

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

اللَّهُمَّ صَلِّ عَلَى مُحَمَّدٍ وَآلِ مُحَمَّدٍ وَعَجِّلْ فَرَجَهُمْ

فیزیک (۱)

رشته‌های علوم تجربی - ریاضی و فیزیک

راهنمای معلم

پایه دهم
دوره دوم متوسطه





وزارت آموزش و پرورش

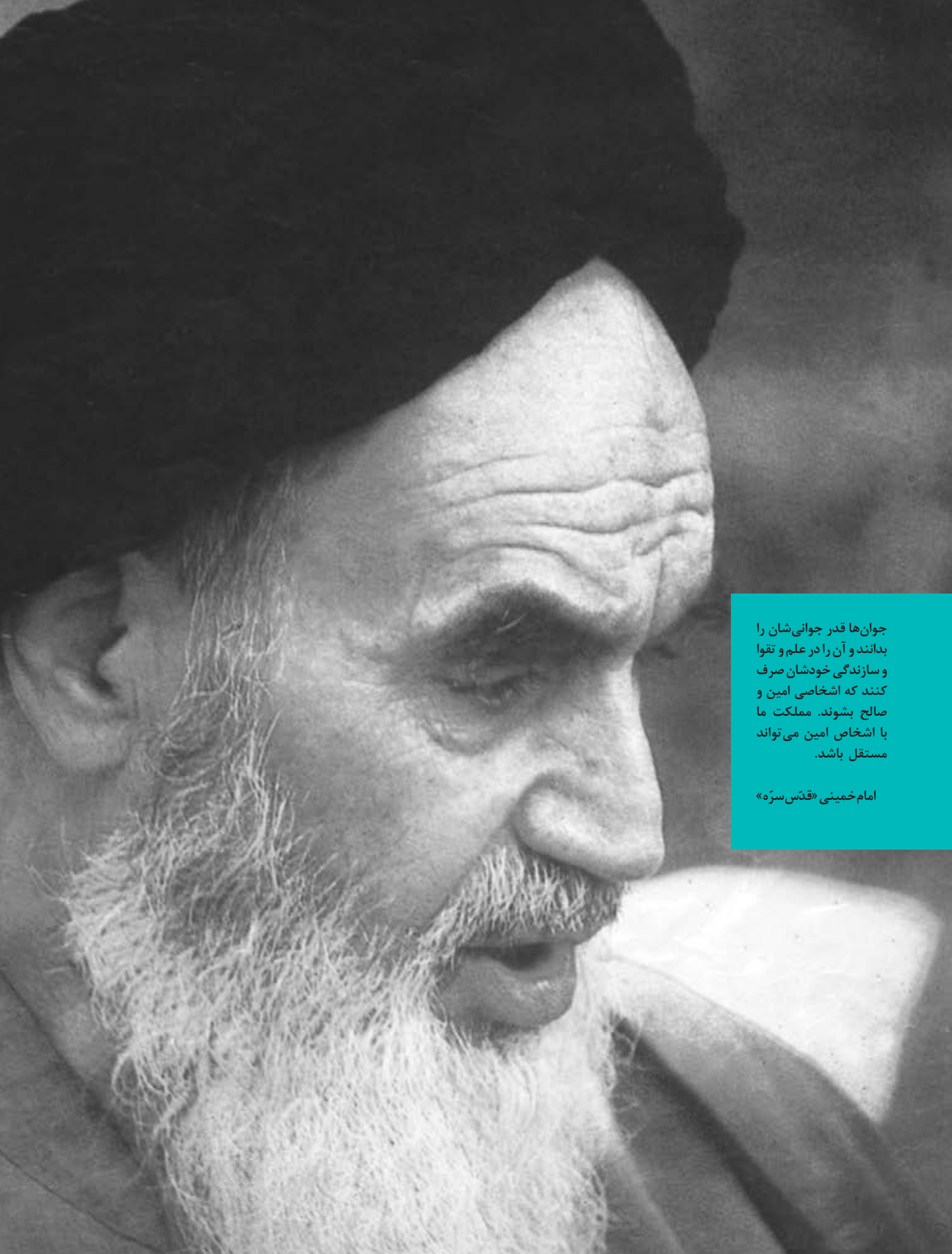
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

نام کتاب: راهنمای معلم فیزیک (۱) پایه دهم دوره دوم متوسطه - 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: روح‌الله خلیلی بروجنی، 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: محمدرضا امینی (مدیر امور فنی و چاپ) - جواد صفری (مدیر هنری) - الهه یعقوبی‌نیا (صفحه‌آرا) - سیدکیوان حسینی، فریده حسینی، مریم دهقان‌زاده، سیده‌فاطمه محسنی و زهرا ایمانی‌نصر (امور آماده‌سازی)
نشانی سازمان: تهران: خیابان ایرانشهر شمالی - ساختمان شماره ۴ آموزش و پرورش (شهید موسوی)
تلفن: ۸۸۸۳۱۱۶۱-۹، دورنگار: ۸۸۳۰۹۲۶۶، کد پستی: ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹
وبگاه: www.chap.sch.ir و www.irtextbook.ir
ناشر: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران تهران - کیلومتر ۱۷ جاده مخصوص کرج - خیابان ۶۱ (دارویش) تلفن: ۴۴۹۸۵۱۶۱-۵، دورنگار: ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی: ۳۷۵۱۵-۱۳۹
چاپخانه: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران «سهامی خاص»
سال انتشار و نوبت چاپ: چاپ سوم ۱۴۰۳

این کتاب در سال ۱۴۰۲ تا ۱۴۰۳ براساس تغییرات چند سال گذشته کتاب درسی فیزیک ۱ و نیز براساس بازخوردهای دبیران محترم فیزیک کشور توسط محمدرضا شریف‌زاده اکباتانی و احمد احمدی از اعضای گروه درسی فیزیک حوزه تربیت و یادگیری علوم تجربی دفتر برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی ابتدایی و متوسطه نظری، مورد بازنگری و بازتألیف قرار گرفته است.

شابک ۹۷۸-۹۶۴-۵-۲۹۱۹-۵

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.

امام خمینی «قدس سرّه»

کلیه حقوق مادی و معنوی این کتاب متعلق به سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی وزارت آموزش و پرورش است و هرگونه استفاده از کتاب و اجزای آن به صورت چاپی و الکترونیکی و ارائه در پایگاه‌های مجازی، نمایش، اقتباس، تلخیص، تبدیل، ترجمه، عکس برداری، نقاشی، تهیه فیلم و تکثیر به هر شکل و نوع، بدون کسب مجوز ممنوع است و متخلفان تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.

فهرست

بخش ۱: کلیات ۱

- ۲..... حوزه علوم تجربی
- ۳..... فلسفه آموزش علوم تجربی
- ۳..... اهداف کلی برنامه درسی آموزش فیزیک
- ۸..... ماهیت پژوهش در علوم
- ۱۰..... آموزش زمینه محور
- ۱۳..... یادگیری پدیده محور
- ۱۶..... ارزشیابی از آموخته‌های دانش آموزان

بخش ۲: راهنمای تدریس فصول ۱۹

فصل ۱: فیزیک و اندازه‌گیری ۲۰

- ۲۴..... ۱-۱ فیزیک: دانش بنیادی
- ۲۸..... ۲-۱ مدل سازی در فیزیک
- ۳۰..... ۳-۱ اندازه‌گیری و کمیت‌های فیزیکی
- ۳۱..... ۴-۱ اندازه‌گیری و دستگاه بین‌المللی یکاها
- ۳۹..... ۵-۱ اندازه‌گیری و دقت وسیله‌های اندازه‌گیری
- ۴۶..... ۶-۱ چگالی
- ۴۹..... راهنمای پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۱

فصل ۲: ویژگی‌های فیزیکی مواد ۵۵

- ۵۸..... ۱-۲ حالت‌های ماده
- ۶۶..... ۲-۲ نیروهای بین‌مولکولی
- ۷۴..... ۳-۲ فشار در شاره‌ها
- ۸۵..... ۴-۲ شناوری
- ۸۷..... ۵-۲ شاره در حرکت و اصل برنولی
- ۹۶..... راهنمای پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۲

فصل ۳: کار، انرژی و توان ۱۰۳

- ۱۰۸..... ۱-۳ انرژی جنبشی
- ۱۰۹..... ۲-۳ کار انجام شده توسط نیروی ثابت
- ۱۱۷..... ۳-۳ کار و انرژی جنبشی
- ۱۲۱..... ۴-۳ کار و انرژی پتانسیل
- ۱۲۶..... ۵-۳ پایداری انرژی مکانیکی

۱۲۹	۶-۳- کار و انرژی درونی
۱۳۳	۷-۳- توان
۱۴۲	راهنمای پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۳

فصل ۴ : دما و گرما ۱۴۹

۱۵۲	۴-۱- دما و دماسنجی
۱۵۸	۴-۲- انبساط گرمایی
۱۷۰	۴-۳- گرما
۱۷۷	۴-۴- تغییر حالت‌های ماده
۱۸۹	۴-۵- روش‌های انتقال گرما
۱۹۶	۴-۶- قوانین گازها
۲۰۴	راهنمای پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۴

فصل ۵ : ترمودینامیک ۲۱۵

۲۱۸	۵-۱- معادلهٔ حالت و فرایندهای ترمودینامیکی ایستاوار
۲۱۹	۵-۲- تبادل انرژی
۲۲۰	۵-۳- انرژی درونی و قانون اول ترمودینامیک
۲۲۴	۵-۴- برخی از فرایندهای ترمودینامیکی
۲۳۷	۵-۵- چرخهٔ ترمودینامیکی
۲۳۸	۵-۶- ماشین‌های گرمایی
۲۴۴	۵-۷- قانون دوم ترمودینامیک (به بیان ماشین گرمایی)
۲۴۶	۵-۸- قانون دوم ترمودینامیک و یخچال‌ها
۲۵۲	راهنمای پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۵

سخنی با همکاران

در دنیای امروز، دسترسی به دانش و اطلاعات، بسیار متنوع و آسان شده است؛ از این رو، بی‌اطلاعی از دانش و فناوری روز، ناتوانی در به‌کارگیری و پردازش آنها، عدم مهارت در دستیابی و تحلیل اطلاعات، عدم مهارت در برخورد با یک مسئله یا چالش 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 یک مسئله یا چالش علمی 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 نحوه 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 گفت‌وگو بین کارشناسان آموزشی و همچنین مطالعه و بررسی کتاب‌های راهنمای معلم چند کشور مختلف تنظیم شده است و با ارائه الگوهایی، مشارکت هرچه بیشتر دانش‌آموزان را در فرایند یاددهی - 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 نیست، 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) محدوده بحث : به منظور تأکید روی مفاهیمی که در کتاب درسی به آنها پرداخته شده است، حوزه و محدوده یادگیری در موارد ضروری، تعیین شده است.

ت) تصویر اول 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 این گونه 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، به کار 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، به دانش‌آموزان 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 این رو، 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 قالب «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، در ابتدای هر فصل رمزینه‌های سریع پاسخ (QR) آورده شده است که با تلفن همراه، رایانک (تبلت) یا رایانه می‌توان به محتوای آموزشی آن دسترسی پیدا کرد.

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

کلیات

حوزه علوم تجربی

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

تعریف علوم تجربی

جهان طبیعت بخشی از نظام آفرینش و در حال شدن، دگرگونی و حرکت مداوم است. شناخت این جهان، ویژگی‌ها و ابعاد آن برعهده علوم تجربی است. براساس برنامه درسی ملی علوم تجربی، حاصل کوشش انسان برای درک بخشی از واقعیت‌های هستی و مطابق با اهداف ساحت تعلیم و تربیت علمی و فناورانه، راهی برای درک، کشف و تفسیر پدیده‌ها و رویدادهای طبیعی به منزله آیات الهی است.

کارکرد حوزه علوم تجربی

- ۱ برخورداری متریان از سواد علمی فناورانه در بُعد شخصی و اجتماعی
- ۲ رشد و ارتقای شایستگی‌های عقلانی، ایمانی، دانشی، مهارتی و اخلاقی
- ۳ شناخت و استفاده 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 حوزه 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 پیچیده تفکر
- ۳ فناوری: زیست‌فناوری، نانو فناوری، انرژی‌های نو، نجوم.

جهت‌گیری‌های کلی

در سازماندهی محتوا و آموزش باید موارد زیر مورد توجه قرار گیرد:

- ۱ پذیرش اصل همه‌جانبه‌نگری 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.

فلسفه 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 که بخشی از نظام آفرینش محسوب می‌شود، 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 حوزه 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 به گونه‌ای برنامه‌ریزی شود که هم قوه جست‌وجوی او 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 نوبه خود باید بتواند به هردو هدف یاد شده دست یابد. در این درس، محتوا و روش باید به گونه‌ای طراحی شود که از یک سو به نیازهای فطری دانش‌آموزان در زمینه شناخت محیط پاسخ گوید، به آنان در پی‌بردن به شگفتی‌های جهان خلقت کمک کند و معرفت آنان را نسبت به خالق جهان افزایش دهد و از سوی دیگر، آنها را با دانش و بیش‌مورد نیاز 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 علائق، 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 نحوه برخورد مناسب با حوادث زندگی، و پند و عبرت آموزی از آنها

ایمان : باور و علایق

- تقویت ایمان به خداوند و احساس نیاز همیشگی به عنوان بنده 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 سیاره 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 روحیه 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 به طور 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، هم کلاسی و سایر افراد جامعه و رعایت حقوق آنان به آنها احترام بگذارد.
- در کسب روزی حلال و سخت کوشی 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، به گونه‌ای است که می‌توانند آنها را در بقیه موضوعات درسی نیز بیاموزند و به کار گیرند. کلیه مهارت‌هایی که فرایند آموزش علوم و به ویژه فیزیک به آنها وابسته است، مثل مشاهده کردن، پیش‌بینی، استنباط و ... به عنوان مهارت‌های یادگیری در سطوح وسیعی از موضوعات درسی تلقی می‌شود. گرچه طبقه‌بندی یک فعالیت به عنوان فعالیت علوم تجربی یا ریاضی چندان تغییری در نحوه فعالیت نمی‌دهد، و بسیاری از اهداف با اهداف موضوعات آموزشی دیگر یکسان است، اما باید دقت کرد که این یکسانی شامل همه اهداف نمی‌شود. بنابراین آن دسته از فعالیت‌ها که دانش‌آموزان طی انجام آن با روش علمی و مشاهده اشیای اطراف عقایدی را کسب می‌کنند، به منزله 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 به کار 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 به صورت یکپارچه در قالب شایستگی‌ها تبیین گردیده است. این شکل از بیان اهداف نیازمند آن است تا دانش‌آموزان قادر باشند آموخته‌های خود را به صورت معنادار به کار گیرند و آن را به موقعیت 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 به کارگیری معیارهای علمی برای آنها راه حل‌هایی ارائه دهد.
- ۲ با ارزیابی روش به کارگیری 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 مطالعه ایده‌ها و یافته‌های علمی - فناوری در سطح ملی و بین‌المللی، یافته‌های خود را طی فرایندی مشارکتی با رعایت اخلاق علمی ارائه کند.

شایستگی‌ها (اهداف) پوشش دهنده 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/ به کار می‌گیرد.
- ۲ با ارزیابی رفتارهای متفاوت در ارتباط با خود و دیگران در موقعیت‌های گوناگون زندگی، رفتارهای سالم را انتخاب می‌کند/ گزارش می‌کند / به کار 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 کشورها برای تولید راهنمای معلم مدل‌های آموزشی مختلفی را می‌توان متناسب با آموزش موقعیت‌محورشناسایی نمود. در ذیل تعدادی از این مدل‌ها معرفی می‌شود. معلمان گرامی می‌توانند با مطالعه این مدل‌ها بسته به نیاز، شرایط و موضوع درسی از هر یک از اینها استفاده کنند.

- آموزش با رویکرد کاوشگری
- آموزش پژوهش‌محور
- آموزش زمینه‌محور
- آموزش پدیده‌محور
- آموزش به روش طراحی معکوس

آموزش با رویکرد کاوشگری

براساس رویکرد مورد تأکید برنامه درسی ملی، یعنی فطرت‌گرایی توحیدی، دانش‌آموزان، امانت الهی و دارای کرامت ذاتی، قابلیت‌ها، تجارب، ظرفیت‌ها و توانایی‌های گوناگون‌اند. از این‌رو در بهره‌مندی از آموزش علوم تجربی، به‌منظور زمینه‌سازی برای شکوفایی فطرت الهی دانش‌آموزان از طریق درک و اصلاح مداوم موقعیت، رویکرد کاوشگری از بین رویکردهای متنوع آموزش علوم تجربی مورد تأکید است.

این رویکرد به‌عنوان یک رویکرد تأثیرگذار در یادگیری مفاهیم و ماهیت علم شناخته می‌شود. آموزش مبتنی بر کاوشگری می‌تواند نشاط و انگیزه لازم را برای یادگیری علوم تجربی ایجاد کند، زیرا بر علایق دانش‌آموزان متمرکز می‌شود و با توانا کردن آنها در فرایند پژوهش، به یادگیری فعال می‌انجامد.

کاوشگری فرایند یادگیری از طریق انجام پژوهش‌های علمی است که دانش‌آموزان در آن با انجام آزمایش و فعالیت‌های عملی، آزمون و خطا، گفت‌وگو با همسالان، جست‌وجوی اطلاعات و به‌کارگیری استدلال می‌توانند به تدریج مدل‌ها و ارتباطات را کشف کنند و

در نتیجه آن ضمن دستیابی به مفاهیم، مهارت‌ها و ارزش‌ها به توانایی تعمیم آموخته‌ها دست یابند. بخشی از قابلیت‌های روش کاوشگری در علوم، شامل تصمیم‌گیری، تفکر انتقادی، انعطاف‌پذیری، بردباری و استقلال است.

در این رویکرد، یادگیری علوم تجربی در جریان تحقیق و عمل انجام می‌شود. براین اساس ضروری است که معلم بر مفاهیم اصلی و کلیدی علوم تجربی مسلط باشد و بتواند با بهره‌مندی از محیط‌های متنوع، موقعیت‌های یادگیری مناسب را طراحی کند و در نتیجه زمینه‌ساز ارتقای توان دانش‌آموزان در یادگیری معنادار، توانایی حل مسئله، به‌کارگیری تفکر انتقادی و خلاق به‌منظور افزایش کیفیت زندگی باشد؛ همچنین دانش‌آموزان با کسب تجربه‌های متفاوت در انجام فعالیت‌های علمی، فرصت می‌یابند تا با شناخت علایق و توانمندی‌های خود برای کار و فعالیت در زمینه‌های مرتبط با علم و فناوری، برای آینده‌ی شغلی خود و ایفای نقش سازنده و مؤثر در جامعه دست به انتخاب بزنند. براین اساس یادگیرنده در محور همه فعالیت‌های آموزشی قرار می‌گیرد و آموختن روش و مسیر علم‌ورزی با تأکید بر نقش فعال و آگاهانه دانش‌آموز از اهداف اصلی آموزش تلقی می‌شود، به‌طوری که یادگیرنده به سطحی از استقلال در یادگیری دست می‌یابد.

با در نظر گرفتن اینکه کاوشگری بستری برای شکوفایی فطرت الهی فراهم می‌کند، موارد زیر در برنامه درسی حوزه تربیت و یادگیری علوم تجربی مورد توجه و تأکید است:

- خالق هوشمندی جهان را آفریده، جهان از ساختار منظم و معقولی برخوردار است و در آن روابط علت و معلولی وجود دارد؛
- جهان طبیعی بخشی از خلقت است و با به‌کارگیری عقل و استفاده از روش‌های علوم تجربی قابل مطالعه و شناخت است؛
- نظام‌مندی طبیعت براساس درک و تحلیل مفاهیم، الگوها و روابط بین پدیده‌های طبیعی کشف می‌شود؛
- آموزش با درگیر کردن دانش‌آموزان با یک موضوع، مسئله واقعی زندگی و یا یک چالش علمی آغاز و انگیزه دانش‌آموزان از طریق کاوشگری در تلاش مداوم برای یافتن پاسخ پرسش‌هایی درباره پدیده‌ها، وقایع و روابط آنها شکوفا و تقویت می‌شود؛
- بخشی از آموزش علوم تجربی به مفاهیم دانشی اختصاص دارد، اما تأکید اساسی بر مشارکت دانش‌آموزان در مفهوم‌سازی، ایجاد توانایی لازم برای مواجهه با واقعیت‌های زندگی و به‌کارگیری علوم تجربی و روش علمی در حل مسائل زندگی است؛
- فرصت لازم برای پیوند نظر و عمل، تلفیق دانش و تجارب پیشین با یادگیری‌های جدید را به‌صورت یکپارچه و معنادار، به‌منظور تحقق ظرفیت‌های وجودی دانش‌آموزان و توسعه شایستگی‌ها فراهم می‌کند؛
- محتوا و روش درهم تنیده‌اند و با بهره‌مندی از روش‌های فعال، خلاق و تعالی‌بخش و با سازمان‌دهی نوآورانه و خلاق، زمینه پرورش مهارت‌های اساسی و ساختن مفاهیم در علوم تجربی را فراهم می‌کند؛
- زمینه تعامل مؤثر دانش‌آموزان با معلم، همسالان و انواع محیط‌های یادگیری فراهم می‌شود تا یادگیرنده‌ای مستقل، مادام‌العمر و به روز تربیت شود؛

■ در راستای کاوشگری از فناوری‌های نوین آموزشی به‌صورت هوشمندانه استفاده می‌شود.

براساس برنامه درسی ملی، علوم تجربی حاصل کوشش انسان برای درک بخشی از واقعیت‌های هستی و مطابق با اهداف ساحت علم و فناوری، راهی برای درک، کشف و تفسیر پدیده‌ها و رویدادهای طبیعی به منزله آیات الهی است. علوم تجربی با استفاده از ابزار حواس و تعقل درصدد شناخت و کشف قوانین جهان طبیعت و پدیده‌های طبیعی است. این علم از گستره وسیعی از روش‌های پژوهش بهره می‌برد و با ظهور شواهد و دلایل جدید، ممکن است رد یا تأیید شود و سرانجام تغییر کند. علوم تجربی در مرحله تکوین و شکل‌گیری و نیز در عرصه علم و بهره‌برداری از طبیعت در ارتباط با دیگر حوزه‌های معرفتی بشر رشد و توسعه می‌یابد. بنابراین گرچه گستره علوم تجربی جهان مادی است؛ اما تعاملی انکارناپذیر با جهان‌بینی، باورها و ارزش‌ها دارد.

آموزش علوم تجربی از قرن بیستم به‌عنوان یکی از سه موضوع اصلی در برنامه آموزشی مدارس جای گرفته و ارزشیابی می‌شود.

آموزش پژوهش محور

آموزش پژوهش محور در علوم رویکردی است که از درک شیوه یادگیری دانش آموز، ماهیت پژوهش علم و تأکید بر مفاهیم مهمی که باید آموخته شود نشئت می گیرد و بر این باور استوار است که دانش آموز به واقع آن چیزی را می آموزد که خود درک می کند و نه آنچه دیگران به او منتقل می کنند. این رویکرد قبل از اینکه یک فرایند یادگیری مصنوعی باشد که انگیزه آن براساس رضایت از پاداش است، به عمق یادگیری می پردازد و انگیزه آن رضایت از یادگیری و درک شخصی است. آموزش پژوهش محور به کمیت اطلاعات حفظ شده تأکید ندارد و ایده ها یا مفاهیم با رشد سنی یادگیرنده عمیق تر می شود.

آموزش پژوهش محور بر تجارب و پژوهش هایی استوار است که درک بسیار شفافی از چگونگی یادگیری دانش آموز ارائه می دهد. این تجارب بیان می کند که دست کم بخشی از کنجکاوی طبیعی دانش آموزان، برای شناخت دنیای طبیعی اطراف آنان است که از طریق توجه به الگوها و ارتباطها در تجاربشان و در تعامل با دیگران ارضا می شود. دانش آموزان دانش و درک خود را از طریق انعکاس تجاربشان می سازند. این شیوه کار در بعضی مواقع باعث درک نادرست از واقعیات می شود گرچه حاصل تفکر منطقی است. مثلاً بسیاری از دانش آموزان (و حتی بزرگسالان) هنوز فکر می کنند سایه زمین باعث پیدایش مراحل مختلف ماه می شود. تجربه روزمره دانش آموز نشان می دهد که وقتی چیزی جلوی تابش نور را بگیرد، سایه درست می شود که این امر در مورد زمین هم صدق می کند که نور خورشید به آن می تابد و زمین مسیر نور خورشید را سد می کند. این تفکر، گرچه منطقی است اما درست نیست و به دلیل کمبود تجارب و سابقه ذهنی در این موارد است. آموزش علوم به دنبال بسط تجارب دانش آموزان 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 به صورت مرحله ای که دانشمندان در کارهایشان دنبال می کنند ارائه می شود. اما باید متوجه بود که این مراحل گام هایی نیست که باید دنبال شود بلکه یک سری مرحله ای است که فرایند را هدایت می کند. برای دانش آموزان با مرحله اکتشاف آغاز می شود که در آن دانش آموزان با پدیده ای که باید مطالعه کنند آشنا می شوند. به دنبال آن مرحله تحقیق آغاز می شود که ممکن است خود از چندین بخش تشکیل شود. مراحل رفت و برگشتی این مرحله نشان می دهد که این، یک فرایند خطی نیست. در پژوهش علمی، چه دانش آموز پژوهشگر باشد و چه یک دانشمند مراحل کار بسیار پیچیده است و مرتب رفت و برگشت دارد و کارها باید مجدداً و ارسای شوند. برای مثال اگر حاصل آزمایش ها فرضیه دانش آموزان را تأیید نکند باید آنان پیش بینی و یا پرسش خود را تغییر دهند و دوباره از ابتدا تجربه جدیدی را شروع کنند. اگر طراحی آزمایش ها جواب ندهد باید آزمایش مجددی طرح شود و اگر به نتیجه ای متفاوت از نتیجه گروه دیگر رسیدند لازم می شود هر دو گروه، کار خود را بازبینی کنند. در مرحله سوم نتایج آزمایش ها در کلاس باید تجزیه و تحلیل شود و به یک نتیجه گیری نهایی بینجامد. در مرحله چهارم دانش آموزان نتایج کار خود (یافته ها و درک جدید) را به گروه وسیع تری از مخاطبان اعلام می کنند.

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 هیچ گاه همه مراحل را شامل نمی شود. یعنی در این روش با یک گام نمی توان مسیر چندگام را پیمود.

یک چارچوب برای آموزش پژوهش محور می تواند به صورت مراحل پی درپی زیر باشد:

طرح پرسش، مناظره، مشارکت، ثبت، بازتاب دادن، به اشتراک گذاشتن، درگیر کردن و یا طرح پرسش هایی 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 همه اجزای طراحی و انجام مراحل این نمودار باشد.

محتوای پایه علوم

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 به ویژگی‌ها و پس‌زمینه‌های منطقه و نیز علایق معلم و دانش‌آموز وابسته است. به‌طور مثال موضوعات زیست‌محیطی (اکوسیستم) مورد علاقه همه 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 پژوهش‌محور 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 همه آموزش‌های پژوهش‌محور 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 آموزشی‌زی ربط 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 به مهارت 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 پژوهش محور

علاوه بر اصولی که در طراحی برنامه آموزش پژوهش محور لازم است در نظر 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 پژوهش محور

- 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 زمینه محور

زمینه محور بودن ویژگی است که در همه 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 زمینه 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 به کار 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 «زمینه محور» خوانده می‌شود و می‌تواند بستر آموزش همه موضوعات درسی قرار بگیرد.

ویژگی رویکرد زمینه محور

در رویکرد زمینه محور یا تماتیک، اصل این است که آموزش مفاهیم علمی در زمینه زندگی روزمره فراگیران اتفاق می افتد. این رویکرد از این بابت تماتیک نامیده می شود که تم ها (Themes) یا موضوع های مربوط به زندگی، زمینه آموزش قرار می گیرند و مفاهیم علمی در ارتباط با این موضوع ها طرح می شوند. در این فرایند فراگیران با موضوع احساس نزدیکی و آشنایی می کنند و انگیزه بیشتری برای یادگیری پیدا می کنند. زمانی که موضوع ها و زمینه های یادگیری دانش آموزان از بطن زندگی روزمره آنان اخذ می شود، آنان در فرایند یادگیری و در عمل با موضوع (Theme) درگیر می شوند و در ارتباط با آن موضوعات علمی آموخته های خود را به کار می گیرند و این به معنای به کارگیری و ارائه علوم و موضوعات و مفاهیم علمی در موقعیت و مکان های آشنا و مناسب کودک است. به این ترتیب یادگیری برای آنان مفید و معنادار و به اصطلاح به درد بخور می شود. برای مثال یادگیری مفاهیمی در رابطه با اصطکاک زمانی مفید است که یادگیرنده مفاهیم را در قضاوت در مورد کفش مناسب پیاده روی، تیر مناسب برف برای ماشین، رفع مشکل دری که در باز و بسته شدن صدا می کند 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 می دهد ارتباط دارد. در این فرایند تجربه های یادگیری از تعامل با محیط یادگیری کسب می شود و ساخت و ساز شخصی دانش هنگامی به واقع اتفاق می افتد که بین آنچه دانش آموز در زمان حال می داند و آنچه در ارتباط با محیط کسب می کند تعاملی روی دهد. (تأثیر زمینه و محیط بر یادگیری) این رویکرد بسیاری از حوزه های برنامه درسی را، به هم پیوند می زند و یکپارچه می کند. در صورتی که این امر اتفاق بیفتد، آموخته های فراگیر پراکنده نیستند و از یک انسجام درونی برخوردار می شوند.

رویکرد زمینه محور یادگیری را به فرایندی لذت بخش، نشاط آور و پرفایده تبدیل می کند.

در رویکرد زمینه محور، معلم به وجوه مختلف و محیط های مختلف یادگیری (کلاس، آزمایشگاه، خانه، مزرعه گندم، زمین ورزش، آشپزخانه و غذاهای روزانه و ...) نظر دارد. این روش کار، به وی اجازه می دهد تا از محیط های یادگیری متنوعی استفاده کند (اجتماعی، فرهنگی، فیزیکی و روحی) که دستیابی به پیامدهای یادگیری را ممکن می سازد.

آموزش زمینه محور اهمیت و لزوم یادگیری را به فراگیر می چسباند. معلم مفاهیم را با مثال و مصداق هایی که از محیط زندگی فراگیر می گیرد آموزش می دهد، برای مثال در علوم تجربی در موضوع هایی مثل جانور، گیاه، آهن ربا، آب و خاک و سنگ و مثال های مربوطه از محیط زندگی دانش آموز گرفته می شود و در همان فضا پرورش می یابد. به عنوان مثال وقتی از جانوران و یا گیاهان صحبت می کند تا دانش فراگیر را در این زمینه ها زیاده تر کند، جانور برای کودک آشناست و مثال ها از خود دانش آموز و در ارتباط با محیط آشنای او آورده می شود و در نهایت حاصل کار و تعامل دانش آموزان با یکدیگر و با معلم، فراگیر را به درک دانشی می رساند که خود در تعامل با محیط زندگی کسب کرده است، متناسب با نیازهای اوست و امری و از بالا به پایین نیست.

اعتقاد بر این است که این شیوه یادگیری باعث می شود تا فراگیر آموزش را به محیط عادی و روزمره زندگی خود بکشاند. بدیهی است زمانی که فراگیر بین آموخته ها و نیازهای روزمره ارتباط تنگاتنگی می بیند انگیزه یادگیری او بیشتر شود، میزان مشارکت وی در فرایند یادگیری زیاده تر و دامنه آموخته های وی وسیع تر می شود.

رویکرد زمینه محور از مهارت هایی که در رویکرد فرایند محور مورد تأکید است و یا روش هایی که در رویکرد پژوهش محور استفاده می شود بهره می جوید و نه تنها مغایرتی با این روش ها ندارد بلکه بر پرورش توانایی هایی که مورد تأکید رویکرد پژوهش محور یا مهارت محور است، نیز تمرکز دارد، و آنها را به کار می گیرد تا یادگیری را برای یادگیرنده معنادار، مرتبط با زندگی روزمره وی و کاربردی کند.

به طور خلاصه آموزش زمینه محور

- ارتباط فراوان با زندگی فراگیران دارد.
- انسجام درونی دارد، یکپارچه و مرتبط با هدف های آموزشی است، اهداف نگرشی، مهارتی و دانشی در محیطی اجتماعی و خلاق در یک زمینه آموزشی یکپارچه می شوند.
- قابلیت عمیق شدن دارد : در یک زمینه آموزشی به جای درگیر شدن با گستره یک موضوع، به عمق آن می پردازد تا یادگیری مؤثر و پربازده شود.
- نقاط اتصال خوبی به موضوع های مختلف دارد : این نقاط اتصال از یک سو پوشش به حوزه محتوایی آموزش را دربر می گیرد و از سوی دیگر به خواست های برنامه درسی ملی و دیگر اسناد بالادستی و انتظارات سازمان ها و نهادهای گوناگون توجه می کند و درعین حال لازم است به ظرفیت متقابل حوزه های یادگیری مثل زبان، مطالعات اجتماعی، خلاقیت و هنر، دین و اخلاق عنایت داشته باشد و با حوزه های یادگیری مشترک بین دروس اتصال داشته باشد.

فعالیت های آموزش زمینه محور

- با توجه به ویژگی آموزش زمینه محور هر فعالیتی که پیشنهاد می کنید باید دارای ویژگی های زیر باشد :
- در ارتباط با زندگی روزمره دانش آموز باشد (رویکرد مسئله محور) (مثال : مشکل کم آبی/ محیط زیستی/ انرژی/ آلودگی صوتی/ تصادفات جاده ای/ و ...).
- قابل تجربه و آزمایش باشد، به دانش آموز کمک کند تا با بروز خلاقیت های خود، کشف کند، اختراع کند و به ایده های نو بیندیشد.
- این فعالیت ها قلب یادگیری مفهومی هستند.
- کاربرد داشته باشد، مفاهیم و اطلاعاتی که نهاده شده است دانش آموز را به تصور یک آینده مجازی می کشاند (ارتباط بین نظریه و عمل).
- تا حد امکان دانش آموز را به کار گروهی تشویق کند. یادگیری مشارکتی و تعاملی مقدمه یادگیری مفهومی پایدار است (یادگیری مشارکتی) (انجام پژوهش ها و یا جمع آوری اطلاعات به صورت گروهی و تعامل در مورد یافته ها و تجزیه و تحلیل آنها).
- از نتایج آموخته ها استفاده کند. به عبارت دیگر موقعیت های جدیدی فراهم کند که دانش آموز بتواند آموخته ها را در آن موقعیت ها نیز به کار گیرد (پژوهش علم در عمل) (مثال : انجام فعالیت هایی در مدرسه یا خانه برای حفاظت از آب/ جلوگیری از آلودگی آب/ صرفه جویی در مصرف آب/ ...)

پرسش هایی که در آموزش زمینه محور باید به آن پاسخ داد

- در هنگام برنامه ریزی برای تدریس پرسش های زیر می تواند میزان پای بندی به هدف های آموزش زمینه محور را ارزیابی کند. بدیهی است هرچه تعداد پاسخ های مثبت بیشتر باشد آموزش به رویکرد زمینه محور نزدیک تر است.
- آیا مفاهیمی که آموزش می دهید از محیط زندگی دانش آموز گرفته شده است؟ به عبارتی برای وی آشنا است؟
- مثال ها از زندگی روزمره دانش آموز گرفته شده است؟
- مفاهیم براساس دانش فعلی دانش آموز بنا نهاده شده است؟
- مثال ها و تمرین ها شامل موقعیت های حل مسئله واقعی است که دانش آموز با آنها آشناست/ درگیر است؟
- مثال ها و تمرین ها نگرشی در دانش آموز برای اینکه بگوید «من باید این را یاد بگیرم» ایجاد می کند؟
- آیا دانش آموزان خودشان اطلاعات را جمع آوری و تجزیه و تحلیل می کنند 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 به کاربرد 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 در می‌گیرد 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 به گونه‌ای نوشته می‌شوند که ابتدا نظریه‌ها، که همان بیان ریاضی است راطرح می‌کنند و برهان‌ها، استدلال‌ها و کاربردها در مرحله بعدی ارائه می‌شوند. در رویکرد پدیده محور، برعکس این روش، هدف این است که ابتدا دانش‌آموزان وقوع یک پدیده 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 مفاهیم‌ها 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، بر مبنای کنجکاوی و نوآوری و گشودن راهی شوق‌انگیز و سرگرم‌کننده برای یادگیری فیزیک است.

در رویکرد پدیده محور (PBL) یادگیری بر مبنای مشاهده 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 شیوه 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 هر کدام، تکه‌ای از پازلی هستند که سرانجام تصویر بهتری از آنچه که در واقع رخ می‌دهد، در اختیار دانش‌آموزان می‌گذارد.

یادگیری پدیده محور، یک شیوه آموزشی مستقل نیست؛ بلکه روشی است که می‌تواند تصویر کامل‌تری از پدیده‌ها در اختیار ما بگذارد. این روش 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 نشده باشند نیز دیده باشید. در آموزش فیزیک به شیوه 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 پروژه محور یا یادگیری حل مسئله است. در یادگیری پروژه محور، به دانش‌آموز پروژه‌ای داده می‌شود که دربرگیرنده زمینه‌ای برای یادگیری است. مشکل این روش این است که دانش‌آموز صرفاً از روی کنجکاوی روی این پروژه

۱. Phenomeno Based Learning (PBL)

این قسمت، از مقدمه کتاب «آموزش فیزیک با رویکرد پدیده محور، انتشارات مدرسه، ۱۳۹۶» برگرفته شده است.

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 مشاهده یک پدیده جالب، نه تنها علاقه‌مند به دانستن درباره 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 به وجود می‌آید. مشاهده یک پدیده توسط دانش‌آموزان، همواره جالب‌تر و به یادماندنی‌تر از خواندن مفاهیم و نظریه‌ها درباره 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 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 فلسفه استانداردهای علمی نسل آینده^۱ است. به جای اینکه دانش‌آموزان فقط حقایق و مفاهیمی را حفظ کنند که به سرعت فراموش می‌شوند، علم را به صورت 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 به دست می‌آورند و کاربرد واقعی آنها را می‌بینند و این درست همان چیزی است که در استانداردهای علمی نسل آینده (NGSS) در نظر گرفته‌اند.

هدف یادگیری پدیده محور، فعال کردن ذهن دانش‌آموزان با مشاهده 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 هر دوی اینها، ماهیت علم فیزیک را نمایان می‌سازد.

هدف اصلی این رویکرد، براندیشه‌ورزی 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 درباره این پدیده بیندیشند و آن را درک کنند، لازم است درباره 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 به طول بینجامد. در طول این مدت دانش‌آموزان می‌توانند به موقعیت‌های واقعی زندگی که این پدیده در آن نقش اساسی دارد، فکر کنند. پس از آن می‌توان 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؛ به عنوان مثال: اول، دقت کنید که تأکید روی پاسخ «درست» دادن نیست. معلمان نباید به پرسش‌ها پاسخ دهند و به اصطلاح راه میان‌بر به دانش‌آموزان نشان دهند – این کار به دانش‌آموزان فرصت نمی‌دهد بفهمند علم واقعاً چگونه کار می‌کند.

هنگام نگاه کردن به پاسخ‌های دانش‌آموزان، نکته‌های زیر را در نظر بگیرید: آیا دانش‌آموزان بر مبنای شواهد نتیجه‌گیری می‌کنند؟ آیا نظر خود را با دیگر دانش‌آموزان گروه در میان 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 درباره آن بیشتر بحث کنند. مشارکت دانش‌آموزان به عنوان 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 نحوه انجام آزمایشی را که درگیر آن هستند (که ممکن است در بین گروه‌ها متفاوت باشد)، نظرات خود درباره پدیده‌ای که درباره آن در حال تحقیق‌اند (از جمله نظرات درست و نادرست)، کدام آزمایش‌ها و مشاهدات نشان داده‌اند که نظرات نادرست، اشتباه بودند و همچنین پاسخ‌هایی که به پرسش‌های هر پژوهش و آنچه که در نتیجه 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 می‌تواند استفاده کنند. این عالی نیست که دانش‌آموزان بیرون از کلاس درس درباره 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 درباره پدیده مورد نظر 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 درباره 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 مفهوماً 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 محدوده توجه به حافظه و به عبارتی «آموزش برای به‌خاطر سپردن» کاملاً خارج شود و همواره بر تحقق اهداف در قالب پیامدها متمرکز بماند. در صورت 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 – یادگیری را با پاسخ به سه پرسش فوق دنبال می‌نماید. در این شیوه کار، در فرایند یاددهی – 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، به گونه‌ای 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 در نظر گرفتن موارد مختلف ارزیابی خود را از ارائه دانش‌آموز به‌صورت فهرست واری تهیه کرده و جمع‌بندی آن را در دفتر ثبت نمرات وارد می‌کند.
 - ۲ **مشاهده کارهای عملی دانش‌آموزان:** در حین برگزاری آزمایش یا انجام فعالیت‌ها به‌صورت فردی یا گروهی ضمن در نظر داشتن میزان فعالیت دانش‌آموزان، چک‌لیست‌هایی نیز تهیه می‌شود که در حین برگزاری آزمایش و پس از آن پر شده 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

۱. Genuine understanding

بخش اول: کلیات ۱۷

توسط دانش‌آموزان در جلسه 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. نمره 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 به صورت کتبی طراحی و در مدت زمان مشخص شده‌ای برگزار می‌گردد که این نمره نیز در دفتر ثبت می‌شود.

