد مولکول‌ها با مکعب را طی زمانی بسیار کوتاه، که به‌طور متوسط فقط برای ۱۰۰ برخورد با هر وجه مکعب کفایت کند، در نظر می‌گیریم. اما در تعداد این برخوردها افت‌وخیزهای آماری وجود خواهد داشت؛ گاهی تعداد برخوردها بیشتر و گاهی کمتر است. با در نظر گرفتن نظریهٔ سادهٔ آماری، متوسط افت‌وخیزها در تعداد برخوردها حدود $\sqrt{۱۰۰}$ خواهد بود، یعنی افت‌وخیز فشار وارد بر هر وجه نسبت به میانگین فشار در حدود ۱۰ درصد است. مکعب بر اثر این نیروهای متغیر خنثی نشده، گاهی به چپ، گاهی به راست، گاهی بیشتر و گاهی کمتر به حرکت درخواهد آمد. ولی اگر همان فشار از برخورد ۱۰/۰۰۰ مولکول بسیار کوچک در همان زمان وارد شود، افت‌وخیز میانگین فشار ۱۰ بار کمتر یعنی فقط ۱ درصد خواهد شد و حرکت مکعب حدود ۱۰ بار کمتر خواهد بود. بدین‌سان، بزرگی افت وخیزهای فشار و همچنین حرکت براونی ناشی از آن بستگی دارد به تعداد ذرات موجود در حجم معین گاز.

زمانی که افت‌وخیز فشار بر ذره نیرو وارد می‌آورد، ذره در ابتدا حرکت می‌کند و سپس حرکت آن بر اثر اصطکاک ناشی از گران‌روی کند می‌شود؛ هرچه گران‌روی بیشتر باشد، جابه‌جایی ذره کمتر است. پس از آن، ذره بر اثر افت‌وخیز بعدی فشار دوباره به حرکت در می‌آید. اما جابه‌جایی کتره‌ای بعدی همان‌قدر که ممکن است از جابه‌جایی اولی کم کند، ممکن است به آن اضافه کند. در این صورت، ذره «گشت کتره‌ای» خواهد داشت. چون احتمال حرکت در همهٔ جهت‌ها یکسان است، جابه‌جایی‌های متعدد در طول زمان تمایل به حذف یکدیگر خواهند داشت. و میانگین جابه‌جایی مجموعه‌ای از ذرات صفر خواهد بود. اما مربع این جابه‌جایی‌های انحرافی، $(\Delta X)^۲$، لزوماً مثبت خواهد بود و با گذشت زمان انباشته خواهد شد؛ در واقع کل مربع جابه‌جایی‌های انحرافی باید متناسب با گذشت زمان باشد. اینشتین دریافت که برای کره‌ای به شعاع a، داریم :

$$\overline{(\Delta x)^۲} = \frac{RT / N_A}{۳\mu\eta a}\Delta\tau \qquad (۱)$$

که در آن η ضریب گران روی، $\Delta\tau$ زمان سپری شده، R ثابت گازها، و T دمای مطلق است. در اینجا RT=PV است، که در آن P فشار و V حجم هر مول گاز محتوی N_A مولکول است. توجه کنید که میانگین مربعی انحراف $\overline{(\Delta x)^۲}$ با گران‌روی η و همچنین با N_A، تعدادمولکول‌ها در هر مول گاز، تناسب معکوس دارد.

پرن در آزمایش اولیه‌اش پیرامون حرکت براونی، حرکت کره‌های منفرد کندر رومی را در آب زیر نظر گرفت، و مکان آنها را در هر ۲۰ ثانیه مشخص کرد. کره‌ها کوچک بودن و قطری در حدود طول موج نور آبی رنگ داشتند، ولی جرم آنها حدود ۱ میلیارد بار بزرگ‌تر از مولکول اکسیژن یانیتروژن بود. نمودار سمت راست شکل ۹ شبیه‌سازی رایانه‌ای نوع نتایجی را نشان می‌دهد که پرن با اندازه‌گیری‌های خود با استفاده از میکروسکوپ به‌دست آورده بود. نقطه‌ها نشان‌دهنده مکان‌های کره در هر یک از مشاهدات‌اند؛ خطوطی که نقطه‌ها را به هم متصل می‌کنند فقط سلسله مراتب را نشان می‌دهند ــ ذرات به‌طور کتره‌ای و نامنظم از نقطه‌ای به نقطهٔ دیگر سوق داده می‌شوند.



شکل ۹ــ در سمت چپ، ذره‌ای در هوا با مولکول‌های گاز بمباران می‌شود، و این برخوردها فشار هوا را بر ذره وارد می‌کنند. در سمت راست، شبیه‌سازی مکان‌های ذرهٔ کندر در آب در هر ۳۰S نشان داده شده است.

اگر پرن می‌توانست اندازه‌گیری‌ها را ۱۰۰ بار سریع‌تر یعنی هر ۰/۳ ثانیه یک‌بار انجام دهد، نقشی با همان ویژگی گشت کتره‌ای، اما در مقیاس یک‌دهم، به‌دست می‌آمد. اگر اندازه‌گیری‌ها هر ۳۰۰۰ ثانیه یک بار یعنی ۱۰۰ با آهسته‌تر انجام می‌شد، باز هم نقشی مشابه، اما با مقیاسی ده مرتبه بزرگ‌تر، حاصل می‌شد. حرکت براونی، فراکتال‌گونه است ــ یعنی نقش آن در هر مقیاسی یکسان است. هرچه مقیاس کوچک‌تر شود، میانگین سرعت سوق از نقطه‌ای به نقطهٔ دیگر، به نسبت عکس ضریب مقیاس بزرگ‌تر می‌شود. اما این سرعت هنوز هم از میانگین سرعت لحظه‌ای کره‌ها خیلی کوچک‌تر است. برای هر ذره‌ای که با گاز یا مایع در تعادل دمایی باشد، متوسط انرژی جنبشی برابر است با :

$$(۱/۲)mv^{\bar{۲}} = (۳/۲)RT/N_A = (۳/۲)kT$$

که در آن $k=R/N_A$ ثابت بولتزمن است. بنابراین متوسط انرژی جنبشی کرهٔ کندری با میانگین انرژی هر مولکول هوا برابر می‌شد. با استفاده از این رابطه، میانگین سرعت لحظه‌ای کره‌های کندری در حدود (cm/s)۱ بود؛ ولی حرکت سوقی چنین کره‌ای در هر ۳۰ ثانیه نوعاً از ۱/۱۰۰۰ سانتی‌متر هم کمتر است.

پرن با استفاده از ۲۰ اندازه‌گیری که در ۱۰ دقیقه انجام شده بود. همانند آنچه در شکل ۹ آمده است، توانست ۲۰ مقدار برای $(\Delta x)^۲$ و ۲۰ مقدار برای $(\Delta x)^۲$ که به همان اندازه مفید است، به‌دست آورد. پس از تعیین مقدار میانگین $(\Delta x)^۲$، با اندازه‌گیری حرکت ذرات بسیار متعددی در تعداد زیادی از بازه‌های ۳۰ ثانیه‌ای، پرن با کمک معادلهٔ (۱) دریافت که در هریک از مول گاز $N_A=۶\times۱۰^{۲۳}$ مولکول وجود دارد. عدد N_A را عدد آووگادرو و جرم آنها را هم تعیین کرد. اودر سال ۱۹۲۶، به‌خاطر این موفقیت، برندهٔ جایزهٔ نوبل شد.

آشنایی با دینامیک شاره‌ها

دینامیک شاره‌ها، مطالعهٔ حرکت مایعات و گازها است. هیدرودینامیک حرکت مایعات را مورد بررسی قرار می‌دهد، و آئرودینامیک به مطالعهٔ مکانیک هوا (و سایر گازها) می‌پردازد. مطالعهٔ این مباحث با یکدیگر هم‌پوشانی دارد و اغلب این واژه‌ها را به‌جای همدیگر به‌کار می‌برند. حوزهٔ کاربرد دینامیک شاره‌ها در علوم و مهندسی بسیار گسترده است و شامل مباحث زیر می‌شود : هواشناسی، اقیانوس‌شناسی، ترابری (مثلاً برای اتومبیل‌ها و هواپیماها) توربین‌ها، پمپ‌ها، دمنده‌ها، گردش خون در موجودات زنده، طراحی سازه‌ها، فیزیک هسته‌ای، و زمینه‌های ورزشی نظیر بیس‌بال و گلف.

شاره‌ها که شامل مایعات و گازها (و درنتیجه پلاسماها) می‌شوند، موادی هستند که پیوسته و بی‌هیچ محدودیتی بر اثر اعمال نیروی خارجی (تنش برشی)، هرچند کوچک، تغییر شکل می‌دهند. جامدات که شاره نیستند، هم بر اثر اعمال تنش برشی تغییر شکل می‌دهند، ولی در برابر تغییر شکل مقاومت زیادی از خود نشان می‌دهند و در مرحله‌ای که حد تغییر شکل است، بر اثر تنش بیشتر با گسیختگی روبه‌رو می‌شوند. ویژگی متمایزکننده دیگر شاره‌ها این است که حتی بر اثر اعمال نیروهای خیلی کوچک هم جاری می‌شوند، درحالی‌که جامدات برای جابه‌جایی نیاز به نیروهای خیلی بیشتری دارند.

گاهی تمایزگذاری بین جامد و شاره به‌صورت دل‌به‌خواه است. موادی نظیر شیشه و کوه‌های یخ در دوره‌های زمانی بسیار طولانی مانند مایعات جاری می‌شوند. ذرات جامد پودر شده هم، مثل نمکی که از نمک‌پاش پاشیده می‌شود، مانند مایع رفتار می‌کند؛ خمیردندان بسته به فشار اعمال شده هم خواص جامد دارد و هم خواص مایع. از لحاظ میکروسکوپیکی، حالت‌های متفاوت ماده را به کمک فاصلهٔ بین‌مولکول‌ها و نیروهای بین‌مولکولی می‌توان از یکدیگر متمایز کرد. در مواد جامد، مولکول‌ها خیلی نزدیک به هم قرار گرفته‌اند و نیروهای پیوندی خیلی قوی بین آنها برقرار است. در مایعات، فاصلهٔ بین مولکول‌ها معمولاً بیشتر است و مولکول‌ها از طریق نیروی چسبندگی ضعیفی برهم‌کنش دارند. در گازها، فاصلهٔ بین مولکول‌ها باز هم بیشتر است، و بین مولکول‌ها یا اصلاً پیوندی وجود ندارد یا پیوند بسیار ضعیفی برقرار است. جنبهٔ متمایزکنندهٔ دیگر مایعات این است که مولکول‌های تشکیل‌دهنده از هیچ‌گونه نظم و ترتیب دوربردی پیروی نمی‌کنند و چیدمانشان آرایش خاصی ندارد، و حتی وقتی مایع (از لحاظ ماکروسکوپیکی) در حالت سکون قرار دارند، موقعیت و سمت‌گیری مولکول‌ها به‌طور مداوم در حال تغییر است.

یکی از وجوه تمایز ماکروسکوپیکی بین مایعات و گازها میزان تراکم‌پذیری آنهاست. تراکم‌پذیری به معنی تغییر چگالی بر اثر تغییر فشار اعمال شده روی سیستم است. تراکم‌پذیری نتیجهٔ مستقیم خواص میکروسکوپی ماده، یعنی فاصله و نیروی بین مولکولی است. مایعات را به تقریب می‌توان تراکم‌ناپذیر دانست. این موضوع به‌طور کلی در مورد گازها صدق نمی‌کند، اگرچه اغلب به‌خاطر سهولت در انجام محاسبات آنها را تراکم‌ناپذیر در نظر می‌گیرند. به عنوان مثال، وقتی هوا با سرعتی کمتر از $50\ m/s$ در حال شارش باشد، فرض تراکم‌ناپذیری اغلب نتایج قابل قبولی به‌دست می‌دهد.

۳ــ۲ــ ویژگی‌های فیزیکی مواد در مقیاس نانو

راهنمای تدریس: در این بخش، به موضوع علم نانو و فناوری نانو از منظر تغییر ویژگی‌های فیزیکی مواد پرداخته شده است. از جمله ویژگی‌های فیزیکی مواد می‌توان به نقطه ذوب، رسانایی، کدر بودن و شفاف بودن، رنگ، استحکام و ... اشاره کرد. همان‌طور که در کتاب درسی نیز آمده است، در مقیاس نانو برخی از ویژگی‌های فیزیکی مواد تغییر می‌کند. بهره‌گیری از این تغییرات، موضوع فناوری نانو است که می‌تواند منجر به تولیداتی شود که تأثیر چشمگیری در زندگی بشر داشته باشد.

در این بخش فرصت مناسبی است که فعالیت‌هایی را به طور گروهی برای دانش‌آموزان علاقه‌مند در این زمینه از علم معرفی کنیم. این فعالیت‌ها که ماهیتی بین رشته‌ای دارند و اجرای آنها ممکن است تا چندین ماه زمان لازم داشته باشند فرصتی را برای گروه‌های دانش‌آموزی فراهم می‌کند تا یک موضوع و پدیده را از جنبه‌های مختلفی مورد بررسی قرار دهند. فهرستی از فعالیت‌های مناسب (به‌همراه راهنمای معلم) را می‌توانید در بستهٔ آموزشی «به علوم نانو خوش آمدید» انتشارات مدرسه ببینید. این بستهٔ آموزشی، منبع مناسبی برای دانش‌آموزان علاقه‌مند است. افزون بر این می‌توانید برای آگاهی خودتان نسبت به موضوع علم و فناوری نانو به درس‌نامه‌ای با همین عنوان که در مجلهٔ رشد فیزیک شمارهٔ ۱۰۴ منتشر شده است مراجعه کنید.

حل تمرین ۳ــ۱

مقدار تقریبی حجم هر اتم به قطر $10^{-10}\,m$ برابر است با :

$$V_1 = \frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{\pi}{6}(2R)^3 \simeq 0/5 \times 10^{-30}\,m^3$$

از طرفی حجم یک مکعب به ابعاد $1\,nm$ برابر است با :

$$V_2 = a^3 = (10^{-9})^3 = 10^{-27}\,m^3$$

به این ترتیب تعداد تقریبی اتمی را که می‌توان در این مکعب جای داد برابر است با

$$N = \frac{V_2}{V_1} = \frac{10^{-27}\,m^3}{0/5 \times 10^{-30}\,m^3} \approx 2000$$

این پاسخ در حالتی قابل قبول است که فضاهای خالی که به دلیل کنار هم قرار گرفتن اتم‌ها ایجاد می‌شود را نادیده بگیریم. در حالی که می‌دانیم تقریباً نیمی از فضای حجم $1\,nm^3$، خالی می‌ماند. بنابراین درست‌تر آن است که بگوییم در مکعبی به ابعاد یک نانومتر مکعب از مرتبهٔ 10^3 اتم می‌توان جای داد.

پاسخ پرسش ۳ــ۲

زیرا در کاربردهای علمی و صنعتی روزمره، با ویژگی‌های فیزیکی مواد در مقیاس معمولی سروکار داریم و این دما برای آن کاربردها صحیح است.

پاسخ فعالیت ۳ــ۳

افزون‌برجست‌وجوهای اینترنتی، همکاران برای دانش‌افزایی در زمینهٔ علوم و فناوری نانو و همچنین پشتیبانی دانش‌آموزان علاقه‌مند، می‌توانید از بسته آموزشی «به علوم نانو خوش آمدید» که شامل یک کتاب و DVD است استفاده کنید. این بسته آموزشی توسط انتشارات مدرسه عرضه شده است.

۳ــ۳ــ نیروهای بین مولکولی

راهنمای تدریس: برای شروع پیشنهاد می‌شود ابتدا پرسش صفحه بعد را مطرح کنید.

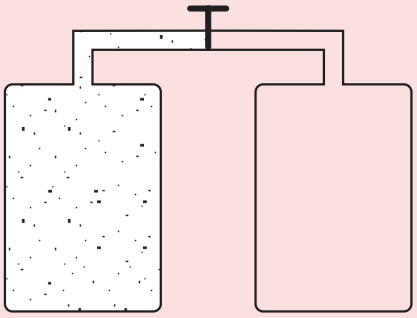
پرسش‌های پیشنهادی

۱ دو ظرف پر از گاز را با لولهٔ شیرداری به هم وصل می‌کنیم.

الف) اگر شیر لوله را باز کنیم، چه اتفاقی می‌افتد؟

ب) اگر استوانهٔ اول با جامد یا مایع پر شده بود، با باز کردن شیر لوله چه اتفاقی می‌افتاد؟ تبخیر ناچیزی را که صورت می‌گیرد نادیده بگیرید.

بدون شک پاسخ دانش‌آموزان به هر دو قسمت پرسش پیشنهادی فضای مناسبی را فراهم می‌آورد تا علاوه بر مقایسهٔ نیروهای بین‌مولکولی در سه حالت ماده، موضوع بحث را با تمرکز بیشتری بر نیروهای بین‌مولکولی در مایع سوق دهیم.



آویزان شدن قطره‌های باران از شاخ‌وبرگ درختان و سیم‌های برق و نیفتادن آنها برای مدتی، مثال‌های مناسبی برای توجه دانش‌آموزان به نیروهای بین‌مولکولی در مایع‌هاست.

در ادامه ضمن اشاره به آنچه در کتاب درسی آمده است خوب است که دو ویژگی مهم نیروهای بین‌مولکولی را با تأکید بیشتری مورد توجه قرار دهید.

دو ویژگی مهم نیروهای بین‌مولکولی

۱ نیروهای بین‌مولکولی کوتاه‌بُرد هستند. یعنی، وقتی فاصلهٔ بین مولکول‌ها به چند برابر ابعاد مولکول می‌رسد، بسیار کوچک و عملاً صفر می‌شوند. به همین دلیل است که این نیرو در گازها دیده نمی‌شود.

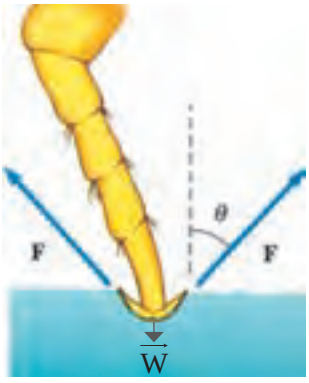
۲ وقتی فاصلهٔ بین مولکول از حد معینی (نسبت به ابعاد مولکول) کمتر شود نیروی بین مولکولی دافعه است. همین موضوع سبب می‌شود که متراکم کردن مایع‌ها (و جامدها) بسیار بسیار دشوار باشد.

پاسخ پرسش ۳ــ۳

نیروهای بین مولکولی در محدوده چندین مولکول مجاور عمل می‌کنند. وقتی قطعه‌های یک شیشهٔ شکسته را به یکدیگر نزدیک می‌کنیم، در واقع فاصله بین مولکول‌های قسمت شکسته شده مربوط به هر قطعه با قطعهٔ دیگر، بسیار بیشتر از ابعاد یک مولکول شیشه است. هر چند با چشمان خود (به جهت تفکیک اندک) تصور می‌کنیم که قطعه‌های شکسته شده به هم نزدیک‌اند ولی از نظر مولکولی فاصلهٔ بین قسمت‌های شکسته شده بسیار بیشتر از ابعاد یک مولکول است و چون نیروهای بین مولکولی در این ابعاد فاصله، عمل نمی‌کنند، لذا دو قطعهٔ شیشه به هم نمی‌چسبند. با گرم کردن دو قطعهٔ شیشه‌ای، نوسان مولکول‌های دو قطعهٔ شیشه‌ای که مجاور هم قرار گرفته‌اند افزایش می‌یابد و همین سبب می‌شود تا فاصله بین مولکول‌های مجاور به چندین مولکول برسد و نیروهای بین مولکولی عمل کنند و قطعه‌ها به یکدیگر بچسبند.

کشش سطحی : در این بخش دانش‌آموزان با پدیده‌های دیگری آشنا می‌شوند که به کمک آنها می‌توان وجود نیروهای بین مولکولی در مایع‌ها را پی برد. به همین جهت پیش از هرگونه شرحی در این خصوص از دانش‌آموزان بخواهید فعالیت **۳ــ۴** را انجام دهند. این فعالیت ساده به خوبی پدیدهٔ کشش سطحی را برای دانش‌آموزان نمایش می‌دهد.

هدف شکل ۳ــ۱۰ الف استفاده از پدیدهٔ کشش سطحی برای توصیف ایستادن حشره بر روی سطح آب است. همان‌طور که در شکل کتاب درسی نیز به‌خوبی نشان می‌دهد در محل تماس پاهای حشره با سطح آب، فرورفتگی کمی وجود دارد که ناشی از کشش سطحی آب است و نیروی رو به بالای لازم ($\vec{F}$) جهت غلبه بر نیروی وزن ($\vec{W}$) حشره را تأمین می‌کند (شکل روبه‌رو).



برایند دو نیروی $\vec{F}$ ناشی از سطح آب و نیروی وزن $\vec{W}$ به تعادل می‌رسد.

پاسخ فعالیت ۳ــ۴

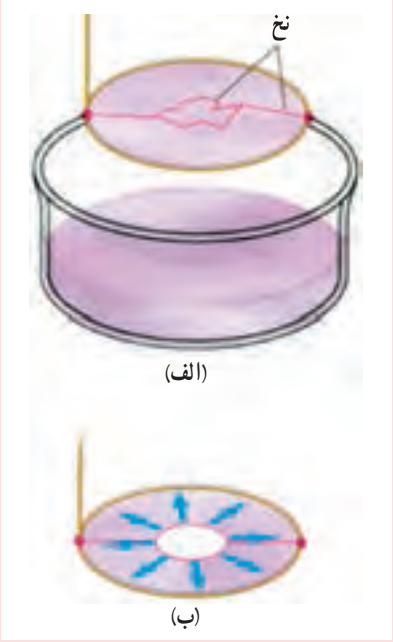
هدف این فعالیت، مشاهده کشش سطحی در مایع‌ها است.

با گذاشتن سوزن ته‌گرد و یا تیغ بر روی سطح آب، دانش‌آموزان با واقعیت شگفت‌انگیزی مواجه می‌شوند. آنها مشاهده می‌کنند با وجود آنکه چگالی آهن یا فولاد بیش از هفت برابر چگالی آب است، سوزن یا تیغ بر روی سطح آب باقی می‌ماند. همین‌جا فرصت مناسبی است تا پدیدهٔ کشش سطحی را به کمک دانش آموزان توصیف کنید. هنگام توصیف این پدیده سعی کنید که توجه دانش‌آموزان را به موضوع تعادل اجسام معطوف کنید و با رسم شکل مناسب نتیجه بگیرید که نیروی وزن سوزن یا تیغ که روبه پایین است با نیروی بین‌مولکول‌های سطح آب که روبه بالاست خنثی می‌شود.

افزودن قطره‌های مایع شوینده (حتی یکی دو قطره) سبب کاهش نیروی بین مولکول‌های آب می‌شود و به عبارت دیگر نیروی هم‌چسبی مولکول‌های آب و کشش سطحی آب را کاهش می‌دهد.

فعالیت پیشنهادی

یک حلقهٔ فلزی که نخ مسدودی به آن ضمیمه شده است مطابق شکل الف تهیه کنید. این مجموعه را داخل آب صابون فرو برده و بیرون بیاورید. همان‌طور که خواهید دید لایهٔ نازکی از آب صابون در حلقهٔ فلزی تشکیل می‌شود که نخ‌ها را درون خود در بر می‌گیرد. اگر لایهٔ محصور در داخل نخ مسدود را پاره کنید، نخ به شکل دایره‌ای کامل در می‌آید (شکل ب) ــ دلیل این پدیده آن است که در امتداد شعاع حلقه کشش‌هایی بر نخ وارد می‌شود و آن را به شکل یک دایرهٔ کامل در می‌آورد. لازم به ذکر است این نیرو پیش از پاره کردن لایهٔ آب صابون نیز وجود دارد ولی از دو طرف بر نخ وارد و در نتیجه خنثی می‌شود.



دانستنی برای معلم

بستگی کشش سطحی به دما

در جدول زیر بستگی کشش سطحی آب به دما نشان داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود و انتظار نیز داشتیم با افزایش دما کشش سطحی آب کاهش می‌یابد. این موضوع را می‌توانید به عنوان یک طرح (پروژه) برای دانش‌آموزان علاقه‌مند مطرح کنید تا به عنوان فعالیتی خارج از کلاس به آن بپردازند و در صورت امکان نتیجه را به کلاس ارائه کنند. توجه کنید که این آزمایش باید بسیار دقیق و بر اساس راهکار خلاقانه‌ای انجام شود که دانش‌آموزان پیدا می‌کنند.

دما ($^{\circ}C$)	کشش سطحی (Nm^{-1})
۰	۰/۰۷۵۶
۲۰	۰/۰۷۲۵
۵۰	۰/۰۶۷۹
۱۰۰	۰/۰۵۸۸

پاسخ پرسش ۳ــ۴

الف) اگر در فعالیت ۳ــ۴، دمای آب را نیز افزایش دهید، خواهید دید که هم‌چسبی مولکول‌های آب کاهش می‌یابد. به‌عبارت دیگر افزایش دما سبب کاهش هم‌چسبی مولکول مایع می‌شود (لازم است توجه کنید که این موضوع در خصوص گازها برعکس است). بنابراین دمای قطره‌های بزرگ‌تر روغن، کمتر است.

ب) افزایش دما، سبب کاهش نیروی هم‌چسبی مولکول‌های مایع می‌شود.

پ) به قسمت الف و ب توجه کنید.

پاسخ فعالیت۳ــ۵

اضافه شدن یک لایهٔ دوده یا روغن به سطح شیشه، سبب می‌شود که ارتباط بین مولکول‌های آب با مولکول‌های شیشه قطع شود و به یکدیگر نیرویی وارد نکنند (توجه کنید ضخامت لایهٔ روغن یا لایهٔ دود، ده‌ها برابر ابعاد یک مولکول آب یا شیشه است). از آنجا که نیروهای بین مولکولی کوتاه برد هستند، همین امر سبب می‌شود رفتار مولکول آب‌ها روی سطح دوده یا روغن نسبت به حالتی که روی سطح شیشه ریخته می‌شود تغییر کند.

پاسخ فعالیت ۳ــ۶

به کمک این فعالیت ساده، می‌توان شناختی کلی از نیروی دگرچسبی بین مولکول‌های آب و مولکول‌های کارت به‌دست آورد. آزمایش نشان می‌دهد که این نیرو بین ۰/۱۰ تا ۰/۱۵ نیوتون است.

پاسخ فعالیت ۳ــ۷

یکی از ابتکارات معماران قدیم ایرانی، برای جلوگیری از نفوذ آب به داخل سازه‌ها، استفاده از ترکیب خاک رس و آهک بود که از آن به نسبت ۶ به ۴، گلی سفت می‌ساختند و آن را چندین روز وَرز می‌دادند. از این گِل، که ساروج نامیده می‌شد برای ساختن بناهایی که درمعرض آب بودند استفاده می‌کردند. در برخی منابع به استفاده از سفیدهٔ تخم‌مرغ در تهیه ساروج نیز اشاره شده است.

پرسش پیشنهادی

۱ آیا جیوه همواره بر روی سطح جامد به شکل قطره‌های کروی در می‌آید؟
پاسخ : خیر ــ این موضوع بستگی به این دارد که نیروی چسبندگی مولکول‌های جیوه بیشتر است یا نیروی چسبندگی سطحی که بین مولکول‌های جیوه و مولکول‌های سطحی که جیوه روی آن ریخته می‌شود. آزمایش نشان می‌دهد هرگاه ورقه‌ای از جنس روی را با دستمالی آغشته به اسید سولفوریک رقیق پاک کنیم و جیوه بر روی آن بریزیم، قطرهٔ جیوه روی ورقهٔ روی پخش می‌شود.

۲ پس از حمام کردن، بدن و موی خود را با حوله خشک می‌کنیم. توضیح دهید چرا از حوله استفاده می‌کنیم؟
پاسخ : به پدیدهٔ مویینگی اشاره شود.

فعالیت پیشنهادی

در ظرفی محتوی آب قطعه‌ای گچ تحریر بیندازید. مشاهده خواهید کرد که حباب‌هایی در تمام جهت‌ها ازگچ بیرون می‌آید. از دانش‌آموزان بخواهید پس از بحث در گروه‌های خود دلایل خود را برای آنچه مشاهده می‌کنند به کلاس ارائه کنند. این فعالیت ساده به زیبایی پدیدهٔ مویینگی را نشان می‌دهد. آب بر اثر پدیدهٔ مویینگی، که ناشی از چسبندگی سطحی بین مولکول‌های آب و گچ است، به داخل گچ نفوذ می‌کند و اندک هوای موجود درون گچ را به‌صورت حباب‌های کوچک هوا از اطراف قطعه گچ خارج می‌کند. این فعالیت همچنین می‌تواند اهمیت رنگ کردن دیوارهای گچی را برای جلوگیری از نفوذ آب به درون آنها برای دانش‌آموزان تبیین کند. این فعالیت را به‌نحو دیگری نیز می‌توانید انجام دهید. قطعه گچی را بشکنید و با زبان خود آن را لمس کنید. خواهید دید که زبان شما به قطعه گچ می‌چسبد. این فعالیت ساده نیز می‌تواند شروع مناسبی برای پدیدهٔ مویینگی و یا ادامهٔ آموزش این پدیده باشد.

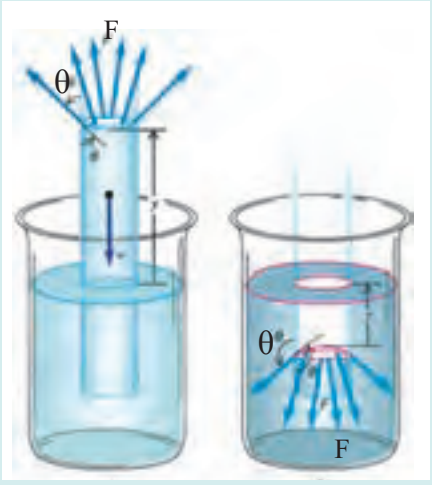
دانستنی برای معلم

مویینگی و زاویهٔ تماس

همان‌طور که پدیدهٔ مویینگی مشاهده شد سطح جداکنندهٔ مایع در مجاورت جسم جامدی نظیر دیوارهٔ ظرف یا لوله به پایین و یا بالا خمیده می‌شود. زاویهٔ برخورد این سطح با دیوارهٔ جامد را **زاویهٔ تماس**[1] می‌نامند. در شکل الف و ب به‌ترتیب زاویهٔ تماس برای دو ظرف شیشه‌ای محتوی آب و جیوه نشان داده شده است. در شکل الف زاویهٔ تماس θ کمتر از 90° است زیرا نیروی چسبندگی بین مولکول‌های آب و شیشه بیشتر از نیروی چسبندگی مولکول‌های آب است و به عبارت دیگر آب شیشه را تر می‌کند

۱ــ

و سطح جداکننده رو به بالا خمیده می‌شود و $\theta<90^\circ$ است. درحالی‌که در شکل ب زاویهٔ تماس θ بیشتر از 90° است، زیرا نیروی چسبندگی مولکول‌های جیوه بیشتر از نیروی چسبندگی سطحی مولکول‌های جیوه و شیشه است و به عبارت دیگر جیوه شیشه را تر نمی‌کند و سطح جداکننده رو به پایین خمیده می‌شود و $\theta>90^\circ$ است. اندازهٔ زاویهٔ تماس به ترکیب شیمیایی جامد، مایع، گاز و یا هوای مجاور بستگی دارد. همچنین میزان خلوص و دمای این مواد نیز می‌تواند در اندازهٔ θ مؤثر باشد.



(ب) (الف)

فشار ناشی از سطح خمیدهٔ مایع : سطح خمیده (کاو یا کوژ) فشار اضافی بر مایع وارد می‌کند. برای محاسبهٔ این فشار خود را محدود به موردی می‌کنیم که مایع در لوله‌ای به شعاع داخلی r قرار دارد. سطح خمیدهٔ مایع کلاهکی کروی تشکیل می‌دهد که سطح آن با سطح داخلی لوله زاویهٔ تماس θ می‌سازد. جزئی از مرز تماس مایع با جدار لولهٔ جامد، به طول ΔL، تحت تأثیر نیروی کشش سطحی $F=\sigma\Delta L$ است، که در آن σ ضریب ثابت کشش سطحی است.

این نیرو در امتداد مماس بر سطح آبگون قرار دارد و با تجزیهٔ آن به دو مؤلفه داریم : ΔF_1 عمود بر جدار و دیگری $\Delta F_2=F\cos\theta=\sigma\Delta L\cos\theta$ موازی با جدار لوله.

مؤلفهٔ ΔF_2 موجب فشاری می‌شود که نسبت به فشار جوّ اضافی است.

برای به‌دست آوردن این فشار اضافی مؤلفهٔ نیروی ΔF_2 را بر مساحت مقطع $A=\pi r^2$، تقسیم می‌کنیم بنابراین داریم :

$$P=\frac{\Delta F_2}{A}=\frac{-2\sigma\times 2\pi r\cos\theta}{\pi r^2}=\frac{-2\sigma\cos\theta}{r}$$

همان‌طور که دیده می‌شود $0\le\theta\le\frac{\pi}{2}$ باشد داریم $\cos\theta>0$ و فشار اضافی منفی است و اگر $\frac{\pi}{2}\le\theta\le\pi$ باشد، داریم $\cos\theta<0$ و فشار اضافی مثبت خواهد بود.

ارتفاع بالا آمدگی (یا پایین رفتگی) مایع در لولهٔ مویین را از این واقعیت می‌توان تعیین کرد که مایع درون لوله درصورتی ترازمند خواهد بود که مجموع فشار هیدرواستاتیک ρgh و فشار زیر سطح خمیده $P=-2\sigma\cos\theta/r$، برابر صفر باشد.

بنابراین :

$$\rho gh-\frac{2\sigma\cos\theta}{r}=0\Rightarrow h=\frac{2\sigma\cos\theta}{r\rho g}$$

همان‌طور که دیده می‌شود برای مایع خیس‌کننده زاویهٔ تماس حاده ($\cos\theta>0$) است و بالا آمدگی مثبت (شکل الف) و برای مایعی که خیس نمی‌کند که زاویهٔ تماس منفرجه ($\cos\theta<0$) است بالاآمدگی منفی است. سطح مایعی که خیس نمی‌کند در لوله پایین‌تر از سطح آن در ظرف خواهد بود (شکل ب).

۳ــ۴ــ فشار در شاره‌ها

راهنمای تدریس: دانش‌آموزان درعلوم سال نهم و در یک فصل به‌طورکامل و از طریق انجام فعالیت‌ها و آزمایش ماده با مفاهیم اولیه فشار در حالت‌های مختلف ماده آشنا شده‌اند. لذا توصیه می‌شود افزون برملاحظهٔ فصل فشار علوم نهم، راهنمای معلم این فصل را نیز که حاوی فعالیت‌های پیشنهادی متنوعی برای شناخت بهتر دانش‌آموزان است ملاحظه کنید. برخی از این فعالیت‌ها را می‌توانید درسال دهم نیز انجام دهید و از دانش‌آموزان بخواهید تا باتوجه به مفاهیم جدیدی که فراگرفته‌اند به توصیف آنچه رخ می‌دهد بپردازند.

پاسخ پرسش ۳ــ۵

انتظار می‌رود دانش‌آموزان با توجه به رابطهٔ ۳ـ۳ به این نکته اشاره کنند که در سطح مایع، فشار ناشی از هوا $P_{\circ}$ وجود دارد. در عمق یکسانی از سطح مایع فشار ناشی از مایع در هر نقطهٔ هم‌تراز یکسان است.

پاسخ تمرین ۳ــ۲

الف)

= فشار ناشی از آب

$\rho gh = (۱۰۰۰ kg/m^۳)(۹/۸N/kg)(۵/۰m) = ۴۹۰۵۰Pa$

فشار کل = $P = P_{۰} + \rho gh = ۱/۰۱ \times ۱۰^۵Pa + ۴۹۰۵۰Pa$

$= ۱۵۰۰۵۰Pa \simeq ۱/۵ \times ۱۰^۵Pa$

ب) دانش‌آموزان با رابطهٔ $P = \frac{F}{A}$ از علوم سال نهم آشنایی دارند. به این ترتیب داریم

$F = PA = (۱/۵ \times ۱۰^۵Pa)(۱۰^{-۴}m^۲) = ۱۵N$

این نیرو معادل وزن یک جسم ۱/۵کیلوگرمی است که می‌تواند برای گوش دردناک و ناراحت‌کننده باشد.

پاسخ تمرین ۳ــ۳

اختلاف فشار در بالا و پایین جسم برابر است با

$\Delta P = \rho g \Delta h$

که در آن Δh برابر طول ضلع مکعب، یعنی ۲۰cm است.

به این ترتیب داریم :

$(۱۰۵ - ۱۰۰) \times ۱۰^۳Pa = \rho(۹/۸N/kg)(۰/۲m)$

$\rho = ۲/۵ \times ۱۰^۳ kg/m^۳$

پاسخ تمرین ۳ــ۴

با استفاده از رابطهٔ $P = \frac{F}{A}$ ، نیروی عمودی ناشی از این ستون فرضی هوا را، که در واقع برابر وزن این ستون هواست، به‌دست می‌آوریم.

$F = (۱۰^۵Pa)(۱m^۲) = ۱۰^۵N$

$F = W = mg \Rightarrow ۱۰^۵N = (۹/۸N/kg)m$

$m \simeq ۱۰^۴kg$

با توجه به نمودار، حدود هفتاد درصد این جرم، از سطح زمین تا ارتفاع ۹ کیلومتری توزیع شده است.

پاسخ پرسش ۳ــ۶

الف) از آنجا که چگالی آب حدود ۱۴ مرتبه از چگالی جیوه کمتر است، لذا اگر توریچلی درنظر داشت از آب استفاده کند، مجبور بود لوله‌ای بلند به طول حدود ۱۰ متر فراهم کند! شکل الف به این موضوع اشاره دارد.

ب) بالا رفتن جیوه درون لوله‌های غیرمویین، مربوط به فشار هواست و ستون جیوه در هر لوله به‌قدری بالا می‌رود که طول ستون جیوه فشاری معادل فشار هوا به‌وجود آورد.

ب) این سوراخ ریز برای ورود هوا به داخل بدنهٔ لاکی خودکار و وارد کردن فشار به سطح جوهر درون لوله، تعبیه شده است. کافی است یک خودکار را انتخاب کنید و این سوراخ ریز را با چسب نواری مسدود کنید. خواهید دید که پس از کمی نوشتن، دیگر جوهر به گوی فلزی غلتان نمی‌رسد و خودکار نمی‌نویسد.

پاسخ فعالیت۳ــ۸

آزمایش کنید ۵ــ۱ کتاب فیزیک ۲ و آزمایشگاه سابق، می‌تواند به‌شما کمک کند. به شکل صفحه بعد توجه کنید.

پاسخ تمرین ۳ــ۵

نکته‌ای که در حل این تمرین باید به آن توجه شود این است که خونی که در سیاهرگ جریان دارد درحال برگشت از بافت‌هاست و فشار آن به شدت افت کرده است. لذا به همین دلیل محلول سرم را در سیاهرگ تزریق می کنند که فشار خون در آن نسبت به سرخرگ بسیار کمتر است (بین ۱۰ تا ۲۰ برابر کمتر است).

$$\Delta P = \rho g h$$

$$۱۳۳۰\,Pa = (۱۰۴۵\,kg/m^۳)(۹/۸\,N/kg)h \Rightarrow h \simeq ۱۳\,cm$$

این حداقل ارتفاعی است که سرم باید نصب شود، در عمل دست‌کم حدود ۵۰ تا ۶۰ سانتی‌متر بالاتر از بازوی بیمار، کیسهٔ پلاستیکی را آویزان می کنند.

پاسخ فعالیت ۳ــ۹

وقتی فویل آلومینیمی را مچاله می کنید مقداری هوا لابه‌لای آن محبوس می‌شود. از آنجا که چگالی هوا، بیش از دو هزار مرتبه کمتر از چگالی آلومینیم است، لذا فویل مچاله شده روی سطح آب به‌طور شناور می‌ماند. حتی اگر فویل مچاله شده را با چکش هم فشرده کنید باز هم ممکن است روی آب شناور بماند. وقتی پوش‌برگ را چندین مرتبه روی‌هم تا می‌زنید، هوای محبوس در فویل از لابه‌لای آن خارج می‌شود. در این صورت فویل به ته آب درون ظرف می‌رود.

پرسش‌های پیشنهادی

۱ عمق زیردریایی‌ها را چگونه تعیین می‌کنند؟
پاسخ : زیردریایی‌ها مجهز به فشارسنج‌هایی هستند که فشار آب بیرون زیردریایی و فشار کل را اندازه می‌گیرند. با داشتن فشار کل، می‌توان عمق محل زیردریایی را تعیین کرد.

۲ از فشارسنج می‌توان به‌عنوان ارتفاع‌سنج استفاده کرد. فرض کنید در بالای تپه‌ای فشارسنجی که همراه دارید کاهش ۸mm–Hg را نشان می‌دهد. ارتفاع تپه ازسطح دریا چقدر است؟
پاسخ : ۱۸۰m

دانستنی برای معلم

خلأ

خلأ به وضعیتی از محیط گازی اطلاق می‌شود که فشار گاز در آن پایین‌تر از فشارمحیط است. ارسطو معتقد بود که چون نور نمی‌تواند به داخل خلأ نفوذ کند، باتوجه به قابل رؤیت بودن نور ستارگان در زمین، خلأ نمی تواند وجود داشته باشد. پلوتارخ بر آن بود که «طبیعت از خلأ نفرت دارد». نظر ارسطو را ارباب کلیسا تا قرن هفدهم نیز پابرجا نگه داشته بودند وحتی نام بردن از«خلأ» را کفر می‌دانستند. رنه‌دکارت گفته بود : «این با خرد در تناقض است که گفته شود خلأ وجود دارد یا فضایی وجود دارد که در آن مطلقاً چیزی نیست». با این حال، در حدود سال ۱۶۴۰بود که گاسپارو بِرتی فشارسنجی آبی ساخت و خلأ را در فضای بالای ستون آب پدید آورد.
آزمایش معروفی که درسال ۱۶۴۳توسط دانشمند ایتالیایی، اوانجلیستا توریچلی، طراحی و درسال ۱۶۴۴ توسط وینچنزو ویویانی اجرا شد، سرانجام فیلسوفان را نسبت به وجود خلأ قانع کرد. در این آزمایش، انتهای لوله‌ای به طول تقریباً یک متر را می‌بستند و سپس آن را با جیوه پر می‌کردند. آزمایشگر انتهای باز را با شست خود می‌بست و لوله را به‌طور معکوس در تشتی حاوی جیوه فرو می‌برد. در این حال، آزمایشگر انگشت خود را کنار می‌کشید . سطح جیوه در داخل لوله تا ارتفاع حدود ۷۶۰mm در بالای سطح تشت جیوه پایین می‌آمد، فضای داخل لوله دربالای سطح جیوه خالی باقی می‌ماند. به خاطر ترس از تکفیر، آزمایش توریچلی درایتالیا مخفی نگه داشته شد، اما طولی کشید که خبر ایجاد خلأ به کشورهای دیگر که اقتدار کلیسا در آنها به اندازهٔ رُم نبود، رسید. آزمایش توریچلی درفرانسه (که در آن زمان از پاپ فرانسوی پیروی می‌کرد) و همین‌طور درآلمان و انگلیس تکرار شد.
نخستین پمپ خلأ نوع پیستونی را اُتوفون گریکه در سال ۱۶۵۴ در آلمان ساخت و نوع اصلاح شده‌ای از آن نیز در سال ۱۶۶۰توسط رابرت بویل در انگلستان طراحی شد. در اواخر قرن هفدهم، پمپ های خلأ مکانیکی و فشارسنج های جیوه ای را

در انواع آزمایش‌ها به کار می‌بردند. اختراع لامپ التهابی در اواخر قرن نوزدهم، که می‌بایستی هنگام تولید تخلیه می‌شد، اولین بار خلأ را در فرایند تولید وارد کرد و فناوری تجارتی خلأ را پدید آورد.

یکاهای فشار در گسترهٔ خلأ عبارت اند از : پاسکال (در دستگاهSI)، تور ومیلی‌بار. فشار جو در سطح دریا برابر $۱/۰۱۳\times۱۰^{۵}$ پاسکال، ۷۶۰تور یا $۱/۰۱۳\times۱۰^{۳}$میلی بار است. یکای تور، به افتخار توریچلی نام گذاری شده است که در ابتدا به‌عنوان میلی‌مترجیوه (mmHg) معروف بود. گسترهٔ فشارهای قابل دسترس درخلأ (از ۷۶۰تا کمتراز$۱۰^{-۱۲}$تور) به اندازه‌ای وسیع است که به صورت جدول الف تقسیم‌بندی می‌شود.

جدول الف ـ گستره فشارهای قابل دسترس درخلأ

خلأ	تور (Torr)	پاسکال (Pa)	میلی‌بار (mbar)
خلأ کم	۱–۷۶۰	$۱۰^{۲}$–$۱۰^{۵}$	۱–$۱۰^{۳}$
خلأمتوسط	$۱۰^{-۳}$–۱	$۱۰^{-۱}$–$۱۰^{۲}$	$۱۰^{-۳}$–۱
خلأ زیاد	$۱۰^{-۸}$–$۱۰^{-۳}$	$۱۰^{-۶}$–$۱۰^{-۱}$	$۱۰^{-۸}$–$۱۰^{-۳}$
خلأ بسیار زیاد(UHV)	$۱۰^{-۱۲}$–$۱۰^{-۸}$	$۱۰^{-۱۰}$–$۱۰^{-۶}$	$۱۰^{-۱۲}$–$۱۰^{-۸}$
خلأبسیار بسیار زیاد(XHV)	$<۱۰^{-۱۲}$	$<۱۰^{-۱۰}$	$<۱۰^{-۱۲}$

رابطهٔ فشار با چگالی مولکول‌ها با معادلهٔ $p=knT$ که در آن k ثابت بولتزمن، n تعداد مولکول‌ها در هر میلی‌متر، و T دما برحسب کلوین است، یا اینکه به صورت $p=۱/۰۳۶\times۱۰^{-۱۹}$ که در آن p برحسب تور است، داده می‌شود. در چندین نوع فشارسنج (مثل فشارسنج یونشی)، چگالی مولکولی (n) را به جای فشار اندازه‌گیری می‌کنند.

طبق جدول ب، شرایط و حالت‌های گاز در گستره‌های مختلف فشار، تفاوت‌های زیادی باهم دارند. ستون دوم درجدول ۵ـ۴تعداد مولکول‌های گاز را در هر میلی‌لیتر نشان می دهد : در فشار$۱۰^{-۱۶}$تور (کمترین فشاری که هم تولید شدنی و هم‌اندازه گرفتنی است) درهر میلی‌لیتر فقط حدود سه مولکول وجود دارد. ستون سوم، تعداد مولکول‌های گاز را که در هر ثانیه بر هر سانتی‌مترمربع برخورد می کنند، نشان می‌دهد. در ستون چهارم، گسترهٔ بسیار وسیع پارامترهای خلأ به روشن‌ترین شکل نشان داده شده است. مسافت آزاد میانگین، فاصلهٔ میانگین بین برخوردهای مولکول‌های گاز است؛ مسافت آزاد میانگین در فشارجو فقط ۶۷ mm (یعنی در حدود ۲۰۰۰برابر فاصلهٔ بین اتم‌ها در بلور فلزی)، و در فشار$۱۰^{-۱۶}$ Torr درحدود سه برابر فاصلهٔ بین زمین و خورشید است. ستون آخر، مدت زمان لازم برای تشکیل تک لایه‌ای از مولکول‌های گاز جذب شده را روی سطح نشان می‌دهد (با این فرض که هر مولکول گاز که به سطح برخورد می‌کند به آن نمی‌چسبد). این مدت زمان، از ۲/۹ ns در فشارجو تا۱۶۰سال در فشار $۱۰^{-۱۶}$ تور گسترده است.