۶ نمره مستمر دانش‌آموزان: با جمع‌بندی نمرات شفاهی، آزمونک، پایان فصل، مشاهده کار عملی، ارائه دانش‌آموز و ...، همراه با نظر دبیر در مورد دانش‌آموز که در طول سال تحصیلی به دست 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، نمره کسب شده دانش‌آموز به عنوان نمره میان سال و پایان سال در کارنامه ثبت می‌شود.

بارم‌بندی فیزیک ۱ پایه دهم رشته علوم تجربی — سال تحصیلی ۱۴۰۳ — ۱۴۰۲

فصل	نوبت اول		نوبت دوم		امتحانات نهایی (شهریور، دی و ...)	
	محتوای نظری	فعالیت و آزمایش	محتوای نظری	فعالیت و آزمایش	فصل	محتوای نظری
اول	۵/۵	۲	۱/۷۵	۰/۵	اول	۳
دوم	۸	۲	۲/۵	۱	دوم	۳/۷۵
سوم (تا ابتدای بخش ۳-۳ صفحه ۶۱)	۲/۵	—	۱/۲۵	—	سوم	۴/۵
سوم (از ابتدای بخش ۳-۳ تا پایان فصل)	—	—	۳/۵	۰/۵		
چهارم	—	—	۷	۲	چهارم	۴/۷۵
جمع	۱۶	۴	۱۶	۴	جمع	۱۶
	۲۰		۲۰			۲۰

بارم‌بندی فیزیک ۱ پایه دهم رشته ریاضی و فیزیک — سال تحصیلی ۱۴۰۳ — ۱۴۰۲

فصل	نوبت اول		نوبت دوم		امتحانات نهایی (شهریور، دی و ...)	
	محتوای نظری	فعالیت و آزمایش	محتوای نظری	فعالیت و آزمایش	فصل	محتوای نظری
اول	۴	۱/۵	۱/۲۵	۰/۵	اول	۲/۵
دوم	۶	۲	۲/۲۵	۱/۲۵	دوم	۳
سوم	۶	۰/۵	۲/۵	—	سوم	۳/۵
چهارم	—	—	۵/۷۵	۱/۷۵	چهارم	۴/۵
پنجم	—	—	۴/۲۵	۰/۵	پنجم	۲/۵
جمع	۱۶	۴	۱۶	۴	جمع	۱۶
	۲۰		۲۰			۲۰

- موارد مهم در طراحی آزمون برای هریک از دو رشته «علوم تجربی» و «ریاضی و فیزیک».
- ۱ ■ لازم است ۲۰ درصد نمره هر آزمون (۴ نمره) به ارزشیابی از بخش‌های مربوط به فعالیت‌ها و آزمایش‌های کتاب درسی و همچنین طراحی آزمایش اختصاص داده شود.
- ۲ ■ نمره هر فصل حداکثر می‌تواند تا ۵/۰ نمره نسبت به جدول بالا تغییر کند.
- ۳ ■ از مطالب مربوط به خوب است بدانید، زندگینامه دانشمندان و تاریخ علم، نتایج فعالیت‌های تحقیقی، واژه‌نامه و مواردی که در پاورقی برخی از صفحه‌های کتاب اشاره شده است رمزینه‌ها و پیوست‌ها نباید پرسش یا مسئله‌ای در آزمون‌ها طراحی شود.
- ۴ ■ در هر آزمون ثابت‌های فیزیک مورد نیاز داده شود.
- ۵ ■ نوشتن یکاها در پاسخ‌ها الزامی است.
- ۶ ■ چنانچه امتحان پایانی به صورت هماهنگ کشوری (نهایی) برگزار شود، بارم‌بندی شهرپور و دی مدنظر خواهد بود.
- ۷ ■ در ارزیابی‌های مستمر و پایانی، انتظارات عملکردی مورد توجه قرار گیرد. جدول زیر فهرستی از این انتظارات و سهم آنها را در این آزمون نشان می‌دهد.

ردیف	انتظارات عملکردی	مستمر	پایانی
۱	طراحی آزمایش	۲ تا ۴ نمره	۱ تا ۳ نمره
۲	اجرای آزمایش، ثبت داده‌ها، نتیجه‌گیری و ارائه گزارش	۲ تا ۴ نمره	
۳	تجزیه و تحلیل داده‌ها، رسم نمودار، نتیجه‌گیری از داده‌ها، پیش‌بینی و ...	۲ تا ۴ نمره	۲ تا ۴ نمره
۴	انجام تحقیق و جمع‌آوری اطلاعات (طراحی، اجرا، ثبت داده‌ها، تجزیه و تحلیل، ارائه گزارش)	۲ تا ۳ نمره	
۵	مشارکت و تعامل در فرایند آموزش (انجام فعالیت‌های عملی و آزمایشگاهی، مشارکت در بحث‌های گروهی، کنجکاوی علمی و طرح پرسش‌های مفهومی)	۴ تا ۶ نمره	
۶	پاسخ به پرسش‌های مفهومی و کاربرد، استدلال و قضاوت	۱ تا ۳ نمره	۴ تا ۷ نمره
۷	توانایی حل پرسش‌های محاسباتی	۲ تا ۳ نمره	۷ تا ۱۰ نمره
۸	حل مسائل در شرایط جدید (کاربرد و استدلال)		۱ تا ۳ نمره

بخش ۲

راهنمای تدریس فصول

فصل ۱

فیزیک و اندازه‌گیری

- ۱-۱ فیزیک : دانش بنیادی
 - ۲-۱ مدل‌سازی در فیزیک
 - ۳-۱ اندازه‌گیری و کمیت‌های فیزیکی
 - ۴-۱ اندازه‌گیری و دستگاه بین‌المللی یکاها
 - ۵-۱ اندازه‌گیری و دقت وسیله‌های اندازه‌گیری
 - ۶-۱ چگالی
- پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۱

دبیران محترم توجه دانش‌آموزان را به رمزیندهای سریع پاسخ (QR Code) آورده شده در ابتدای هر فصل از کتاب درسی جلب کنند. این رمزیندها دربردارنده محتوای آموزشی متنوعی از قبیل آزمایش‌های انجام شده کتاب درسی، شبیه‌سازی‌ها و... هستند که به یادگیری و نشاط آموزشی - علمی دانش‌آموزان کمک زیادی می‌کنند.



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 قانون، مدل و نظریه فیزیکی استفاده می‌شود.
- مدل‌ها و نظریه‌های فیزیکی با توجه به آزمایش‌های جدید ممکن است دستخوش تغییر و یا حتی جایگزینی توسط مدل یا نظریه جدیدی شوند.
- فیزیک دانشی بنیادی است که بخش بزرگی از مهندسی و فناوری‌ها بر این دانش بنیادی بنا شده‌اند.
- فیزیک‌دانان برای بررسی پدیده‌ها، از مدل‌سازی استفاده می‌کنند.
- کمیت‌های فیزیکی به دو صورت نرده‌ای و برداری هستند.
- دستگاه بین‌المللی یکاها (SI) دستگاه یکاهای رایج و متداول در دنیای علوم و مهندسی امروز است.
- یکاهای اصلی در دستگاه بین‌المللی یکاها کدام‌ها هستند و یکاهای فرعی چگونه از روی یکاهای اصلی ساخته می‌شوند؟
- تبدیل یکاها به‌روش تبدیل زنجیره‌ای چگونه انجام می‌شود؟
- نمادگذاری علمی چیست و چه فایده‌ای دارد؟
- هر اندازه‌گیری همراه با خطا است و دقت اندازه‌گیری به دقت وسیله یا ابزار اندازه‌گیری، مهارت شخص آزمایشگر و تعداد دفعات اندازه‌گیری بستگی دارد.
- آشنایی با کمیت فیزیکی چگالی و برخی کاربردهای آن.

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؟
- چرا به دستگاه بین‌المللی یکاها نیاز داریم؟
- در دستگاه بین‌المللی یکاها، یکاهای اصلی و فرعی کدام‌اند و چگونه به هم مربوط می‌شوند؟
- چرا به تبدیل یکاها نیاز داریم؟
- نمادگذاری علمی چیست؟
- دقت ابزار اندازه‌گیری یعنی چه؟
- چگالی یک جسم یعنی چه و چه کاربردی دارد؟

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

دانش آموزان خواهند دانست که :

- واژگان کلیدی : پدیده فیزیکی، نظریه‌ها و مدل‌های فیزیکی، مدل‌سازی، کمیت‌های فیزیکی نرده‌ای و برداری، یکاهای اصلی و فرعی در دستگاه بین‌المللی یکاها، پیشوندهای یکاها، نمادگذاری علمی، دقت ابزار اندازه‌گیری، ابزار اندازه‌گیری مدرج، ابزار اندازه‌گیری دیجیتال (رقمی)، چگالی.
 - نظریه‌های فیزیکی در طول زمان تغییر می‌کنند.
 - در مدل‌سازی، عوامل کمتر تأثیرگذار روی مسئله را می‌توان نادیده گرفت.
 - کمیت‌های فیزیکی به دو صورت نرده‌ای و برداری هستند.
 - دستگاه بین‌المللی یکاها و یکاهای اصلی و فرعی چیست؟
 - تبدیل یکا چه ضرورتی دارد و چگونه انجام می‌شود؟
 - نمادگذاری علمی چیست و چه ضرورتی دارد؟
 - دقت در اندازه‌گیری به چه عواملی بستگی دارد و دقت ابزار اندازه‌گیری یعنی چه؟
 - چگالی یک جسم یعنی چه و چه کاربردی دارد؟
- دانش آموزان قادر خواهند بود :

- برخی فناوری‌ها و کاربردهای مهندسی بنابر دانش فیزیک را توضیح دهند.
- پدیده‌ها و مسائل ساده را در فیزیک مدل‌سازی کنند.
- چند نمونه از کمیت‌های نرده‌ای و برداری را مثال بزنند.
- در موارد ساده‌ای با توجه به تعریف یک کمیت، یکای آن کمیت در SI را از روی یکاهای اصلی SI به دست آورند.
- به روش تبدیل زنجیره‌ای تبدیل یکا را انجام دهند.
- با نمادگذاری علمی در محاسبه‌های فیزیکی کار کنند.
- به کمک ابزارهای مدرج و دیجیتال (رقمی) اندازه‌گیری‌های ساده‌ای انجام دهند و نتیجه اندازه‌گیری را با توجه به دقت ابزار، به درستی بیان کنند.
- با استفاده از مفهوم چگالی، جرم، حجم، و چگالی را محاسبه کنند.

بودجه‌بندی پیشنهادی

- جلسه اول : نگاهی به مقدمه کتاب (سخنی با دانش آموز) + تصویر شروع فصل + بخش ۱-۱
- جلسه دوم : بخش‌های ۱-۲ و ۱-۳ ■ جلسه ششم : بخش ۱-۶
- جلسه‌های سوم و چهارم : بخش ۱-۴ ■ جلسه هفتم : جمع‌بندی، رفع اشکال و حل پرسش‌ها و تمرین‌های باقیمانده از پایان فصل
- جلسه پنجم : بخش ۱-۵ ■ جلسه هشتم : آزمون تشریحی فصل اول

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

راهنمای فرایند آموزش فیزیک ۱

فیزیک و اندازه‌گیری

فصل



یکی از وجه مشترک فیزیک و معماری، اندازه‌گیری است. معماران هزاره‌ها پیش از صدها سال پیش با بهره‌گیری از روش‌ها و فنون اندازه‌گیری، اثرهای بی‌نوع و ماندگاری به یادگار گذاشته‌اند.

اگر به دنبال رد پای فیزیک در زندگی خود باشید، لازم نیست جای خیلی دوری بروید؛ زیرا فیزیک با زندگی روزانه ما عین شده است. وسایل برقی، خودروها، گوشی‌های تلفن همراه و بسیاری از وسایل و ابزارهای ساخته‌شده اطراف ما، با بهره‌گیری از اصول و قانون‌های فیزیکی ساخته شده‌اند. فیزیک‌دانان، گستره وسیعی از پدیده‌ها را بررسی می‌کنند. این گستره، اندازه‌های خیلی کوچک (مانند اتم‌ها و ذرات سازنده آنها) تا اندازه‌های خیلی بزرگ (مانند کهکشان‌ها و اجزای تشکیل‌دهنده آنها) را در بر می‌گیرد. در این فصل، پس از آشنایی با فیزیک و نظریه‌های فیزیکی، به اهمیت مدل‌سازی در فیزیک می‌خواهید پرداخت. با کسب‌های فیزیکی، دستگاه بین‌المللی یکاها و دقت در اندازه‌گیری آشنا خواهید شد. در پایان فصل نیز نگاهی به چگالی و کاربردهای آن خواهد شد.

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 که مهم‌ترین ابزار اندازه‌گیری دانشمندان مسلمان در صدها سال پیش، برای محاسبه‌های نجومی، یافتن ارتفاع و زاویه 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.



اسطرلاب، یک ابزار قدیمی که متجمین در رصد و اندازه‌گیری‌های نجومی به کار می‌برده‌اند.

۱-۱- فیزیک : دانش بنیادی

راهنمای تدریس : در بخش آغازین فصل اول، می‌خواهیم دانش‌آموزان به ماهیت و اهمیت فیزیک، به عنوان 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، و قانون‌های فیزیکی توصیف و پیش‌بینی کنند. بدینسان می‌توانیم بسیاری از پدیده‌های فیزیکی را به خدمت خود درآوریم و برای رفع نیازها و احتیاجاتمان از این پدیده‌ها استفاده کنیم.

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

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



فیزیک و اندازه‌گیری

خوب است بدانید

راز فیزیک ریشه در یونان باستان دارد و به معنای شناخت طبیعت است. تا آنجا که تاریخ مدون علم نشان می‌دهد، فیلسوفان دوران باستان در سده هفتم قبل از میلاد مسیح نخستین کسانی بودند که روش‌های دربار طبیعت مطرح ساختند. آئیندهای علمی این فیلسوفان در سده پنجم قبل از میلاد در یونان و پس از آن در مناطقی مانند مقدونیه، سوریه، مصر و جزیره سیسیل پراکنده شدند. کارهای ارسطو و برخی دیگر از دانشمندان یونان باستان به همین دوره مربوط می‌شود. بررسی‌های انجام‌داده توسط تاریخ‌نگاران علم نشان می‌دهد، روش ارسطو به روش‌های علمی امروز نزدیک بوده است. پس از ظهور و گسترش اسلام، دانشمندان مسلمان و به‌خصوص ایرانی مانند ابوریحان بیرونی، ابن هبش، خواجه نصیرالدین طوسی، ابن سینا و بسیاری دیگر در زمینه‌های نجوم، ترنسسمی و مکانیک، دانش فیزیک را گسترش دادند که بعدها بخشی از این نتایج پایه‌ای برای کارهای گالیله و نیوتون گردید.



پیتاغوراس (۴۸۰-۴۰۰ ق.م)، پلوتارک (۱۰۰-۴۰ ق.م)، ارسطو (۳۸۴-۳۲۲ ق.م)، پتولمی (۱۰۰-۵۰ ق.م)، و اقلیدس (۳۰۰-۲۷۵ ق.م)



گالیله (۱۵۶۴-۱۶۴۲)، نیوتون (۱۶۴۳-۱۷۲۷)، و اینشتین (۱۸۷۹-۱۹۵۵)

در کتاب‌های تاریخ علم، روایت گردید که گالیله جرم‌های سبک و سنگین را از بالای برج برج‌ها رها کرد تا دریابد که آیا زمان سقوط آنها یکسان است یا متفاوت. گالیله تشخیص داد که تنها یک بررسی تجربی می‌تواند به این پرسش پاسخ دهد. وی با تعقیب زوایای نیجه آزمایش‌های خود، گام بلندی به سوی این اصل روانست که نتایج جسم در حال سقوط، مستقل از جرم آن است.

فیزیک پایه و اساس تمامی مهندسی‌ها و فناوری‌هاست. جمع مهندسی نمی‌توانست بدون آنکه نخست قانون‌های اساسی فیزیک را درک کند. یک فناوری با صفت نخست یک فعالیت‌های میان‌پایه‌ای، یک لایه کومپوزیت LED یا حتی یک ابزار ساده طراحی کند. شکل ۱-۱ الف تا ج، بخش بسیار کوچکی از دستاوردهای دانش و فناوری‌های نوین را نشان می‌دهد که فیزیک، شالوده علمی آنهاست.

۱-۱ الف تا ج، بخش بسیار کوچکی از دستاوردهای دانش و فناوری‌های نوین را نشان می‌دهد که فیزیک، شالوده علمی آنهاست.

مطالبی که در کادرهای خوب است بدانید آمده است نباید جزو ارزشیابی کلاسی 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 رشته‌های دیگر نیز به کار می‌برند. فیزیک یکی از پایه‌های اساسی مهندسی‌ها و فناوری‌ها 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 ادامه این بخش سعی شده است تا دانش‌آموزان با نقش فیزیک در عرصه‌های مختلف فناوری امروز آشنا شوند.

فعالیت پیشنهادی برای بخش ۱-۱

می‌توانید از برخی دانش‌آموزان قوی‌تر کلاس بخواهید متن زیر را در مورد رابطه بین نظریه‌های فیزیکی و آزمایش بخوانند و آن را با یکدیگر به بحث بگذارند و گفت‌وگو کنند. این متن برای ارائه به عموم دانش‌آموزان در کلاس درس مناسب نیست. رابطه بین نظریه‌های فیزیکی از یک سو و آزمایش، مشاهده و اندازه‌گیری از سوی دیگر همواره رابطه‌ای دو سویه است. از آنجا که فیزیک علمی تجربی است اولاً، پیدایش بسیاری از نظریه‌های فیزیکی، از مشاهدات، آزمایش‌ها و اندازه‌گیری‌های فیزیکی قبلی ریشه گرفته و تغذیه کرده است و ثانیاً نظریه‌های فیزیکی پذیرفته شده و موفق، چشم‌اندازهای جدیدی را پیش روی فیزیکدانان باز کرده و می‌کند که منجر به آزمایش‌ها و تجربه‌های جدید و تازه می‌شود، مثلاً می‌توان فرض کرد آزمایش‌های اولیه و ساده‌ای در نورشناسی، فیزیکدانان را به درک ساده قوانین بازتابش و شکست نور رسانده باشد. سپس آزمایش‌هایی براساس این قوانین صورت گرفته که سبب شده فیزیکدانان رفتار آینه‌ها و عدسی‌های کروی نازک را به خوبی بشناسند و آن‌گاه براساس این شناخت جدید دستگاه‌های نوری مانند میکروسکوپ و تلسکوپ ساخته شده است.

در اینجا دانش‌آموزان با نمونه‌هایی از کاربرد فیزیک در فناوری‌های مختلف آشنا می‌شوند. 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 هرگونه ارزشیابی از محتوای این شرح شکل‌ها خارج از اهداف برنامه درسی فیزیک ۱ است.



فصلنامه
این تصاویر به ترتیب از چپ به راست و از بالا به پایین عبارتند از: ۱. سیاهچاله (Black Hole) که در سال ۲۰۱۹ میلادی توسط تلسکوپ فضایی جیمز وب (JWST) مشاهده شد. ۲. یک فضانورد در حال قدم زدن در سطح ماه. ۳. یک موشک در حال پرتاب. ۴. یک فضانورد در حال قدم زدن در سطح ماه. ۵. یک فضانورد در حال قدم زدن در سطح ماه. ۶. یک فضانورد در حال قدم زدن در سطح ماه.

توضیحات

این تصاویر به ترتیب از چپ به راست و از بالا به پایین عبارتند از: ۱. سیاهچاله (Black Hole) که در سال ۲۰۱۹ میلادی توسط تلسکوپ فضایی جیمز وب (JWST) مشاهده شد. ۲. یک فضانورد در حال قدم زدن در سطح ماه. ۳. یک موشک در حال پرتاب. ۴. یک فضانورد در حال قدم زدن در سطح ماه. ۵. یک فضانورد در حال قدم زدن در سطح ماه. ۶. یک فضانورد در حال قدم زدن در سطح ماه.

این تصاویر به ترتیب از چپ به راست و از بالا به پایین عبارتند از: ۱. سیاهچاله (Black Hole) که در سال ۲۰۱۹ میلادی توسط تلسکوپ فضایی جیمز وب (JWST) مشاهده شد. ۲. یک فضانورد در حال قدم زدن در سطح ماه. ۳. یک موشک در حال پرتاب. ۴. یک فضانورد در حال قدم زدن در سطح ماه. ۵. یک فضانورد در حال قدم زدن در سطح ماه. ۶. یک فضانورد در حال قدم زدن در سطح ماه.

پاسخ فعالیت ۱-۱

در این فعالیت دانش‌آموزان با توجه به علاقه‌مندی خودشان و راهنمایی شما، می‌توانند (ترجیحاً به صورت 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 خانه‌های یخی



فیزیک تشکیل گردباد



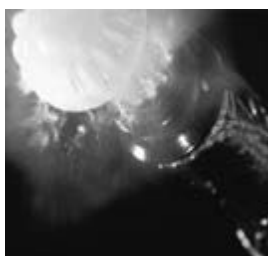
فیزیک حمل بار سنگین توسط مورچه‌ها



فیزیک تشکیل حباب‌های آب صابون



فیزیک تعریق بدن هنگام ورزش



فیزیک تشکیل بخار هنگام باز کردن نوشابه خنک



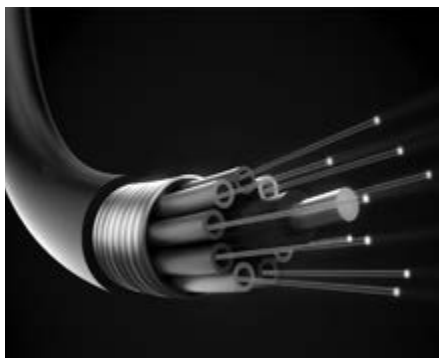
فیزیک تارهای عنکبوت

فیزیک در ورزش

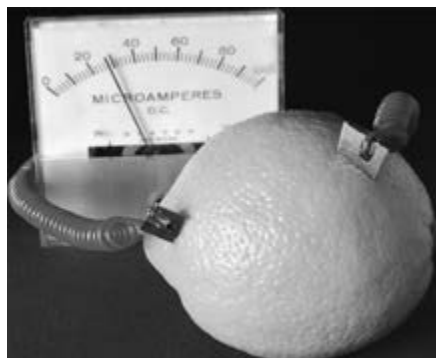


فیزیک اسکیت سواری روی امواج و قایق‌های بادبانی

فیزیک در ابزارها



فیزیک تارهای نوری



فیزیک باتری‌های شیمیایی



فیزیک کارت‌های بانکی

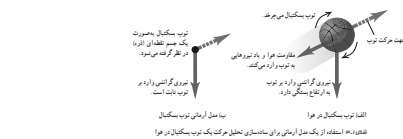


فیزیک آهنرباهای الکتریکی

۱-۲- مدل سازی در فیزیک

هرچند دانش آموزان در زندگی و گفتگوهای روزانه خود واژه مدل را بارها شنیده و یا به کار برده اند ولی نخستین بار است که دانش آموز در کتاب درسی اش اصطلاح مدل سازی در فیزیک را می بیند و اهمیت آن را با مثال هایی ساده یاد می گیرد.

تشخیص این که در بررسی یک پدیده فیزیکی، عوامل مؤثر در پدیده کدام ها هستند، کدام عوامل اثر جزئی تری دارند و کدام عوامل اثر مهم تر دارند، از توانمندی هایی است که انتظار می رود با تأکید دیران محترم و در زمینه تجربه و تکرار زیاد در موضوعات و سرفصل های مختلف درس فیزیک، در دوره متوسطه دوم، آرام آرام به دانش آموزان داده شود. به عنوان یک مثال ساده اولیه می توانید چند وزنه قلاب دار با جرم های متفاوت، مقداری نخ، متر نواری، زمان سنج (کرونومتر) و ترازو را با خود به کلاس ببرید. آونگ ساده ای بسازید و از بچه ها بخواهید مدت زمان یک رفت و برگشت آونگ را اندازه بگیرند. سپس از ایشان بپرسید به نظر شما چه عواملی در مدت زمان یک رفت و برگشت این آونگ مؤثر است؟ پاسخ های زیادی خواهند داد. تعدادی از پاسخ های بچه ها را به آزمایش بگذارید و به این ترتیب براساس آزمایش و تجربه، عوامل مهم و عوامل کم اثر را تشخیص دهید. برخی پاسخ های قابل تجربه کردن بچه ها، جرم وزنه، زاویه انحراف اولیه آونگ، طول نخ آونگ، و... است. مثال های زیاد دیگری از این نوع وجود دارد. البته همیشه قضیه به این سادگی نیست. در بسیاری از موارد تنها پس از حل دقیق و کامل یک مسئله است که معلوم می شود عوامل مؤثر مهم و عوامل کم اثر در پاسخ کدام ها هستند و بدین سان و پس از یک بار حل دقیق و کامل، می توان عوامل کم اثر را کنار گذاشته و پس از پیمودن این مسیر و از این به بعد، به حل ساده و تقریبی مسئله بسنده کرد.



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

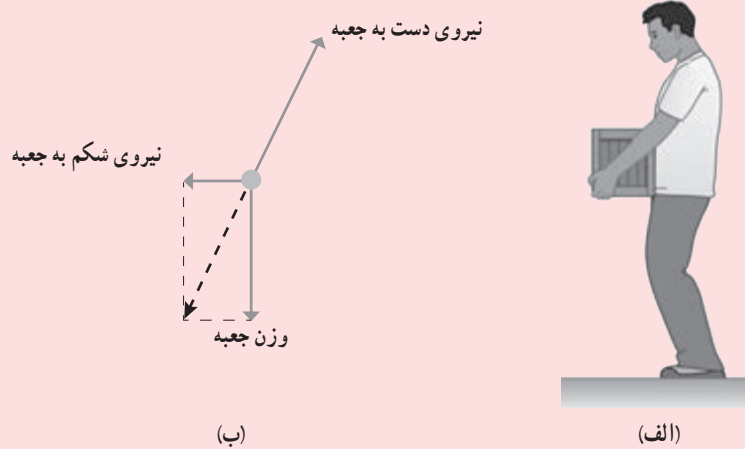
به این ترتیب توصیه می شود ابتدا از دانش آموزان بخواهید تا درک و شناخت خود را از واژه مدل و مدل سازی بیان کنند. انتظار می رود برخی دانش آموزان به مدل های ساده و کوچک نظیر مدلی که برای یک خودرو یا هواپیما ساخته می شود اشاره کنند. در ادامه از مدل ساده ای که برای یک خودرو یا هواپیما ساخته می شود شروع کنید و از دانش آموزان بخواهید تا شباهت ها و تفاوت های این مدل را با نسخه اصلی خودرو یا هواپیما بیان کنند. پس از آن با جمع بندی نظر دانش آموزان، به مدل و مدل سازی در فیزیک بپردازید.

پس از معرفی مدل های آرمانی، که در واقع ساده ترین مدل هایی هستند که برای بررسی یک پدیده فیزیکی به کار می بریم (مانند مثال کتاب در شکل ۱-۳)، اشاره ای نیز به مدل های کمتر آرمانی شده، مانند حرکت یک توپ با در نظر گرفتن مقاومت هوا یا با منظور کردن چرخش توپ داشته باشید، که در سطوح بالاتر آموزش فیزیک به آنها می پردازند. همچنین نگاهی کنید به مدل سازی مثال ساده ای که در حاشیه این صفحه آمده است و در فصل دوم همین کتاب از آن استفاده فراوانی می کنیم. در پایان نیز خوب است تأکید کنید که در کتاب های درسی فیزیک سال های دهم تا دوازدهم، غالباً مباحث و موضوعات را با مدل های آرمانی آموزش می دهیم.

پرسش‌های پیشنهادی

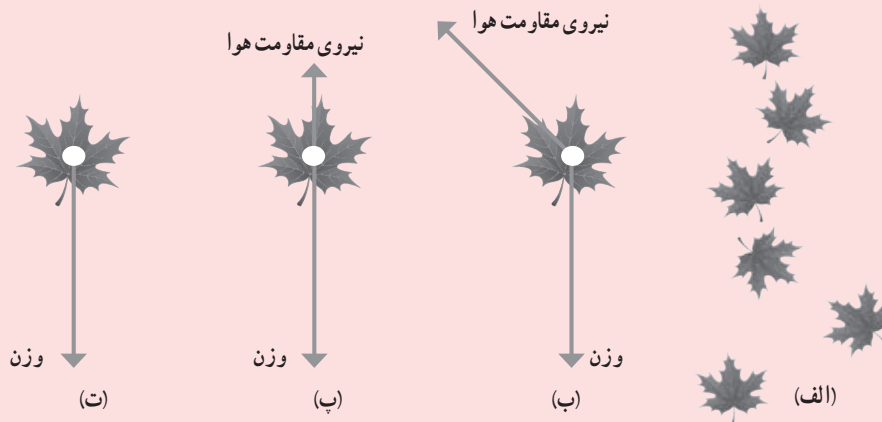
۱ شکل الف شخصی را در حالت ایستاده نشان می‌دهد که جعبه‌ای را در دست خود گرفته است. نیروهای وارد بر جعبه را مدل‌سازی کنید.

پاسخ: با توجه به وضعیت شخص، سه نیرو به جعبه وارد می‌شود. یکی نیروی دست، که از طرف شخص به‌طور مایل به سمت راست شکل و روبه بالا به جعبه وارد می‌شود. دیگری نیرویی که شکم شخص به جعبه وارد می‌کند که با یک فرض ساده، افقی و به طرف چپ است. نیروی سوم، وزن جعبه است که رو به پایین و از طرف زمین به جعبه وارد می‌شود. در شکل ب، نیروهای وارد بر جعبه، که به صورت یک ذره مدل‌سازی شده، نشان داده شده است. دانش‌آموزان در فصل «نیرو» از کتاب علوم سال قبل خود آموخته‌اند که چون جعبه ساکن است، این سه نیرو متوازن‌اند و نیروی خالص مؤثر بر جعبه در این حالت صفر است.



۲ شکل الف سقوط برگ درختی را به طرف زمین نشان می‌دهد. کدام یک از شکل‌های ب، پ و ت نیروهای مؤثر بر برگ در حرکت آن به طرف زمین را در بخش کوچکی از مسیرش که برگ در امتداد قائم، به آرامی، و روبه پایین در حرکت است (مثلاً بین تصویر سوم و تصویر چهارم، از بالا به پایین)، بهتر مدل‌سازی کرده است؟

پاسخ: با توجه به نوع حرکت برگ درخت هنگام سقوط به طرف زمین، و در قطعه مسیر گفته شده در سؤال، شکل پ می‌تواند پاسخ باشد.



پاسخ پرسش ۱-۱

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

شکل الف، باریکه نوری را نشان می‌دهد که از یک لیزر مدادی خارج شده است. این باریکه، به صورت 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 چشمه نور استفاده شده است. چون چشمه نور در فاصله دوری از جسم قرار دارد پرتوهایی که به جسم رسیده‌اند به صورت موازی مدل‌سازی شده‌اند. پرتوهای موازی رسیده به هر نقطه از جسم، در جهات متفاوت فضا بازتابیده می‌شوند. شکل، پرتوهای بازتابیده از یک نقطه جسم را نشان می‌دهد. برخی از این پرتوها وارد دوربین می‌شوند و تصویر نقطه مورد بررسی را تشکیل می‌دهند.



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

کمیت‌های زنده‌ای مانند جرم، طول و چگالی، تنها شامل عدد و یکا هستند. همچنین کمیت برداری مانند جابه‌جایی کمیتی است که افزون بر اندازه (عدد و یکا) دارای جهت نیز هست، کمیت‌های برداری شامل عدد، یکا و جهت هستند.

۱-۳- اندازه‌گیری و کمیت‌های فیزیکی

در این بخش دوباره توجه دانش‌آموزان را به این نکته جلب کنید که در فیزیک با استفاده از کمیت‌های فیزیکی به مطالعه و بررسی پدیده‌های پیرامون برای مثال، حرکت رفت و برگشتی یک آونگ را با استفاده از کمیت‌های فیزیکی نظیر جرم آونگ، طول آونگ و مدت زمان یک رفت و برگشت آونگ بررسی می‌کنیم.

توجه داریم که معیار جدی زنده‌ای بودن یا برداری بودن یک کمیت فیزیکی، «تعریف» آن کمیت در فیزیک است، مثلاً در تعریف تندی متوسط $S_{av} = \frac{L}{\Delta t}$ خبری از جهت نیست و لذا S_{av} یک کمیت زنده‌ای است، اما در تعریف $\vec{V}_{av} = \frac{\vec{d}}{\Delta t}$ ، صریحاً یک بردار تعریف شده است. اصولاً قبل از تعریف یک کمیت فیزیکی، معنی واضح فیزیکی‌ای برای آن کمیت نمی‌شناسیم که بخواهیم بفهمیم برداری است یا زنده‌ای.

انتظار نمی رود دانش آموزان رابطه بین یک یکای فرعی SI، مثل ژول، با یکاهای اصلی SI را از حفظ بلد باشند. آنچه در اینجا مورد نظر است این است که دانش آموز بتواند در موارد بسیار ساده، با در اختیار داشتن تعریف دقیق و ریاضی کمیت های فیزیکی (و نه تعاریف محاوره ای)، و با اندازه ای مختصر از محاسبه که دانش آموزان در این رده تحصیلی تجربه کرده اند، یک یکای فرعی را برحسب یکاهای اصلی بیابد.

۴-۱- اندازه گیری و دستگاه بین المللی یکاها

در ابتدا به دو ویژگی مهم یکاهای استاندارد اشاره کرده ایم. اگر دو آزمایشگاه مبنای اندازه گیری خود را بر یک استاندارد پذیرفته شده برای یکای کمیتی (مانند طول) بگذارند، می توانند نتیجه های اندازه گیری خود را به راحتی با هم مقایسه کنند. برای ممکن ساختن این کار، استانداردهای پذیرفته شده باید در دسترس کسانی باشد که می خواهند 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) تغییر ناپذیر باشند.

یکای طول را از قرن هفدهم تا دهه های میانی قرن بیستم به عنوان یک یکای بنیادی در نظر می گرفتند. اما در دهه های پایانی قرن بیستم، تندی نور آن قدر دقیق اندازه گیری شد که توانستند یکای طول یعنی متر را با دقتی بسیار بیشتر از استاندارد قبلی اش تعریف کنند. در نتیجه امروزه یکای طول (متر) را برحسب تندی نور و ثانیه تعریف می کنند. این مورد نشان می دهد که چگونه اندازه گیری های جدید که دقتی به مراتب بیشتر از گذشته دارند، می تواند استانداردهای تثبیت شده را تغییر دهد و استانداردهای جدیدی را جایگزین آنها کند.

جدول ۱-۱: یکاهای اصلی و یکاهای فرعی

یکای اصلی	یکای فرعی
طول	متر
جرم	کیلوگرم
زمان	ثانیه
دما	کلوین
شدت جریان	آمپر
شدت روشنایی	کندلا (شدت)

یکای اصلی	یکای فرعی
طول	متر
جرم	کیلوگرم
زمان	ثانیه
دما	کلوین
شدت جریان	آمپر
شدت روشنایی	کندلا (شدت)

در سال ۱۹۶۰ میلادی، مجمع عمومی اوزان و مقیاس ها، هفت کت در جهان کت اصلی انتخاب کرد که اساس دستگاه بین المللی یکاها را تشکیل می دهد. جدول ۱-۱: یکای این دستگاه را یکاهای اصلی می نامند. سایر یکاهای دیگر را که برحسب یکاهای اصلی بیان می شوند، یکاهای فرعی می نامند.

تعداد کمی یکای فیزیکی، بسیار زیاد و سازمان های آنها هنوز است. خوشبختانه، بسیاری از کمیت های فیزیکی مستقل از یکدیگر هستند و توسط رابطه های تجربی و فیزیکی به یکدیگر وابسته اند. این وابستگی ها ما کمک می کند تا لازم باشد رای همه کمیت های فیزیکی، یکای مستقل تعریف کنیم. برای مثال، همان طور که در علوم سال نهم دیده ایم، تندی متوسط به صورت نسبت مسافت به زمان تعریف می شود. اگر مسافت را که از جسی طول است، با یکای متر (m) و زمان را با یکای ثانیه (s) بیان کنیم، آن گاه یکای تندی متوسط در SI، متر بر ثانیه (m/s) خواهد شد. به این ترتیب، یکای فرعی متر بر ثانیه (m/s) با یکاهای اصلی طول (m) و زمان (s) مرتبط می شود. در جدول ۱-۲ نمونه های از یکاهای فرعی آمده است که در این کتاب از آنها استفاده می کنیم. همان طور که در این جدول نیز دیده می شود، رای برخی از یکاهای فرعی، یکای SI برده، نیوتون است. معنی قرار داد این، مثلاً یکای نیرو (kg.m/s²) را نیوتون (N) نامیده اند. در این صورت گفته می شود: یکای SI نیرو، نیوتون است. معنی این یکاهای خاص در SI، ضمن احترام به فعالیت های علمی دانشمندان گذشته، سبب سهولت در گفتار و نوشتار نمی شود.

در اواسط قرن نوزدهم تا به یک دستگاه ملیش جهانی کاملاً آشکار شد. در سال ۱۸۷۵ میلادی، هیأتی بین المللی در پاریس در رسته شش تشکیل شد و ۱۷ دولت قرارداد متر را امضا کردند. امضا کنندگان تصمیم گرفتند که یک موسسه علمی دائمی به نام دفتر بین المللی اوزان و مقیاس ها تأسیس کنند. ایران نیز کنوانسیون متر را در سال ۱۳۵۲ امضا کرد و به عضویت این دفتر درآمد. مرکز آمارشناسی سازمان ملی استاندارد ایران به عنوان نقطه اتصال کشور به دستگاه اندازه گیری جهانی، وظیفه ارتباط با این سازمان جهانی را دارد.

۱-۱-۱- صرف نظر از تعریف (Bipolar International) یکای بین المللی است.

توافق بین المللی درباره استانداردها در یک سری نشست های جهانی کنفرانس عمومی درباره اوزان و مقادیر (با سر واژه CGPM فرانسوی) انجام می شود که از سال ۱۸۸۹ میلادی آغاز و بیست و ششمین نشست آن در سال ۲۰۱۸ برگزار شده است.

دانستنی برای معلم



متر، فاصله بین دو خراش ظریف در دوسر میله‌ای از آلیاژ پلاتین و ایریدیم

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 هوگنس 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. در پیشنهاد 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 پیشنهادها مختلف، پیشنهادی که در شکل ۶-۱ کتاب درسی آمده است (یک ده میلیونم فاصله استوا تا قطب شمال) 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 $8\text{mm}/10^6$ کوتاه‌تر از تعریف عملیاتی متر است. با وجود این، میله استاندارد که در سال ۱۷۹۹ ساخته شده بود تا سال ۱۹۸۳ به‌عنوان یکای استاندارد طول مورد پذیرش بود.

توجه کنید که تعریف دوم و سوم برای یکای طول (متر) طوری انجام شده که هریک، تا حد امکان با تعریف قبلی همخوان باشد.

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

طول: به لحاظ تاریخی، در اواخر قرن هجدهم، یکای طول (متر) بصورت یک ده میلیونم فاصله استوا تا قطب شمال تعریف شد (شکل ۶-۱). تا سال ۱۹۶۰ میلادی، فاصله میان دو خط بازگشتنده در نزدیکی دو سر میله‌ای از جنس پلاتین - ایریدیم، وقتی میله در دمای صفر درجه سلسیوس قرار داشت، واری یک متر تعریف شده بود. بنا بر آخرین توافق جهانی جمیع صومالی و فیلیپین در سال ۱۹۸۳ میلادی، یک متر برای سلسیوس تعریف شد که نور در مدت زمان 299792458 ثانیه در خلأ طی می‌کند. این تعریف، تخصصی است و برای اندازه‌گیری‌های بسیار دقیق به کار می‌رود. در جدول ۳-۱ مقادیر تقریبی برخی طول‌ها آمده است.



جدول ۳-۱: مقادیر تقریبی برخی طول‌های اندازه‌گیری‌شده

طول (m)	طول (m)
فاصله نظریه‌تیمی تا نزدیک‌ترین کهکشان 2.5×10^{22}	طول زمین متوسط 6.4×10^6
فاصله نظریه‌تیمی تا نزدیک‌ترین ستاره 4×10^{16}	طول دهنه بونکی 5×10^{-17}
یک سال نوری 9.5×10^{15}	اندازه ذرات کوچک گرد و خاک 10^{-6}
اندازه سازه‌های زمین به دور خورشید 10^{11}	اندازه فاصله‌های بین ستاره‌ها 10^{16}
فاصله میانگین ده از زمین 3.84×10^8	اندازه پهنای میکروسکوپها 10^{-6}
اندازه میانگین زمین 6.4×10^6	طول اثر هندرون 10^{-10}
فاصله اندازه‌های متناوبی از زمین 3.84×10^8	طول هسته اتم هندرون اتم پروتون 10^{-14}



اگر مطابق شکل روی تصویر، یکای طول را بصورت فاصله تک پیک تا نوک انگشتان دست کشیده‌شده بگیریم، چه مزایا و چه معایبی دارد؟

توضیح: ۳

توضیح: ۱

الف) یکای نجومی: اگر میانگین فاصله زمین تا خورشید است $(1.5 \times 10^{11} \text{m})$ ، با توجه به جدول ۳-۱، فاصله نظریه‌تیمی تا نزدیک‌ترین ستاره، و حسب یکای نجومی جقدر است؟
ب) سلسیوس: اگر که نور در مدت یک سال در خلأ می‌پیماید یک سال نوری می‌باشد و آن را با عدد ۱۰۰ میلیون می‌دهند. این فاصله را بر حسب متر محاسبه کنید. تفاوت نور را در خلأ 3×10^{10} متر بر ثانیه بگیرد.
ج) اخترشناسان: دورترین اجرام شناخته‌شده از منظومه شمسی هستند و به عبارتی در دورترین محل فانی مشاهده کهان قرار دارند. فاصله اخترشناسان از منظومه شمسی 1.3×10^{22} متر برآورد شده است. این فاصله را بر حسب سال نوری بیان کنید.

۱- برای به خط کردن این حرف تخصصی است
۲- light year
۳- Astronomical Unit

A

پاسخ پرسش ۲-۱

یکی از مزیت‌های این یکا برای اندازه‌گیری طول، در دسترس بودن آن است در حالی که تغییرپذیری آن بین اشخاص مختلف، یکی از معایب آن است. برای یک فرد معین نیز این فاصله در گذر زمان تغییر می‌کند. حتی در دو اندازه‌گیری پیاپی توسط یک شخص نیز، احتمالاً به دو پاسخ متفاوت می‌رسیم، چرا که فاصله نوک بینی تا نوک انگشتان دست، بستگی زیادی به کشیدگی و جهت‌گیری صورت، گردن، دست و ... دارد.

طول: به لحاظ تاریخی، در اواخر قرن هجدهم، یکای طول (ستر) بصورت یک ده میلیون یکمسیستم این فاصله تعریف شد. فاصله استوا تا قطب شمالی تعریف شد (شکل ۱-۳). تا سال ۱۹۶۰ میلادی، فاصله میان دو خط تراز جنگنده در ترکیبی دو سر میلی‌ای از جنس پلاتین - ایریدیوم، وقتی صلب در دمای صفر درجه سلسیوس قرار داشت، برای یک متر تعریف شده بود. بنابر آخرین توافق جهانی جمیع عمومی روزها و میانه‌ها در سال ۱۹۸۳ میلادی، یک متر برای مسافتی تعریف شد که نور در مدت زمان $\frac{1}{299792458}$ ثانیه در خلأ طی می‌کند. این تعریف، تخصصی است و برای اندازه‌گیری‌های بسیار دقیق به کار می‌رود^۱. در جدول ۱-۳ مقادیر تجربی برخی طول‌ها آمده است.



جدول ۱-۳ مقادیر تجربی برخی طول‌های اندازه‌گیری شده

طول (متر)	طول (متر)
فاصله منظومه شمسی تا نزدیک‌ترین کهکشان 2.5×10^{22}	طول زمین غرضی 1.27×10^7
فاصله منظومه شمسی تا نزدیک‌ترین ستاره 4×10^{16}	طول بدن فوجی جنگی 1.8×10^2
یک سال نوری 9.46×10^{15}	اندازه ذرات کوچک گرد و خاک 1×10^{-6}
شعاع مدار مایکروسکوپ زمین به دور خورشید 1.5×10^{11}	اندازه یاخته‌های بیشتر موجودات زنده 1×10^{-5}
فاصله میانگین ماه از زمین 3.84×10^8	اندازه بیشتر میکروسکوپها 10^{-7} تا 10^{-4}
شعاع مایکروسکوپ زمین 6.4×10^6	طول اتم هیدروژن 10^{-10} تا 10^{-9}
فاصله ماهواره‌های مخابراتی از زمین 3.6×10^7	قطر هسته اتم هیدروژن (قطر پروتون) 1.75×10^{-16}



اگر قطب شمالی را دورتر، یکای طول را بصورت فاصله نوک بینی تا نوک انگشتان دست کشیده‌شده بگیریم، چه مزایا و چه معایب دارد؟

تمرین ۱-۱

الف) یکای نجومی^۲ و یا مایکروسکوپ فاصله زمین تا خورشید است $(1 \text{ AU} = 1.5 \times 10^{11} \text{ m})$. با توجه به جدول ۱-۳، فاصله منظومه شمسی تا نزدیک‌ترین ستاره، بر حسب یکای نجومی چقدر است؟
ب) مسافتی را که نور در مدت یک سال در خلأ می‌پیماید یک سال نوری می‌نامند و آن را با اندازه‌گیری می‌نامند^۳. این فاصله را بر حسب متر محاسبه کنید. تندی نور را در خلأ $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ متر بر ثانیه بگیرید.
ج) مسافتی را که نور در مدت یک سال در خلأ می‌پیماید یک سال نوری می‌نامند و آن را با اندازه‌گیری می‌نامند^۳. این فاصله را بر حسب متر محاسبه کنید. تندی نور را در خلأ $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ متر بر ثانیه بگیرید.
د) فاصله اختروش‌ها از منظومه شمسی 10^{16} متر برآورد شده است. این فاصله را بر حسب سال نوری بیان کنید.

^۱ International Unit

^۲ Light year

A

حل تمرین ۱-۱

الف) توجه کنید که چه بگوییم فاصله زمین و چه بگوییم فاصله منظومه شمسی تا نزدیک‌ترین ستاره بعد از خورشید، تفاوتی با هم ندارند (به دلیل فاصله بسیار زیاد نزدیک‌ترین ستاره نسبت به ابعاد منظومه شمسی). به این ترتیب فاصله زمین تا نزدیک‌ترین ستاره بعد از خورشید بر حسب یکای نجومی برابر است با:

$$4 \times 10^{16} \text{ m} = (4 \times 10^{16} \text{ m}) \left(\frac{1 \text{ AU}}{1.5 \times 10^{11} \text{ m}} \right)$$

$$= 2.7 \times 10^5 \text{ AU} \approx 3 \times 10^5 \text{ AU}$$

ب) ابتدا یک سال نوری را بر حسب متر حساب می‌کنیم. از جدول ۱-۳ مدت زمان یک سال را بر حسب ثانیه داریم.

$$1 \text{ ly} = (3 \times 10^8 \text{ m/s}) (3.15 \times 10^7 \text{ s})$$

$$= 9.45 \times 10^{15} \text{ m}$$

پ) فاصله اختروش‌ها (کوازارها) تا منظومه شمسی بر حسب سال نوری برابر است با:

$$10^{16} \text{ m} = (10^{16} \text{ m}) \left(\frac{1 \text{ ly}}{9.45 \times 10^{15} \text{ m}} \right)$$

$$= 1.058 \times 10^1 \text{ ly} \approx 1.06 \times 10^1 \text{ ly}$$

دیران محترم به این نکته توجه دارند که اگر در یک سؤال از دانش آموز، وی را درگیر پیمودن چند مسیر همزمان باهم کنیم، بخش بزرگی از دانش آموزان، با چنین رویکردی، از فرایند یاددهی - یادگیری کنار گذاشته می‌شوند. در پرسش ب، در این تمرین، می‌شد محاسبه مدت زمان یک سال، بر حسب ثانیه را نیز از دانش آموز بخواهیم. اگر این کار را می‌کردیم، با طولانی و سخت شدن مسیر پاسخگویی به سؤال، مشارکت ارزشمند بخش بزرگی از دانش آموزان را از دست می‌دادیم. در نظر گرفتن اندازه حوصله دانش آموزان از جدی‌ترین شاخص‌ها برای داشتن کلاس درسی موفق و مؤثر است.

تاریخچه و اندازه‌گیری

جرم: یکای جرم در SI، کیلوگرم (kg) نامیده می‌شود. تا پیش از پست‌رشدن جمع عمومی اوزان و مقیاس‌ها، یک کیلوگرم بصورت جرم استاندارد نقری از جنس آواز پلانتین - آریه‌وم تعریف شده بود. این استاندارد به دقت درون در حباب شیشه‌ای جای گرفته است و در موزه پور فرانسه نگهداری می‌شود. تشخیص‌های گوناگونی از این نمونه ساخته و برای کشورهای دیگر ارسال شده است (شکل ۴-۱).

در علوم سبیل هلم با اوزان‌های اندازه‌گیری جرم آشنا شدیم. مقادیر تقریبی برخی جرم‌ها در جدول ۴-۱ آمده است.

جرم (kg)	جرم (kg)
۷۰۰۰ ^{-۲۱}	انسان
۷۰۰۰ ^{-۱۱}	خورشید
۷۰۰۰ ^{-۰۵}	پشه
۷۰۰۰ ^{-۰۲}	ذرات
۷۰۰۰ ^{-۰۱}	اتم هیدروژن
۷۰۰۰ ^{-۰۰۱}	الکترون

جدول ۴-۱: مقادیر تقریبی برخی جرم‌های اندازه‌گیری شده

زمان: در طول سال‌های ۱۶۴۸ تا ۱۶۴۶ هجری، یکای زمان، ثانیه (s) بصورت ۸۶۴۰۰ ثانیه در روز خورشیدی تعریف می‌شد. استاندارد کنونی زمان که از سال ۱۹۲۶ هجری به کار گرفته شد بر اساس دقت بسیار زیاد ساعت‌های اسی تعریف شده است که در کتاب‌های پیشرفته‌تر فیزیک می‌توانید با آن آشنا شوید.

در بسیاری موارد نیاز به اندازه‌گیری مدت زمان بین شروع و پایان یک رویداد داریم. این مدت زمان را بازه زمانی می‌نامیم. مقادیر تقریبی برخی بازه‌های زمانی در جدول ۴-۲ آمده است.

بازه‌های زمانی اندازه‌گیری شده	بازه‌های زمانی اندازه‌گیری شده
۵۰۰۰ ^{-۰۱}	سن عالم
۱۰۰۰۰ ^{-۰۱}	سن زمین
۲۰۰۰ ^{-۰۱}	میانگین عمر یک انسان
۳۰۰۰ ^{-۰۱}	یک سال
۸۶۴۰۰ ^{-۰۱}	یک روز
۸۰۰۰ ^{-۰۱}	زمان بین دو ضربان قلب

جدول ۴-۲: مقادیر تقریبی برخی بازه‌های زمانی

در خصوص چگونگی اندازه‌گیری زمان از دوران باستان تا عصر حاضر مطلقاً را به‌طور مستند تهیه نکردیم. مطالب نه‌تنها را با توجه به مهارت و علاقه‌مندی افراد گروه خود، به یکی از شکل‌های روزنامه نوآوری، پاورپوینت، نقشه فیلم کوتاه و ... به کلاس درس ارائه دهید.

۱

دانستنی برای معلم

تعیین یکای اندازه‌گیری زمان، بسیار قدیمی‌تر از یکاهای دیگری همچون طول 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 در برخی 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 سایه 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. فاصله زمانی بین این دو لحظه یک شبانه‌روز است. بعد می‌توان این بازه را به ساعت، دقیقه و ثانیه تقسیم کرد. یکاهای بزرگ اندازه‌گیری زمان، یعنی روز و سال را نیز طبیعت در اختیار ما قرار داده است. 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 دسی متر مکعب (dm³) آب در دمای ۴°C به‌عنوان استاندارد جرم (کیلوگرم) پذیرفته شد. بعداً مشخص شد که این تعریف عملیاتی برای جرم مشکلاتی دارد. در سال ۱۷۹۹ استاندارد جرم، که وزن آن در ترازوی شاهین‌دار معادل بود با وزن ۱ dm³ آب در دمای ۴°C به‌عنوان کیلوگرم استاندارد ساخته شد که امروزه در موزه سور فرانسه نگهداری می‌شود. از آن موقع تاکنون این استوانه فلزی به‌عنوان کیلوگرم استاندارد بین‌المللی مورد پذیرش قرار گرفته است.

تبدیل یکاها: روش تبدیل زنجیره‌ای برای تبدیل یکاها به یکاهای موردنظر، روش 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 به کار ببرند.

حل تمرین ۲-۱

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

$$125 \text{ cm}^3/\text{s} = 125 \text{ cm}^3/\text{s} \quad (1) \\ (125 \text{ cm}^3/\text{s}) \left(\frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ cm}^3} \right) \left(\frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \right) = 7.5 \text{ L/min}$$

توجه داریم که در این محاسبه، 1 L ، 1000 cm^3 ، 60 s ، کاملاً دقیق و بدون خطا (exact) هستند و بنابراین محدود کننده تعداد ارقام معنی‌دار در نتیجه نهایی محاسبه نیستند. داده $125 \text{ cm}^3/\text{s}$ ، سه رقم معنی‌دار دارد، پاسخ نهایی نیز سه رقم معنی‌دار خواهد داشت.

تمرین پیشنهادی
چندین هزار سال از توجه جوامع بشری به ضرورت اندازه‌گیری و کارکرد آن در زندگی روزمره می‌گذرد. ایجاد قیوم، تعیین زمان، اندازه‌گیری فاصله، ساختن زره و پدانه تنها نمونه‌ای از شواهدی هستند که نقش اندازه‌گیری را در زندگی انسان‌های دورهای مختلف نشان می‌دهد. از این قانون اندازه‌گیری در ایران، سال ۱۳۰۲ ه. ش. به صورت رسمی، با تصویب این قانون دستگاه متریک و عنوان دستگاه رسمی اندازه‌گیری در کشور تعیین شد. اجرای قانون اندازه‌گیری در کشور، به نهاد مرکز اندازه‌سناسی سازمان ملی استاندارد ایران است. این مرکز شامل بخش‌هایی مربوط به اندازه‌گیری‌های مکانیکی، فیزیکی و الکتریکی است.

تبدیل یکاها: اغلب در حل مسئله‌های فیزیک، لازم است یکای کمیتی را تغییر دهیم. برای مثال، ممکن است لازم باشد کیلوگرم (kg) را به مترگرم (g)، یا متر بر ثانیه (m/s) را به کیلومتر بر ساعت (km/h) تبدیل کنیم. این کار با روش تبدیل زنجیره‌ای انجام می‌شود. در این روش، اندازه کمیت را در یک ضریب تبدیل (نسبتی از یکاها که برای عدد یک است) ضرب می‌کنیم. برای مثال، چون ۱ m برابر ۱۰۰ cm است، داریم:

$$\frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} = 1 \quad \text{و} \quad \frac{1 \text{ km}}{1000 \text{ m}} = 1$$

بنابراین، هر دو کسر بالا را که برای یک هستند می‌توان به عنوان ضریب تبدیل به کار برد (ذکر یکاها در صورت و مخرج کسر اترامی است). از آنجا که ضرب کردن هر کمیت در عدد یک، اترامی آن کمیت را تغییر نمی‌دهد، هرگاه ضریب تبدیلی را مناسب بایم می‌توان از آن استفاده کرد. برای مثال، یکای cm را در ۸۵۰۰، به صورت زیر به یکای m تبدیل می‌کنیم:

$$8500 \text{ cm} = (8500 \text{ cm}) \left(\frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} \right) = 85 \text{ m}$$

همچنین در مثال دیگر، تبدیل یکای km به m را بر حسب یکای s به صورت زیر انجام می‌دهیم:

$$3 \text{ km/h} = 3 \left(\frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} \right) \left(\frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \right) = 0.83 \text{ m/s}$$

تمرین ۲-۲
در فیزیک، غیره کمیت را نسبت به زمان، معمولاً آنگاه آن کمیت می‌نامیم. از ششگ شکل رویه‌رو، آب با آنگاه $125 \text{ cm}^3/\text{s}$ خارج می‌شود. این آنگاه را به روش تبدیل زنجیره‌ای، بر حسب یکای لیتر بر دقیقه (L/min) بنویسید. (هر لیتر معادل ۱۰۰۰ سانتی‌متر مکعب است.)

تمرین پیشنهادی

آبشارهای نیاگارا (Niagara Falls) به مجموعه 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 ۱۱۰ هزار متر مکعب آب در دقیقه از این آبشار سرازیر می‌شود.



الف) به روش تبدیل زنجیره‌ای، میزان ریزش آب از این آبشار را در حالت عادی ($1.1 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{min}$) بر حسب لیتر بر شبانه‌روز (L/day) حساب کنید.

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



نگاهی به تاریخچه سازمان ملی استاندارد ایران

در فرهنگ مردم ایران زمین، توجه به استاندارد به گذشته‌ای بسیار کهن باز می‌گردد به نحوی 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 پیروزی انقلاب اسلامی ایران در سال ۱۳۵۷ و ضرورت دگرگونی در ساختار اقتصادی کشور، توجه بیشتری به امر کیفیت و تدوین استانداردهای ملی و انجام تحقیقات کاربردی شد که با تجمع 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 به صورت یک مؤسسه مستقل و با نام سازمان ملی استاندارد ایران زیر نظر ریاست جمهوری اداره می شود و یک سازمان مستقل کشوری است.



تعریف استاندارد (از نظر سازمان ملی استاندارد ایران)

تعریف اول : واژه استاندارد به معنی نظم، قاعده، قانون، معیار و شاخص است. یکاها و برسج‌های 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 نسخه دقیقی از استاندارد بین‌المللی سیور فرانسه است. این نمونه، در مرکز اندازه‌شناسی در سازمان ملی استاندارد ایران نگهداری می‌شود.

دقت

با یکی دقت منجم می‌توانیم که هر بابت می‌تواند 256 ترکیب ۸ تایی از صفرها و یکها بسازد که هر کدام نماینده یک بومسه (کاراکتر) هستند.

پیشوندهای بزرگتر برای بیان اطلاعات بصورت کیلویت (kb)، مگابیت (Mb)، گیگابیت (Gb)، ترابیت (Tb) و غیره است. بر خلاف پیشوندهای بای SI که در آن هر کیلو برابر 10^3 است در سبای دوتایی هر کیلو برابر $2^{10} = 1024$ است (جدول رویه‌رو را ببینید).

توجه داشته باشید که طرفت دهم داده و اطلاعات در حافظه‌های SD، DVD، USB و ... را برحسب پیشوندهای از بابت (B) اعلام می‌کنند.

کیلویت	مگابیت	گیگابیت	ترابیت	پتابیت	گزابت	زتابیت	یوتابیت
$10^3 \text{ b} = 1.024 \text{ kb} = 1 \text{ kb}$	$10^6 \text{ b} = 1.024 \text{ Mb} = 1 \text{ Mb}$	$10^9 \text{ b} = 1.024 \text{ Gb} = 1 \text{ Gb}$	$10^{12} \text{ b} = 1.024 \text{ Tb} = 1 \text{ Tb}$	$10^{15} \text{ b} = 1.024 \text{ Pb} = 1 \text{ Pb}$	$10^{18} \text{ b} = 1.024 \text{ Eb} = 1 \text{ Eb}$	$10^{21} \text{ b} = 1.024 \text{ Zb} = 1 \text{ Zb}$	$10^{24} \text{ b} = 1.024 \text{ Yb} = 1 \text{ Yb}$

در آمارگیری کستهای فیزیکی مانند طول، جرم، زمان و ... قطعیت وجود ندارد و همواره خطای خطا وجود دارد. با انتخاب وسیله‌های دقیق و روش صحیح آمارگیری، تنها می‌توان خطای آمارگیری را کاهش داد، ولی هیچ‌گاه نمی‌توان آن را به صفر رساند. با وجود این، توجه به عوامل زیر نقش مهمی در افزایش دقت آمارگیری دارد.

۱- دقت وسیله آمارگیری: یکی از عوامل مهم دقت آمارگیری، دقت و حساسیت وسیله آمارگیری است. برای مثال، دقت خط کشی که تا میلی‌متر مدرج شده، بیشتر از دقت خط کشی است که تا سانتی‌متر مدرج شده است.

۲- مهارت شخصی آزماینده: یکی دیگر از عوامل مهم و تأثیرگذار روی دقت آمارگیری، مهارت‌های شخصی آزماینده است. یکی از این مهارت‌ها، نحوه خواندن نتیجه آمارگیری است. شکل A-۱ تأثیر اختلاف منظر در خواندن نتیجه آمارگیری را نشان می‌دهد. خواندن نتیجه آمارگیری از منظرهای A، B و C خط را افزایش می‌دهد در حالی که گزاینده شخصی که از منظر B نتیجه آمارگیری را می‌خواند دقت بیشتری دارد.

شکل A-۱: خطای مشاهده ناشی از اختلاف منظر در خواندن و گزاینده نتیجه آمارگیری تأثیر مهمی دارد.

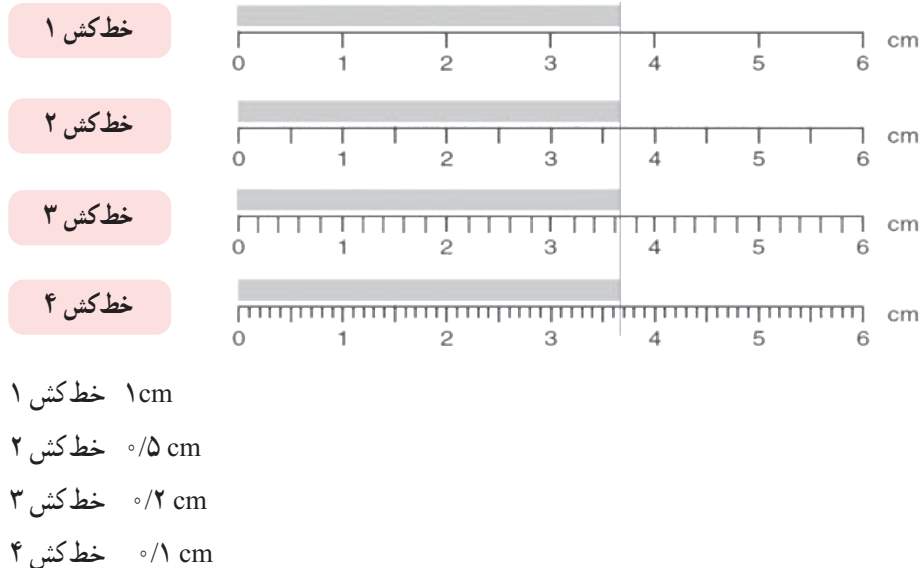
دقت آمارهای آمارگیری منجم، برابر با دقت درجه بندی آن ابزار است. برای مثال، دقت خط کشی که کسبه درجه بندی آن خطی شکل زیر تا میلی‌متر است برابر با ۱ میلی‌متر است.

کسبه درجه بندی این خط کشی ۱ میلی‌متر است.

دقت این خط کشی ۱ میلی‌متر است.

تمرین‌های پیشنهادی

۱ خط کش‌های موجود در بازار معمولاً به یکی از صورت‌های زیر مدرج می‌شوند. دقت هر خط کش را بنویسید.



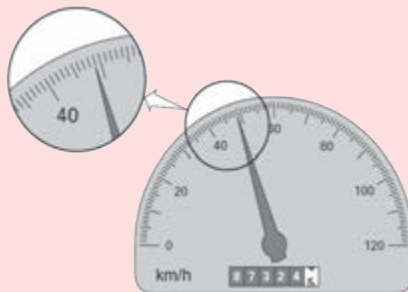
۲ دقت تندی سنج شکل روبه رو را بنویسید.

پاسخ : 1° km/h



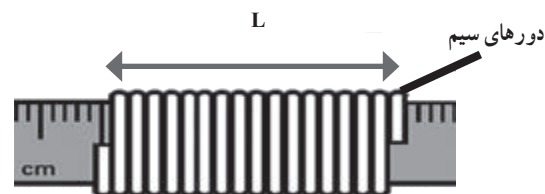
۳ دقت تندی سنج شکل روبه رو را بنویسید.

پاسخ : 1 km/h



پاسخ فعالیت ۴-۱

الف) روش های متفاوتی برای انجام این فعالیت وجود دارد. یک روش این است که به کمک قطره چکان تعداد 50 یا 100 قطره آب را داخل یک استوانه مدرج یا یک سرنگ 10 سی سی بریزیم. آنگاه با تعیین جرم و حجم این تعداد قطره، جرم و حجم یک قطره را به دست آوریم. ب) سیم را مطابق شکل زیر، (که به مقیاس رسم نشده است) دور یک خط کش میلی متری و کاملاً مجاور هم بپیچید. با تقسیم طول L بر تعداد دور سیم، قطر سیم به دست می آید. شرح بیشتری از این فعالیت، در صفحه بعد آمده است.



فیزیک و اندازه گیری

۳- تعداد دفعات اندازه گیری برای کاهش خطا در اندازه گیری هر کمیت، معمولاً اندازه گیری آن را چند بار تکرار می کنند. میانگین عددی حاصل از اندازه گیری به عنوان نتیجه اندازه گیری گزارش می شود. البته در میان عددی متفاوت اگر یک با دو عدد اختلاف زیادی با یکدیگر داشته باشند در میانگین گیری به حساب نمی آیند (شکل ۱-۳).

این تصویر از میانگین گیری در خط کش می بینیم. اندازه گیری سیم در خط کش است. می بینیم که اندازه گیری سیم در خط کش است. اندازه گیری سیم در خط کش است. اندازه گیری سیم در خط کش است.

الف) آزمایش طراحی و اجرا کنید که به کمک آن توان جرم و حجم یک قطره آب را اندازه گیری کرد. ب) یک تکه سیم لایه لایه با یک خط فرغ به طول تقریبی یک متر تهیه کنید. آزمایش طراحی و اجرا کنید که به کمک یک خط کش میلی متری توان قطر این سیم را به یک خط کش میلی متری اندازه گیری کرد.

فعالیت ۴-۱

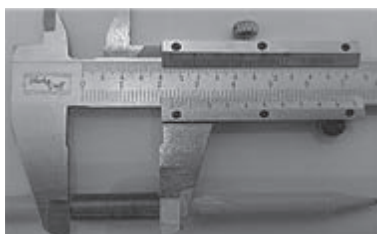
تفاوت است

تفاوت دقت و درستی: دقت همان به معنای صحت و درستی نیست. برای مثال یک ساعت رقمی معمولی که $10:10:17$ را نشان می دهد بسیار دقیق است (زمان را با ثانیه اعلام می کند)، ولی اگر این ساعت چند دقیقه آهسته کار کند، دیگر قطاری که نشان می دهد درست نیست. از سوی دیگر یک ساعت قدیمی یو آر سی که نشان صحت را نشان دهد، ولی اگر این ساعت ظراً تأیید شده باشد دقت آن کم است. اندازه گیری های با کیفیت بالا ظاهراً اندازه گیری های که برای تعریف استانداردها صورت گرفته اند هم دقیق و هم درستند. برای درک بهتر تفاوت دقت و درستی، به مثالی از بازی وایب دات توجه کنید. در شکل (الف)، دقت و درستی، در شکل (ب) آنها دقت و در شکل (ج) به دقت و درستی وجود 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 ریزسنج است. در صورتی که ریزسنج در اختیار نداشته باشیم چگونه ضخامت سیم مسی نازک را اندازه‌گیری کنیم؟ روشی که به کار می‌بریم این است که به جای اندازه‌گیری ضخامت یک دور سیم، ضخامت چند دور سیم را اندازه می‌گیریم (توجه داشته باشید که مطابق شکل‌های الف، ب و پ در این روش باید سیم‌ها بدون فاصله و چسبیده به هم پیچیده شده باشند.) و مقدار خوانده شده برای ضخامت را به تعداد دور سیم‌ها تقسیم می‌کنیم مطابق شکل ب، تعداد ۲۹ دور سیم در ۲۰ میلی‌متر پیچیده شده است. بنابراین قطر سیم برابر 0.69 میلی‌متر می‌شود. در صورتی که طول سیمی که در اختیار دارید کم باشد می‌توانید آن را دور مدادی پیچید و طول را مطابق شکل ب با خط‌کش میلی‌متری یا مطابق شکل پ با کولیس اندازه بگیرید. استفاده از کولیس باعث می‌شود دقت افزایش یابد.



(پ)



(ب)



(الف)

نتیجه با خط‌کش

$$23 \text{ mm} \div 35 = 0.657 \text{ mm} \approx 0.66 \text{ mm}$$

نتیجه با کولیس

$$23.32 \text{ mm} \div 35 = 0.66628 \text{ mm} \approx 0.6663 \text{ mm}$$

توجه کنید که در این محاسبه، تعداد دور ۳۵، دقیق (exact) است و محدودکننده تعداد ارقام معنی‌دار نتیجه نیست.

فعالیت پیشنهادی

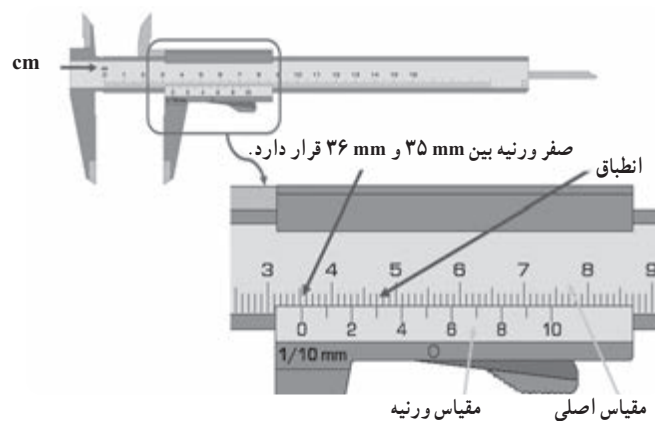
چنانچه فرصت کافی در اختیار دارید، آموزش عملی نحوه خواندن و گزارش نتیجه اندازه‌گیری توسط کولیس و ریزسنج مدرج پیشنهاد می‌شود. در این فعالیت با توجه به امکانات آزمایشگاه مدرسه، فرصتی را در اختیار دانش‌آموزان قرار دهید تا با نحوه اندازه‌گیری کولیس و ریزسنج آشنا شوند.

کولیس‌های مدرج معمولاً با دقت 0.02 ، 0.05 و 0.1 میلی‌متر ساخته می‌شوند.

ریزسنج‌های مدرج که معمولاً در آزمایشگاه مدارس وجود دارد دارای دقت 0.1 mm هستند.

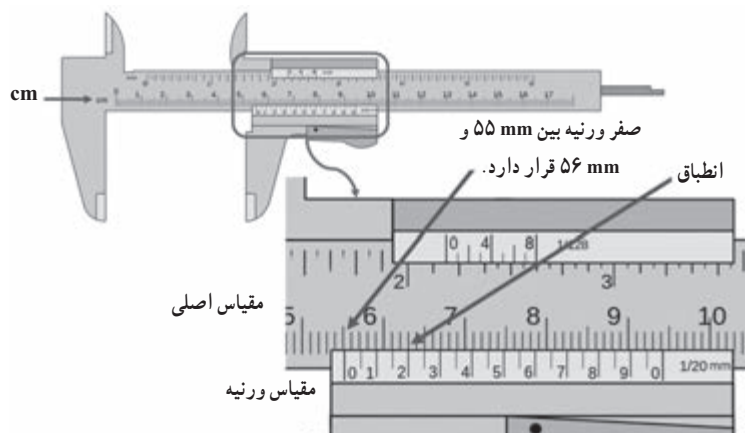
با توجه به امکانات آزمایشگاه مدرسه، فعالیت کار با کولیس و ریزسنج باید به‌طور عملی و توسط دانش‌آموزان (ترجیحاً گروه‌های سه تا پنج نفره) انجام شود.

نحوه خواندن و گزارش نتیجه اندازه‌گیری با کولیس با دقت $\frac{1}{10} \text{ mm} = 0.1 \text{ mm}$



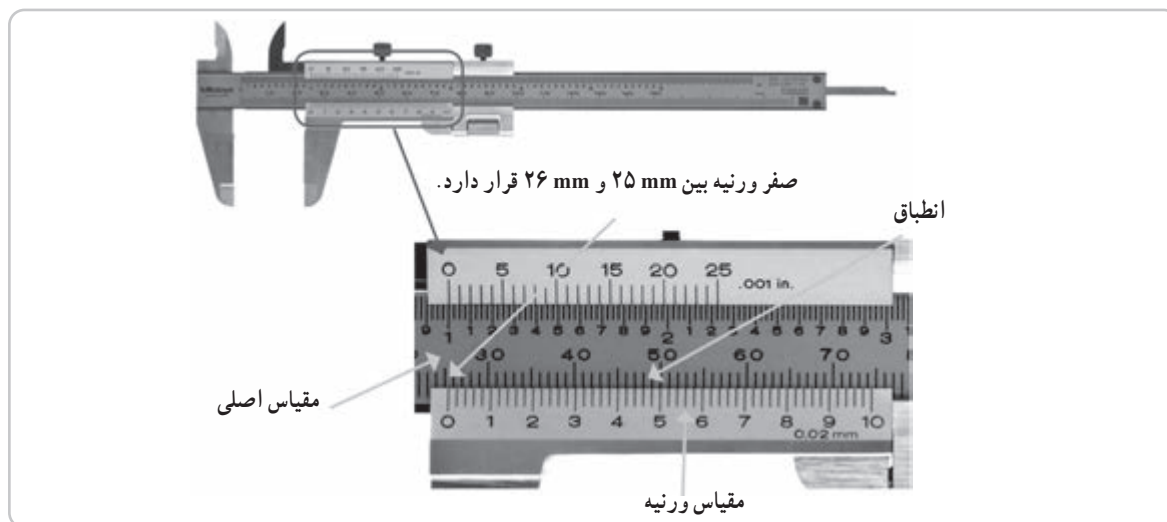
۳۵/۳ mm

نحوه خواندن و گزارش نتیجه اندازه‌گیری با کولیس با دقت $\frac{1}{20} \text{ mm} = 0.05 \text{ mm}$



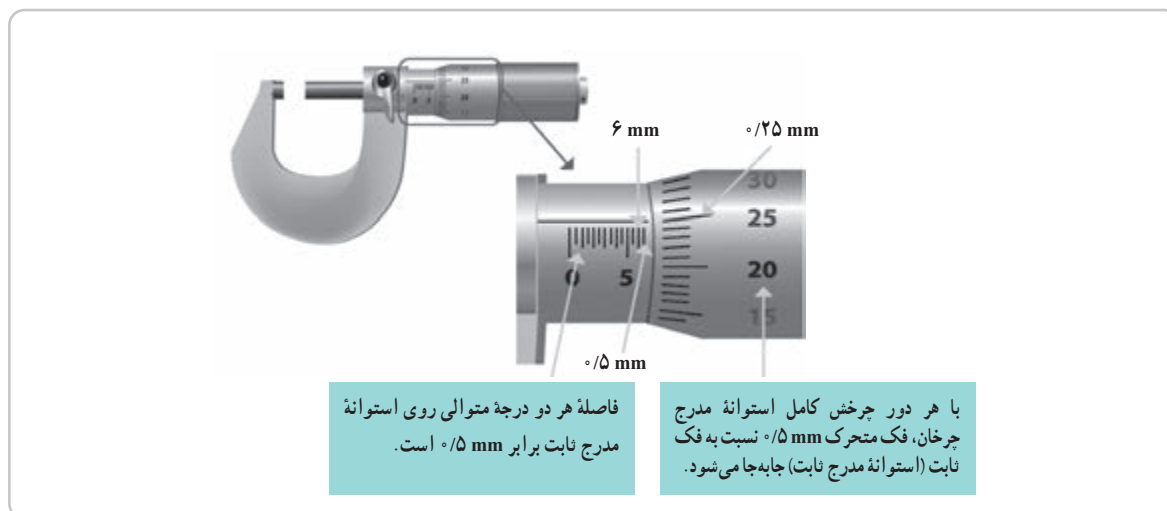
۵۵/۲۰ mm

نحوه خواندن و گزارش نتیجه اندازه گیری با کولیس با دقت $\frac{1}{50} \text{ mm} = 0.02 \text{ mm}$



۲۵/۴۶ mm

نحوه خواندن و گزارش نتیجه اندازه گیری با ریزسنج با دقت 0.01 mm



۶/۷۵ mm

دانستنی برای معلم

دقت ابزار اندازه‌گیری، دقت اندازه‌گیری، خطا، خطای نسبی و... مفاهیمی هستند که به‌طور جدی به بحث آمار در ریاضیات مربوط می‌شوند. متن زیر، نگاهی مقدماتی به این مفاهیم است که از فیزیک دانشگاهی (سیرز - زیمانسکی)، ویراست ۱۲، جلد ۱، فصل ۱، با ویراست مختصر گرفته شده است.

عدم قطعیت و رقم‌های بامعنا

در اندازه‌گیری‌ها همواره عدم قطعیت وجود دارد. اگر شما کلفتی جلد کتابی را بایک خط کش معمولی اندازه‌بگیرید، اندازه‌گیری شما فقط تا نزدیک‌ترین میلی‌متر قابل اعتماد است و نتیجه کار ۳ mm خواهد بود. اگر این نتیجه را به صورت 3.0 mm بیان کنید اشتباه است زیرا با در نظر گرفتن محدودیت‌های اسباب اندازه‌گیری، شما نمی‌توانید بگویید که کلفتی واقعی کدام یک از مقدارهای 3.0 mm ، 2.85 mm یا 3.11 mm است. اما اگر از یک ریزسنج که می‌تواند فاصله را با اطمینان تا نزدیک‌ترین 0.1 mm اندازه بگیرد استفاده کنید نتیجه 2.91 mm خواهد بود. تمایز بین این دو اندازه‌گیری در عدم قطعیت آنهاست. اندازه‌گیری با ریزسنج عدم قطعیت کمتری دارد و به عبارتی اندازه‌گیری دقیق‌تری است. (عدم قطعیت را خطا نیز می‌نامند). اغلب در سستی یک مقدار اندازه‌گیری شده - یعنی اینکه چقدر ممکن است به مقدار واقعی نزدیک باشد - با نوشتن عدد، نماد \pm و یک عدد دیگر که نشان‌دهنده عدم قطعیت اندازه‌گیری است مشخص می‌شود. اگر قطر یک میله فولادی $56.47 \pm 0.2 \text{ mm}$ داده شود به آن معناست که مقدار واقعی نمی‌تواند کمتر از 56.45 mm یا بیش از 56.49 mm باشد. در نماد کوتاه نوشت متداول، عدد $(21) 56.47 \pm 0.21$ به معنای 56.47 ± 0.21 است. عدد داخل پرانتز عدم قطعیت در رقم‌های آخری عدد اصلی را نشان می‌دهد. همچنین می‌توان دقت را برحسب بیشترین خطای نسبی یا خطای درصدی ممکن (که عدم قطعیت نسبی و عدم قطعیت درصدی نیز خوانده می‌شوند) بیان کرد. مقاومت واقعی یک مقاومت به صورت $47 \pm 1\%$ اهم بیش از 1% مقدار 47 اهم یعنی بیش از حدود 5 اهم یا 47 اهم اختلاف ندارد. مقدار واقعی این مقاومت بین 42 و 52 اهم است. در مورد قطر میله فولادی که در بالا داده شد خطای نسبی حدود 0.4% است؛ خطای درصدی برابر با 0.4% است.

در بسیاری از موارد عدم قطعیت یک عدد به روشنی بیان نمی‌شود. در عوض عدم قطعیت با تعداد رقم‌های معنادار یا رقم‌های بامعنا در مقدار اندازه‌گیری شده مشخص می‌شود. کلفتی جلد کتابی 2.91 mm داده شده که دارای سه رقم بامعناست. مفهوم این عبارت آن است که می‌دانیم اولین دورقم درست‌اند ولی رقم سوم قطعیت ندارد. آخرین رقم در مکان صدم‌هاست، بنابراین عدم قطعیت حدود 0.1 mm است. دو مقدار با تعداد رقم‌های بامعنا یکسان ممکن است عدم قطعیت‌های متفاوت داشته باشند، مسافتی که با 137 km داده شده است. نیز سه رقم بامعنا دارد ولی عدم قطعیت آن حدود 1 km است.