جدول ب ـ گستره فشارهای قابل دسترس درخلأ

فشار (Torr)	چگالی مولکولی $mol.ml^{-1}$	شار مولکولی $mol.cm^{-2}.s^{-1}$	مسافت آزاد میانگین	زمان تک لایه‌ای
۷۶۰	$۲/۵\times۱۰^{۱۹}$	$۲/۹\times۱۰^{۲۳}$	۶۷nm	۲/۹ ns
۱	$۳/۳\times۱۰^{۱۶}$	$۳/۸\times۱۰^{۲۰}$	۵۱μm	۲/۲μs
$۱۰^{-۳}$	$۳/۳\times۱۰^{۱۳}$	$۳/۸\times۱۰^{۱۷}$	۵/۱ cm	۲/۲ms
$۱۰^{-۸}$	$۳/۳\times۱۰^{۸}$	$۳/۸\times۱۰^{۱۲}$	۵/۱ km	۳/۷min
$۱۰^{-۱۲}$	$۳/۳\times۱۰^{۲}$	$۳/۸\times۱۰^{۸}$	$۵/۱\times۱۰^{۴}$km	۲۵d
$۱۰^{-۱۶}$	۳/۳	$۳/۸\times۱۰^{۴}$	$۵/۱\times۱۰^{۸}$km=(۳/۴AU*)	۱۶۰y

فشار درفضای بین ستاره‌ای را در حدود$۱۰^{-۱۸}$ تور برآورد می‌کنند. این فشار را می‌توان با آزمایشی که روی زمین انجام می‌شود، مقایسه کرد. در این آزمایش کره‌ای با حجم یک لیتر تا$۱۰^{-۱۱}$ تور تخلیه می‌شود وسپس آن را در هلیوم مایع در دمای k ۴/۲فرو می‌برند؛ فشار برآورد شده در این شرایط از مرتبهٔ$۱۰^{-۳۰}$ تور است. فشار در سطح کرهٔ ماه به هنگام شب در حدود$۱۰^{-۱۳}$تور است.
کاربرد خلأ برای تحقیقات علمی در موارد زیر بسیار متداول است : ۱) برای اینکه سطح‌ها در حالت تمیز یا حالت کاملاً مشخص نگه‌داری شوند (درمطالعهٔ سطوح از خلأ بسیار زیاد استفاده می‌شود) ، ۲) به‌منظور تولید پلاسما و نگه‌داری آن به‌صورت خالص (فیزیک پلاسما وتوکامک‌ها)، ۳) در راه‌اندازی دستگاه‌های باریکهٔ الکترونی و یونی، شتاب‌دهنده، برخورد دهنده و حلقه‌های انبارشی، و ۴) برای شبیه‌سازی شرایط فضایی.
در کاربردهای صنعتی در موارد زیر از خلأاستفاده می‌شود : ۱) بلند کردن وانتقال دادن (خلأ کم)؛ ۲)پردازش گرمایی، بسته‌بندی، خشک‌کردن، گاززدایی، عایق‌سازی یا الکتریکی (خلأ زیاد)؛ و ۳) ساخت لامپ‌های روشنایی، لامپ‌های خلأ و برخی ابزارهای حالت جامد.

* AU :یکای نجومی، فاصلهٔ زمین تا خورشید است.

دانستنی برای معلم

آیا رابطهٔ $p=\rho gh$ همواره برای محاسبهٔ فشار در گازها صادق است؟

برای بررسی دقیق‌تر موضوع بالا بهتر است با یک مثال شروع کنیم. فرض کنید چگالی هوا دراطراف زمین و در تمام ارتفاع‌ها یکنواخت و برابر $۱/۳\ kg/m^۳$ باشد. اگر P_h فشار هوا در ارتفاع h و $P_۰$ فشار هوا در سطح زمین باشد، داریم :

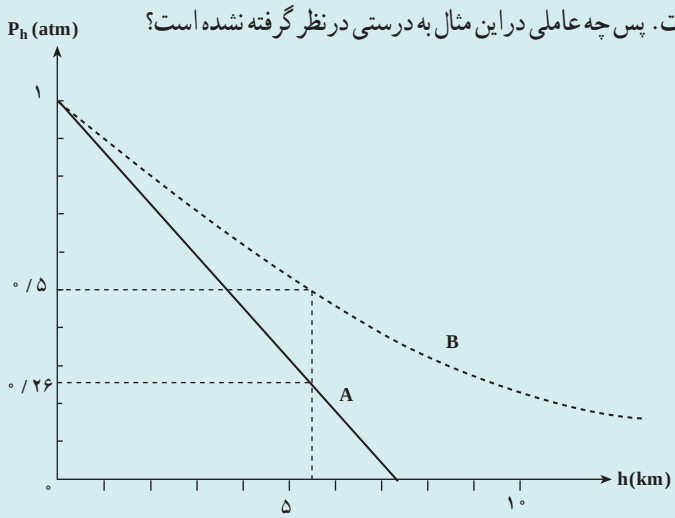
$$P_۰ = P_h + \rho gh$$

با قرار دادن مقادیر ρ و g در این رابطه خواهیم داشت

$$P_h = P_۰ - \rho gh = ۱ - \frac{۱/۳ \times ۹/۸ \times h}{۱۰^۵} = ۱ - ۰/۰۰۰۱۳\ h(atm)$$

منحنی P_h برحسب h درشکل زیر رسم شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود هنگامی که اختلاف ارتفاع بین دونقطه زیاد باشد، تغییر فشار قابل ملاحظه است و نمی‌توان آن را نادیده گرفت؛ مثلاً اختلاف فشار قلهٔ دماوند و سطح دریا از این روش برابر با ۰/۷۴ جوّ به‌دست می‌آید.

این مثال و نتیجهٔ به دست آمده نیز غیرواقعی است زیرا براین اساس آن ضخامت جوّ درحدود ۷/۷ km تخمین زده می‌شود. درصورتی که می‌دانیم این ضخامت درحدود ۱۰۰۰ کیلومتر است. پس چه عاملی دراین مثال به درستی درنظر گرفته نشده است؟



نمودار A بدون تغییرات ρ چگالی نسبت به ارتفاع

نمودار B با تغییرات ρ چگالی نسبت به ارتفاع

در این مثال چگالی هوا در تمام ارتفاع‌ها یکسان فرض شده است. ولی در ادامه خواهیم داشت که این فرض درست نیست. در شاره‌ها، وزن شارهٔ موجود در بالای هر لایه باعث می‌شود که آن لایه متراکم شود. در نتیجه با زیاد شدن عمق، چگالی شاره افزایش می یابد. در به‌دست آوردن رابطهٔ اخیر تغییر چگالی با ارتفاع درنظر گرفته نشده است. ما دراین محاسبه‌ها، چگالی را در همه جای شاره یکسان فرض کرده‌ایم. بستگی چگالی به عمق در مایع‌ها قابل ملاحظه نیست زیرا، مایع‌ها تا حدود زیادی تراکم‌ناپذیرند. در نتیجه لایه‌ها بسیار کم متراکم می‌شوند ومی‌توان گفت چگالی مایع‌ها عملاً درتمام مایع یکسان است. درنتیجه، رابطهٔ اخیر باتقریب بسیار خوبی برای مایع‌ها صادق است. ولی درمورد گازها خصوصاً هنگامی که مثلاً مانند جوزمین، با ارتفاع زیادی از گاز سروکار داریم، باید تغییرچگالی با ارتفاع را نیز درمحاسبه‌های خود درنظر بگیریم. می‌توان نشان داد که اگر تغییرات چگالی با ارتفاع را درنظر بگیریم و فشار جوّ را برحسب ارتفاع محاسبه کنیم، منحنی خط‌چین درشکل بالا به دست می آید. با مقایسهٔ این دو منحنی ملاحظه می‌شود برای به‌دست آوردن پاسخ‌های واقعی‌تر باید تغییر چگالی با ارتفاع را نیز درنظر گرفت. با استفاده از منحنی خط‌چین، اختلاف فشار قله دماوند و سطح دریا برابر با ۰/۵ جوّ به دست می‌آید.

۳ــ۵ــ شناوری و اصل ارشمیدس

راهنمای تدریس : هدف این بخش آشناکردن دانش‌آموزان با پدیدهٔ شناوری و اصل ارشمیدس است. از آنجا که در بخش‌های قبلی دانش‌آموزان با مفاهیم موردنیاز برای توصیف پدیدهٔ شناوری آشنا شده‌اند، لذا این بخش را مطابق روند کتاب درسی به‌طور تجربی (با انجام فعالیت‌های ساده) و توضیح و توصیف آنچه توسط دانش‌آموزان مشاهده می‌شود دنبال کنید.

انجام آزمایش (شکل۲ــ۲۴) برای بررسی اصل ارشمیدس می‌تواند شناخت خوبی از شناوری و این اصل برای دانش‌آموزان فراهم کند.

پاسخ پرسش ۳ــ۷

از راست به چپ

- نیروی شناوری بیشتر از وزن بادکنک محتوای گاز هلیم است و بادکنک رو به بالا می‌رود.
- نیروی شناوری با وزن قطعه برابر است و قطعه روی آب شناور می‌ماند.
- نیروی وزن بیشتر از نیروی شناوری است و قطعه سنگ درون آب سقوط می‌کند تا به کف ظرف برسد.
- نیروی شناوری با نیروی وزن برابر است و جسم درون آب به‌صورت غوطه‌ور می‌ماند.

پاسخ پرسش ۳ــ۸

۱ در شکل الف (سمت راست) نیروی وزن بزرگ‌تر از نیروی شناوری است و جسم به طرف کف ظرف سقوط می‌کند. در این شرایط چگالی جسم بیشتر از چگالی شاره است.
درشکل الف (سمت چپ) نیروی شناوری بزرگ‌تر از نیروی وزن جسم است و جسم به طرف بالا حرکت می‌کند تا در سطح آب به‌طور شناور بماند. در این شرایط چگالی جسم کمتر از چگالی شاره است.
در حالت شناوری، نیروی وزن با نیروی شناوری در حال موازنه هستند.

۲ عکس‌العمل ناشی از نیروی شناوری که به انگشت دست وارد شده، به کف ظرف و در نتیجه ترازو وارد می‌شود. لذا عقربه ترازو با وارد کردن انگشت، عدد بزرگ‌تری را نشان می‌دهد.

۳ با تغییر شکل یک قطعه، می‌توان حجم شارهٔ جابه‌جا شده توسط آن را تغییر داد. وقتی جسم به‌صورت مکعب است، حجم شارهٔ جابه‌جا شده توسط آن، نسبت به حالت دیگر که در شکل نشان داده شده کمتر است. در نتیجه قطعهٔ آهنی مکعبی شکل درون آب فرو می‌رود. در حالی که قطعهٔ تغییر شکل یافته (که مشابه U کشیده است) روی سطح آب شناور می‌ماند. اساس ساخت کشتی‌های فولادی، همین تجربهٔ ساده است که شکل آن در کتاب نشان داده شده است.

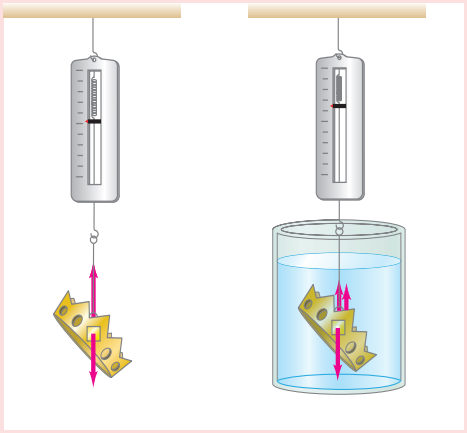
پاسخ فعالیت ۳ــ۱۰

این فعالیت ساده را به کمک یک قطعه چوب و وزنه‌ای فلزی انجام دهید. انتظار می‌رود تا دانش‌آموزان با توجه به مفاهیمی که تاکنون فراگرفته‌اند ابتدا پیش‌بینی کنند و سپس با مشاهده نتیجه آزمایش، بتوانند با دلایل کافی توضیح دهند.
در حالت شکل الف نیرویی معادل وزن قطعه فلزی، به قطعه چوبی وارد می‌شود در حالی که در حالت شکل ب، نیروی شناوری تا حدودی از وزن قطعه می‌کاهد و در نتیجه نیروی کمتری از طرف قطعهٔ فلزی به قطعهٔ چوبی وارد می‌شود. به‌این‌ترتیب در حالت الف، قطعهٔ چوبی بیشتر در آب فرو می‌رود.

پرسش‌های پیشنهادی

۱ توضیح دهید چرا نیروسنج شکل الف نسبت به نیروسنج شکل ب مقدار کمتری را نشان می‌دهد؟

پاسخ: در شکل (ب) نیروسنج نیروی وزن جسم را نشان می‌دهد درحالی‌که در حالت (الف) نیروسنج برآیند دو نیروی شناوری و وزن جسم را نشان می‌دهد.



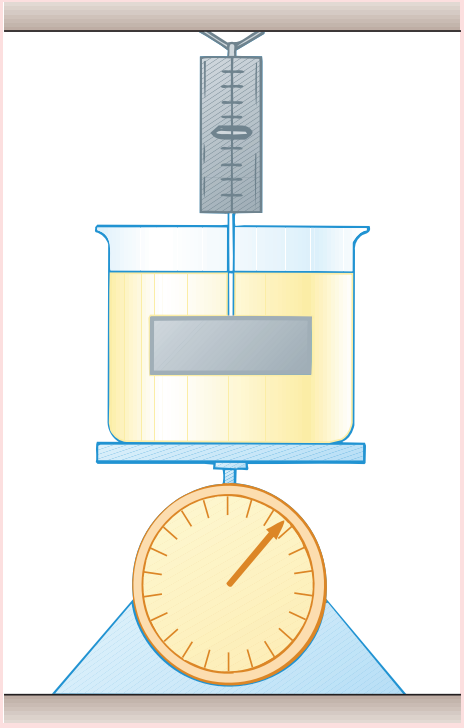
۲ قبل از بردن جسم به درون مایع شکل روبه‌رو، عددی را که به‌ترتیب نیروسنج وترازو می‌خوانند درکدام گزینه درست بیان شده است؟

الف) هر دو عدد بزرگ‌تری را نشان می‌دادند.

ب) هر دو عدد کوچک‌تری را نشان می‌دادند.

پ) ترازو عدد بزرگ تر و نیروسنج عدد کوچک‌تری را نشان می‌دهد.

ت) ترازو عدد کوچک‌تر و نیروسنج عدد بزرگ‌تری را نشان می‌دادند.



پاسخ:

۱ــ در شکل (ب) نیروسنج نیروی وزن جسم را نشان می‌دهد در حالی که در حالت (الف) نیروسنج برآیند دو نیروی شناوری و وزن جسم را نشان می‌دهد.

۲ــ (پ) به جسم که به نیروسنج متصل است در داخل مایع نیروی شناوری به طرف بالا وارد می‌شود و باعث می‌شود نیروی کمتری را نشان دهد و درمورد ترازو عکس العمل نیروی شناوری به طرف پایین به کفه ترازو وارد می‌شود و باعث می‌شود عدد بزرگ‌تری را نشان دهد. به این ترتیب گزینهٔ پ درست است.

۳ــ۶ــ شارهٔ در حرکت و اصل برنولی

راهنمای تدریس: برای شروع پیشنهاد می‌شود که تفاوت حرکت لایه‌ای یک شاره و حرکت تلاطمی آن را به کمک یک آزمایش ساده برای دانش‌آموزان نمایش دهید. دو بطری (ترجیحاً ۱/۵لیتری) را اختیارکنید. بطری اول را از آب پر کنید و درب آن را با دست خود بگیرید وبطری را روی ظرف یا پارچی وارونه کنید و از دانش‌آموزان بخواهید تا به نحوهٔ خروج آب از بطری توجه کنند. ته بطری دوم را روزنه‌ای کوچک ایجاد کنید و روزنه را با چسب نواری مسدود کنید. اکنون بطری را از آب پر کنید و درب آن را با دست خود بگیرید تا آب خارج نشود. چسب نواری را از ته بطری جدا کنید. اکنون دست خود را از درب بطری بردارید و از دانش‌آموزان بخواهید تا به نحوهٔ خروج آب از بطری توجه کنند و با حالت قبل (بطری اول) مقایسه کنند.

در حالت اول، آب به صورت متلاطم از بطری خارج می‌شود، زیرا هم‌زمان با خروج آب، هوا نیز وارد بطری می‌شود و سبب حرکت متلاطم آن می‌شود. در حالت دوم، هوا از روزنهٔ ایجاد شده در ته بطری وارد آن می‌شود و آب به صورت لایه‌ای از بطری خارج می‌شود.

پس از انجام این فعالیت ساده، به بررسی شکل۳ــ۲۵ و خطوط جریان و نقش‌کلی جریان شاره در حرکت لایه‌ای و حرکت متلاطم بپردازید.

پاسخ پرسش ۳ــ۹

انتظار می‌رود که دانش‌آموزان با توجه به معادلهٔ پیوستگی قادر باشند به سادگی به این پرسش پاسخ دهند.

هرچه آب خروجی از شیر، به زمین نزدیک‌تر می‌شود تندی آن افزایش می‌یابد. لذا با توجه به معادلهٔ پیوستگی باید سطح مقطع آن نیز کاهش یابد.

پاسخ فعالیت ۳ــ۱۱

الف) با دمیدن در بالای نی عمودی، هوای بالای نی با تندی زیادی جریان می‌یابد و فشار آن کاهش می‌یابد. به این ترتیب با کاهش فشار هوا، درست در بالای دهانهٔ نی عمودی، فشار هوا به سطح آب سبب بالا رفتن آب از نی می‌شود و به دلیل اختلاف فشار قابل توجه به‌صورت قطرات ریزی به اطراف پاشیده می‌شود.

ب) در واقع این فعالیت ساده نشان می‌دهد که اصل برنولی برای تمامی شاره‌ها (شامل گاز و مایع) برقرار است. پس از برقرار شدن جریان آب بین دو قایق، فشار ناشی از آب کاهش می‌یابد و فشار آب دو طرف قایق‌ها، سبب می‌شود که قایق‌ها به‌طرف هم کشیده شوند.

پاسخ پرسش ۳ــ۱۰

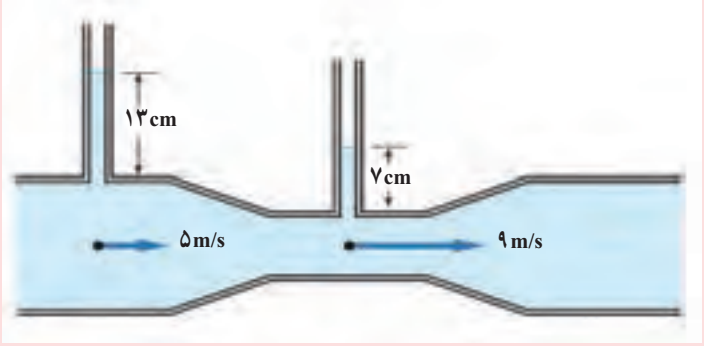
الف) وزش باد (جریان تند هوا) بالای آب دریا و اقیانوس، سبب کاهش فشار هوا می‌شود و همین موضوع به افزایش ارتفاع میانگین امواج دریا کمک می‌کند.

ب) وقتی کامیون درحال حرکت است، فشار هوای روی پوشش برزنتی کاهش می‌یابد و در نتیجه هوای زیر پوشش برزنتی که فشار بیشتری دارد سبب پُف کردن پوشش برزنتی به طرف بالا می‌شود.

پرسش‌های پیشنهادی

۱ شکل زیر لوله‌ای با سطح مقطع متفاوت را نشان می‌دهد که لوله‌های قائمی در دو قسمت آن تعبیه شده است. تمام حجم درون این لوله از شارهٔ درحال حرکتی پرشده است. دریافت خود را دراین شکل باتوجه به اصل برنولی بیان کنید.

پاسخ : باتوجه به اصل برنولی در ناحیه‌ای که سطح مقطع لوله بیشتر است شاره داخل لوله متصل به آن نسبت به قسمتی که لوله باریک شده است بیشتر بالا رفته واین یعنی در این ناحیه فشار بیشتر است زیرا سرعت شاره کمتر است.



۲ با توجه به اطلاعات روی شکل زیر، تندی خروج محلول درون سرنگ را پیدا کنید.

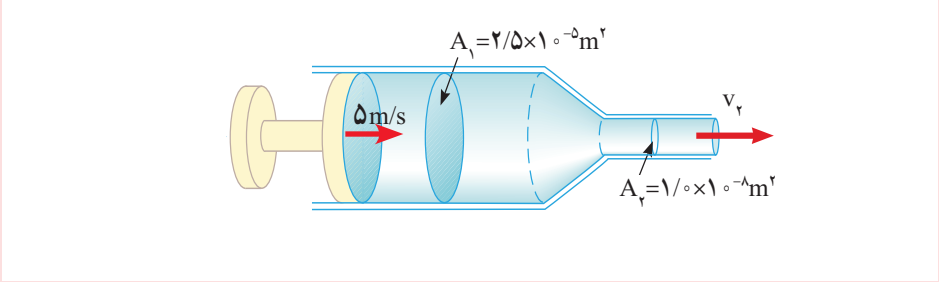
پاسخ :

$v_۱=۵\ m/s$ و $A_۱=۲/۵\times ۱۰^{-۵}m^۲$

$A_۲=۱/۰\times ۱۰^{-۸}m^۲$ و $v_۲=?$

$A_۱v_۱=A_۲v_۲ \Rightarrow ۲/۵\times ۱۰^{-۵}m^۲\times ۵\ m/s = ۱/۰\times ۱۰^{-۸}m^۲\times v_۲$

$\Rightarrow v_۲=۱/۲۵\times ۱۰^{۴}m/s$



پرسش‌های پیشنهادی

الف) مطابق شکل الف دو قوطی نوشابه را در فاصلهٔ نزدیکی از یکدیگر قرار دهید، و به کمک یک نی نوشابه، در فضای بین دو قوطی بدمید. دلیل آنچه را که مشاهده می‌کنید توضیح دهید.

ب) با توجه به نتایج آزمایش بالا، چرا مسافران هنگام رسیدن قطار مترو به ایستگاه، باید از خط زرد فاصله بگیرند؟

(الف)

(ب)

پ) چرا در بزرگراه‌ها که خودروها با تندی زیادی در حرکت‌اند، باید فاصلهٔ جانبی عرضی را رعایت کنند؟ چرا کورس گذاشتن شانه به شانهٔ دو خودرو که با تندی زیادی در حرکت‌اند، خطرناک است؟

پاسخ :

الف) قوطی‌های نوشابه به هم نزدیک می‌شوند زیرا مطابق اصل برنولی چون هوای بین نوشابه‌ها تندی بیشتری دارد، بنابراین فشار دراین ناحیه کم شده و نوشابه‌ها به طرف هم جذب می‌شوند.

ب) هوای اطراف قطار به دلیل حرکت قطار با تندی بیشتری نسبت به هوای اطراف حرکت می‌کند بنابراین در نزدیکی قطار یک ناحیه کم‌فشار ایجاد می‌شود که برای احتیاط باید از این ناحیه فاصله گرفت.

پ) به دلیل ناحیه کم‌فشاری که بین دو خودروی درحال حرکت ایجاد می‌شود احتمال کشیده شدن آن به طرف هم وجود دارد.

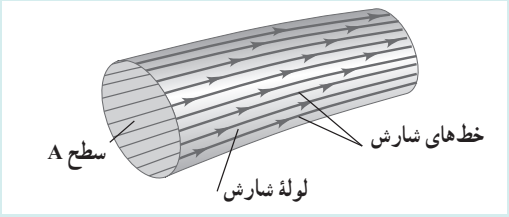
دانستنی برای معلم

شارش شاره

شارش شاره، همان‌طور که در جریان تندآب رودخانه یا پیچ وتاب شعلهٔ آتش دیده می‌شود، می‌تواند بسیار پیچیده باشد. اما برخی از وضعیت‌ها را می‌توان توسط مدل‌های آرمانی نسبتاً ساده‌ای بیان کرد. یک **شارهٔ آرمانی**، شاره‌ای است که تراکم‌ناپذیر است (یعنی، چگالی آن نمی‌تواند تغییر کند) و اصطکاک داخلی (که **چسبندگی** یا **وشکسانی** نامیده می‌شود) ندارد. در اغلب موارد مایع‌ها تقریباً تراکم‌ناپذیرند، همچنین در یک گاز اگر اختلاف فشار از یک ناحیه به ناحیهٔ دیگر آن چندان زیاد نباشد می‌توان آن را تراکم‌ناپذیر در نظر گرفت. چنانچه شاره‌ای درون یک لوله یا اطراف یک مانع جریان یابد، وقتی دو لایهٔ مجاور شاره نسبت به یکدیگر حرکت کنند اصطکاک داخلی باعث تنش‌های برشی در آن می‌شود. دربرخی موارد می‌توان این نیروهای برشی را در مقایسه با نیروهای ناشی از گرانش و اختلاف فشار نادیده گرفت.

مسیر یک ذرهٔ منفرد در یک شاره درحال حرکت، **خط شارش** نامیده می‌شود. اگر نقش کلی شارش با زمان تغییر نکند شارش، **شارش پایا** نامیده می‌شود. در شارش پایا هر جزء شاره که از نقطهٔ معینی می‌گذرد خط شارش یکسانی را دنبال می‌کند. دراین حالت اگر چه سرعت یک ذرهٔ خاصی ممکن است هم ازنظر جهت و هم‌اندازه، درحین حرکت آن تغییر کند، اما «نقشهٔ» سرعت‌های شاره در نقطه‌های متفاوت در فضا ثابت می‌ماند. **خط جریان** یک منحنی است که خط مماس در هر نقطهٔ آن در جهت سرعت شاره در آن نقطه است. وقتی نقش شارش با زمان تغییر کند، خط‌های جریان با خط‌های شارش برخورد نمی‌کنند. تنها به بررسی حالت‌های شارش پایا،که درآنها خط‌های جریان و خط‌های شارش یکی هستند، می‌پردازیم.

خط‌های شارش که از کناره‌های یک جزء فرضی سطح می‌گذرند، مانند سطح A در شکل۱ لوله‌ای به نام **لولهٔ شارش** تشکیل می‌دهند. با توجه به تعریف خط شارش، در شارش پایا شاره نمی‌تواند از جدار لولهٔ شارش عبور کند؛ و شاره‌ها در لوله‌های شارش مختلف نمی‌توانند باهم مخلوط شوند.



شکل۱ــ لولهٔ شارش توسط خط‌های شارش محدود شده است. در شارش پایا، شاره نمی‌تواند از دیوارهای لولهٔ شارش عبور کند.

شکل ۲ نقش‌های شارش شاره را ازچپ به راست در اطراف تعدادی مانع نشان می‌دهد. این عکس‌ها با تزریق رنگ درون آب درحال شارش بین دو صفحهٔ شیشه‌ای نزدیک به‌هم تهیه شده است. این نقش‌ها نوعی **شارش لایه‌ای** هستند، به طوری که لایه‌های مجاور شاره به آرامی روی یکدیگر می‌لغزند و شارش پایاست (منظور از لایه، یک ورقهٔ نازک است). در آهنگ‌های شارش به حد کافی بزرگ، یا وقتی سطح‌های مرزی باعث تغییر ناگهانی در سرعت می‌شوند، شارش می‌تواند نامنظم و آشوبناک شود. این وضعیت **شارش متلاطم** نامیده می‌شود (شکل۳). در شارش متلاطم نقش حالت پایا وجود ندارد؛ نقش شارش به‌طور پیوسته تغییر می‌کند.

شکل ۲ــ شارش لایه‌ای اطراف مانع‌هایی با شکل‌های مختلف.

شکل ۳ــ شارش دود از سر چوب‌های عود تا نقطهٔ معینی به صورت لایه‌ای بالا می‌روند و سپس متلاطم می‌شوند.

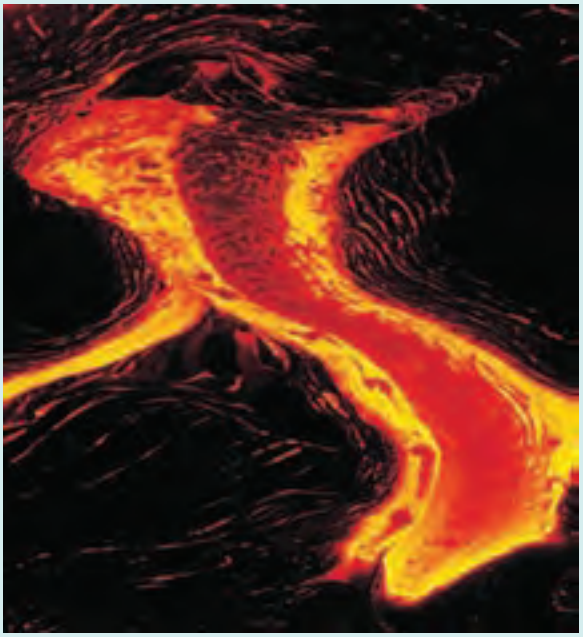
دانستنی برای معلم

چسبندگی

چسبندگی اصطکاک داخلی درون یک شاره است. نیروهای چسبندگی با حرکت یک بخش از یک شاره نسبت به بخش دیگر مخالفت می‌کند. چسبندگی دلیل تلاشی است که برای پارو زدن یک قایق در آب آرام صورت می‌گیرد، چسبندگی همچنین دلیل بر این است که پارو کار انجام می‌دهد. اثرهای چسبندگی در شارش شاره‌ها در لوله‌ها، جریان خون، روغن‌کاری بخش‌هایی از موتور و بسیاری دیگر از موقعیت‌ها از اهمیت برخوردارند.

شاره‌هایی نظیر آب یا بنزین که به راحتی شارش می‌یابند، نسبت به مایع‌های غلیظی مانند عسل یا روغن موتور دارای چسبندگی

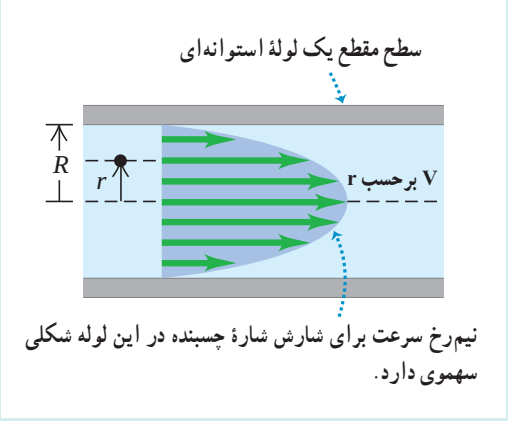
کمتری هستند. چسبندگی همهٔ شاره‌ها به شدت به دما بستگی دارد، به‌طوری که با افزایش دما چسبندگی گازها افزایش و چسبندگی مایع‌ها کاهش می‌یابد (شکل۱). یک هدف مهم درتهیهٔ روغن‌ها برای روغن‌کاری موتورها، این است که تغییر دمایی چسبندگی را تا حد امکان کاهش دهند.



شکل ۱ــ گدازه‌های آتشفشان نمونه‌ای از یک شارهٔ چسبنده است. چسبندگی با افزایش دما، کاهش می‌یابد. هرچه گدازه داغ‌تر باشد راحت‌تر جریان می‌یابد.

یک شارهٔ چسبنده تمایل به چسبیدن به سطح جامدی دارد که با آن درتماس است. همواره یک لایه مرزی نازک شاره در نزدیک سطح وجود داردکه شاره نسبت به سطح تقریباً ساکن است. به همین دلیل ذره‌های غبار می‌توانند به پرهٔ پنکه حتی وقتی به سرعت می‌چرخد بچسبند، و اینکه نمی‌توان همهٔ لکه‌های روی بدنهٔ اتومبیل را تنها با فوران آب شیلنگ شست.

چسبندگی اثرهای مهمی روی شارش مایع درون لوله‌ها، ازجمله جریان خون در دستگاه گردش خون دارد. ابتدا شاره‌ای با چسبندگی صفر را درنظر بگیرید. از معادلهٔ برنولی نتیجه می‌گیریم که فشار در هر دو سر لوله یکسان است. اما اگر چسبندگی را به حساب آوریم این نتیجه به‌سادگی درست نیست. برای بررسی دلیل آن، شکل۲ را درنظر بگیرید که نیم رخ شارش را برای شارش لایه‌ای یک شارهٔ چسبنده در یک لولهٔ استوانه‌ای بلند نشان می‌دهد. به‌دلیل چسبندگی،تندی درجدارهٔ لوله صفر(چون شاره می‌چسبد) و درمرکز آن بیشترین است. این حرکت شبیه لغزیدن تعداد زیادی لولهٔ هم مرکز نسبت به یکدیگر است، به‌طوری که لولهٔ مرکزی بزرگ‌ترین تندی را دارد و بیرونی‌ترین لوله ساکن است. نیروهای چسبنده بین لوله‌ها با این لغزش مخالفت می‌کنند، بنابراین برای نگه‌داشتن جریان شاره باید فشار بزرگ‌تری به عقب شاره نسبت به جلوی آن وارد کنیم. به همین دلیل برای خروج شاره از تیوب خمیردندان یا بستهٔ سس گوجه‌فرنگی باید آنها را فشار دهیم (هردو شاره چسبنده‌اند). انگشت‌های شما فشاری به عقب شاره وارد می‌کنند که از فشار جو درجلوی شاره خیلی بیشتر است.



شکل ۲ــ نیم‌رخ سرعت برای یک شارهٔ چسبنده در یک لولهٔ استوانه‌ای

اختلاف فشار لازم برای نگه‌داشتن آهنگ شارش حجمی معینی به بیرون یک لولهٔ استوانه‌ای به‌طول L و شعاع R با L/R^4 متناسب است. اگر R به نصف کاهش یابد، فشار لازم به اندازهٔ $2^4=16$ برابر افزایش می‌یابد؛ با کاهش R به‌اندازهٔ ۹۰/۰ (۱۰درصد کاهش) اختلاف فشارلازم به‌اندازهٔ $(1/0/90)^4=1/52$ افزایش می‌یابد. (حدود۵۲درصدافزایش). این رابطهٔ ساده ارتباط بین یک برنامهٔ‌غذایی با کلسترول بالا (که به تنگ شدن سرخرگ‌ها تمایل دارد) وفشارخون بالا را بیان می‌کند. به دلیل بستگی R^4، حتی تنگ‌شدن اندک سرخرگ‌ها می‌تواند منجر به افزایش چشمگیری در بالارفتن فشار خون شود و به ماهیچه‌های قلب صدمه بزند.

تلاطم

وقتی تندی شارش شاره‌ای از مقدار معینی فراتر رود شارش دیگر لایه‌ای نیست. درعوض، نقش شارش بی‌اندازه نامنظم و پیچیده می‌شود، و به‌طور پیوسته با زمان تغییر می‌کند و دیگر نقش حالت پایایی وجود ندارد. این شارش نامنظم و آشوبناک، **تلاطم** نامیده می‌شود. شکل۳ (دانستنی قبلی) تفاوت بین شارش لایه‌ای و متلاطم را برای دودی که در هوا بالا می‌رود نشان می‌دهد. معادلهٔ برنولی درجایی که تلاطم وجود داشته باشد کاربرد ندارد زیرا شارش پایا نیست.

اینکه شارشی لایه‌ای یا متلاطم باشد تا اندازه‌ای به چسبندگی شاره بستگی دارد. هرچه چسبندگی بیشتر باشد تمایل شاره برای شارش به صورت ورقه‌ای یا لایه‌ای بیشتر است و جریان عمدتاً به‌صورت لایه‌ای است.

هنگام بررسی معادلهٔ برنولی، فرض کردیم که شارش لایه ای و شاره دارای چسبندگی صفر بوده است. درواقع، *اندکی* چسبندگی لازم است تا اطمینان یابیم که جریان لایه ای است.

برای شاره‌ای با چسبندگی معین، تندی شارش عاملی تعیین کننده برای آغاز تلاطم است. نقش شارشی که در تندی‌های کم پایدار است به مجرد رسیدن به تندی بحرانی ناپایدار می‌شود، بی‌نظمی‌ها در نقش شارش می‌تواند توسط ناصافی‌ها در دیوارهٔ لوله، تغییرات چگالی شاره و عوامل بسیار دیگری به‌وجود آید. این بی نظمی‌ها در تندی‌های کم شارش از بین می‌رود؛ نقش شارش پایدار و به حفظ طبیعت لایه‌ای خود متمایل می‌شود. (شکل۳ الف). اما وقتی شارش به تندی بحرانی می‌رسد، نقش شارش ناپایدار می‌شود. این بی‌نظمی‌ها دیگر ازبین نمی‌روند اما آنچنان رشد می‌کنند تا نقش شارش لایه‌ای به‌طور کامل از بین برود (شکل ۳ ب).

جریان خون عادی در سرخرگ انسان لایه‌ای است، اما یک بی‌نظمی کوچک مانند آسیبی در قلب می‌تواند سبب جریان متلاطم شود. تلاطم منجر به نوفه می‌شود، به همین دلیل گوش‌دادن به جریان خون با گوشی روش مفیدی برای تشخیص بیماری قلبی است.

(ب) (الف)

شکل۳ــ شارش آب از یک شیر(الف) در تندی‌های کم لایه‌ای. اما (ب) در تندی‌های به حد کافی زیاد متلاطم است.

راهنمای پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۳

۱ انتظار می‌رود دانش‌آموزان با توجه به مفهوم چگالی و مقایسهٔ شکل‌ها با یکدیگر بتوانند توضیحی قانع‌کننده ارائه دهند. این شکل‌ها به نوعی نشان‌دهندهٔ تفاوت چگالی حالت‌های مختلف ماده است. ماده درحالت گازی کمترین چگالی را دارد.

۲ بدنهٔ دوچرخه باید استحکام کافی داشته باشد و در اثر ضربه و نیروهایی که به آن وارد می‌شود تغییر شکل پیدا نکند. بنابراین بدنهٔ آن را از یک جامد محکم و ترجیحاً سبک می‌سازند. برای کاهش اصطکاک بین قسمت‌های فلزی که روی هم حرکت می‌کنند یا می‌لغزند از روغن استفاده می‌شود تا خوردگی به حداقل ممکن برسد و طول عمر و کارایی این قطعه‌ها افزایش یابد.
برای اینکه گازها خاصیت تراکم‌پذیری دارند لاستیک‌های دوچرخه را از هوا پر می‌کنند تا سبب حرکت نرم و بدون تکان‌های شدید در حین دوچرخه‌سواری شود.

۳ الف) در دمای اتاق، مولکول‌های زیادی ($500\ m/s$) در حرکت‌اند (در هر cm^3 هوا از مرتبهٔ 10^{19} عدد) و با برخورد به ذرات درشت گچ، سبب حرکت نامنظم و کاتوره‌ای آنها می‌شوند.
ب) اگر برخورد مولکول‌های هوا با ذرات ریز گچ وجود نمی‌داشت انتظار می‌رفت که پس از لحظه‌ای کوتاه به‌طرف زمین سقوط کنند. از آنجا که در عمل مشاهده می‌شود ذرات گچ برای مدت نسبتاً طولانی به‌طور نامنظم در هوا حرکت می‌کنند تا به سطح زمین برسند، نتیجه گرفته می‌شود که مولکول‌های هوا وجود دارند و اثر برخورد آنها سبب حرکت نامنظم ذرات گچ می‌شود.

۴ الف) به پاسخ پرسش ۳ــ۱ مراجعه کنید. همچنین می‌توان به پخش شدن بوی غذا در فضای خانه به عنوان مثال دیگری اشاره کرد.
ب) به‌دلیل خاصیت تراوایی (Permeability) سطح بادکنک، مولکول‌های هوای درون بادکنک دربسته، به تدریج و در مدتی نسبتاً طولانی از آن خارج می‌شوند.

۵ به محتوای کتاب درسی مراجعه شود.

۶ به پاسخ پرسش ۳ــ۳ توجه کنید.

۷ الف) نیروی هم‌چسبی بین مولکول‌های آب بیشتر از نیروی دگرچسبی مولکول‌های آب و موهای قلم‌مو است. بنابراین وقتی که قلم‌مو را از آب بیرون می‌کشیم، نیروی هم‌چسبی مولکول‌های آب، سبب می‌شود تا لایه‌ای از آب در اطراف موهای قلم تشکیل شود و موهای قلم به یکدیگر بچسبند.
ب) از آنجا که پدیدهٔ مویینگی در لوله‌های باریک‌تر، بهتر رخ می‌دهد، لذا مولکول‌های در لولهٔ a ارتفاع ستون مایع نسبت به لولهٔ b، بیشتر است. نیروی هم‌چسبی مولکول‌های مایع کمتر از نیروی دگرچسبی مایع و مولکول‌های جدارهٔ داخلی لوله است.

۸ الف) انتظار می‌رود دانش‌آموزان به بزرگ‌بودن نیروی هم‌چسبی مولکول‌های آب در مقایسه با نیروی هم‌چسبی اندک ذرات ریزگرد اشاره کنند.
ب) این قسمت را به‌صورت یک کار تحقیقی به دانش‌آموزان (ترجیحاً گروهی) واگذار کنید و از آنها بخواهید نتیجه را به کلاس ارائه دهند. دانش‌آموزان با جستجوی عبارت «راهکارهای مقابله با ریزگردها» در اینترنت، می‌توانند به مطالب مستندی در این خصوص دست یابند.

۹ بزرگ‌بودن نیروی هم‌چسبی مولکول‌های آب، امکان این شکار زیبا و دقیق را توسط ماهی کمان‌گیر فراهم می‌کند.
دانش‌آموزان می‌توانند با جستجوی واژهٔ archerfish در اینترنت، افزون بر تصاویر زیبا، به فیلم‌های جذابی در خصوص شکار حشرات توسط ماهی کمان‌گیر دست یابند.

۱۰ با استفاده از رابطهٔ $P = \frac{F}{A}$ داریم

$$P = ۲atm - ۱atm = ۱atm \simeq ۱۰^{۵}Pa$$
$$A = ۴ \times ۱۰^{-۶}m^{۲}$$
$$F = PA = (۱۰^{۵}Pa)(۴ \times ۱۰^{-۶}m^{۲}) = ۰/۴N$$
$$F = W = mg \Rightarrow m \simeq ۴۰g$$

۱۱ الف) خلأ نسبی (شامل بخار جیوه با چگالی بسیار کم)
ب) فشار هوای بیرون که بر سطح جیوهٔ درون ظرف وارد می‌شود. این فشار با فشار ناشی از ستون جیوهٔ درون لوله برابر است.
پ) در کنار دریا حدود $۱۰^{۵}Pa$ یا $۷۶cmHg$ است.
ت) ارتفاع ستون جیوه کاهش می‌یابد، زیرا فشار هوای وارد شده به سطح جیوهٔ درون ظرف کاهش می‌یابد. انتظار می‌رود به شکل ۳ــ۱۸ مراجعه کنند و براساس آن بتوانند دلیل کاهش فشار هوا در بالای کوه را توضیح دهند.
قسمت (ث) را نیز همکاران عزیز می‌توانند به این پرسش اضافه کنند و از دانش‌آموزان بخواهند با توجه به داده‌های روی شکل، فشار هوا را در محیطی که این جوّسنج قرار گرفته است حساب کنند.

۱۲ الف) با توجه به نمودار شکل ۳ــ۱۸ ب، فشار هوا بین ارتفاع ۲ تا ۳ کیلومتر از سطح زمین بین $۸ \times ۱۰^{۵}Pa$ تا $۷ \times ۱۰^{۵}Pa$ تغییر می‌کند. لذا انتظار می‌رود تا دانش‌آموزان از روی نمودار و با نقطه‌یابی فشار هوای هر شهر را به‌طور تقریبی گزارش کنند.
ب) با جای‌گذاری $P_{۰} = ۱۰^{۵}Pa$ و $\bar{\rho} = ۱/۰۱kg/m^{۳}$ در رابطهٔ $P = P_{۰} - \bar{\rho}gh$، به ازای ارتفاع هر شهر به سادگی می‌توان، فشار هوا را در آن شهر به‌دست آورد. خوب است دانش‌آموزان نتیجه به‌دست آمده در قسمت ب را با قسمت الف مقایسه کنند.

۱۳ اختلاف فشار درون ریهٔ غواص با فشار وارد بر قفسهٔ سینهٔ او، برابر است با :

$$\Delta P = \rho gh \simeq (۱۰۰۰\,kg/m^۳)(۱۰\,N/kg)(۶/۱۵m)$$
$$= ۶/۱۵ \times ۱۰^۴ Pa \simeq ۰/۶۵atm$$

همان‌طور که دیده می‌شود، این اختلاف فشار مقوله قابل توجهی است و به همین دلیل غواص نمی‌تواند صرفاً با گرفتن سر لوله‌ای در دهان خود، در حالی که سر دیگر آن از آب بیرون است، از یک عمقی به پایین نفس بکشد.

۱۴ با درنظرگرفتن دو نقطه هم‌تراز (یکی از نقاط در محل تماس مایع $\rho_۲$ با مایع $\rho_۱$، و نقطه دیگر درست روبه‌روی آن در مایع $\rho_۱$) و استفاده از اصل پاسکال، داریم :

$$P_g + \rho_۱ gh_۱ = \rho_۲ gh_۲ + P_۰$$

با جای‌گذاری مقادیر داده شده خواهیم داشت :

$$۷۶/۵ \times ۱۰^۳ Pa + (۱۳/۶ \times ۱۰^۳ kg/m^۳)(۹/۸۱\,N/kg)(۰/۲۲m) = ۱۰۱ \times ۱۰^۳ Pa + \rho_۲(۹/۸۱\,N/kg)(۰/۴m)$$

$$\Rightarrow \rho_۲ = \frac{۲۵\times۱۰^۳ + ۲۹/۴\times۱۰^۳}{۳/۹} = \frac{۴/۳\times۱۰^۳}{۳/۹} \simeq ۱۱۰۲\,kg/m^۳$$

۱۵ با توجه به شکل زیر و استفاده از اصل پاسکال داریم :

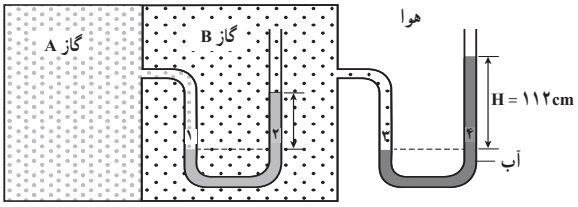
$$P_۱ = P_۲ \Rightarrow P_A = P_B + \rho gh$$
$$P_۳ = P_۴ \Rightarrow P_B = P_۰ + \rho gh$$

با جای‌گذاری مقادیر داده شده داریم :

$$۱/۲۰ \times ۱۰^۵ Pa = P_B + (۱۰۰۰\,kg/m^۳)(۱۰\,N/kg)(h)$$
$$P_B = ۱/۰۱ \times ۱۰^۵ Pa + (۱۰۰۰\,kg/m^۳)(۱۰\,N/kg)(۱/۱۰m) \simeq ۱/۱۲ \times ۱۰^۵ Pa$$

با جای‌گذاری P_B در رابطه بالا داریم :

$$۰/۰۸ \times ۱۰^۵ Pa = ۱۰^۴ h \Rightarrow h = ۰/۸m = ۸۰\,cm$$



۱۶ چون حجم مساوی از آب و روغن استفاده شده است، با توجه به شکل و در محل تماس دو مایع داریم :

$$P + \rho_{oil} gh = P_۰ + \rho_{water} gh$$

که در آن P فشار هوای دمیده شده توسط شخص است. به این ترتیب فشار پیمانه‌ای هوای درون ریهٔ شخص برابر است با

$$\Delta P = P_۰ - P = (\rho_{water} - \rho_{oil}) = (۱۰۰۰\,kg/m^۳ - ۸۰۵\,kg/m^۳)(۹/۸\,N/kg)(۸۰ \times ۱۰^{-۲} m) \simeq ۱۵۳۰gh\ Pa$$

۱۷ چون نوشابه‌های رژیمی حاوی شکر نیستند و مقداری شیرین‌کنندهٔ مصنوعی با چگالی کمتر از چگالی شکر در آنها استفاده شده است، لذا به دلیل نیروی شناوری ناشی از آب روی آب شناور می‌مانند. این نشان می‌دهد که چگالی میانگین قوطی فلزی، نوشابه و گاز به کار رفته در آن کمتر از چگالی آب است و برخلاف نوشابه‌های معمولی، روی آب شناور می‌ماند.
یک فعالیت پیشنهادی ساده در این زمینه می‌توانید انجام دهید. نوشابه معمولی را درون ظرفی محتوی که ابعاد آن نزدیک به نوشابه است، بیندازید. آن‌قدر شکر به آب اضافه کنید تا نوشابه به حالت شناور روی آب قرار گیرد. در این صورت متوجه خواهید شد که در یک قوطی نوشابه معمولی، تقریباً چقدر شکر به کار رفته است.

۱۸ به شکل ۳ـ۲۴ کتاب درسی و شرح آن توجه کنید.

۱۹ هر سه جسم روی آب شناورند و چگالی آنها از چگالی آب کمتر است. چگالی جسم a بزرگ‌تر از جسم c وچگالی جسم c بزرگ‌تر از جسم b است. توجه کنید که جسم a نزدیک به $\frac{۳}{۴}$ آن در آب فرو رفته است در حالی که جسم c نزدیک به – آن. همچنین جسم b حدود $\frac{۱}{۳}$ آن در آب فرو رفته است و در مقایسه با دیگر اجسام، چگالی کمتری دارد.

۲۰ به شکل ۳ـ۲۳ و شرح مرتبط به آن توجه کنید.

۲۱ وقتی شناگر غوطه‌ور است (یعنی به‌طور کامل درون آب است) نیروی شناوری وارد بر آن به بیشینهٔ خود می‌رسد.