وقتی عددی را که عدم قطعیت دارند برای محاسبه عددهای دیگری به کار می‌بریم، عددهای محاسبه شده نیز دارای عدم قطعیت خواهند بود. هنگامی که عددها در هم ضرب یا برهم تقسیم می‌شوند. تعداد رقم‌های بامعنا در نتیجه محاسبه نمی‌تواند بیش از تعداد رقم‌های بامعنا عاملی باشد که کمترین تعداد رقم بامعنا را دارد، به عنوان مثال $4/3 = 1.3333333333333333$ ، در جمع یا تفریق عددها آنچه مهم است محل ممیز است و نه تعداد رقم‌های بامعنا. به عنوان نمونه $132/5 = 26.4$ ، گرچه $123/62$ عدم قطعیتی حدود 0.1% دارد، ولی عدم قطعیت $8/9$ حدود 0.1% است. بنابراین، مجموع آنها دارای عدم قطعیتی حدود 0.1% است و باید به صورت $132/5$ نوشته شود و نه $132/52$.

در کتاب‌های درسی فیزیک ۳، ۲، ۱ و در محاسبه‌های انجام شده در مثال‌ها، طراحی تمرین‌ها و مسائل پایان هر فصل، به مواردی که در این «خوب است بدانید» آمده، توجه شده است ولی رعایت آنها برای دانش‌آموزان الزامی نیست.

نقد و بررسی

محاسبه‌های جبری با رقم‌های نامتناهی

رقم‌های را که بعد از اعشاری یک کسب فزینی است می‌کنید رقم‌های نامتناهی می‌گویند. هنگامی که عددی را در ضرب با هر تقسیم می‌شوند عدد رقم‌های نامتناهی در نتیجه محاسبه نمی‌تواند بیشتر از عدد رقم‌های نامتناهی باشد که کمترین رقم نامتناهی را دارد. مثلاً حاصل عبارت $3 \div 2 = 1.5$ هر چند بر ۳ و ۲ می‌شود، ولی باید به سه رقم نامتناهی یعنی ۵۰۴ پان شود. در جمع یا تفریق عددی آنچه اهمیت دارد محل ممیز است و نه تعداد رقم‌های نامتناهی. برای نمونه، حاصل عبارت $25.4 + 2.1 = 27.5$ باید بصورت ۲۵ و ۲ پان شود. اگر نتیجه بصورت ۲۵ و ۲۱ پان شود نادرست است. همچنین حاصل عبارت $25.4 + 2.1 = 27.5$ باید بصورت ۲۵ و ۲۱ پان شود.

چگونگی تشخیص رقم‌های نامتناهی: در جدول زیر و ادامه آن تعیین تعداد رقم‌های نامتناهی به همراه مثال آمده است:

مثال	تعداد
تمام اعداد غیر صفر نامتناهی هستند.	۷۸۸.۴ چهار رقم نامتناهی دارد.
تمام صفرهایی که بین اعداد غیر صفر قرار دارند نامتناهی هستند.	۲.۸ سه رقم نامتناهی دارد.
صفرهایی که در طرف چپ اعداد قرار دارند، نامتناهی هستند.	۰.۰۰۰۹۰۷ سه رقم نامتناهی دارد.

صفرهایی که در طرف راست اعداد قرار دارند می‌توانند نامتناهی یا نامتناهی را داشته باشند. اگر طول ممیز ۲۲ mm گزارش شده باشد، عدد رقم‌های نامتناهی ممکن است دو یا سه رقم باشد. اگر نتیجه اعشاری با نامگذاری علمی، بصورت $2.3 \times 10^{-1} \text{ mm} = 2.3 \text{ mm}$ نوشته شود، دارای دو رقم نامتناهی و اگر بصورت $2.3 \times 10^{-1} \text{ mm} = 2.3 \text{ mm}$ نوشته شود دارای سه رقم نامتناهی است. در کتاب فیزیک (۱) نیز ما از این فرض استفاده کردیم. بنابراین وقتی طول ممیز ۲۲ mm گزارش شده باشد، تعداد رقم‌های نامتناهی در این گزارش را سه رقم می‌گیریم.

چگالی هر یک از ویژگی‌های آن به شمار می‌رود که از کارهای گوناگون برای مثال با توجه به خواص فیزیکی و شیمیایی و استاندارد (تکنیکی) آن چگالی نرخ حمل و نقل در سیستم‌های انتقال بار و همچنین برای چگالی نرخ حمل و نقل در سیستم

۱-۶ 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 به یکدیگر، آشنا کرده‌ایم.

دیران محترم توجه داشته باشند که دانش‌آموزان در درس علوم پایه هفتم، در فصل ۲، بحث چگالی را با این رویکرد یاد گرفته‌اند که وقتی جسمی را درون آب می‌اندازیم، هرچه نسبت جرم به حجم جسم بزرگ‌تر باشد، مقدار بیشتری از جسم در آب فرو می‌رود و مقدار کمتری از جسم روی سطح آب می‌ماند. اگر نسبت جرم به حجم جسم از حدی بزرگ‌تر باشد، جسم کاملاً در آب فرو رفته و ته‌نشین می‌شود. این مفاهیم در بحث چگالی کتاب فیزیک پایه دهم، مکرراً مورد استفاده قرار گرفته است (پرسش ۴-۱، فعالیت ۵-۱، پرسش ۵-۱ و پرسش پیشنهادی کتاب راهنمای معلم). ارتباط بین چگالی جسم و شناوری و غوطه‌وری و ته‌نشین شدن جسم در آب، ارتباطی واضح و بدیهی نیست که انتظار داشته باشیم دانش‌آموزان از قبل بدانند. استدلال نظری بر این موضوع نیز فراتر از برنامه درسی است. به نظر می‌رسد راه چاره یادآوری بحث کلاس هفتم و انجام آزمایش و تجربه مستقیم باشد.

حل تمرین ۴-۱

به روش تبدیل زنجیره‌ای داریم:

$$\begin{aligned} 1000 \text{ kg/m}^3 &= (1000 \text{ kg/m}^3)(1)(1) \\ &= (1000 \text{ kg/m}^3) \left(\frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} \right) \left(\frac{1 \text{ m}^3}{10^6 \text{ cm}^3} \right) = 1 \text{ g/cm}^3 \end{aligned}$$

پاسخ پرسش ۴-۱

با توجه به اینکه چگالی بنزین از چگالی آب کمتر است (جدول ۱-۸) انتظار می‌رود دانش‌آموزانی که این بحث را از علوم پایه هفتم به یاد دارند بتوانند توضیحی قانع‌کننده برای پاسخ به پرسش ارائه دهند. چگالی بنزین از آب کمتر است، بنابراین وقتی آب را روی بنزین در حال احتراق می‌ریزیم، بنزین روی آب قرار می‌گیرد (آب زیر بنزین می‌ماند) و همچنان در تماس با اکسیژن هوا و در حالت احتراق باقی می‌ماند.

فیزیک و اندازه‌گیری

تمرین ۴-۱

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

$$1000 \text{ kg/m}^3 = 1 \text{ g/cm}^3$$

پرسش ۴-۱

چگالی بنزین $918 \times 10^{-1} \text{ kg/m}^3$ است. توضیح دهید چرا آب مایع مناسبی برای خاموش کردن بنزین شعله‌ور نیست.

مسئله ۴-۱

فقر آسم ($\rho = 22.0 \times 10^{-1} \text{ kg/m}^3$) یکی از چگال‌ترین مواد یافت‌شده روی زمین است. جرم قطعه‌ای از این ماده به حجم 22.0 cm^3 چند کیلوگرم است؟

پاسخ: از رابطه $\rho = m/V$ داریم:

$$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow m = \rho V = (22.0 \times 10^{-1} \text{ kg/m}^3) \times (22.0 \times 10^{-6} \text{ m}^3) = 4.84 \times 10^{-4} \text{ kg}$$

این نتیجه نشان می‌دهد که اگر قطعه‌ای نمکی، به اندازه یک قوطی کبریت، از این فلز داشته باشیم، در این صورت جرم آن کمی بیشتر از نیم کیلوگرم خواهد بود.

تمرین ۵-۱

حجم خون در گردش یک فرد بالغ با توجه به جرمش، می‌تواند بین 50.0 L تا 70.0 L باشد. جرم 4.7 L خون چند کیلوگرم است؟ چگالی خون را 1.05 g/cm^3 بگیرید.

تمرین ۶-۱

جرم و وزن تقریبی برای درون کلاسان را پیدا کنید.

تجربه ۵-۱

اگر برعکس را درون ظرف محوری آب پنداریم پیش‌بینی کنید چه اتفاقی می‌افتد؟ آزمایش را انجام دهید (شکل الف) و نتیجه مشاهده خود را با توجه به مفهوم چگالی توضیح دهید.

اگر برعکس را بدون پوست درون ظرف محوری آب پنداریم دوباره پیش‌بینی کنید چه اتفاقی می‌افتد؟ آزمایش را مطابق شکل (ب) انجام دهید و نتیجه مشاهده خود را با توجه به مفهوم چگالی توضیح دهید. در آزمایش (الف) برعکس جرم بیشتری دارد و اصطلاحاً سنگین‌تر است. آیا سنگین‌تر بودن یک جسم دلیلی بر فرو رفتن آن در آب است؟ توضیح دهید.

۱۷

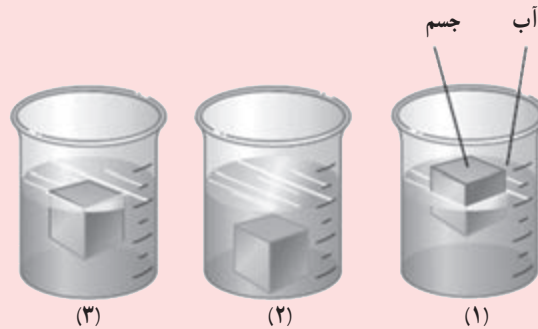
حل تمرین ۵-۱

$$\begin{aligned} V &= 4/7 \cdot L = 4/7 \cdot L \times \frac{10^2 \text{ cm}^3}{1 \text{ L}} = 4/7 \times 10^2 \text{ cm}^3 \\ m &= \rho V = (1/0.5 \text{ g/cm}^3) (4/7 \times 10^2 \text{ cm}^3) = 4/935 \times 10^2 \text{ g} \\ &\approx 4/94 \times 10^2 \text{ g} = 4/94 \text{ kg} \end{aligned}$$

دانشتنی 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 چگال‌ترین ($22.5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$) و کمیاب‌ترین فلزها در پوسته زمین است. نقطه ذوب اُسمیم کمی بیشتر از 3000°C درجه 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٪ اُسمیم در ایمپلنت‌های پزشکی مانند ضربان‌ساز قلب و تعویض دریچه قلب کاربرد دارد. همچنین اُسمیم تتراکسید برای بررسی‌های میکروسکوپی جهت تحریک بافت چربی و کشف اثر انگشت کاربرد دارد.

با توجه به مفهوم چگالی، هریک از شکل های ۱ تا ۳ را به یکی از گزینه های (الف) تا (پ) مرتبط کنید.



(الف) جگالی جسم از جگالی آب بیشتر است.

(ب) چگالی آب و چگالی جسم تقریباً مساوی اند.

(پ) چگالی جسم از چگالی آب کمتر 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 مشاهد‌های جدید ایجاب کنند که نظریه‌ای بازنگری یا رد شود. این در ماهیت نظریه فیزیکی نهفته است که می‌توانیم یک نظریه را در صورت یافتن رفتاری که با آن ناسازگار است رد کنیم.

دیران محترم می‌توانند در صورت صلاحدید توضیح مختصری در مورد گذار از مدل کیک کشمشی تامسون به مدل هسته‌ای رادرفورد و آزمایش معروف ورقه طلای رادرفورد برای دانش‌آموزان بدهند. فصل آشنایی با فیزیک اتمی کتاب فیزیک ۳، مرجع خوبی برای گزارش مختصری در این مورد است.

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.

[illegible]

مدل آرمانی، یک شکل ساده ممکن برای بررسی یک دستگاه یا پدیده فیزیکی است. برای ساختن یک مدل آرمانی، باید روی مهم‌ترین ویژگی‌های دستگاه تمرکز کنیم و اثرهای جزئی‌تر را نادیده بگیریم. یک مثال آشنا برای دانش‌آموزان مدل ساده شده مدارهای الکتریکی است. در فصل ۹ از علوم پایه هشتم، بچه‌ها آموخته‌اند برای اتفاقی که در مدار شامل باتری، سیم‌های رابط، و لامپ رشته‌ای می‌افتد، مدل ساده شده‌ای با استفاده از مفاهیم و کمیت‌های فیزیکی ولتاژ باتری، مقاومت لامپ، جریان مدار، و رابطه بین این سه کمیت بسازند.



ترازوی مدرج آشپزخانه با دقت 2° گرم



ترازوی رقمی آشپزخانه با دقت یک گرم

۳ در این گونه برآورد طول اجسام اطرافمان، از چشم و ذهن خود کمک می‌گیریم. هرچه تجربه‌های قبلی بیشتر و هوشیارانه‌تری در این گونه برآوردها (از طول، مساحت، حجم، زمان، جرم، سرعت و ...) داشته باشیم، برآوردهای امروزمان درست‌تر خواهد بود. لازم است دانش‌آموزان متوجه این نکته مهم بشوند که یک محصل خوب در علوم تجربی مانند فیزیک لازم است برآوردهای خوبی از اندازه‌های فیزیکی پدیده‌های پیرامون خودش داشته باشد و این توانایی از طریق پیگیری مصمم و تکرار و تجربه فراوان در فرد ایجاد می‌شود.

۴ امروزه ترازوهای آشپزخانه عمدتاً به صورت رقمی (دیجیتال) ساخته می‌شوند و دقت خوبی دارند (مانند ترازوی رقمی نشان داده شده در شکل بالا که دقت آن یک گرم است). ترازوهای مدرج آشپزخانه، معمولاً دقت کمی دارند و برای انجام این فعالیت توصیه نمی‌شوند (مانند ترازوی عقربه‌ای نشان داده شده در شکل بالا که دقت آن 2° گرم است). اگر جرم تعدادی سوزن (این تعداد به دقت ترازو وابسته است) را به کمک ترازو به دست آوریم و مقدار حاصل را بر تعداد سوزن‌ها تقسیم کنیم، جرم یک سوزن ته‌گرد به دست می‌آید.

۵ 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 شونده طبیعی اشاره کنند.

۶ الف) با توجه به جدول ۵-۱، هر سال تقریباً $3/15 \times 10^7$ s است. بنابراین یک قرن برابر $3/15 \times 10^9$ s و یک میکروقرن برابر $3/15 \times 10^{-3}$ s خواهد شد که برابر $52/5 \text{ min}$ یا تقریباً 5° min می‌شود. (اشاره: امروزه در بیشتر نظام‌های آموزشی دنیا، هر جلسه مفید کلاس درس را 5° دقیقه که تقریباً برابر با یک میکروقرن است در نظر می‌گیرند.) توجه کنید که اگر یک میکروقرن را مقداری بدون خطا (exact) فرض کنیم، محدودکننده تعداد ارقام معنی‌دار در محاسبه این زمان برحسب دقیقه نخواهد بود و پاسخ $52/5 \text{ min}$ می‌شود. ولی اگر یک میکروقرن، مدت زمانی حاصل از یک اندازه‌گیری باشد، چون فقط یک رقم معنی‌دار دارد باید پاسخ نهایی نیز با یک رقم معنی‌دار گزارش شود، یعنی $5 \times 10^{\circ} \text{ min}$.

(ب) به روش تبدیل زنجیره‌ای داریم:

$$10^9 \text{ s} = (10^9 \text{ s})(1) = (10^9 \text{ s})\left(\frac{1 \text{ year}}{3.15 \times 10^7 \text{ s}}\right) = 31.74 \text{ year} \approx 31.7 \text{ year}$$

توجه کنید که اگر یک میلیارد ثانیه در این پرسش را یک مقدار دقیق و بدون خطا (exact) بگیریم، محدودکننده تعداد ارقام معنی‌دار محاسبه تعداد سال نخواهد بود. ولی اگر یک میلیارد ثانیه، نتیجه یک اندازه‌گیری زمان، با دقت 10^9 s باشد، به این معنی است که این زمان، فقط یک رقم معنی‌دار دارد و لذا پاسخ نهایی نیز باید با یک رقم معنی‌دار گزارش شود یعنی 3×10^1 سال.

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

$$A = 4\pi R^2 = 4 \times 3.14 (6.4 \times 10^6 \text{ m})^2 = 5.1 \times 10^{14} \text{ m}^2 \approx 5.1 \times 10^{14} \text{ m}^2$$

$$A = (5.1 \times 10^{14} \text{ m}^2) \left(\frac{1 \text{ هکتار}}{10^4 \text{ m}^2} \right) = 5.1 \times 10^{10} \text{ هکتار}$$

(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.

محاسبه مساحت محدوده آب‌های سرزمینی در شمال ایران:

طول خط ساحلی در شمال کشور (طول مستطیل مورد نظر) با در نظر گرفتن مقیاس حدود 900 کیلومتر است. از طرفی عرض آب‌های سرزمینی در این منطقه 15 مایل دریایی است (با توجه به توافق سال 1394 شمسی بین رؤسای جمهور پنج کشور حاشیه دریای خزر). با در نظر گرفتن اینکه هر مایل دریایی معادل 1.852 متر است، بنابراین عرض آب‌های سرزمینی در شمال کشور 2.8×10^4 متر است. بنابراین مساحت آب‌های سرزمینی منطقه شمالی کشورمان حدود 2.5×10^4 کیلومتر مربع است.

محاسبه مساحت محدوده آب‌های سرزمینی در جنوب ایران:

طول خط ساحلی در جنوب کشور 4900 کیلومتر و عرض آب‌های سرزمینی در این منطقه به استناد یک کنوانسیون بین‌المللی، 12 مایل دریایی یا معادل 22 کیلومتر است. بنابراین مساحت آب‌های سرزمینی منطقه جنوبی کشورمان حدود 1.1×10^5 کیلومتر مربع است.

محاسبه مساحت کل سرزمین ایران:

از آنجا که مساحت بخش خشکی ایران برابر 1648195 کیلومتر مربع است، مساحت کل سرزمین ایران تقریباً برابر 1.8×10^6 کیلومتر مربع است که حدود $7/5$ درصد آن مربوط به بخش دریاهاست.

تذکر: مقادیر و محاسبه‌های مربوط به پاسخ این پرسش، تقریبی و فاقد قطعیت و دقت لازم برای استناد سیاسی است و صرفاً جنبه آموزشی دارد.

۸ هدف این مسئله، آشنا کردن دانش‌آموزان با یکای قیراط است که ممکن است

در رسانه‌های مختلف در خصوص آن مطالبی بخوانند یا بشنوند.

۹ 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.



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

$$\text{آهنگ رشد برحسب متر بر روز} = \frac{3/7m}{14\text{ day}} = 0/264m/day \approx 0/26m/day$$

$$0/264m/day = (0/264m/day)(1)(1) = (0/264m/day)$$

$$\left(\frac{1\text{ day}}{86400\text{ s}}\right)\left(\frac{10^6\mu m}{1m}\right) = 3/06 \frac{\mu m}{s} \approx 3/1\mu m/s$$

۱۱ با توجه به داده‌های مسئله داریم:

$$30,000\text{ ft} = 30,000\text{ ft} \times \frac{12\text{ in}}{1\text{ ft}} \times \frac{2/54\text{ cm}}{1\text{ in}} \times \frac{1m}{100\text{ cm}} = 9144m \approx 9/14 \times 10^3 m$$

توجه کنید که اعدادی که در ضریب تبدیل in به ft و m به cm وجود دارد، دقیق است و محدودکننده تعداد ارقام معنی‌دار نتیجه نهایی نیست، ولی تبدیل in به cm تقریبی است و چون عدد این تبدیل (۲/۵۴) سه رقم معنی‌دار دارد، پاسخ نهایی نیز سه رقم معنی‌دار خواهد داشت.

۱۲ با توجه به جدول ۵-۱، هر سال تقریباً $3/15 \times 10^7$ است، بنابراین داریم:

$$2550\text{ year} = 2550\text{ year} \times \frac{3/15 \times 10^7\text{ s}}{1\text{ year}} = 8/32 \times 10^{10}\text{ s} \approx 8/3 \times 10^{10}\text{ s}$$

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. الف) اگر زمین را گویا بخواهت به شعاع ۶۴۰۰ کیلومتر در نظر بگیریم (شکل زیر)، مساحت آن چند هکتار است؟
ب) با تحقق مساحت کل سرزمین ایران، شامل خشکی و دریا، چند هکتار است؟ این مساحت چند درصد از مساحت کره زمین است؟



یکی از بزرگترین المسای موجود در ایران، دریای خزر به جرم ۱۸۲ قراط است. این الماس به رنگ کباب صورتی شفاف و دو در جزانه جواهرات ملی نگهداری می‌شود. کوخیز ترکی دیگر از الماس‌های مشهور جهان است که جرمی حدود ۱۰۸ قراط دارد و هم اکنون در برج لندن نگهداری می‌شود. توجه به اینکه هر قراط معادل ۲۰۰ میلی‌گرم است، جرم الماس دریای خزر و کوخیز را بر حسب گرم مقدر است؟
شده مفهومی رز را کامل کنید.

۱. الف) اندازه گیری و کیندهای فیزیکی و اندازه گیری و استفاده بین الماسی بکار

۲. سعی کنید با نگذردن طول برخی از اجسامی را که در محیط اطراف هستند، بر حسب میلی‌متر یا متر برآورد کنید.

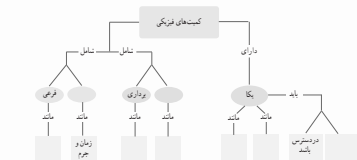
۳. سعی کنید با خط کش یا خط کش با خط اندازه بگیرید. برآوردهای شما با چه حد درست بوده‌اند؟

۴. جرم یک سوزن نوک‌گرد را چگونه می‌توان با یک ترازوی آشپزخانه اندازه‌گیری کرد؟

۵. گاهی در برخی از تارهای از ضربان نبض خود به عنوان زمان‌سنج استفاده کرد. شما نیز چند بار اندازه‌گیری در طبیعت را با نام برید که می‌تواند به عنوان ابزار اندازه‌گیری زمان به کار رود.

۶. الف) بر میکروفرن، تقریباً چند دقیقه است؟
ب) یک میلیارد ثانیه دیگر، تقریباً چند سال برتر می‌نویسد؟

۷. هکتار، از چنده یکاهای معادل مساحت است. هر هکتار وار ۱۰ هزار متر مربع است.



۱۹



۱. شریح‌ترین رشد گیاه معنی به هیرئوئیکا است که در مدت ۱۲ روز، ۳۷ متر رشد می‌کند (شکل زیر). آهنگ رشد این گیاه، بر حسب میکرومتر و ثانیه مقدر است؟



۲. تندی شناورها در دریا بر حسب گالهی به نام گره بیان می‌شود. هر گره دریایی برابر ۱۵۱۴۴ متر بر ثانیه است. تاریخچه گره دریایی به حدود ۲۰۰ سال پیش بازمی‌گردد. زمانی که ملوانان تندی متوسط کشتی خود را با استفاده از وسیله‌ای به نام تندی‌سنج شناور اندازه می‌گرفتند. این وسیله شامل شالی بود که در فواصل مساوی، گویای روی آن زده شده بود. در حین کشیده شدن شالی به دریا، تعداد گره‌های زده شده از دست ملوان در یک زمان معین شمرد می‌شد و تندی متوسط کشتی را به دست می‌آوردند. پس از آن، ملوانان را از واژه گره به برای بیان تندی متوسط کشتی استفاده می‌کنند.

۳. الف) اگر یک کشتی حمل ۳۵۰ یانتری ۱۲ گره از بندر شهید رجایی به طرف جزیره لارآن حرکت کند، تندی آن را بر حسب کیلومتر و ساعت ثانیه مقدر است؟



۲۰

$$1\text{ Knot} = 0/5144m/s$$

$$14\text{ Knot} = (14\text{ Knot})\left(\frac{0/5144m/s}{1\text{ Knot}}\right) = 7/20m/s \approx 7/2m/s$$

(ب)

$$14\text{ knot} = 7/20m/s = 7/20m/s \times \frac{3/6km/h}{1m/s} = 25/9km/h \approx 26km/h$$

$$14\text{ knot} = (7/20m/s) = (7/20 \cdot \frac{m}{s})\left(\frac{1mi}{1852m}\right)\left(\frac{3600s}{1h}\right) = 14mi/h$$

14

$$\text{فرسنگ } 19/2 \approx \text{فرسنگ } 19/23 = \left(\frac{\text{فرسنگ } 1}{\text{ذرع } 6000} \right) (\text{ذرع } 10^5 \times 1/154) = \text{طول جزیره بر حسب فرسنگ}$$



۱۵

16



17

رابطه ۱-۱ ($\rho = \frac{m}{V}$) حساب می‌کنیم. اگر مقدار به دست آمده با مقدار درج شده برای طلا در جدول ۱-۸ به اندازه کافی نزدیک باشد، ادعای ساخته شدن قطعه از طلای خالص تا حدودی تأیید می‌شود.

(ب) با استفاده از داده‌های مسئله و رابطه ۱-۸ داریم :

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{25.0 \text{ kg}}{1.573 \times 10^{-2} \text{ m}^3} = 15893 \text{ kg/m}^3$$

$$\approx 1/519 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

دبیران محترم توجه دارند که این پرسش و پاسخ، رویکرد آموزشی دارد و یک راهکار عملی و صنعتی برای شناخت طلا نیست. طلای خالص نرم است و برای ساختن قطعه‌های تزئینی مناسب نیست و باید آلیاژ شود و در آلیاژ شدن چگالی‌اش تغییر می‌کند. از طرف دیگر، بسیاری از قطعه‌های تزئینی ساخته شده از طلا، توخالی هستند و به سادگی نمی‌توان حجم فلز به کار رفته در ساخت قطعه را اندازه گرفت. نکته دیگر این که ممکن است

جگالی دو قطعہ فلزی برابر باشد ولی ہم جنس نباشند (یکی فلز خالص و دیگری آلیاژ دو یا چند فلز باشد).

به مایه، یک دیگر از کفاله‌های مدخل طول در دستگاه و به وسیله ورنیای اسکات، یک خطی درونی و برای ۱۹۵۲ در است. عددی که می‌خوانید (الف) با صحت مایه و ساخته به دست آمده است.

۱۱) در فرسنگ از جمله کفاله‌های فنی برای طول است. هر ۱۰۰ سانتی‌متر و هر فرسنگ ۶۰۰ در است. قدم، درگزین‌ترین جزیره طویل فارس است که صحت آن از پیش از پست کشور چهار روزگرنی است. طول آن جزیره حدود ۱۲۰ کیلومتر برآورد شده است. آن طول را بر حسب درج و فرسنگ بیان کنید.



(الف)



(ب)

۶-۱-۱) چنانچه

نتیجه اندازه‌گیری باطل باشد از آن و خطای آن توسط آنها آشنا خواهد شد. شکل‌های (الف) و (ب)، به ترتیب برای ورنسج و یک کویل‌گونی برای آن نشان می‌دهد. دقت هر یک از وسیله‌ها را مشخص کنید.

۶-۱-۲) اندازه‌گیری و دقت وسیله‌های اندازه‌گیری

۱۲) شکل زیر صحت دستگاه «تس» یک خودرو را نشان می‌دهد. دقت آن در تندی دستگاه چقدر است؟



۱۳) در بسیاری از کارگاه‌های صنعتی، مانند تراشکاری، اندازه‌گیری طول از اندازه‌های متفاوت از خط‌کش می‌لوانی انجام می‌دهند. آن اندازه، کولیس و ورنسج نام دارند که به دو صورت مدرج و رنمی (دجیتال) ساخته می‌شوند. در درس اندازه‌گیری، علاوه بر نحوه کار کولیس و ورنسج، دقت و



۱۴) Speedometer

۱۱

پ) چگالی طلا در جدول ۸-۱ برابر 19300 kg/m^3 گزارش شده است. همان طور که می دانید طلای خالص، فلزی نرم و انعطاف پذیر است. برای استحکام قطعه هایی که از طلا ساخته می شوند مقداری از فلزهای مس، نقره، نیکل، پالادیوم و روی را با آن مخلوط می کنند.

۱۸ با توجه به داده های روی شکل داریم :

$$m = 8.24 \text{ g}$$

$$V = (23/1 - 18/5) \text{ mL} = 4/6 \times 10^{-3} \text{ L}$$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{8.24 \text{ g}}{4/6 \times 10^{-3} \text{ L}} = 1/79 \times 10^3 \text{ g/L} \approx 1/8 \times 10^3 \text{ g/L}$$

از آنجا که $1 \text{ L} = 10^3 \text{ cm}^3$ است، داریم :

$$\rho = 1/79 \times 10^3 \text{ g/L} = 1/79 \times 10^3 \frac{\text{g}}{\text{L}} \times \frac{1 \text{ L}}{10^3 \text{ cm}^3} = 1/79 \text{ g/cm}^3 \approx 1/8 \text{ g/cm}^3$$

البته بهتر آن است که دانش آموزان بدانند یکای حجم استفاده شده در شکل یعنی mL (میلی لیتر) همان cm^3 است. با این حساب :

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{8.24 \text{ g}}{4/6 \text{ cm}^3} = 1/79 \text{ g/cm}^3 \approx 1/8 \text{ g/cm}^3$$

۱۹ الف) اگر طول، عرض و ارتفاع قوطی کبریت $5/0 \text{ cm}$ ، $3/5 \text{ cm}$ و $1/5 \text{ cm}$ اندازه گیری شود، در این صورت حجم آن $V = 26/2 \text{ cm}^3 \approx 26 \text{ cm}^3 = 2/6 \times 10^{-5} \text{ m}^3$ می شود. به این ترتیب داریم :

$$m = \rho V = (1/0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3) (2/62 \times 10^{-5} \text{ m}^3) = 2/62 \times 10^{-2} \text{ kg} \approx 2/6 \times 10^{-2} \text{ kg}$$

ب) ابتدا جرم کل تقریبی جمعیت زمین را به دست می آوریم :

$$m = 7 \times 10^9 \times 60 \text{ kg} = 4/2 \times 10^{11} \text{ kg} \approx 4 \times 10^{11} \text{ kg}$$

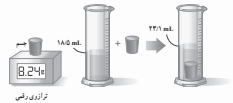
به این ترتیب با توجه به فرض مسئله، که فرضی ناممکن است، داریم :

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{4/2 \times 10^{11} \text{ kg}}{1/0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3} = 4/2 \times 10^8 \text{ m}^3 \approx 4 \times 10^8 \text{ m}^3$$

با چنین فرض ناممکنی، می شد کل جمعیت کره زمین را در سالنی با مساحت 1000 m^2 که سقفی با ارتفاع ۴m داشته باشد جای داد!



۱۰ روی تین چگالی یک جسم جامد، ابتدا جرم و حجم آن را مطابق شکل زیر پیدا کردیم. با توجه به داده های روی شکل، چگالی جسم را بر حسب g/cm^3 و kg/m^3 حساب کنید.



۱۱ الف) ستاره های کوتوله سفید بسیار چگال هستند و چگالی آنها در 10^9 حدود 10^9 میلیون است. اگر شما یک قوطی کبریت از ماده تشکیل دهنده این ستاره ها در اختیار داشتید، جرم آن چند کیلوگرم می شد؟ ابعاد قوطی کبریت را با خط کشی اندازه گیری کنید. ب) اگر جمعیت کره زمین حدود 8 میلیارد نفر، جرم میانگین هر نفر 60 کیلوگرم و ماده تشکیل دهنده انسان ها از جنس ستاره های کوتوله سفید فرض شود (فرضی ناممکن!)، ابعاد یک اتاق چقدر باشد تا همه انسان ها در آن جای گیرند؟

اینکه چگالی جسم را با استفاده از فرمول $\rho = \frac{m}{V}$ محاسبه می کنیم، در واقع به این معنی است که اگر یک جسم را در یک ظرف پر از آب قرار دهیم و آن را به آرامی در آن فرو ببریم، حجم آب که از ظرف خارج می شود، برابر با حجم جسم است. اگر ما یک جسم را در یک ظرف پر از آب قرار دهیم و آن را به آرامی در آن فرو ببریم، حجم آب که از ظرف خارج می شود، برابر با حجم جسم است. اگر ما یک جسم را در یک ظرف پر از آب قرار دهیم و آن را به آرامی در آن فرو ببریم، حجم آب که از ظرف خارج می شود، برابر با حجم جسم است.

فصل ۲

ویژگی‌های فیزیکی مواد

- ۱-۲ حالت‌های ماده
 - ۲-۲ نیروهای بین مولکولی
 - ۳-۲ فشار در شماره‌ها
 - ۴-۲ شناوری
 - ۵-۲ شارء در حرکت و اصل برنولی
- پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۲

دبیران محترم توجه دانش آموزان را به رمزینه‌های سریع پاسخ (QR Code ها) آورده شده در ابتدای هر فصل از کتاب درسی جلب کنند. این رمزینه‌ها دربردارنده محتوای آموزشی متنوعی از قبیل آزمایش‌های انجام شده کتاب درسی، شبیه‌سازی‌ها و ... هستند که به یادگیری و نشاط آموزشی - علمی دانش آموزان کمک زیادی می‌کنند.



پیامدها

- دانش‌آموزان با درک مفاهیم اساسی در مورد ویژگی‌های فیزیکی مواد قادرند :
- مواد را بر حسب ویژگی‌های فیزیکی آنها به چهار دسته 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 به کار ببرند.

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 نیروهای بین مولکولی (جاذبه و دافعه – هم‌چسبی و دگرچسبی) می‌توان توضیح داد.
- اختلاف فشار دو نقطه از یک شاره ساکن، به اختلاف سطح آن دو نقطه در امتداد قائم، چگالی شاره و شتاب گرانش زمین بستگی دارد.
- در میدان گرانشی زمین و بر هر جسمی که درون شاره‌ای باشد، نیرویی رو به بالا (نیروی شناوری) از طرف شاره وارد می‌شود.
- در یک شاره در حال حرکت افقی و آرمانی، هر جا فشار شاره بیشتر باشد، تندی آن کمتر است و برعکس.

چه پرسش‌هایی باید در نظر گرفته شوند؟

- تفاوت مواد از منظر نیروی بین مولکولی چیست؟
- عوامل مؤثر بر فشار در یک شاره ساکن چیست؟
- به یک جسم شناور در یک شاره ساکن چه نیروهایی وارد می‌شود؟
- نتیجه کیفی اصل برنولی برای یک شاره آرمانی و در حال حرکت افقی چیست؟

در پایان این واحد یادگیری دانش آموزان چه دانش و مهارت های اساسی را کسب می کنند؟

دانش آموزان خواهند دانست که :

- واژگان کلیدی : جامد، مایع، گاز، پلاسما، نیروهای بین مولکولی، فشار، شار، شار، نیروی شناوری، بیانی ساده و کیفی از اصل برنولی
- انواع مواد و ویژگی های فیزیکی آنها
- فشار در شارها و عوامل مؤثر در آن
- نیروی شناوری
- بیانی ساده و کیفی از اصل برنولی و عوامل مرتبط با آن برای یک حالت خاص

دانش آموزان قادر خواهند بود که :

- ویژگی های فیزیکی مواد مختلف را بر حسب نیروهای بین مولکولی توضیح دهند.
- عوامل مؤثر در فشار شارهای ساکن را بیان کنند.
- نیروی شناوری وارد بر یک جسم واقع در شار ساکن را توضیح دهند.
- نتایج ساده و کیفی اصل برنولی را برای برخی موارد خاص بیان کنند و کاربرد آن را در چند پدیده توضیح دهند.

بودجه بندی پیشنهادی فصل دوم

- جلسه اول و دوم : تصویر شروع فصل + بخش ۱-۲
- جلسه سوم : بخش ۲-۲
- جلسه چهارم و پنجم : بخش ۳-۲
- جلسه ششم : بخش ۴-۲
- جلسه هفتم : بخش ۵-۲
- جلسه هشتم : جمع بندی، رفع اشکال و حل پرسش ها و تمرین های باقیمانده از پایان فصل
- جلسه نهم : آزمون تشریحی فصل دوم

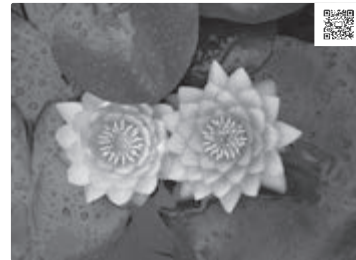
خوب است بررسی پرسش ها و مسئله های پایان فصل را، در جلسه های مختلف توزیع کنید.

راهنمای تدریس

راهنمای تدریس: تصویر شروع فصل با یک پرسش همراه 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.



ویژگی‌های فیزیکی مواد



چرا آب روی گلبرگ‌ها و برگ‌های شادرونی می‌چسبد؟ در آب رنده می‌کنند به صورت قطرات ریز و درختی می‌آید

آشنایی با ویژگی‌های فیزیکی مواد در تمام شاخه‌های علوم، مهندسی و پزشکی اهمیت زیادی دارد. مطالعه هر یک از حالت‌های ماده، منجر به کاربردهای فراوانی در فناوری، صنعت و زندگی روزمره شده است. شاره‌ها (از آبی که برای مایع‌ها و گازها به کار می‌رود) در بسیاری از جنبه‌های زندگی ما نقش مهمی دارند. جامدها بخش بزرگی از محیط فیزیکی پیرامون ما را می‌سازند و آنها را به هر شکلی که بخواهیم در می‌آوریم. خورشید، که به زمین نور و گرما می‌بخشد، از حالت چهارم ماده به نام پلاسما ساخته شده است.

در این فصل ضمن آشنایی با برخی از ویژگی‌های فیزیکی سه حالت آشنای ماده، نگاهی به تیره‌های بین مولکولی خواهیم داشت. پس از آن فشار در شاره‌ها، شتابوری و اصل بولی را به همراه برخی از کاربردهای آنها بررسی می‌کنیم.

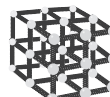
۱-۲ حالت‌های ماده

راهنمای تدریس: هدف از این بخش آشنا ساختن دانش‌آموزان با حالت‌های ماده از دیدگاه مولکولی است. هرچند در کتاب‌های علوم دوره اول تا حدودی با ساختار اتم و مولکول آشنا شده‌اند ولی در اینجا توجه دانش‌آموزان را به اندازه تقریبی اتم‌ها که از مرتبه 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 بسیار (پلیمر) می‌گویند.

فصل ۳



فصل ۳-۲: چهار حالت ماده در این تصویر روم‌دار، جامد، آب‌یام، هوا (گاز) و غیره (پلاسما)



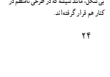
فصل ۳-۲: سالی از ساختار یک ماده که از مشاهده و تفسیر بخش‌های مختلف این شکل بدست می‌آید



فصل ۳-۲: سالی از ساختار یک ماده که از مشاهده و تفسیر بخش‌های مختلف این شکل بدست می‌آید



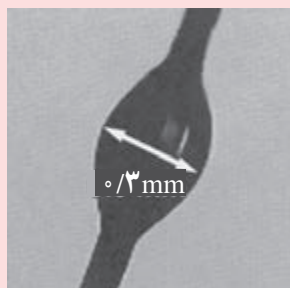
فصل ۳-۲: سالی از ساختار یک ماده که از مشاهده و تفسیر بخش‌های مختلف این شکل بدست می‌آید



فصل ۳-۲: سالی از ساختار یک ماده که از مشاهده و تفسیر بخش‌های مختلف این شکل بدست می‌آید

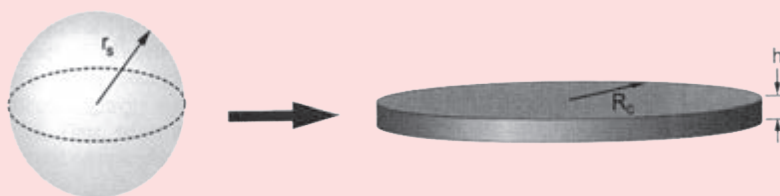
فعالیت پیشنهادی

هدف اصلی این فعالیت برآورد اندازه یک مولکول است. برای انجام این فعالیت بهتر است به توصیه هایی که در ادامه آمده است، توجه شود. به جای روغن می توانید از صابون مایع نیز استفاده کنید. برای جداسازی یک قطره روغن یا صابون مایع و قرار دادن آن بر سطح آب می توانیم 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 0.1 mm و قطر قطره روغنی که در انتهای مو تشکیل می شود حدود 0.3 mm است (شکل ۱).



شکل ۱

همچنین برای آنکه گسترش قطره روغن یا صابون مایع را بر روی سطح آب به خوبی مشاهده کنیم بهتر است به کمک نمک پاش مقداری فلفل را بر روی سطح آب بپاشیم. این کار را پیش از قرار دادن قطره روغن روی سطح آب انجام می دهیم. پس از آنکه گسترش سطح قطره روغن یا صابون مایع بر روی سطح آب تقریباً متوقف گردید با اندازه گیری قطر لایه روغن یا صابون مایع روی آب قطر یک مولکول (شکل ۲) را برآورد می کنیم.



شکل ۲

نکته مهم پیرامون فعالیت پیشنهادی : همان طور که اشاره شد هدف اصلی این فعالیت برآورد اندازه یک مولکول است. باید توجه کرد که ضخامت لایه روغن یا صابونی که روی سطح آب تشکیل می شود، نمی تواند کمتر از قطر یک مولکول باشد. هرچند نمی توان تضمین کرد که لایه روغن از یک لایه مولکول تشکیل شده است.

در ادامه تدریس باید موضوع تقسیم‌بندی جامدها به دو نوع بلورین و بی‌شکل مطرح شود. برای ورود به این بحث پیشنهاد می‌شود که 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 اشاره دانش‌آموزان به تفاوت‌های ظاهری خواهد بود و کمتر به تفاوت در ساختار داخلی آنها و نحوه قرار گرفتن اتم‌ها نسبت به یکدیگر اشاره می‌کنند. با این حال، همین موضوع فضای مناسبی را فراهم می‌کند تا توجه دانش‌آموزان را به تفاوت ساختاری جامدها نسبت به یکدیگر جلب کنید و آنچه در کتاب درسی در خصوص جامدهای بلورین و بی‌شکل آمده است را برای دانش‌آموزان مطرح نمایید.

شکل ۳۳۳ ساختار بلورین NaCl، که در آن یون‌های منیم و یون‌های کلرید به صورت یک‌درمیان در گوشه‌های یک مکعب قرار گرفته‌اند. (با ذرات سازنده یک جامد بی‌شکل، مانند شیشه که در طرحی نامنظم در کنار هم قرار گرفته‌اند.

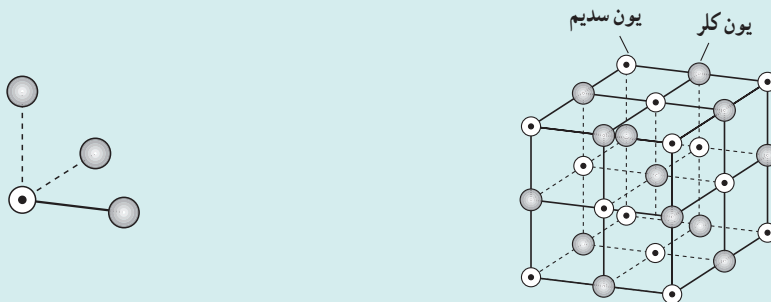
دانشتني برای معلم

مواد آمورف، جامدهای بی شکل

مقدمه: تقریباً تمام مواد جامدی که ما امروزه با آنها سروکار داریم، بلورند؛ یعنی به صورت مجموعه‌ای از اتم‌ها یا مولکول‌هایی هستند که به صورت 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 به وجود می‌آید (شکل ۳). فیزیک‌دانان حالت جامد، برای راحتی، عموماً کارشان را با توجه به خواص و ویژگی‌های این گونه 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 شبکه‌ی 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

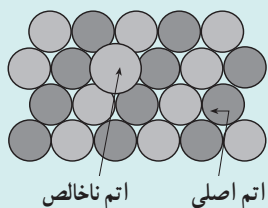
ناخالصی هایی از جنس اتم های دیگر نیز در آنها یافت می شود (شکل ۶). در حالت هایی، مثلاً در شیشه و بسیاری از بسپارها، نظم آرایش اتم ها به چنان فاصله های کوتاهی محدود می شود که به سختی می توان ادعا کرد که ماده دارای ساختار بلوری است (شکل ۷). از همین رو این مواد، مواد آمورف یا جامدهای بی شکل نامیده می شوند. سرانجام در مراحل پیچیده تر، با مواد مهم و متداول دیگری مانند چوب و پشم شیشه سروکار داریم که ماهیت ترکیبی دارند و بررسی ویژگی های آنها بسیار دشوار است.



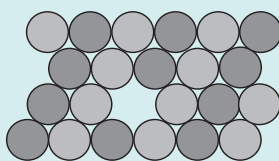
ب) واحد ساختار بلوری سدیم کلرید

الف) ساختار بلوری سدیم کلرید، در این بلور هر یون توسط ۶ یون همسایه اول با بار مخالف احاطه می شود.

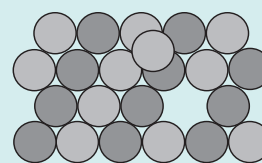
شکل ۳



شکل ۶



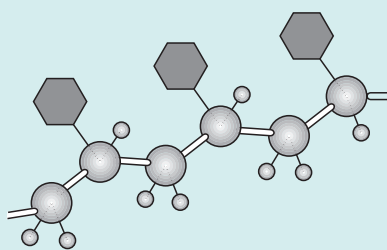
شکل ۵



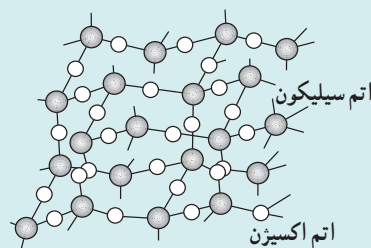
شکل ۴



پ



ب



الف

ب و پ) یک مولکول بسپار را نشان می دهد. این بسپارها ساختار بی شکل دارند.

الف) ساختار بی شکل شیشه

شکل ۷

جامدهای بی شکل : آرایش اتم‌ها یا مولکول‌ها در جامدهای بی شکل، مانند شیشه‌ها و بسیاری از سپارها، کاملاً منظم نیست و از این نظر با جامدهای بلورین تفاوت دارند. همان گونه که پیش از این اشاره کردیم، اتم‌ها در بلور در شبکه 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 بی شکل، اتم‌ها چنین نظم 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 بی شکل نیز شباهت زیادی به نیروها و پیوندها در جامدهای بلورین دارند. این شباهت‌ها باعث می‌شود که فاصله اتم‌ها، تعداد همسایه‌های اول هر اتم به‌طور میانگین در تمام نقاط نمونه جسم جامد یکسان باشد. در یک جامد بی شکل، پیرامون هر اتم بسیار شبیه به پیرامون هر اتم دیگر است، ولی دقیقاً یکسان نیست. به علت این تغییرات بسیار کوچک در فاصله و سمت‌گیری در تمام ماده این نتیجه به دست می‌آید که مکان دقیق اتم‌های دور را نمی‌توان پیش‌بینی کرد. **انواع جامدهای بی شکل :** جامدهای بی شکل را می‌توان به دو گروه عمده تقسیم‌بندی کرد. گروه اول آنهایی هستند که وقتی ساخته می‌شوند ساختار بی شکل به خود می‌گیرند. اینها همان مواد سازنده 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 به دست آورد.

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

یکی از ساده‌ترین و متداول‌ترین مواد سازنده شیشه طبیعی، سیلیس بی شکل، SiO_2 ، است که به شکل‌های بلورین به‌صورت کریستوبالیت و کوآرتز نیز یافت می‌شود. شیشه‌های معمولی پنجره (و یا بطری‌ها) عمدتاً از SiO_2 به اضافه 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 عنصری چون آرسنیک «As» و ژرمانیم «Ge»، نیز شیشه‌های دیگری‌اند که به خاطر نیم‌رسانا بودن، مورد توجه‌اند. این شیشه‌ها کالکوتزند نامیده می‌شوند.

گروه دیگری از مواد سازنده شیشه‌های طبیعی از مولکول‌های خیلی بزرگ (ماکرومولکول‌ها) تشکیل می‌شوند. این گونه مولکول‌ها نمی‌توانند دوران کنند و به راحتی با یکدیگر جور شوند (این خاصیت را ممانعت فضایی می‌نامند) در نتیجه نمی‌توانند بلور تشکیل دهند. گلیسرین و گلوکز نمونه‌های ساده‌ای از این مواد هستند. بسیاری از پلیمرها مانند پلی استرین و لاستیک‌ها نیز بی شکل‌اند.

تهیه جامدهای بی شکل : جامدهای بی شکل که از طریق سرمایش سریع به دست می‌آیند عبارت‌اند از : فلزات خالص، آلیاژها و عنصرها و ترکیبات نیم‌رسانا. برای تهیه این گونه مواد به‌صورت جامد چند روش متفاوت وجود دارد.

در یک شیوه کارآمد، فواره‌ای از ماده مذاب را روی لبه 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 ماده بی شکل تشکیل می‌شود. روش دیگری برای تهیه نمونه‌های کوچک از جامدهای بی شکل، سرد کردن ماده مذاب در آب است. روش‌های دیگر متضمن رسوب دادن بخار بر روی یک سطح سردند. هدف همه 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 بی شکل را می‌توان با سرد کردن بخار آنها بر روی سطحی که تا دمای نیتروژن مایع یا هلیوم مایع سرد شده است، به دست آورد. لیکن، اینها، هنگامی که تا دمای اتاق گرم می‌شوند، تقریباً همیشه به‌صورت بلور در می‌آیند.

در این فعالیت دانش‌آموزان ترجیحاً به‌طور گروهی تحقیق کنند و گزارشی به کلاس ارائه دهند.

راهنمای تدریس: خوب است فعالیت ساده‌ای مطابق شکل ۲-۴ کتاب درسی را دانش‌آموزان به‌طور گروهی انجام دهند و نتیجه مشاهدات خود را پس از بحث در گروه، به کلاس درس ارائه دهند.

راهنمای تدریس : در اینجا ویژگی گازها به طور عام مورد نظر است و لازم نیست به بحث در خصوص مدل آرمانی گازها که به گاز آرمانی موسوم است و در فصل چهارم مورد بررسی قرار می گیرد، پرداخت.

هدف اصلی این فعالیت مقایسه بین تراکم‌پذیری گازها و مایع‌هاست.

also a valid criterion.



فلزی یکی از هنرهای صنعتی ایران و با قدمتی چندین هزار ساله است. تحقیق کنید صنعتگران فلز، چگونه اُشُل و سفت شدن فلز کبک می گیرند تا بدون سوراخ شدن فلز، بر روی آن نقش و نگارهای متنوعی ایجاد کنند.

مابیع: فاصله ذرات سازنده مایع و جامد تقریباً یکسان و در حدود یک آنگستروم است، ماً مولکول های مایع و نظایر آن جامدهای بلورین را ندارند. مایع به راحتی جاری می شود به شکل ظرف خودش در می آید.

پدیده بخشی در مایع ها: اگر مقداری نمک را در یک لیوان آب بریزد، پس از مدتی به شور می شود. اگر چند قطره جوهر را به آب درون لیوانی اضافه کنید، به تدریج رنگ آن تغییر می کند (شکل ۱۴-۲). جریحه های ساده ای مانند این، نشان می دهند که ذرات سازنده نمک و جوهر در آب درون لیوان بخش شده اند. دلیل بخش ذرات نمک و جوهر در آب، حرکت مولکول های آب مربوط می شود. در واقع به دلیل حرکت های نامنظم و کاتوری ای (تصادفی) مولکول های آب (شکل ۱۵-۲) و برخورد آنها با ذرات سازنده نمک و جوهر این پدیده را می توان توضیح داد. این بخش، مورد بحث می شود.

خوب است بدانید

[illegible]

1. Friedrich Reinitzer (1827-1927)

7A

فعاليات ٢-٢

یک سرنگ، مثلا ۱۰ سی سی، اختصار بکشید. بیستون آن را بکشید تا هوا را سرنگ نبود. انگشت خود را محکم روی دهانه خروجی سرنگ قرار دهید و تا جایی که می‌توانید بیستون را حرکت دهید تا هوای درون سرنگ فکرا شود.

هوا درون سرنگ را خالی و آن را تا نیمه از آب پر کنید. با مسدود نمودن انتهای سرنگ سعی کنید تا جایی که ممکن است مانع درآیند هوا را از سرنگ کنید. از این آزمایش ساده جهت تبیینی در مورد ترکیب آمیزش گازها و مایه‌ها می‌گیرید؛ توضیح دهید.

(پرسی ۱-۲)

وقتی در شب عطر را در گوشه‌ای از اتاق باز می‌کنید، پس از چند ثانیه ذرات عطر در همه جای اتاق پخش و پوی آن حس می‌شود. مایه‌ها به شکل ذرات ریز در آب پخش می‌شوند؛ چرا این پخش در گازها سریع‌تر از مایه‌ها رخ می‌دهد؟



خوب است بدانید

اگر این مطلب را نیز دو لایه متهابی می خوانید یعنی بافتن پلاستیک لازم نیست! آرد دوری برید. ماده داخل لوله تابان لایه متهابی، پلاستاست. وقتی گازهای تا دماهای خیلی زیاد (چندین هزار درجه سلسیوس به بالا) گرم شود، یک یا چند الکترود از هر اثر آن میزد. ماده حاصل، مجموعه‌ای از الکترود می‌آورد، و چون با آتمهای خنثی خواهد بود، این حالت یونیده و تسخیمانی ماده، که حاوی فلزهای مسکوی از بارهای متهابی و منفی است، پلاستیک نامیده می‌شود که معمولاً از آن به عنوان حالت چهارم ماده می‌نامند (در حالت جامد یا مایع و گاز و پلاستیک). (الف و ب)

تندی مولکول‌های هوا در دمای اتاق حدود 500 m/s است.

حرکت براونی



آزمایشی برای مشاهده حرکت براونی ذرات دود درون یک ظرف شیشه‌ای

شکل، ظرفی شیشه‌ای محتوی ذرات دود را نشان می‌دهد که پرتوهای نور به آن می‌تابد. اگر با میکروسکوپ درون ظرف محتوی دود را مشاهده کنیم دیده می‌شود که ذره‌های دود به‌طور نامنظم و درهم و برهم و در یک مسیر زیگزاگی حرکت می‌کنند. این حرکت نامنظم و کاتوره‌ای ذرات دود را حرکت براونی می‌نامند. مشاهده بیشتر توسط میکروسکوپ نشان می‌دهد که ذره‌های دود برخورد‌های اندکی با یکدیگر دارند. پس می‌توان نتیجه گرفت باید ذرات دیگری که قابل مشاهده نیستند با آنها برخورد کرده و مسیر حرکت آنها را تغییر داده باشند. این ذره‌های مشاهده‌ناپذیر، همان مولکول‌های هوا هستند. حرکت زیگزاگی و نامنظم ذره‌های دود نشانگر این است که مولکول‌های هوا

به صورت کاتوره‌ای و نامنظم در حرکت‌اند. 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 اداره ثبت اختراعات برای دولت سوئیس کار می‌کرد، مقاله 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 (افت و خیزهای کاتوره‌ای فشار شاره در نواحی مختلف پیرامون هر ذره گرده یا غبار) حاصل می‌شوند. هرچند در آن زمان، حتی وجود مولکول‌ها هم برای همه دانشمندان مسلم نشده بود، اما چند سال بعد ژان پرن با استفاده از نتایج اینشتین توانست جرم مولکول‌ها را از طریق اندازه‌گیری هایش در حرکت براونی تعیین کند و بی‌هیچ تردیدی وجود مولکول‌ها را نشان دهد. شرح مفصلی از این نوع محاسبه را می‌توانید در دانشنامه فیزیک، جلد ۲، صفحات ۶۴۰ و ۶۴۱ ببینید.

پاسخ پرسش ۱-۲

الف) ذرات هوا با تندی بسیار زیادی (در دمای اتاق، در حدود 500 m/s) در حرکت‌اند. مولکول‌های عطر نیز با حرکت‌های کاتوره‌ای و نامنظم و با سرعت کمتر، در مدت چند ثانیه همراه با مولکول‌های هوا از یک سوی اتاق به سوی دیگر اتاق پراکنده می‌شوند. با توجه به اینکه تندی میانگین مولکول‌های مایع بسیار اندک است و به عبارتی تنها گروه‌هایی از مولکول‌ها، همچون رشته‌ها یا خوشه‌هایی، بر روی یکدیگر می‌لغزند، سرعت پخش در مایعات کمتر است.

ب) اگر پدیده پخش در هوا رخ نمی‌داد، سبب می‌شد تا بخشی از جو زمین که در مجاورت سطح زمین است (هوموسفر) به‌طور لایه‌ای شکل بگیرد، به‌طوری که در لایه‌های نزدیک‌تر به سطح زمین مولکول‌های سنگین‌تر قرار می‌گرفتند و در لایه‌های دورتر مولکول‌های سبک‌تر. البته خوب است بدانید در لایه‌های جو زمین که بالاتر از هوموسفر است و به ترتیب دور شدن از سطح زمین، استراتوسفر، مزوسفر و تروموسفر نامیده می‌شوند، ترکیب هوا تغییر می‌کند طوری که هرچه از سطح زمین دورتر می‌شویم و بالاتر می‌رویم گازهای سبک‌تر فراوان‌تر می‌شوند.

پرسش های پیشنهادی

۱) در کدام یک از سه حالت ماده، ذره های ماده

الف) منظم اند؟

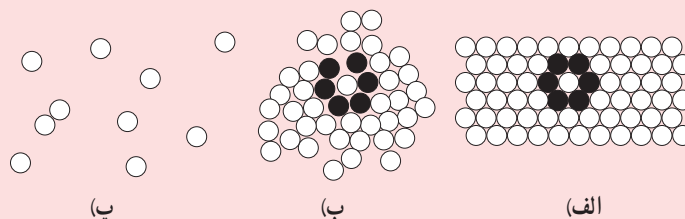
ب) نامنظم اند؟

پ) با آزادی در جهت های مختلف حرکت می کنند؟

ت) در مکان های ثابتی نوسان می کنند؟

۲) شکل زیر چگونگی قرار گرفتن مولکول ها را در جامدهای بلورین، مایع ها و گازها نشان می دهد.

کدام یک از شکل ها مربوط به جامد بلورین، کدام مربوط به گاز و کدام مربوط به مایع است؟



دانستنی برای معلم

جامد، مایع، گاز

شاره ها شامل مایعات و گازها و پلاسماها، موادی هستند که پیوسته و بی هیچ محدودیتی بر اثر اعمال نیروی خارجی (تنش برشی)، هرچند کوچک، تغییر شکل می دهند. جامدات که شاره نیستند، هم بر اثر اعمال تنش برشی تغییر شکل می دهند، ولی در برابر تغییر شکل مقاومت زیادی از خود نشان می دهند و در مرحله ای که حد تغییر شکل است، بر اثر تنش بیشتر با گسیختگی روبه رو می شوند. ویژگی متمایزکننده دیگر شاره ها این است که حتی بر اثر اعمال نیروهای خیلی کوچک هم جاری می شوند، در حالی که جامدات برای جاری شدن نیاز به نیروهای خیلی بیشتری دارند.

گاهی تمایزگذاری بین جامد و شاره به صورت دلبخواه است. موادی نظیر شیشه و کوه های یخ در دوره های زمانی بسیار طولانی مانند مایعات جاری می شوند. ذرات جامد بودر شده هم، مثل نمکی که از نمک پاش پاشیده می شود، مانند مایع رفتار می کند؛ خمیردندان بسته به فشار اعمال شده هم خواص جامد دارد و هم خواص مایع. از لحاظ میکروسکوپیکی، حالت های متفاوت ماده را به کمک فاصله بین مولکول ها و نیروهای بین مولکولی می توان از یکدیگر متمایز کرد. در مواد جامد، مولکول ها خیلی نزدیک به هم قرار گرفته اند و نیروهای پیوندی قوی بین آنها برقرار است. در مایعات، فاصله بین مولکول ها معمولاً بیشتر است و مولکول ها از طریق نیروی چسبندگی ضعیفی برهم کنش دارند. در گازها، فاصله بین مولکول ها باز هم بیشتر است، و بین مولکول ها یا اصلاً

پیوندی وجود ندارد یا پیوند بسیار ضعیفی برقرار است. جنبه 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 نیروهای 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 5 m/s در حال شارش باشد، فرض تراکم‌ناپذیری اغلب نتایج قابل قبولی به‌دست می‌دهد.

(دانشنامه فیزیک - جلد ۲ - صفحه ۹۰۳)

شکل ۶

گردباد یا آزمایش‌های بیشتر نشان می‌دهند که امشای رخ داده است. با این آزمایش در واقع در می‌یابیم که دمای ذوب ذره‌های طلا در مقیاس نانو، تفاوت زیادی با دمای ذوب طلا در اندازه‌های معمولی دارد.

به کمک مثالی که زبیم می‌توان گفت علوم نانو، مانند نقطه ذوب طلا، با گشتن اندازه آن تقریباً ثابت می‌ماند. اما اگر اندازه آن بررسی می‌شود. ویژگی‌های فیزیکی هر ماده‌ای، مانند نقطه ذوب طلا، با گشتن اندازه آن تقریباً ثابت می‌ماند. اما اگر اندازه آن ماده به مقیاس نانو کاهش یابد (پس به نوع ماده و ویژگی فیزیکی مورد اشاره‌گر، این اندازه می‌تواند حدود 100 تا 1000 نانو متر باشد) چه اتفاقی می‌افتد؟ ویژگی‌های فیزیکی مواد از قبیل: نقطه ذوب رسانندگی الکتریکی و گرمایی، شفافیت، استحکام، رنگ و... اغلب می‌تواند به‌طور چشمگیری در مقیاس نانو تغییر کند. فناوری نانو در واقع از ویژگی‌های خاصی از مواد بهره‌مندی می‌کند که در مقیاس نانو تغییر می‌کنند. لازم نیست که همهٔ ابعاد یک ماده در مقیاس نانو باشند. برای نمونه، یک نانوذره (مانند ذره‌های کوچک طلا یا دمای ذوب کم که بیش از این توصیف شده‌اند) در هر سه بُعد کوچک است، اما اگر صرفاً یک بُعد ماده‌ای را در مقیاس نانو محدود کنیم در این صورت یک نانوذره داریم که لایه‌ای به ضخامت نانو مقیاس است. آزمایش‌های نشان می‌دهد که ویژگی‌های فیزیکی نانو لایه‌ها نیز همچون نانو ذره‌ها، به‌طور قابل توجهی تغییر می‌کند.

برای مثال: آلومینیم یکی از رساناهای بسیار خوب جریان الکتریکی است. سطح آلومینیم، چه به صورت مسطح، فوایدی نداشته یا مال هوا باشد، در مجاورت هوا به آلومینیم اکسید تبدیل می‌شود. از آنجا که آلومینیم اکسید، عایق بسیار خوبی است و رسانای الکتریکی نیست پس جریانی که در مسطح آلومینیم از طریق شکل نانو ذره‌ها به هم وصل می‌گردد، جریان الکتریکی از یک سیم به سیم دیگر جریان می‌یابد! رای پاسخ به این پرسش باید به ضخامت لایه‌ای توجه کنیم که روی مسطح آلومینیم تشکیل می‌شود. بررسی‌های تجربی نشان می‌دهد که وقتی قطعه‌ای آلومینیم در مجاورت هوا قرار می‌گیرد لایه‌ای بسیار نازک از اکسید آلومینیم روی سطح آن تشکیل می‌شود که ضخامت آن از مرتبهٔ نانومتر است. در این مقیاس، ویژگی‌های الکتریکی اکسید آلومینیم غیر می‌کند و به یک رسانا تبدیل می‌شود. بنابراین هنگام اتصال دو سیم آلومینیم، الکترودها به‌طور آزادانه از یک سیم به سیم دیگر می‌روند.



سیم آلومینیم که روی هم چیده شده‌اند.

شکل ۷: نیروهای بین مولکولی

پیش از این با انجام فعالیت ۲-۱ دیدیم که برای گردان آب درون سرنگ عملاً امکان‌پذیر نیست. برای توضیح پدیده‌های مشاهده این باید به نیروهای بین مولکولی در یک مایع توجه کنیم. به‌طور کلی، نیروهای بین مولکولی‌ها همانند نیروهای بین مولکولی‌ها آب را نیروی درجی می‌نامیم (شکل ۷-۱). وقتی سعی می‌کنیم مایع را درون سرنگ بکشیم، نیروی دافعهٔ وزنی بر آنها ظاهر می‌شود که از تراکبیری مایع جلوگیری می‌کند. همین‌طور وقتی مولکول‌های مایع را کشی از هم دور کنیم، نیروی جاذبهٔ بین آنها ظاهر می‌شود. این جاذبه در قطره‌آب از آن‌ها درخشا درخت دیده می‌شود. نیروهای بین مولکولی که نامشخص هستند، یعنی وقتی فاصلهٔ بین مولکول‌ها چند برابر فاصلهٔ بین مولکولی شود، نیروهای بین مولکولی بسیار کوچک و عملاً صفر خواهد شد.

(دانشنامه فیزیک - جلد ۲ - صفحه ۹۰۳)

شکل ۸: نیروهای فیزیکی مواد

فصل ۱۱: خواص فیزیکی مواد در مقیاس نانو

خواص فیزیکی مواد در مقیاس نانو، تفاوت زیادی با خواص فیزیکی مواد در مقیاس معمولی دارد. به عنوان مثال، نقطه ذوب طلا در مقیاس نانو، تفاوت زیادی با نقطه ذوب طلا در مقیاس معمولی دارد. این موضوع به‌خاطر سهولت در انجام محاسبات آنها را تراکم‌ناپذیر در نظر می‌گیرند. به عنوان مثال، وقتی هوا با سرعتی کمتر از 5 m/s در حال شارش باشد، فرض تراکم‌ناپذیری اغلب نتایج قابل قبولی به‌دست می‌دهد.

(دانشنامه فیزیک - جلد ۲ - صفحه ۹۰۳)



شکل ۹: خواص فیزیکی مواد در مقیاس نانو

خواص فیزیکی مواد در مقیاس نانو، تفاوت زیادی با خواص فیزیکی مواد در مقیاس معمولی دارد. به عنوان مثال، نقطه ذوب طلا در مقیاس نانو، تفاوت زیادی با نقطه ذوب طلا در مقیاس معمولی دارد. این موضوع به‌خاطر سهولت در انجام محاسبات آنها را تراکم‌ناپذیر در نظر می‌گیرند. به عنوان مثال، وقتی هوا با سرعتی کمتر از 5 m/s در حال شارش باشد، فرض تراکم‌ناپذیری اغلب نتایج قابل قبولی به‌دست می‌دهد.

(دانشنامه فیزیک - جلد ۲ - صفحه ۹۰۳)

۲-۲- نیروهای بین مولکولی

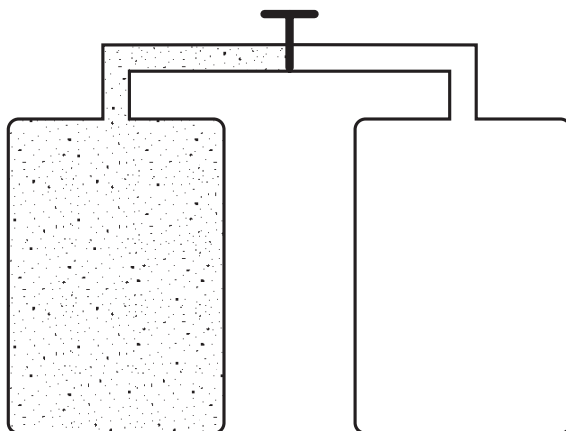
راهنمای تدریس: برای شروع پیشنهاد می‌شود ابتدا پرسش زیر را برای دانش‌آموزان مطرح و در مورد آن گفت‌وگو کنید.

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 یکی از ظرف‌ها با جامد یا مایع پر شده باشد، با باز کردن شیر لوله چه اتفاقی می‌افتد؟ تبخیر ناچیزی را که صورت می‌گیرد نادیده بگیریم.

نیروهای بین مولکولی در مایع‌ها سوق دهید.



دو ویژگی مهم نیروهای بین‌مولکولی

۲ وقتی فاصله بین مولکول‌ها 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 دشوار باشد.

[illegible]

سیم ها

می‌شود، جریان الکتریکی از یک سیم به سمت دیگر جریان پیدا می‌کند. سیم‌های آلومینیومی روی دی‌ها چیده شده‌اند.

بنا به این روش باید به ضخامت لایه‌ای که توسط کاسه آلومینیوم تشکیل می‌شود، بررسی‌های تجربی نشان می‌دهد که وقتی قطعه‌ای در مجاورت هوا قرار می‌گیرد و به‌تازگی از اکسید آلومینیوم روی سطح آن تشکیل می‌شود، سیم‌ها خودشان از این زمینه‌ها دور می‌مانند. در این فضای روی‌های الکتریکی آلومینیوم غیره که به یک رطوبت تبدیل می‌شود، بنابراین هنگام اتصال دو سیم، الکترودها به‌طور آزادانه از یک سیم به سمت دیگر می‌روند.

۲-۲ نیروهای بین مولکولی

[illegible]

۱- بافتن سرخ نام دیگر آلومینیم اکسید است که یکی از سنگ های باارزش در جواهرسازی است.

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. توجه کنید که نیرویی که قطره آب را آویزان به شاخه نگه می‌دارد، نیروی کشش سطحی و فقط در سطح قطره است که البته از نمودهای نیروهای بین‌مولکولی در مایع است.

پاسخ پرسش ۲-۲

نیروهای بین مولکولی در محدوده چندین مولکول مجاور عمل می‌کنند. وقتی قطعه‌های یک شیشه شکسته را به یکدیگر نزدیک می‌کنیم، در واقع فاصله بین مولکول‌های قسمت شکسته شده مربوط به هر قطعه با قطعه 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 فاصله بین قسمت‌های شکسته شده بسیار بیشتر از ابعاد یک مولکول است و چون نیروهای بین مولکولی در این فاصله، عمل نمی‌کنند، لذا دو قطعه شیشه به هم نمی‌چسبند. با گرم کردن دو قطعه شیشه‌ای، نوسان مولکول‌های دو قطعه شیشه‌ای که مجاور هم قرار گرفته‌اند افزایش می‌یابد و همین سبب می‌شود تا فاصله بین مولکول‌های مجاور در دو قطعه به چندین مولکول برسد و نیروهای بین مولکولی عمل کنند و قطعه‌ها به یکدیگر بچسبند.

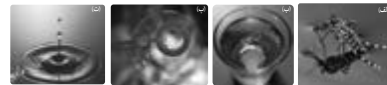
پولک‌های آب در یک ظرف



شکل ۲-۱۰ قطره‌های مایه که روی سطح آب در یک ظرف دیده می‌شوند. این قطره‌ها به دلیل نیروی کشش سطحی آب هستند.

وقتی شیشه می‌شکند یا ترک خوردن قطعه‌های آن به هم می‌توان اجزای شیشه را دوباره به هم چسباند؛ ولی اگر قطعه‌های شیشه را آنقدر گرم کنیم که زخم شوند می‌توان آنها را به هم چسباند. این پدیده‌ها را با توجه به کوتاژ دینامیک نیروهای بین مولکولی توجیه کنید.

کشش سطحی: کشش با ران رخن برخی حشره‌ها روی سطح آب (شکل ۲-۱۱ الف، ب، ج). مثال: مانتن گره نظری کاغذی روی سطح آب (شکل ۲-۱۱ د) و تشکیل حباب‌های آب و صابون (شکل ۲-۱۱ ه). تنها نمونه‌هایی از وجود کشش سطحی هستند. کشش سطحی ناشی از هم‌چسبی مولکول‌های سطح مایع است و آن را می‌توان با نیروهای بین مولکولی توضیح داد. به دلیل نیروهای ریاضی که مولکول‌های سطح مایع را به یکدیگر و به سمت سطح مایع پیوند می‌دهد، با کشش سطحی هم‌چسبی می‌توان توضیح داد که چرا قطره‌های که آزادانه سقوط می‌کنند تقریباً گوی‌اند (شکل ۲-۱۱ ب). به ازای حجمی معین، گره نسبت به هر شکل همدیگر، کوچک‌ترین مساحت سطح را دارد. به این ترتیب سطح قطره‌ای که آزادانه سقوط می‌کند مانند گره پیوسته کشیده شده، تمایل به کمینه کردن مساحتش را دارد.



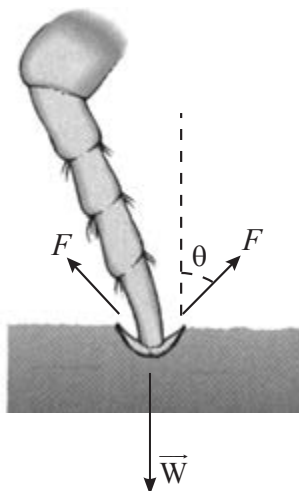
شکل ۲-۱۱ الف: کشش سطحی در روی سطح آب. ب: آمار گره‌های گوی روی سطح آب. ج: تشکیل حباب‌های آب و صابون. د: کاغذی گوی روی سطح آب. ه: حشره‌ای از کشش سطحی.

۱۱

کشش سطحی: در این بخش دانش‌آموزان با پدیده دیگری آشنا می‌شوند که به کمک آن می‌توان به وجود نیروهای بین مولکولی در مایع‌ها پی برد. به همین جهت پیش از هرگونه شرحی در این خصوص از دانش‌آموزان بخواهید فعالیت ۲-۳ را انجام دهند. این فعالیت ساده به خوبی پدیده کشش سطحی را برای دانش‌آموزان نمایش می‌دهد.

هدف شکل ۲-۸ الف استفاده از پدیده کشش سطحی برای توصیف ایستادن حشره بر روی سطح آب است. همان‌طور که در شکل کتاب درسی نیز به خوبی نشان می‌دهد در محل تماس پاهای حشره با سطح آب، فرورفتگی کمی وجود دارد که ناشی از کشش سطحی آب است و نیروی روبه بالای لازم جهت غلبه بر نیروی وزن (\vec{W}) حشره را تأمین می‌کند (شکل روبه‌رو).

مؤلفه قائم و روبه بالای نیروهای \vec{F} ، ناشی از کشش سطحی آب با نیروی وزن حشره \vec{W} ، به تعادل می‌رسد.



پاسخ فعالیت ۲-۳

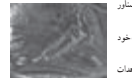
هدف این فعالیت، مشاهده کشش سطحی در مایع‌ها است. با گذاشتن سوزن ته‌گرد، گیره کاغذ و یا تیغ بر روی سطح آب، دانش‌آموزان با واقعیت شگفت‌انگیزی مواجه می‌شوند. آنها مشاهده می‌کنند با وجود آنکه چگالی آهن یا فولاد بیش از هفت برابر چگالی آب است، سوزن، گیره کاغذ یا تیغ بر روی سطح آب باقی می‌ماند. اینک توجه دانش‌آموزان را به فرورفتگی سطح آب، همچون سطحی تحت کشش، در محل تماس آب و سوزن جلب کنید. همین‌جا فرصت مناسبی است تا پدیده کشش سطحی را به کمک دانش‌آموزان 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 باید نیروی وزن سوزن یا تیغ که روبه پایین است با نیروی دیگری که روبه بالاست خنثی شود. این نیروی رو به بالا، ناشی از کشش سطحی آب است.

افزودن قطره‌های مایع شونده (حتی یکی دو قطره) سبب کاهش نیروی هم‌چسبی بین مولکول‌ها در سطح آب و کاهش کشش سطحی می‌شود، یعنی کشش سطحی محلول آب و صابون کمتر از کشش سطحی آب خالص است.

فصل ۲

توضیح ۲-۱

القای کشش سطحی یک سوزن ته‌گرد یا گیره کاغذ را مطابق شکل روی سطح آب نشان دهید. برای این منظور می‌توانید از یک تکه مسطح کاغذی استفاده کنید. بیا پس از نشان دادن سوزن یا گیره کاغذ، سطح آب را به دقت مشاهده کنید و مشاهدات خود را به کلاس گزارش دهید.



آن‌را بردارید. دیدیم که نیروی هم‌چسبی بین مولکول‌های یک‌داده سبب بروز پدیده‌های جالبی می‌شود. هنگامی که دو ماده مختلف در تماس با یکدیگر قرار گیرد، به حالتی موازنه‌ای بین مولکول‌های آنها ظاهر می‌شود که به آن نیروی دگرچسبی می‌گویم. هم‌چسبی و دگرچسبی هر دو عموماً بین مولکول‌ها هستند. تفاوت آنها در این است که هم‌چسبی، جاذبه بین مولکول‌های همان و دگرچسبی جاذبه بین مولکول‌های ناهمسان است.



هرگاه مایعی در تماس با جامدی قرار گیرد دو حالت می‌تواند رخ دهد. یکی اینکه دگرچسبی بین مولکول‌های مایع و جامد از هم‌چسبی بین مولکول‌های مایع بیشتر باشد. در این صورت می‌گویم مایع جامد را تر یا خیس می‌کند. مثلاً در شکل ۲-۱ الف می‌بینیم که آب، سطح نیتروژن را خیس کرده و روی آن پهن شده است. اما اگر نیروی هم‌چسبی بین مولکول‌های مایع از نیروی دگرچسبی بین مولکول‌های مایع و جامد بیشتر باشد می‌گویم مایع جامد را تر نمی‌کند. در شکل ۲-۱ ب می‌بینیم که سطح نیتروژن با چوب، خیس نشده و چوب به شکل قطره روی سطح نیتروژن باقی مانده است (هرچه قطره بزرگ‌تر باشد نیروی گرانش زمین، آن را بیشتر می‌کند).

توضیح ۲-۲

شکل دوباره خروج قطره‌های روغن از دهانه دو ظرفی که نشان می‌دهد. (الف) افزایش مداوم چربی و نیروی هم‌چسبی مولکول‌های یک مایع می‌تواند چه اتفاقی بیفتد؟ بیا توضیح دهید در کدام شکل مایع قطره‌های روغن کمتر است.



بیا چرا هنگام ستن طرف، افزون را استفاده از مایع ظرفشویی، ترجیح می‌دهیم از آب گرم نیز استفاده کنیم؟

توضیح ۲-۳

یک طرف یک تکه نیتروژن که یک (۱ cm) و دیگری (۱۰ cm) را یکی بالاتر از سطح یک تکه نیتروژن سطح به طور کامل دودآمده شود. نیتروژن را از طرف زیر آن روی سطح افقی قرار دهید و سپس روی سطح دودآمده نیتروژن را قرار دهید. آنچه را مشاهده می‌کنید در گروه خود به بحث بگذارید و نتیجه را به کلاس ارائه دهید. بار دیگر سطح نیتروژن را به جای دودآمده کردن، با روغن چرب کنید و آزمایش را تکرار کنید. مشاهده خود را توضیح دهید و نتیجه را به کلاس گزارش دهید. (پس از بحث کلاسی در خصوص این فعالیت، دوباره به تصور و روشن‌تر شدن حاصل بارگردد و باطلی خارج کننده ارائه دهید.)

فعالیت پیشنهادی

یک حلقه 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 (شکل الف) لایه نازکی از آب صابون درون حلقه فلزی تشکیل می‌شود که نخ‌ها را درون خود در بر می‌گیرد. اگر لایه محصور در داخل نخ مسدود را پاره کنید، نخ به شکل دایره‌ای کامل در می‌آید (شکل ب) - دلیل این پدیده آن است که مطابق شکل ب در امتدادهای شعاعی حلقه کشش‌هایی بر نخ وارد می‌شود و آن را به شکل یک دایره کامل در می‌آورد. لازم به ذکر است این نیروها پیش از پاره کردن لایه آب صابون نیز وجود دارد ولی از دو طرف بر نخ وارد و در نتیجه خنثی می‌شود.



بستگی کشش سطحی به دما

یک تعریف برای کمیت کشش سطحی σ این است :

نیروی که لایه سطحی مایع بر یکای طول مرزی محدود کننده این لایه وارد می کند. بنا به این تعریف یکای کشش سطحی Nm^{-1} است. در جدول روبه رو بستگی کشش سطحی آب به دما نشان داده شده است. همان طور که دیده می شود با افزایش دما کشش سطحی آب کاهش می یابد. بررسی کیفی این موضوع را می توانید به عنوان یک طرح (پروژه) برای دانش آموزان علاقه مند مطرح کنید تا به عنوان فعالیتی خارج از کلاس به آن بپردازند و در صورت امکان نتیجه را به کلاس ارائه کنند. لازم است این دانش آموزان با ریاضیات و روابط مربوط به کشش سطحی تا حدودی آشنا شوند.

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

پاسخ پرسش ۳-۲

الف و ب) اگر در فعالیت ۳-۲، دمای آب را نیز افزایش دهید، هم چسبی مولکول های آب کاهش می یابد. (این موضوع در گازها برعکس است). بنابراین دمای قطره های بزرگ تر روغن، کمتر است. پ) به قسمت الف و ب توجه کنید.