۲۲ الف) در قسمت‌های A،C وE تندی آب ثابت است و درقسمت B در حال افزایش و درقسمت D درحال کاهش است. دانش‌آموزان باید توجه کنند که تندی‌آب درقسمت C از قسمت‌های A وE بیشتر است.

ب) $v_C > v_A = v_E$

۲۳ وقتی جریان تند هوا از میان دو نواری کاغذی می‌گذرد بنابر اصل برنولی سبب کاهش فشار هوا می‌شود و در نتیجه فشار هوای اطراف نوارهای کاغذی، که بزرگ‌تر از فشار هوای بین آنهاست، سبب می‌شود تا نوارهای کاغذی به‌طرف یکدیگر نزدیک شوند.

۲۴ وقتی پدال گاز بیشتر فشرده می‌شود، دریچهٔ پروانه‌ای متصل به سیم گاز بازتر می‌شود و میزان هوایی که از فیلتر هوا می‌گذرد افزایش می‌یابد. با افزایش میزان هوای ورودی، تندی هوا در محل لوله ونتوری افزایش می‌یابد و فشار هوا کاهش بیشتری می‌یابد. در نتیجه سوخت بیشتری به بیرون پاشیده می‌شود و با هوای ورودی مخلوط می‌شود و خودرو می‌تواند سریع‌تر حرکت کند.

۲۵ با استفاده از معادلهٔ پیوستگی داریم :

$$A_۱v_۱ = A_۲v_۲$$

$$\pi(\frac{d_۱}{۲})^۲v_۱ = \pi(\frac{d_۲}{۲})^۲v_۲ \Rightarrow d_۱^۲\, v_۱ = d_۲^۲\, v_۲$$

با جای‌گذاری مقادیر داده شده داریم :

$$(۹/۶۰\,\text{cm})^۲(۱/۵۰\,\text{m/s}) = (۲/۵۰\,\text{cm})^۲(v_۲)$$

$$\Rightarrow v_۲ = ۲۲/۱\,\text{m/s}$$

فصل ۴

دما و گرما

دما و دماسنجی ۴ـ۱
انبساط گرمایی ۴ـ۲
گرما ۴ـ۳
تغییر حالت‌های ماده ۴ـ۴
روش‌های انتقال گرما ۴ـ۵
قوانین گازها ۴ـ۶
پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۴

پیامدها

دانش‌آموزان با درک مفاهیم این فصل :

- تفاوت دما و گرما را تبیین می‌کنند و آنها را از هم تمیز می‌دهند.
- با استفاده از پایستگی انرژی به درکی از دمای تعادل و مبادلهٔ انرژی به‌صورت گرما می‌رسند.
- با روش‌های انتقال گرما در محیط پیرامون خود آشنا می‌شوند.
- اثر تغییردما بر ویژگی‌های فیزیکی مختلف مواد را تبیین می‌کنند.
- رفتار گازهای آرمانی (کامل) را می‌شناسند و آنها را از گازهای واقعی تمیز می‌دهند.

چه شناختی مطلوب است؟

- تغییر کمیت دماسنجی، اساس کار دماسنج‌ها است.
- بیشتر اجسام باافزایش دما، حجم‌شان زیاد و باکاهش دما حجم‌شان کم می‌شود.
- بر اثر اختلاف دما بین دو جسم که در تماس فیزیکی با یکدیگر قرار دارند، انرژی به صورت گرما از جسم گرم‌تر به جسم سردتر منتقل می‌شود.
- دو یا چند جسم با دماهای متفاوت که در تماس با یکدیگرند پس از مدتی به دمای تعادل می‌رسند.
- تغییر حالت (فاز) معمولاً همراه با گرفتن و یا از دست دادن گرما همراه است بی‌آنکه تغییر دمایی رخ دهد.
- انتقال گرما به سه روش رسانش گرمایی، همرفت و تابش گرمایی صورت می‌گیرد.
- با کنترل متغیرهای فشار، حجم، دما و مقدار گاز، به قانونمندی در رفتار گازها پی‌می‌برد.

چه پرسش‌هایی اساسی است و باید در نظر گرفته شوند؟

- کمیت دماسنجی چیست و چگونه از آن در مقیاس‌بندی دماسنج‌ها استفاده می‌شود؟
- بین تغییر حجم و تغییردما (در حالت کلی) چه رابطه‌ای وجود دارد؟
- مقدار گرمای لازم برای افزایش جرم مشخصی از یک جسم به اندازهٔ دمایی معین به چه عواملی بستگی دارد؟
- دمای تعادل براساس چه قانون فیزیکی تعیین می‌شود؟
- گرمای منتقل‌شده برای تغییر حالت (فاز) یک جسم به چه عاملی بستگی دارد؟
- آهنگ رسانش گرمایی در یک جسم به چه عواملی بستگی دارد؟
- گرما به چه روش‌هایی می‌تواند از جسمی با دمای بالاتر به جسمی با دمای پایین‌تر منتقل شود؟
- رفتار گازها را با چه کمیت‌هایی می‌توان توصیف کرد؟

در پایان این واحد یادگیری دانش‌آموزان چه دانش و مهارت‌های اساسی را کسب می‌کنند؟

الف) دانشی

با مفاهیم دما، دماسنجی، کمیت دماسنجی، انبساط گرمایی، انبساط غیرعادی آب، گرما، ظرفیت گرمایی، گرمای ویژه، گرماسنج و گرماسنجی، قوانین گازها و گازهای آرمانی آشنا می‌شوند.

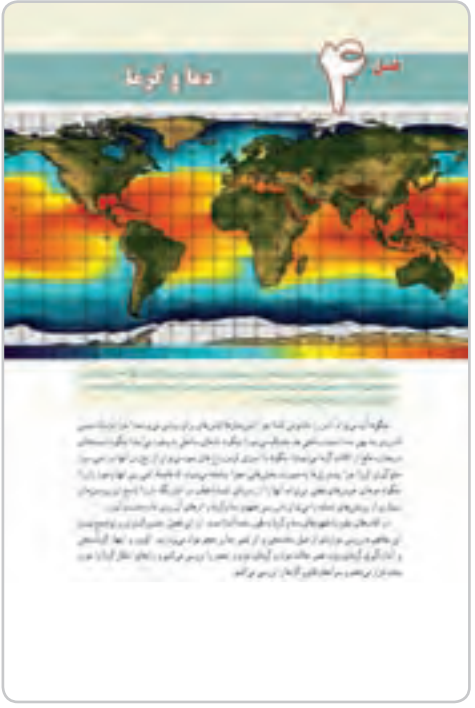
ب) مهارتی

به مهارت‌های چگونگی مدرّج کردن دماسنج‌ها، اندازه‌گیری دما با دماسنج‌ها، تبدیل مقیاس‌های دما به یکدیگر، تعیین عوامل مؤثر برانبساط، محاسبهٔ انبساط گرمایی اجسام، به‌دست آوردن ضریب انبساط حجمی مایعات، محاسبهٔ گرمای منتقل شده به یک جسم در یک تغییر دمای معین، تعیین دمای تعادل، گرماسنجی و به دست‌آوردن گرمای ویژهٔ یک جسم نامشخص، تعیین گرمای نهان، محاسبهٔ گرمای لازم برای تغییر حالت‌ها، تعیین عوامل مؤثر بر رسانندگی گرمایی، محاسبهٔ گرمای منتقل شده در رسانش گرمایی، نشان دادن پدیدهٔ همرفت، کنترل متغیرها و پیدا کردن عوامل مؤثر بر رفتار گازها و تعیین کمیت مجهول در رفتار گازها دست می‌یابند.

بودجه‌بندی پیشنهادی

- **جلسهٔ اوّل و دوم** : تصویر شروع فصل، بخش ۴ــ۱ دما و دماسنجی
- **جلسهٔ سوم و چهارم** : بخش ۴ــ۲، انبساط گرمایی
- **جلسهٔ پنجم و ششم** : بخش ۴ــ۳ گرما تا سر دمای تعادل
- **جلسهٔ هفتم** : از دمای تعادل تا ابتدای بخش ۴ــ۴
- **جلسهٔ هشتم و نهم** : بخش ۴ــ۴ تا تغییر حالت‌های ماده
- **جلسهٔ دهم و یازدهم** : روش‌های انتقال گرما
- **جلسهٔ دوازدهم و سیزدهم** : قوانین گازها
- **جلسهٔ چهاردهم** : جمع‌بندی، رفع اشکال و حل پرسش‌ها و تمرین‌های باقیمانده
- **جلسهٔ پانزدهم** : آزمون تشریحی فصل سوم

راهنمای تدریس

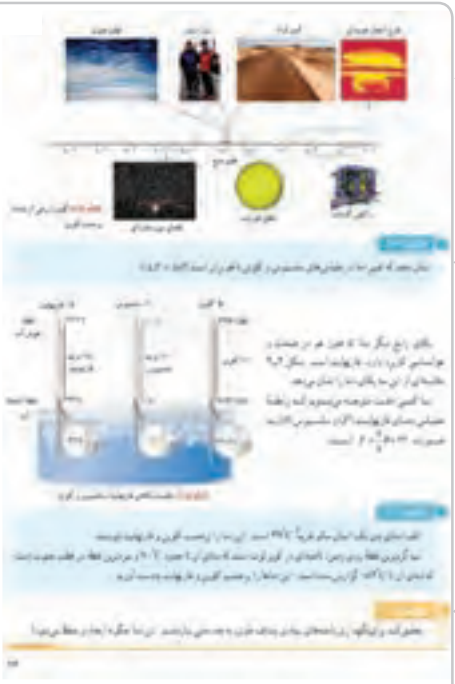


هدف این پرسش‌های ابتدای فصل، آن است که دانش‌آموز با نتایج واقعی مفاهیم و نظریه‌هایی که در این فصل می‌آموزد آشنا شود و اهمیت این دانش را در گوشه و کنار زندگی پیرامونش درک کند.

۴ــ۱ــ دما و دماسنجی

راهنمای تدریس: هدف این بخش، آن است که درک تجربی و عُرفی دانش‌آموز از گرمی و سردی مبنا قرار گیرد و توسعه داده شود تا فهم او به کمیت فیزیکی دما نزدیک گردد. این رویکرد، قطعاً متفاوت از رویکرد دقیق نظری برای تعریف دما در فیزیک است. در رویکرد نظری دقیق باید با قانون صفرم ترمودینامیک درگیر شویم که در توان یادگیری دانش‌آموز در این ردهٔ تحصیلی نیست و پیمودن این مسیر با اهداف آموزش علم در این مرحله فاصله دارد.

حفظ کردن مرتبهٔ بزرگی این دماها موردنظر نیست، ولی لازم است در طرح درس دبیران محترم، این مقادیر مورد گفت‌وگو قرار گیرد تا دانش‌آموزان دست‌کم به‌طور اجمالی با حدود این دماها آشنا شوند و دانش‌آموز دمای $10^{6}\,K$ یا $10^{8}\,K$ را عجیب و غیر ممکن نداند.



تمرین ۴ــ۱

این تمرین با توجه به نقش مهمی که در ادامهٔ درس این فصل دارد باید مورد تأکید ویژه قرار گیرد. در ادامهٔ فصل در همهٔ روابطی که با تغییر دما سروکار داریم، ΔT و $\Delta\theta$ قابل جایگزینی با هم هستند.

پاسخ تمرین ۴ــ۱

$$\Delta T = T_2 - T_1 = (\theta_2 + 273/15) - (\theta_1 + 237/15)$$
$$= \theta_2 - \theta_1 = \Delta\theta$$

پاسخ فعالیت ۴ــ۱

این دما حدود $-196^{\circ}C$ 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.

خوب است همکاران محترم، فرصت مغتنم یادگیری دانش‌آموز را صرف بررسی دماسنج‌های تخیلی و غیرواقعی و رابطهٔ بین دما در این مقیاس‌ها نکنند، به‌خصوص که برخی از این گونه سؤالات و مسئله‌ها، بی‌توجه به رابطهٔ غیرخطی بین دما و برخی کمیت‌های دماسنجی طرح می‌شوند.

پاسخ تمرین ۴ــ۲

همان‌طور که در پانوشت کتاب درسی آمده است، در حل مسئله‌ها از رابطهٔ تقریبی $\theta = T + 273$ استفاده می‌کنیم.

الف) $T = 37 + 273 = 310\,K$

همچنین برای تبدیل به فارنهایت داریم $F = \frac{9}{5}\theta + 32 = \frac{9}{5}(37) + 32 = 98/6^{\circ}F \approx 99^{\circ}F$

ب) برحسب کلوین داریم $T_1 = 70 + 273 = 343K$

$T_2 = -89 + 273 = 184K$

و برحسب فارنهایت داریم

$$F_1 = \frac{9}{5}\theta_1 + 32 = \frac{9}{5}(70) + 273 = 399^{\circ}F$$

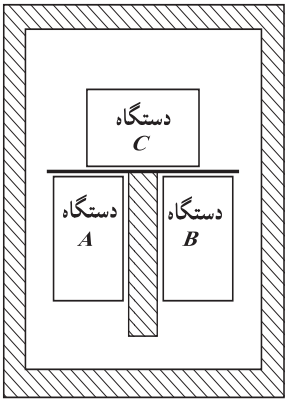
$$F_2 = \frac{9}{5}\theta_2 + 32 = \frac{9}{5}(-89) + 273 = 112/8^{\circ}F \approx 113^{\circ}F$$

دما و قانون صفرم ترمودینامیک

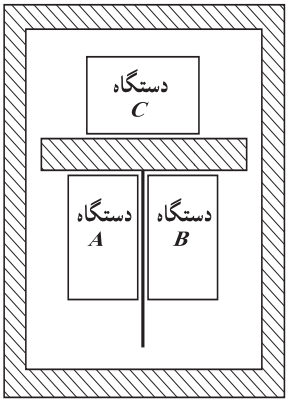
احساس عادی ما از دما به‌صورت صفاتی نظیر سرد، گرم، داغ، خنک، ولرم و غیره که در توصیف اجسام به کار می‌روند بیان می‌شود. با لمس کردن یک جسم، سردی یا گرمی آن را تشخیص می‌دهیم، اما برای ارائهٔ تعریف کمّی دما باید به اثراتی از جسم توجه کرد که ناشی از احساس ما از سردی یا گرمی آنها نباشد و شامل کمیت‌های فیزیکی قابل اندازه‌گیری باشد. دستگاه‌های متعددی را می‌توان یافت که برخی از ویژگی‌های آنها با گرمی و سردی دستگاه تغییر می‌کند. مثلاً جیوه یا الکل موجود در مخزنی که به لولهٔ باریکی ضمیمه شده است، نمونه‌ای از این دستگاه‌ها است. هرچه مایع موجود در مخزن گرم‌تر شود، طول L ستون مایع زیادتر می‌گردد. یا گازی با حجم ثابت که درون حبابی قرار دارد نمونهٔ دیگری است که با گرم یا سرد شدن گاز محبوس در آن، فشار Pی گاز که با یک فشارسنج اندازه‌گیری می‌شود، تغییر می‌کند. چنین دستگاه‌هایی می‌تواند مبنایی برای اندازه‌گیری دما باشد ولی هیچ یک از این دستگاه‌ها، پیش از تعریف دقیق دما، هنوز یک دماسنج نیستند، بلکه دمانما هستند.

لوله و مایع در مثال نخست را دستگاه A و گاز و ظرف آن در مثال دوم را دستگاه B فرض کنید. آنگاه مشخصهٔ دستگاه A عبارت است از طول L ستون مایع و مشخصهٔ دستگاه B فشار Pی گاز است. هرگاه A و B در تماس با هم قرار گیرند، معمولاً ابتدا مشخصه دمای هر دو تغییر می‌کند، و لی سرانجام حالتی پیش خواهد آمد که پس از آن مشخصات دو دستگاه تغییر نمی‌کند. به‌حالتی که مشخصات دو دستگاه پس از رسیدن به آن حالت تغییر نمی‌کند، تعادل گرمایی می‌گویند. حال اگر A و B با دیواره‌ای عایق در تماس با یکدیگر باشند و خودشان هر یک با دیواره‌ای گرمابَر با دستگاه سومی مانند C در ارتباط قرار گیرند، هر یک از دو دستگاه A و B پس از مدتی با دستگاه C به تعادل گرمایی درمی‌آیند. تجربه نشان می‌دهد اگر پس از آن دیوارهٔ عایق بین A و B را برداریم، مشخصه‌های دو دستگاه A و B تغییر بیشتری نخواهد کرد. به‌عبارتی، دو دستگاه A و B نیز با یکدیگر در تعادل گرمایی خواهند بود. این تجربه به‌صورت زیر بیان می‌شود: «دو دستگاه که هر یک به‌طور جداگانه با دستگاه سوم به حال تعادل گرمایی درآمده‌اند با یکدیگر نیز در تعادل گرمایی هستند.» این را اصطلاحاً **قانون صفرم ترمودینامیک** می‌نامند. علت این نامگذاری این است که قوانین اول و دوم که از مهم‌ترین اصول علم ترمودینامیک هستند مبتنی بر قانون صفرم‌اند، در حالی‌که قانون صفرم در دههٔ ۱۹۳۰ میلادی، سال‌ها پیش از کشف قانون‌های اول و دوم، کشف شد. فیزیک‌دانان برای اینکه تقدم قانون صفرم به قوانین اول و دوم را نشان دهند آن را به این نام، نامیدند.

اکنون پرسش این است که این چه چیزی است که در دو دستگاه A و B به تعادل در می‌آید؟ در پاسخ می‌گوییم کمیتی است به نام دما. دما ویژگی‌ای از جسم است که به کمک آن تعادل یا عدم تعادل گرمایی یک دستگاه را با دستگاه‌های دیگر مشخص می‌کنند. هرگاه دو یا چند دستگاه به حال تعادل گرمایی باشند گویند دمای آنها برابر است. دمای یک دستگاه را می‌توان با یک عدد نشان داد. درجه‌بندی و تشکیل مقیاس دمایی، تبیین مجموعه قواعدی است که براساس آنها به هر دستگاه عددی را به دماها نسبت می‌دهد. پس از آنکه این کار انجام شد، در حالت تعادل گرمایی به سادگی می‌توان گفت که دمای دستگاه‌ها با هم مساوی است. اگر دمای دو دستگاه متفاوت باشد، باید مطمئن بود که آن دو دستگاه در حال تعادل گرمایی نیستند.



الف) اگر A و B در تعادل گرمایی با C باشند، آنگاه



ب) A و B نیز در تعادل گرمایی با یکدیگرند.

خوب است دبیران محترم در فرصت‌های مناسب گریزی به زندگی علمی دانشمندان بزنند و نکات برجستهٔ این نوع از زندگی را در نگاه دانش‌آموزان بنشانند. قطعاً آشنایی با زیبایی‌ها، جاذبه‌ها و منش علمی این بزرگان، در جهت ذهنی استعدادهای نوجوانان به این سمت و سو مؤثر است.

معمولاً در توضیح کلی و غیردقیق دماسنج ترموکوپل، وسواس و حساسیتی روی اینکه در این دماسنج، جریان الکتریکی کمیت دماسنجی است یا ولتاژ، وجود ندارد. در آزمایش کیفی و غیردقیق این دماسنج در آزمایشگاه فیزیک نیز، ممکن است از ولت‌سنج یا آمپرسنج استفاده شود. اما در بحث دقیق مربوط به این دماسنج، معلوم می‌شود که کمیت دماسنجی ولتاژ است نه جریان.

همین‌طور، در یک آزمایش غیردقیق، از ساختن اتصال مرجع طفره می‌رویم، ولی در یک ترموکوپل دقیق، حتماً به‌وجود اتصال مرجع نیاز داریم.

دماسنج‌های مختلف که از کمیت‌های دماسنجی متفاوت بهره می‌گیرند، دقت (precision) و صحت (accuracy) یکسان ندارند. در اندازه‌گیری‌هایی که لازم است دما با دقت و صحت زیاد اندازه‌گیری شود باید سراغ دماسنج‌های معیار برویم. این دماسنج‌ها پیشنهاد فیزیک‌دانان تجربی‌کار برجسته در کنفرانس‌های بین‌المللی SI هستند.

۴ــ۲ــ انبساط گرمایی

در آموزش علم برای این ردهٔ سنی از دانش‌آموزان، درست آن است که در هر موضوعی از تجربه‌های نزدیک و در دسترس دانش‌آموز شروع کنیم. این رویکرد، ذهن یادگیرنده را در ردگیری و دنبال کردن بحث، آرام و با نشاط می‌کند و فهم پدیدهٔ مورد مطالعه را برای وی عمیق‌تر می‌نماید. در اینجا فهم عمیق پدیده به معنی تثبیت و ماندگاری این فهم در لایه‌های عمیق ذهن یادگیرنده است و نه به معنی فهم با ساختار نظری کامل و دقیق. فهم عمیق به این معنی دوم، از اهداف آموزش در سطوح علمی بالاتر است.

به‌خاطر سپردن گسترهٔ دقیق دماسنجی ترموکوپل و جنس سیم‌ها و آلیاژها، برای دانش‌آموزان، ضرورت چندانی ندارد.

توجه کنید که دماسنج «کمینه ــ بیشینه» به‌عنوان یک ابزار ساده، تنها می‌تواند کمینه و بیشینهٔ دما را در یک بازهٔ زمانی نشان دهد. اگر بخواهیم بدانیم در چه مدتی از این بازهٔ زمانی دما در نزدیکی دمای کمینه و در چه مدتی، دما در نزدیکی دمای بیشینه بوده است باید از اندازه‌گیری و ثبت کردن دما در فاصله‌های زمانی پیاپی و معین در این بازهٔ زمانی کمک بگیریم که البته با ابزارهای پیشرفته‌تر و کامل‌تر، شدنی است.

پاسخ فعالیت ۴ــ۲

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.

دانستنی برای معلم

دماسنج‌های معیار

دانشمندان در پی یک مقیاس عملی و وسیله‌ای آسان و سریع برای اندازه‌گیری دما و مدرّج کردن دماسنج‌های علمی و صنعتی هستند. در نشست بین‌المللی اوزان و مقادیر سال ۱۹۹۰، مقیاس بین‌المللی دمای ITS۹۰[۱] معرفی شد. در ITS۹۰ دماسنج معیار اصلی، دماسنج گازی است، اما با توجه به اینکه استفاده از این دماسنج بسیار دشوار است، با استفاده از این دماسنج برخی نقاط ثابت دمایی مانند دمای نقطهٔ سه‌گانهٔ مواد مختلف را به‌طور دقیق اندازه گرفته‌اند و سپس برای اندازه‌گیری دما، بین این نقاط ثابت، دماسنج‌های معیار ثانویه معرفی کرده‌اند. این دماسنج‌های ثانویه در نقاط ثابت دمایی که با دماسنج معیار گازی اندازه‌گیری شده است، با این دماسنج همخوان هستند و در بین این نقاط، دما را با روش‌های بیان شده در ITS۹۰ درون‌یابی می‌کنند. کمترین دمای اندازه‌گیری شده با دماسنج گازی ۰/۶۵K است و تا به حال برای دماهای کمتر از این، مقیاسی تعریف نشده است، گرچه پژوهش‌ها در این زمینه ادامه دارد.

اندازه‌گیری دما بنا به ITS۹۰، در دماهای کمتر از ۱۳/۸۰۳۳K[۲] با دماسنج معیار گازی ^{3}He و ^{4}He انجام می‌گیرد، در دماهای ۱۳/۸۰۳۳K تا ۱۲۳۴/۹۳K[۳] با دماسنج معیار ثانویهٔ مقاومت پلاتینی و روش‌های مربوط به این دماسنج (که ITS۹۰ توضیح می‌دهد) انجام می‌شود، و در دماهای بیشتر از ۱۲۳۴/۹۳K، از دماسنج معیار ثانویهٔ تف‌سنج نوری و روش‌های مربوط به آن (که ITS۹۰ توضیح می‌دهد) استفاده می‌شود. پیش از ITS۹۰، ترموکوپل به عنوان دماسنج معیار ثانویه برای اندازه‌گیری دماهای بالا استفاده می‌شد، ولی دماسنج‌های مقاومت پلاتینی و تف‌سنج نوری به دلیل داشتن دقت بیشتر جایگزین آن شوند.

تمرین‌های پیشنهادی بخش ۴ـ۱

۱ چه دمایی در مقیاس فارنهایت برابر (الف) دو برابر دمایی در مقیاس سلسیوس و (ب) نصف دمایی در مقیاس سلسیوس است؟

پاسخ : الف) $۳۲۰^{\circ}F$

ب) $-۱۲/۳^{\circ}F$

۲ یک آلیاژ خاص وقتی دمای آن به ۹۲/۰K می‌رسد خاصیتی موسوم به اَبَررسانایی پیدا می‌کند. این دمای حدّی برحسب سلسیوس و فارنهایت چقدر است؟

پاسخ : الف) $-۱۸۱^{\circ}C$

ب) $-۲۹۴^{\circ}C$

۱ـ International Temperature Scale ۱۹۹۰

۲ـ دمای نقطهٔ سه گانهٔ H_2 است که به وسیلهٔ دماسنج معیار گازی اندازه‌گیری شده است.

۳ـ دمای ذوب طبیعی طلا است که به وسیلهٔ دماسنج معیار گازی اندازه‌گیری شده است.

پاسخ پرسش ۴ــ۱

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 در و چارچوب، تغییرات ابعاد آنها یکسان نخواهد بود. البته اگر در و چارچوب هم‌جنس باشند نیز به دلیل اینکه چارچوب در میان مصالحی نصب شده است که جهت افزایش طول آنها برخلاف جهت افزایش طول چارچوب است، این اتفاق می‌تواند رخ دهد.

یادگیری موارد استثنا، برای دانش‌آموزان، ضرورت چندانی ندارد.

می‌توان با طرح درس‌ها و رویکردهای متفاوتی به رابطهٔ ۴ــ۲ یا رابطه‌هایی قدری متفاوت ولی معادل با این رابطه رسید. همهٔ این روش‌ها، تقریبی و غیردقیق بودن این رابطه را به شکل‌های مختلف، در درون خود دارند. برای کاربردهای دقیق‌تر باید سراغ تعریف دیفرانسیلی و دقیق α برویم که در این حد از آموزش مناسب نیست.

پاسخ فعالیت ۴ــ۳

۱ــ در هر دو شکل، فاصله یا «شکاف‌هایی انبساطی» برای انبساط تعبیه شده است تا دو بخش خط آهن در روزهای گرم فضایی برای انبساط داشته باشند. عکس جالبی در اینترنت از خطوط ریل قدیمی وجود دارد که به‌دلیل عدم تعبیه چنین فاصله‌هایی خطوط کج و معوج شده‌اند.

۲ــ 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 صورتی‌که ریل دارای شکاف‌های انبساطی باشد نیز انبساط آن تا نصف کاهش می‌یابد. (توجه کنید که اگر دو 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 پاسخ 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.)

خوب است دانش‌آموزان مرتبهٔ بزرگی ضریب انبساط‌های جامدات ($۱۰^{-۶}$ تا $۱۰^{-۵}$ با یکای $\frac{۱}{K}$) در این جدول را به‌خاطر بسپارند تا تصور نادرست و غیرواقعی از این کمیت نداشته باشند. همین‌طور خوب است دقت کنند که کمترین انبساط‌های گرمایی در این جدول مربوط به الماس و شیشهٔ پیرکس است. از این شیشه در ساخت شیشه‌آلات آزمایشگاهی استفاده می‌شود.

دامنهٔ تغییر دما در منطقهٔ مربوط به مثال ۴ــ۱ و اکثر مناطق زندگی در جهان خیلی کمتر از مقادیر داده شده در این مثال است. ولی در بسیاری از محاسبات از این نوع، در دنیای علوم مهندسی، اولاً به بدترین شرایط فکر می‌کنند تا در یک طرح مهندسی برای مقابله با چنین شرایطی نیز آماده باشند، ثانیاً در بسیاری موارد، به محاسبهٔ دقیق نیازی ندارند و تنها داشتن مقدار حدودی یک کمیت کافی است.

در صورتی که چینش (setup) دستگاه موجود در آزمایشگاه مدرسهٔ شما، قدری متفاوت با این دستگاه باشد، لازم است جزئیات آزمایش را براساس دستگاه خودتان متناسب‌سازی کنید.

ممکن است دما در ابتدا و انتهای لولهٔ فلزی، و درون لولهٔ توخالی، قدری متفاوت باشد. در یک اندازه‌گیری دقیق‌ترِ ضریب انبساط طولی، باید به تصحیح خطای ناشی از این اختلاف دما بیندیشیم.

توجه دانش‌آموزان را به مبحث دماپا که در «فناوری کاربرد» مطرح شده است جلب کنید. چون در این دماسنج از نوار دوفلزه استفاده شده است و ضریب انبساط خطی دو فلز متفاوت است، واکنش نوار پیچه‌ای به تغییر دما به‌صورت جمع‌شدن یا بازشدن خواهد بود.

فیلم

در این فیلم‌ها چگونگی خم‌شدن یک نوار دوفلزه (بی‌متال) را مشاهده می‌کنید.

خیلی وقت‌ها ترموستات با تیغهٔ دوفلزه (بی‌متال) معادل گرفته می‌شود؛ این خطاست. ترموستات یک کلید حساس به دما است که با کم یا زیاد شدن دما، قطع یا وصل می‌شود و ممکن است برای ساخت این کلید از پدیده‌های فیزیکی مختلفی که به دما ارتباط پیدا می‌کند، استفاده شود. خم شدن تیغهٔ دو فلزه با تغییر دما، فقط یکی از این پدیده‌هاست.

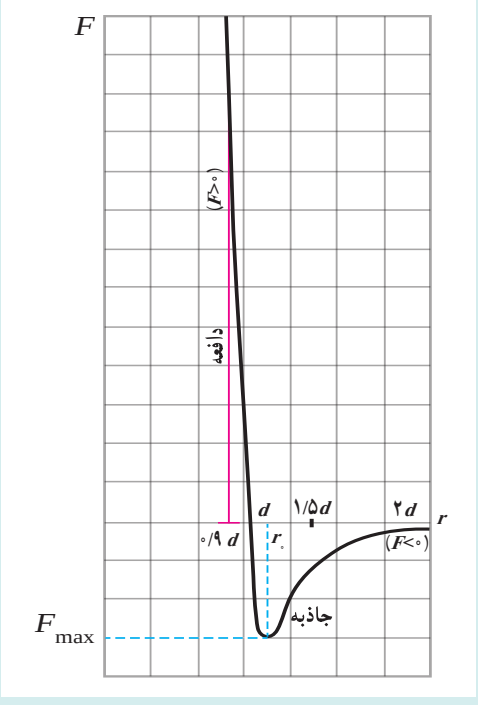
معمولاً این‌طور تصور می‌شود که انبساط گرمایی جسم جامد، پیامد مستقیم افزایش نوسانات اتم‌ها یا مولکول‌ها با افزایش دمای جسم است. واقعیت این است که اگر نیروهای بین مولکولی کاملاً شبیه نیروهای فنرها در مدل گلوله و فنر بود، هرگز با افزایش ارتعاشات گلوله‌ها، شبکه منبسط نمی‌شد. می‌توانید برای فهم درست پدیدهٔ انبساط گرمایی به دانستنی‌ای که در این مورد خواهد آمد مراجعه کنید.

دانستنی برای معلم

منحنی‌های انرژی پتانسیل مولکولی

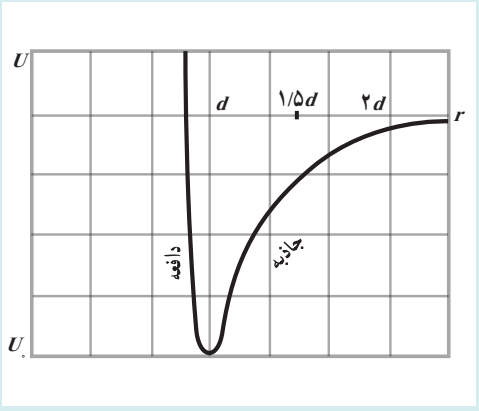
با دانستن شکل نیروهای بین مولکولی برای جامدات و مایعات می‌توانیم نمودار انرژی پتانسیل مولکولی (U) را بر حسب فاصلهٔ بین مولکولی (r) رسم کنیم. اگر d فاصلهٔ تعادل بین مولکولی باشد، می‌دانیم وقتی $r < d$ است، نیروی بین مولکولی دافعه و وقتی $r > d$ است، این نیرو جاذبه می‌شود (شکل الف).

طبق رابطهٔ $F\Delta r = -\Delta U$ درمی‌یابیم منحنی انرژی پتانسیل به ازای $r < d$ و نیروی (مثبت) دافعهٔ بین مولکولی باید نزولی یا دارای شیب منفی باشد (یعنی با محور طول‌ها زاویهٔ منفرجه بسازد) و به ازای $r > d$ و نیروی (منفی) جاذبهٔ بین مولکولی باید صعودی یا دارای شیب مثبت باشد (یعنی با محور طول‌ها زاویهٔ حاده بسازد). چون نیروی دافعه نسبت به نیروی جاذبه به‌طور شدیدتری با فاصله تغییر می‌کند، منحنی انرژی پتانسیل نامتقارن است. در طرف چپ کمینه ($r < d$) شیب خیلی تند است، در حالی‌که در طرف راست کمینه ($r > d$)، منحنی ابتدا صعود می‌کند، اما با شیب کمتر و سرانجام تخت می‌شود، زیرا نیروی برهم‌کنش



(الف)

برای $r > d$ عملاً صفر است. همان‌طورکه می‌دانیم تراز صفر انرژی پتانسیل را می‌توان به دلخواه اختیار کرد. در اینجا مناسب‌تر آن است انرژی پتانسیل را برای وقتی که مولکول‌ها از یکدیگر بسیاردورند، صفر درنظر گرفت. منحنی انرژی پتانسیل برهم‌کنش بین مولکولی در شکل ب نشان داده شده است. در این شکل، U_0 کمینهٔ انرژی پتانسیل مربوط به برهم‌کنش بین مولکول‌ها و مربوط به حالت تعادل آنها است. به‌عبارتی، هرگاه مولکول‌ها به فاصلهٔ d از یکدیگر قرار گیرند، دارای این مقدار انرژی خواهند بود. همان‌طور که خواهیم دید این شکلِ منحنی‌های انرژی پتانسیل است که باعث انبساط گرمایی می‌شود.



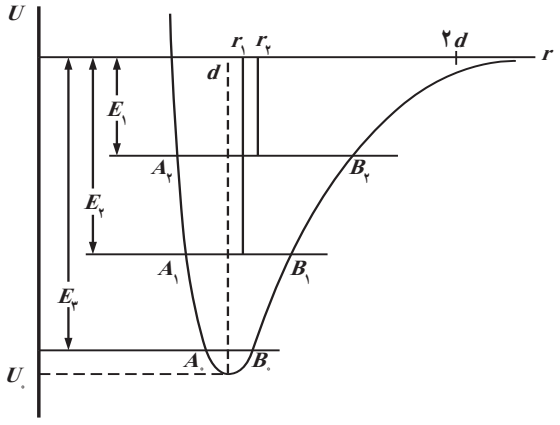
(ب)

دانستنی برای معلم

توجیه انبساط گرمایی از دیدگاه میکروسکوپی

در هر دمای معین، مولکول‌های جسم جامد یا مایع در فاصله‌های معینی از یکدیگر قرار دارند و حول مکان‌های تعادل خود ارتعاش می‌کنند. اگر منحنی انرژی پتانسیل را برحسب فاصلهٔ بین مولکولی رسم کنیم و انرژی کلّ یک مولکول را برای چند دما روی آن مشخص کنیم، می‌توانیم به توجیه انبساط گرمایی جامدات و مایعات بپردازیم.

در این شکل E_0 انرژی نقطهٔ صفر، یعنی کمینهٔ انرژی ارتعاشی مولکول (یعنی انرژی کلّ مربوط به ارتعاش) در دمای صفر مطلق است. E_1 و E_2 انرژی‌های ارتعاشی مولکول در دماهای بالاتر T_1 و T_2 هستند. در صفر مطلق، مولکول‌ها حول مکان تعادل خود که مثلاً در شکل d است ارتعاش می‌کنند. با افزایش دما و در نتیجه افزایش انرژی ارتعاشی، مولکول‌ها در دمای T_1 بین نقاط A_1 و B_1 و در دمای T_2 بین نقاط A_2 و B_2 ارتعاش می‌کند. اما نکتهٔ مهم این است که چون منحنی انرژی پتانسیل نامتقارن است، نقطه‌های B به‌طرف راست بیشتر از نقطه‌های A به‌طرف چپ تغییر مکان پیدا می‌کنند. بنابراین با افزایش دما، مکان تعادل نیز به‌سمت راست انتقال می‌یابد. به‌عبارت دیگر، این نامتقارن بودن منحنی انرژی پتانسیل است که باعث انبساط گرمایی می‌گردد. به‌دلیل نامتقارن بودن منحنی انرژی پتانسیل، فاصلهٔ بین مولکول‌ها افزایش می‌یابد.



رفتار مولکول‌های یک مایع، نه بی‌نظمی و کاتورگی رفتار مولکول‌های گاز را دارد، نه نظم شدید رفتار مولکول‌های یک جامد بلوری را. در مایعات، نوعی نظم میان‌بُرد، بین مولکول‌ها وجود دارد. مولکول‌ها می‌توانند در گروه‌های کوچکی منظم شوند و این گروه‌ها در کنار یکدیگر یا روی هم بلغزند و جابه‌جا شوند. این رفتار مولکول‌ها در مایعات، مبنای فهم برخی ویژگی‌های مایعات است.

توجه دهید که در رابطهٔ ۴ــ۳ یکاهای ΔA و A یکسان، و یکاهای α و ΔT وارون هم است.

همچنین انبساط سطحی را به‌عنوان تعمیمی از انبساط خطی مطرح کنید و از دانش‌آموزان بخواهید رابطهٔ انبساط سطحی را براساس منطق تعمیم حدس بزنند. (البته با چنین رویکردی نمی‌توان به این نتیجه رسید که ضریب انبساط سطحی دو برابر ضریب انبساط طولی است.)

پاسخ فعالیت ۴ــ۴

با استفاده از معادلهٔ ۴ــ۲ 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

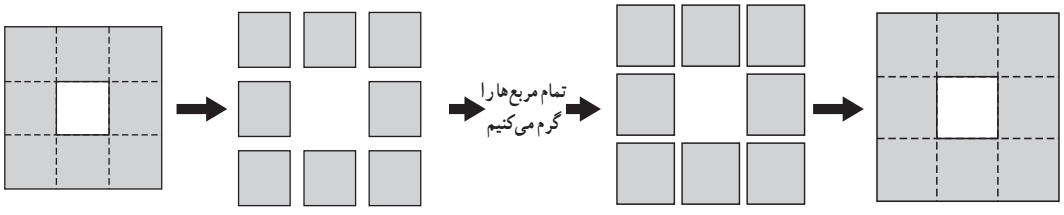
$$A_2 = a_2 b_2 = a_1 b_1$$
$$= a_1(1+\alpha\Delta T)\, b_1(1+\alpha\Delta T) = a_1 b_1 (1+\alpha\Delta T)$$
$$= a_1 b_1 (1 + 2\alpha\Delta T + (\alpha\Delta T)^2)$$

با توجه به اینکه α معمولاً از مرتبهٔ 10^{-5} بر درجهٔ سلسیوس است (جدول ۴ــ۱ 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 :

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

چالش‌ها و چاره‌اندیشی‌های معروفی در این پدیده وجود دارد. آیا با گرم کردن جسم جامدی که حفره‌ای درون آن وجود دارد، انبساط جسم طوری رخ می‌دهد که حفره کوچک شود یا طوری رخ می‌دهد که حفره بزرگ شود؟ شاید سر راست‌ترین پاسخ به این سؤال که ذهن دانش‌آموز را به نرمی و راحتی به اطمینان برساند، منطق تجربه و آزمایش باشد. ***آزمایش معروف گلوله و حلقه*** پاسخ تجربی قاطعی برای این ابهام و سردرگمی دانش‌آموز است. همچنین می توان آزمایشی ذهنی با صفحه‌ای مربعی از جنس فلز را تصور کرد که در وسط آن حفره‌ای مربعی ایجاد شده است. فرض کنید این صفحه را به قطعاتی مربعی می‌شکنیم و قطعه‌ها را پس از گرم کردن، دوباره کنار هم می‌چینیم. درخواهیم یافت، اکنون حفرهٔ مربعی بین صفحات هم باید بزرگ‌تر شده باشد.

این‌گونه پاسخ‌ها علاوه بر اینکه به‌راحتی با ساختار یادگیری ذهن دانش‌آموز ارتباط می‌گیرد، قدرت منطق تجربی و اهمیت آن را در علوم تجربی به دانش‌آموز می‌فهماند.



در این فیلم آزمایش مشهور انبساط گرمایی را که مانع عبور گلوله از حلقه می‌شود را مشاهده می‌کنید.

فیلم

پاسخ تمرین ۴ــ۳

باید از رابطهٔ $\Delta A = ۲\alpha A \Delta T$ استفاده کنیم. این را می‌توان به‌طور شهودی دریافت. رابطهٔ ΔA را برای سطح دایره‌ای می‌توان به‌طور مستقیم نیز اثبات کرد :

$$\Delta A = \Delta(\pi R^۲) = ۲\pi R \Delta R = ۲\pi R(\alpha R \Delta T) = ۲\alpha(\pi R^۲)\Delta T = ۲\alpha A \Delta T$$

در هر حال با جای‌گذاری خواهیم داشت :

$$\Delta A = ۲(۱۹ \times ۱۰^{-۶}/^{\circ}C)(\pi)((۲/۵۴ \times ۱۰^{-۲}m)^۲/۴)(۲۰۰^{\circ}C) = ۳/۸ \times ۱۰^{-۶}\,m^۲$$

رابطهٔ انبساط حجمی را نیز می‌توان با همان منطقی که برای رابطهٔ انبساط خطی ارائه شد (تلفیقی از تجربه و تعمیم) مطرح کرد.

در بسیاری از بلورها ضریب انبساط طولی در راستاهای مختلف درون بلور یکسان نیست. کوارتز (SiO_2) نمونهٔ معروفی از این بلورها است. ژیپس (گچ آب‌دار) نمونهٔ دیگری از این بلورهاست. به این بلورها *ناهمسانگرد* می‌گویند.

به دانش‌آموزان توجه دهید که برای مایع‌ها، انبساط حجمی تنها پارامتر انبساط معنی‌دار است. به‌عبارت دیگر، توجه دانش‌آموزان به این نکته جلب شود که سخن گفتن از انبساط خطی یا سطحی برای مایعات بی‌معناست.

در یک محاسبهٔ سخت‌گیرانه در مثال‌هایی از نوع مثال ۴ــ۴، باید به این نکته توجه کرد که مایع سرریز شده، در دماهای متفاوتی از ظرف بیرون می‌ریزد. چنین نیست که همهٔ مایع سرریز شده به دمای نهایی $60\,^{\circ}C$ رسیده باشد. بنابراین در مدلِ ریاضیِ ساخته شده در حل این مسئله، نوعی خطای ذاتی وجود دارد که البته متفاوت از خطای مربوط به رابطهٔ $\Delta V = \beta V_1 \Delta T$ است.

توصیه می‌شود پیش از آزمایش فعالیت ۴ــ۵، توجه دانش‌آموزان را به تفاوت ضریب انبساط حجمی مایع‌ها و جامدات جلب کنید و اینکه این ضریب برای مایعات به مراتب بزرگ‌تر است و به این ترتیب با افزایش دما، مایع سرریز می‌شود.

پاسخ فعالیت ۴ــ۵

این فعالیت در واقع در همان امتداد مثال ۴ــ۴ 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 گلیسیرین 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 ۴ــ۴ 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.

دانش‌آموزان می‌دانند جرم جسم با دما تغییر نمی‌کند. با توجه به اینکه آنها با رابطهٔ چگالی آشنا هستند، از آنها بخواهید پیش از به‌دست آوردن رابطهٔ چگالی با تغییر دما، حدس خود را بیان کنند.

پاسخ تمرین ۴ــ۴

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 $\beta = m/V$ (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 $(\beta \Delta T - 1)$ 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 ۴ــ۲ را ببینید) از جملهٔ $\beta^2(\Delta T)^2$ چشم‌پوشی می‌کنیم و بنابراین داریم :

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

تغییر حجم آب در محدودهٔ دمایی صفر تا ۴ درجهٔ سلسیوس در حدود یک صدم درصد است ولی تغییر حجم آب در تغییر فاز آب به یخ در حدود ۱۰ درصد است. تغییر حجم آب در تغییر فاز جامد به مایع (یا برعکس) به‌خوبی محسوس و قابل مشاهده است. پیشنهاد می‌شود دانش‌آموزان ظرفی را که لبالب از یخ پرشده است، در معرض گرمای ملایمی قرار دهند تا به آرامی آب شود و پس از آنکه همهٔ یخ آب شد، این کاهش حجم چشمگیر را ببینند.

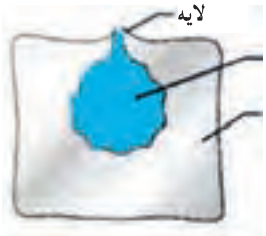
معمولاً بحث رفتار غیرعادی آب، در درس شیمی نیز مطرح می‌شود. خوب است دبیران محترم دو درس، در این مورد با هم همفکری و گفتگو کنند و با دیدگاه‌های یکدیگر آشنا شوند.

در این فیلم، گرمای آزاد شده در یک تغییر فاز از مایع به جامد را مشاهده می‌کنید.

فیلم

پاسخ فعالیت ۴ــ۶

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 رو به بالا «یخ میخی»[۱] می‌گویند. درست کردن یخ میخی، موضوع پرجاذبه‌ای است که می‌تواند دانش‌آموزان را به شوق بیاورد. به فیلم مربوطه در سایت گروه مراجعه شود.



در این فیلم چگونگی درست کردن یخ میخی را می‌بینید.

فیلم

تمرین‌های پیشنهادی بخش ۴ــ۲

۱ قطر یک روزنهٔ دایره‌ای در صفحه‌ای آلومینیومی در دمای $0/000\,^{\circ}C$ برابر $2/725\ cm$ است. وقتی دمای صفحه تا $100/0\,^{\circ}C$ افزایش یابد، قطر روزنه چقدر می‌شود؟

پاسخ : $2/731\ cm$

۲ چگالی آب در دمایی خاص $\rho=0/999\times10^{3}\ kg/m^{3}$ است. اگر ضریب انبساط حجمی آب برابر $\beta=1/8\times10^{-4}\ K^{-1}$ باشد، دمای آب چقدر است؟ (**راهنمایی :** چگالی آب در دمای $4\,^{\circ}C$ برابر با $1/03\times10^{3}\ kg/m^{3}$ است.)

پاسخ : $54\,^{\circ}C$

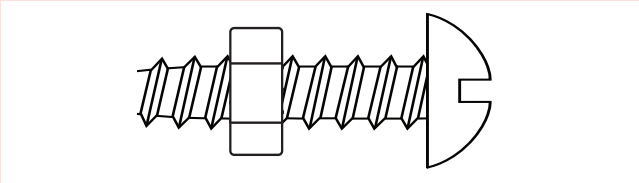
۳ دو ظرف که حاوی نفت سفید در دماهای $\theta_1=10/0\,^{\circ}C$ و $\theta_2=80/0\,^{\circ}C$ هستند، توسط لولهٔ باریکی که در آن توپیِ لغزنده‌ای است، به هم وصل شده‌اند. اگر ضریب انبساط حجمی نفت سفید برابر $\beta=1/00\times10^{-3}\ K^{-1}$ باشد، نسبت ارتفاع‌های ستون‌های نفت در دو ظرف را به دست آورید. (**راهنمایی :** ارتفاع ستون‌های مایع، به‌طور معکوس متناسب با چگالی مایع داخل ظرف‌ها است.)

پاسخ : $h_2/h_1=1/06$

۱ــ Ice – spike

پرسش‌های پیشنهادی بخش ۴ــ۲

۱ مهره‌ای به دور یک پیچ، بسیار محکم شده است. برای راحت‌تر باز کردن مهره، آیا باید این مجموعه را گرم کنیم یا سرد؟
پاسخ : باید گرم کنیم. به آزمایش حفره و گلوله بیندیشید.



۲ چرا در خانه‌هایی که لوله‌های آب در معرض هوای سرد زمستان هستند، ممکن است لوله‌ها بترکند؟
(**راهنمایی :** یخ حاصل از انجماد آب ممکن است بستی را ایجاد کند و آب را محبوس نماید.)

۴ــ۳ــ گرما

گونه‌ای از فهم عرفی و غیر فیزیکی در میان مردم و دانش‌آموزان رایج است که وقتی دو جسم گرم و سرد کنار یکدیگر قرار می‌گیرند، جسم سرد به جسم گرم، سرما می‌دهد. خوب است دبیران محترم، در صورت لزوم روی تصحیح این فهم نادرست فیزیکی پافشاری کنند.