پاسخ فعالیت ۴-۲

اضافه شدن یک لایه دوده یا روغن به سطح شیشه، سبب می شود که ارتباط بین مولکول های آب با مولکول های شیشه قطع شود و به یکدیگر نیروی وارد نکنند (توجه کنید ضخامت لایه روغن یا لایه دوده، ده ها برابر ابعاد یک مولکول آب یا شیشه است). از آنجا که نیروهای بین مولکولی کوتاه برد هستند، همین امر سبب می شود رفتار مولکول های آب روی سطح دوده یا روغن نسبت به حالتی که روی سطح شیشه ریخته می شود تغییر کند. در واقع اینک به جای دگر چسبی آب و شیشه، دگر چسبی آب و لایه دوده یا آب و لایه روغن را داریم که چون این دگر چسبی از هم چسبی آب کمتر است، آب روی این سطوح پخش نمی شود و آب سطح را تر یا خیس نمی کند.

فصل ۳

فعالیت ۳-۱

القای حسی یک سوزن به گرد یا گزاف کاغذ را مطابق شکل روی سطح آب نشان دهید. برای این منظور می توانید از یک کنگه مسدود کاغذی استفاده کنید. سپس از نشان دادن سوزن با گزاف سطح آب را به وقت مشاهده کنید و مشاهدات خود را به کلاس گزارش دهید.

پس از آن سوزن نشان سوزن با گزاف سطح آب را به وقت مشاهده کنید و مشاهدات خود را به کلاس گزارش کنید و دلایلی برای آن ارائه دهید.

نشان بدهی: دیدیم که نیروی هم چسبی بین مولکول های یک ماده سبب روغن پدید می آید. هنگامی که دو ماده مختلف در تماس با یکدیگر قرار گیرند نیز جاذبه مولکولی مشابهی بین مولکول های آنها ظاهر می شود که به آن نیروی دگر چسبی می گویم. هم چسبی و دگر چسبی هر دو نیروهای بین مولکولی هستند. تفاوت آنها در این است که هم چسبی، جاذبه بین مولکول های همان و دگر چسبی جاذبه بین مولکول های ناهمسان است.

هرگاه مایعی در تماس با جامدی قرار گیرد دو حالت می تواند رخ دهد. یکی اینکه دگر چسبی بین مولکول های مایع و جامد از هم چسبی بین مولکول های مایع بیشتر باشد. در این صورت می گویم مایع، جامد را تر یا خیس می کند. مثلاً در شکل ۳-۱ الف می بینید که آب، سطح شیشه تمیز را خیس کرده و روی آن پهن شده است. اما اگر نیروی هم چسبی بین مولکول های مایع از نیروی دگر چسبی بین مولکول های مایع و جامد بیشتر باشد می گویم مایع جامد را تر نمی کند. در شکل ۳-۱ ب می بینید که سطح شیشه با چوبه چسب نشده و چوبه به شکل قطره روی سطح شیشه باقی مانده است (هرچه قطره بزرگ تر باشد نیروی گرانش زمین، آن را بیشتر می کشد).

روشنی ۳-۱

شکل روغن و خروج قطره های روغن با دمای متفاوت را از دهانه دو ظرف همگام نشان می دهد. الف) افزایش دما چه تأثیری بر نیروی هم چسبی مولکول های یک مایع می گذارد؟ ب) توضیح دهید در کدام شکل دمای قطره های روغن کمتر است. ب) چرا هنگام تستن ظروف، آزمون بر استفاده از مایع ظرفشویی، ترجیح می دهیم از آب گرم نیز استفاده کنیم؟

فعالیت ۳-۲

یک ظرف یک نشانه کوچک (۱) ابعادی حدود ۱۰ cm در ۱۰ cm را کمی بالاتر از نشانه یک نشانه بزرگ به سطح شیشه به طور کامل دوداند. نشانه را از طرف تیز آن روی سطح افقی قرار دهید و سپس روی سطح دوداند شده آن چند قطره آب بریزید. آنچه را مشاهده می کنید در گروه خود به بحث بگذارید و نتیجه را به کلاس ارائه دهید. بار دیگر سطح شیشه را به جای دوداند کردن، با روغن چرب کنید و آزمایش را تکرار کنید. مشاهده خود را توضیح دهید و نتیجه را به کلاس گزارش دهید. (پس از بحث کافی در خصوص این فعالیت، دوباره به تصویر و بحث شروع فصل بازگردید و با یکی فاجع ارائه دهید.)

با یک رویکرد دقیق تر، ترشوندگی به کشش سطحی مربوط می شود. حل دقیق مسئله های ترشوندگی با ریاضیات پدیده کشش سطحی انجام می شود. دانشتنی برای معلم بعدی را ببینید.

پاسخ فعالیت ۵-۲

به کمک این فعالیت ساده، می توان شناختی کلی از نیروی دگرچسبی بین مولکول های آب و مولکول های کارت به دست آورد. حل دقیق و کمی مسئله به کمک ریاضیات پدیده کشش سطحی است و نشان می دهد نیروی تجربه شده در این فعالیت فقط در لبه های کاردی که روی سطح تحت کشش آب قرار دارد، ظاهر می شود. نیرویی که خود سطح کارت و سطح آب درون لیوان به هم وارد می کنند نیروی $F = PA$ و عمود بر سطح تماس آب و کارت است.

با یک رویکرد دقیق تر، اثر موینگی نیز به کشش سطحی مربوط می شود. محاسبات اثر موینگی با ریاضیات پدیده کشش سطحی انجام می شود. دانستنی برای معلم بعدی را ببینید.

پاسخ فعالیت ۶-۲

یکی از ابتکارات معماران قدیم ایرانی، برای جلوگیری از نفوذ آب به داخل سازه ها، استفاده از ترکیب خاک رس و آهک بود که از آن به نسبت ۶ به ۴، گلی سفت می ساختند و آن را چندین روز ورز می دادند. از این گِل که ساروج نامیده می شد برای ساختن بناهایی که در معرض آب بودند استفاده می کردند. در برخی منابع به استفاده از سفیده تخم مرغ در تهیه ساروج نیز اشاره شده است.

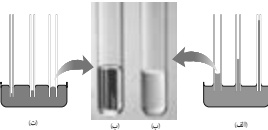
ویژگی های فیزیکی مواد

فعالیت ۵-۲

این فعالیت به شما کمک می کند تا درک بهتری از نیروی دگرچسبی به دست آورید. به این منظور از یک لیوان پر از آب، یک کارت پلاستیکی و تعدادی وزنه چند گرمی یا سکه های پول استفاده کنید. ابتدا مطابق شکل الف، کارت را طوری روی لبه لیوان قرار دهید که تنها پس از آن آب در تماس باشد. وزنه های چند گرمی را روی قسمتی از کارت قرار دهید که با آب در تماس نیست (ابتدا وزنه ۵ گرمی، سپس ۱۰ گرمی و...) نتیجه مشاهده خود را با توجه به مفاهیمی که تاکنون فرا گرفته اید توضیح دهید. یکی دو قطره مایع نشوند، به آب اضافه کنید و آزمایش را تکرار کنید. نتیجه مشاهده خود را در گروه خود به بحث بگذارید.



اثر موینگی: لوله های که قطر داخلی آنها حدود یک ده میلی متر (۱ mm) باشد، معمولاً لوله موین باقیمه می شوند. واژه موین به معنی «میل» مانده است. آزمایش نشان می دهد اگر چند لوله موین نشانه ای و نشو را وارده یک طرف آب کنیم، آب در لوله های موین بالا می رود و سطح آن بالاتر از سطح آب طرف قرار می گیرد. همین هرحه قطر لوله موین کمتر باشد ارتفاع ستون آب در آن بیشتر است. افزون بر این سطح آب در بالای لوله های موین فرود نه است. اگر همین آزمایش ها را با جبهه انجام دهیم مشاهده می کنیم که جبهه در لوله های موین مقداری بالا می رود ولی سطح آن پایین تر از سطح جبهه طرف قرار می گیرد. همین هرحه قطر لوله موین کمتر باشد ارتفاع ستون جبهه در آن کمتر است. افزون بر این سطح جبهه در لوله موین برآمده است. اثر موینگی در لوله های با قطر داخلی بزرگتر از لوله های موین نیز قابل مشاهده است. شکل های ۲-۱، ۲-۲، ۲-۳ و ۲-۴ اثر موینگی را برای آب و شکل های ۲-۱، ۲-۲ و ۲-۳ اثر موینگی را برای جبهه، در چنین لوله های نشان می دهد.



۳۶

فعالیت ۶-۲

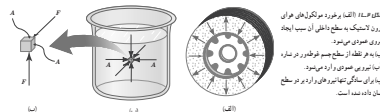
رای توصیه فزاینده تفاوت اثر موینگی آب و جبهه، باید به نرهای هرجسی و دگرچسبی توجه کرد و اما از آنجا که با یکدیگر مقابله کنیم، آب تمایلی به چسبیدن به دیواره های نشانه ای دارد زیرا نیروی دگرچسبی بین مولکول های آب و مولکول های نشانه بیشتر از نیروی هرجسی بین مولکول های آب است. در نتیجه آب سطح نشانه را خیس می کند و مانند شکل ۲-۱، ۲-۲، ۲-۳ در لوله بالا می رود. در مورد جبهه نیروی دگرچسبی بین مولکول های جبهه و مولکول های نشانه کمتر از نیروی هرجسی بین خود مولکول های جبهه است. در نتیجه جبهه سطح نشانه را خیس نمی کند و مانند شکل ۲-۴، ۲-۵ سطح جبهه در لوله موین پایین تر از سطح جبهه درون ظرف قرار می گیرد.



سازهای آبی سوزن که از درون هفتسان تا سالیان، جهت برآوردی بیشتر از آب ساخته شده اند.

فعالیت ۶-۲

وقتی شاربای (لایع یا گِل) سالی است، به مر سطحی که با آن در تماس باشد، مانند چداره یک ظرف با سطح جرسی که در کنار غوطه ور است، نیروی صعودی وارد می کند شکل ۲-۳، ۲-۴. این همان نیروی است که وقتی درون آب استخری قرار دارید روی رده کوش احساس می کنید. با وجود اینکه نادر به عنوان یک گِل سالی است. مولکول های آن در حال حرکتند؛ نیرویی که توسط بنابر، به دیواره داخلی ظرف با به جسم درون نمره وارد می شود و دلیل این حرکت ها و نیروهای تماسی بین مولکول های است. برای گزافای رفتی، به علت اینکه فاصله متوسط بین مولکول ها زیاد است، تقریباً تمام این نیرو ناشی از برخورد مولکول های گاز است.



۳۷

پرسش پیشنهادی

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

فعالیت پیشنهادی

در لیوانی که محتوی مقدار کمی آب است قطعه‌ای گچ تحریر را به صورت قائم قرار دهید طوری که فقط مقدار کمی از پایین گچ درون آب باشد. مشاهده خواهید کرد که پس از مدتی کل گچ خیس می‌شود. 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 پدیده موینگی را نشان می‌دهد. آب بر اثر پدیده موینگی، که ناشی از بزرگ‌تر بودن دگرچسبی بین مولکول‌های آب و گچ از هم‌چسبی بین مولکول‌های آب است، به داخل گچ نفوذ می‌کند و اندک هوای موجود درون گچ را به صورت حباب‌هایی 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.

دانستنی برای معلم

موینگی و زاویه تماس

همان‌طور که در پدیده موینگی مشاهده شد سطح جداکننده مایع در مجاورت جسم جامدی نظیر دیواره ظرف یا لوله، به پایین و یا بالا خمیده می‌شود. زاویه برخورد این سطح با دیواره جامد را زاویه تماس^۱ می‌نامند. در شکل الف و ب به ترتیب زاویه تماس برای دو لوله شیشه‌ای درون ظرف‌های محتوی آب و جیوه نشان داده شده است. در شکل الف زاویه تماس θ کمتر از 90° است زیرا نیروی دگرچسبی بین مولکول‌های آب و شیشه بیشتر از نیروی هم‌چسبی مولکول‌های آب است و به عبارت دیگر آب شیشه را تر می‌کند و سطح جداکننده رو به بالا خمیده می‌شود و $\theta < 90^\circ$ است. در حالی که در شکل ب زاویه تماس θ بیشتر از 90° است، زیرا نیروی هم‌چسبی مولکول‌های جیوه بیشتر از نیروی دگرچسبی 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. اندازه زاویه تماس به جنس جامد، مایع و گاز (در اینجا هوای مجاور سطح مایع و سطح جامد) بستگی دارد. همچنین میزان خلوص و دمای این مواد نیز می‌تواند در اندازه θ مؤثر باشد. فشار ناشی از سطح خمیده مایع: سطح خمیده (کاو یا کوژ) فشار اضافی (مثبت یا منفی) بر مایع وارد می‌کند. برای محاسبه این فشار خود را محدود به موردی می‌کنیم که مایع در لوله‌ای به شعاع داخلی r قرار دارد. سطح خمیده مایع کلاهیکی کروی (محدب یا مقعر) تشکیل می‌دهد که سطح آن با سطح داخلی لوله زاویه تماس θ می‌سازد. جزئی از مرز تماس مایع با جدار لوله جامد، به طول ΔL ، تحت تأثیر نیروی کشش سطحی $F = \sigma \Delta L$ است که در آن σ ضریب ثابت کشش سطحی مایع است. این نیرو در امتداد مماس بر سطح مایع قرار دارد و با تجزیه آن به دو مؤلفه داریم: ΔF_\perp عمود بر جدار لوله و دیگری

$\Delta F_r = -F \cos \theta = -\sigma \Delta L \cos \theta$ موازی با جدار لوله.

مؤلفه ΔF_r موجب فشاری می‌شود که نسبت به فشار جو اضافی است.

برای به دست آوردن این فشار اضافی مؤلفه نیروی ΔF_r را بر مساحت مقطع $A = \pi r^2$ تقسیم می‌کنیم، بنابراین داریم:

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

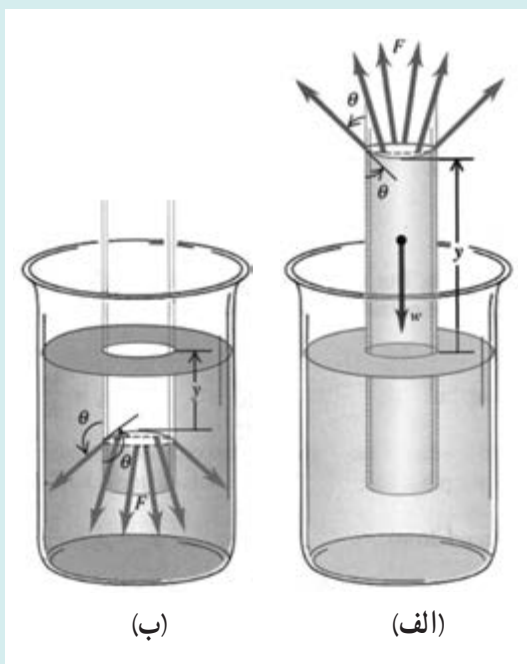
همان‌طور که دیده می‌شود اگر $0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$ باشد داریم $\cos \theta > 0$ و فشار اضافی منفی است و اگر $\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \pi$ باشد، داریم $\cos \theta < 0$ و فشار اضافی مثبت خواهد بود.

ارتفاع بالا آمدگی (یا پایین رفتگی) مایع در لوله موئین را از این واقعیت می‌توان تعیین کرد که مایع درون لوله در صورتی ترازمند خواهد بود که مجموع فشار پیمانه‌ای 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 زاویه تماس حاده ($\cos \theta > 0$) است و بالا آمدگی h مثبت (شکل الف) و برای مایعی که خیس نمی‌کند زاویه تماس منفرجه ($\cos \theta < 0$) و بالا آمدگی h منفی است. سطح مایعی که خیس نمی‌کند در لوله پایین‌تر از سطح آن در ظرف خواهد بود (شکل ب).



۳-۲- فشار در شاره‌ها

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

توجه و تأکید روی تفاوت منشأ فشار در گازها و مایعات به فهم درست دانش‌آموزان از فشار در گازها و مایعات منجر می‌شود.

برای توجیه فیزیکی تفاوت اثر مومنگی آب و جیوه، باید به نیروهای همجسی و دگرجسی توجه کرد و اندازه آنها را با یکدیگر مقایسه کنیم. آب شال به جیبیدن به دیواره‌های نبشته‌ای دارد زیرا نیروی دگرجسی بین مولکول‌های آب و مولکول‌های نبشته بیشتر از نیروی همجسی بین مولکول‌های آب است. در نتیجه آب سطح نبشته را خیس می‌کند و مانند شکل ۳-۲ الف در لوله بالا می‌رود. در مورد جیوه، نیروی دگرجسی بین مولکول‌های جیوه و مولکول‌های نبشته کمتر از نیروی همجسی بین خود مولکول‌های جیوه است. در نتیجه جیوه، سطح نبشته را خیس نمی‌کند و مانند شکل ۳-۲ ب سطح جیوه در لوله موین پایین‌تر از سطح جیوه درون ظرف قرار می‌گیرد.

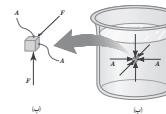


سازمان آبی مومنگ که از جریان غرضانی تا سالیان هفت هجری پیشتر از آب ساخته شده‌اند.

در ساختن دیوارهای ساختمان باید اثر مومنگی در نظر گرفته شود. زیرا اثرات آب از منافذهای موین در این دیوارها می‌تواند سبب خسارت در داخل ساختمان شود. برای جلوگیری از این خسارت، دیوارهای داخل یا خارج ساختمان را معمولاً با مواد تازا آغشته می‌کنند. همچنین در معماری سنتی ایران به جای آفرامود کردن، چگونگی از نفوذ آب به داخل سازه‌ها جلوگیری می‌کردند.

۳-۲-۱ فشار در شاره‌ها

وقتی سازه‌ای (مثل یک گاز) ساکن است، به هر سطحی که با آن در تماس باشد، مانند جداره یک ظرف یا سطح جسی که در شاره موقهور است، نیروی عمودی وارد می‌کند (شکل ۳-۱ الف). این همان نیروی است که وقتی درون آب استخری قرار دارید روی پرتی گوش احساس می‌کنید. با وجود اینکه شاره به عنوان یک کل ساکن است، مولکول‌های آن در حال حرکت دائمی تریوی که وسط شاره به دیواره داخلی ظرف یا به جسم درون شاره وارد می‌شود به دلیل این حرکت‌ها و نیروهای تماسی بین مولکول‌های آن است. برای گازهای رقیق به علت اینکه فاصله متوسط بین مولکول‌ها زیاد است، تقریباً تمام این نیرو ناشی از برخورد مولکول‌های گاز است.



فشار (P) (الف) و عمود مولکول‌های هوا درون لایه‌ای که سطح داخلی از سبب ایجاد نیروی عمودی می‌شود. این به هر نقطه از سطح عمود عمود در شاره. این نیروی عمودی وارد می‌شود. این نیروی عمودی وارد می‌شود. این نیروی عمودی وارد می‌شود. این نیروی عمودی وارد می‌شود.

شکل ۳-۱ الف: فشار در شاره‌ها

توضیح یک آزمایش معروف

معمولاً قبل از ورود به بحث رابطه فشار با عمق در شاره‌های ساکن $(P = P_0 + \rho gh)$ آزمایش نشان داده شده در شکل بعد را برای دانش‌آموزان انجام داده و یا حداقل مورد بحث و گفت‌وگو قرار می‌دهند. در این آزمایش با باز کردن در بطری، آب از سوراخ‌های ۱ و ۲ به بیرون فوران می‌کند. اگر $h_1 = h_2$ به اندازه کافی زیاد باشد، به وضوح دیده می‌شود که پرتاب آب از سوراخ ۲ به بیرون، بیشتر از پرتاب آب از سوراخ ۱ به بیرون است. این مشاهده یعنی اندازه سرعت خروج آب از سوراخ ۲، بیشتر از اندازه سرعت خروج آب از سوراخ ۱ است. فشار آب در محل این سوراخ‌ها را نمی‌توان به سادگی به سرعت خروج آب از سوراخ‌ها ربط داد. با استفاده از بایستگی انرژی و نیز معادله برنولی و با فرض جریان لایه‌ای و بدون اصطکاک داخلی آب در این بطری نشان داده می‌شود فشار در سطح آزاد آب در بطری در باز (که همان فشار هوای محیط P_0 است) با فشار در هر دو سوراخ خروجی ۱ و ۲ برابر است $(P_1 = P_2 = P_0)$. می‌توانید شبیه این بحث را در کتاب فیزیک یوژین هچت، فصل ۹، بخش ۹-۹، معادله برنولی ببینید. همچنین می‌توانید مبانی فیزیک هالیدی-رزینیک-واکر، فصل ۱۴، بخش ۱۴-۶، معادله برنولی، مسئله نمونه ۱۴-۷ را نیز نگاه کنید.

توضیح فیزیکی فشار

فشار P که به یک سطح فرضی A درون شاره وارد می‌شود به صورت نسبت اندازه نیروی عمودی وارد بر این سطح به مساحت آن تعریف می‌شود:

$$P = \frac{F}{A} \quad (3-2)$$

یکای SI فشار، پاسکال (Pa) است که در علوم سال نهم با آن آشنا شدیم. به طوری که داریم:

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$$

مثال ۳-۱



یک زیردریایی غرق در اعماق اقیانوسی به آرامی حرکت می‌کند (شکل زیر). این زیردریایی تعدادی پنجره کوچک دارد. شکل به شعاع 0.07 m دارد. اگر فشار آب در محل هر یک از این پنجره‌ها برابر $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ باشد، نیروی عمودی که آب به سطح خارجی یکی از این پنجره‌ها وارد می‌کند چقدر است؟ پاسخ: مساحت پنجره برابر است با:

$$A = \pi r^2 = \pi (0.07 \text{ m})^2 = 0.015 \text{ m}^2$$

$$F = P \times A = (1.0 \times 10^5 \text{ Pa}) \times (0.015 \text{ m}^2) = 1.5 \times 10^3 \text{ N}$$

به این ترتیب از رابطه (۳-۲) داریم:

$$F = 1.5 \times 10^3 \text{ N}$$

محاسبه فشار در شاره‌ها: در علوم سال نهم دیده فشار هوا در ارتفاع‌های بالا کمتر از فشار در سطح دریاست. به همین دلیل باید در حین روز، فشار هوای کاین هوا را از برای سلامت سورتیان تنظیم کرد. وقتی به درون قسمت استخری سرجه می‌زنیم، با افزایش عمق از سطح آب، افزایش فشار را روی گوش‌های خود احساس می‌کنیم. همچنین انجام آزمایش‌های ساده آزمایش شکل ۳-۲ الف (دیدید که با افزایش عمق از سطح شاره، فشار ناشی از شاره بر افزایش می‌یابد. در ادامه می‌خواهیم یک رابطه کلی برای محاسبه فشار در هر نقطه از شاره درون یک سازه ساکن، دست‌آوریم. به این منظور فرض می‌کنیم شتاب گرانش g و چگالی شاره، یکسان و برابر ρ باشد.

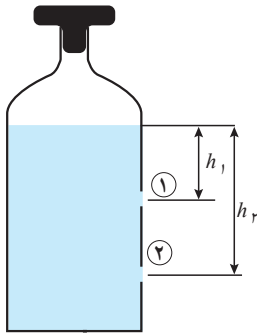


فشار عمود به هر یک از سطوح خارجی (ب) و عمود به هر یک از سطوح داخلی (الف) در شاره. سرعت خروج آب از کدام سوراخ بیشتر است؟

$$P_1 = P_2 = P_0$$

$$P_1 A = P_2 A = P_0 A$$

شاید بتوانیم از این که به تجربه می‌بینیم سرعت خروج آب از سوراخ ۲ بیشتر از سرعت خروج آب از سوراخ ۱ است نتیجه بگیریم که اگر مثلاً بخواهیم با گذاشتن انگشتانمان روی دو سوراخ، جلوی فوران آب به بیرون از بطری را بگیریم انگشتی که روی سوراخ ۲ (سوراخ پایین‌تر) گذاشته می‌شود، باید فشار بیشتری (در حالت استاتیکی و قطع شدن جریان آب) را در مقایسه با انگشت روی سوراخ ۱ (سوراخ بالاتر) تحمل کند و البته باید مواظب باشیم این فهم خطا در دانش آموزان ایجاد نشود که، «دیدیم آب با فشار بیشتری از سوراخ پایینی (در مقایسه با سوراخ بالایی) به بیرون از بطری فوران می‌کند»، چیزی که هرگز ندیده‌اند!



با برداشتن درپوش از روی دهانه بطری آب از سوراخ‌های ۱ و ۲ به بیرون فوران می‌کند. آب خروجی از سوراخ ۲ سرعت بیشتری از آب خروجی از سوراخ ۱ دارد. در این حالت فشار آب در محل دو سوراخ با فشار هوا در سطح آزاد مایع داخل بطری برابر است، $P_1 = P_2 = P_0$.

بنا به این نتیجه برای یک کپسول پر از مایع، در فضای بدون گرانش (خیلی دور از زمین و دیگر سیارات و ستارگان) اختلاف فشار بین نقاط درون کپسول صفر است و نه خود فشار شاره درون کپسول. این نتیجه با تأکید اولیه بحث بر اینکه منشأ فشار در شاره‌ها، جنبش مولکولی و نیروهای بین مولکولی است نیز همخوان است. برای تأکید بیشتر بر این نوع نگاه به فشار شاره‌ها، می‌توانید به معادله حالت شاره فکر کنید، مثلاً برای گاز کامل با معادله حالت $P = \frac{nRT}{V}$ فشار گاز درون یک مخزن فقط به حجم مخزن، دمای گاز و مقدار گاز بستگی دارد.

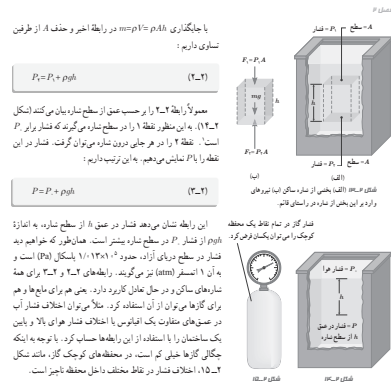
لازم است همکاران بزرگوار توجه داشته باشند که در کتاب درسی در رابطه $P = P_0 + \rho gh$ ، به جمله ρgh فشار شاره گفته نشده است. در این کتاب و بنا به فهمی که از فشار در شاره و منشأ آن به دانش آموز داده شده است (پاراگراف‌های آغاز بحث «۳-۲ فشار در شاره‌ها»)، در رابطه $P = P_0 + \rho gh$ به P فشار در شاره گفته‌ایم. اگر در سؤال یا تمرینی لازم است نیروی $F = PA$ مورد گفت‌وگو قرار گیرد و می‌خواهید خیلی سختگیرانه و با احتیاط حرف بزنید می‌توانید به این نیرو، «نیروی ناشی از فشار در شاره» بگویید، یا مثلاً اگر شاره، مایع است، این نیرو را نیروی تماسی که مایع به سطح مورد نظر وارد می‌کند، بنامید.



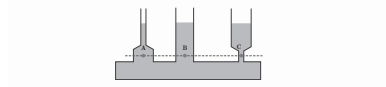
پاسخ پرسش ۲-۴

انتظار می‌رود دانش‌آموزان با توجه به رابطه ۲-۳ به این نکته اشاره کنند که در سطح مایع، فشار ناشی از هوای P_0 وجود دارد. بنابراین در عمق یکسان h از سطح مایع، فشار $P_0 + \rho gh$ در نقاط هم‌تراز A، B و C یکسان است.

البته ممکن است برخی دانش‌آموزان قوی متوجه این نکته باشند که در ضمن همان استدلالی که برای رابطه $P = P_0 + \rho gh$ در کتاب آمده است، هم‌فشار بودن نقاط هم‌تراز شاره ساکن نیز نهفته است. کافی است در شکل ۲-۱۳ کتاب درسی به جای فکر کردن به متوازن بودن نیروها در امتداد قائم، به متوازن بودن نیروها در امتداد افقی فکر کنید، هم‌فشار بودن نقاط هم‌تراز فهمیده می‌شود. هم‌فشار بودن نقاط هم‌تراز، نتیجه رابطه $P = P_0 + \rho gh$ نیست، بلکه همان‌طور که به درستی در ادبیات پرسش ۲-۴ مورد تأکید قرار گرفته است، این دو گزاره فیزیکی با هم سازگاری دارند.



این رابطه نشان می‌دهد فشار در عمق h از سطح شاره، به اندازه ρgh از فشار P_0 در سطح شاره بیشتر است. همان‌طور که خواهیم دید فشار در سطح دربی آزاد، حدود 10^5 Pa (۱۰۰۰۰۰ پاسکال) است و به آن 1 atm (اتم) نیز می‌گویند. رابطه‌های ۲-۳ و ۲-۴ برای مایع‌ها و شاره‌های ساکن و در حال خال کاربرد دارد. حتی برای مایع‌ها و شاره‌ها می‌توان از آن استفاده کرد. مثلاً می‌توان اختلاف فشار آب یک ساختمان را با استفاده از این رابطه حساب کرد. با توجه به اینکه چگالی گازها خیلی کم است، در محفظه‌های کوچک گاز، مانند شکل ۲-۱۵، اختلاف فشار در نقاط مختلف داخل محفظه ناچیز است.



در علوم سال نهم جدید که فشار در نقاط هم‌تراز یک مایع ساکن مانند نقاط A، B و C در شکل یکسان است و به شکل طرف بستگی ندارد. سازگاری این موضوع را با رابطه ۲-۳ توضیح دهید.

۱- درونی‌های عمق هم‌تراز است. هم‌تراز فشار هوا را در سطح آزاد می‌دانیم و درونی‌های عمق هم‌تراز است.

پاسخ تمرین ۲-۱

نخست فشار را در عمق 5° متری دریاچه می‌یابیم.

$$P = P_0 + \rho gh = 1.0 \times 10^5 \text{ Pa} +$$

$$(1000 \text{ kg/m}^3)(9.8 \text{ N/kg})(5 \text{ m}) =$$

$$150000 \text{ Pa} \approx 1.5 \times 10^5 \text{ Pa}$$

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

$$F = PA = (1.5 \times 10^5 \text{ Pa})(10^{-4} \text{ m}^2) = 15 \text{ N}$$

توجه کنید وقتی این شناگر درون آب نبود نیرویی که فشار هوا به پرده گوش شناگر وارد می‌کرد برابر بود با:

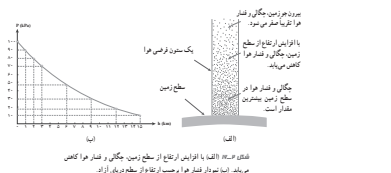
$$F = P_0 A \approx 10 \text{ N}$$

وارد به پرده گوش شناگر، 5 N افزایش یافته است.

این افزایش نیرو معادل وزن یک جسم 5° کیلوگرمی است که می‌تواند برای گوش دردناک و ناراحت‌کننده باشد.



برای محاسبه اختلاف فشار بین دو نقطه از هوا که اختلاف ارتفاع فاصلی توجیهی دارند، دیگر نمی‌توان از رابطه ۲-۳ استفاده کرد. برای مثال، اختلاف فشار قله دماوند و سطح دریا با استفاده از این رابطه، حدود $2.3 \times 10^5 \text{ Pa}$ به دست می‌آید در حالی که مقدار واقعی آن نزدیک به $5 \times 10^5 \text{ Pa}$ است! برای یافتن دلیل تفاوت آشکار بین این مقادیر، باید توجه کنیم که با افزایش ارتفاع از سطح زمین، چگالی هوا کاهش می‌یابد. شکل ۲-۴۰، محاسبه‌های دقیق‌تر نشان می‌دهد که تغییر فشار بر حسب ارتفاع از سطح زمین، مطابق نمودار شکل ۲-۴۰ ب است. نیروی جاذبه زمین سبب می‌شود که لایه‌های زیرین هوا نسبت به لایه‌های بالایی هوا تراکم‌تر شوند. در نتیجه هرچه به سطح زمین نزدیک‌تر می‌شویم، چگالی و فشار هوا بیشتر می‌شود.



فشار هوا با افزایش ارتفاع از سطح زمین، چگالی و فشار هوا کاهش می‌یابد. ابتدا نمودار فشار هوا بر حسب ارتفاع از سطح زمین را در

پاسخ تمرین ۲-۲

سطح افقی بالایی مکعب را سطح ۱ و سطح افقی زیر مکعب را سطح ۲ و فاصله این دو سطح از هم را که همان طول ضلع مکعب است h می‌نامیم. با توجه به شکل ۲-۱۳ کتاب درسی (صفحه ۳۴) و با استفاده از رابطه ۲-۲ می‌توان گفت:

$$P_2 = P_1 + \rho gh$$

$$1.05 \times 10^5 \text{ Pa} = 1.0 \times 10^5 \text{ Pa} + \rho (9.8 \text{ N/kg}) (0.2 \text{ m})$$

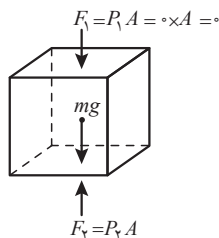
$$(1.05 - 1.0) \times 10^5 \text{ Pa} = \rho (9.8 \text{ N/kg}) (0.2 \text{ m})$$

$$\rho \approx 2.5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

پاسخ تمرین ۳-۲

برای به دست آوردن جرم هوای موجود در این ستون فرضی، مشابه آنچه در شکل ۲-۱۳ کتاب درسی (صفحه ۳۴) و توضیح مربوط به این شکل در متن درس دیدید، به نیروهای در امتداد قائم مؤثر بر این ستون فرضی هوا فکر می‌کنیم و قانون دوم نیوتون را برای این نیروها به کار می‌بریم:

چون نیروها متوازن اند برآیند نیروها صفر است. پس:



$$mg = F_2$$

$$mg = P_2 A \Rightarrow m = \frac{P_2 A}{g} = \frac{(1.05 \times 10^5 \text{ Pa})(1.0)}{(9.8 \text{ N/kg})} = 1.07 \times 10^4 \text{ kg}$$

همکاران بزرگوار برای دانش‌آموزان توضیح دهند و تأکید کنند که بنا به فهمی که از فشار در گازها داریم نیروی $F_2 = P_2 A$ نیروی ناشی از ضرباتی است که ذرات گاز در نتیجه حرکات تصادفی و جنبش مولکولی، به سطح زمین وارد می‌کنند (نیروی بین مولکولی در گازها سهم کمی در فشار گاز دارد). این نیرو (F_2)، نیروی وزن گاز (mg) نیست. تساوی F_2 و

فشار هوا

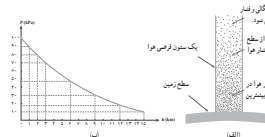
تمرین ۱-۱

شناگری در عمق ۵ متر از سطح آب دریاچه ای شنا می‌کند. فشار در این عمق چقدر است؟ اگر مساحت روده گوش را یک سانتی‌متر مربع (1 cm^2) فرض کنیم، وزنی نیروی که به روده گوش این شناگر وارد می‌شود چند نیوتون است؟ فشار هوای محیط را $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$ بگیرد.

تمرین ۱-۲

جسم مکعبی به طول ضلع 20 cm درون تارهای لوله‌شور و در حال تعادل است (شکل روبرو). فشار در بالای و زیر جسم به ترتیب برابر 1.05 و 1.0 کیلوپاسکال است. چگالی تارها چند کیلوگرم بر متر مکعب است؟ (راهنمایی: از رابطه ۲-۲ استفاده کنید.)

برای محاسبه اختلاف فشار بین دو نقطه از هوا که اختلاف ارتفاع قابل توجهی دارند، دیگر نمی‌توان از رابطه ۲-۲ استفاده کرد. برای مثال، اختلاف فشار قله دماوند و سطح دریا با استفاده از این رابطه حدود 34 kPa به دست می‌آید در حالی که مقدار واقعی آن نزدیک به 54 kPa است! برای یافتن دلیل تفاوت آنست که این معادله، باید توجه کنیم که با افزایش ارتفاع از سطح زمین، چگالی هوا کاهش می‌یابد (شکل ۲-۱۴). محاسبه‌های دقیق‌تر نشان می‌دهد که تغییر فشار بر حسب ارتفاع از سطح زمین، مطابق نمودار شکل ۲-۱۴ است. تری جاذبه زمین سبب می‌شود که لایه‌های زیرین هوا نسبت به لایه‌های بالایی هوا تراکم‌تر شوند. در نتیجه به سطح زمین نزدیک‌تر می‌شویم، چگالی و فشار هوا بیشتر می‌شود.



شکل ۲-۱۴: فشار هوا با افزایش ارتفاع از سطح زمین، چگالی و فشار هوا کاهش می‌یابد. (این نمودار فشار هوا بر حسب ارتفاع از سطح دریا را نشان می‌دهد.)

۳۶

ویژگی‌های فیزیکی مواد

تمرین ۲-۱

در آزمایشی روی قند های آب و هوا، معمولاً از یکای بار (bar) برای فشار هوا استفاده می‌کنند. به طوری که داریم:

$$1 \text{ bar} = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa} = 1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

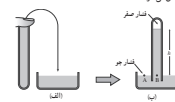
یک ستون فرضی از هوا به سطح مقطع 1 m^2 که نظر کنید که از سطح دریا آزاد تا بالاترین بخش جو زمین ادامه می‌یابد (شکل روبرو). اگر فشار هوا را در سطح دریا 1 bar در نظر بگیریم، چند کیلوگرم هوا در این ستون فرضی وجود دارد؟ با توجه به شکل ۲-۱۴، به چند درصد این جرم با ارتفاع 9 کیلومتری این ستون فرضی قرار دارد؟

فشار هوا (بارومتر) وسیله‌ای ساده که برای اندازه‌گیری فشار جو به کار می‌رود. این فشارسنج در سال ۱۶۴۲ میلادی توسط اورتویلیو فیکاندان ایتالیایی اختراع شد. فشارسنج هوا شامل یک لوله شیشه‌ای شده (به طول تقریبی 80 سانتی‌متر) با یک سر بسته است که از جوی پر شده (شکل ۲-۱۵) آب و سپس در یک ظرف محوطی جوی به طور وارون قرار گرفته است (شکل ۲-۱۶). فضای خالی بالای ستون جوی، تنها محوطی بخار جوی است که فشار آن ناچیز بوده و در عمل برابر صفر فرض می‌شود.



تاریخچه بارومتر (۱۶۴۲-۱۶۴۳)

یکی از فیزیک‌دانان و ریاضی‌دانان ایتالیایی و دانشمند برجسته، اورتویلیو فیکاندان در اواخر قرن شانزدهم میلادی برای اندازه‌گیری ارتفاع بارومتر یا جویسنج ساخت. در این دستگاه، جوی پر شده از آب و سپس در یک ظرف محوطی جوی به طور وارون قرار گرفته است (شکل ۲-۱۶). فضای خالی بالای ستون جوی، تنها محوطی بخار جوی است که فشار آن ناچیز بوده و در عمل برابر صفر فرض می‌شود.



شکل ۲-۱۵: فشارسنج جوی برای اندازه‌گیری فشار جو به کار می‌رود.

فشار در نقطه B برابر P_B و در نقطه A برابر P_A است. چون نقاط A و B هر از آن، می‌توان نوشت:

$$P_B = P_A + \rho gh \Rightarrow P_A = P_B - \rho gh$$

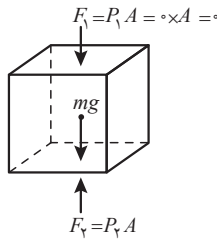
با این فشارسنج، فشار جو را به طور مستقیم از روی ارتفاع ستون جوی می‌توانیم بدست آوریم. در سطح دریا آزاد این ارتفاع حدود 760 mm است. به همین دلیل در بسیاری موارد فشار اندازه‌گیری شده بر حسب میلی‌متر جوی (mmHg) یا سانتی‌متر جوی (cmHg) بیان می‌شود.

۱. چون جوی و بخار آن بسیار سرد است و در دمای صفر یا کمتر قرار می‌گیرد، به سبب انقباض جوی، مقدار کمی از آب در دمای صفر یخ می‌زند.

۲. به سبب تغییر چگالی هوا با ارتفاع، مقدار کمی از آب در دمای صفر یخ می‌زند.

۳۷

mg نتیجه به کار بستن قانون دوم نیوتون برای ستون گاز است.