البته در برخی موارد، بیانی وجود دارد که کمی شبیه به این خطای رایج است، ولی نادرست نیست. مثلاً وقتی در هوای سرد زمستانی، دَرِ یک اتاق گرم را باز می‌کنیم، ممکن است هوای گرم از اتاق بیرون برود و هوای سرد وارد اتاق شود. قطعاً با چنین فهمی نمی‌توان و نباید مخالفت کرد.

خوب است به تاریخچهٔ کالریک اشاره شود؛ در راستای آنچه دانش‌آموزان در فصل اول آموخته‌اند، در اینجا نیز تأکید شود که مدل‌های علمی و قدیمی (در اینجا کالریک)، در محدودهٔ خود به‌خوبی عمل می‌کرده‌اند. اتفاقی که در پیشرفت و توسعه علم رخ می‌دهد، ارائهٔ مدل‌های جدیدی است که هم در محدودهٔ مدل‌های قبلی و قدیمی پاسخگو هستند، و هم پدیده‌های جدید را توجیه می‌کنند.

خوب است، ذهن دانش‌آموزان را متوجه این مطلب بکنیم که در تشبیه‌هایی مانند مدل گلوله و فنر در بحث انبساط گرمایی یا مدل جنبشی مولکولی که در اینجا می‌بینید، همهٔ آنچه در این مدل‌ها یا تشبیه‌ها وجود دارد، قابل تعمیم یافتن به اصل پدیده نیست. مثلاً در اینجا فقط می‌فهمیم جنبش مولکولی جسم داغ، کم و جنبش مولکولی جسم سرد زیاد می‌شود و نباید نتیجه بگیریم نهایتاً سرعت‌های همهٔ ذرات در دو جسم مساوی می‌گردد.

هدف از پرسش **۴ــ۲** آن است که دانش‌آموزان دریابند دماسنج، دمای تعادل را نشان می‌دهد.

پاسخ پرسش ۴ــ۲

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.

در مبحث ظرفیت گرمایی باید به این نکته اشاره شود که منظور از ظرفیت گرمایی این نیست که ماده می‌تواند گرما را حفظ کند. گرما برخلاف انرژی درونی، یک تابع حالت ترمودینامیکی نیست.

توجه کنید که پیش از بیان رابطهٔ **۴ــ۷** امکان اندازه‌گیری مستقیم گرما وجود ندارد. در واقع پیش از رابطهٔ **۴ــ۷** گرما را براساس فهمی که از هم ارزی کار و گرما داریم به روش‌هایی غیر از روش‌های گرماسنجی یا کالری‌متری اندازه می‌گیریم (مثلاً به روش الکتریکی و با استفاده از رابطهٔ $W = RI^{2}t$).

خوب است اشاره شود منظور از پسوند ویژه، «بر واحد جرم» است. همچنین آزمایش‌های اندازه‌گیری ظرفیت گرمایی، اغلب در فشار ثابت انجام می‌شود؛ چرا که انجام این آزمایش‌ها در حجم ثابت، به‌دلیل تغییر حجم با دما، بسیار دشوار است. برای همین ظرفیت گرمایی در حجم ثابت معمولاً اندازه‌گیری نمی‌شود، بلکه از روی داده‌های دیگر محاسبه می‌گردد.

دبیران محترم، مراقبت کنند که این تعریف گرمای ویژه، سبب کج‌فهمی دانش‌آموزان نشود، به‌طوری که گمان کنند گرمای ویژه، از جنس گرما است.

فعالیت پیشنهادی

درون بادکنکی مقداری آب بریزید و سپس آن را باد کنید. بادکنک باد شده را روی شمع روشنی قرار دهید. خواهید دید بادکنک نمی‌ترکد و دوده‌ای بر محل تماس بادکنک با شعلهٔ شمع تشکیل می‌شود. دلیل را توضیح دهید.

پاسخ : این به ظرفیت گرمایی بالای آب مربوط می‌شود. آب به دلیل ظرفیت گرمایی بالای خود، گرمای اضافی بادکنک را جذب می‌کند و نمی‌گذارد درجه حرارت بادکنک به دمایی برسد که آن را بسوزاند. مورد مشابهی در قابلمهٔ کاغذی رخ می‌دهد که در آب ریخته باشید. در این آزمایش نیز کاغذ در تماس با شعله، نمی‌سوزد.

این فیلم، نمایشی از این فعالیت را نشان می‌دهد.

فیلم

در این فیلم، آزمایش مشابهی در مورد نسوختن یک قابلمهٔ کاغذی حاوی آب را می‌بینید.

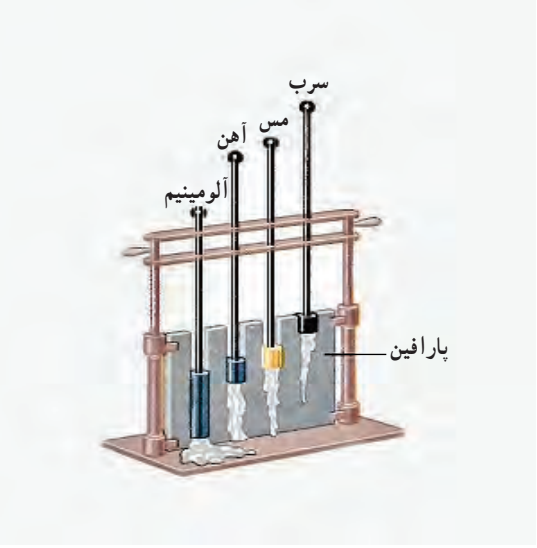
فیلم

در این فیلم، آزمایش مشابهی را می‌بینید که در آن یک اسکناس در مخلوطی از آب و الکل خیسانده می‌شود، ولی زیر شعله، آتش نمی‌گیرد.

فیلم

پاسخ پرسش ۴ــ۳

این به گرماهای ویژهٔ گوی‌ها بستگی دارد. اگر به جدول ۴ـ۳ رجوع کنید برحسب J/kg.K گرماهای ویژهٔ سرب، برنج، مس، فولاد و آلومینیم 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.



در این فیلم، نمایشی از آزمایش تیندال را مشاهده می‌کنید.

فیلم

معمولاً دانش‌آموزان می‌پندارند مول فقط مربوط به مولکول‌ها است. خوب است اشاره شود که مول تنها مربوط به مولکول‌ها نیست، بلکه به اجزای سازندهٔ هر شکل از ماده مربوط است.

توجه شود در جامدهای بلوری غیرفلزی رفتار C_P و C_V متفاوت است و با افزایش دما C_P به‌طور خطی افزایش می‌یابد در حالی که در C_V به مقداری مجانبی میل می‌کند، اما در مورد فلزها این دو، رفتار تقریباً یکسانی دارند و هر دو با افزایش دما به یک مقدار مجانبی میل می‌کنند.

در یک رویکرد نظری و سخت‌گیرانه، در بحث قانون صفرم ترمودینامیک گفته می‌شود آنچه برای دو جسم در تماس با یکدیگر که به تعادل رسیده‌اند، یکسان است، دما نامیده می‌شود. یعنی مفهوم تعادل، مقدم بر تعریف کمیت فیزیکی دما است. این رویکرد گرچه از لحاظ علمی درست‌تر است، ولی مناسبِ فضای فهم علمی دانش‌آموزان در این ردهٔ تحصیلی نیست.

برای جا انداختن معادلهٔ **۴ــ۹** که براساس قانون پایستگی انرژی نوشته شده است مثال‌های زیادی باید مطرح شود تا دانش‌آموزان به درک درستی از آن نایل آیند.

بعضی وقت‌ها گفته می‌شود رابطهٔ **۴ــ۹** به شرطی درست است که گرمای تلف شده نداشته باشیم. این شرط، لازم نیست. آنچه به آن گرمای تلف شده گفته می‌شود، مثلاً گرمایی است که با هوای اطراف اجسام اصلی مورد بحث، داد و ستد شده است. در چنین مواردی باید Qی این هوا را نیز در مجموع گرماهای رابطهٔ **۴ــ۹** قرار دهیم.

واضح است که رابطهٔ **۴ــ۱۰** در شرایطی که برخی از اجسام، در نتیجهٔ داد و ستد گرما تغییر فاز دهند، درست نیست.

در مثال ۴ـ۹ و تمرین ۴ـ۵، چشم‌پوشی از ظرفیت گرمایی ظرف حاوی آب در مقایسه با ظرفیت گرمایی آب درون ظرف، نابه‌جا نیست. ظرفیت گرمایی ظرف گرماسنج‌های معمولی آزمایشگاهی چیزی در حدود $۱۰۰\,J/^{\circ}C$ است که در مقایسه با ظرفیت گرمایی $۰/۵۰۰\,kg$ آب ($۲۱۰۰\,J/^{\circ}C \approx$) ناچیز (در حدود ۵ درصد) است. از این منظر نیز، این مثال و تمرین، مقدمهٔ خوبی برای ورود به بحث گرماسنج (کالری متر) هستند. البته، گرماسنج علاوه بر اینکه باید ظرفیت گرمایی ناچیزی داشته باشد، باید به‌خوبی نیز عایق‌پوش گرمایی شده باشد، و بلکه این ویژگی دوم مهم‌تر نیز هست.

دانش‌آموزان، معمولاً نمی‌توانند به‌سادگی میان عایق بودن ظرف و رخ ندادن مبادلهٔ گرما بین ظرف و مواد درون ظرف، تمایز قائل شوند. لازم است دبیران محترم، در تمرین ۴ـ۵، که مقدمهٔ خوبی برای ورود به بحث گرماسنجی است، تفاوت و تمایز این دو مفهوم را برای دانش‌آموزان روشن کنند.

پاسخ تمرین ۴ـ۵

در این فرایند، آب گرما از دست می‌دهد و جسم گرما می‌گیرد و به دمای تعادل ($\theta = ۲۱/۰^{\circ}C$) می‌رسد. به ازای

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

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

از رابطهٔ ۴ـ۱۰ خواهیم داشت :

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

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

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

برای آنکه از درستی انجام آزمایش ۴ــ۲ مطمئن شوید پیشنهاد می‌شود نخست با استفاده از این روش آزمایش، گرمای ویژهٔ یک فلز معلوم را محاسبه و آن را با مقادیر جدول ۴ــ۳ مقایسه کنید. اگر عدد به‌دست آمده با تقریب خوبی درست بود، بعد گرمای ویژه نامعلوم را تعیین کنید، وگرنه در پی رفع مشکل آزمایش بگردید.

تمرین‌های پیشنهادی بخش ۴ــ۳

۱ مهندسی می‌خواهد گرمای ویژهٔ یک آلیاژ فلزی نامعلوم را تعیین کند. ۰/۱۵۰kg از نمونه‌ای از این آلیاژ را تا $54^{\circ}C$ گرم می‌کند و بلافاصله آن را در ۰/۴۰۰kg آب $10/0^{\circ}C$ می‌اندازد که در ظرف گرماسنجی از جنس آلومینیوم به جرم ۰/۲۰۰kg قرار دارد. دمای نهایی مجموعه $30/5^{\circ}C$ است. گرمای ویژهٔ آلیاژ را تعیین کنید.

پاسخ : $497 J/kg.^{\circ}C$

۲ برای اندازه‌گیری گرمای ویژهٔ سرب به این ترتیب عمل کنید. نخست یک گلولهٔ سربی به جرم ۶۰۰g را تا دمای $100^{\circ}C$ گرم کنید و سپس آن را در یک گرماسنج آلومینیومی به جرم ۲۰۰g قرار دهید که حاوی ۵۰۰g آب در دمای اولیهٔ $17/3^{\circ}C$ است. اگر دمای نهایی مخلوط به $20/0^{\circ}C$ برسد، گرمای ویژهٔ سرب چقدر است؟

پاسخ : $0/128 kJ/kg.K$

پرسش‌های پیشنهادی بخش ۴ــ۳

۱ گرمای ویژهٔ آب ۱۰ برابر گرمای ویژهٔ آهن است. اگر جرم برابری از آب و آهن در ابتدا در تعادل گرمایی باشند، پس از افزودن ۵۰J گرما به هرکدام، کدام یک از موارد زیر تحقق می‌یابد؟

الف) آنها در تعادل گرمایی باقی می‌مانند.

ب) آنها دیگر در تعادل گرمایی نیستند. آهن گرم‌تر است.

پ) آنها در تعادل گرمایی نیستند. آب گرم‌تر است.

پاسخ : ب)

۲ در قدیم مرسوم بود سبزیجات و شیشه‌های ترشیجات را برای در امان ماندن از سرما در زیرزمین قرار می‌دادند که در آن تشتی بزرگ از آب در کنار آنها گذاشته می‌شد. چگونه چنین کاری می‌توانست مانع از یخ زدن آنها شود؟

(**راهنمایی :** وقتی آب شروع به یخ‌زدن می‌کند، مقدار زیادی انرژی آزاد می‌شود که دمای زیرزمین را حدود $0^{\circ}C$ نگه می‌دارد. همچنین محلول‌های آبی شیشه‌های ترشیجات، نقطهٔ انجماد پایین‌تری دارند.)

۴ــ۴ــ تغییر حالت‌های ماده

مبحث تغییر حالت‌های ماده، همان‌طور که در ادامه می‌آید، می‌تواند بحثی راه‌گشا در مورد انرژی درونی ارائه کند. بنابراین خوب است به ارتباط این مبحث با انرژی درونی توجه داده شود.

خوب است پیش از ورود به بحث تغییر فاز جامد ــ مایع، از دانش‌آموزان بخواهیم براساس دانسته‌های قبلی، اطلاعات عمومی، تجربه، یا حدس‌های هوشمندانه و علمی خود، در این مورد گفتگو کنند، و با هدایت و راهنمایی معلم، به مطلب موردنظر درسی، نزدیک شوند.

توجه کنید که در فعالیت ۴ــ۷، نقطهٔ سه‌گانه اهمیت ندارد. هدف از این فعالیت آن است که نشان دهد برای افزایش جزئی نقطهٔ ذوب یخ به چه کاهش فشار زیادی نیاز است.

پاسخ فعالیت ۴ــ۷

اگر به ویراست هفتم کتاب حرارت و ترمودینامیک زیمانسکی ــ دیتمن (صفحهٔ ۲۵۲ ترجمهٔ فارسی) رجوع کنید، درمی‌یابید که فشار برای دمای نقطهٔ سه‌گانه آب طبیعی ۶۱۱/۷۳Pa است که می‌بینید چه تفاوت فاحشی با فشار مربوط به دمای $0\,^{\circ}C$ دارد. (توجه کنید این فشار نقطهٔ سه‌گانه را با فشار P_{tr} در «خوب است بدانید دماسنج گازی حجم ثابت» اشتباه نگیرید. P_{tr} فشار گاز دماسنج گازی در نقطهٔ سه‌گانه است.)

پاسخ فعالیت ۴ــ۸

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.)

دانستنی برای معلم

پَس‌دَمِه[۱]

وقتی هواپیما در ارتفاع زیاد در حرکت است، گردبادهایی توسط نوک بال‌ها (و سایر قسمت‌های نوک‌تیز بدنهٔ هواپیما) در هوا ایجاد می‌شود. بخار آب موجود در دود خارج‌شده از موتور هواپیما، درون این گردبادها و در هوای بسیار سردِ ارتفاع زیاد، تبدیل به قطره‌های کوچک آب، یا بلورهای ریز و درشت یخ می‌شود. قطره‌های آب یا بلورهای یخ که درون این گردبادها ایجاد شده‌اند، نور خورشید را شدیداً پراکنده می‌کنند و دنباله‌های گردبادی ایجادشده در پشت هواپیما را قابل مشاهده می‌سازند. چون پراکندگی نور سفید خورشید به‌وسیلهٔ این قطره‌های آب و بلورهای یخ، معمولاً به طول موج نور بستگی ندارد، این پَس‌دَمه‌ها معمولاً سفیدرنگ هستند.

معمولاً پس‌دمه‌هایی که از قطرات آب تشکیل شده‌اند کوتاه‌اند، زیرا این قطره‌ها به‌سرعت تبخیر می‌شوند. ولی پس‌دمه‌هایی که از بلورهای ریز یخ تشکیل می‌شوند (برخلاف بلورهای یخ بزرگ که فرومی‌افتند)، مدت بیشتری باقی می‌مانند و بنابراین پس‌دمه‌های بلند و بادوامی هستند.

گاه این پس‌دمه‌ها روی دود، مه، یا بخاری که در ارتفاعات پایین‌تر قرار دارد، سایه می‌اندازند و مانع رسیدنِ نور خورشید به آنها می‌شوند. در چنین مواقعی، این سایه به شکل خطی تیره در آسمان ظاهر می‌شود. جالب آن است که در چنین وضعیتی، اگر خورشید در پشت هواپیما باشد، خط تیرهٔ سایه در جلوی هواپیما دیده می‌شود.

پدیدهٔ مشابه دیگری هنگام عبور هواپیما از میان ابری که حاوی قطرات آب و بلورهای ریز یخ است رخ می‌دهد. گرمای ایجادشده به‌وسیلهٔ موتور هواپیما باعث تبخیر قطره‌های آب و بلورهای یخ درون ابر می‌شود و خط تاریکی به نام *دنبالهٔ اتلافی*[۲] در آسمان ظاهر می‌گردد.

گاه بخار آب موجود در دود خارج‌شده از موتور هواپیما، ابر را آن‌چنان انباشته از بخار می‌کند که بلورهای یخی بسیار بزرگ در ابر ایجاد شده و فرومی‌افتند و در این وضعیت نیز ممکن است یک دنبالهٔ اتلافی در آسمان ظاهر شود.

۱ــ Contril مخفف Condensation trail

۲ــ Distrail

پاسخ فعالیت ۴ــ۹

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 آب به یخ 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 بر 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، $-21^{\circ}C$ 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.

در اینجا نیز، همچون بحثِ تغییر فاز جامد ــ مایع، خوب است، گفت‌وگویی مقدماتی، با همان الگو و اهداف، میان دانش‌آموزان طراحی کنیم. به علاوه خوب است با پرسش‌های برانگیزندهٔ بیشتری مبحث را شروع کرد، به‌خصوص که دانش‌آموزان با این موارد آشنا‌ترند.

پاسخ فعالیت ۴ــ۱۰

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 ۴ــ۵ نیز این بستگی به دما به‌وضوح نمایان است.

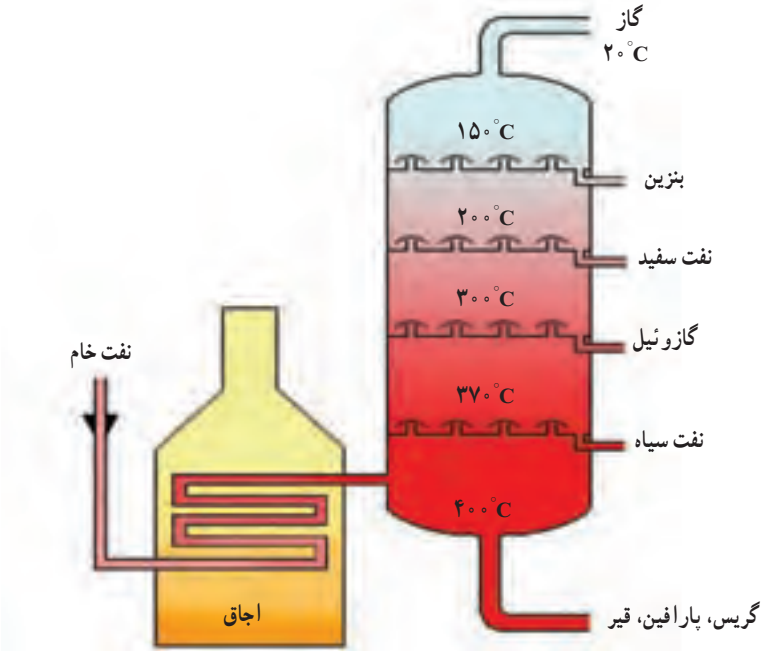
افزایش مساحت نیز موجب افزایش تبخیر سطحی می‌شود. چرا که هر چه مساحت سطح آزاد بیشتر شود بدیهی است که مولکول‌های بیشتری برای فرار از سطح آزاد مایع وجود خواهد داشت.

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 خلأ 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 آزادشده از محل دور می‌شوند و نمی‌توانند انرژی را برگردانند که به این در قسمت (ب) نیز پرداختیم. اگر این از دست‌دادن 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. عرق‌کردن بدن و یا خیساندن لباس و پوشیدن آن و سپس قرارگرفتن در زیر سایه و محلی بادگیر نیز به‌طور مشابه می‌تواند باعث خنک‌شدن شخص شود.

پاسخ فعالیت ۴ــ۱۱

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.



پاسخ پرسش ۴ــ۴

این مورد را می‌توان با نیروهای بین مولکولی که در فصل ۳ معرفی شدند توضیح داد (در مورد این نیروها و نقش آنها در حالت‌های ماده مقالهٔ بسیار آموزنده‌ای تحت عنوان «مولکول‌ها، اتم‌ها و ساختار داخلی اتم‌ها» در صفحهٔ ۹ شمارهٔ ۷۲ مجلهٔ رشد آموزش فیزیک به چاپ رسیده است که توصیه می‌شود حتماً به آن رجوع شود). 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 ۴ــ۱۰ الف).

توجه کنید که بادگیرها اقسام متفاوتی دارند و در اینجا به یکی از انواع آن پرداخته شده است.

فیلم

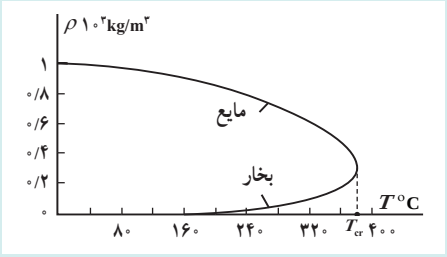
در این فیلم چگونگی ورود و خروج جریان‌های هوا را در نوعی از بادگیرها مشاهده می‌کنید.

دانستنی برای معلم

بخار اشباع شده

اگر مقداری کافی از مایعی را در ظرف دربسته‌ای بریزیم، قسمتی از مایع بخار می‌شود و بقیهٔ آن به شکل مایع باقی می‌ماند. اما فرایند بخار شدن متوقف نمی‌شود. همراه فرایند بخارشدن، فرایند جبران‌کنندهٔ چگالش بخار به آب نیز صورت می‌گیرد. پس از مدتی، بین فرایند بخارشدن و فرایند چگالش، تعادل برقرار می‌شود. به بخاری که با مایع خود در حالت تعادل است، *بخار اشباع شده* گفته می‌شود. هرچه دمای ظرف کمتر باشد، بخار کمتری را می‌تواند در حالت اشباع خود بگنجاند.

برای اندازه‌گیری و گزارش میزان بخار آب موجود در هوا، معمولاً از کمیت‌های *رطوبت مطلق هوا* و *رطوبت نسبی* آن استفاده می‌شود. رطوبت مطلق هوا، جرم بخار آب موجود در $1\,m^3$ هوا، یعنی چگالی بخار آب در هوای آن محیط است که معمولاً برحسب g/m^3 بیان می‌شود. رطوبت نسبی، نسبت رطوبت مطلق به چگالی بخار اشباع شده در هوا، در آن دما است.



چگالی آب و بخار اشباع آن بر حسب دما

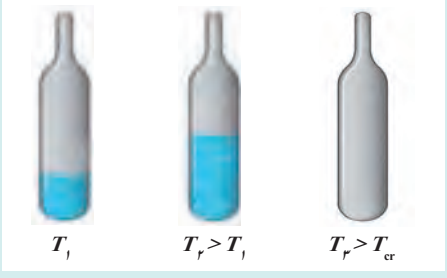
دانستنی برای معلم

نقطهٔ بحرانی و حالت گازی

برای هر ماده‌ای دمایی موسوم به ***دمای بحرانی*** وجود دارد که در دمای بالاتر از آن دما، هر چقدر هم فشار زیاد و ماده متراکم گردد، ماده به مایع تبدیل نمی‌شود. اگر منحنی‌های بستگی چگالی بخار اشباع مایع و خودِ آن مایع با دما رسم شود، خواهیم دید در نقطهٔ مشخصی به هم می‌رسند. بنابراین دمای بحرانی، دمایی است که در آن چگالی بخار اشباع شده با چگالی مایع برابر است و مرز بین مایع و بخار ناپدید می‌شود.

مثلاً این دما برای آب $T_{cr} = ۳۷۴\,^\circ C$ است. فشار و چگالی متناظر با این دما را فشار و چگالی بحرانی می‌گویند که برای آب $P_{cr} =$ ۲۱۸ atm و $\rho_{cr} = ۳۲۹\,kg/m^3$ است. آزمایش نشان می‌دهد که در دمای بالاتر از دمای بحرانی، هرچه فشار بالاتر هم برود، دو حالت مجزای مایع ـ بخار که با فصل مشترک مشخصی از هم جدا شده باشند (آن‌طور که به‌خاطر میعان بخار در دماهای پایین دمای بحرانی مشاهده می‌شود) وجود ندارد و بنابراین در دمای بالاتر از دمای بحرانی، تعادل مایع ـ بخار امکان‌پذیر نیست.

حالت بحرانی ماده را می‌توان به‌وسیلهٔ آزمایش نمایش داد. در یک فلاسک شیشه‌ای کوچک سربسته که دارای مقداری اتر است در دمای پایین، مرز کاملاً مشخصی بین مایع و بخار اشباع‌شده دیده می‌شود. اگر فلاسک گرم شود، با وجود اینکه بخشی از مایع هنگام گرم شدن بخار می‌شود، سطح مایع بالا می‌آید. این امر نشان می‌دهد چگالی مایع کاهش و چگالی بخار افزایش قابل ملاحظه‌ای پیدا کرده است. در دمای بحرانی مرز بین مایع و بخار ناپدید می‌شود و تمام حجم مادهٔ موجود در فلاسک ابری می‌شود.



به وضعیت بالای نقطهٔ بحرانی که در آن فشار و دما افزایش یابد، حالت ***شارهٔ اَبَر بحرانی***[1] گفته می‌شود.

۱. برای اتان[2] در زیر نقطهٔ بحرانی، فازهای گاز و مایع به طور همزیست وجود دارد.

۲. در نقطهٔ بحرانی (۳۲/۱۷°C و ۴۸/۷۲ bar)، فازهای مجزای بخار و مایع وجود ندارد و شیری رنگ است.

۳. بالای نقطهٔ بحرانی، شارهٔ اَبَر بحرانی داریم.

تمرین‌های پیشنهادی بخش ۴ـ۴

۱ در گرماسنجی با ظرفیت گرمایی ناچیز، ۲۰۰g آب با دمای ۲۵/۰°C وجود دارد. قطعه یخی به جرم ۱۰۰g و دمای ۱۵/۰°C− را درون آن می‌اندازیم. پس از مبادلهٔ گرما و برقراری تعادل گرمایی، مخلوطی از آب و یخ بر جای می‌ماند. جرم یخ باقی‌مانده چند گرم است؟

پاسخ : ۴۶/۷g

۲ مقداری آب با حجم $V=0/80\,L$ و دمای $\theta=15^{\circ}C$ روی یک گرمکن برقی با توان مفید ۲۰۰W قرار دارد. آب تا نقطهٔ جوش آن گرم می‌شود. اگر ۱۰٪ از آب به بخار تبدیل شود، زمان لازم برای این فرایند چقدر است؟

پاسخ : ۳۹ min

پرسش‌های پیشنهادی بخش ۴ـ۴

۱ چرا وقتی باد می‌وزد احساس خنکی می‌کنیم؟

۲ اگر قطعه یخی با دمای ۰°C را در ظرف آبی با دمای ۰°C در اتاقی با دمای ۰°C قرار دهیم چه رخ می‌دهد؟

الف) هیچ،

ب) تمام یخ آب می‌شود.

پ) فقط بخشی از یخ آب می‌شود.

ت) فقط بخشی از آب یخ می‌زند.

پاسخ : الف)

۱ـ Supercritical

۲ـ ethane

پاسخ پرسش ۴ــ۵

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، فشار وارد بر روی سطح مایع درون دیگ و در نتیجه نقطهٔ جوش افزایش می‌یابد و بنابراین مواد درون زودپز در دمای بالاتر و سریع‌تر پخته می‌شود.

ب) در ارتفاعات، فشار هوا پایین‌تر است و بنابراین نقطهٔ جوش پایین می‌آید. مثلاً در قلهٔ دماوند نقطهٔ جوش آب حدود $۸۰^{\circ}C$ و در قلهٔ اورست نقطهٔ جوش آب در حدود $۷۲^{\circ}C$ است. البته این دما برای پختن تخم‌مرغ که به دمای $۷۰^{\circ}C$ نیاز دارد کافی است ولی زمان پختن را طولانی می‌کند. معمولاً گفته می‌شود کوه‌نوردان از نمک استفاده می‌کنند، ولی خوب است بدانید که افزودن $۲۰۰g$ نمک (حدود یک لیوان) در ۱ لیتر آب حداکثر $۲^{\circ}C$ بر نقطهٔ جوش آب می‌افزاید.

پاسخ تمرین ۴ــ۶

گرمای لازم برای تبدیل یخ $-۲۰^{\circ}C$ به بخار $۱۰۰^{\circ}C$ از مجموع گرما در چهار فرایند حاصل می‌شود.

۱) تبدیل یخ $-۲۰^{\circ}C$ به یخ $۰^{\circ}C$

۲) تبدیل یخ $۰^{\circ}C$ به آب $۰^{\circ}C$

۳) تبدیل آب $۰^{\circ}C$ به آب $۱۰۰^{\circ}C$

۴) تبدیل آب $۱۰۰^{\circ}C$ به بخار $۱۰۰^{\circ}C$.

یعنی

$$Q = mc_{\text{یخ}}\Delta\theta_1 + mL_F + mc_{\text{آب}}\Delta\theta_2 + mL_V$$

$$= (۰/۱\,kg)(۲۱۰۰\,J/kg.^{\circ}C)(۲۰^{\circ}C)$$

$$+(۰/۱\,kg)(۳۳۳/۷\times۱۰^{۳}\,J/kg)$$

$$+(۰/۱\,kg)(۴۱۸۷\,J/kg.^{\circ}C)(۱۰۰^{\circ}C)$$

$$+(۰/۱\,kg)(۲۲۵۶\times۱۰^{۳}\,J/kg)$$

$$= ۳۰۵۲۸۰۰\,J \approx ۳/۱\times۱۰^{۶}\,J$$

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

پاسخ فعالیت ۴ــ۱۲

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.

پاسخ فعالیت ۴ــ۱۳

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 ۹». 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».

۴ــ۵ــ روش‌های انتقال گرما

دانش‌آموزان با روش‌های انتقال گرما در دورهٔ اول متوسطه آشنا شده‌اند و می‌توان تدریس این بخش را با یادآوری دانسته‌های قبلی دانش‌آموزان آغاز کرد.

هدف از پرسش ۴ــ۶ بررسی ویژگی‌های دخیل در رسانش گرمایی است.

پاسخ پرسش ۴ــ۶

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 پختن سیب‌زمینی را کاهش نمی‌دهند، ولی اگر سر آزاد سیخ سنگین و یا پهن باشد، این عمل به‌مراتب تأثیرگذارتر است.

پاسخ تمرین ۴ــ۷

از رابطهٔ ۴ــ۱۵ استفاده می‌کنیم.

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

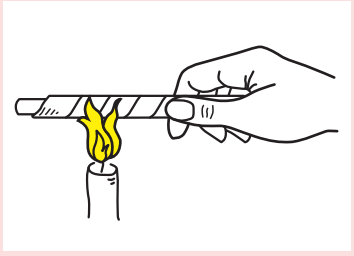
$$= (۰/۶\,\mathrm{W/m.^{\circ}C})(۸۲۰\,\mathrm{m^2})\,\frac{(۲۵^{\circ}\mathrm{C} - ۱۲^{\circ}\mathrm{C})}{۲/۰\,\mathrm{m}}$$

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

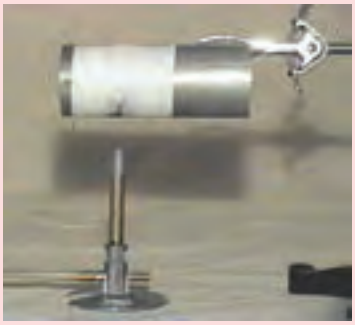
پاسخ فعالیت ۴ــ۱۴

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.

فعالیت پیشنهادی

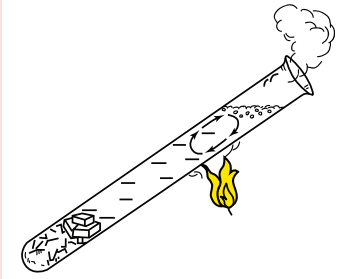


یک نوار باریک کاغذی را دور یک میخ، یا یک میله، یا لوله‌ای فلزی طوری بپیچید که حلقه‌های نوار کاغذی پیچیده شده دور فلز، روی هم افتادگی نداشته باشند و خیلی محکم روی فلز پیچیده شده باشند. اکنون فلز را طوری روی شعله شمع بگیرید که شعله به نوار کاغذی بخورد. کاغذ از دود شعله سیاه می‌شود، ولی تا وقتی که میخ یا میله کاملاً داغ نشود، نمی‌سوزد. ولی اگر در این تجربه به‌جای فلز از میلهٔ شیشه‌ای استفاده کنید، نتیجهٔ آزمایش متفاوت خواهد بود. در مورد هر دو تجربه بحث کنید.



پاسخ : میخ یا میلهٔ آهنی رسانندگی گرمایی بالایی دارد. گرما از نوار کاغذی به میخ یا میلهٔ آهنی انتقال می‌یابد و به سرعت به کل میخ یا میله می‌رسد و در نتیجه از رسیدن کاغذ به دمای اشتعال جلوگیری می‌کند. استفاده از مس نتیجهٔ بهتری به‌دست می‌دهد، زیرا رسانندگی گرمایی مس بیشتر از رسانندگی گرمایی آهن است و با سرعت بیشتری گرما را از کاغذ به میخ یا میله انتقال می‌دهد. رسانندگی گرمایی شیشه بسیار کم است و نمی‌تواند گرما را به سرعت زیاد از کاغذ به میلهٔ شیشه‌ای برساند و بنابراین کاغذ به‌سرعت به دمای اشتعال می‌رسد و آتش می‌گیرد.

فعالیت پیشنهادی



در یک لولهٔ آزمایش مقداری آب بریزید. قطعه یخ کوچکی را درون لوله بیاندازید و برای آنکه یخ ته لوله بماند وزنهٔ فلزی کوچکی روی یخ بگذارید (یا توری فلزی کوچکی را مچاله کرده و روی یخ قرار دهید). اینک لوله را طوری روی شعله بگیرید که شعله با قسمت بالایی لوله برخورد کند. آب بالای لوله به جوش می‌آید اما یخ، ته لوله باقی می‌ماند و آب نمی‌شود. چرا؟ توضیح دهید.

پاسخ : دلیل این امر آن است که فقط آب بالای لوله می‌جوشد. این آب گرم می‌شود و انبساط می‌یابد و چگالی آن کاهش می‌یابد. آبِ انبساط یافته به ته لوله نمی‌رود و جریان همرفتی فقط در آب بالای لوله رخ می‌دهد. جریان آب گرم به آب ته لوله که چگال‌تر است سرایت نمی‌کند. آب پایین لوله از طریق رسانش گرمایی خود آب گرم می‌شود. رسانندگی گرمایی آب بسیار کم است و بنابراین مدت بسیار زیادی طول می‌کشد تا آب ته لوله گرم شود و یخ را آب کند.

فیلم

این فیلم، نمایشی از این فعالیت پیشنهادی را نشان می‌دهد.

هدف از آزمایش ۴ـ۵ آن است که دانش‌آموزان جریان همرفتی را به کمک تغییر چگالی توضیح دهند.

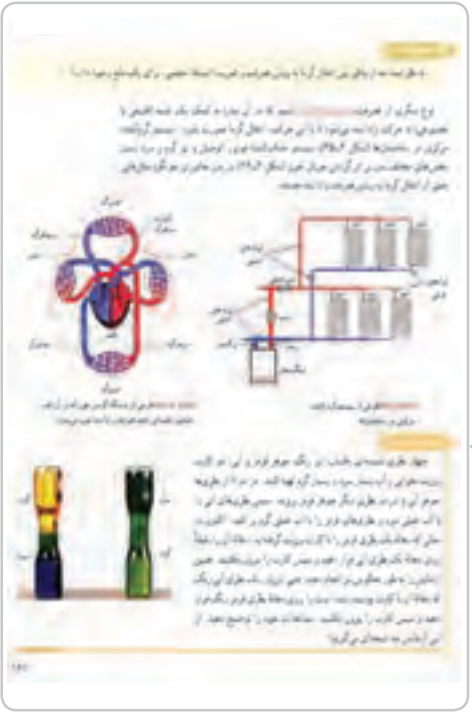
تأکید شود که در پدیدهٔ همرفت، انتقال انرژی گرمایی (بخشی از انرژی درونی که به جنبش مولکول‌های شاره مربوط است)، همراه با انتقال خود شاره صورت می‌پذیرد. در واقع شارهٔ سرد، از منبع گرما، گرما می‌گیرد و سپس شاره که انرژی گرمایی آن افزایش یافته است، جابه‌جا می‌شود.

فیلم

این فیلم، چگونگی نوعی از آزمایش ۴ـ۵ را نشان می‌دهد.

فعالیت پیشنهادی

در یک ظرف شیشه‌ای کوچک مقداری آب بریزید و آن را طوری در قابلمهٔ پر از آبی قرار دهید که ته ظرف شیشه‌ای با ته قابلمه تماس پیدا نکند و آب قابلمه درون ظرف شیشه‌ای نریزد. مثلاً می‌توانید ظرف شیشه‌ای را درون قابلمه آویزان کنید. قابلمه را روی شعله بگذارید تا آب قابلمه به جوش بیاید. از این به بعد هرچه منتظر بمانید آب ظرف شیشه‌ای به جوش نخواهد آمد. چرا؟ توضیح دهید.
(**راهنمایی** : برای آنکه آب به جوش آید کافی نیست تا $100^{\circ}C$ گرم شود. در حالی که هر ذرهٔ آب قابلمه با ته بسیار داغ قابلمه در تماس است، اما آب ظرف شیشه‌ای فقط با آب جوش تماس دارد.)



پاسخ پرسش ۴ــ۷

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 چگالی، کمتر می‌شود و بنابراین جریان‌های همرفتی به‌سهولت بیشتری ظاهر می‌شوند. خوب است بدانید چسبناکی (ویسکوزیته) شاره نیز نقش مهمی در پدیدهٔ همرفت بازی می‌کند و هرچه چسبندگی بیشتر باشد، از بروز جریان‌های همرفتی بیشتر جلوگیری می‌کند.

توجه شود که از فعالیت ۴ــ۱۵ باید به‌عنوان راه‌کاری برای درک پدیدهٔ وارونگی هوا استفاده شود و پس از آن به این پدیده پرداخت.

پاسخ فعالیت ۴ــ۱۵

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 می‌کند 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 حالی که 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» کتاب مطرح‌شده آموزنده است.

فیلم

این فیلم، چگونگی فعالیت ۴ــ۱۵ را نشان می‌دهد.

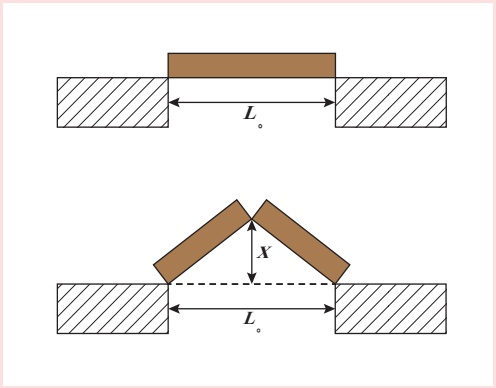
دانستنی برای معلم

توضیح در مورد اینکه چگونه دستگاه گردش خون مانند جریان همرفت عمل می‌کند.

فرض کنید شخصی تب داشته باشد یا فعالیت زیادی کرده باشد و یا به هر دلیل دیگری دمای بدنش افزایش یافته باشد. در این وضعیت، رگ‌های خونی نزدیک پوست شخص انبساط می‌یابد تا خون بیشتری توسط قلب به سطح پوست انتقال یابد. خون، گرما را از درون بدن به پوست می‌رساند و گرما از پوست به محیط سردتر اطراف جریان می‌یابد. در واقع همرفت واداشتهٔ خون مهمترین ساز و کار انتقال گرما در بدن است که برای حفظ دمای بدن در محیط‌های مختلف لازم است.

تمرین‌های پیشنهادی بخش ۴ـ۵

۱ بر اثر افزایش دما به اندازهٔ $۳۲^{\circ}C$، میله‌ای که در مرکز آن شکافی وجود دارد، رو به بالا تاب می‌خورد. اگر فاصلهٔ ثابت $L_{\circ}$ برابر $۳/۷۷m$ و ضریب انبساط خطی میله $۲۵\times۱۰^{-۶}/^{\circ}C$ باشد، بالارفتگی x میله چقدر است؟



پاسخ : $۷/۵\ cm$

۲ یک میلهٔ استوانه‌ای مسی به طول $۱/۲m$ و مساحت مقطع $۴/۸cm^{۲}$ برای جلوگیری از اتلاف گرمایی عایق‌بندی شده است. دو انتهای میله، با قرار دادن یک سر آن در مخلوط آب‌ـیخ و سر دیگر آن در مخلوط آب جوش و بخار، در اختلاف دمای $۱۰۰^{\circ}C$ نگه داشته شده‌اند. یخ با چه آهنگی در انتهای سرد میله، ذوب می‌شود؟

(راهنمایی : $\frac{d\theta}{dt}=\frac{d}{dt}(mL_F)=L_F\frac{dm}{dt}$ و از اینجا dm/dt را محاسبه کنید.)

پاسخ : $۴/۸\times۱۰^{-۲}g/s$

۳ **اثر لیدن فراست :** یک قطرهٔ آب روی ماهی‌تابه‌ای با دمای بین $۱۰۰^{\circ}C$ تا حدود $۲۰۰^{\circ}C$، تقریباً $۱s$ دوام می‌آورد. ولی اگر ماهی‌تابه بسیار داغ‌تر باشد، قطره می‌تواند چند دقیقه دوام آورد. به این اثر، *اثر لیدن فراست* گفته می‌شود که نخستین کاوشگر آن بوده است. عمر طولانی‌تر قطره ناشی از تکیه آن بر لایه نازکی از هوا به طول L است که قطره را از فلز جدا می‌کند. اگر جرم قطرهٔ آب $m=۶/۰۰\times۱۰^{-۶}kg$ و $L=۰/۱۰۰mm$ باشد، با فرض آنکه دمای ثابت ماهی‌تابه $T=۳۰۰^{\circ}C$ و دمای قطره $۱۰۰^{\circ}C$ باشد، زمان دوام قطره را به‌دست آورید (راهنمایی : $Ht=mL_V$، که در آن H آهنگ رسانش گرمایی است.)

پاسخ : $۶۵/۰\ s$

پرسش‌های پیشنهادی بخش ۴ـ۵

۱ دو خانه از جنس یکسانی ساخته شده‌اند، ولی طول، عرض و ارتفاع و ضخامت دیواره‌های یکی، دو برابر خانهٔ دیگر است. برای اینکه این دو خانه در یک روز سرد گرم نگه داشته شود، خانهٔ بزرگ‌تر در مقایسه با خانهٔ کوچک‌تر با چه آهنگی باید گرم شود؟
الف) با دو برابر آن ب) با چهار برابر آن پ) با ۱۶ برابر آن
پاسخ : الف

۲ الف) چرا شعلهٔ آتش خودبه‌خود خاموش نمی‌شود؟ ب) به گمان شما در شرایط بی‌وزنی شکل شعلهٔ آتش چگونه می‌شود و پ) آیا در نبود جریان هوا امکان سوختن ممکن خواهد بود؟ (**راهنمایی :** به پدیدهٔ همرفت توجه کنید.)
پاسخ : الف) به دلیل پدیدهٔ همرفت ب) شکل کره‌ای پ) خیر

۳ به گمان شما اگر در اعماق فضا بدون لباس فضانوردی حرکت کنید، سوای کمبود اکسیژن چه خطری فضانوردان را تهدید می‌کند؟
پاسخ : یک دلیل اینکه در دمای اتاق احساس راحتی می‌کنید این است که تابش فروسرخی که از دیوارها به شما گسیل می‌شود و تابش فروسرخی که از شما به دیوارها گسیل می‌شود تقریباً برابر است. در نتیجه، شما تقریباً با همان آهنگی که انرژی از دست می‌دهید، انرژی به دست می‌آورید. اگر تابشی که به شما می‌رسد به میزان چشمگیری کاهش یابد احساس سرما می‌کنید. اگر در عمق فضا، دور از سفینه، راه بروید دیگر دیواری وجود نخواهد داشت و سریعاً احساس سرما خواهید کرد. آهنگی که با آن انرژی گرمایی را از دست می‌دهید حدود ۸۰۰ وات است. البته این مورد سوای خطرات دیگری است. مثلاً وقتی آب در خلأ قرار می‌گیرد نخست می‌جوشد (بخشی از آن بخار می‌شود) و سپس یخ می‌بندد و چون در بدن مقدار زیادی آب وجود دارد می‌توان حدس زد چه بلایی بر سر بدن خواهد آمد.

۴ چرا یخچال‌های سوپرمارکت‌ها بهتر است دردار و افقی باشند؟
(**راهنمایی :** به جریان همرفت و اینکه هوای سرد، چگال‌تر است بیندیشید.)

۵ چرا برخی اوقات در حوالی عصر یک روز تابستانی، حشرات در بالای درخت ستونی را تشکیل می‌دهند، طوری که گویی دودی در بالای درخت تشکیل شده است؟
پاسخ : معمولاً در این هوا، درختان به‌سرعت زمین اطراف خود خنک نمی‌شوند و بنابراین هوای گرم از آن بالا می‌رود و ظاهراً حشرات جذب این هوای گرم شده و ستونی همرفتی را تشکیل می‌دهند.

۶ چرا اگر با زبان خود لولهٔ فلزی سردی را لیس بزنید، ممکن است زبانتان به لوله بچسبد؟

توجه کنید که رسانش و در پی آن همرفت، بر اثر گرم شدن لایهٔ هوای در تماس با بدن صورت می‌گیرد.

به این گیاهان اصطلاحاً *ترموجنیک* (Thermogenic) می‌گویند. خوب است دانش‌آموزان را ترغیب کنید موارد دیگری از این گیاهان را نیز بیابند.

پاسخ فعالیت ۴ــ۱۶

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 گفتیم نوری که به پره‌ها می‌تابد طرف سفید را بیشتر هل می‌دهد. به فیلم مربوطه در سایت گروه مراجعه شود.

تبصره : در مورد حرکت پره‌ها در رادیومتر کروکس برخی استدلال می‌کنند گرچه طرف سیاه دمای بالاتری دارد، اما در عوض در نزدیکی آن چگالی مولکول‌ها پایین‌تر است. با این حال اینشتین ثابت کرد که اختلاف دما عامل مؤثرتری است، اما چگالی پایین مولکول‌ها در حذف سیاه موجب می‌شود پره‌ها با سرعت پایین‌تری از آنچه مورد انتظار است، بچرخند.

فیلم

در این فیلم‌ها وابستگی تابش گرمایی سطوح را به رنگ آنها مشاهده می‌کنید.

فیلم

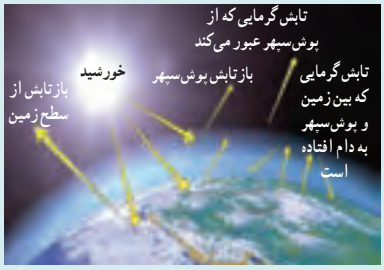
این فیلم چگونگی کار یک رادیومتر کروکس را نشان می‌دهد.

دانستنی برای معلم

اثر گلخانه‌ای[۱] : بخشی از نور خورشید با عبور از جوّ زمین به سطح آن می‌رسد و بخش عمدهٔ این نور جذب زمین می‌شود. زمین گرم می‌شود و با تابش گرمایی، از خود امواج فروسرخ گسیل می‌کند. وجود گازهایی مانند کربن‌دی‌اکسید (CO_2) که مولکول‌های جذب‌کنندهٔ بسیار خوبی برای امواج فروسرخ هستند، در لایهٔ پوش‌سپهر[۲] جوّ زمین، باعث کدر شدن این لایه برای تابش‌های فروسرخ می‌شود. این لایه بخش عمدهٔ تابش گرمایی حاصل از زمین را جذب می‌کند. خودِ این لایه نیز تابش گرمایی می‌کند. بخشی از تابش گرمایی لایهٔ پوش‌سپهر از جو خارج می‌شود، ولی بیشتر آن به زمین بازمی‌گردد و به این ترتیب، رفت و برگشتی از تابش گرمایی بین این لایه و سطح زمین رخ می‌دهد. در تشابه با گلخانه‌ها که با ایجاد محیطی محصور، مانع از جریان هوا و خروج هوای گرم از گلخانه‌ها می‌شوند، به این به‌دام‌افتادن تابش گرمایی بین لایهٔ پوش‌سپهر و سطح زمین اثر گلخانه‌ای می‌گویند و به گازهای موجود در لایهٔ پوش‌سپهر که سبب این پدیده می‌شوند گازهای گلخانه‌ای می‌گویند[۳]. اگر لایهٔ پوش‌سپهر وجود نداشت، دمای میانگین سطح زمین چیزی در حدود $-18^{\circ}C$ می‌شد، ولی اینک این دما چیزی در حدود $+15^{\circ}C$ است؛ یعنی اثر گلخانه‌ای حدود $33^{\circ}C$ به دمای میانگین سطح زمین افزوده است.

با افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای در پوش‌سپهر، اثر گلخانه‌ای تشدید می‌شود و بدین‌ترتیب، دمای زمین افزایش می‌یابد. در چند دههٔ اخیر به دلیل فعالیت‌های مختلف صنعتی و افزایش آلاینده‌هایی مثل CO_2 در جوّ زمین، غلظت گازهای گلخانه‌ای در لایهٔ پوش‌سپهر زیادتر از قبل شده و دمای سطح زمین بالا رفته است.

گفتنی است که همواره در حالت تعادل، انرژی تابشی به سطح زمین با مجموع انرژی‌های بازتابیده از سطح زمین و تابش گرمایی زمین برابر است. همین برابری در خارجی‌ترین سطح جوِّ زمین نیز وجود دارد.



جذب، بازتابش و تابش گرمایی در جو و سطح زمین و اثر گلخانه‌ای

۴ــ۶ــ قوانین گازها

در این فصل به یادسپاری نام‌هایی چون قانون بریل، قانون شارل و... هدف نیست و تنها باید به رفتار گازها اشاره شود و به‌خصوص دانش‌آموزان رشته ریاضی‌فیزیک را برای فصل۵ آماده سازد.

فیلم

در این فیلم، مچاله‌شدن قوطی داغ در آب را مشاهده می‌کنید.

فیلم

در این فیلم، بالا رفتن مایع رنگی در اسباب آزمایش شکل ۴ــ۴۲ را مشاهده می‌کنید.

---

۱. Greenhouse Effect

۲. پوش‌سپهر یا استراتوسفر، لایه‌ای حدوداً در فاصلهٔ ۱۰ تا ۱۸ کیلومتری سطح زمین است.

۳. چون اصطلاح اثر گلخانه‌ای اغلب برای به دام افتادن تابش گرمایی توسط جوّ زمین به‌کار می‌رود، به غلط پنداشته می‌شود که گرم بودن گلخانه نیز ناشی از به دام افتادن تابش‌های گرمایی است؛ درحالی‌که دلیل گرم بودن گلخانه‌ها، عدم جریان هوا در آنها است.

توجه کنید که هدف از فعالیت ۴ــ۱۷، آزمودن رابطهٔ ۴ــ۱۴ است.

پاسخ فعالیت ۴ــ۱۷

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 می‌یابد 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.

در این فیلم چگونگی مدرّج کردن یک دماسنج گازی حجم ثابت را مشاهده می‌کنید.

فیلم

توجه کنید هدف از فعالیت ۴ــ۱۸، آزمودن قوانین گازها و کاربرد آنها است.

پاسخ فعالیت ۴ــ۱۸

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 می‌کند و 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.

فیلم

این فیلم تقریباً شبیه‌سازی آزمایشگاهیِ اتفاقی است که انتظار داریم در فعالیت ۴ــ۱۸ رخ دهد.

لازم است، تفاوت گاز کامل و گاز واقعی برای دانش‌آموزان تبیین شود. رابطهٔ $nRT=PV$ که برای گازهای کامل برقرار است، در گازهای واقعی فقط به نتایج تقریبی می‌انجامد. درواقع، رابطهٔ T ،V ،P و n در گازهای واقعی، مفصل‌تر و پیچیده‌تر از این رابطه برای گازهای کامل است.

لازم است تأکید شود که در رابطهٔ قانون گازهای کامل، باید دما حتماً برحسب کلوین باشد، و همچنین، فشار، فشار مطلق گاز باشد و نه فشار سنجه‌ای آن.

فعالیت پیشنهادی

مقداری آب را در یک بشقاب بریزید. بعد شمع روشنی را در وسط بشقاب قرار دهید و آنگاه یک ظرف استوانه‌ای (یا لیوان بلند) را روی شمع داخل بشقاب قرار دهید. مشاهده می‌کنید آب داخل بشقاب به درون ظرف شیشه‌ای کشیده می‌شود و بالا می‌رود. دلیل آن را توضیح دهید.

پاسخ : اغلب به غلط توضیح می‌دهند که چون ضمن سوختن شمع، اکسیژن می‌سوزد، مقدار گاز درون استوانهٔ شیشه‌ای کم می‌شود. فشار گاز درون استوانه کاهش می‌یابد و در نتیجه این اتفاق می‌افتد. این توضیح نادرست است. علت اصلی، گرم شدن هوای درون استوانه و سپس سرد شدن دوبارهٔ آن است. زیرا اولاً می‌توان بدون شمع شعله‌ور نیز این آزمایش را انجام داد. یعنی ظرف شیشه‌ای را با آب جوش آب کشید و گرم کرد و سپس همین آزمایش را انجام داد.

ثانیاً اگر به جای شمع یک تکه پنبهٔ آغشته به الکل را که مدت زیادتری می‌سوزد و هوای درون استوانه را بیشتر گرم می‌کند استفاده کنیم، آن‌وقت آب تقریباً تا وسط ظرف شیشه‌ای بالا می‌رود، در صورتی که می‌دانیم اکسیژن فقط در حدود $\frac{۱}{۵}$ حجم هوا را تشکیل می‌دهد. توضیح درست این است که شمع شعله‌ور، هوای داخل استوانهٔ شیشه‌ای را گرم می‌کند، فشار این هوا افزایش می‌یابد و در نتیجه مقداری از هوای داخل استوانهٔ شیشه‌ای از زیر آن خارج می‌شود. وقتی شمع خاموش می‌شود، هوای داخل استوانه از نو سرد و ضمن سردشدن فشارش کم می‌شود و بر اثر فشار هوای بیرون استوانهٔ شیشه‌ای، آب از بشقاب به زیر استوانه‌ای و سپس به داخل آن می‌رود.

این فیلم، نمایشی از این فعالیت پیشنهادی را نشان می‌دهد.

فیلم

فعالیت پیشنهادی

بادکنکی را باد کنید و درون فریزر قرار دهید. پس از آنکه بادکنک به‌خوبی سرد شد آن را از فریزر بیرون آورید و در هوای ترجیحاً گرم اتاق بگذارید. صبر کنید تا بادکنک به دمای اتاق برسد. الف) در مورد تغییر دما، حجم، و فشار هوای درون بادکنک، در مدتِ زمانِ پس از بیرون آمدن از فریزر بحث کنید. ب) در فیلم، تجربه‌ای را می‌بینید که بخشی از آن، تجربه‌ای است که به شما پیشنهاد کردیم. در مورد شباهت و تفاوت این دو تجربه نظر دهید.

پاسخ : الف) با بیرون آوردن بادکنک از فریزر، دمای هوای داخل بادکنک زیاد می‌شود. با افزایش دما، اگر حجم بادکنک ثابت می‌ماند، طبق قانون گازهای کامل، فشار هوای درون بادکنک زیاد می‌شد. ولی به‌دلیل کشسان بودن پوستهٔ بادکنک، آنچه در اینجا رخ می‌دهد، افزایش همزمان فشار و حجم بادکنک است. افزایش فشار هوای درون بادکنک، باعث می‌شود پوستهٔ کشسان بادکنک بزرگ‌تر شده و حجم هوای داخل آن نیز افزایش یابد. اگر فشار، حجم، و دمای اولیهٔ هوای درون بادکنک را با $P_۱$، $V_۱$ ،

T_1 و مقادیر نهایی این سه کمیت را با P_2، V_2، T_2 نشان دهیم بنا به قانون گازهای کامل داریم $\frac{P_2V_2}{T_2}=\frac{P_1V_1}{T_1}$. چون مقادیر نهایی هر سه کمیت P، V و T از مقادیر اولیهٔ آنها بیشتر است، تساوی $\frac{P_2V_2}{T_2}=\frac{P_1V_1}{T_1}$ نتیجه می‌دهد که درصد افزایش دما از درصد افزایش هر یک از دو کمیت P و V بیشتر است.

ب) فیلم، بادکنک مچاله شده‌ای را نشان می‌دهد که از ظرف نیتروژن مایع بیرون آورده می‌شود و در هوای اتاق باد می‌شود. در لحظات اولیهٔ این رخداد، آنچه درون بادکنک مچاله شده قرار دارد، هوای مایع است. مدتی طول می‌کشد تا این هوای مایع، به گاز تبدیل شود و به اندازهٔ کافی رقیق شود تا بتوان قانون گازهای کامل را برای آن به‌کار برد. در این مدت، معادلهٔ $\frac{P_2V_2}{T_2}=\frac{P_1V_1}{T_1}$ برای هوای درون بادکنک برقرار نیست. پس از آنکه هوای درون بادکنک به اندازهٔ کافی رقیق شد، همان توضیحات قسمت الف درست است.

فیلم

این فیلم، باد شدن بادکنک مچاله‌شده را پس از بیرون آوردن از ظرف نیتروژن مایع نشان می‌دهد.

تمرین‌های پیشنهادی بخش ۴ـ۶

۱ ظرفی با تیغه‌هایی به سه بخش با حجم‌های V_1، V_2 و V_3 تقسیم شده است. این بخش‌ها شامل گازهایی در فشارهای P_1، P_2 و P_3 هستند. اگر دما تغییر نکند، پس از برداشتن تیغه‌ها، فشار داخل ظرف چقدر می‌شود؟

پاسخ : $(P_1V_1+P_2V_2+P_3V_3)\,/\,(V_1+V_2+V_3)$

۲ گاز اکسیژن به حجم $1000\,cm^3$، در دمای $20/0\,^\circ C$ و فشار $1/01\times10^5\,Pa$ آن‌قدر انبساط می‌یابد تا حجم آن به $1500\,cm^3$ و فشار آن به $1/06\times10^5\,Pa$ برسد. الف) تعداد مول‌های موجود در نمونه و ب) دمای نهایی آن چقدر است؟

پاسخ : الف) $3/88\times10^{-2}\,mol$

ب) $493\,K$

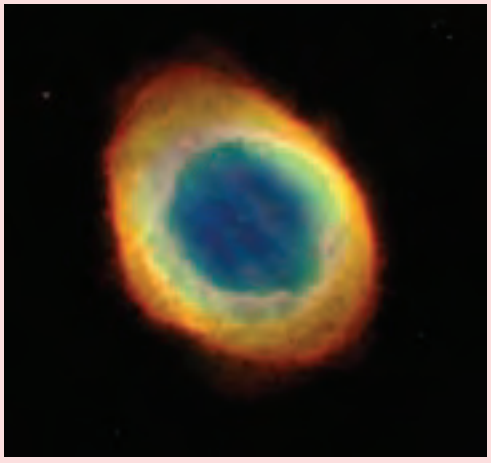
۳ بهترین خلأ آزمایشگاهی، فشاری در حدود $1/01\times10^{-13}\,Pa$ دارد. در دمای $293\,K$، چند مولکول گاز در هر سانتی‌متر مکعب از چنین خلئی وجود دارد؟

پاسخ : ۲۵ مولکول

۴ لاستیک اتومبیل به حجم $۱/۶۴\times۱۰^{-۲}m^۳$ در دمای $۰/۰۰^\circ C$ از هوایی پر شده است که فشار آن ۲۶۶kPa است. وقتی هوای داخل لاستیک به دمای $۲۷/۰^\circ C$ و حجم لاستیک به $۱/۶۷\times۱۰^{-۲}m^۳$ برسد، الف) فشار داخل لاستیک چقدر می‌شود؟ ب) فشارسنج چه فشاری را نشان می‌دهد؟

پاسخ : الف) ۲۸۷kPa

ب) ۱۸۶kPa



۵ سحابی سیاره‌ای، ابری است حلقوی که عمدتاً از گاز هیدروژن با غلظت ۱۰۰۰ مولکول بر سانتی‌متر مکعب و دمای ۱۰۰۰۰K تشکیل شده است. فشار گاز این سحابی چقدر است؟

(راهنمایی : از رابطهٔ $P=nRT/V$ استفاده کنید و در آن به جای n از N/N_A جای‌گذاری کنید.)

پاسخ : $۱/۳۸\times۱۰^{-۱۰}Pa$

پرسش‌های پیشنهادی بخش ۴ـ۶

۱ اگر ۱/۰L گاز محبوس در ظرفی، در دمای ۸۰۰K به حجم ۰/۵۰L فشرده شود، درحالی‌که فشار آن از ۱/۰atm به ۰/۵atm تغییر کند، دمای حاصل برحسب کلوین چقدر خواهد شد؟

الف) ۸۰۰K

ب) ۶۰۰K

پ) ۴۰۰K

ت) ۲۰۰K

پاسخ : (ت)

۲ آیا امکان دارد رفتار گازی از رابطهٔ «ثابت $= PV^۲$» پیروی کند؟

پاسخ : خیر. زیرا در آن صورت درخواهید یافت که با افزایش حجم گاز، دما کاسته می‌شود.

راهنمای پرسش‌ها و مسئله‌های 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 $\theta = 800\,K$ سه رقم بامعنا و در $V = 20\,L$ دو رقم فرض کرده‌ایم.

۱

الف)

$$0\,K = -273/15\,^{\circ}C \simeq -273\,^{\circ}C$$
$$F = [(-273/15)(\frac{9}{5}) + 32/00]\,^{\circ}F = -459/67\,^{\circ}F \simeq -460\,^{\circ}F$$

ب)

$$273\,K = -0/15\,^{\circ}C \simeq 0\,^{\circ}C$$
$$F = [(0/15)(\frac{9}{5}) + 32/00]\,^{\circ}F = +31/73\,^{\circ}F = 32\,^{\circ}F$$

پ)

$$373\,K = 99/85\,^{\circ}C \simeq 100\,^{\circ}C$$
$$F = [(99/85)(\frac{9}{5}) + 32/00]\,^{\circ}F = 211/73\,^{\circ}F = +212\,^{\circ}F$$

ت)

$$546\,K = 272/85\,^{\circ}C \simeq 273\,^{\circ}C$$
$$F = [(272/85)(\frac{9}{5}) + 32/00]\,^{\circ}F = 523/73\,^{\circ}F = 523\,^{\circ}F$$

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

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

۴ الف) ۲ و ۳ یکسان، سپس ۱، سپس ۴
ب) ۳، ۲، سپس ۱ و ۴ یکسان
پ) همه یکسان.

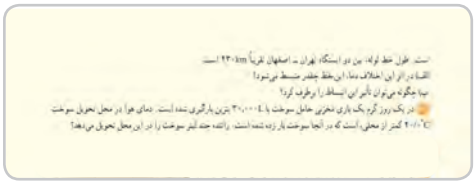
۵

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

۶

$$\Delta V_{\text{گلیسیرین}} = \beta_{\text{گلیسیرین}} V_1 \Delta\theta$$
$$\Delta V_{\text{ظرف}} = \beta_{\text{آلومینیم}} V_1 \Delta\theta$$
$$V = \Delta V_{\text{گلیسیرین}} - \Delta V_{\text{ظرف}} = (\beta_{\text{گلیسیرین}} - \beta_{\text{آلومینیم}}) V_1 \Delta\theta$$
$$= (۴۹\times۱۰^{-۵}\,K^{-۱} - ۳(۲۳\times۱۰^{-۶}\,K^{-۱}))(۴۰۰\,cm^۳)(۳۰/۰^\circ C - ۲۰/۰^\circ C)$$
$$= ۱/۶۸۴\,cm^۳ \simeq ۱/۷\,cm^۳$$

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



$$\Delta h = \beta h_1 \Delta\theta \Rightarrow h_۲ = h_1(۱ + \beta\Delta\theta)$$

با توجه به $h_۲ = h_1 + \Delta h$ داریم :

$$\theta_۲ = \frac{\Delta h}{\beta(h - \Delta h)} + \theta_1$$
$$= \frac{۵۰\,cm}{(۱/۰۰\times۱۰^{-۳}\,^\circ C)(۱۰۰۰\,cm - ۵۰\,cm)} - ۱۰^\circ C$$
$$= ۴۲/۶۳^\circ C \approx ۴۳^\circ C$$

۸ الف) چون با کاهش دما، نوار به سمت پایین خم شده است ضریب انبساط طولی نوار پایین باید بیشتر از نوار بالایی بوده باشد. اگر به جدول ۴ــ۱ 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.

۹ الف)

$$\Delta L = \alpha L_1 \Delta T = (۱۰\times۱۰^{-۶}\,K^{-۱})(۲/۳۰\times۱۰^۵\,m)(۶۰\,K)$$
$$= ۱/۳۸\times۱۰^۲\,m \approx ۱/۴\times۱۰^۲\,m$$

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 دما حدوداً برابر با نصف میانگین مقدارهای بیشینه و کمینهٔ سالیانه‌اش است.

۱۰

$$\Delta V = \beta V_1 \Delta\theta$$
$$\Rightarrow V_۲ = V_1(۱ + \beta\Delta\theta)$$
$$= (۳۰۰۰۰\,L)(۱ + (۱/۰۰\times۱۰^{-۳}\,K^{-۱})(-۲۰/۰\,K))$$
$$= ۲۹۴۰۰\,L \simeq ۲/۹۴\times۱۰^۴\,L$$

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

$$Pt = mc\Delta\theta$$

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

$$\Rightarrow t = ۲۹۳/۰۹\,s \simeq ۲/۹۴ \times ۱۰^۲\,s$$

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

$$Pt = mc\Delta\theta$$

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

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

احتمالاً بخشی 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.

۱۳ از شرط تعادل گرمایی در حالت کلی داریم :

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

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

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

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

$$(۰/۲۰۰\,kg)(۳۸۶\,J/kg.^\circ C)(۵۲-۳۰)^\circ C + (۸۰ \times ۱۰^{-۳}\,kg) \times c_{قطعه}\,(۵۲-۳۰)^\circ C + (۵۰ \times ۱۰^{-۳}\,kg)\,(۴۱۸۷\,J/kg.^\circ C)(۵۲-۳۰)^\circ C$$
$$+ (۰/۱۰۰\,kg)\,(۴۱۸۷\,J/kg.^\circ C)(۵۲-۷۰)^\circ C = ۰$$

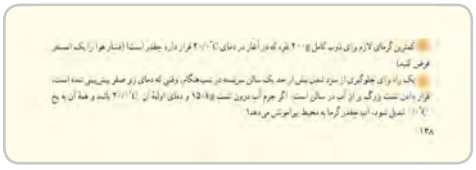
از اینجا خواهیم داشت

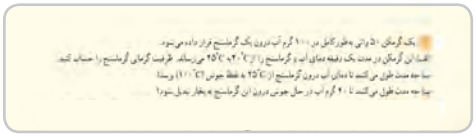
$$c_{قطعه} = ۷۰۰/۳\,J/kg.^\circ C \approx ۷/۰ \times ۱۰^۲\,J/kg.^\circ C$$

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

۱۵ این پدیده به تبخیر سطحی مربوط است. یعنی با فرار مولکول‌های 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.

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





۱۷ با دادن گرما به نقره، ابتدا دمای آن از $۲۰/۰^{\circ}C$ به نقطهٔ ذوب $(۹۶۰^{\circ}C)$ می‌رسد و سپس نقره ذوب می‌شود :

$$Q = {}_{۱}Q + Q_{۲} = m_{\text{نقره}}\, c_{\text{نقره}}\, \Delta\theta + mL_F$$
$$= (۰/۲۰۰\,kg)(۲۳۶ J/kg.^{\circ}C)(۹۶۰ - ۲۰/۰^{\circ}C) +$$
$$(۰/۲۰۰\,kg)(۸۸/۳ \times ۱۰^{۳} J/kg) = ۶۲۰۲۸J \approx ۶/۲۰ \times ۱۰^{۴} J$$

۱۸ 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

$$Q = mc_{\text{آب}}\Delta\theta + mL_F$$
$$= (۱۵۰\,kg)(۴۱۸۷\ J/kg.K)(۲۰/۰^{\circ}C) + (۱۵۰\ kg)(۳۳۳/۷ \times ۱۰^{۳} J/kg)$$
$$= ۶/۲۶ \times ۱۰^{۷} J$$

۱۹ 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 :

$$(۵۰\ J/s)(۶۰s) = [(۰/۱۰۰\,kg)(۴۱۸۷\ J/kg.^{\circ}C) + C_{\text{ظرف}}]\ (۲۵ - ۲۰)^{\circ}C$$
$$\Rightarrow C_{\text{ظرف}} = ۱۸۱/۳\ J/^{\circ}C \approx ۱/۸ \times ۱۰^{۲} J/^{\circ}C$$

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

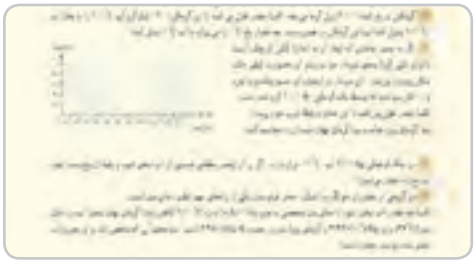
$$t = \frac{(m_{\text{آب}}\, c_{\text{آب}} + C_{\text{ظرف}})\Delta\theta}{P}$$
$$= \frac{[(۰/۱۰۰\,kg)(۴۱۸۷\,J/kg.^{\circ}C) + ۱۸۰\,J/^{\circ}C](۷۵^{\circ}C)}{۵۰\,J/s}$$
$$= ۸۹۸/۰۵s \approx ۹/۰ \times ۱۰^{۲} s$$

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

$$t = \frac{mL_V}{P} = \frac{(۰/۲۰\,kg)(۲/۲۵۶ \times ۱۰^{۶} J/kg)}{۵۰\,J/s} = ۹۰۲/۴s \simeq ۹/۰ \times ۱۰^{۲} s$$



۲۰ الف) گرمای لازم برای تبدیل آب $100^\circ C$ به بخار آب $100^\circ C$ از رابطهٔ $Q=Pt$ به‌دست می‌آید و از طرفی $Q=mL_V$ است. در نتیجه داریم :

$$t=\frac{mL_V}{P}=\frac{(0/100\,kg)(2256\times10^3\,J/kg)}{200/0\,J/s}$$
$$=1128\,s\simeq 1/13\times10^3\,s$$

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

$$(0/100\,kg)(2256\times10^3 m)=(m_{یخ})(333/7\times10^3 J/kg)\Rightarrow m_{یخ}=0/676\,kg$$

۲۱ الف) همان‌طور که شکل نشان می‌دهد تغییر فاز از جامد به مایع در زمان $300\,s$ شروع می‌شود و بنابراین $300\,s$ طول می‌کشد تا جامد به نقطهٔ ذوب خود برسد.

ب) از نمودار درمی‌یابیم دمای جسم پیش از تغییر فاز از دمای $20^\circ C$ به دمای $80^\circ C$ 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

$$c=\frac{Pt}{m\Delta\theta}=\frac{(10/0\,J/s)(300\,s)}{(0/0500\,kg)(80-20)^\circ C}=1/0\times10^3\,J/kg.^\circ C$$

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 $1150-300=850\,s$ می‌شود که البته با توجه به مبحث ارقام معنی‌دار باید آن را به‌صورت $8/5\times10^2\,s$ بیان کنیم. یعنی با دو رقم معنی‌دار و یک رقم حدسی. بنابراین برای L_F داریم :

$$L_F=\frac{(10/0\,J/s)(8/5\times10^2\,s)}{0/0500\,kg}=1/7\times10^5\,J/kg$$

۲۲ عمل تبخیر، عملی گرماگیر است. وقتی بخشی از آب درون چاله بر اثر تبخیر سطحی تبخیر می‌شود، گرمای لازم را از آب باقی‌مانده تأمین می‌کند. بنابراین آب باقیمانده که دمایش صفر درجه است، با از دست دان انرژی گرمایی یخ می‌زند. در حین یخ زدن جرم m_1 آب، مقداری انرژی گرمایی برابر با $Q_1=m_1L_F$ آزاد می‌شود. در حین تبخیر، جرم باقی‌ماندهٔ $m_2=(m-m_1)$، مقدار گرمای جذب‌شده برابر $Q_2=m_2L_V$ است. چون $Q_2=Q_1$ است، داریم :

$$m_1L_F=(m-m_1)L_V$$

که در آن L_V گرمای نهان تبخیر آب در دمای $0^\circ C$ است که آن را از جدول ۴ــ۵ قرار می‌دهیم. در نتیجه برای m_1 داریم

$$m_1=\frac{mL_V}{L_F+L_V}=\frac{(1/00\,kg)(2490\,kJ/kg)}{(2490\,kJ/kg)+(334\,J/kg)}$$
$$=0/880\,kg=880\,g$$

(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.)

۲۳ الف) 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

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

$$= ۰/۰۷۱۹\text{kg} = ۷۱/۹\text{g}$$

ب) حجم آب را با استفاده از تعریف چگالی $\rho = m/V$ به‌دست می‌آوریم. با توجه به اینکه چگالی آب از جدول ۸ــ۱ برابر $۱/۰۰\times۱۰^{۳}\text{kg/m}^{۳}$ است، حجم این جرم از آب چنین می‌شود :

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

۲۴ 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 شارش 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.

۲۵ کلاً روش‌های اتلاف انرژی همان روش‌های انتقال انرژی، یعنی رسانش، تابش و همرفت است و نیز ممکن است انرژی را از طریق تبخیر عرق از پوست خود، از دست بدهید. هدف از پوشیدن پالتو کاهش اتلاف انرژی از راه‌های بالاست. مثلاً پوشش‌هایی از جنس چرم 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.

۲۶ باید از رابطهٔ $Q = k\dfrac{A(T_H - T_L)}{L}$ استفاده کنیم. توجه کنید رسانندگی گرمایی شیشه بین ۰/۶ تا ۱ برحسب W/m.K است که ما در این مسئله آن را برابر ۱ اختیار کرده‌ایم.

الف) داده‌های مسئله عبارت‌اند از

$$t = ۱/۰\,\text{s}$$

$$A = (۲/۰\,\text{m})(۱/۰\,\text{m}) = ۲/۰\,\text{m}^{۲}$$

$$\Delta T = ۷/۰\,\text{K} - ۲/۰\,\text{K} = ۵/۰\,\text{K}$$

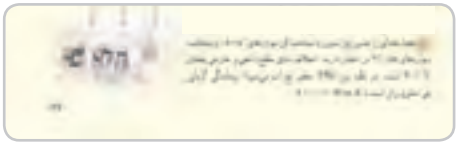
$$L = ۴/۰\times۱۰^{-۳}\,\text{m}$$

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 $t = (۲۴\text{h})(\frac{۶۰\,\text{min}}{۱\text{h}})(\frac{۶۰\,\text{s}}{۱\,\text{min}}) = ۸۶۴۰۰\,\text{s}$ است. بنابراین

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



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

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

بنابراین جرم یخ ذوب شده چنین می‌شود

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

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

۲۹ 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)

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

۳۰ 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

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

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.

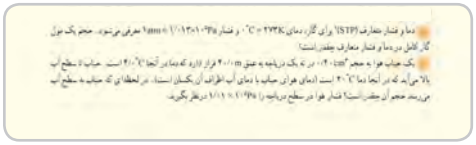
۳۱ در این مسئله حجم ثابت است و بنابراین از قانون گازها داریم :

$$\frac{P_۱}{T_۱}=\frac{P_۲}{T_۲}$$

توجه کنید 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.



۳۲ از رابطهٔ $PV = nRT$ استفاده می‌کنیم :

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

$$= ۰/۰۲۲۴\,\text{m}^{۳} = ۲۲/۴\,\text{L}$$

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

۳۳ از قانون گازهای کامل داریم

$$\frac{P_{۲}V_{۲}}{T_{۲}} = \frac{P_{۱}V_{۱}}{T_{۱}}$$

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

$$P_{۱} = P_{\text{atm}} + \rho gh$$

که در آن ρ چگالی آب و h عمق دریاچه است، بدیهی است که $P_{۲} = P_{\text{atm}}$. از اینجا داریم

$$V_{۲} = \frac{T_{۲}}{T_{۱}} \times \frac{P_{\text{atm}} + \rho gh}{P_{\text{atm}}} \times V_{۱} = \left(\frac{۲۹۳\,\text{K}}{۲۷۷\,\text{K}}\right)\frac{۱/۰۱\times۱۰^{۵}\,\text{Pa} + (۱/۰\times۱۰^{۳}\,\text{kg/m}^{۳})(۹/۸۰\,\text{m/s}^{۲})(۴۰/۰\,\text{m})}{۱/۰\times۱۰^{۵}\,\text{Pa}} \times (۰/۲۰\,\text{cm}^{۳})$$

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

فصل ۵

ترمودینامیک

معادلهٔ حالت ۵ـ۱
فرایندهای ترمودینامیکی ایستاوار ۵ـ۲
تبادل انرژی..... ۵ـ۳
انرژی درونی و قانون اوّل ترمودینامیک..... ۵ـ۴
برخی از فرایندهای ترمودینامیکی ۵ـ۵
چرخهٔ ترمودینامیکی ۵ـ۶
ماشین‌های گرمایی..... ۵ـ۷
قانون دوم ترمودینامیک (به بیان ماشین گرمایی)..... ۵ـ۸
قانون دوم ترمودینامیک و یخچال‌ها..... ۵ـ۹
پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۵

پیامدها

دانش‌آموزان با درک مفاهیم این فصل :

- با فرایندهای ترمودینامیکی ایستاوار و برخی از انواع آن آشنا می‌شوند.
- راه‌های تبادل انرژی بین دستگاه و محیط را می‌شناسند.
- با قانون‌های اول و دوم ترمودینامیک و پیامدهای آنها آشنا می‌شوند.
- به نقش ترمودینامیک در ماشین‌های گرمایی و یخچال‌ها پی می‌برند.

چه شناختی مطلوب است؟

- در بررسی یک تحول ترمودینامیکی، دستگاه و محیط باید مشخص شود.
- از متغیرهای ترمودینامیکی برای توصیف رفتار دستگاه در حالت ترمودینامیکی استفاده می‌شود.
- برای توصیف نموداری فرایندهای ترمودینامیکی باید فرایندها به‌صورت ایستاوار انجام شوند.
- تبادل انرژی بین محیط و دستگاه از دو راه کار و گرما صورت می‌گیرد.
- تغییر انرژی درونی یک دستگاه از مجموع جبری گرمای مبادله‌شده و کار انجام‌شده روی دستگاه به‌دست می‌آید.
- دستگاه‌های ترمودینامیکی با فرایندهای مختلفی می‌توانند از یک حالت به حالت دیگر بروند.
- اگر دستگاه بتواند پس از انجام چند فرایند به حالت اولیهٔ خود بازگردد، یک چرخهٔ ترمودینامیکی را طی کرده است.
- ماشین‌های گرمایی با استفاده از برخی فرایندهای ترمودینامیکی، گرمای حاصل از یک سوخت را به کار تبدیل می‌کنند.
- هدف از ساختن هر ماشین آن است که انرژی گرفته شده را تا بیشترین مقدار ممکن به انرژی مفید خروجی تبدیل کند.
- برای ماشین‌های گرمایی حدّ بالایی برای بازدهٔ آنها وجود دارد که مانع از تبدیل کل انرژی شیمیایی به کار مفید می‌شود.
- در هر یخچال می‌خواهیم با صرف کمترین کار ممکن، بیشترین گرما را از منبع دماپایین بگیریم.

چه پرسش‌هایی اساسی است و باید در نظر گرفته شوند؟

- دستگاه و محیط در تحول‌های ترمودینامیکی چگونه تعیین می‌شوند؟
- برای توصیف یک فرایند ترمودینامیکی توسط متغیرهای ترمودینامیکی، دستگاه باید چگونه تغییر کند؟
- برای توصیف یک حالت ترمودینامیکی از چه متغیرهایی استفاده می‌شود؟
- دستگاه ترمودینامیکی از چه راه‌هایی با محیط تبادل انرژی می‌کند؟
- انرژی درونی یک دستگاه ترمودینامیکی به چه روش‌هایی تغییر می‌کند؟
- تغییر انرژی درونی، گرما و کار مقدار مشخصی از یک ماده در فرایندهای ترمودینامیکی مختلف هم‌حجم، هم‌فشار، هم‌دما و بی‌دررو چگونه است؟
- کار انجام شده در یک چرخه چگونه تعیین می‌شود و رابطهٔ بین کار و گرمای مبادله‌شده چگونه است؟

- در یک چرخهٔ ماشین گرمایی درون‌سوز بنزینی، چه فرایندهایی انجام می‌شود؟
- بازدهٔ ماشین گرمایی چیست و چرا تعریف می‌شود؟
- قانون دوم ترمودینامیک به بیان‌های ماشین گرمایی و یخچالی چه محدودیت‌هایی بر ساخت ماشین‌ها و یخچال‌ها اعمال می‌کند؟
- ضریب عملکرد یخچال چیست و چرا تعریف می‌شود؟

در پایان این واحد یادگیری دانش‌آموزان چه دانش و مهارت‌های اساسی را کسب می‌کنند؟

الف) دانشی

- با مفاهیم دستگاه، محیط، تعادل ترمودینامیکی، متغیرهای ترمودینامیکی، فرایندهای ترمودینامیکی، فرایند ایستاوار، منبع گرما، انرژی درونی و قانون اول ترمودینامیک، فرایندهای هم‌حجم، هم‌فشار، هم‌دما و بی‌دررو، چرخهٔ ترمودینامیکی، ماشین‌های گرمایی برون‌سوز و درون‌سوز، ماشین بخار وات، بازده، قانون دوم ترمودینامیک به بیان‌های ماشین گرمایی و یخچالی، قضیهٔ کارنو، و ضریب عملکرد یخچال آشنا می‌شوند.

ب) مهارتی

- به مهارت‌های رسم نمودار برای فرایندهای ایستاوار ترمودینامیکی، محاسبهٔ تغییر انرژی درونی با تعیین درست علامت‌های کار و گرما، محاسبهٔ کار، گرما و تغییر انرژی درونی در فرایندهای خاص ترمودینامیکی، رسم نمودارهای مختلف فرایندهای خاص، محاسبهٔ کار و گرمای مبادله شده در چرخه‌های ترمودینامیکی، مهارت توصیفی مرحله‌های ماشین بخار و ماشین بنزینی، تعیین بازدهٔ یک ماشین گرمایی، تعیین حدّ بالای بازده بر اساس قضیهٔ کارنو، تعیین ضریب عملکرد یخچال و حدّ بالای آن دست می‌یابند.

بودجه‌بندی پیشنهادی

- **جلسهٔ اول** : تصویر شروع فصل، مقدمه و بخش ۵ــ۱ معادلهٔ حالت.
- **جلسهٔ دوم** : بخش ۵ــ۲، فرایندهای ترمودینامیکی ایستاوار و بخش ۵ــ۳ تبادل انرژی
- **جلسهٔ سوم** : بخش ۵ــ۴ انرژی درونی و قانون اول ترمودینامیک
- **جلسهٔ چهارم** : بخش ۵ــ۵، فرایندهای خاص هم‌حجم و هم‌فشار
- **جلسهٔ پنجم** : بخش ۵ــ۵، فرایندهای خاص هم‌دما و بی‌دررو
- **جلسهٔ ششم و هفتم** : بخش ۵ــ۶، چرخهٔ ترمودینامیک و بخش ۵ــ۷ ماشین‌های گرمایی
- **جلسهٔ هشتم** : بخش ۵ــ۸ قانون دوم ترمودینامیک
- **جلسهٔ نهم** : بخش ۵ــ۹ قانون دوم ترمودینامیک و یخچال
- **جلسهٔ دهم** : جمع‌بندی، رفع اشکال و حل پرسش‌ها و تمرین‌های باقیمانده در پایان فصل
- **جلسهٔ یازدهم** : آزمون تشریحی فصل پنجم

راهنمای تدریس

فصل ۵
ترمودینامیک

در اینجا حتماً باید به وجود دما در کنار کمیت‌های مشاهده‌پذیر در تعریف دانش ترمودینامیک تأکید شود. به‌عبارتی، تأکید شود این حضور دما در کنار کمیت‌های مشاهده‌پذیر است که علم ترمودینامیک را از سایر شاخه‌های علوم که مبتنی بر کمیت‌های مشاهده‌پذیر است، متمایز می کند.

۵ــ۱ــ معادله حالت

دانش‌آموزان در فصل قبل با معادلهٔ حالت گاز کامل آشنا شده‌اند و می‌دانند بنا به این معادله، هرگاه یکی از کمیت‌های P، V یا T را در یک گاز کامل تغییر دهیم، ناگزیر، دست کم یکی از دو کمیت دیگر از این سه کمیت نیز تغییر خواهد کرد. خوب است این دانش قبلی دانش‌آموزان، در طرح درس، مورد استفاده قرار بگیرد و سپس تأکید گردد که در گازهای واقعی نیز، معادله‌هایی وجود دارد که سه کمیت P، V و T را به هم مربوط می‌کند که البته این معادله‌ها پیچیده‌تر از معادلهٔ حالت گاز کامل است.

۵ــ۲ــ فرایندهای ترمودینامیکی ایستاوار

حتماً اشاره شود حالت دستگاه وقتی معلوم است که متغیرهای ترمودینامیکی آن معلوم باشد.

۵ــ۳ــ تبادل انرژی

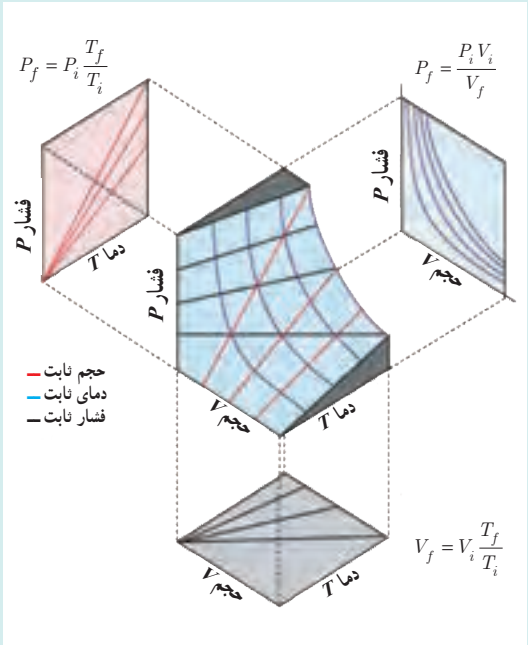
در ادامهٔ بحث متغیرهای ترمودینامیکی، خوب است این پرسش برانگیزاننده برای دانش‌آموزان مطرح شود که چگونه می‌توان متغیرهای دینامیکی را تغییر داد، و ذهن دانش‌آموزان را در پاسخ به این پرسش، به سمت بحث داد و ستد کار و گرما بین محیط و شاره هدایت کرد.

دانستنی برای معلم

سطح P-V-Tیِ گاز کامل

معادلهٔ حالت گاز کامل، $PV = nRT$، در دستگاه مختصات سه بُعدی P-V-T، معرف یک سطح است. این سطح در شکل نشان داده شده است. خطوط قرمزرنگ روی این سطح، مسیرهای حجم‌ثابت را نشان می‌دهند. با تصویر کردن خطوط قرمزرنگ روی صفحهٔ P-T خط‌های راست مبدأگذر حجم‌ثابت به‌دست می‌آیند و به‌خوبی دیده می‌شود که خط‌های مبدأگذر با شیب بیشتر در صفحهٔ P-T، تصویر مسیرهای حجم‌ثابت با حجم کمتر روی سطح P-V-Tیِ گاز هستند.

خطوط سیاه‌رنگ روی این سطح، مسیرهای فشارثابت را نشان می‌دهند. اگر این مسیرها را روی صفحهٔ V-T تصویر کنیم، خط‌های راست مبدأگذر فشارثابت به‌دست می‌آیند و با اندکی دقت می‌بینید که خط‌های مبدأگذر با شیب بیشتر در صفحهٔ V-T، مربوط به مسیرهای فشارثابت با فشار کمتر روی سطح P-V-Tیِ گاز هستند.



منحنی‌های آبی‌رنگ روی این سطح، مسیرهای دماثابت هستند. اگر این منحنی‌ها را روی صفحهٔ $P-V$ تصویر کنیم، خم‌های هم‌دما ایجاد می‌شوند و به‌سادگی دیده می‌شود که خم‌های هم‌دمای بالاتر در صفحهٔ $P-V$ مربوط به مسیرهای دما ثابت با دمای بیشتر روی سطح $P-V-T$یِ گاز هستند.

به این ترتیب همهٔ اطلاعات مربوط به سه صفحهٔ $P-V$، $P-T$ و $V-T$، به‌صورت کامل و یک‌جا، در سطح $P-V-T$یِ گاز در فضای سه بعدی $P-V-T$ وجود دارد. هر نقطه از این سطح مربوط به یک حالت تعادلی گاز کامل است و برعکس، هر حالت تعادلی گاز کامل، با یک نقطه روی این سطح مشخص می‌شود. بنابراین هر فرایند ایستاواری که برای یک گاز کامل رخ دهد، با عبور از بی‌شمار حالت تعادلی، از بی‌شمار نقطهٔ این سطح می‌گذرد و با مسیری روی این سطح مشخص می‌گردد.

سطح $P-V-T$یِ یک گاز واقعی نیز به شکل مشابه، حاوی همین اطلاعات برای گاز واقعی است. سطح $P-V-T$یِ گاز واقعی، متفاوت از سطح $P-V-T$یِ گاز کامل است.

۵ــ۴ــ انرژی درونی و قانون اول ترمودینامیک

همان‌طور که در فصل ۴ اشاره شد، انرژی درونی مجموع انرژی جنبشی ذرات تشکیل‌دهنده (انرژی گرمایی) و انرژی پتانسیل بین آنهاست. بنابراین، مجموع انرژی جنبشی ذرات ماده وابسته به انرژی درونی برای مخزن گازی که ساکن است و برای همان مخزن گاز، با همان دما، که مثلاً درون اتومبیلی در حالت حرکت قرار دارد، فرقی نمی‌کند. همین‌طور، منظور از انرژی پتانسیل هر ذره، انرژی پتانسیل مربوط به برهم‌کنش خود ذرات ماده با یکدیگر است و مثلاً انرژی پتانسیل گرانشی ذرات در اینجا موردنظر نیست. مثلاً وقتی یک مخزن گاز را از روی سطح زمین برمی‌داریم، انرژی پتانسیل وابسته به انرژی درونی تغییر نمی‌کند.

در این بخش باید با ارائه مثال‌هایی، به علامت‌های W و Q و توجیه و تعبیر اینکه دستگاه و محیط چیست پرداخته شود و توضیح داده شود که دستگاه و محیط اختیاری هستند.

در واقع، محتوای قانون اول ترمودینامیک چیزی بیش از اصل پایستگی انرژی است. این قانون از وجود متغیر حالتی به نام انرژی درونی برای یک دستگاه ترمودینامیکی در حالت تعادل صحبت می‌کند که مثلاً برای یک توده گاز رقیق، به تعداد مول و دمای گاز بستگی دارد. تغییر این متغیر حالت، با مجموع کار و گرمای مبادله شده با دستگاه در هر فرایند ایستاوار برابر است.

هدف از این «خوب است بدانید» آن است که به اهمیت قانون اول در زندگی روزمره پرداخته شود.

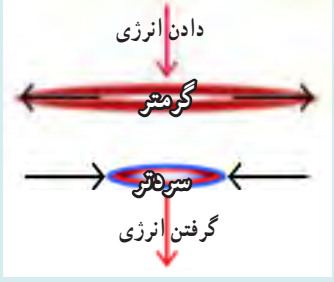
همچنین توجه کنید که در این بحث، به انرژی شیمیایی موادغذایی ذخیره‌شده در بدن، انرژی درونی بدن گفته *نشده* است. بلکه هنگام یک فعالیت، در نتیجهٔ سوختن موادغذایی ذخیره‌شده در بدن، بخشی از انرژی شیمیایی این مواد آزادشده و به‌صورت انرژی گرمایی به اندام‌ها داده می‌شود. به این انرژی گرمایی (پس از سوختن مواد غذایی در بدن)، انرژی درونی بدن گفته شده است.

دانستنی برای معلم

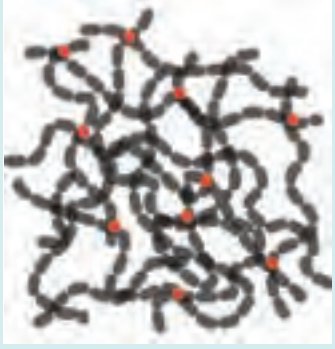
ترمودینامیک کش

وقتی کشی را که روی لب بالایی خود گذاشته‌اید به‌سرعت بکشید، کش به‌قدری گرم می‌شود که می‌توانید گرمای آن را حس کنید. حال اگر همان کش کشیده‌شده را برای چنددقیقه‌ای از لب خود دور کنید و سپس دوباره آن را روی لبتان قرار دهید و این‌بار بگذارید به‌سرعت منقبض شود، می‌توانید سرد شدن کش را حس کنید. قانون اول ترمودینامیک به بیان ساده‌شده بیان می‌دارد که وقتی شما کش را می‌کشید، انرژی شما باید به‌کش انتقال یابد و بدین ترتیب انرژی درونی آن افزایش پیدا کند. وقتی کش را روی لب خود می‌گذارید بخشی از این انرژی درونی افزوده شده به لب شما منتقل می‌شود (شکل الف). وقتی کش را رها می‌کنید، انرژی درونی آن نیز آزاد می‌شود و بدین ترتیب می‌توانید سرد شدن آن را حس کنید.

از دیدگاه میکروسکوپی می‌توان گفت لاستیک موجود در کش لاستیکی از مولکول‌های زنجیره‌ای بلندی تشکیل شده است که مثل ماکارونی چندین دور در هم پیچیده شده‌اند (شکل ب). وقتی کش را می‌کشید، در واقع دارید این مولکول‌ها را می‌کشید و بخشی از کار شما به حرکت گرمایی مولکول‌ها تبدیل می‌شود. گرمایی که روی لبتان حس می‌کنید ناشی از این حرکت گرمایی فزاینده است. اگر بگذارید کش منقبض شود، مولکول‌ها



(الف)



(ب)

برای درهم پیچیده‌شدن کار انجام می‌دهند؛ انرژی موردنیاز برای این کار را انرژی گرمایی مولکول‌ها تأمین می‌کند، و از این‌رو کش سرد می‌شود. همین ساختار مولکولی است که می‌تواند رفتار ویژهٔ لاستیک را توضیح دهد. وقتی کش گرم می‌شود، انرژی گرمایی اضافی مولکول‌ها باعث می‌شود که محکم‌تر درهم پیچیده شوند و در نتیجه طول کش کوتاه شود. و اگر کش سرد شود، از دست دادن انرژی گرمایی به این معناست که مولکول‌ها نمی‌توانند محکم درهم پیچیده شوند و در نتیجه طول کش زیاد می‌شود.
البته مبحث ترمودینامیک کش مسئله‌ای جالب و فراتر از سطح این کتاب است و علاقه‌مندان می‌توانند به مراجع دیگری از جمله مقالهٔ زیر که از اینترنت قابل دسترسی است رجوع کنند :

Exploring the thermodynamics of a rubber band, by David Roundy and Michael Rogers.

تمرین‌های پیشنهادی بخش ۵ـ۴

۱ گلوله‌ای به جرم ۳/۰g با تندی ۴۰۰ m/s وارد تنهٔ درختی می‌شود و از طرف دیگر تنه با تندی ۲۰۰ m/s خارج می‌شود. در این فرایند، چقدر انرژی منتقل شده است؟ (**راهنمایی** : گلوله و تنهٔ درخت را به عنوان دستگاه در نظر بگیرید. هیچ کاری روی این دستگاه یا توسط آن انجام نمی‌شود، هیچ گرمایی به دستگاه اضافه یا کم نمی‌شود زیرا هیچ انرژی‌ای ناشی از انتقال دما به دستگاه وارد یا از آن خارج نمی‌شود. بنابراین انرژی جنبشی به انرژی درونی گلوله و درخت تبدیل می‌شود).
پاسخ : ۱۸۰ J

۲ یخ را می‌توان با ساییدن دو قالب آن به‌یکدیگر، ذوب کرد. اگر بخواهیم ۱/۰۰g یخ ۰°C ذوب شود، چقدر کار برحسب ژول باید انجام گیرد؟
پاسخ : ۳۳۳ J

۳ فرض کنید فلاسکی را با آب ۱۹°C پر کرده‌اید و می‌خواهید با تکان دادن فلاسک، آب آن را به جوش آورید. با فرض اینکه هیچ انرژی گرمایی‌ای از فلاسک تلف نشود و شما در هر دقیقه ۲۷ بار فلاسک را تکان دهید و در هر تکان، آب به اندازهٔ ۳۲cm سقوط کند، شما باید فلاسک را چه مدت تکان دهید تا آب آن به جوش آید؟ (**راهنمایی** : نتیجه به جرم آب بستگی دارد).
پاسخ : $۴/۰\times۱۰^{۳}\,min$ یا تقریباً نزدیک به سه روز.

۴ فرض کنید ۲۰۰J کار توسط دستگاهی انجام شده است و ۷۰/۰cal انرژی به صورت گرما از دستگاه گرفته شده است. تغییر انرژی درونی دستگاه چقدر است؟
پاسخ : −۴۹۳J

پرسش پیشنهادی بخش ۵ــ۴

وقتی یک گاز کامل در ظرفی عایق‌بندی شده و با بالا بردن آرام یک پیستون به‌تدریج افزایش حجم دهد، دمای گاز به این دلیل افزایش می‌یابد که :

الف) مولکول‌ها فضای بیشتری برای حرکت دارند که این به این معنی است که آنها می‌توانند با تندی کمتری حرکت کنند و دما به تندی حرکت مولکول‌ها بستگی دارد.

ب) گاز باید کار انجام دهد. بنابراین انرژی درونی باید کاهش یابد و دما به انرژی درونی بستگی دارد.

پ) با حرکت پیستون، گرمای گاز از دست می‌رود و از دست رفتن گرما به معنی کاهش دما است.

پاسخ : ب

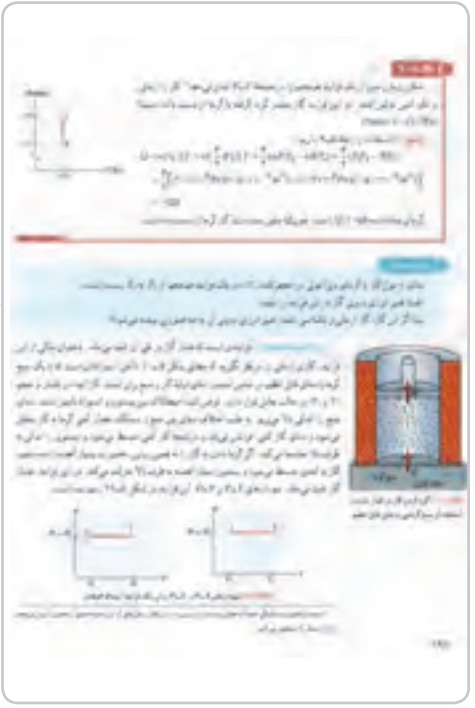
۵ــ۵ــ برخی از فرایندهای ترمودینامیکی

برای ایجاد انگیزه در شروع این بخش، خوب است به دیگ زودپزی اشاره شود که مقدار کمی آب درون آن ریخته شده است. پس از مدتی فنر سوپاپ باز می‌شود. در این فرایند، پیش از باز شدن فنر سوپاپ، دما و فشار برخلاف حجم که ثابت است، افزایش یافته است.

پاسخ پرسش ۵ــ۱

با داغ کردن قوطی، جنبش مولکول‌های گاز درون آن بسیار زیاد می‌شود و فشار وارد از گاز به دیواره‌های آن افزایش می‌یابد و این می‌تواند موجب ترکیدن قوطی شود. در واقع این مثالی از یک فرایند ترمودینامیکی هم‌حجم است که در آن با افزایش دما، فشار افزایش می‌یابد.

گرمای ویژهٔ مولی در حجم ثابت یک گاز به تعداد درجات آزادی گاز مربوط می‌شود. به ازای هر درجه آزادی، $\frac{1}{2}R$ به گرمای ویژهٔ مولی در حجم ثابت تعلق می‌گیرد و چون گاز تک اتمی سه درجه آزادی انتقالی دارد، گرمای ویژهٔ مولی در حجم ثابت برای آن $\frac{3}{2}R$ و برای گازهای دو اتمی که سه درجه آزادی انتقالی و دو درجه آزادی چرخشی دارند، $\frac{5}{2}R$ است.



پاسخ تمرین ۵ــ۱

الف) از قانون اول ترمودینامیک (معادلهٔ ۵ـ۱) استفاده می‌کنیم. با توجه به اینکه در فرایند هم‌حجم $W=0$ است، داریم

$$\Delta U = Q + W = Q = nC_V\Delta T$$

بنابراین، تغییر انرژی درونی گاز برابر است با

$$\Delta U = nC_V(T_2 - T_1)$$

ب) برای گازهای کامل تک اتمی، گرمای ویژهٔ مولی در حجم ثابت برابر با $\frac{3}{2}R$ است. بنابراین، ΔU را می‌توان به‌صورت زیر نوشت :

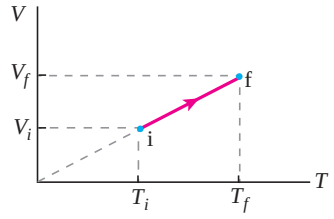
$$\Delta U = n(\frac{3}{2}R)\Delta T = \frac{3}{2}nR\Delta T$$

پاسخ تمرین ۵ــ۲

چون گاز، کامل (آرمانی) است با استفاده از معادلهٔ حالت گاز آرمانی داریم :

$$V=\left(\frac{nR}{P}\right)T$$

چون nR/P ثابت است، رابطهٔ بالا معادلهٔ یک خط راست است که امتداد (برون‌یابی) آن از مبدأ مختصات می‌گذرد. بنابراین نمودار این رابطه به شکل زیر می‌شود :



در اینجا خوب است اشاره شود که چه در تراکم و چه در انبساط، سوی نیروی وارد از گاز به پیستون تغییر نمی‌کند.

بسیاری از دانش‌آموزان در پاسخ فعالیت ۵ــ۱ و نتیجه‌گیری پس از آن‌که در متن درس آمده است، دچار این مشکل می‌شوند که کار از جنس حاصل‌ضرب نیرو در جابه‌جایی (یا حاصل‌ضرب فشار در تغییر حجم) و یکای SI آن ژول است، در حالی‌که مساحت سطح هاشورخورده در شکل، از جنس حاصل‌ضرب دو طول و یکای SI آن مترمربع است. چگونه ممکن است کار با مساحت مساوی شود؟ این ابهام در بقیهٔ جاهای دیگری که در آموزشِ فیزیک با سطح زیر نمودار سروکار داریم نیز وجود دارد. واقعیت این است که به‌کارگیری واژهٔ مساحت در این موارد، با قدری مسامحه و ساده‌گیری همراه است و آنچه محاسبه می‌شود، در واقع مساحت نیست.

پاسخ تمرین ۵ــ۳

در تراکم هم‌فشار، در شکل ۵ــ۱۲ کتاب، جابه‌جایی رو به پایین می‌شود، در حالی که سوی نیروی وارد از گاز به پیستون تغییر نمی‌کند و بنابراین کار گاز روی پیستون چنین می‌شود :

کار گاز روی پیستون $=Fd\cos 180^\circ=-Fd=-PAd$

اما توجه کنید که این بار Ad برابر $-\Delta V$ است (زیرا حجم کاهش یافته و ΔV منفی می‌شود). پس خواهیم داشت :

کار گاز روی پیستون $=-PAd=-P(-\Delta V)=P\Delta V$

ولی چون کار پیستون روی گاز (کار محیط) منفی این رابطه است، کار پیستون روی گاز $-P\Delta V$ می‌شود که همان رابطهٔ ۵ــ۳ کتاب است.

پاسخ فعالیت ۵ــ۱

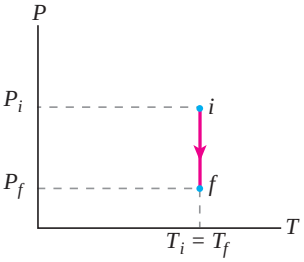
از رابطهٔ ۵ــ۳ می‌دانیم که کار در فرایند هم‌فشار از رابطهٔ $W=-P\Delta V$ به‌دست می‌آید. از روی شکل داده شده برای فرایند هم‌فشار در می‌یابیم که حاصل‌ضرب $P\Delta V$ در واقع مساحت زیر نمودار $P-V$ (مساحت ناحیهٔ هاشور خورده) است. بنابراین می‌توان گفت که در فرایند هم‌فشار، قدرمطلق کار انجام شده (قدرمطلق کار محیط روی دستگاه) برابر با سطح زیر نمودار $P-V$ است.

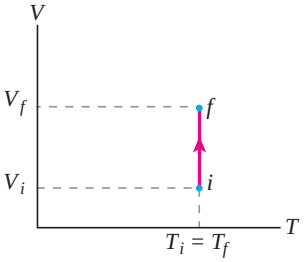
می‌توان برای ورود به بحث فرایند هم‌دما، با این پرسش شروع کرد : سرنگی را از هوا پرمی‌کنیم و سوراخ ته آن را می‌بندیم. سپس سرنگ را ته ظرف خیلی گودی قرار می‌دهیم که درون آن مقداری آب وجود دارد. اینک به آرامی درون ظرف آب می‌ریزیم؛ آبی که دمای آن با دمای آب اولیهٔ درون ظرف برابر باشد. به نظر شما فشار، حجم، و دمای هوای درون سرنگ، چه تغییری می‌کند و هوای درون سرنگ چه فرایندی را تجربه می‌کند؟

توجه شود که اغلب دانش‌آموزان به سختی می‌پذیرند که در فرایند هم‌دما گاز با محیط تبادل گرما می‌کند، بی‌آنکه دمایش تغییر کند. باید تأکید کنیم که اهمیت فرایند هم‌دما در تبدیل کار و گرما به یکدیگر ($Q=-W$) است. در ضمن در صورت لزوم می‌توان با این توضیح، ابهام ذهن دانش‌آموزان را تاحدودی برطرف کرد که مثلاً در یک تراکم هم‌دمای واقعی، در هر تراکم جزئی، کار کوچکی روی گاز انجام می‌شود و بدین‌ترتیب دمای گاز به‌طور موقت، اندکی زیاد می‌شود. سپس گاز که اکنون دمای آن کمی بیشتر از دمای منبع شده است و در تماس با منبع است به منبع گرما می‌دهد تا دوباره به دمای منبع برسد. یعنی در یک تراکم هم‌دمای واقعی، دمای گاز نوسانات کوچکی در بالای دمای منبع دارد.

پاسخ تمرین ۵ــ۴

الف) بدیهی است که باید ترتیبی دهیم که حجم گاز داخل استوانهٔ حاوی گازی که در تماس با یک منبع گرما با دمای ثابت است به‌گونه‌ای تدریجی و ایستاوار افزایش یابد. پس کاهش تدریجی ساچمه‌های سربی می‌تواند روشی قابل قبول باشد؛ البته این کار را می‌توان با روش‌های متفاوتی انجام داد. مثلاً می‌توان به‌جای ساچمه‌های سربی از کیسه‌های شنی استفاده کرد که سوراخ کوچکی در آن ایجاد شده، به‌گونه‌ای که شن به آرامی از آن خارج می‌شود. در هر حال، با کاهش وزن روی پیستون و در نتیجه فشار گاز، پیستون به سمت بالا حرکت می‌کند و در نتیجه گاز منبسط می‌شود. نمودارهای $P-T$ و $V-T$ این فرایند به‌صورت زیر می‌شود :





در مورد علامت‌های Q و W توجه کنید چون گاز منبسط شده است، پس گاز (دستگاه) روی محیط کار (مثبت) انجام داده و بنابراین $W<0$ است. چون فرایند هم‌دما است، برای گاز کامل که انرژی درونی آن فقط به دما بستگی دارد $\Delta U=0$ است و بنابراین از قانون اول ترمودینامیک درمی‌یابیم $Q+W=0$ و در نتیجه با توجه به اینکه $W<0$ است، Q باید مثبت باشد. این نتیجه را می‌توانیم این‌طور توجیه کنیم که در واقع در هر مرحلهٔ کوچک از فرایند، بر اثر انبساط گاز، دمای گاز اندکی کاهش می‌یابد که این کاهش دما با گرفتن گرما از منبع جبران می‌شود.

پاسخ فعالیت ۵ــ۲

وقتی سرنگ حاوی هوا را در آب می‌اندازیم و مدتی صبر می‌کنیم، هوای درون سرنگ با آب هم‌دما می‌شود. از این به بعد، هوای درون سرنگ (به عنوان دستگاه) در تماس گرمایی با حجم بزرگ آب (به‌عنوان منبع گرما) است. دستگاه و منبع، دمای مساوی دارند. با فشردن کُند و آرام پیستون، فشار هوای درون سرنگ افزایش و حجم آن کاهش می‌یابد. ولی از آنجا که هوای سرنگ (دستگاه) در تماس گرمایی با آب (منبع گرما) است و فرایند به‌کندی رخ می‌دهد، دمای دستگاه همان دمای منبع باقی می‌ماند، یعنی دما ثابت است و بنابراین یک انبساط هم‌دما داریم (در واقع توجه کنید که در هر مرحلهٔ کوچک این فرایند، دما در ابتدا کمی زیاد می‌شود، ولی این افزایش دما با دادن گرما به آب جبران می‌شود تا اینکه هوا دوباره با آب هم‌دما شود.) هدف از این پاسخ فعالیت و پاسخ تمرین ۵ــ۴ آن است که به دانش‌آموزان گوشزد کند در فرایند هم‌دما، گاز با محیط تبادل گرما می‌کند بی‌آنکه دمایش تغییر کند. در واقع اهمیت فرایند هم‌دما در تبدیل کامل کار و گرما به یکدیگر است. وقتی محیط روی دستگاه کار انجام دهد، به همان اندازهٔ کار، دستگاه به محیط گرما می‌دهد.

پاسخ تمرین ۵ــ۵

الف) با توجه به معادلهٔ حالت گاز کامل داریم

$$PV = nRT \Rightarrow P = \left(\frac{nR}{V}\right) T$$

اگر طبق راهنمایی، خطّی عمودی بر محور حجم رسم کنیم به‌گونه‌ای که هرچهار نمودار را قطع کند از رابطهٔ بالا درمی‌یابیم که برای چهار نقطهٔ تلاقی که در آنها nR/V (ضریب T) برابر است، فشار کمتر مربوط به دمای کمتر است. بنابراین، منحنی T_1 که خط عمود بر محور حجم را در جا (فشار) پایین‌تری قطع کرده است کمترین دما را دارد و منحنی T_4 که خط عمود بر محور را در جا (فشار) بالاتری قطع کرده است، بیشترین دما را دارد و بدین ترتیب $T_4 > T_3 > T_2 > T_1$ است. البته می‌توانستیم مسئله را به ازای یک فشار معین نیز بررسی کنیم. در آن صورت، معادلهٔ حالت گاز کامل را به‌صورت زیر بنویسیم :

$$V = \left(\frac{nR}{P}\right) T$$

حال اگر خطی به محور فشار رسم کنیم؛ به‌گونه‌ای که هر چهار نمودار را قطع کند، از رابطهٔ بالا درمی‌یابیم در مقایسهٔ این چهار نقطهٔ تقاطع، کمترین حجم مربوط به کمترین دما و بیشترین حجم مربوط به بیشترین دما است. بنابراین داریم :

$$T_4 > T_3 > T_2 > T_1$$

از این پاسخ تمرین درمی‌یابیم که نمودارهای هم‌دما برای ما حکم یک دماسنج را دارند و با مشاهدهٔ آنها در مقایسه با یکدیگر می‌توان دربارهٔ دما اظهارنظر کرد و با مشاهدهٔ نمودار یک فرایند در زمینهٔ آنها می‌توان دربارهٔ تغییر دمای گاز در مسیر آن فرایند اظهارنظر کرد.

ب) همان‌طور که اشاره کردیم، مقدار کار برابر مساحت زیر نمودار $P-V$ است. چون مساحت زیر منحنی T_1 از همه کمتر و مساحت زیر منحنی T_4 از همه بیشتر است، بنابراین داریم :

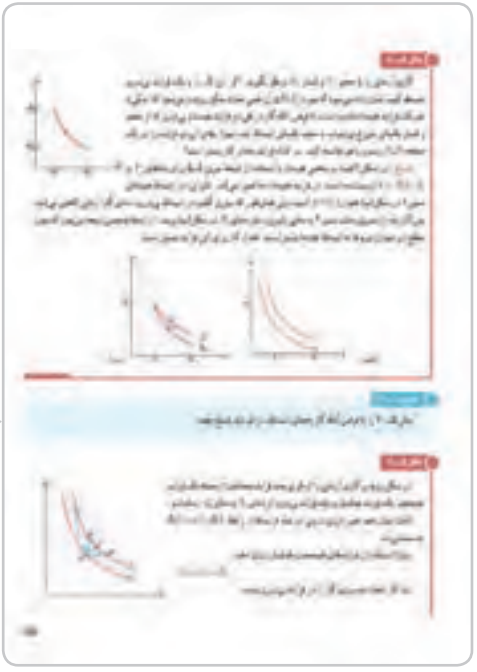
$$|W_4| > |W_3| > |W_2| > |W_1|$$

(توجه کنید که هر چهار نمودار، فرایندهای انبساطی را نشان می‌دهند و در آنها W منفی است.)

خوب است دبیران محترم، مبحث فرایند بی‌دررو را با این پرسش از دانش‌آموزان آغاز کنند که به نظر شما برای دستگاهی که مبادلهٔ گرما ندارد چگونه می‌توان تغییر حالت ایجاد کرد؟

پاسخ فعالیت ۵ــ۳

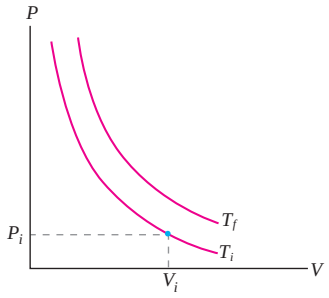
وقتی درِ نوشابه باز می‌شود، گاز محبوس در بالای آن و نیز گاز کربن دی اکسید خارج‌شده از نوشابه انبساط می‌یابد. این انبساط چنان سریع صورت می‌گیرد که آن را می‌توان تقریباً بی دررو پنداشت. بنابراین انرژی لازم برای انبساط گاز صرفاً توسط انرژی درونی تأمین می‌شود که همان انرژی گرمایی خودِ گاز است. بنابراین، گاز انرژی گرمایی از دست می‌دهد و سردتر می‌شود که این باعث می‌گردد بخار آب موجود در گازِ در حال انبساط به‌صورت قطرات آب درآید. این قطرات موجود در هوا، هالهٔ رقیقی را تشکیل می‌دهند که در اطراف دهانهٔ بطری دیده می‌شود. (توجه کنید اگر دمای مایع در نزدیک نقطهٔ انجماد باشد یخ زدن نوشابه نیز ممکن است رخ دهد. چرا که وقتی درِ بطری باز می‌شود، فشار داخل آن ناگهان تا فشار جو کاهش می‌یابد و این به بالا رفتن نقطهٔ انجماد مایع می‌انجامد. مایع که دمای آن اکنون زیر نقطهٔ انجماد جدید قرار دارد، شروع به یخ زدن می‌کند.)



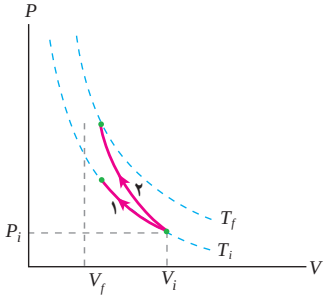
پاسخ تمرین ۵ــ۶

با توجه به رابطهٔ ۵ــ۵ و با توجه به اینکه در تراکم، کار محیط روی گاز (دستگاه) مثبت است، نتیجه می‌گیریم $\Delta U > 0$ است. چون گاز، کامل (آرمانی) است افزایش انرژی درونی گاز با افزایش دمای آن همراه است؛ یعنی دمای گاز افزایش می‌یابد. این نتیجه از رابطهٔ $\Delta U = nC_V \Delta T$ نیز قابل مشاهده است.

چگونگی رسم منحنی‌های هم‌دما را در پاسخ تمرین ۵ــ۵ آموختیم و دریافتیم دمای بالاتر مربوط به خم (منحنی) بالاتر است؛ بنابراین نموداری مانند شکل زیر خواهیم داشت (در حل این پاسخ تمرین از نماد i و f به جای ۱ و ۲ کتاب استفاده کرده‌ایم.)



بدیهی است که در تراکم هم‌دما، دما تغییر نمی‌کند و همواره $T = T_i$ است (مسیر ۱). ولی نشان دادیم که در تراکم هم‌دما، دمای گاز افزایش می‌یابد، پس گاز باید به دمای بالاتری مثل T_f برسد (مسیر ۲).



چون سطح زیر نمودار مربوط به تراکم بی‌دررو بیشتر است، $|W|$ برای این فرایند مقدار بیشتری دارد. (البته توجه کنید که در اینجا در هر دو فرایند هم‌دما و بی‌دررو تراکم رخ می‌دهد و بنابراین برای هر دو فرایند $W > 0$ است و می‌توانستیم از قدرمطلق استفاده نکنیم.)

دانستنی برای معلم

فرایند بی‌دررو گاز کامل

می‌دانیم در فرایند بی‌دررو $Q = ۰$، و قانون اول ترمودینامیک در شکل دیفرانسیلی به‌صورت زیر در می‌آید

$$dU = dW$$

بنابراین اگر گاز انبساط بی‌دررو بیابد، انرژی درونی کاهش می‌یابد و دمای آن کم می‌شود و برعکس در تراکم بی‌دررو، انرژی درونی و دما افزایش می‌یابد.

دانستن روابط بین حجم و فشار، یا حجم و دمای گاز، در فرایند بی‌دررو بسیار مفید است. می‌دانیم که رابطهٔ $\Delta U = nC_V \Delta T$ برای انرژی درونی گاز کامل در هر فرایند دلخواهی برقرار است. بنابراین داریم :

$$nC_V dT = -PdV$$

P را از معادلهٔ مشخصهٔ گازهای کامل به‌صورت $P = nRT/V$ جای‌گذاری می‌کنیم. از آنجا پس از عملیات جبری ساده‌ای به رابطهٔ زیر می‌رسیم :

$$\frac{dT}{T} + \left(\frac{R}{C_V}\right)\frac{dV}{V} = ۰$$

با معرفی ضریب موسوم به ضریب اتمیسیته $\gamma = C_P/C_V$ می‌توانیم $\frac{R}{C_V}$ را چنین بنویسیم :

$$\frac{R}{C_V} = \frac{C_P - C_V}{C_V} = \frac{C_P}{C_V} - ۱ = \gamma - ۱$$

در نتیجه داریم :

$$\frac{dT}{T} + (\gamma - ۱)\frac{dV}{V} = ۰$$

در این رابطه dT و dV برای فرایند بی‌نهایت کوچک بی‌دررو به هم مربوط شده‌اند. با انتگرال‌گیری از طرفین این رابطه به ترتیب به نتایج زیر می‌رسیم :

$$\ln T + (\gamma - ۱)\ln V = \text{ثابت}$$

$$\ln T + \ln V^{\gamma - ۱} = \text{ثابت}$$

$$\ln (TV^{\gamma - ۱}) = \text{ثابت}$$

و در نتیجه

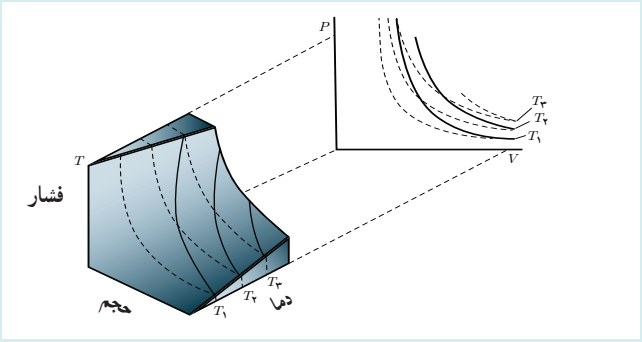
$$TV^{\gamma - ۱} = \text{ثابت}$$

و یا

$$T_۱ V_۱^{\gamma - ۱} = T_۲ V_۲^{\gamma - ۱}$$

توجه کنید که در این رابطه T باید برحسب کلوین باشد.

در شکل صفحهٔ بعد فرایندهای بی‌دررو با خط‌چین و فرایندهای هم‌دما با خطوط ضخیم نشان داده شده‌اند. از شکل درمی‌یابیم که شیب منحنی‌های هم‌دما کمتر از شیب منحنی‌های بی‌دررو است. یعنی اگر از راست به چپ، از یک منحنی بی‌دررو (در جهت تراکم) حرکت کنیم، این منحنی، منحنی‌های هم‌دما با دمای بیشتر از قبل را مرتباً قطع می‌کند که این نشان‌دهندهٔ این واقعیت است که در تراکم بی‌دررو، دما افزایش می‌یابد.



هرگاه از رابطهٔ گازهای کامل به‌صورت $T = PV/nR$ استفاده کنیم، به رابطهٔ زیر خواهیم رسید :

$$\left(\frac{PV}{nR}\right)V^{\gamma-1} = \text{ثابت}$$

که چون n و R ثابت‌اند، می‌توان نوشت :

$$PV^{\gamma} = \text{ثابت}$$

و یا

$$P_1 V_1^{\gamma} = P_2 V_2^{\gamma}$$

در این فیلم، نمایشی از یک انبساط بی‌دررو را مشاهده می‌کنید.

فیلم

پاسخ پرسش ۵ــ۲

در اینجا برای هوای داخل سرنگ تراکمی بی‌دررو رخ می‌دهد، چرا که گفتیم هرگاه تغییر حجم گاز چنان به‌سرعت رخ دهد که گاز فرصت تبادل گرما با محیط را پیدا نکند، آن فرایند تراکمی یا انبساطی، بی‌دررو است. در پاسخ تمرین ۵ــ۶ دیدیم که در یک تراکم بی‌دررو، دمای گاز کامل افزایش می‌یابد. بنابراین، در اینجا دمای هوای داخل سرنگ زیاد می‌شود و با توجه به اینکه نقطهٔ اشتعال کاغذ نیتروسلولز بسیار پایین است، با اندک افزایش دمایی مشتعل می‌شود. البته این آزمایش را می‌توان با انواع دیگری از کاغذ نیز انجام داد ولی لازمهٔ آن دقت فراوان در انجام آزمایش است، در حالی که با کاغذ نیتروسلولز، به‌سادگی می‌توان به نتیجه رسید.

در فیلم چگونگی عمل یک سرنگ آتش‌زنه را که درواقع تراکمی بی‌دررو است، مشاهده می‌کنید.

فیلم

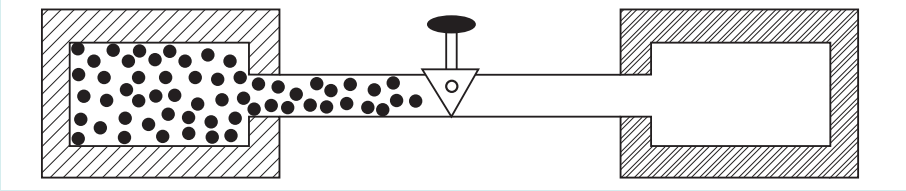
دانستنی برای معلم

فرایند انبساط آزاد و تغییر دمای گاز

فرایند انبساط آزاد چنین تعریف می‌شود : «فرایندهای بی‌درروبی که در آنها هیچ کاری روی دستگاه یا به‌وسیلهٔ آن انجام نمی‌شود.» بنابراین $W=۰$ $Q=$ است و آنگاه از قانون اوّل ترمودینامیک خواهیم داشت :

$\Delta U=۰$

شکل (۱) نشان می‌دهد که چگونه چنین انبساطی می‌تواند انجام گیرد. گازی که در تعادل گرمایی است، در آغاز به‌وسیلهٔ یک شیر بسته در یک نیمهٔ اتاقکِ عایق‌بندی شده است؛ نیمهٔ دیگر خلأ است. شیر به‌طور ناگهانی باز می‌شود و گاز با هجوم آوردن به نیمهٔ اتاقک خالی، به‌طور آزاد برای پرکردن هر دو اتاقک منبسط می‌شود. به‌علّت عایق‌بندی، هیچ گرمایی به گاز و یا از آن انتقال نمی‌یابد. چون گاز به خلأ وارد می‌شود، هیچ‌کاری به‌وسیلهٔ گاز انجام نمی‌گیرد و با انبساط آن توسط هیچ فشار خنثی کننده‌ای مخالفت نمی‌شود.



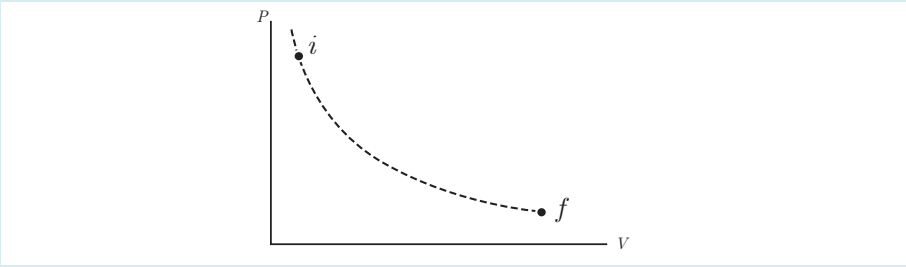
شکل ۱ــ گاز در یک نیمهٔ اتاقک عایق‌بندی محصور است و با بازشدن شیر، به‌طور آزاد برای پرکردن هر دو اتاقک منبسط می‌شود.

همان‌طور که دیدیم در فرایند انبساط آزاد $\Delta U=۰$ می‌شود و در نتیجه نباید تغییر دمایی برای گاز کامل داشته باشیم. ولی از طرفی، چون فرایند انبساط آزاد فرایندی بی‌دررو است باید کاهش دما داشته باشیم. چرا که

$$T_۲=T_۱\left(\frac{V_۱}{V_۲}\right)^{\gamma-۱}$$

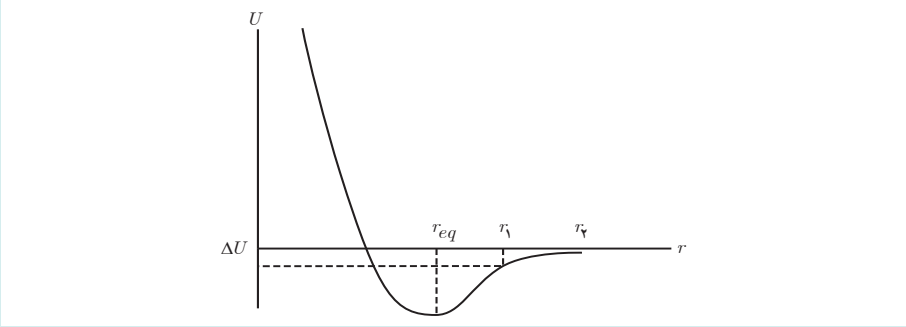
که در آن γ (ضریب اتمیسیته) عددی بزرگ‌تر از یک و $V_۲>V_۱$ است و در نتیجه $T_۲<T_۱$ می‌شود.

این ناسازگاری از آنجا ناشی می‌شود که ما در ترمودینامیک فرایندهای اصطلاحاً ایستاوار را بررسی می‌کنیم که در آنها سرعت گاز خیلی کمتر از سرعت جنبش گرمایی مولکولی است. در حالی که در انبساط آزاد، به محض اینکه شیر را باز می‌کنیم گاز با سرعتی بیشتر از سرعت گرمایی مولکول‌ها به خلأ هجوم می‌برد. بنابراین در اینجا به‌کار بستن معادلهٔ بالا نادرست است و برای همین، این فرایند «غیر ایستاوار» را با خط‌چین نمایش می‌دهند. چرا که در هر لحظه ضمن انبساط ناگهانی، گاز در تعادل گرمایی نیست و فشار آن در همه‌جا یکسان نخواهد بود. بنابراین اگرچه حالت‌های اولیه و نهایی را می‌توان روی نمودار $P-V$ رسم کرد، ولی خود انبساط را نمی‌توان رسم کرد، و شکلی مانند شکل ۲ خواهیم داشت.



شکل ۲ــ نمودار $P-V$ برای یک فرایند انبساط آزاد

اگر گاز کامل نباشد، در این صورت مولکول‌ها با هم برهم کنش دارند و انرژی درونی گاز شامل انرژی جنبشی مولکول‌ها و انرژی پتانسیل برهم‌کنش آنهاست. نمودار انرژی پتانسیل برهم‌کنش دو مولکول برحسب فاصلهٔ r بین آنها مانند شکل ۳ می‌شود.



شکل ۳ــ نمودار انرژی پتانسیل برهم‌کنش بین دو مولکول برحسب فاصلهٔ آنها

اگر انرژی پتانسیل کمینه باشد (نقطهٔ r_{eq})، ماده متراکم شده و به مایع تبدیل می‌شود. ولی چون ما در آغاز گاز داریم، بنابراین میانگین فاصلهٔ بین مولکول‌ها بزرگ‌تر از r_{eq} است و پس از برفرض دو برابر شدن حجم، میانگین فاصلهٔ بین مولکول‌ها به $r_2 = \sqrt[3]{2}r_1 > r_1$ می‌رسد. یعنی در حین انبساط آزاد، گاز در امتداد شیب چاه پتانسیل کمی به سمت بالا کشیده می‌شود. چه عاملی باعث افزایش انرژی پتانسیل به اندازهٔ ΔU شده است؟ به‌نظر می‌رسد که این افزایش، ناشی از کاهش انرژی جنبشی مولکول‌هاست. پس دما که مقیاسی از انرژی جنبشی میانگین مولکول‌های گاز است، در حین انبساط آزاد کاهش می‌یابد.

تمرین‌های پیشنهادی بخش ۵ــ۵

۱ گاز معینی در فشار ۱/۲ atm و دمای ۳۱۰ K حجمی برابر با ۴/۳ L را اشغال می‌کند. این گاز به‌طور بی‌دررو تا حجم ۰/۷۶ L متراکم می‌شود و به فشار ۱۴ atm می‌رسد. دمای نهایی گاز چقدر است؟

پاسخ : $۶/۲\times۱۰^{۲}\,K$

۲ در یک ماشین، ۰/۲۵ مدل از یک گاز آرمانی تک اتمی در یک استوانه به سرعت انبساط می‌یابد و پیستونی را حرکت می‌دهد. در این فرایند، دمای گاز از ۱۱۵۰ K به ۴۰۰ K کاهش می‌یابد. گاز چقدر کار انجام داده است؟

پاسخ : ۲۳۰۰ J

۳ گرمای تبخیر آب در نقطهٔ جوش $۲/۲۶\times۱۰^{۳}\,J/g$ است. اگر ۱/۰۰ g (یا ۱/۰۰ cm^3) آب بر اثر جوشیدن در فشار جوّ متعارف ($۱/۰۱\times۱۰^{۵}\,Pa$) به $۱/۶۷\times۱۰^{۳}\,cm^3$ بخار تبدیل شود،

الف) کار محیط روی آب چقدر است؟

ب) افزایش انرژی درونی آب چقدر است؟

پاسخ : الف) چون تبخیر آب در فشار ثابت رخ داده است می‌توان نوشت :

$$W = -P\Delta V = -(1/01\times10^{5}\,N/m^{2})(1/67\times10^{-3}\,m^{3} - 1/00\times10^{-6}\,m^{3}) = -1/69\times10^{2}\,J$$

ب) برای محاسبهٔ تغییر انرژی درونی آب، نخست گرمای داده شده به آن را به دست می‌آوریم :

$$Q = +mL_V = (1/0\,g)(2/26\times10^{3}\,J/g) = 2/26\times10^{3}\,J$$

اینک با استفاده از قانون اوّل ترمودینامیک داریم :

$$\Delta U = Q + W = 2/26\times10^{3}\,J + (-1/69\times10^{2}\,J) = 2/09\times10^{3}\,J$$

۴ مقدار ۵/۰۰mol از یک گاز آرمانی تک‌اتمی با فشار و حجم اولیهٔ P_1 و V_1 و دمای اولیهٔ T_1=۳۰۰/۰K را تا حجم نهایی V_2 یک‌بار به‌صورت هم‌دما و بار دیگر به‌صورت بی‌دررو منبسط می‌کنیم. در انبساط بی‌دررو، دمای مطلق گاز به ۲۸۵/۰K می‌رسد.
الف) فشار نهایی گاز در انبساط بی‌دررو چند برابر فشار نهایی انبساط هم‌دماست؟
ب) کار انجام شده روی گاز در انبساط بی‌دررو را حساب کنید.
پاسخ : الف) با استفاده از قانون گازهای آرمانی داریم :

$$\left(\frac{P_2V_2}{T_2}\right)_{\text{بی‌دررو}} = \left(\frac{P_2V_2}{T_2}\right)_{\text{هم‌دما}}$$

با توجه به اینکه حجم نهایی در دو فرایند یکسان است، داریم :

$$\left(\frac{P_2}{T_2}\right)_{\text{بی‌دررو}} = \left(\frac{P_2}{T_2}\right)_{\text{هم‌دما}} \Rightarrow \frac{P_{2\,\text{بی‌دررو}}}{P_{2\,\text{هم‌دما}}} = \frac{T_{2\,\text{بی‌دررو}}}{T_{2\,\text{هم‌دما}}} = \frac{285/0\,K}{300/0\,K} = 0/95$$

ب) برای گاز آرمانی در فرایند بی‌دررو $W = nC_V\Delta T$ است. بنابراین،

$$W_{\text{بی‌دررو}} = nC_V\Delta T = n\left(\frac{3}{2}R\right)\Delta T = (5/00\,mol)\left(\frac{3}{2}\times8/314\,J/mol.K\right)(-15/0\,K) = -935\,J$$

پرسش‌های پیشنهادی بخش ۵ــ۵

۱ چرا هنگام باد کردن لاستیک دوچرخه، پمپ گرم می‌شود؟
(**راهنمایی :** هوا چنان سریع گرم می‌شود که می‌توان از تبادل گرما با محیط چشم‌پوشی کرد.)

۲ چرا اگر با دهان باز نفس خود را بیرون بدهید، دست شما هوای گرمی را حس می‌کند در حالی که اگر دهان خود را به گونه‌ای ببندید که هنگام سوت زدن انجام می‌دهید، دست شما هوای سردی را حس می‌کند؟

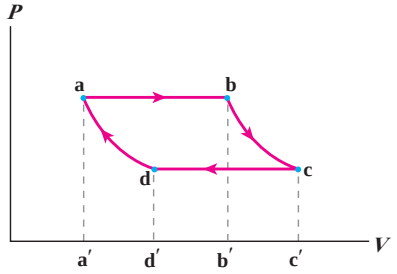
۵ــ۶ــ چرخهٔ ترمودینامیکی

خوب است پس از توصیف فرایند چرخه‌ای، از دانش‌آموزان بخواهیم چرخه‌هایی با شکل‌های دلخواه بکشند که در هر یک از آنها چند فرایند خاص استفاده شده باشد.

در این مورد خوب است اشاره شود که حفظ کردن علامت W برای چرخه‌ها چندان ضروری نیست و می‌توان در هر مورد به روشی که در توضیح پاسخ فعالیت ۵ــ۴ آمده است، با کمی تأمل، علامت W را فهمید.

پاسخ فعالیت ۵ــ۴

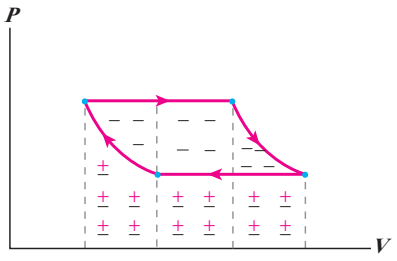
برای آنکه منظور مشخص شود، محل‌های تقاطع خط‌چین‌های عمودی با محور V را به‌ترتیب با a'، b'، c' و d' نمایش می‌دهیم :



بنابراین، قدرمطلق کار انجام شده در فرایند da برابر مساحت محصور در سطح $add'a'$، قدرمطلق کار انجام شده در فرایند ab برابر مساحت محصور در سطح $abb'a'$ و قدرمطلق کار انجام شده در فرایند bc برابر مساحت محصور در سطح $bcc'b'$ و قدرمطلق کار انجام شده در فرایند cd برابر مساحت محصور در سطح $dcc'd'$ است. اما علامت‌های کار (محیط روی دستگاه) با توجه به اینکه در فرایندهای da و cd از حجم کاسته شده است، مثبت و در فرایندهای ab و bc که به حجم افزوده شده است، منفی است.

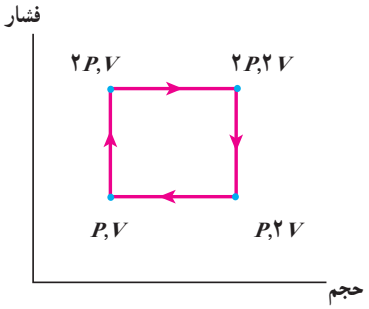
ب) کار انجام شده در چرخه برابر جمع جبری کارهای انجام شده در هر چهار فرایند است. اگر مساحت‌ها و علامت‌های کار را که در قسمت (الف) بررسی کردیم لحاظ کنیم، درمی‌یابیم کار محیط در این چرخه برابر با مساحت محصور در داخل چرخه است و بنابراین مقدار کار برابر مساحت داخل چرخه می‌شود.

پ) بنا به توضیح قسمت (ب) کار کلّ انجام شده روی دستگاه در این چرخه، منفی است. به‌عبارت دیگر، شکلی مانند شکل زیر داریم که همان‌طور که مشاهده می‌کنیم در آن علامت منفی غالب شده است.



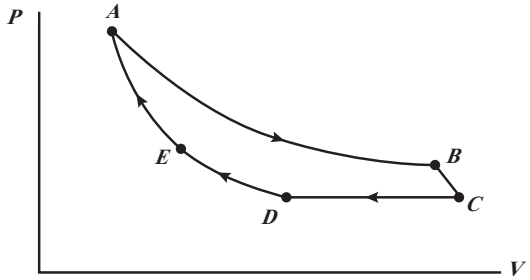
تمرین‌های پیشنهادی بخش ۵ــ۶

۱ یک گاز کامل تک اتمی چرخهٔ نشان داده شده در نمودار PــVی شکل زیر را انجام می‌دهد. کار انجام شده توسط گاز و گرمای مبادله شده در طی این چرخه چقدر است؟



پاسخ : PV

۲ شکل زیر چرخه‌ای شامل ۵ مسیر را نشان می‌دهد. AB هم‌دما در ۳۰۰K، BC بی‌دررو با کاری برابر ۵/۰J، CD در فشار ثابت ۵/۰atm، DE هم‌دما، EA بی‌دررو با تغییر انرژی درونی ۸/۰J. تغییر در انرژی درونی گاز در مسیر CD چقدر است؟



پاسخ : ۳/۰J−

در مورد ماشین بخار وات خوب است بدانید بازدهٔ ماشین بخاری که وات ساخت در حدود ۱٪ بود در حالی که بازدهٔ توربین‌های بخاری امروزی در حدود ۴۰٪ است.

۵ــ۷ــ ماشین‌های گرمایی

خوب است برای شروع بحث ماشین‌های برون‌سوز، دانش‌آموزان را ترغیب به انجام یا مشاهدهٔ فعالیت‌های ساده‌ای، از جمله ساختن یک توربین سادهٔ بخار بکنید. به این‌ترتیب که پرهٔ چرخان (فرفره‌ای) را که بر محوری سوار است، مطابق شکل، روبه‌روی لولهٔ یک کتری در حال جوشیدن قرار دهند. محور که با نخی به گیرهٔ کوچکی متصل است، با چرخش پره، گیره را بالا می کشد. به‌عبارتی، بخشی از گرمای حاصل از اجاق به انجام کار بلند کردن گیره می‌انجامد و بقیهٔ گرما، بی‌آنکه به کاری بینجامد، به هوای اتاق وارد می‌شود.

دانستنی برای معلم

ماشین بخار

ماشین بخار در نواحی مختلف جهان به‌طور گسترده برای تولید برق مورد استفاده قرار می‌گیرد. دیدیم که در ماشین‌های گرمایی، دستگاه در یک چرخه مقداری گرما دریافت می‌کند و بر روی محیط کار انجام می‌دهد. در ماشین‌بخار دستگاهی که چرخه را طی می‌کند، آب است. همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، آب در دیگ بخار مقداری گرما دریافت می‌کند و پس از انجام‌دادن چند فرایند مختلف، که در زیر به توضیح آنها می‌پردازیم، به حالت اولیهٔ خود در دیگ بخار برمی‌گردد و این چرخه دائماً تکرار می‌شود. چون گرما توسط کوره (یعنی از بیرون دستگاه) به آب داده می‌شود، ماشین بخار از ماشین‌های برون‌سوز محسوب می‌شود.

شکل ۱ــ بخش‌های اصلی ماشین‌بخار عبارت‌اند از : دیگ بخار، اتاقک انبساط، چگالنده، تلمبه، شیرهای ورودی و خروجی و لوله‌های رابط.

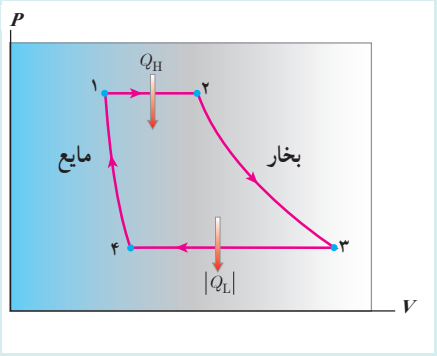
برای بررسی نحوهٔ کار ماشین بخار، مقدار مشخصی از آب درون دیگ بخار را به‌عنوان دستگاه ترمودینامیکی درنظر می‌گیریم، و فرایندهایی را که این آب در ماشین بخار طی می‌کند با اندکی ساده‌سازی توضیح می‌دهیم. شکل ۲ این فرایندها را به‌طور تقریبی نشان می‌دهد. تمام این فرایندها ایستاوار فرض شده‌اند.

الف) مرحلهٔ اول (از ۱ تا ۲) : در این مرحله آب، درون دیگ بخار در فشار ثابت و نسبتاً زیاد است کوره گرما می‌گیرد و به بخار تبدیل می‌شود. دما و حجم بخار آب در این مرحله تا حد معینی افزایش می‌یابد.

ب) مرحلهٔ دوم (از ۲ تا ۳) : شیر ورودی باز می‌شود و بخار آب که دما و فشار آب بسیار زیاد است، وارد اتاقک انبساط می‌شود؛ به پیستون نیرو وارد می‌کند و آن را به‌حرکت در می‌آورد. در نتیجهٔ این حرکت، بخار آب به‌سرعت منبسط می‌شود و دما و فشار آن کاهش می‌یابد. چون این انبساط بسیار سریع انجام می‌شود، این فرایند را می‌توان بی‌دررو در نظر گرفت. این حرکت پیستون برای به‌کار انداختن مولدبرق، به حرکت درآوردن چرخ‌های لکوموتیو و ... مورد استفاده قرار می‌گیرد.

پ) مرحلهٔ سوم (از ۳ تا ۴) : طراحی ماشین به‌گونه‌ای است که وقتی پیستون به انتهای مسیر خود رسید، بازگردانده می‌شود. در هنگام بازگشت پیستون، شیر ورودی بسته و شیر خروجی باز می‌شود و بخار آب به سمت چگالنده که لوله‌های آب سرد یا فَن‌های خیلی قوی آن را خنک می‌کنند، هدایت می‌شود. در چگالنده، بخار آب در فشار ثابت گرما از دست می‌دهد و به مایع تبدیل می‌شود. در این فرایند، حجم بخار آب کاهش می‌یابد.

ت) مرحلهٔ چهارم (از ۴ تا ۱) : تلمبه، آب حاصل از میعان را به دیگ بخار برمی‌گرداند و فشار آن به‌طور بی‌دررو به فشار اولیه می‌رساند (فقط تغییرات کوچک در دما و حجم مایع رخ می‌دهد) و بدین ترتیب یک چرخهٔ ترمودینامیکی کامل می‌شود.



شکل ۲ــ نمودار ساده شدهٔ چرخهٔ ماشین بخار در صفحهٔ $P-V$ (چرخهٔ رانکین). توجه کنید که تمام فرایندها در این چرخه، ایستاوار فرض شده‌اند.

پاسخ فعالیت ۵ــ۵

در نیروگاه‌های حرارتی، انرژی گرمایی به توان الکتریکی تبدیل می‌شود. اساس کار کلیهٔ نیروگاه‌های حرارتی گرم کردن آب، تبدیل آن به بخار آب و در پی آن چرخاندن یک توربین بخار است که یک مولّد (ژنراتور) را به‌راه می‌اندازد. بخار پس از عبور از توربین، در یک چگالنده چگالیده شده و به آب تبدیل می‌گردد. سپس این آب به دیگ بخار برگردانده می‌شود و در آنجا به بخار داغ پُرفشار تبدیل گردیده و مجدداً به طرف توربین می‌رود و این چرخه دوباره تکرار می‌گردد که در واقع همان چرخهٔ رانکین ماشین‌های بخار است. منبع انرژی یک نیروگاه که از ساز و کار ماشین بخار استفاده می‌کند می‌تواند متفاوت باشد که البته سوخت‌های فسیلی غالب هستند، گرچه از انرژی هسته‌ای، انرژی زمین‌گرمایی (ژئوترمال)، و انرژی خورشیدی نیز استفاده می‌شود.