برای اینکه بفهمیم چند درصد جرم هوای موجود در این ستون فرضی تا ارتفاع ۹ کیلومتری این ستون وجود دارد، باید محاسبه قسمت قبل را برای بخشی از ستون که بالاتر از ارتفاع ۹ کیلومتری است و یا بخشی از ستون که پایین تر از ارتفاع ۹ کیلومتری است تکرار کنیم. در اینجا محاسبه را برای بخشی از ستون که بالاتر از ارتفاع ۹ کیلومتری است انجام می دهیم.

$$mg = F_j = P_j A \Rightarrow m = \frac{P_j A}{g}$$

که این بار، P_j فشار در ارتفاع ۹ کیلومتری است. با استفاده از نمودار شکل ۱۶-۲ صفحه ۳۶ کتاب درسی، فشار در این ارتفاع ۳۰ kpa است.

$$m = \frac{P_j A}{g} = \frac{(30 \times 10^3 \text{ Pa})(1 \times 10^7 \text{ m}^2)}{(9.8 \text{ N/kg})} = 3061 \text{ kg} \approx 3.06 \times 10^3 \text{ kg}$$

جرم هوای موجود در کل ستون فرضی $10^4 \times 10^3 \text{ kg}$ و جرم هوای موجود در بخش بالایی ستون $3.06 \times 10^3 \text{ kg}$ است، یعنی ۷۰٪ جرم هوای موجود در ستون فرضی در پایین تر از ارتفاع ۹ کیلومتری ستون است.

پاسخ پرسش ۵-۲

الف) از آنجا که چگالی آب حدود ۱۴ مرتبه از چگالی جیوه کمتر است، لذا اگر تورچلی در نظر داشت از آب استفاده کند، بنا به رابطه ۴-۲ کتاب ($P = \rho gh$) مجبور بود لوله ای بلند به طول حدود ۱۰ متر فراهم کند! شکل الف به این موضوع اشاره دارد.

ب) مقدار بالا رفتن جیوه درون لوله های غیرمومین در فشارسنج تورچلی، بنا به رابطه ۴-۲ کتاب فقط مربوط به فشار هوا (P_0)، چگالی جیوه (P) و اندازه شتاب گرانش زمین (g) است و ربطی به طول و سطح مقطع لوله در شکل ندارد. ب) این سوراخ ریز برای ورود هوا به داخل بدنه لاکمی خودکار و وارد کردن فشار هوا به سطح جوهر درون لوله 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 از گوی فلزی غلتان به بیرون لوله نمی آید و خودکار نمی نویسد.



پایه‌های فیزیکی مواد

۷-۲-۱ فعالیت

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

۷-۲-۲ تئوری و کاربرد

فشارستح بروردن بسیاری از فشارستح‌ها برای اندازه‌گیری فشار یک‌نشان از یک‌لوته شمشیرک‌سرس‌ت‌و فای‌الطاف استفاده می‌کنند شکل روی‌رو. انتهای این‌لوته به غفره‌ای متصل است که فشار را روی صفحه‌ای طرح‌شده می‌دهد. غیر فشارستح‌های نشان‌دار درون‌لوته‌ب‌ب‌شکل‌لوته در نتیجه حرکت غفره روی صفحه طرح می‌شود. این فشارستح‌ها که به فشارستح بروردن شناخته می‌شوند معمولاً برای اندازه‌گیری فشار در مخزن‌های گاز و همچنین اندازه‌گیری فشار باد لاستیک وسیله‌های نقلیه به کار می‌روند.

یکی دیگر از یک‌نکته‌های متداول فشار، آنسفر یا جو است که با نماد atm نمایش داده می‌شود. فشار یک آنسفر به صورت فشار معادل ستونی از جیوه به ارتفاع 760 mm تعریف می‌شود (در دمای 0°C و به ازای $g = 9.80665\text{ m/s}^2$). هر آنسفر معادل چند پاسکال است؟ چگالی جیوه را برای 13600 kg/m^3 بگیرید.
پاسخ : رابطه $4 =$ فشار جو را بر حسب ارتفاع ستون جیوه به ما می‌دهد. با جایگذاری مقدار داده شده در این رابطه داریم :
 $P = P_0 = P_{atm} = (13600\text{ kg/m}^3)(9.80665\text{ m/s}^2)(0.76\text{ m}) = 1.01325 \times 10^5\text{ Pa}$
همان‌طور که دیده می‌شود 1 atm تنها از 101325 Pa بیشتر است.

۷-۲-۳ مثال

عمیق‌ترین قسمت خلیج فارس با عمقی حدود 93 متر در نزدیکی جزیره تنب بزرگ قرار دارد. فشار پیمانه‌ای در این عمق چند پاسکال است؟ چگالی آب خلیج فارس را 1028 kg/m^3 بگیرید.
پاسخ : همان‌طور که دیدیم، فشار پیمانه‌ای برابر اختلاف فشار درون‌نشان با فشار جو است. به این ترتیب داریم :
 $P - P_0 = P_{atm} = (1028\text{ kg/m}^3)(9.80665\text{ m/s}^2)(93\text{ m}) = 939119\text{ Pa} = 9.39119 \times 10^5\text{ Pa}$

در این مثال فشارستح‌ها از یک‌نکته‌های نشان‌دار فشارستح‌های معروفی که $1\text{ atm} = 101325\text{ Pa}$ است و $1\text{ Pa} = 1\text{ newton per square meter}$ (نیوتن بر متر مربع) است.

پاسخ فعالیت ۷-۲

وسایل لازم :

قیف، پوسته کشسان، سطل پر از آب، لوله U شکل و شیلنگ شفاف حاوی آب رنگ شده (مثلاً با پرمنگنات پتاسیم)

شرح آزمایش

۱- انتهای قیف را مطابق شکل به کمک شیلنگ به یک شاخه لوله U شکل وصل کنید.

۲- در لوله U شکل مقداری آب رنگی بریزید.

۳- به دهانه قیف، پوسته‌ای کشسان مانند بادکنک کشیده شده را وصل کنید.

۴- با وارد کردن قیف در سطل آب موارد زیر را تحقیق کنید.

الف) چگونگی بستگی فشار به عمق

ب) یکسان بودن فشار در نقاط هم‌عمق

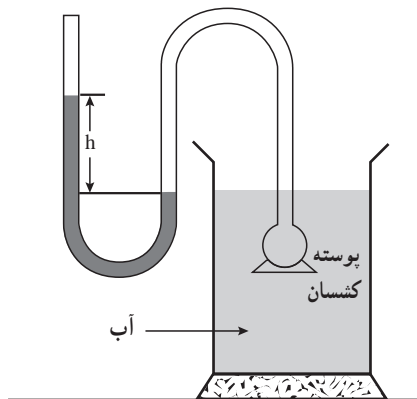
پ) عدم بستگی فشار در هر نقطه از مایع به جهت‌گیری پوسته در آن نقطه.

از این آزمایش می‌توان نتیجه گرفت که فشار در محل پوسته به

جهت‌گیری پوسته بستگی ندارد و فقط به عمق آب در مکانی که پوسته در

آن قرار دارد، وابسته است، یعنی در یک عمق معین فشار در محل پوسته

در مکان‌های مختلف و در وضعیت افقی و قائم پوسته یکسان است.



پاسخ تمرین ۲-۴

خونی که در سیاهرگ جریان دارد در حال برگشت از بافت هاست و فشار آن به شدت افت کرده است. به همین دلیل محلول سرم را در سیاهرگ تزریق می کنند که فشار خون در آن نسبت به سرخرگ بسیار کمتر است.

$$P_g = P - P_o = \rho gh$$

$$P_g = \rho_{\text{محلول}} gh_{\text{محلول}} = (1050 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})(9/8 \frac{\text{N}}{\text{kg}})(1/20 \text{ m})$$

$$= 1/23 \times 10^4 \text{ Pa} \approx 1/2 \times 10^4 \text{ Pa}$$

برای اینکه بفهمیم این فشار پیمانه ای برابر با چند میلی متر جیوه است باید P_g به دست آمده را برابر با ρgh ستونی به ارتفاع h از جیوه قرار دهیم و h این ستون را برحسب میلی متر بیابیم. چگالی جیوه را از جدول ۱-۸ صفحه ۱۶ کتاب درسی نگاه می کنیم.

تمرین ۲-۳

شکل رویه رو یک کبسه لاستیکی حاوی محلولی را نشان می دهد که در حال تزریق به یک بیمار است. سوزن سرنگی را به قسمت خالی از مایع بالای این کبسه وارد می کنند طوری که فشار هوا در این بخش از کبسه همواره با فشار هوای بیرون برابر بماند. اگر فشار پیمانه ای در سیاهرگ ۱۳۳۰ باسکال باشد، ارتفاع کبسه را چقدر باشند تا محلول در سیاهرگ نفوذ کند؟ چگالی محلول را 1050 kg/m^3 بگیرید.

حوب است بداند

شکل الف فشارسنجی را نشان می دهد که برای اندازه گیری فشار خون به کار می رود. با چندین بار فشردن مخزن لاستیکی بر از هوا، فشار دست پند افزایش می یابد تا جریان خون در سرخرگ اصلی دست در بازو متوقف شود. سپس درجه مخزن باز شده و شخص اندازه گیرنده با گوشی به صدای عبور خون از سرخرگ گوش می کند. وقتی فشاری که دست پند به سرخرگ اصلی دست وارد می کند در حال کاهش باشد، درست زمانی که فشار به زیر پیمانه فشار خونی که قلب تولید می کند (فشار سیستولی) فرو افتد، سرخرگ برای یک لحظه در هر ضربان قلب باز می شود. در این شرایط، جریان خون متلاطم، بزرگ و صدا با تندی زیاد است و می توان آن را با گوشی شنید. فشارسنج طوری درجه بندی شده است که فشار را بر حسب mmHg نشان می دهد و مقدار به دست آمده حدود ۱۲ mmHg برای قلب معمولی است. با کاهش بیشتر فشار دست پند، صداهای متلاطم هنوز شنیده می شود تا فشار به زیر فشار کبسه قلب (فشار دیستولی) فرو افتد. در این وضعیت صداهای مداوم می شنیده می شود. در قلب عادی، این فشار در فشاری حدود ۸ mmHg رخ می دهد. فشار خون را معمولاً بر حسب نسبت فشار سیستولی به فشار دیستولی بیان می کنند، که برای قلب سالم ۱۲۰/۸۰ است.

۲-۴ فشاری

ممکن است بارها تجربه کرده باشید که وقتی توی را وارد آب می کنید، پس از حذف تروی دست، توب به طرف بالا جهیده و روی آب شناور می شود (شکل ۲-۲). الف). همین شناورمانندن کشتی های فولادی روی آب، پدیده ای شناخت با وجود آنکه می دانیم چگالی فولاد حدود ۸ برابر چگالی آب است (شکل ۲-۳). ب). افزون بر اینها، جابه جا کردن یک جسم سنگین غوطه ور داخل آب، خیلی آسان تر از انجام همین کار در خارج آب است (شکل ۲-۴). همدان طور که در

$$(\rho gh) \text{ جیوه} = 1/23 \times 10^4 \text{ Pa}$$

$$(13/6 \times 10^3 \text{ kg/m}^3)(9/8 \text{ N/kg}) h_{\text{جیوه}} = 1/23 \times 10^4 \text{ Pa} \Rightarrow h_{\text{جیوه}} = 0/9223 \text{ m} \approx 92 \text{ mm}$$

$$h_{\text{جیوه}} \approx 92 \text{ mm} \Rightarrow P_g \approx 92 \text{ mmHg}$$

دانش آموزان قوی تر کلاس پس از پیمودن این مسیر برای حل مسئله و توجه و دقت در مسیر طی شده، متوجه می شوند که می توان راه حل را کوتاه تر کرد؛ کافی است ρgh محلول سرم را مساوی ρgh ستونی از جیوه قرار دهیم و h ستون جیوه را بیابیم.

$$\rho_{\text{محلول}} gh_{\text{محلول}} = \rho_{\text{جیوه}} gh_{\text{جیوه}} \Rightarrow h_{\text{جیوه}} = \frac{\rho_{\text{محلول}}}{\rho_{\text{جیوه}}} h_{\text{محلول}}$$

اگر h محلول در تساوی اخیر را برحسب mm جاگذاری کنیم و چگالی P برای محلول و جیوه یکای یکسان (مثلاً kg/m^3) داشته باشند، h جیوه نیز برحسب mm به دست می آید.

$$h_{\text{جیوه}} = \left(\frac{1050 \text{ kg/m}^3}{13/6 \times 10^3 \text{ kg/m}^3} \right) (1/20 \times 10^3 \text{ mm}) = 92/647 \text{ mm} \approx 92/6 \text{ mm}$$

$$h_{\text{جیوه}} \approx 92/6 \text{ mm} \Rightarrow P_g \approx 92/6 \text{ mmHg}$$

اختلاف جزئی جواب در دو راه حل (92 mmHg و $92/6 \text{ mmHg}$) به این دلیل است که در راه حل اول $g = 9/8 \text{ N/kg}$ در محاسبه وارد شد که دارای ۲ رقم معنی دار است و بنابراین پاسخ نهایی $P_g = 92 \text{ mmHg}$ را با دو رقم معنی دار گزارش کردیم؛ ولی

در راه حل دوم، در محاسبه فقط سه کمیت P محلول، P جیوه و h محلول ظاهر شدند که هر کدام دارای حداقل ۳ رقم معنی‌دار هستند و بنابراین پاسخ نهایی را با ۳ رقم معنی‌دار گزارش کردیم.

در عمل به دلیل پدیده‌های دیگری همچون اصطکاک شاره در مسیر، تا ورود به رگ، فشار پیمانه‌ای مایع سرم در محل تزریق کمتر از مقدار به دست آمده در پاسخ این تمرین است.

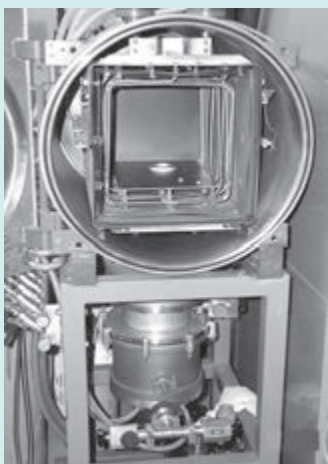
پرسش‌های پیشنهادی

۱ با استفاده از رابطه فشار با عمق در آب، چگونه می‌توان عمق زیردریایی را تعیین کرد؟
پاسخ: با اندازه‌گیری فشار در سطح آب (فشار هوای روی سطح آب) و در عمقی که زیردریایی در آن عمق است و با چشم‌پوشی از تغییر چگالی آب با عمق آب (در عمق زیاد آب اقیانوس‌ها) و با به کارگیری رابطه $P_2 = P_1 + \rho gh$ ، عمق h معلوم می‌شود.

۲ از فشارسنج می‌توان به عنوان ارتفاع سنج استفاده کرد. فرض کنید در ارتفاعی از یک کوه فشارسنجی که همراه دارید کاهش فشار 8 mm-Hg را در مقایسه با پای کوه نشان می‌دهد. ارتفاع این نقطه از کوه تا پای کوه چقدر است؟ چگالی هوا را در این منطقه 1.2 kg/m^3 بگیرید.
پاسخ: $1.0 \times 10^2\text{ m}$

دانستنی برای معلم

خلأ



خلأ به وضعیتی از محیط گازی اطلاق می‌شود که فشار گاز در آن پایین‌تر از فشار محیط است.^۱ ارسطو معتقد بود که چون نور نمی‌تواند به داخل خلأ نفوذ کند، با توجه به قابل رؤیت بودن نور ستارگان در زمین، خلأ نمی‌تواند وجود داشته باشد. پلوتارخ بر آن بود که «طبیعت از خلأ نفرت دارد». نظر ارسطو را آباء کلیسا تا قرن هفدهم نیز پابرجا نگه داشته بودند و حتی نام بردن از «خلأ» را کفر می‌دانستند. رنه دکارت 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 ۱۶۴۰ بود که گاسپارو یرتی فشارسنجی آبی ساخت و خلأ را در فضای بالای ستون آب پدید آورد.

آزمایش معروفی که در سال ۱۶۴۳ توسط دانشمند ایتالیایی، اوانجلیستا توریچلی، طراحی و در سال ۱۶۴۴ توسط وینچنزو وویانی اجرا شد، سرانجام فیلسوفان را نسبت

۱- همکاران توجه دارند که این معنی برای خلأ در کتاب فیزیک ۱ و نیز علوم تجربی پایه نهم نیامده است. بنا به آموزش کتاب‌های درسی ما، دانش‌آموزان از خلأ فهمی دارند شبیه آنچه در فضای تقریباً خالی بالای لوله فشارسنج توریچلی و یا آنچه درون نیم‌کره‌های به هم چسبیده ماگدبورگ در آزمایش اوتوفون گریکه وجود دارد، فضایی با فشار و چگالی گاز ناچیز و تقریباً برابر با صفر.

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 760 mm در بالای سطح تشت جیوه پایین می‌آمد، فضای داخل لوله در بالای سطح جیوه خالی باقی می‌ماند. به خاطر ترس از تکفیر، آزمایش توریچلی در ایتالیا مخفی نگه داشته شد، اما طولی نکشید که خبر ایجاد خلأ به کشورهای دیگر که اقتدار کلیسا در آنها به اندازه رُم نبود، رسید. آزمایش توریچلی در فرانسه (که در آن زمان از پاپ فرانسوی پیروی می‌کرد) و همین‌طور در آلمان 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 ۱۶۶۰ توسط رابرت بویل در انگلستان طراحی شد. در اواخر قرن هفدهم، پمپ‌های خلأ مکانیکی و فشارسنج‌های جیوه‌ای را در انواع آزمایش‌ها به کار می‌بردند. اختراع لامپ‌التهایی در اواخر قرن نوزدهم، که می‌بایستی هنگام تولید تخلیه می‌شد، اولین بار خلأ را در فرایند تولید وارد کرد و فناوری تجاری خلأ را پدید آورد.

یکاهای فشار در گستره خلأ عبارت اند از: پاسکال (در دستگاه SI)، تور و میلی‌بار. فشار جو در سطح دریا برابر 1.013×10^5 پاسکال، 760 تور یا 1.013×10^3 میلی‌بار است. یکای تور، به افتخار توریچلی نام‌گذاری شده است که در ابتدا به عنوان میلی‌متر جیوه (mmHg) معروف بود. گستره فشارهای قابل دسترس در خلأ (از 760 تا کمتر از 10^{-12} تور) به اندازه‌ای وسیع است که به صورت جدول الف تقسیم‌بندی می‌شود.

جدول الف - گستره فشارهای قابل دسترس در خلأ

خلأ	تور (Torr)	پاسکال (Pa)	میلی‌بار (mbar)
خلأ کم	$1 - 760$	$10^5 - 10^2$	$10^3 - 1$
خلأ متوسط	$10^{-3} - 10^{-2}$	$10^{-1} - 10^2$	$10^{-3} - 10^{-1}$
خلأ زیاد	$10^{-8} - 10^{-3}$	$10^{-6} - 10^{-1}$	$10^{-8} - 10^{-3}$
خلأ بسیار زیاد (UHV)	$10^{-12} - 10^{-8}$	$10^{-10} - 10^{-6}$	$10^{-12} - 10^{-8}$
خلأ بسیار بسیار زیاد (XHV)	$< 10^{-12}$	$< 10^{-10}$	$< 10^{-12}$

رابطه فشار با چگالی مولکول‌ها با معادله $p = knT$ که در آن k ثابت بولتزمن، n تعداد مولکول‌ها در هر میلی‌متر، و T دما برحسب کلون است، یا اینکه به صورت $nT = p / (1.36 \times 10^{-19})$ 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 در جدول ب تعداد مولکول‌های گاز را در هر میلی‌لیتر نشان می‌دهد: در فشار 10^{-16} تور (کمترین فشاری که هم تولید شدنی و هم اندازه‌گرفتنی است)

در هر میلی‌لیتر فقط حدود سه مولکول وجود دارد. ستون سوم، تعداد مولکول‌های گاز را که در هر ثانیه بر هر سانتی‌متر مربع برخورد می‌کنند، نشان می‌دهد. در ستون چهارم، گستره بسیار وسیع پارامترهای خلأ به روشن‌ترین شکل نشان داده شده است. مسافت آزاد میانگین، فاصله میانگین بین برخوردهای مولکول‌های گاز است؛ مسافت آزاد میانگین در فشار جو فقط ۶۷ nm (یعنی در حدود ۲۰۰ برابر فاصله بین اتم‌ها در بلور فلزی) و در فشار 10^{-16} Torr در حدود سه برابر فاصله 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 می‌چسبد). این مدت زمان، از ۲/۹ ns در فشار جو تا ۱۶ سال در فشار 10^{-16} تور گسترده است.

جدول ب - گستره فشارهای قابل دسترس در خلأ

فشار (Torr)	چگالی مولکولی $\text{mol} \cdot \text{ml}^{-1}$	شار مولکولی $\text{mol} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	مسافت آزاد میانگین	زمان تک لایه‌ای
۷۶۰	$2/5 \times 10^{19}$	$2/9 \times 10^{23}$	۶۷nm	۲/۹ ns
۱	$3/3 \times 10^{16}$	$3/8 \times 10^{20}$	۵۱μm	۲/۲μs
10^{-3}	$3/3 \times 10^{13}$	$3/8 \times 10^{17}$	۵/۱ cm	۲/۲ms
10^{-8}	$3/3 \times 10^8$	$3/8 \times 10^{12}$	۵/۱ km	۳/۷min
10^{-12}	$3/3 \times 10^2$	$3/8 \times 10^6$	$5/1 \times 10^4 \text{ km}$	۲۵d
10^{-16}	۳/۳	$3/8 \times 10^0$	$5/1 \times 10^8 \text{ km} = (3/4 \text{ AU}^*)$	۱۶۰y

فشار در فضای بین ستاره‌ای را در حدود 10^{-18} 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 10^{-11} تور تخلیه می‌شود و سپس آن را در هلیوم مایع در دمای ۴/۲ K فرو می‌برند؛ فشار برآورد شده در این شرایط از مرتبه 10^{-3} تور است. فشار در سطح کره ماه به هنگام شب در حدود 10^{-13} 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 (در مطالعه سطوح از خلأ بسیار زیاد استفاده می‌شود)، (۲) به منظور تولید پلاسما و نگه‌داری آن به صورت خالص (فیزیک پلاسما و توکامک‌ها)، (۳) در راه‌اندازی دستگاه‌های باریکه الکترونی و یونی، شتاب‌دهنده، برخورد دهنده و حلقه‌های انبارشی و (۴) برای شبیه‌سازی شرایط فضایی.

در کاربردهای صنعتی در موارد زیر از خلأ استفاده می‌شود: (۱) بلند کردن و انتقال دادن (خلأ کم)، (۲) پردازش گرمایی، بسته‌بندی، خشک کردن، گاززدایی، عایق‌سازی گرمایی یا الکتریکی (خلأ زیاد) و (۳) ساخت لامپ‌های روشنایی، لامپ‌های خلأ و برخی ابزارهای حالت جامد.

دانشنامه فیزیک - جلد ۲ - صفحات ۶۷۳ و ۶۷۴.

دانستنی برای معلم

آیا رابطه $P_2 = P_1 + \rho gh$ همواره برای محاسبه فشار در گازها درست است؟

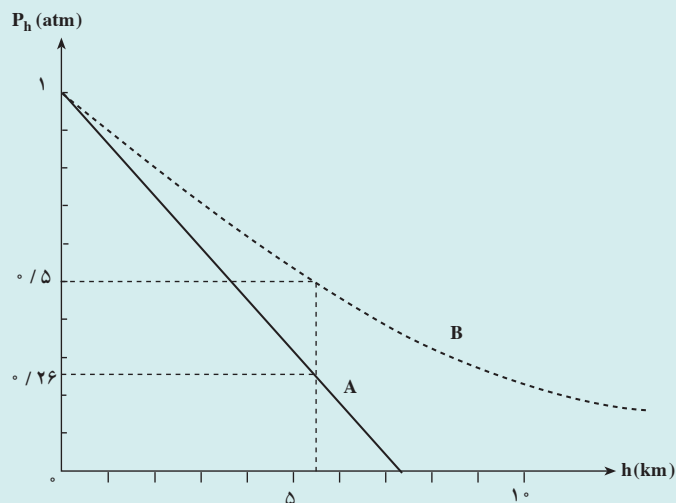
برای بررسی دقیق‌تر موضوع بالا بهتر است با یک مثال شروع کنیم. فرض کنید چگالی هوا در اطراف زمین و در تمام ارتفاع‌ها یکنواخت و برابر $1/3 \text{ kg/m}^3$ باشد. اگر P_h (به جای P_1 آمده است) فشار هوا در ارتفاع h و P_0 (به جای P_2 آمده است) فشار هوا در سطح زمین باشد، داریم:

$$P_0 = P_h + \rho gh$$

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

$$P_h = P_0 - \rho gh = 1 - \frac{1/3 \times 9/8 \times h}{1.05} = 1 - 0.00013 h \text{ (atm برحسب } h \text{ و } P_h \text{ برحسب } m \text{)}$$

منحنی P_h برحسب h در شکل رسم شده است (خط A). هنگامی که اختلاف ارتفاع بین دو نقطه زیاد باشد، تغییر فشار قابل ملاحظه است و نمی‌توان اثر آن را بر تغییر چگالی نادیده گرفت اختلاف فشار قله دماوند و سطح دریا از این روش برابر با 0.74 جو به دست می‌آید. این نتیجه غیرواقعی است. همچنین براین اساس ضخامت جو در حدود $7/7 \text{ km}$ تخمین زده می‌شود. در صورتی که می‌دانیم این ضخامت در حدود 1000 کیلومتر است. چه عاملی در این راه حل به درستی در نظر گرفته نشده است؟



نمودار A بدون در نظر گرفتن تغییر چگالی با تغییر ارتفاع

نمودار B با در نظر گرفتن تغییر چگالی با تغییر ارتفاع

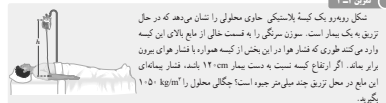
در این مثال چگالی هوا در تمام ارتفاع‌ها یکسان فرض شده است. ولی در ادامه خواهیم دید که این فرض درست نیست. در شاره‌ها، وزن شاره موجود در بالای هر لایه باعث می‌شود که آن لایه متراکم شود. در نتیجه با زیاد شدن عمق (در اینجا با کم شدن ارتفاع h)، چگالی شاره افزایش می‌یابد. در به دست آوردن رابطه اخیر تغییر چگالی با ارتفاع در نظر گرفته نشده است. ما در این 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 و می‌توان گفت چگالی مایع‌ها عملاً در تمام مایع یکسان است. در نتیجه، رابطه اخیر با تقریب بسیار خوبی برای مایع‌ها صادق است. ولی در مورد گازها خصوصاً هنگامی که مثلاً مانند جوزمین، با ارتفاع زیادی از گاز سروکار داریم، باید تغییر چگالی با ارتفاع را نیز در محاسبه‌های خود در نظر بگیریم. می‌توان نشان داد که اگر تغییرات چگالی با ارتفاع را در نظر بگیریم و فشار جو را بر حسب ارتفاع محاسبه کنیم، منحنی خط چین در شکل بالا به دست می‌آید. با مقایسه این دو منحنی ملاحظه می‌شود برای به دست آوردن پاسخ‌های واقعی تر باید تغییر چگالی با ارتفاع را نیز در نظر گرفت. با استفاده از منحنی خط چین، اختلاف فشار قله دماند و سطح دریا برابر با 5° جو به دست می‌آید. رابطه $P_2 = P_1 + \rho gh$ برای یک گاز با حجم محدود که در نقاط مختلف آن چگالی گاز تقریباً یکسان است، قابل استفاده است.

۴-۲- شناوری

راهنمای تدریس: هدف این بخش آشنا کردن دانش‌آموزان با نیروی شناوری، بدون درگیر شدن با ریاضیات این بحث است. در بخش‌های قبلی دانش‌آموزان با مفاهیم مورد نیاز برای توصیف نیروی شناوری آشنا شده‌اند. این بخش را بیشتر به طور تجربی (با انجام فعالیت‌های ساده) و توضیح و توصیف آنچه توسط دانش‌آموزان مشاهده می‌شود دنبال کنید.

فصل دوم

تمرین ۲-۱



خوب است بدانید

شکل الف فشارسنجی را نشان می‌دهد که برای اندازه‌گیری فشار خون به کار می‌رود. با چندین بار فشردن مخزن بالستیک بر از هوا، فشار دستبند افزایش می‌یابد تا جریان خون در سرخرگ اصلی دست در بازو موقتاً متوقف شود. سپس درجه مخزن باز شده و شخصی اندازه‌گیرنده با گوشی به صدای عبور خون از سرخرگ گوش می‌دهد. وقتی فشاری که دستبند به سرخرگ اصلی دست وارد می‌کند در حال کاهش باشد، درست زمانی که فشار به زیر بیشینه فشار خونی که قلب تولید می‌کند (فشار سیستولی) فرو افتد، سرخرگ وای یک لحظه در هر ضربان قلب باز می‌شود. در این شرایط، جریان خون ملاحظه‌شده و سُر و صدا و یا تندی زیاد است و می‌توان آن را با گوشی شنید. فشارسنج طوری درجه‌بندی شده است که فشار را بر حسب mmHg نشان می‌دهد، و مقارن به دست آمده حدود 120 mmHg برای قلب معمولی است. با کاهش بیشتر فشار دستبند، صداهای متناوب هورز شنیده می‌شود تا فشار به زیر فشار کینتیک قلب (فشار دیاستولی) فرو افتد. در این وضعیت صداهای مداوم شنیده می‌شود. در قلب عادی، این گذار در فشاری حدود 80 mmHg رخ می‌دهد. فشار خون را معمولاً بر حسب نسبت فشار سیستولی به فشار دیاستولی بیان می‌کنند، که برای قلب سالم $120/80$ است.

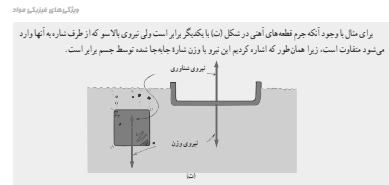


۴-۲-۱ شناوری

ممکن است استارها تجربه کرده باشید که وقتی توی را وارد آب می‌کنید، پس از حذف نیروی دست، توب به طرف بالا جهیده و روی آب شناور می‌شود (شکل ۲-۱). البته، همین شناور ماندن کشتی‌های فولادی روی آب، پدیده‌ای آشناست با آنچه آنکه می‌دانیم چگالی فولاد حدود ۸ برابر چگالی آب است (شکل ۲-۲). افزون بر اینها، چاه‌ها کردن یک جسم سنگین غوطه‌ور داخل آب، جلی آسان‌تر از انجام همین کار در خارج آب است (شکل ۲-۳). همان‌طور که در

با تغییر شکل یک قطعه، می توان حجم شارۀ جابه جا شده توسط آن را تغییر داد. وقتی جسم به صورت مکعب است، حجم شارۀ جابه جا شده توسط آن، نسبت به حالت دیگر که در شکل نشان داده شده کمتر است. در نتیجه قطعه آهنی مکعبی شکل درون آب فرو می رود. در حالی که قطعه تغییر شکل یافته (که مشابه U کشیده است) روی سطح آب شناور می ماند. اساس ساخت کشتی های فولادی، همین تجربه ساده است که شکل آن در کتاب نشان داده شده است.

همکاران بزرگوار توجه دارند که در پاسخ این پرسش از اصل ارشمیدس کمک گرفته ایم. اصل ارشمیدس در برنامه درسی فیزیک ۱ وجود ندارد. این پرسش را نمی توان در آزمون فیزیک ۱ قرار داد. این پرسش و پاسخ فقط برای ((خوب است بدانید)) است.



۲-۵- شارۀ در حرکت و اصل برنولی
تا اینجا به بررسی برخی از ویژگی های فیزیکی شاره های ساکن پرداختیم. اکنون آماده ایم تا یک شارۀ در حال حرکت را بررسی کنیم. وقتی شارۀ ای حرکت می کند، این حرکت می تواند یکم اخت و لایه ای شکل (۲-۲-۱) یا لایه ای و آنبنداک شکل (۲-۲-۲) باشد. درست مانند هوا، که گاهی به صورت سیسی ملایم و گاهی به صورت طوفانی بر آتری می ریزد. هنگام حرکت آب در لوله ها، جریان شد و سریع آب در یک رودخانه شکل (۲-۲-۳) (الف)، حرکت خون درون رگ ها، حرکت هوا درون سازه های گرمایش و سرمایش، جریان دود در هوا (شکل ۲-۲-۴) یا پدیده های جالبی رخ می دهد. بررسی این پدیده ها اغلب می تواند بسیار پیچیده باشد. برای ویزتر از این پیچیدگی ها، مدل آزمای و ساده سازی از یک شارۀ در حال حرکت و بدون تلاطم را بررسی می کنیم. در شارۀ بدون تلاطم، حرکت شارۀ با دقت (یعنی سرعت در هر نقطه از شارۀ با گذشت زمان ثابت است). افزون بر این فرض می کنیم شارۀ تراکم پذیر است (یعنی، چگالی آن ثابت است) و اصطلاح داخلی (گرانژی) ندارد.

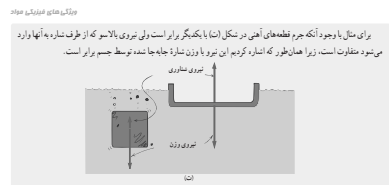


تفاوت در سرعت و فشار در جریان های مختلف. در تصویر سمت چپ، شارۀ در حالت جریان آرام (لاطم) دیده می شود. در تصویر سمت راست، شارۀ در حالت جریان متلاطم (توربولانس) دیده می شود. در هر دو تصویر، شارۀ از یک لوله در حال خروج است.

۲-۵- شارۀ در حرکت و اصل برنولی

راهنمای تدریس: برای شروع پیشنهاد می شود که تفاوت حرکت لایه ای یک شارۀ و حرکت تلاطمی آن را به کمک یک آزمایش ساده برای دانش آموزان نمایش دهید. دو بطری پلاستیکی (ترجیحاً ۱/۵ لیتری) را اختیار کنید. بطری اول را از آب پر کنید و دهانه آن را با دست خود بگیرید و بطری را روی ظرف یا پارچی وارونه کنید و از دانش آموزان بخواهید تا به نحوه خروج آب از بطری توجه کنند. در ته بطری دوم سوراخ کوچکی ایجاد کنید و سوراخ را با چسب نواری مسدود کنید. اکنون بطری را از آب پر کنید و دهانه آن را با دست خود بگیرید تا آب خارج نشود. چسب نواری را از ته بطری جدا کنید و دست خود را از دهانه بطری بردارید. از دانش آموزان بخواهید تا به نحوه خروج آب از بطری توجه کنند و آن را با حالت قبل (بطری اول) مقایسه کنند.

در حالت اول، آب به صورت متلاطم از بطری خارج می شود، زیرا هم زمان با خروج آب از دهانه بطری، هوا نیز از همان دهانه وارد بطری می شود و سبب حرکت متلاطم آب می شود. در حالت



۲-۵- شارۀ در حرکت و اصل برنولی
تا اینجا به بررسی برخی از ویژگی های فیزیکی شاره های ساکن پرداختیم. اکنون آماده ایم تا یک شارۀ در حال حرکت را بررسی کنیم. وقتی شارۀ ای حرکت می کند، این حرکت می تواند یکم اخت و لایه ای شکل (۲-۲-۱) یا لایه ای و آنبنداک شکل (۲-۲-۲) باشد. درست مانند هوا، که گاهی به صورت سیسی ملایم و گاهی به صورت طوفانی بر آتری می ریزد. هنگام حرکت آب در لوله ها، جریان شد و سریع آب در یک رودخانه شکل (۲-۲-۳) (الف)، حرکت خون درون رگ ها، حرکت هوا درون سازه های گرمایش و سرمایش، جریان دود در هوا (شکل ۲-۲-۴) یا پدیده های جالبی رخ می دهد. بررسی این پدیده ها اغلب می تواند بسیار پیچیده باشد. برای ویزتر از این پیچیدگی ها، مدل آزمای و ساده سازی از یک شارۀ در حال حرکت و بدون تلاطم را بررسی می کنیم. در شارۀ بدون تلاطم، حرکت شارۀ با دقت (یعنی سرعت در هر نقطه از شارۀ با گذشت زمان ثابت است). افزون بر این فرض می کنیم شارۀ تراکم پذیر است (یعنی، چگالی آن ثابت است) و اصطلاح داخلی (گرانژی) ندارد.



تفاوت در سرعت و فشار در جریان های مختلف. در تصویر سمت چپ، شارۀ در حالت جریان آرام (لاطم) دیده می شود. در تصویر سمت راست، شارۀ در حالت جریان متلاطم (توربولانس) دیده می شود. در هر دو تصویر، شارۀ از یک لوله در حال خروج است.

90

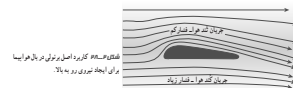
ممکن است برخی دانش آموزان قوی تر در درس، اشکال کنند که هوا ساکن است و هواپیما حرکت می کند. این اشکال، نابجا نیست. بحثی که در اینجا انجام شده، در واقع از نگاه ناظر همراه با هواپیما است. معمولاً در مثال های دیگر برنولی مانند حرکت سریع قطار، یا توبوس نیز همین ملاحظه وجود دارد. این بحث موقعیت خوبی است که دبیران محترم، در صورتی که فضای عمومی کلاس اقتضا کند، کمی در مورد اهمیت انتخاب ناظر و چهارچوب در حل مسئله های فیزیک صحبت کنند. مسئله ای که در یک چهارچوب حل دشواری دارد، در چهارچوب دیگر به سادگی حل می شود.

کاربردهایی از اصل برنولی: از بررسی نیروی بالابر دارد به بال های هواپیما گرفته تا بررسی حرکت کشتی در توب و قنای و اضافه نظر، از اصل برنولی استفاده می شود. شکل ۲۸-۷ آزمایش سادگی را نشان می دهد که در علوم ششم با آن آشنا شدید. وقتی یک ورق کاغذ را جلو دهان می گیرید و در سطح بالای آن می دمید، کاغذ به طرف بالا حرکت می کند. دلیل این پدیده را با توجه به اصل برنولی می توان به سادگی توضیح داد.



شکل ۲۸-۷: تستی برای نشان دادن اینکه سرعت از زیر آن است به اصل برنولی فشار هوا در بالای کاغذ کمتر از زیر آن است.

شکل ۲۸-۸: قسمتی از بال یک هواپیما را نشان می دهد. بال های هواپیما طوری طراحی شده اند که تهی هوا در بالای بال بیشتر از زیر آن است. در نتیجه، فشار هوای بالای بال، کمتر از فشار هوای زیر آن است. به این ترتیب نیروی رو به بالا به بال هواپیما وارد می شود.



بررسی ۲۸-۸

اقتضا روزهای که باد می وزد، ارتفاع موج های دریا با افزایش بالابر از ارتفاع میکنان می شود. با اصل برنولی چگونه می توان افزایش ارتفاع موج را توضیح داد؟
بسیار مشکل رو به رو کابونی را در دو وضعیت سکون و در حال حرکت نشان می دهد. با استفاده از اصل برنولی توضیح دهید چرا وقتی کابون در حال حرکت است پوشش ورزشی آن بک می کند.

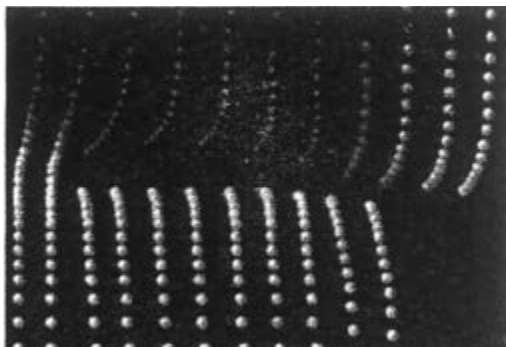
در واقع این نیروی رو به بالا که را پس از موج ایجاد می شود، بخش کوچکی از نیروی بالابر هواپیما را آید می کند. بخش عمده نیروی بالابر و هواپیما نسبتاً مستقیماً دارد، که در موج بحث این کتاب نیست.

توضیح نادرست و رایجی در مورد تفاوت اندازه سرعت جریان هوا در بالا و پایین بال هواپیما وجود دارد. تصحیح این خطا را از کتاب فیزیک دانشگاهی باهم می بینیم:

هشدار

یک برداشت نادرست در مورد بال ها

بحث های ساده شده در مورد بال ها اغلب مدعی آنند که هوا روی سطح بالایی یک بال سریع تر حرکت می کند زیرا «مسیر بیشتری باید حرکت کند.» این ادعا فرض می کند که دو مولکول هوا که در جلوی بال مجاور یکدیگرند و یکی روی سطح بالایی بال و دیگری زیر سطح پایینی آن حرکت می کند، باید در لبه عقبی بال دوباره با هم مواجه شوند. اما این طور نیست! شکل، یک شبیه سازی رایانه ای را از بسته های هوا که اطراف یک بال هواپیما شارش دارد نشان می دهد. بسته هایی که در جلوی بال نزدیک یکدیگرند، در لبه عقبی بال به هم نمی رسند، زیرا شارش روی سطح بالایی بال در واقع نسبت به تصور ساده شده (اما نادرست) سریع تر است. بنابر معادله برنولی، این شارش سریع تر بدان معناست که روی بال حتی نسبت به توصیف ساده شده فشار کمتری (و در نتیجه نیروی بالابر بزرگ تری) وجود دارد.