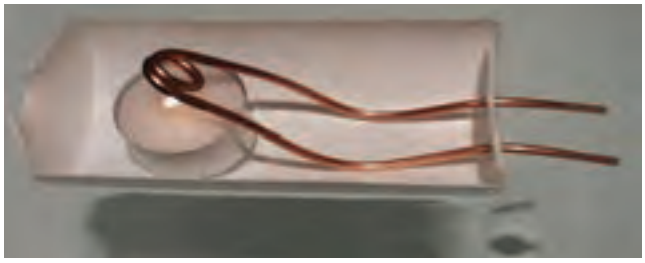
فیلم

در این فیلم، یک ماشین گرمایی ساده را که براساس اختلاف دما کار می‌کند، مشاهده می‌کنید.

پاسخ فعالیت ۵ــ۶

شاید قایق پوت‌پوت ساده‌ترین ماشین بخاری باشد که تا به حال دیده‌اید. این ماشین، سیلندر، پیستون، میل‌لنگ، سوپاپ‌های ورود و خروج بخار و . . . ندارد ولی در آن چرخه‌ای مشابه چرخهٔ ماشین بخار رخ می‌دهد و این چرخه کار مکانیکی موردنیاز برای به‌حرکت درآوردن قایق در یک استخر یا حوض آب را تأمین می‌کند.

می‌توانید برای ساختن این قایق از یک بطری پلاستیکی استفاده کنید. بطری را مطابق شکل طوری از وسط نصف کنید که هر نیمهٔ آن شبیه یک قایق کوچک باشد. یک لولهٔ مسی به قطر تقریباً ۳mm و طول تقریباً ۷۰cm (بسته به بزرگی و کوچکی قایق) تهیه و آن را مطابق شکل خم کنید(این نوع لوله را می‌توانید از تعمیرگاه‌های یخچال بخرید). برای درست‌کردن بخش پیچه‌ای‌شکلِ خم این لوله، می‌توانید لوله را دور یک میله بپیچانید. دو سوراخ کوچک در انتهای قایق ایجاد کنید و دو سر لولهٔ مسی را مطابق شکل از این دو سوراخ عبور دهید. دقت کنید سوراخ‌ها خیلی کوچک باشند طوری‌که وقتی دو سر لولهٔ مسی را از آنها عبور می‌دهید، سوراخ‌ها به‌خوبی مسدود شوند و وقتی قایق روی آب قرار می‌گیرد، آب از کناره‌های این سوراخ‌ها وارد قایق نشود. یک شمع تزیینی که درون استوانهٔ آلومینیمی کوچکی قرار دارد را مطابق شکل، زیر قسمت پیچه‌مانند لولهٔ مسی قرار دهید، طوری که وقتی شمع روشن شد پیچه را داغ کند. لولهٔ مسی را کاملاً از آب پرکنید. به این منظور می‌توانید یک سر لوله را درون آب قرار دهید و از سر دیگر لوله، هوای درون لوله را بمکید. با مکیدن هوای درون لوله، آب کلّ لوله را پر می‌کند. دو انتهای لوله را با انگشتانتان بگیرید و قایق را طوری در آب قرار دهید که دو انتهای لوله کاملاً درون آب باشد. اکنون شمع را روشن کنید.



مدتی طول می‌کشد تا آب داخلِ بخش پیچه‌ای‌شکل لوله به اندازهٔ کافی داغ و بخار شود. حالا قایق به راه می‌افتد. با نگاه دقیق به حرکت قایق، مشاهدهٔ امواج آب که در محل دو انتهای لولهٔ مسی تشکیل می‌شود، گوش دادن به صدای قایق و . . . متوجه می‌شوید که حرکت قایق به‌صورت بُریده بُریده و منقطع انجام می‌شود. در واقع در هر ثانیه، چند ضربه به قایق زده می‌شود و با هر ضربه قایق کمی به جلو می‌جهد. اگر انگشتتان را پشت دو انتهای لوله و درون آب قرار دهید و البته با این کار مزاحم حرکت قایق نشوید، این ضربه‌ها را احساس خواهید کرد.

ولی این قایق چگونه کار می‌کند؟

وقتی آب داخل قسمت پیچه‌ای‌شکل لوله داغ و بخار می‌شود، این بخار پُرفشار، آب درون دو ساق لوله را از دو انتهای لوله، به‌سرعت و با فشار زیاد، به صورت دو جتِ آب به بیرون می‌راند. عکس‌العمل نیرویی که بخار پُرفشار به این دو جت آب وارد می‌کند، باعثِ جهش رو به جلوی قایق می‌شود. وقتی بخار داغ منبسط می‌شود، کمی سرد می‌گردد (انبساط سریع و بی‌دررو)، به‌علاوه اینکه بخار وارد بخش سرد لولهٔ مسی، یعنی دو ساق متصل به پیچه شده است. بخار در این بخشِ سرد، چگالیده و کم فشار می‌گردد. در واقع این بخش از لولهٔ مسی شبیه چگالنده عمل می‌کند. چگالش بخار و کاهش فشار درون لوله سبب می‌شود آب از دو انتهای لوله به درون لوله مکیده شود. دوباره آب حاصل از چگالش بخار، وارد پیچهٔ داغ می‌شود، تبدیل به بخار داغ و پرفشار می‌گردد و همهٔ ماجرا از نو تکرار می‌گردد. هنگام مکش آب از دو انتهای لوله به داخل لوله، نیروی کوچکی در خلاف جهت حرکت قایق به قایق وارد می‌شود ولی این نیرو به مراتب کوچک‌تر از نیروی پیشران قایق است که در مرحلهٔ انبساط بخار درون پیچه و خروج جت‌های آب از دو انتهای لوله به قایق وارد می‌شود، لذا حرکت کلی قایق رو به جلو باقی می‌ماند. در واقع مکش آب از دو انتهای لوله به درون آن، به‌صورتِ جتِ آب نیست و به‌آرامی رُخ می‌دهد. در مورد این قایق دو فیلم در سایت گروه قرار داده شده است.

فیلم

در این فیلم، ساختار و چگونگی کار قایق پوت‌پوت را مشاهده می‌کنید.

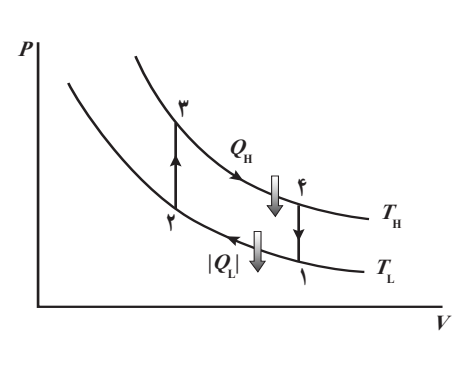
فیلم

در این فیلم، چگونگی حرکت قایق پوت‌پوت را مشاهده می‌کنید.

دانستنی برای معلم

ماشین استرلینگ

ماشین استرلینگ در سال ۱۸۱۶ میلادی (۱۱۹۵ هـ .ش) توسط *رابرت استرلینگ* اسکاتلندی اختراع شد. این ماشین که مدت‌ها به فراموشی سپرده شده بود، امروزه برای استفاده در خودروها، فضاپیماها و زیردریایی‌ها توسعه یافته است.



نمودار $P-V$ برای مادهٔ کاریِ یک ماشین استرلینگ آرمانی در شکل روبه‌رو رسم شده است. در مقایسه با چرخهٔ کارنو در می‌یابیم که هر دوی این ماشین‌ها دارای انتقال گرمایی هم‌دما در دماهای T_H و T_L هستند، اما دو فرایند هم‌دمای چرخهٔ ماشین استرلینگ نه با فرایندهای بی‌دررو، بلکه با فرایندهای هم‌حجمی به هم متصل شده‌اند.

مراحل عمل یک ماشین استرلینگ آرمانی به این ترتیب است که دو پیستون، یکی پیستون انبساط در سمت چپ و دیگری پیستون تراکم در سمت راست به یک میله‌گردان (شفت) متصل‌اند. وقتی میله‌گردان می‌چرخد، این پیستون‌ها در فاز مخالف حرکت می‌کنند. فضای بین دو پیستون با گاز، که معمولاً هیدروژن یا هلیوم است، پر شده است و قسمت چپ این فضا به یک منبع دما بالا (سوخت در حال احتراق) وصل است، در حالی‌که سمت چپ آن در تماس با یک منبع دما پایین (جو) است. بین دو بخش گاز دستگاهی موسوم به بازمولّد (regenerator) قرار دارد، که از یک بسته پشم فولاد[۱] و یا مواد دیگری که رسانش گرمایی بسیار پایینی دارند، تشکیل شده است، به‌طوری که می‌توانند اختلاف دمای بین دو انتهای گرم وسرد را، بدون رسانش گرمایی قابل ملاحظه‌ای حفظ کنند. مراحل چرخهٔ استرلینگ به ترتیب زیر است :

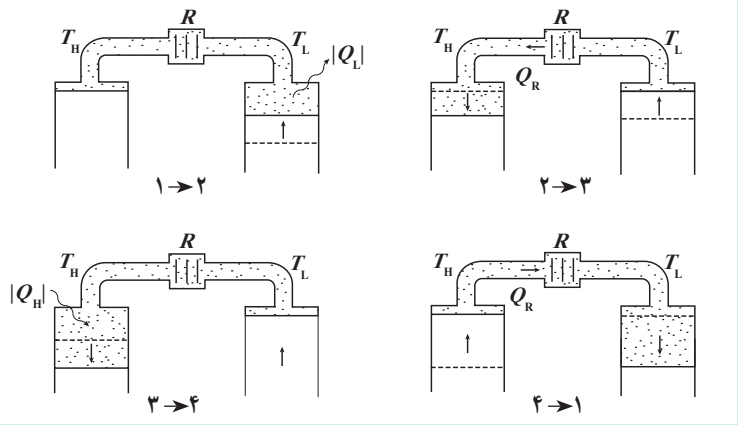
۲←۱ هنگامی که پیستون سمت چپ در بالا قرار می‌گیرد، پیستون سمت راست تا نیمه‌راه بالا می‌رود و گاز سرد را که در تماس با منبع سرد است، متراکم می‌کند و بنابراین باعث خروج گرمای $|Q_L|$ می‌شود. این تراکم تقریباً هم‌دما در دمای T_L است.

۳←۲ پیستون سمت چپ به پایین و پیستون سمت راست به بالا می‌رود، به‌طوری‌که هیچ‌گونه تغییر در حجم ایجاد نمی‌شود، اما گاز از طریق بازمولّد از قسمت سرد به قسمت گرم رانده می‌شود و وارد قسمت چپ می‌شود که در دمای بالاتر T_H قرار دارد. برای انجام این کار، بازمولّد گرمای Q_R را به گاز می‌دهد. توجه کنید که فرایند ۳←۲ در حجم ثابت رخ می‌دهد.

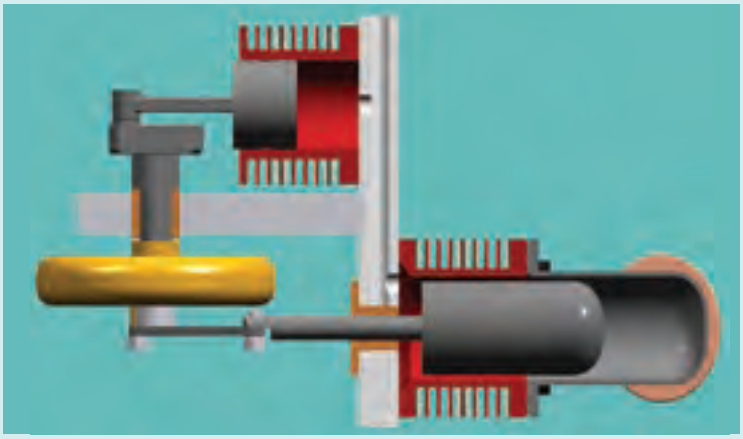
۴←۳ اکنون در حالی‌که پیستون سمت چپ به منبع دما بالا وصل است به حرکت خود به‌سوی پایین ادامه می‌دهد، پیستون سمت راست ساکن باقی می‌ماند و باعث می‌شود که گاز دستخوش یک انبساط تقریباً هم‌دما شود که در طی آن گرمای Q_H در دمای T_H جذب می‌شود.

۱ــ metal sponge

۱→۴ هر دو پیستون در جهت مخالف یکدیگر حرکت می‌کنند. بنابراین، گاز را از طریق بازمولّد از طرف گرم به طرف سرد می‌رانند و تقریباً همان مقدار گرمای Q_R را که در فرایند ۳→۲ جذب شده بود به بازمولّد پس می‌دهد. این فرایند عملاً در حجم ثابت رخ می‌دهد. شکل زیر، طرحی از چهار مرحلهٔ چرخهٔ استرلینگ را نشان می‌دهد.



نتیجهٔ خالص این چرخه، جذب گرمای Q_H در دمای بالاتر T_H و پس دادن گرمای $|Q_L|$ در دمای پایین‌تر T_L و تحویل دادن کار $|W| = Q_H - |Q_L|$ به محیط است. در این چرخه هیچ انتقال گرمای خالصی در دو فرایند هم‌حجم رخ نمی‌دهد. شکل زیر، تصویری از یک فاز مرحله‌های چرخهٔ یک ماشین استرلینگ را نشان می‌دهد.



در این فیلم، نمایشی از چگونگی کار یک ماشین استرلینگ را مشاهده می‌کنید.

فیلم

خوب است دوباره اشاره شود که برای بررسی ساده و تطبیق طرز کار ماشین‌های درون‌سوز با چرخه‌های ترمودینامیکی فرض می‌شود که در مرحلهٔ آتش گرفتن، مخلوط آتش نگیرد ولی آنقدر گرما به آن داده شود که فشار و دمای نهایی آن به پایان مرحلهٔ آتش گرفتن برسد و در مرحلهٔ تخلیه نیز فرض می‌شود که هوا در داخل استوانه باقی بماند ولی آنقدر گرما از دست بدهد که به وضعیت اولیه برسد.

در چرخهٔ اتو فرایندهای هم‌فشار ۱←۵ و ۵←۱، با فرایند هم‌فشاری که در شروع این فصل بررسی شد متفاوت است. در فرایند ۱←۵، دما ثابت است، گرمایی داد و ستد نمی‌شود و تعداد مول گاز از صفر تا مقدار معینی افزایش می‌یابد. در فرایند ۵←۱، دما ثابت است، گرمایی داد و ستد نمی‌شود، و تعداد مول گاز کاهش می‌یابد و به صفر می‌رسد. دقت کنید که در چرخهٔ اُتو، کمینهٔ حجم، صفر است نه V_0.

در تمام وسایل تبدیل انرژی یک وجه مشترک وجود دارد و آن این است که همهٔ انرژی داده شده به وسیله، به نوع مطلوب تبدیل نمی‌شود، ولی در تمام آنها، پایستگی انرژی برقرار است. آنچه مهم است بازده است. از دانش‌آموزان بپرسید آیا ممکن است ماشینی طراحی کرد که بازدهٔ آن به ۱۰۰٪ برسد؟

خوب است دوباره اشاره شود در حالی که رابطهٔ $\eta=|W|/Q_H$ برای همهٔ ماشین‌ها (چه آرمانی و چه غیر آرمانی) برقرار است، ولی رابطهٔ $\eta=1-|Q_L|/Q_H$ فقط برای ماشین‌های آرمانی به‌کار برده می‌شود.

تمرین پیشنهادی بخش ۵ــ۷

بازدهٔ موتور اتومبیلی ۲۰/۰ است و در هر ثانیه به‌طور متوسط ۲۳۰۰۰J کار مکانیکی انجام می‌دهد. در هر ثانیه الف) چقدر گرما لازم است به موتور داده شود؟ ب) چقدر گرما از موتور تلف می‌شود؟

پاسخ :

الف) $Q_H = 115kJ$ ب) $Q_L = 92/0kJ$

توجه داده شود که ماشین‌های گرمایی به دو منبع با دماهای متفاوت و نه لزوماً سرد و گرم نیاز دارند.

۵ــ۸ــ قانون دوم ترمودینامیک (به بیان ماشین گرمایی)

خوب است اشاره شود که قانون دوم کاملاً مستقل از قانون اول است. مثلاً، با اینکه یک ماشین با گرفتن گرما از هوا و تبدیل کامل آن به کار، قانون اول را نقض نمی‌کند، ولی این امر با قانون دوم ناسازگار است.

اغلب دانش‌آموزان تصور می‌کنند که این ناتوانی بشر است که مانع از ساختن ماشینی با بازدهٔ ۱۰۰٪ می‌شود. باید این خطای رایج، در بحث و تبادل با دانش‌آموزان گوشزد شود.

همچنین خوب است دانش‌آموزان را به کوشش‌های تاریخی در ساختنِ ماشین‌های محرّک دائمی که همگی خیال یا نیرنگی بیش نبودند، توجه داد.

اثبات اینکه بازدهٔ ماشین گرمایی کارنو بیشترین است

فرض کنید یک ماشین گرمایی با بازدهٔ بیشتر از ماشین گرمایی کارنو وجود دارد. این ماشین فرضی را به یک یخچال کارنو متصل می‌کنیم. ماشین فرضی را طوری تنظیم می‌کنیم که همان گرمایی را که یخچال از منبع دماپایین می‌گیرد، ماشین فرضی به چشمهٔ دما پایین بدهد. برای ماشین فرضی داریم

$$\eta' = \frac{|W'|}{Q'_H} = \frac{Q'_H - |Q_L|}{Q'_H} = ۱ - \frac{|Q_L|}{Q'_H}$$

و برای یخچال کارنو که وارونهٔ ماشین کارنو است، داریم

$$\eta = \frac{|W|}{Q_H} = \frac{Q_H - |Q_L|}{Q_H} = ۱ - \frac{|Q_L|}{Q_H}$$

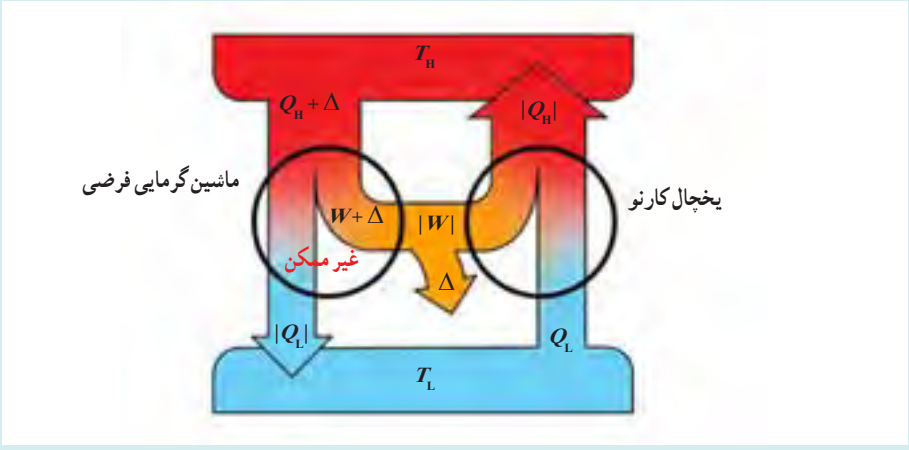
بنا به فرض، بازدهٔ ماشین فرضی بیشتر از بازده ماشین کارنو است ($\eta' > \eta$). بنابراین

$$\frac{|Q_L|}{Q_H} > \frac{|Q_L|}{Q'_H} \Rightarrow Q'_H > Q_H$$

از این رابطه می‌توان دریافت که ماشین فرضی با بازده بیشتر، بیش از ماشین کارنو از منبع دما ــ بالا گرما دریافت کرده است. چون $|Q_L|$ در هر دو ماشین یکسان است، با استفاده از قانون اول ترمودینامیک داریم

$$Q'_H = |Q_L| + |W'|$$
$$Q_H = |Q_L| + |W|$$
$$\Rightarrow |W'| > |W|$$

بنابراین عملکرد مجموع یخچال کارنو و ماشین فرضی، آن است که مقدار خالص گرمای $Q'_H - Q_H$ گرما از چشمهٔ دما ــ بالا دریافت و تماماً به معادل $|W'| - |W|$ کار تبدیل شده است. از آنجا که این عملکرد با قانون دوم ناسازگار است، چنین ماشینی وجود ندارد.



تمرین پیشنهادی بخش ۵ــ۸

یک ماشین کارنو که دمای منبع دماپایین آن ۱۷°C است، بازده‌ای برابر ۴۰٪ دارد. دمای منبع دما بالای آن باید چقدر افزایش یابد تا بازدهٔ ماشین ۵۰٪ شود؟

پاسخ : ۹۷K

پرسش پیشنهادی بخش ۵ــ۸

مخترعی ادعا می‌کند ماشینی ساخته است که در هر ثانیه گرمای ورودی به آن در دمای ۴۳۵K برابر ۹/۰kJ و گرمای خروجی از آن در دمای ۲۸۵K برابر ۴/۰kJ است. آیا این ادعا درست است؟

پاسخ : خیر. بازدهٔ ماشین پیشنهادی ۵۶٪ می‌شود، در حالی که بازدهٔ کارنو برای این ماشین ۳۴ ٪ است.

۵ــ۹ــ قانون دوم ترمودینامیک و یخچال‌ها

خوب است دوباره اشاره شود قانون دوم مستقل از قانون اول است و مثلاً در اینجا انتقال خود به خودی گرما از جسم سرد به جسم گرم، قانون اول را نقض نمی‌کند ولی با قانون دوم ناسازگار است.

خوب است توجه دانش‌آموزان را با این مثال آشنا از یخچال خانگی به موضوع جلب کنیم که یخچال با انجام کار، گرما را از محفظهٔ یخچال که سردتر است به محیط گرم‌تر بیرون انتقال می‌دهد و با خاموش شدن موتور یخچال، فرایند خود به خودی انتقال گرما از محیط گرم به محیط سرد رخ می‌دهد و پس از مدتی دمای داخل و بیرون یکسان می‌شود.

خوب است دوباره اشاره شود، در حالی که رابطهٔ $K=Q_L/W$ برای همهٔ یخچال‌ها (چه آرمانی و چه غیر آرمانی) برقرار است، ولی رابطهٔ $k=Q_L/(|Q_H|-Q_L)$ فقط برای ماشین‌های آرمانی به‌کار برده می‌شود.

دانستنی برای معلم

هم‌ارزی قانون دوم ترمودینامیک به بیان ماشین گرمایی (بیان کلوین ـ پلانک) و قانون دوم ترمودینامیک به بیان یخچالی (بیان کلاسیوس)

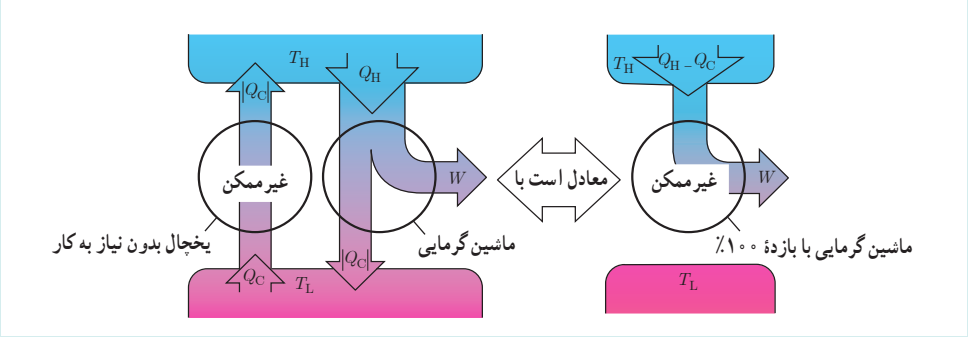
در درس با دو بیان قانون دوم ترمودینامیک آشنا شدیم :

- *بیان ماشین گرمایی قانون دوم ترمودینامیک :* ممکن نیست دستگاه چرخه‌ای را بپیماید که در طی آن مقداری گرما را از منبع دما بالا جذب و تمام آن را به کار تبدیل کند.
- *بیان یخچالی قانون دوم ترمودینامیک :* ممکن نیست گرما به‌طور خود به خود از جسم با دمای پایین‌تر به جسم با دمای بالاتر منتقل شود.

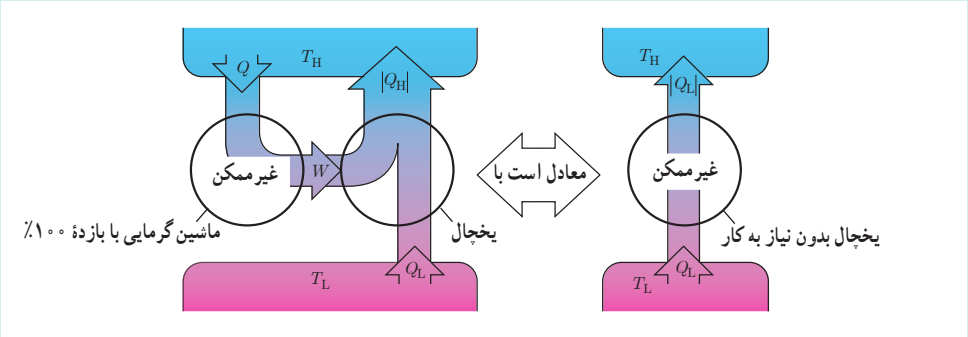
در نگاه اول ممکن است چنین به نظر برسد که این دو بیان ربطی به یکدیگر ندارند. در حالی که در واقع، هر دو بیان معادل یکدیگرند. مثلاً اگر بتوان یخچالی ساخت که بدون احتیاج به کار مکانیکی کار کند مخالف بیان دوم است. اگر این یخچال با ماشین گرمایی ترکیب شود که به همان منبع‌های دمای پایین و دمای بالای یخچال متصل باشد و همان مقدار گرمای دریافتی یخچال از منبع دمای پایین را به آن بازگرداند، مجموعهٔ مرکب این یخچال و ماشین (شکل الف) به منزلهٔ ماشینی گرمایی است که گرما را از یک منبع دریافت کرده و تمام آن را به کار تبدیل می‌کند. یعنی، با بیان قانون دوم مبتنی بر ماشین گرمایی در تناقض است.

اکنون فرض کنید ماشینی با بازدهٔ گرمایی صددرصد وجود دارد که این در تناقض با بیان قانون دوم ترمودینامیک مبتنی بر ماشین گرمایی است. هرگاه با کار حاصل از چنین ماشینی، یخچالی را به کار اندازند، که به همان دو منبع دمای پایین و دمای بالا متصل باشد (شکل ب)، مجموعهٔ هر دو معادل یخچالی است که بدون احتیاج به کار، گرما را از منبع دما ــ پایین به منبع دما ــ بالا منتقل می‌کند،

یعنی با بیان یخچالی قانون دوم ترمودینامیک در تناقض است. پس هر اسبابی که عمل آن با یکی از بیان‌های قانون دوم در تناقض باشد، با بیان دیگری نیز متناقض است.



الف) اگر یخچال بدون نیاز به کار وجود داشته باشد، در ترکیب با یک ماشین گرمایی معمولی، ماشینی با بازدهٔ ۱۰۰٪ را ایجاد می‌کند.



ب) اگر ماشینی گرمایی با بازدهٔ ۱۰۰٪ وجود داشته باشد، در ترکیب با یک یخچال معمولی، یخچالی بدون نیاز به کار را ایجاد می‌کند.

دانستنی برای معلم

اثبات رابطهٔ (۵ــ۱۰)؛ بازدهٔ ماشین کارنو و رابطهٔ (۵ــ۱۴)؛ ضریب عملکرد یخچال کارنو

برای اثبات رابطهٔ بازده ماشین کارنو باید به معرفی چرخهٔ کارنو بپردازیم. مراحل عمل چرخهٔ کارنو از این قرارند :

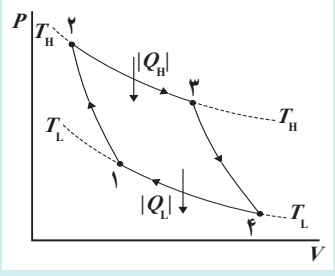
۱ گاز در دمای T_H انبساط هم‌دما یافته و گرمای Q_H را می‌گیرد.

۲ به‌طور بی‌دررو انبساط می‌یابد تا دمای آن به T_L افت کند.

۳ در دمای T_L متراکم هم‌دما می‌یابد و گرمای $|Q_L|$ را به منبع دما ــ پایین می‌دهد.

۴ به‌طور بی‌دررو متراکم می‌شود و به وضعیت اول بازگردد.

این مراحل در شکل روبه‌رو رسم شده است :



به منظور محاسبهٔ بازده نیاز داریم به محاسبهٔ کار در فرایندهای هم‌دما برای گاز کامل بپردازیم که قرینهٔ گرمای مبادله شده در این فرایندها نیز هست. به این منظور از رابطهٔ $P= nRT/V$ برای گازهای کامل استفاده می‌کنیم و آن را در رابطهٔ کار ترمودینامیکی قرار می‌دهیم. برای کار (محیط) داریم

$$W= -\int_{V_1}^{V_2} PdV = \int_{V_1}^{V_2} \frac{nRT}{V} = -nRT\ln\frac{V_2}{V_1}$$

هرگاه دستگاه انبساط یافته باشد ($V_2 > V_1$).

بنابراین گرماهای مبادله شده برابرند با

$$Q_H= nRT_H \ln\frac{V_3}{V_2}$$

$$Q_L = nRT_L \ln\frac{V_4}{V_1}$$

در نتیجه

$$\frac{Q_L}{Q_H} = \frac{T_L}{T_H}\ \frac{(\ln V_4/V_1)}{(\ln V_3/V_2)}$$

اگر از رابطهٔ بین دما و حجم در فرایند بی‌دررو استفاده کنیم، این نسبت ساده‌تر می‌شود :

$$T_L V_1^{\gamma-1}= T_H V_2^{\gamma-1}$$

$$T_L V_4^{\gamma-1}= T_H V_3^{\gamma-1}$$

که با جای‌گذاری در رابطهٔ بالا به رابطهٔ روبه‌رو می‌انجامد

$$\frac{Q_L}{Q_H} = -\frac{T_L}{T_H}$$

و از آنجا بازدهٔ چرخهٔ کارنو چنین می‌شود :

$$\eta = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

به دلیل برگشت‌پذیر بودن فرایندهای چرخهٔ کارنو می‌توان همهٔ چرخه را در جهت معکوس به انجام رسانید. در نتیجه، ماشین به یخچال تبدیل می‌شود. بنابراین داریم :

$$K = \frac{Q_L}{W} = \frac{Q_L}{|Q_H| - Q_L} = \frac{Q_L/|Q_H|}{1 - Q_L/|Q_H|}$$

$$= \frac{T_L/T_H}{1 - T_L/T_H} = \frac{T_L}{T_H - T_L}$$

دلیل گرم شدن گاز، تراکم بی درروی آن بر اثر حرکت سریع کمپرسور است که آن را می‌توان با لمس کردن لوله‌های پشت یخچال، در اطراف کمپرسور حس کرد.

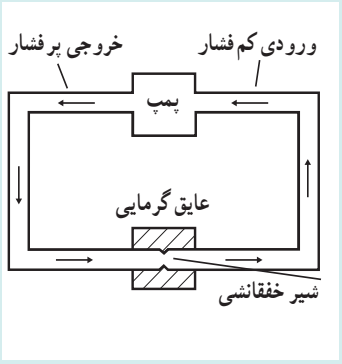
هر مایعی در فرایند خفقانشی سرد نمی‌شود. برای فهم دقیق‌تر این پدیده، دانستنی مربوط به فرایند خفقانشی را مطالعه کنید.

دانستنی برای معلم

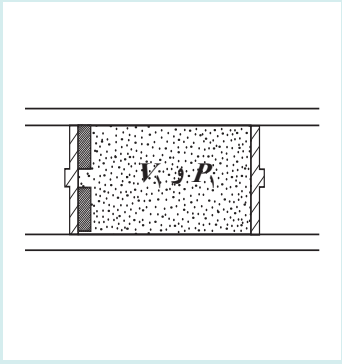
فرایند خفقانشی

در خوب است بدانید «ساز و کار یخچال خانگی»، به نحوهٔ کار یخچال‌ها اشاره مختصری شد. از آنجا که بررسی کامل و دقیق کار یک یخچال مستلزم آشنایی با فرایندی موسوم به فرایند خفقانشی است، این دانستنی به مرور این فرایند می‌پردازد.

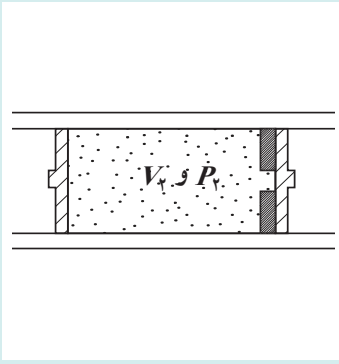
در پدیدهٔ خفقانشی، شاره‌ای که ابتدا در فشار ثابت و زیادی است، پس از عبور از یک جدار متخلخل یا مجرای باریک (شیر سوزنی یا شیر خفقانشی)، بدون انتقال گرما به محیطی که فشار آن پایین است، وارد می‌شود. شکل ۱ــ الف شاره‌ای را نشان می‌دهد که با پمپ به محیط پرفشاری منتقل شده و پس از عبور از گلوگاهی باریک، به لولهٔ ورودیِ پمپ که فشار آن کم است، وارد می‌شود. هر جزء از شاره در جریان دائمی خود، دستخوش فرایند خفقانشی می‌شود. فرض کنید که مقداری شاره نظیر شکل ۱ــ ب، بین یک ستون و یک دریچهٔ خفقانشی محبوس شده و پیستون دیگری در طرف مقابل روی دریچه قرار گرفته باشد. دو پیستون را به طرف راست حرکت می‌دهیم؛ به‌طوری که همواره P_1، فشار سمت چپ و P_2 فشار سمت راست، ثابت بماند و نیز P_1 بیشتر از P_2 باشد. پس از آنکه همهٔ شاره به طرف راست منتقل شد، دستگاه به وضعیّت نشان داده شده در شکل ۱ــ پ در می‌آید. کار انجام شده روی دستگاه برابر با تفاضلِ کارِ دریافتی از پیستون طرف چپ و کار انجام شده روی پیستون طرف راست است. هرگاه V_1 و V_2 به ترتیب حجم‌های ابتدایی و نهایی شاره باشند، چون شارهٔ کم‌فشار از صفر تا V_2 تغییر حجم داده و فشار آن ثابت و برابر P_2 است، کار شاره در این قسمت برابر با $P_2(V_2 - 0)$ می‌شود. از طرف دیگر، شارهٔ پرفشار از V_2 تا صفر تغییر حجم داده و فشار آن ثابت و برابر P_1 است. بنابراین، کار شاره در اینجا برابر با $P_1(0 - V_1)$ است و در نتیجه کار کل دستگاه، برابر با $P_2V_2 - P_1V_1$



شکل ۱ــ الف دستگاهی با دو فشار



شکل ۱ــ ب شاره در فشار بالای P_1



شکل ۱ــ پ شاره در فشار پایین‌تر P_1

و کار محیط، قرینهٔ آن می‌شود. چون فرایند بی‌دررو است ($Q = 0$)، طبق قانون اول ترمودینامیک خواهیم داشت :

$$U_2 - U_1 = 0 - (P_2 V_2 - P_1 V_1)$$

و یا

$$U_2 + P_2 V_2 = U_1 + P_1 V_1$$

$U + PV$ را *آنتالپی* دستگاه می‌نامند. بنابراین نتیجه می‌گیریم که آنتالپی (که آن را با نماد H مشخّص می‌کنند) در فرایند خفقانشی ثابت باقی می‌ماند.

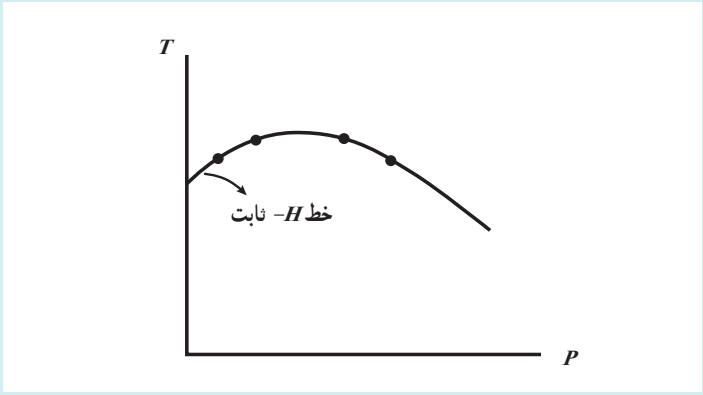
دمای یک شاره ممکن است بر اثر فرایند خفقانشی به‌شدّت افت کند؛ که این امر در واقع اساس کار سردکُن‌ها و دستگاه‌های تهویهٔ مطبوع است؛ امّا همیشه چنین نیست و دمای یک شاره گاهی ممکن است طی فرایند خفقانشی بدون تغییر بماند و یا حتی افزایش یابد. رفتار یک شاره در فرایند خفقانشی را ضریبی موسوم به *ضریب ژول ـ تامسون* بیان می‌کند که به‌صورت زیر تعریف می‌شود :

$$\mu = \left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_H$$

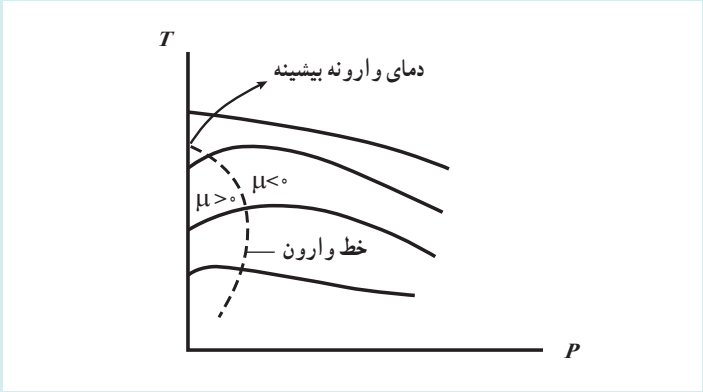
بنابراین ضریب ژول ـ تامسون میزان تغییرات دما نسبت به فشار، طیّ یک فرایند «آنتالپی ـ ثابت» است. باید توجه داشت که طیّ یک فرایند خفقانشی، اگر :

$$\mu \begin{cases} < 0 \Longrightarrow \text{دما افزایش می‌یابد} \\ = 0 \Longrightarrow \text{دما ثابت می‌ماند} \\ > 0 \Longrightarrow \text{دما کاهش می‌یابد} \end{cases}$$

یک نگاه دقیق به تعریف این ضریب روشن می‌سازد که ضریب ژول ـ تامسون، شیب خم‌ها (یا اصطلاحاً خطوط) H – ثابت روی نمودار $T-P$ را نشان می‌دهد. این نمودارها را می‌توان خیلی ساده از اندازه‌گیری دما و فشار طیّ فرایندهای خفقانشی به دست آورد. یک شاره در یک فشار و دمای معیّن، T_1 و P_1 واداشته می‌شود که از یک جدار متخلخل عبور کند تا دما و فشارش به T_2 و P_2 برسد. آزمایش را برای اندازه‌های مختلف جدار متخلخل تکرار می‌کنیم و از هر کدام یک T_2 و P_2 به‌دست می‌آوریم. بار رسم دماهای T_2 برحسب فشارهای P_2 یک خم (خط) H ــ ثابت در نمودار $T-P$ به‌دست می‌آید (شکل ۲).



شکل ۲ــ به‌دست آوردن خطّ آنتالپی ــ ثابت در نمودار $T-P$



شکل ۳ــ خطوط آنتالپی ثابت مربوط به یک ماده در نمودار $T-P$

با تکرار آزمایش برای مقادیر مختلف فشار و دمای ورودی (P_1 , و T_1) می‌توانیم یک نمودار $T-P$ برای یک مادّه مطابق شکل (۳) رسم کنیم. بعضی از خطوط آنتالپی ــ ثابت در نمودار $T-P$ از یک نقطهٔ با شیب صفر یا ضریبِ ژول ـ تامسون صفر عبور می‌کنند. خطی که از این نقاط عبور می‌کند، خطّ وارون نامیده می‌شود و دما در نقطه‌ای که یک خطّ آنتالپی ـ ثابت با خط وارون تقاطع دارد، *دمای وارون* نامیده می‌شود. دما در تقاطع خطّ $P=۰$ و قسمت بالایی خطّ وارون، دمای *وارون بیشینه* نامیده می‌شود. توجه داشته باشید که شیب‌های خطوط H – ثابت در طرف راستِ خط وارون، منفی ($\mu<۰$) و در سمت چپ آن، مثبت ($\mu>۰$) هستند.

یک فرایند خفقانشی در طول یک خطّ آنتالپی ثابت، در جهت کاهش فشار، یعنی از راست به چپ پیش می‌رود. بنابراین، دمای شاره تا هنگامی که فرایند خفقانشی در طرف راست خطّ وارون قرار دارد، افزایش می‌یابد. اما برای آن فرایندهای خفقانشی‌ای که در طرف چپ خطّ وارون واقع‌اند، دمای شاره کاهش می‌یابد. با توجه به این نمودار، کاملاً روشن است که خنک‌سازی به وسیلهٔ فرایند خفقانشی ممکن نیست مگر آن‌که شاره زیر دمای وارون بیشینهٔ خود باشد. این موضوع برای موادّی که دمای وارون بیشینهٔ آنها بسیار کم است، مشکل به‌وجود می‌آورد. برای مثال، دمای وارون بیشینهٔ هیدروژن $-۶۸^{\circ}C$ است. بنابراین، اگر بخواهیم سرمای بیشتری را با فرایند خفقانشی ایجاد کنیم، باید هیدروژن را تا زیر این دما سرد کنیم.

حال می‌خواهیم رابطه‌ای کلی برای ضریب ژول ــ تامسون برحسب کمیّت‌های گرمای ویژهٔ مولی فشار، حجم و دما به‌دست آوریم.

این کار را می‌توان به آسانی با اصلاح رابطهٔ عمومی تغییر آنتالپی انجام داد[۱] :

$$dH = C_P dT + [\,V - T\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P\,]dP$$

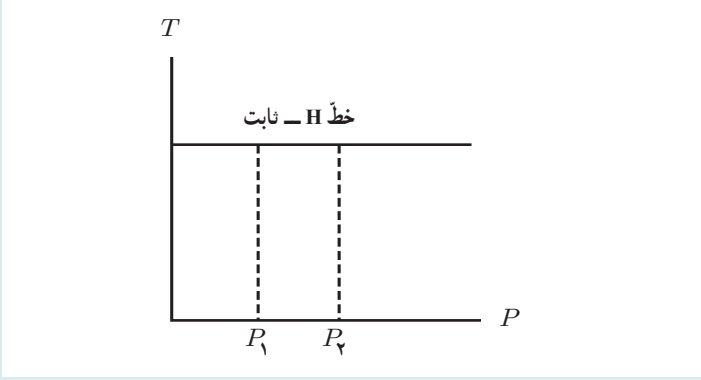
برای یک فرایند H – ثابت، $dH = ۰$ است. پس می‌توان این رابطه را به شکل زیر مرتب کرد :

$$\mu = \left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_H = -\frac{۱}{C_P}[\mathrm{V} - \mathrm{T}\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P]$$

بنابراین، ضریب ژول ــ تامسون را می‌توان با دانستن گرمای ویژهٔ مولی در فشار ثابت و رفتار $P-V-T$ ماده به‌دست آورد. یک مثال از به‌کارگیری رابطهٔ بالا، محاسبهٔ ضریب ژول ـ تامسون یک گاز کامل است. برای یک گاز کامل $V=\frac{RT}{P}$ است و بنابراین $\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P = \frac{R}{P}$ می‌شود. با جای‌گذاری این رابطه در رابطهٔ بالا خواهیم داشت :

$$\mu = \frac{-۱}{C_P}[\,V - T\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P\,] = \frac{-۱}{C_P}(V - T\frac{R}{P}) = \frac{۱}{C_P}(V - V) = ۰$$

این نتیجه، غیر منتظره نیست؛ زیرا آنتالپیِ گاز کامل فقط به دما بستگی دارد : $H = H(T)$. براساس آن ، دما باید ثابت بماند؛ مگر اینکه آنتالپی تغییر کند. از آنجا که در صورت تغییر آنتالپی، فرایند خفقانشی نیست. بنابراین، از یک فرایند خفقانشی نمی‌توان برای سرد کردن گاز کامل استفاده کرد.



شکل ۴ــ دمای یک گاز کامل طی یک فرایند خفقانشی ثابت می‌ماند

۱ــ اثبات این رابطه بسیار ساده است. ولی لازمهٔ آن، دانستن روابط چهارگانهٔ ماکسول است که بررسی این روابط، خارج از حدّ این دانستنی است. خوانندهٔ علاقه‌مند می‌تواند به صفحهٔ ۲۹۱ ترجمهٔ فارسی کتاب حرارت و ترمودینامیک زیمانسکی ــ دیتمن (ویراست هفتم) مراجعه کند.

پاسخ پرسش ۵ــ۳

ضریب عملکرد یخچال کارنو با استفاده از رابطهٔ ۵ــ۱۴ به‌دست می‌آید.

$$K_{\text{کارنو}} = \frac{T_L}{T_H - T_L}$$

بنابراین هرچه دمای دو منبع گرما به یکدیگر نزدیک‌تر باشد (یعنی هرچه $T_H - T_L$ کوچک‌تر باشد) مقدار K بیشتر است. بنابراین نتیجه می‌گیریم کولر گازی در آب و هوای معتدل که اختلاف دمای دو منبع در آن کمتر از اختلاف دمای درون و بیرون خانه در هوای گرم است، بهتر عمل می‌کند.

زمان به‌دست آمده در این مثال ۵ــ۱۷، حدود ۱۹ دقیقه است ولی توجه کنید در واقع امر، در یک یخچال خانگی معمولی، مدت زمان لازم برای این رُخداد، خیلی بیشتر از این مقدار است و ممکن است چند ساعت طول بکشد، زیرا در یخچال خانگی که انبوهی از مواد درون یخچال وجود دارد (بدنهٔ داخلی یخچال، هوای درون یخچال، موادغذایی) و بنابراین، سرمایش، فقط متوجه و متمرکز روی این آب نیست. به‌علاوه در یخچال، دائماً شارش خود به‌خودی گرما، از هوای گرم بیرون یخچال به هوای سرد درون آن وجود دارد. بخشی از فرایند سرمایش نیز صرف جبران این شارش خود به خودی و ثابت نگه داشتن دمای داخل یخچال می‌شود.

تمرین‌های پیشنهادی بخش ۵ــ۹

۱ یخچالی با ضریب عملکرد ۲/۸۰، توانی برابر ۲۰۰W مصرف می‌کند. چقدر طول می‌کشد که این یخچال یخی به جرم ۶۰۰g را به آبی ۰°C تبدیل کند؟

پاسخ : ۳۶۰s یا ۶/۰۰ دقیقه

۲ برای ساختن یخ، فریزری که به صورت ماشین کارنوی معکوسی عمل می‌کند، در حین هر چرخه ۴۲kJ انرژی را به صورت گرما در دمای ۱۵°C− با ضریب عملکرد ۵/۷ جذب می‌کند. دمای اتاق برابر ۳۰/۳°C است. الف) چقدر انرژی در هر چرخه به صورت گرما در اتاق آزاد می‌شود و ب) کار لازم در هر چرخه برای راه‌انداختن فریزر چقدر است؟

پاسخ : الف) $|Q_H|$=۴۹kJ

ب) $|W|$=۷/۰kJ

پرسش پیشنهادی بخش ۵ــ۹

یک روش که گاهی برای سرد کردن آشپزخانه در یک روز گرم پیشنهاد می‌شود این است که در یخچال را باز بگذاریم. آیا واقعاً این کار آشپزخانه را خنک می‌کند؟

الف) بله، زیرا عمل یخچال‌ها مانند وسایل تهویهٔ هوا هستند.

ب) نه،این کار آشپزخانه را گرم‌تر می‌کند.

پ) این کار هیچ تأثیری ندارد.

پاسخ : یخچال همواره به گرمای آشپزخانه می‌افزاید، چه در آن باز و چه در آن بسته باشد. باز کردن در یخچال باعث می‌شود یخچال بیشتر کار کند و بنابراین گرمای بیشتری هم به آشپزخانه نسبت به موقعی می‌دهد که درِ یخچال بسته است. پس گزینهٔ ب درست است.

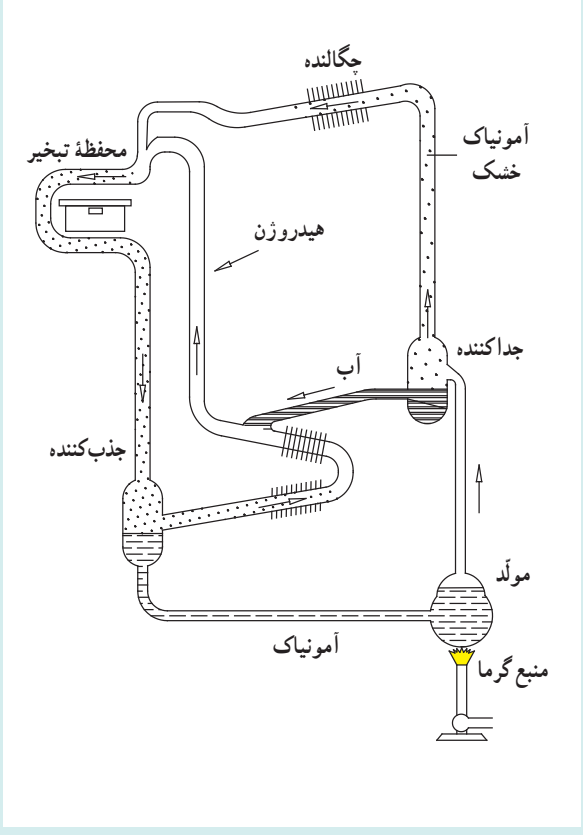
دانستنی برای معلم

یخچال جذبی

یخچال جذبی، یخچالی است که با استفاده از یک منبع گرما انرژی لازم برای راه انداختن فرایند سرمایش را مهیا می‌کند. یخچال جذبی انواع مختلفی دارد که از معروف‌ترین آنها *یخچال اینشتین ــ زیلارد* است. نوع بدوی این یخچال‌ها، یخچالی است که اصطلاحاً آن را *یخچال نفتی* می‌نامند. در اینجا به معرفی این یخچال می‌پردازیم.

یخچال نفتی

در این یخچال که طرح ساده‌ای از آن را در شکل می‌بینید از منبع گرمای کوچکی (اجاق یا چراغ نفتی) برای جوشاندن محلول غلیظ آمونیاک در آب و تبخیر آن استفاده می‌شود. این بخش از یخچال را مولّد یا ژنراتور می‌گویند. مخلوط بخار آب و آمونیاک پُرفشار از بخش دیگری به نام جداکننده عبور می‌کند و بدین ترتیب بخار آب، تقطیر و از آمونیاک جدا می‌شود. به این آمونیاک، آمونیاک خشک می‌گویند. سپس آمونیاک خشک و پُرفشار وارد چگالنده می‌گردد. در چگالنده، آمونیاک با دادن گرما به هوای پیرامون چگالنده، سرد و مایع می‌شود. در این مرحله، گاز هیدروژن به آمونیاک مایع اضافه شده و این مخلوط وارد محفظهٔ تبخیر می‌گردد.



در محفظهٔ تبخیر، آمونیاک مایع با گرفتن گرما از هوا و مواد درون یخچال که پیرامون محفظهٔ تبخیر هستند، بخار می‌شود و این عمل، هوا و مواد را خنک می‌کند. هیدروژن اضافه شده به آمونیاک مایع، پیش از ورود به محفظهٔ تبخیر، سبب سرعت بخشیدن به تبخیر آمونیاک در محفظهٔ تبخیر می‌گردد. مخلوط بخار آمونیاک و هیدروژن پس از خروج از محفظهٔ تبخیر وارد قسمت دیگری از یخچال به نام جذب‌کننده می‌شود. در این بخش، بخار آمونیاک در آب حل می‌شود اما هیدورژن در آب حل نشده و دوباره برای اضافه شدن به آمونیاک مایع هنگام ورود به محفظهٔ تبخیر برگردانده می‌شود. آبی که در این مرحله آمونیاک در آن حل می‌شود قبلاً از مخلوط بخار داغ و پُرفشار آمونیاک و آب، در جداکننده از آمونیاک جدا شده است. محلول آمونیاک در آب، از جذب‌کننده به مولّد یا ژنراتور برمی‌گردد و دوباره با گرفتن گرما از منبع گرما (اجاق یا چراغ نفتی) تبخیر شده و همهٔ این چرخه از نو تکرار می‌شود. در یخچال نفتی، چون قسمت‌های متحرک یخچال‌های برقی (موتور و کمپرسور) وجود ندارد، یخچال بدون سر و صدا کار می‌کند.

راهنمای پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۵

۱ از قانون اول ترمودینامیک داریم

$$\Delta U = Q + W = -۳۱\,\text{kJ} + ۴۰\,\text{kJ} = ۹\,\text{kJ}$$

۲ (الف) همان‌طور که در متن درس اشاره شد اگر پیستون را با گیره‌های ثابت کنیم و دمای گاز را با استفاده از یک منبع گرما به‌تدریج افزایش یا کاهش دهیم، فشار گاز طی یک فرایند هم‌حجم ایستاوار، افزایش یا کاهش می‌یابد.

(ب) این مورد نیز در متن درس توضیح داده شد. در اینجا نیز با افزایش دمای کند و تدریجی توسط منبع گرما، در هر مرحله به علت اختلاف دمای جزئی بین منبع و دستگاه، مقدار کمی گرما به گاز منتقل می‌شود که در نتیجه آن گاز کمی منبسط می‌شود و پیستون را که حالا آزاد است اندکی به طرف بالا جابه‌جا می‌کند. اگر گرما دادن را به همین روش به‌صورت آهسته ادامه دهیم، گاز به‌کندی منبسط می‌شود و پیستون به‌طور ایستاوار به بالا حرکت می‌کند. شتاب حرکت پیستون چنان کم است که می‌توان گفت در طی گرما دادن همواره فشار گاز ثابت می‌ماند. برای کاهش حجم ایستاوار و هم فشار گاز نیز، به روش مشابه، دمای منبع گرما را به‌تدریج و به‌کندی کاهش می‌دهیم.

۳ این آزمایش مشابه حالتی است که گاز محبوس در استوانه‌ای با پیستون آزاد در تماس با یک منبع گرما با دمای قابل تنظیم است و دمای منبع به‌آرامی بالا می‌رود.

به علت اختلاف جزئی دمای بین منبع (آب) و هوای درون سرنگ، گرما به‌کندی به هوای محبوس درون سرنگ منتقل می‌شود و هوا به آرامی [در فشار ثابت] اندکی منبسط می‌گردد و پیستون، سرنگ را اندکی به جلو می‌راند. اگر گرما دادن را به همین روش تدریجی ادامه دهیم، ضمن افزایش دما و حجم هوای درون سرنگ، پیستون به‌آهستگی حرکت می‌کند. همان‌طور که گفتیم این فرایند در فشار ثابت رخ می‌دهد. زیرا وقتی سرنگ به‌طور افقی درون آب قرار گرفته است، اختلاف فشاری بین درون سرنگ و آب بیرون آن وجود ندارد و به محض اینکه یکی از این دو فشار اندکی افزایش یا کاهش یابد، پیستون جابه‌جا می‌گردد تا دوباره فشارها برابر شوند. و چون در اینجا فشار آب تغییر نمی‌کند، فشار درون سرنگ هم تغییر نخواهد کرد و انبساطی هم‌فشار خواهیم داشت.

۴ الف) در فرایند هم‌حجم، کار برابر صفر است. برای محاسبهٔ گرمای مبادله شده از رابطهٔ $Q = nC_V\Delta T$ استفاده می‌کنیم و به جای ΔT از قانون گازهای آرمانی (کامل) جای‌گذاری خواهیم کرد. با نمو گرفتن از قانون گازهای کامل (با توجه به اینکه $\Delta V = ۰$ است) داریم

$$V\Delta P = nR\Delta T$$

و از آنجا $\Delta T = \dfrac{V\Delta P}{nR}$ می‌شود. با توجه به اینکه برای گاز کامل تک اتمی $C_V = \dfrac{۳}{۲}R$ است، داریم

$$Q = n\left(\frac{۳}{۲}R\right)\left(\frac{V\Delta P}{nR}\right) = \frac{۳}{۲}V\Delta P$$

که در یکاهای SI چنین به‌دست می‌دهد :

$$Q = \frac{۳}{۲}(۸/۳\times ۱۰^{-۳}\,\text{m}^۳)(۳/۰-۱/۵)(۱۰^۵\,\text{N/m}^۲) = ۱/۹\times ۱۰^۳\,\text{J}$$

توجه کنید که در حجم ثابت برای افزایش فشار باید به گاز گرما داد و علامت مثبت Q نیز نشان می‌دهد که این گرمایی است که گاز می‌گیرد تا افزایش فشار دهد.

ب) حال اگر حجم گاز را کم کنیم، برای کار در یکای SI خواهیم داشت :

$$W=-P\Delta V=-(۱/۵\times ۱۰^{۵}\,\mathrm{N/m^{۲}})(\frac{۸/۳}{۲}-۸/۳)\times ۱۰^{-۳}\,\mathrm{m^{۳}}$$
$$=۶/۲\times ۱۰^{۳}\,\mathrm{J}$$

توجه کنید که علامت W مثبت شده است و این به معنای آن است که کار روی دستگاه انجام شده است. برای محاسبهٔ گرمای مبادله شده از رابطهٔ $Q=nC_P\Delta T$ استفاده می‌کنیم. در این رابطه به‌جای ΔT دوباره از قانون گازهای کامل قرار می‌دهیم :

$$Q=nC_P\left(\frac{P\Delta V}{nR}\right)$$

با توجه به اینکه C_P برای گازهای کامل تک اتمی برابر $\frac{۵}{۲}R$ است، $Q=\frac{۵}{۲}P\Delta V$ می‌شود و از آنجا در یکاهای SI خواهیم داشت :

$$Q=\frac{۵}{۲}(۱/۵\times ۱۰^{۵}\,\mathrm{N/m^{۲}})(\frac{۸/۳}{۲}-۸/۳)\times ۱۰^{-۳}\,\mathrm{m^{۳}}=-۱/۶\times ۱۰^{۳}\,\mathrm{J}$$

توجه کنید علامت Q منفی شده است و این به معنای آن است که گاز به محیط گرما داده است.

۵

کار محیط = −(کار گاز) = −(مساحت ذوزنقه)

$$=-\frac{۱}{۲}\,[(۳/۰۰+۲/۰۰)(۱/۰۱\times ۱۰^{۵}\mathrm{N/m^{۲}})](۲/۰۰\times ۱۰^{-۳}\mathrm{m^{۳}})=-۵۰۵\mathrm{J}$$

و آنگاه با استفاد از قانون اول ترمودینامیک داریم

$$Q=\Delta U-W_{\text{محیط}}=(۹۱۲\mathrm{J}-۴۵۶\mathrm{J})+۵۰۵\mathrm{J}=۹۶۱\mathrm{J}$$

چون Q مثبت شده است این بدین معنی است که گاز گرما گرفته است.

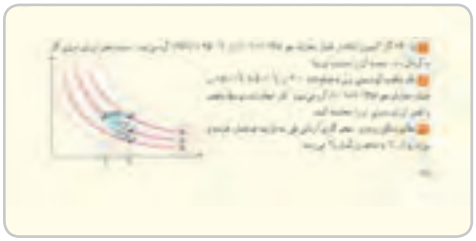
۶ الف) نخست قانون اول ترمودینامیک را برای مسیر abc می‌نویسیم :

$$\Delta U_{abc}=Q_{abc}+W_{abc}=۹۰\,\mathrm{J}+(-۷۰\,\mathrm{J})=۲۰\,\mathrm{J}$$

ب) قدرمطلق کار انجام شده برابر با مساحت زیر نمودار فرایند در صفحهٔ $P-V$ است. بنابراین، بدیهی است که مساحت زیر مسیر adc کمتر از مساحت زیر مسیر abc است و در نتیجه مقدار کار در مسیر abc کمتر از مقدار کار در مسیر abc است. از طرفی در هر دو فرایند گاز انبساط یافته است و بنابراین کار محیط منفی و کار دستگاه (گاز) مثبت است. بنابراین کار گاز نیز در مسیر adc کمتر از مسیر abc است. برای مقایسهٔ گرمای داده شده به گاز، باید از قانون اول ترمودینامیک استفاده کنیم: $Q=\Delta U-W$. چون ΔU برای هر دو مسیر یکسان است باید W ها را با هم مقایسه کنیم. چون مقدار کار در مسیر adc کوچک است و از طرفی W کار محیط روی گاز و در هر دو مسیر منفی است پس $W_{adc}>W_{adc}$ است و درنتیجه Q در مسیر adc کوچک‌تر است.

پ) چرخهٔ بسته‌ای را درنظر بگیرید که شامل مسیر abc و مسیر خمیدهٔ بازگشت است. چون

$$\Delta U=\Delta U_{abc}+\Delta U_{ca}=۰$$



نتیجه می‌گیریم که باید به اندازهٔ $\Delta U_{abc} = ۲۰\,J$ از گاز انرژی بگیریم. البته چون در این بخش، هنوز چرخه مطرح نشده است می‌توانیم این طور نیز استدلال کنیم :

$$\Delta U_{abc} = U_c - U_a \text{ و } \Delta U_{ca} = U_a - U_c$$
$$\Rightarrow \Delta U_{ca} = -\Delta U_{abc} = -۲۰\,J$$

۷ آنچه مورد نظر است نسبت Q / ΔU است. داریم

$$\Delta U = nC_V\Delta T \text{ و } Q = nC_P\Delta T$$

در نتیجه

$$\frac{\Delta U}{Q} = \frac{C_V}{C_P} = \frac{۵}{۷} \approx ۰/۷$$

توجه کنید در این مسئله نیازی به جرم اکسیژن نداشتیم.

۸ با استفاده از تعریف کار و رابطهٔ انبساط حجمی داریم :

$$W_{\text{کار مکعب روی هوا}} = -W = P\Delta V = P(\beta V_{\circ}\Delta T) = (۱/۰۱\times۱۰^{۵}\,N/m^{۲})[(۳\times۲۳\times۱۰^{-۶}/^{\circ}C)(۸/۰\times۱۰^{-۳}\,m^{۳})(۱۰۰/۰^{\circ}C)] = ۵/۸J$$

از طرفی

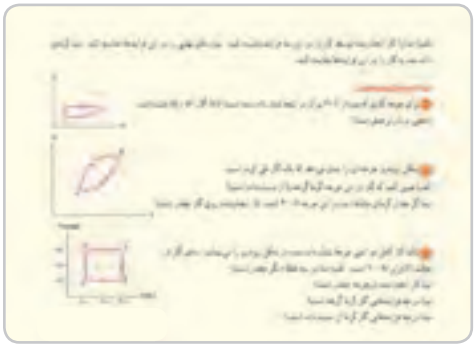
$$Q = mc\Delta T = (\rho V)c\Delta T$$
$$= (۲/۷\times۱۰^{۳}\,kg/m^{۳})(۸/۰\times۱۰^{-۳}\,m^{۳})(۹۰۰\,J/kg.K)(۱۰۰/۰\,K) = ۱/۹۴\times۱۰^{۶}J$$
$$\Rightarrow \Delta U = Q + W = ۱/۹۴\times۱۰^{۶}J - ۵/۶J = ۱/۹۴\times۱۰^{۶}J$$

توجه کنید که کار انجام شده در برابر Q بسیار ناچیز و اهمیت ندارد که این فرایند در خلأ صورت گیرد ($W = ۰$) یا خیر. تغییر انرژی درونی در دو حالت یکسان است.

۹ الف) قدرمطلق کار برابر با مساحت زیر نمودار فرایند ترمودینامیک‌ها در صفحهٔ $P-V$ است. از روی شکل دیده می‌شود که مساحت زیر نمودار فرایند هم‌فشار از همه بیشتر و مساحت زیر نمودار فرایند بی‌دررو از همه کمتر است. بنابراین مقدار کار انجام شده از کمترین تا بیشترین به ترتیب بی‌دررو، هم‌دما و هم‌فشار است. البته دراین سؤال از کار گاز روی محیط پرسیده شده است که با توجه به انبساطی بدون هر سه فرایند، برای هر فرایند مقداری مثبت است. پس همین مقایسه در مورد خودِ کارها نیز درست است.

ب) از قانون گازهای کامل درمی‌یابیم که در فرایند هم‌فشار با افزایش حجم، دما افزایش می‌یابد. در فرایند هم‌دما نیز بدیهی است که دما ثابت می‌ماند. در فرایند بی‌دررو نیز از قانون اول ترمودینامیک در می‌یابیم که در انبساط، کاهش دما داریم. این موارد همگی در شکل نیز مشخص شده است. بنابراین دمای نهایی در این سه فرایند از کمترین تا بیشترین به ترتیب بی‌دررو، هم‌دما و هم‌فشار می‌شود.

پ) در فرایند بی‌دررو $Q = ۰$ و در فرایندهای هم‌دما و هم‌فشار $Q > ۰$ است. برای مقایسهٔ فرایندهای هم‌دما و هم‌فشار نیز باید به قانون اول ترمودینامیک رجوع کنیم. با توجه به اینکه تغییر انرژی درونی و مقدار کار در فرایند هم‌دما از فرایند هم‌فشار کمتر است و نیز کار در هر دو فرایند منفی است، بنابراین در این مورد نیز ترتیب گرمای داده شده به ترتیب از کمترین تا بیشترین، بی‌دررو، هم‌دما و هم‌فشار می‌شود.



۱۰ از درس آموختیم که در چرخه‌های پادساعتگرد در صفحهٔ $P-V$ کار محیط (W) مثبت است. با این حال اینجا می‌خواهیم اثباتی برای این چرخه ارائه دهیم. از قانون اول ترمودینامیک داریم

$$\Delta U = Q + W$$

که در آن W کار محیط است. توجه کنید که در اینجا فرایندی چرخه‌ای داریم و $\Delta U = 0$ است. در مورد علامت W نیز می‌توانیم این فرایند چرخه‌ای را به سه بخش تقسیم کنیم. بدیهی است که در فرایند هم‌حجم، کار صفر است. اما مساحت زیر فرایند هم‌فشاری که در آن حجم کاهش یافته است، بیشتر از فرایند دیگری است که در آن افزایش حجم داریم. بنابراین کار محیط مثبت و کار دستگاه منفی است. اکنون با توجه به قانون اول ترمودینامیک برای فرایند چرخه‌ای می‌دانیم $Q=-W$ است و بنابراین Q نیز منفی می‌شود.

۱۱ الف) در فرایند چرخه‌ای $\Delta U = 0$ است و در نتیجه از قانون اول ترمودینامیک نتیجه می‌گیریم $Q=-W$ است . با توجه به اینکه چرخه ساعتگرد طی شده است کار محیط منفی است. (توجه کنید که نیازی به حفظ کردن نیست و می‌توانید همواره با مقایسهٔ مساحت زیر منحنی‌ها به منفی یا مثبت بودن کار پی ببرید.) بنابراین Q مثبت می‌شود و دستگاه گرما می‌گیرد.

ب) در قسمت الف دیدیم که Q مثبت است و در نتیجه داریم

$$W = -Q = -۴۰۰\,\text{J}$$

۱۲ الف) با استفاده از قانون گازهای کامل داریم :

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

با جای‌گذاری $P_۱ = ۱/۰\,\text{atm}$ ، $P_۲ = ۳/۰\,\text{atm}$ ، $V_۱ = V_۲$ و $T_۱ = ۲۰۰\,\text{K}$ به $T_۲ = ۶۰۰\,\text{K}$ می‌رسیم. که با توجه قواعد محاسبهٔ ارقام معنی‌دار باید به‌صورت $۶/۰ \times ۱۰^۲\,\text{K}$ بیان شود. اکنون با استفاده از قانون گازهای کامل $T_۳$ و $T_۴$ را نیز به‌دست می‌آوریم.

$$T_۳ = T_۲\frac{P_۲V_۳}{P_۲V_۲} = T_۲\frac{V_۳}{V_۲} = (۶۰۰\,\text{K})\left(\frac{۳۰۰\,\text{L}}{۱۰۰\,\text{L}}\right) = ۱۸۰۰\,\text{K} = ۱/۸ \times ۱۰^۳\,\text{K}$$

$$T_۴ = T_۳\frac{P_۴V_۴}{P_۳V_۳} = T_۳\frac{P_۴}{P_۳} = (۱۸۰۰\,\text{K})\left(\frac{۱/۰\,\text{atm}}{۳/۰\,\text{atm}}\right) = ۶۰۰\,\text{K} = ۶/۰ \times ۱۰^۲\,\text{K}$$

ب) مقدار کار انجام شده برابر با مساحت محصور در چرخه است که چنین می‌شود.

$$|W| = [(۳۰۰ - ۱۰۰)(۱۰^{-۳}\,\text{m}^۳)(۳/۰ - ۱/۰)(۱۰^۵\,\text{N/m}^۲)] = ۴/۰ \times ۱۰^۴\,\text{J}$$

پ) در فرایندهای ۲←۱ و ۳←۲ دمای گاز زیاد شده است و با توجه به رابطه‌های $Q = nC_V\Delta T$ و $Q = nC_P\Delta T$ درمی‌یابیم گاز گرما می‌گیرد.

ت) در فرایندهای ۴←۳ و ۱←۴ دمای گاز کم شده است و با توجه به رابطه‌های $Q = nC_V\Delta T$ و $Q = nC_P\Delta T$ درمی‌یابیم گاز گرما از دست می‌دهد.

توجه : می‌توانیم مقدار این گرماها را نیز محاسبه کنیم. مثلاً برای قسمت پ) انجام می‌دهیم. برای این گرما داریم

$$Q_{in} = Q_H = Q_{۱۲} + Q_{۲۳} = nC_V\Delta T_{۱۲} + nC_P\Delta T_{۲۳}$$
$$= \frac{۵}{۲}nR\Delta T_{۱۲} + \frac{۷}{۲}nR\Delta T_{۲۳}$$

برای محاسبهٔ nR از قانون گازهای کامل استفاده می‌کنیم :

$$nR = \frac{P_۱V_۱}{T_۱} = \frac{(۱/۰\text{atm})(۱۰۰\text{L})}{۲۰۰\text{K}} = ۰/۵۰\,\text{L.atm/K}$$

در نتیجه داریم

$$Q_{in} = [\frac{۵}{۲}(۶۰۰\text{K} - ۲۰۰\text{K}) + \frac{۷}{۲}(۱۸۰۰\text{K} - ۶۰۰\text{K})(۰/۵۰\frac{\text{L.atm}}{\text{K}}) = ۲/۶ \times ۱۰^{۳}\text{atm.L}$$
$$= (۲/۶ \times ۱۰^{۳}\text{atm.L})(۱/۰۱ \times ۱۰^{۵}\text{N/m}^{۲})(۱۰^{-۳}\text{m}^{۳}) = ۲/۶ \times ۱۰^{۵}\text{J}$$

۱۳ چون فرایندی چرخه‌ای داریم $\Delta U = ۰$ است. بنابراین $Q = -W$ می‌شود که در آن W کار محیط است. از طرفی می‌دانیم مقدار کار انجام شده در چرخه برابر مساحت محصور در چرخه است و در چرخه‌های ساعتگرد کار انجام شده بر روی دستگاه منفی است. بنابراین

$$W = -S_{ABC} = -\frac{۱}{۲}[(۳۰/۰ - ۱۰/۰) \times ۱۰^{۵}\text{N/m}^{۲}][(۴/۰ - ۱/۰) \times ۱۰^{-۳}\text{m}^{۳}]$$
$$= -۳/۰ \times ۱۰^{۳}\text{J}$$

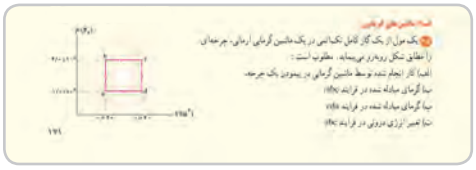
و از آنجا $Q = ۳/۰ \times ۱۰^{۳}\text{J}$ می‌شود.

۱۴ الف)

$$T_C = T_A = \frac{P_AV_A}{nR}$$
$$= \frac{(۲/۴ \times ۱/۰۱ \times ۱۰^{۵}\,\text{N/m}^{۲})(۲/۲ \times ۱۰^{-۳}\,\text{m}^{۳})}{(۰/۳۲\,\text{mol})(۸/۳۱۴\,\text{J/mol.K})}$$
$$= ۲۰۰/۴\,\text{K} \simeq ۲/۰ \times ۱۰^{۲}\text{K}$$
$$T_B = \frac{P_BV_B}{nR} = \frac{P_A(۲V_A)}{nR} = \frac{۲P_AV_A}{nR}$$
$$= ۲T_A = ۴۰۰/۹\text{K} \approx ۴/۰ \times ۱۰^{۲}\,\text{K}$$

ب) فرایند A→B را با شاخص پایین ۱ و فرایند B→C را با شاخص پایین ۲ و فرایند C→A را با شاخص پایین ۳ نشان می‌دهیم.

$$\Delta U_۱ = Q_۱ + W_۱$$
$$Q_۱ = nC_P\Delta T = \frac{۵}{۲}nR\Delta T$$
$$= \frac{۵}{۲}(۰/۳۲\,\text{mol})(۸/۳۱۴\,\text{J/mol.K})(۲۰۱\,\text{K})$$
$$= ۱۳۳۷\,\text{J} \approx ۱/۳\,\text{kJ}$$
$$W_۱ = -P_A\Delta V = -P_A(V_B - V_A)$$
$$= (-۲/۴ \times ۱/۰۱ \times ۱۰^{۵}\,\text{Pa})(۲/۲ \times ۱۰^{-۳}\,\text{m}^{۳})$$
$$= -۵۳۳/۳\,\text{J} \approx -۰/۵۳\,\text{kJ}$$
$$\Rightarrow \Delta U_۱ = Q + W_۱ = ۱/۳\,\text{kJ} - ۰/۵۳\,\text{kJ} = ۰/۷۷\,\text{kJ} \simeq ۰/۸\,\text{kJ}$$



(که البته این نتیجه را می‌توانیم از رابطهٔ $\Delta U = nC_V\Delta T$ نیز به‌دست آوریم.)

$$W_۲ = ۰ \qquad \text{و} \qquad \Delta U_۲ = Q_۲ + W_۲$$

$$Q_۲ = nC_V\Delta T = \frac{۳}{۲}nR\Delta T$$

$$= \frac{۳}{۲}(۰/۳۲\ \text{mol})(۸/۳۱۴\ \text{J/mol.K})](-۲۰۰/۵\ \text{K}) = -۸۰۰/۱\ \text{J} \simeq -۰/۸۰\ \text{kJ}$$

$$\Rightarrow \Delta U_۲ = ۰ + (-۸۰۲\ \text{J}) \approx -۰/۸۰\ \text{kJ}$$

(توجه کنید که $\Delta U_۲$ را می‌توانستیم به‌طور مستقیم، با توجه به اینکه در چرخه انرژی درونی کل برابر صفر است و فرایند C→A فرایندی هم‌دما است ($\Delta U_۲ = ۰$) برابر قرینهٔ $\Delta U_۱$ بگیریم.) توجه کنید تفاوت $\Delta U_۱$ و $\Delta U_۲$ به‌دست آمده، با درنظر گرفتن محاسبات با ارقام معنی‌دار رخ داده است.

۱۵ الف) مقدار کار انجام شده روی دستگاه برابر با مساحت محصور در چرخه است و چون چرخه به‌صورت ساعتگرد پیموده شده است، علامت آن منفی است.

$$W = -S_{abcd} = -[(۲/۰ \times ۱۰^۵ - ۱/۰ \times ۱۰^۵)\text{N/m}^۲ \times (۰/۰۴ - ۰/۰۲)\text{m}^۲]$$

$$= -۲/۰ \times ۱۰^۳\text{J} = -۲/۰\ \text{kJ}$$

کار انجام شده توسط ماشین قرینهٔ این مقدار و برابر $|W| = ۲/۰\ \text{kJ}$ می‌شود.

ب) فرایند abc از دو فرایند ab (هم‌حجم) و bc (هم‌فشار) تشکیل شده است. بنابراین

$$Q_{abc} = Q_{ab} + Q_{bc} = nC_V\Delta T_{ab} + nC_P\Delta T_{bc}$$

$$= n(\frac{۳}{۲}R)(\frac{V\Delta P}{nR})_{ab} + n(\frac{۵}{۲}R)(\frac{P\Delta V}{nR})_{bc} = \frac{۳}{۲}(\text{V}\Delta\text{P})_{ab} + \frac{۵}{۲}(\text{P}\Delta\text{V})_{bc}$$

$$= \frac{۳}{۲}(۰/۰۲۰\text{m}^۳)(۱/۰ \times ۱۰^۵\text{N/m}^۲) + \frac{۵}{۲}(۲/۰ \times ۱۰^۵\text{N/m}^۲)(۰/۰۲\text{m}^۳) = ۱/۳ \times ۱۰^۴\text{J} = ۱۳\text{kJ}$$

پ) فرایند cda از دو فرایند cd (هم‌حجم) و da (هم‌فشار) تشکیل شده است. بنابراین

$$Q_{cda} = Q_{cd} + Q_{da} = nC_V\Delta T_{cd} + nC_P\Delta T_{da}$$

$$= n(\frac{۳}{۲}R)(\frac{V\Delta P}{nR})_{cd} + n(\frac{۵}{۲}R)(\frac{P\Delta V}{nR})_{da}$$

$$= \frac{۳}{۲}(\text{V}\Delta\text{P})_{cd} + \frac{۵}{۲}(\text{P}\Delta\text{V})_{da}$$

$$= \frac{۳}{۲}(۰/۰۴\text{m}^۳)(-۱/۰ \times ۱۰^۵\text{N/m}^۲) + \frac{۵}{۲}(۱/۰ \times ۱۰^۵\text{N/m}^۲)(-۰/۰۲\text{m}^۳)$$

$$= -۱۱۰۰۰\text{J} = -۱/۱ \times ۱۰^۴\text{J} = -۱۱\text{kJ}$$

ت) تغییر انرژی درونی در فرایند abc برابر است با

$$\Delta U_{abc} = Q_{abc} + W_{abc}$$

Q_{abc} را در قسمت (ب) به‌دست آوردیم. کافی است W_{abc} را محاسبه کنیم.

$$W_{abc} = -P\Delta V$$
$$= -(۲/۰ \times ۱۰^{۵}\,N/m^{۲})(۰/۰۲\,m^{۳}) = -۴/۰ \times ۱۰^{۳}\,J = -۴/۰\,kJ$$

بنابراین داریم

$$\Delta U_{abc} = ۱/۳ \times ۱۰^{۴}\,J - ۴/۰ \times ۱۰^{۳}\,J = ۹ \times ۱۰^{۳}\,J = ۹\,kJ$$

۱۶ الف) بازده ماشین گرمایی آرمانی برابر است با

$$\frac{|W|}{Q_H} = \eta = ۱ - \frac{|Q_L|}{Q_H} = ۱ - \frac{۶۰/۰}{۱۰۰/۰} = ۰/۴۰۰ = ٪۴۰/۰$$

ب)

$$P = \frac{|W|}{t} = \frac{۱}{t}(\eta Q_H)$$
$$= \frac{Q_H}{t}\eta = (۰/۴۰۰)\left(\frac{۱۰۰/۰\,J}{۰/۵۰۰\,s}\right) = ۸۰/۰\,W$$

۱۷ الف) با استفاده از رابطهٔ بازده برای ماشین دمای گرمایی داریم

$$\eta = \frac{|W|}{Q_H}$$

و از آنجا

$$Q_H = \frac{|W|}{\eta} = \frac{۸/۲ \times ۱۰^{۳}\,J}{۰/۲۵} = ۳/۲۸ \times ۱۰^{۴}\,J$$

حال با استفاده از قانون اول ترمودینامیک $|Q_L|$ را برای ماشین گرمایی آرمانی به‌دست می‌آوریم.

$$|Q_L| = Q_H - |W| = ۳/۳۸ \times ۱۰^{۴}\,J - ۸/۲ \times ۱۰^{۳}\,J = ۲/۴۶ \times ۱۰^{۳}\,J \simeq ۲/۵ \times ۱۰^{۴}\,J$$

ب) اکنون Q_H چنین می‌شود

$$Q_H = \frac{|W|}{\eta} = \frac{۸/۲ \times ۱۰^{۳}\,J}{۰/۳۰} = ۲/۷۳ \times ۱۰^{۴}\,J$$

و از آنجا

$$|Q_L| = Q_H - |W| = ۲/۷ \times ۱۰^{۴}\,J - ۸/۲ \times ۱۰^{۳}\,J = ۱/۹۱ \times ۱۰^{۳}\,J \simeq ۱/۹ \times ۱۰^{۴}\,J$$

۱۸ الف) چون ماشین بخار یک فرایند چرخه‌ای را طی می‌کند، از قانون اول ترمودینامیک داریم :

$$W = -Q$$

توجه کنید که این کار محیط است. چون مسئله کار دستگاه (ماشین) را خواسته این رابطه به‌صورت $W_{\text{ماشین}} = Q$ در می‌آید. از طرفی $Q = Q_H - |Q_L|$ است. بنابراین داریم :

$$W_{\text{ماشین}} = ۱/۵ \times ۱۰^{۵}\,MJ - ۹/۰ \times ۱۰^{۴}\,MJ$$
$$= ۶/۰ \times ۱۰^{۴}\,MJ$$

ب) با استفاده از رابطهٔ ۵ــ۷ داریم :

$$\eta = \frac{|W|}{Q_H} = \frac{۶/۰ \times ۱۰^{۴}\,MJ}{۱/۵ \times ۱۰^{۵}\,MJ} = ۰/۴۰$$

بنابراین بازده این ماشین بخار ٪۴۰ است.

۱۹ الف) از رابطهٔ ۵ــ۷ برای بازده ماشین داریم :

$$\eta = \frac{|\quad|}{Q} = \frac{۲\ ۰۰\text{kJ}}{۸/۰۰\text{kJ}} = ۰\quad ۲۵۰$$

پس بازده ۰/۲۵٪ است.

ب) اکنون با استفاده از رابطهٔ ۵ــ۹، $|Q_L|$ را به‌دست می‌آوریم :

$$|Q_L| = (۱-\eta)Q_H = (۱-۲۵۰)(۸۰۰۰)$$
$$= ۶۰۰۰\text{J}$$

که آن را با استفاده از قانون اول ترمودینامیک نیز می‌توانیم به‌دست آوریم :

$$|Q_L| = Q_H - W = ۸۰۰۰\text{J} - ۲۰۰۰\text{J} = ۶۰۰۰\text{J}$$

پ) گرمای حاصل از سوخت $۵/۰ \times ۱۰^{۴}\ \text{J/g}$ است. بنابراین، مقدار سوخت مصرف‌شده در هر چرخه چنین می‌شود :

$$m = \frac{۸۰۰۰\text{J}}{۵/۰ \times ۱۰^{۴}\ \text{J/g}} = ۰/۱۶\text{g}$$

ت) ماشین در هر ثانیه ۴۰ چرخه را می‌پیماید. بنابراین، زمان پیمودن یک چرخه، $\frac{۱}{۴۰}\ \text{s}$ می‌شود. پس توان ماشین برابر است با :

$$P = \frac{W}{t} = \frac{۲/۰۰\text{kJ}}{\frac{۱}{۴۰}\text{s}} = ۸۰۰۰۰\text{W} = ۸۰\text{kW}$$

۲۰ باید از بازدهٔ ماشین کارنو (معادلهٔ ۵ــ۱۰) استفاده کنیم :

$$\eta = ۱ - \frac{T_L}{T_H}$$

توجه کنید که در این رابطه T_L و T_H برحسب کلوین هستند. بنابراین، باید نقطهٔ انجماد و نقطهٔ جوش را به کلوین تبدیل کنیم :

$$\eta = ۱ - \frac{T_C}{T_H} = ۱ - \frac{(۰+۲۷۳)\text{K}}{(۱۰۰+۲۷۳)\text{K}} \approx ۰/۲۷$$

بنابراین، بازدهٔ ماشین کارنو ۲۷٪ است و ادعای مخترع درست نیست؛ زیرا بازدهٔ ماشین او از بیشترین بازدهٔ محتمل بیشتر است.

۲۱ این مسئله راه حلی کلی دارد که در ادامه به آن خواهیم پرداخت. ولی چون در اینجا مثالی عددی خواسته است، مثلاً فرض کنید دماهای منبع‌های دما‌ــبالا و دما‌ــپایین به ترتیب ۳۰۰ K و ۲۰۰ K باشد و بنابراین بازدهٔ ماشین کارنو چنین می‌شود :

$$\eta = ۱ - \frac{T_L}{T_H} = ۱ - \frac{۲۰۰\text{K}}{۳۰۰\text{K}} = ۰/۳۳۳$$

حال فرض کنید دمای منبع دما‌ــبالا را ۵۰ K افزایش دهیم

$$\eta = ۱ - \frac{۲۰۰\text{K}}{۳۵۰\text{K}} = ۰/۴۲۸$$

و اگر دمای منبع دما‌ــپایین را ۵۰ K کاهش دهیم

$$\eta = ۱ - \frac{۱۵۰\text{K}}{۳۰۰\text{K}} = ۰/۵۰۰$$

پس کاهش دمای منبع دما‌ــپایین مؤثرتر است.

اثبات کلی : اگر دمای منبع دما ــ پایین را به اندازهٔ ΔT بکاهیم، $\eta_1=1-\frac{T_L-\Delta T}{T_H}$ و اگر دمای منبع دما ــ بالا را به اندازهٔ ΔT بیافزاییم $\eta_2=1-\frac{T_L}{T_H+\Delta T}$ می‌شود. برای آنکه η_1 و η_2 را مقایسه کنیم، دو روش داریم. یکی این است که جمله‌های دوم را مقایسه کنیم. جملهٔ دوم هر کدام که بزرگ‌تر بود، بازدهٔ آن کمتر است. فرض کنید $\eta_2 > \eta_1$ باشد :

$$\frac{T_L-\Delta T}{T_H} > \frac{T_L}{T_H+\Delta T}$$

چون T_H و $T_H+\Delta T$ مقادیر مثبتی هستند می‌توانیم طرفین را در مقدار مثبت $T_H(T_H+\Delta T)$ ضرب کنیم. آنگاه پس از محاسبهٔ ساده‌ای خواهیم داشت

$$T_L > T_H+\Delta T$$

که غیرممکن است. پس حتماً جملهٔ دوم η_1 کوچک‌تر از جملهٔ دوم η_2 است و بنابراین $\eta_1 < \eta_2$. یعنی برای افزایش بازده ماشین کارنو، کاهش دمای منبع دما ـ پایین از افزایش دمای منبع دما ـ بالا مؤثرتر است. **روش دیگر** آن بود که مخرج مشترک بگیریم و کلّ جمله‌ها را با هم مقایسه کنیم :

$$\eta_1 = 1-\frac{T_L-\Delta T}{T_H} = \frac{T_H-T_L+\Delta T}{T_H}$$

و افزایش دمای منبع دما ـ بالا به رابطهٔ زیر :

$$\eta_2 = 1-\frac{T_L}{T_H-\Delta T} = \frac{T_H-T_L+\Delta T}{T_H+\Delta T}$$

اگر توجه کنید، صورت‌های این دو کسر یکسان است، ولی مخرج η_2 بزرگ‌تر از مخرج η_1 است و بنابراین

$$\eta_2 > \eta_1$$

۲۲ الف) چون ماشین‌ها یک چرخه را طی می‌کنند، قانون اول ترمودینامیک برای ماشین‌های آرمانی به‌صورت $Q+W=0$ درمی‌آید که در آن $Q=Q_L+Q_H$ است. برای ماشین A داریم :

$$Q_L+Q_H=-1750\,J+2000\,J=250\,J$$

بنابراین این ماشین قانون اول را نقض می‌کند.

برای ماشین B داریم :

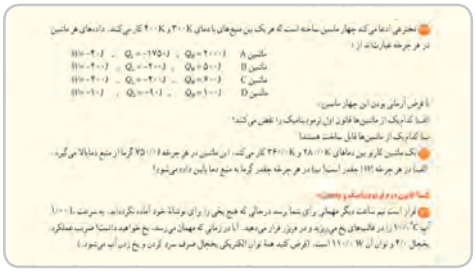
$$Q_L+Q_H=-200\,J+500\,J=300\,J$$

بنابراین ماشین B هم قانون اول را نقض می‌کند.

برای ماشین C داریم :

$$Q=-200\,J+600\,J=400\,J$$

پس ماشین C قانون اول را نقض نمی‌کند.



برای ماشین D داریم :

$$Q = -۹۰\,\text{J} + ۱۰۰\,\text{J} = ۱۰\,\text{J}$$

بنابراین این ماشین نیز قانون اول را نقض نمی‌کند.

ب) بدیهی است ماشین‌هایی که قانون اول ترمودینامیک را نقض می‌کنند قابل ساختن نیستند و بنابراین آنها را کنار می‌گذاریم. پس می‌ماند ماشین‌های C و D. برای آنکه ماشینی قابل ساخت باشد، بازدهٔ ماشین نباید از بازدهٔ بیشینه (بازدهٔ ماشین کارنو) بیشتر باشد. بازده ماشین کارنو از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید

$$\eta_{\text{کارنو}} = ۱ - \frac{T_L}{T_H} = ۱ - \frac{۳۰۰\,\text{K}}{۴۰۰\,\text{K}} = ۰/۲۵$$

بنابراین بازدهٔ ماشین کارنویی که بین این دو دما عمل می‌کند ۲۵٪ است. حال ببینیم بازدهٔ ماشین‌های C و D چقدر است؟

$$\eta_C = ۱ - \frac{|Q_L|}{Q_H} = ۱ - \frac{۲۰۰\,\text{K}}{۶۰۰\,\text{K}} = ۰/۶۶$$

پس بازدهٔ این ماشین بیشتر از ماشین کارنو است و آن نیز قابل ساختن نیست. تنها می‌ماند ماشین D. برای این ماشین داریم :

$$\eta_D = ۱ - \frac{|Q_L|}{Q_H} = ۱ - \frac{۹۰\,\text{J}}{۱۰۰\,\text{J}} = ۰/۱۰$$

یعنی بازدهٔ این ماشین ۱۰٪ و کمتر از بازدهٔ ماشین کارنو است و بنابراین تنها این ماشین قابل ساختن است.

۲۳ الف) نخست بازده را برای این ماشین کارنو محاسبه می‌کنیم :

$$\eta_{\text{کارنو}} = ۱ - \frac{T_L}{T_H} = ۱ - \frac{۲۸۰/۰\,\text{K}}{۳۶۰/۰\,\text{K}} = ۰/۲۲۲۲۲ \simeq ۰/۲۲۲۲$$

بنابراین بازدهٔ این ماشین کارنو حدوداً ۲۲٪ است. توجه کنید رابطهٔ $\eta = |W|/Q_H$ برای هر ماشینی برقرار است و آن را می‌توان برای ماشین کارنو نیز به‌کار برد.

$$|W| = (\eta)\, Q_H = (۰/۲۲۲۲)\,(۷۵۰/۰\,\text{J}) = ۱۶۶/۶۷\,\text{J} \simeq ۱۶۶/۶۷\,\text{J}$$

ب) این‌بار از رابطهٔ $\eta = ۱ - |Q_L|/Q_H$ استفاده می‌کنیم. در نتیجه

$$|Q_L| = (۱ - \eta)\, Q_H = (۱ - ۰/۲۲۲۲۲)\,(۷۵۰/۰\,\text{J}) = ۵۸۳/۳۳\,\text{J} \simeq ۵۸۳/۳\,\text{J}$$

به این نتیجه با استفاده از قانون اول ترمودینامیک نیز می‌توانیم برسیم :

$$|Q_L| = Q_H - |W| = ۷۵۰/۰\,\text{J} - ۱۶۶/۶۷\,\text{J} = ۵۸۳/۳۳\,\text{J} \simeq ۵۸۳/۳\,\text{J}$$

۲۴ از تعریف توان داریم

$$P = \frac{W}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = W/P$$

از طرفی ضریب عملکرد برابر است با

$$K = \frac{Q_L}{W} \Rightarrow \Delta t = Q_L/PK$$

پس باید Q_L را محاسبه کنیم

$$Q_L = |Q\text{سردشدن}| + |Q\text{یخ بستن}| = mc|\Delta T| + mL_F$$
$$= (۱/۰۰\,\text{kg})(۴/۱۸۷\,\text{kJ/kg.K})(۱۰/۰\,\text{K})$$
$$+ (۱/۰۰\,\text{kg})(۳۳۳/۳\,\text{kJ/kg}) \simeq ۳۷۶\,\text{kJ}$$

از آنجا Δt را محاسبه می‌کنیم :

$$\Delta t = \frac{۳۷۶\times۱۰^{۳}\,\text{J}}{(۱۱۰/۰\,\text{J/s})(۴/۰)} = ۸۵۴/۵\,\text{s} = ۱۴/۲۴\,\text{min} \simeq ۱۴\,\text{min}$$

۲۵ توان از رابطهٔ $P = W/t$ به‌دست می‌آید. به این منظور باید نخست W را محاسبه کنیم. از قانون اول ترمودینامیک داریم :

$$|Q_H| = W - Q_L$$

و در نتیجه

$$W = |Q_H| - Q_L = ۱/۳ \times ۱۰^{۵}\,\text{J} - ۹/۰ \times ۱۰^{۴}\,\text{J} = ۱۳ \times ۱۰^{۴}\,\text{J} - ۹/۰ \times ۱۰^{۴}\,\text{J} = ۴ \times ۱۰^{۴}\,\text{J}$$

بنابراین توان چنین می‌شود

$$P = \frac{W}{t} = \frac{۴/۰\times۱۰^{۴}\,\text{J}}{۶۰\,\text{s}} = ۶/۷ \times ۱۰^{۲}\,\text{W} \approx ۷ \times ۱۰^{۲}\,\text{W}$$

ب) ضریب عملکرد برابر است با

$$K = \frac{Q_L}{W} = \frac{۹/۰\times۱۰^{۴}\,\text{J}}{۴\times۱۰^{۴}\,\text{J}} = ۲/۲۵ \approx ۲$$

۲۶ بیشترین ضریب عملکرد ممکن مربوط به یخچال کارنو است.

$$K_{\max} = K = \frac{Q_L}{W} = \frac{T_L}{T_H - T_L}$$

مقدار گرمایی که باید از آب گرفته شود تا یخ ببندد از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید :

$$Q = mL_F$$

در نتیجه W چنین می‌شود

$$W = Q_L \frac{T_H - T_L}{T_L} = (mL_F)\left(\frac{T_H - T_L}{T_L}\right)$$

$$= (۰/۲۵۰۰\,\text{kg})(۳۳۳/۷\,\text{kJ/kg})\frac{(۲۷۳/۱۵ + ۲۲/۰)\text{K}(۲۳۷/۱۵ - ۵/۰)\text{K}}{(۲۷۳/۱۵ - ۵/۰)\text{K}} \simeq ۸/۴۰\,\text{kJ}$$

منابع فارسی استفاده شده در تألیف فصل‌های ۴ و ۵

در تألیف فصل‌های ۴ و ۵ علاوه بر برخی از منابع انگلیسی و چندین مقاله، عمدتاً از منابع فارسی زیر استفاده شد :

۱ حرارت و ترمودینامیک، ویراست هفتم، مارک دبلیو. زیمانسکی و ریچارد ایچ. دیتمن، ترجمهٔ محمدرضا خوش‌بین خوش‌نظر، چاپ اول ۱۳۹۵، انتشارات نیاز دانش.

۲ دورهٔ درسی فیزیک، گ.س. لندسبرگ (جلد اول)، ترجمهٔ لطیف کاشیگر و دیگران، چاپ اول ۱۳۷۴، انتشارات فاطمی.

۳ فیزیک برای سرگرمی، یاکوب ایپسوویچ پرلمان، ترجمهٔ احسان قوام‌زاده، چاپ چهارم ۱۳۶۸، نشر جوان.

۴ مبانی فیزیک (جلد اول) مکانیک، گرما و شاره‌ها، ویراست دهم، دیوید هالیدی، رابرت رزنیک و یرل واکر، ترجمهٔ محمدرضا خوش‌بین خوش‌نظر، چاپ اول ۱۳۹۳، انتشارات نیاز دانش.

۵ مکانیک سیالات، گرما و موج، فرانسیس سرز، مارک زیمانسکی، هیو یانگ، ترجمهٔ فضل‌الله فروتن، چاپ پنجم ۱۳۷۰، انتشارات نشر علوم دانشگاهی.

۶ مبانی فیزیک (جلد اول)، ب.م. یاورسکی و ا.ا. پینسکی، ترجمهٔ محمدتقی توسلی و دیگران، چاپ اول ۱۳۶۴، مرکز نشر دانشگاهی.

۷ نمایش هیجان‌انگیز فیزیک، ویراست دوم، یرل واکر، ترجمهٔ محمدرضا خوش‌بین خوش‌نظر و رسول جعفری‌نژاد، چاپ اول ۱۳۹۱.

جهت دانلود رایگان منابع استخدامی دبیر علوم تجربی - فیزیک آزمون آموزش و پرورش، اینجا بزنید.