شبیه سازی رایانه ای شارش هوا اطراف یک بال هواپیما تصویر بسته های هوای در حال شارش اطراف یک بال، نشان می دهد که هوا روی سطح بالایی بال نسبت به سطح زیرین بال خیلی سریع تر حرکت می کند (و آن بسته های هوایی که در لبه جلویی بال با یکدیگرند در لبه عقبی با هم مواجه نمی شوند!)

(فیزیک دانشگاهی، سرز - زیمانسکی، ویراست ۱۲، فصل ۱۴)

پاسخ پرسش ۸-۲

الف) تندی باد در بالای قله موج بیشتر از تندی باد در سطح تخت آب اقیانوس است (شبیه جریان لایه‌ای هوا برای بال هواپیما - شکل ۲۸-۲ کتاب درسی). بنا به اصل برنولی فشار هوا در بالای قله موج کمتر از فشار هوا در مجاورت سطح تخت آب می‌شود. این اختلاف فشار سبب می‌شود ارتفاع موج نسبت به حالتی که باد نمی‌وزد بیشتر باشد.

ب) تندی جریان هوا در بالای پوشش برزنتی بیشتر از تندی جریان هوا در زیر پوشش برزنتی است. بنا به اصل برنولی فشار هوای بالای پوشش کمتر از فشار هوای زیر آن است، در نتیجه هوای زیر پوشش برزنتی که فشار بیشتری دارد سبب پُف کردن پوشش برزنتی به طرف بالا می‌شود.

شکل ۲۸

کاربردهای از اصل برنولی: از بررسی توری‌های وارده به بال‌های هواپیما گرفته تا بررسی حرکت کاتدران توپ فوتبال و افتداد طوط از اصل برنولی استفاده می‌شود. شکل ۲۸-۲ آزمایش ساده‌ای را نشان می‌دهد که در علوم نشسته با آن آشنا شده‌اید. وقتی یک ورق کاغذ را بطور مدعنان می‌گیرید و در سطح بالای آن می‌دمید، کاغذ به طرف بالا حرکت می‌کند. دلیل این پدیده را با توجه به اصل برنولی می‌توان به سادگی توضیح داد.



شکل ۲۸-۲ تندی جریان هوا در بالای کاغذ بیشتر از زیر آن است. به نتیجه می‌رسد که فشار هوا در بالای کاغذ کمتر از زیر آن است.

شکل ۲۸-۲ قسمتی از بال یک هواپیما را نشان می‌دهد. بال‌های هواپیما طوری طراحی شده‌اند که تندی هوا در بالای بال بیشتر از زیر آن است. در نتیجه فشار هوای بالای بال کمتر از فشار هوای زیر آن است. به این ترتیب نیروی روبرو به بالا به بال هواپیما وارد می‌شود.



شکل ۲۸-۲ تندی جریان هوا در بالای کاغذ بیشتر از زیر آن است. به نتیجه می‌رسد که فشار هوا در بالای کاغذ کمتر از زیر آن است.

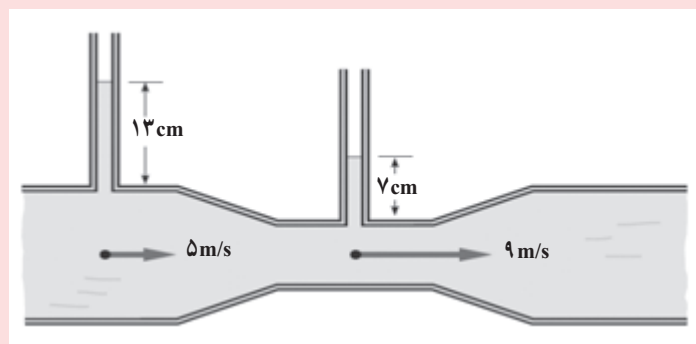
پرسش ۸-۳
التماس روزگاری که باد می‌وزد، ارتفاع موج‌های دریا با افتادوس بالاتر از ارتفاع میانگین می‌شود. با اصل برنولی چگونه می‌توان افزایش ارتفاع موج را توضیح داد؟
بنا به شکل ۲۸-۲ و به روش کاشیونی را در دو وضعیت سکون و در حال حرکت نشان می‌دهد. با استفاده از اصل برنولی توضیح دهید چرا وقتی کاشیون در حال حرکت است پوشش برزنتی آن پُف می‌کند.

در پاسخ این پرسش به شما که در بخش اول این کتاب می‌خوانید، بخش مهمی از آن را در هر یک از کتاب‌های در دسترس خود می‌توانید پیدا کنید.

پرسش‌های پیشنهادی

۱ شکل زیر لوله‌ای با سطح مقطع غیر یکسان در مسیر حرکت شاره را نشان می‌دهد که لوله‌های قائمی در دو قسمت آن قرار داده شده است. تمام حجم درون این لوله از شارۀ در حال حرکتی پر شده است. دریافت خود را از این شکل با توجه به اصل برنولی بیان کنید.

پاسخ: در ناحیه‌ای که سطح مقطع لوله بیشتر است، شارۀ داخل لوله قائم بالاتر رفته و این یعنی در این ناحیه فشار بیشتر است. از سوی دیگر می‌دانیم بنا به معادله پیوستگی در ناحیه‌ای که سطح مقطع لوله بیشتر است تندی شارۀ کمتر است و در نتیجه بنا به اصل برنولی نیز باید در این ناحیه فشار شارۀ بیشتر باشد (دو نگاه سازگار با هم).



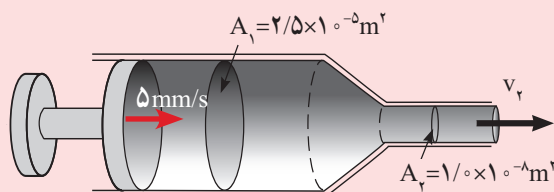
۲ با توجه به اطلاعات شکل زیر، تندی خروج محلول از سرنگ را پیدا کنید (شکل به مقیاس نیست).

پاسخ :

$$v_1 = 5 \text{ mm/s} = 5 \times 10^{-3} \text{ m/s} \text{ و } A_1 = 2/5 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \Rightarrow (2/5 \times 10^{-5} \text{ m}^2) (5 \times 10^{-3} \text{ m/s}) = (1/5 \times 10^{-5} \text{ m}^2) \times v_2$$

$$\Rightarrow v_2 = 10 \text{ mm/s}$$



۳ الف) مطابق شکل الف دو قوطی نوشابه خالی را به صورت خوابیده روی سطح افقی کم اصطکاک و در فاصله نزدیکی از

یکدیگر قرار دهید و به کمک یک نی نوشابه، در فضای بین دو قوطی بدمید. دلیل آنچه را که مشاهده می کنید توضیح دهید.

ب) با توجه به نتایج آزمایش صفحه قبل، چرا مسافران هنگام رسیدن قطار مترو به ایستگاه، باید از خط زرد فاصله بگیرند؟



(ب)



(الف)

پ) چرا در بزرگراه‌ها که خودروها با تندی زیادی در حرکت‌اند، باید فاصله جانبی عرضی را رعایت کنند؟ چرا کورس گذاشتن شانه به شانه دو خودرو که با تندی زیادی در حرکت‌اند، خطرناک است؟

پاسخ :

الف) هوای بین قوطی‌ها تندی بیشتری از هوا در طرف دیگر قوطی‌ها دارد، بنابراین فشار در ناحیه بین دو قوطی، مطابق اصل برنولی کمتر از فشار در طرف دیگر قوطی‌هاست و در نتیجه قوطی‌ها به طرف هم رانده می‌شوند.

ب) هوای مجاور قطار به دلیل حرکت قطار با تندی بیشتری نسبت به هوای اطراف حرکت می‌کند، بنابراین در نزدیکی قطار یک ناحیه کم فشار ایجاد می‌شود که برای احتیاط باید از این ناحیه فاصله گرفت. البته این افت فشار غالباً ناچیز است و نمی‌تواند

سبب هل دادن مسافران به طرف محدوده حرکت قطار شود. علت اصلی لزوم فاصله گرفتن از خط زرد، امنیت بخشی به مسافران در برابر سقوط احتمالی به محدوده گود و پرمخاطره حرکت قطارها است.

پ) تندی جریان هوا در فضای بین دو خودرو بیشتر از تندی جریان هوا در طرف دیگر خودروها است. بنا به اصل برنولی فشار هوا در فضای بین دو خودرو کمتر از فشار هوا در طرف دیگر خودروها است. به دلیل ناحیه کم فشاری که بین دو خودروی در حال حرکت ایجاد می شود احتمال کشیده شدن آنها به طرف هم وجود دارد.

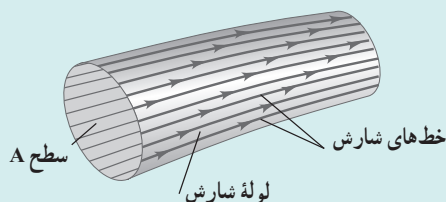
دانستنی برای معلم

شارش شاره

شارش شاره، همان طور که در جریان تندآب رودخانه یا پیچ و تاب شعله آتش دیده می شود، می تواند بسیار پیچیده باشد. اما برخی از وضعیت ها را می توان توسط مدل های آرمانی نسبتاً ساده ای بیان کرد. یک شاره آرمانی، شاره ای است که تراکم ناپذیر است (یعنی، چگالی آن نمی تواند تغییر کند)، اصطکاک داخلی (که چسبندگی یا و شکسانی نامیده می شود) ندارد و جریان شاره لایه ای است (متلاطم و آشوبناک نیست). در اغلب موارد مایع ها تقریباً تراکم ناپذیرند، همچنین در یک گاز اگر اختلاف فشار از یک ناحیه به ناحیه دیگر آن چندان زیاد نباشد می توان آن را تراکم ناپذیر در نظر گرفت. چنانچه شاره ای درون یک لوله یا اطراف یک مانع جریان یابد، وقتی دو لایه مجاور شاره نسبت به یکدیگر حرکت کنند اصطکاک داخلی باعث تنش های برشی در آن می شود. در برخی موارد می توان این نیروهای برشی را در مقایسه با نیروهای ناشی از گرانش و اختلاف فشار نادیده گرفت.

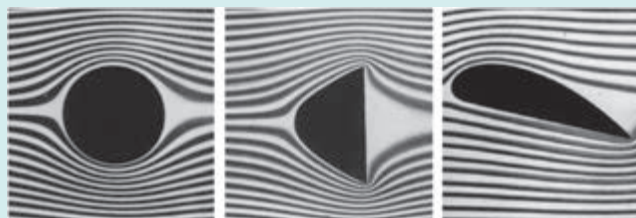
مسیر یک ذره منفرد در یک شاره در حال حرکت، خط شارش نامیده می شود. اگر نقش کلی شارش با زمان تغییر نکند شارش، شارش پایا نامیده می شود. در شارش پایا هر جزء شاره که از نقطه معینی می گذرد خط شارش یکسانی را دنبال می کند. در این حالت اگرچه سرعت یک ذره خاصی ممکن است هم از نظر جهت و هم اندازه، در حین حرکت آن تغییر کند، اما «نقشه» سرعت های شاره در نقطه های متفاوت در فضا ثابت می ماند. خط جریان یک منحنی است که خط مماس در هر نقطه آن در جهت سرعت شاره در آن نقطه است. وقتی نقش شارش با زمان تغییر کند، خط های جریان با خط های شارش برخورد نمی کنند. تنها به بررسی حالت های شارش پایا، که در آنها خط های جریان و خط های شارش یکی هستند، می پردازیم.

خط های شارش که از کناره های یک جزء فرضی سطح می گذرند، مانند سطح A در شکل ۱ لوله ای به نام لوله شارش تشکیل می دهند. با توجه به تعریف خط شارش، در شارش پایا شاره نمی تواند از جدار لوله شارش عبور کند؛ و شاره ها در لوله های شارش مختلف نمی توانند باهم مخلوط شوند.



شکل ۱- لوله شارش توسط خط های شارش محدود شده است. در شارش پایا، شاره نمی تواند از دیوارهای لوله شارش عبور کند.

شکل ۲ نقش‌های شارش شاره را از چپ به راست در اطراف تعدادی مانع نشان می‌دهد. این عکس‌ها با تزریق رنگ درون آب در حال شارش بین دو صفحه شیشه‌ای نزدیک به هم 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 ورقه 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 (شکل ۳). در شارش متلاطم نقش حالت پایا وجود ندارد؛ نقش شارش به‌طور پیوسته تغییر می‌کند.



شکل ۲- شارش لایه‌ای اطراف مانع‌هایی با شکل‌های مختلف



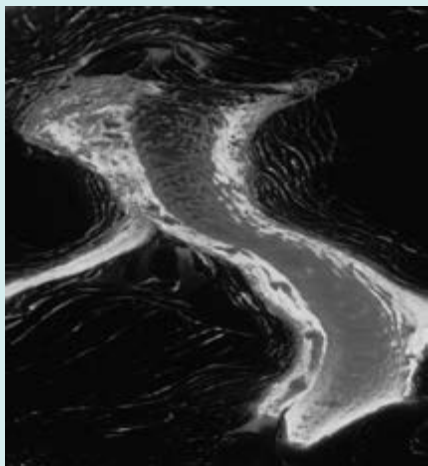
شکل ۳- شارش دود از سر چوب‌های عود تا نقطه معینی به صورت لایه‌ای بالا می‌روند و سپس متلاطم می‌شوند.

(فیزیک دانشگاهی - سیرز، زیمانسکی - ویراست دوازدهم - نشر علوم نوین - جلد اول - صفحه ۴۶۶)

دانشتنی 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، روغن کاری بخش‌هایی از موتور و بسیاری دیگر از موقعیت‌ها از اهمیت برخوردارند.



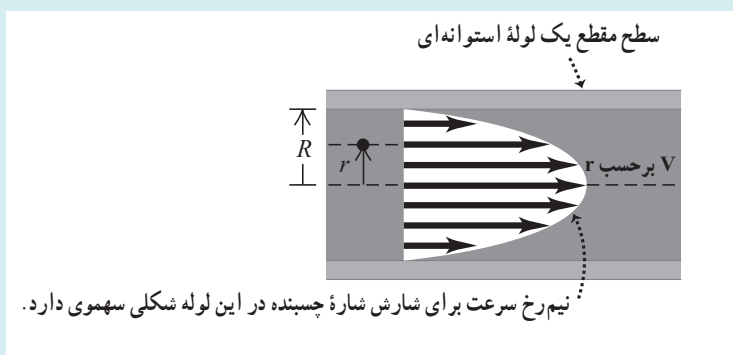
شکل ۱- گدازه‌های آتشفشان نمونه‌ای از یک شاره چسبنده است. چسبندگی با افزایش دما، کاهش می‌یابد. هرچه گدازه داغ‌تر باشد راحت‌تر جریان می‌یابد.

شاره‌هایی نظیر آب یا بنزین که به راحتی شارش می‌یابند، نسبت به مایع‌های غلیظی مانند عسل یا روغن موتور دارای چسبندگی کمتری هستند. چسبندگی همه شارها به شدت به دما بستگی دارد، به طوری که با افزایش دما چسبندگی گازها افزایش و چسبندگی مایع‌ها کاهش می‌یابد (شکل ۱). یک هدف مهم در تهیه روغن‌ها برای روغن کاری موتورها، این است که تغییر دمایی چسبندگی را تا حد امکان کاهش دهند.

یک شاره چسبنده تمایل به چسبیدن به سطح جامدی دارد که با آن در تماس است. همواره یک لایه مرزی نازک شاره در نزدیک سطح وجود دارد که شاره نسبت به سطح تقریباً ساکن است. به همین دلیل است که ذره‌های غبار می‌توانند به پره پنکه حتی وقتی به سرعت می‌چرخد بچسبند و اینکه نمی‌توان همه لکه‌های روی بدنه اتومبیل را تنها با فوران آب شیلنگ شست.

چسبندگی اثرهای مهمی روی شارش مایع درون لوله‌ها، از جمله جریان خون در دستگاه گردش خون دارد. ابتدا شارهای با چسبندگی صفر را

در نظر بگیرید که می‌توان معادله برنولی $(P_1 + \rho g y_1 + \frac{1}{2} \rho V_1^2 = P_2 + \rho g y_2 + \frac{1}{2} \rho V_2^2)$ را برای آن به کار برد. چنانچه دو سر لوله استوانه‌ای بلندی در ارتفاع یکسانی باشند ($y_1 = y_2$) و تندی شارش در هر دو سر برابر باشد ($V_1 = V_2$)، از معادله برنولی نتیجه می‌گیریم که فشار در هر دو سر لوله یکسان است. اما اگر چسبندگی را به حساب آوریم این نتیجه به سادگی درست نیست. برای بررسی دلیل آن، شکل ۲ را در نظر بگیرید که نیم رخ شارش را برای شارش لایه‌ای یک شاره چسبنده در یک لوله استوانه‌ای بلند نشان می‌دهد. به دلیل چسبندگی، تندی در جداره لوله صفر (چون شاره می‌چسبد) و در مرکز آن بیشترین است. این حرکت شبیه لغزیدن تعداد زیادی لوله هم مرکز نسبت به یکدیگر است، به طوری که لوله مرکزی بزرگ‌ترین تندی را دارد و بیرونی‌ترین لوله ساکن است. نیروهای چسبنده بین لوله‌ها با این لغزش مخالفت می‌کنند، بنابراین برای نگه داشتن جریان شاره باید فشار بزرگ‌تری به عقب شاره نسبت به جلوی آن وارد کنیم. به همین دلیل برای خروج شاره از تیوب خمیردندان یا بسته سس گوجه‌فرنگی باید آنها را فشار دهیم (هر دو شاره چسبنده‌اند). انگشت‌های شما فشاری به عقب شاره وارد می‌کنند که از فشار جو در جلوی شاره خیلی بیشتر است.



شکل ۲- نیم رخ سرعت برای یک شاره چسبنده در یک لوله استوانه‌ای

اختلاف فشار لازم برای نگه داشتن آهنگ شارش حجمی معینی به بیرون یک لوله استوانه‌ای به طول L و شعاع R با L/R^4 متناسب است. اگر R به نصف کاهش یابد، فشار لازم به اندازه $16=2^4$ برابر افزایش می‌یابد؛ با کاهش R به اندازه $90/100$ (۱۰ درصد کاهش) اختلاف فشار لازم به اندازه $1/52=10^4/10^5$ افزایش می‌یابد. (حدود ۵۲ درصد افزایش). این رابطه ساده ارتباط بین یک برنامه غذایی با کلسترول بالا (که به تنگ شدن سرخرگ‌ها تمایل دارد) و فشارخون بالا را بیان می‌کند. به دلیل بستگی R^4 ، حتی تنگ شدن اندک سرخرگ‌ها می‌تواند منجر به افزایش چشمگیری در بالا رفتن فشار خون شود و به ماهیچه‌های قلب صدمه بزند.

تلاطم



(ب)



(الف)

شکل ۳- شارش آب از یک شیر (الف) در تندی‌های کم لایه‌ای. اما (ب) در تندی‌های به حد کافی زیاد متلاطم است.

وقتی تندی شارش شاره‌ای از مقدار معینی فراتر رود شارش دیگر لایه‌ای نیست. در عوض، 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. شکل ۳ (دانستنی قبلی) تفاوت بین شارش لایه‌ای و متلاطم را برای دودی که در هوا بالا می‌رود نشان می‌دهد. معادله برنولی در جایی 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 به صورت لایه‌ای است.

هنگام بررسی معادله برنولی، فرض می‌شود که شارش لایه‌ای و

شاره دارای چسبندگی صفر است. در واقع، **ندکی** چسبندگی لازم است تا اطمینان یابیم که جریان لایه‌ای 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 دیواره لوله، تغییرات چگالی شاره و عوامل بسیار دیگری به وجود آید. این بی‌نظمی‌ها در تندی‌های کم شارش از بین می‌رود؛ نقش شارش پایدار و به حفظ طبیعت لایه‌ای خود متمایل می‌شود. (شکل ۳ الف). اما وقتی شارش به تندی بحرانی می‌رسد، نقش شارش ناپایدار می‌شود. این بی‌نظمی‌ها دیگر از بین 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 آسیب در قلب می‌تواند سبب جریان متلاطم شود. تلاطم منجر به نوفه می‌شود، به همین دلیل گوش دادن به جریان خون با گوشی روش مفیدی برای تشخیص بیماری قلبی است.





ب) به دلیل وجود روزنه های بسیار ریز و میکروسکوپی و خاصیت تراوایی (Permeability) سطح بادکنک، مولکول های هوای درون بادکنک در بسته، به تدریج و در مدتی نسبتاً طولانی از آن خارج می شوند.

۵ به پاسخ پرسش ۲-۲ توجه کنید.

۶ الف) وقتی قلم مو زیر آب است موهای آن مانند هنگامی که خشک است حساسی از هم دورند. اما وقتی قلم مو بیرون کشیده می شود لایه سطحی آب منقبض می شود و موها را به هم نزدیک می کند (کشش سطحی آب).

ب) آنچه در این تصویر دیده می شود شبیه مطلب متن کتاب درسی در مورد لوله های موینه با قطره های متفاوت است که در آب قرار داده می شوند. تجربه نشان می دهد هرچه قطر لوله

موینه کمتر باشد ارتفاع ستون آب در آن بیشتر است. دیران محترم توجه دارند که اگرچه تئوری کافی برای توضیح این پدیده (ارتفاع بیشتر ستون آب در لوله موینه با قطر کمتر) وجود دارد، ولی این تئوری فراتر از برنامه درسی فیزیک ۱، است و توضیح براساس مشاهده و تجربه در این موضوع برای این رده تحصیلی کافی است. نیروی هم چسبی مولکول های مایع کمتر از نیروی دگر چسبی مایع و مولکول های جداره داخلی لوله است.

۷ الف) کشش سطحی آب، مانع از جدا شدن راحت ذرات آب از سطح آب دریا می شود ولی برای یک توده خاک نرم این مانع وجود ندارد. ب) این قسمت را به صورت یک کار تحقیقی به دانش آموزان (ترجیحاً گروهی) واگذار کنید و از آنها بخواهید نتیجه را به کلاس ارائه دهند. دانش آموزان با جستجوی عبارت «راهکارهای مقابله با ریزگردها» در اینترنت، می توانند به مطالب مستندی در این خصوص دست یابند.

۸ کشش سطحی آب، امکان این شکار زیبا و دقیق را توسط ماهی کمان گیر فراهم می کند. حشره درون سطح بسته و کشیده شده قطره آب، گیر می افتد.

دانش آموزان می توانند با جستجوی واژه Archerfish در اینترنت، افزون بر تصاویر زیبا، به فیلم های جذابی در خصوص شکار حشرات توسط ماهی کمان گیر دست یابند.

۹ قانون دوم نیوتون را برای وزنه به کار می بریم.

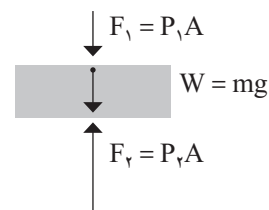
$$P_1 A + mg = P_2 A \Rightarrow mg = (P_2 - P_1) A$$

$$P_2 - P_1 = 2/10 \text{ atm} - 1/10 \text{ atm} = 1/10 \text{ atm} \approx 1/10 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$A = 4 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$mg = (P_2 - P_1) A = (1/10 \times 10^5 \text{ Pa}) (4/10 \times 10^{-6} \text{ m}^2) = 0/4 \text{ N}$$

$$mg = 0/4 \text{ N} \Rightarrow m \approx 40 \text{ g}$$





الف) خلأ نسبی (شامل بخار جیوه با چگالی بسیار کم)

ب) فشار هوای بیرون که بر سطح جیوه درون ظرف وارد می‌شود سبب می‌شود جیوه در لوله جوسنج بالا برود. این فشار با فشار جیوه درون لوله در سطح هم‌تراز با سطح جیوه درون تشت برابر است.

پ) 74 cmHg

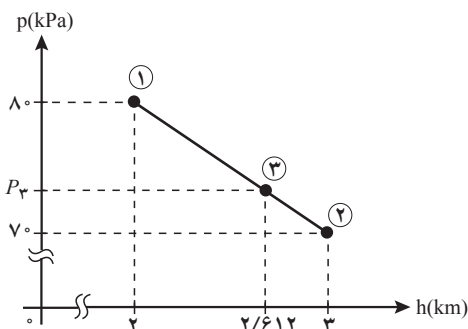
ت) ارتفاع ستون جیوه کاهش می‌یابد، زیرا فشار هوای وارد شده به سطح جیوه درون ظرف کاهش می‌یابد. انتظار می‌رود دانش‌آموزان به شکل ۱۶-۲ مراجعه کنند و براساس آن بتوانند دلیل کاهش فشار هوا در بالای کوه را توضیح دهند.

الف) با توجه به نمودار شکل ۱۶-۲ ب، فشار هوا بین ارتفاع ۲ تا ۳ کیلومتر از سطح زمین بین $8 \times 10^4 \text{ Pa}$ تا $7 \times 10^4 \text{ Pa}$ تغییر می‌کند. انتظار می‌رود دانش‌آموزان با کمک دبیران محترم

توانند از روی نمودار فشار هوای هر شهر را به‌طور تقریبی محاسبه کنند. به این کار که با استفاده از مختصات معلوم نقاطی از نمودار، مختصات نقاط دیگری از نمودار را که بین نقاط با مختصات معلوم قرار دارند پیدا کنیم، درون‌یابی (Interpolation) می‌گویند.

ب) با استفاده از رابطه $P_p = P_0 + \rho gh$ می‌توان فشار هوا در هر شهر را به فشار هوا در سطح دریای آزاد (10^5 Pa) و اختلاف سطح شهر موردنظر و سطح دریای آزاد (ارتفاع از سطح دریای آزاد، h) ربط داد. پاسخ‌هایی که برای قسمت الف و قسمت ب به‌دست می‌آورید، پاسخ‌های به‌دست آمده از دو راه حل تقریبی و با تقریب‌های متفاوت‌اند، بنابراین اندکی با هم فرق دارند.

محاسبات موردنظر قسمت‌های الف و «ب» ی، کار این سؤال را به‌عنوان نمونه، برای فریدون شهر انجام می‌دهیم. نمودار شکل ۱۶-۲ ب به ما می‌گوید در ارتفاع $h_1 = 2 \text{ km}$ از سطح آزاد دریا، فشار $P_1 = 8 \times 10^4 \text{ Pa}$ و در ارتفاع $h_2 = 3 \text{ km}$ از سطح آزاد دریا، فشار $P_2 = 7 \times 10^4 \text{ Pa}$ است. فرض کنید می‌خواهیم فشار هوا در فریدون شهر با ارتفاع $h_3 = 2.612 \text{ km}$ را حساب کنیم. نمودار P بر حسب h را برای نقاط بین دو نقطه (h_1, P_1) و (h_2, P_2) ، تقریب درجه ۱ (خط راست) می‌زنیم.



$$\Rightarrow \text{تقریب درجه ۱ (خط راست)} \Rightarrow \frac{P_3 - 70 \text{ kPa}}{(3 - 2.612) \text{ km}} = \frac{(80 - 70) \text{ kPa}}{(3 - 2) \text{ km}}$$

$$P_3 = 73.88 \text{ kPa} \approx 74 \text{ kPa}$$

اینک بیا باید با استفاده از چگالی متوسط هوا تا ارتفاع 3 km از سطح دریای آزاد که در فرض قسمت «ب» ی سؤال داده شده است،

① افتد ارتفاع چهار شهر مرتفع ایران از سطح دریا، به شرح زیر است:

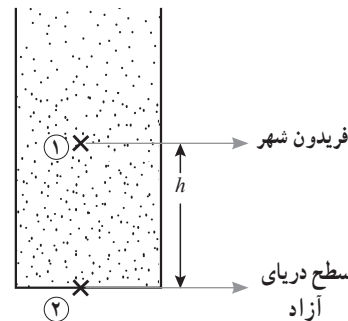
شهر	ارتفاع (متر)
فریدون شهر	۲۶۱۲
سمرقند	۲۲۲۲
تهران	۱۲۶۰

اگر فشار هوای بیرون لوله ۱۱ kPa باشد، چگالی مایع را تعیین کنید.

② در شکل زیر مقدار h چند سانتی متر است؟ فشار هوای محیط را ۱۰۱ kPa و چگالی آب را ۱۰۰۰ kg/m³ بگیرید.

③ لوله ۱۱ شکلی را در نظر بگیرید که محتوی حجم معلومی از آب و روغن است. شکل زیر را در نظر بگیرید.

فشار هوا در فریدون شهر را حساب کنیم. فشار هوا در سطح دریای آزاد $10^5 \text{ Pa} \times 1.013 = 1.013 \text{ atm}$ است.



$$P_r = P_1 + \rho gh$$

$$1.013 \times 10^5 \text{ Pa} = P_1 + (1.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3)(9.8 \text{ N/kg})(2612 \text{ m}) \Rightarrow$$

$$P_1 = 75446 \text{ Pa} \approx 75 \text{ kPa}$$

② اختلاف فشار درون ریه غواص با فشار وارد بر قفسه سینه او، برابر است با :

$$P - P_s = \rho gh \approx (1.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3)(9.8 \text{ N/kg})(6.15 \text{ m})$$

$$= 6.027 \times 10^4 \text{ Pa} = (6.027 \times 10^4 \text{ Pa}) \times \left(\frac{1 \text{ atm}}{1.013 \times 10^5 \text{ Pa}} \right) \approx 0.59 \text{ atm}$$

این اختلاف فشار قابل توجهی است و غواص نمی تواند صرفاً با گرفتن سر لوله ای در دهان خود، در حالی که سر دیگر آن از آب بیرون است، از یک عمقی به پایین نفس بکشد.

علاوه بر بحث افزایش فشار آب در عمق های زیاد، سازوکار دیگری که موجب اذیت شدن غواص می شود، طولانی شدن لوله برای عمق های زیاد و مهم شدن اصطکاک هوا در عبور از لوله است. در دانستنی برای معلم «چسبندگی» در چند صفحه قبل دیدید اختلاف فشاری که غواص باید برای شارش هوا در لوله تأمین کند، متناسب با طول لوله افزایش می یابد. با یک لوله خیلی بلند، حتی در سطح افقی زمین نیز نمی توان نفس کشید.

③ با در نظر گرفتن دو نقطه هم تراز (یکی از نقاط، در محل تماس مایع با چگالی ρ_1 و مایع با چگالی ρ_2 ، و نقطه دیگر

درست روبه روی آن در مایع با چگالی ρ_1) و با توجه به هم فشار بودن نقاط هم تراز در یک شارۀ ساکن داریم :

$$P_{\text{گاز}} + \rho_1 gh_1 = \rho_2 gh_2 + P_s$$

با جای گذاری مقادیر داده شده خواهیم داشت :

$$76 \times 10^3 \text{ Pa} + (1.3/6 \times 10^3 \text{ kg/m}^3)(9.8 \text{ N/kg})(0.22 \text{ m}) =$$

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

شهر	ارتفاع (متر)
تهران	۲۶۹۲
مشهد	۲۲۴۴
اصفهان	۲۱۲۲
شیراز	۲۰۲۲

اگر فشار هوای بیرون لوله U شکل ۱۰۱۸ Pa باشد، چگالی مایع را تعیین کنید.

۱۴) در شکل زیر مقدار h چند سانتی متر است؟ فشار هوای محیط را ۱۰۱۸ Pa و چگالی آب را ۱۰۰۰ kg/m^3 بگیرید.

۱۵) لوله U شکل را در نظر بگیرید که محتوی جرم مساوی از آب و روغن است (شکل زیر).

$$101 \times 10^2 \text{ Pa} + \rho_f (9/8 \text{ N/kg}) (0/4 \text{ m})$$

$$\Rightarrow \rho_f = 1102 \text{ kg/m}^3 \approx 1/1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

۱۴ با توجه به شکل زیر داریم:

$$P_1 = P_2 \Rightarrow P_A = P_B + \rho gh$$

$$P_1 = P_2 \Rightarrow P_B = P_0 + \rho gh$$

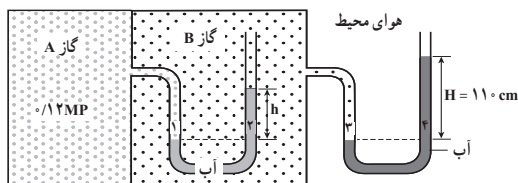
با جای گذاری مقادیر داده شده داریم:

$$1/2 \times 10^5 \text{ Pa} = P_B + (1000 \text{ kg/m}^3) (9/8 \text{ N/kg}) (h)$$

$$P_B = 1/01 \times 10^5 \text{ Pa} + (1000 \text{ kg/m}^3) (9/8 \text{ N/kg}) (1/1 \text{ m}) = 1/12 \times 10^5 \text{ Pa}$$

با جای گذاری P_B در رابطه P_B و h داریم:

$$h = 0/8 \text{ m} = 8 \text{ cm}$$



۱۵ چون حجم مساوی از آب و روغن استفاده شده است و چون

مطابق شکل سطح مقطع لوله شاخه سمت راست و چپ در شکل برابر است، سطح مایع ها در دو شاخه لوله، هم ارتفاع می شود. با توجه به شکل و در محل تماس دو مایع داریم:

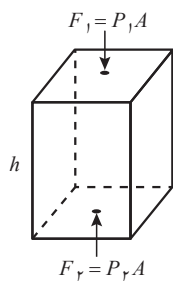
$$P_{\text{روغن}} + \rho_{\text{روغن}} gh = P_0 + \rho_{\text{آب}} gh$$

که در آن $P_{\text{روغن}}$ فشار هوای دمیده شده توسط شخص است. به این ترتیب فشار پیمانه ای هوای درون ریه شخص برابر است با

$$P_g = P_{\text{روغن}} - P_0 = (\rho_{\text{آب}} - \rho_{\text{روغن}}) gh = (1000 \text{ kg/m}^3 - 800 \text{ kg/m}^3) (9/8 \text{ N/kg}) (80 \times 10^{-2} \text{ m}) = 1530 \text{ Pa} \approx 1/5 \times 10^2 \text{ Pa}$$

۱۶ به جسمی به شکل یک مکعب مستطیل با قاعده افقی به مساحت A و به ارتفاع h فکر کنید که درون

مایعی ساکن به چگالی ρ قرار دارد. فشار در محل قاعده بالایی مکعب را P_1 و فشار در محل قاعده پایینی مکعب را P_2 می نامیم. از طرف آب دو نیرو در امتداد قائم به این مکعب مستطیل وارد می شود، نیرو $F_1 = P_1 A$ به قاعده بالایی و رو به پایین، و نیروی $F_2 = P_2 A$ به قاعده پایینی و رو به بالا. می دانیم $P_2 = P_1 + \rho gh$ که نتیجه می دهد $P_2 > P_1$ و به دنبال این نتیجه می فهمیم $F_2 > F_1$. چون F_2 از F_1 بزرگ تر است برانید \vec{F}_1 و \vec{F}_2 در امتداد قائم و رو به بالا می شود، یعنی نیروی خالصی که آب ساکن به مکعب مستطیل وارد می کند، در امتداد قائم و رو به بالا است. این همان نیروی شناوری است که آب به مکعب مستطیل وارد می کند.



با توجه به اطلاعات روی شکل، فشار پهنای هوای درون ریه تخصصی که از ششهاست چپ لوله درون آن دیده، جلد است؟ چگالی روغن را $0.8 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ بگیرید.

۲-۴ فشاری
توضیح دهید چرا نیروی شناوری برای جسمی که در یک شاره قرار دارد رو به بالاست.

شکل (الف) نشان دهنده حرکت و اصل برنولی است.
در لوله ای بر آب، سطح شکل زیر، آب از چپ به راست در جریان است. روی این لوله ۵ قسمت (A، B، C، D و E) نشان داده شده است.
(الف) در کدام یک از قسمت های لوله، تندی آب در حال افزایش، در حال کاهش، یا ثابت است؟
ب) تندی آب در قسمت های A، C و E و لوله با یکدیگر مقایسه کنید.

شکل (الف) آتش نشانی را در حال خاموش کردن آتش از فاصله نسبتاً دوری نشان می دهد. شامی ورگ شده از شیر بسته شده به انتهای لوله آتش نشانی در شکل (ب) نشان داده شده است. اگر آب با تندی $v_1 = 15 \text{ m/s}$ از لوله وارد شیر شود و قطر ورودی شیر $d_1 = 9.6 \text{ cm}$ و قطر قسمت خروجی آن $d_2 = 2.5 \text{ cm}$ باشد، تندی خروج آب را از شیر پیدا کنید.

شکل (الف) دو تار کلافی به طول تقریبی 10 cm را مطابق شکل (الف) به انتهای یک تی توبه چسبانید. وقتی مطابق شکل (ب) به درون تی دیده می شود تارهای کلافی به طرف یکدیگر جذب می شوند. با توجه به اصل برنولی دلیل این پدیده را توضیح دهید.

۵۱

۱۷ الف) با توجه به معادله پیوستگی ($A_1 v_1 = A_2 v_2$) در قسمت های A، C و E تندی آب با پیشروی در لوله تغییر نمی کند زیرا با پیشروی آب در این قسمت ها مساحت مقطع لوله تغییر نمی کند. در قسمت B با پیشروی آب در لوله، مساحت مقطع لوله کاهش می یابد، لذا با پیشروی آب در لوله تندی در حال افزایش است. در قسمت D با پیشروی آب در لوله، مساحت مقطع لوله افزایش می یابد، لذا با پیشروی آب در لوله تندی در حال کاهش است.

ب) با توجه به معادله پیوستگی و با توجه به سطح مقطع لوله در سه قسمت A، C و E داریم،

$$A_A = A_E > A_C \Rightarrow v_C > v_A = v_E$$

۱۸ جریان تند هوا از میان دو نوار کاغذی می گذرد در حالی که در طرف دیگر هر نوار، تندی هوا صفر است. بنابر اصل برنولی فشار هوا بین دو نوار کمتر از فشار هوا در طرف دیگر هر نوار است. این اختلاف فشار سبب می شود تا نوارهای کاغذی به یکدیگر نزدیک شوند.

۱۹ با استفاده از معادله پیوستگی داریم :

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

$$\pi \left(\frac{d_1}{2} \right)^2 v_1 = \pi \left(\frac{d_2}{2} \right)^2 v_2 \Rightarrow d_1^2 v_1 = d_2^2 v_2$$

با جای گذاری مقادیر داده شده داریم :

$$(9/6 \text{ cm})^2 (1/5 \text{ m/s}) = (2/5 \text{ cm})^2 (v_2)$$

$$\Rightarrow v_2 = 22/1 \text{ m/s}$$

خوب است برای دانش آموزان توضیح داده شود که در معادله $d_1^2 v_1 = d_2^2 v_2$ سازگاری یکاها در دو طرف معادله به این معنی است که d_1 و d_2 یکای یکسان داشته باشند و v_1 و v_2 نیز یکای یکسان داشته باشند. وقتی یکای v_1 و v_2 را m/s می گیریم ضرورتی ندارد یکای d_1 و d_2 را m بگیریم، می توانیم یکاهای d_1 و d_2 را cm بگیریم. نظیر این بحث در حل مسئله های لوله های U شکل نیز رخ می دهد. وقتی به معادله $\rho_1 g h_1 = \rho_2 g h_2$ می رسمیم، کافی است ρ_1 و ρ_2 هم یکا باشند و h_1 و h_2 نیز هم یکا باشند. اگر یکای ρ_1 و ρ_2 را kg/m^3 گرفتیم لازم نیست یکای h_1 و h_2 را m بگیریم، می توان یکای h_1 و h_2 را mm گرفت. این قضیه در بخش های مختلف فیزیک با تکرار بسیار زیاد رخ می دهد.



فصل ۳

کار، انرژی و توان

- ۱-۳ انرژی جنبشی
- ۲-۳ کار انجام شده توسط نیروی ثابت
- ۳-۳ کار و انرژی جنبشی
- ۴-۳ کار و انرژی پتانسیل
- ۵-۳ پایستگی انرژی مکانیکی
- ۶-۳ کار و انرژی درونی
- ۷-۳ توان

پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۳

دبیران محترم توجه دانش آموزان را به رمزینه‌های سریع پاسخ (QR Code ها) آورده شده در ابتدای هر فصل از کتاب درسی جلب کنند. این رمزینه‌ها دربردارنده محتوای آموزشی متنوعی از قبیل آزمایش‌های انجام شده کتاب درسی، شبیه‌سازی‌ها و... هستند که به یادگیری و نشاط آموزشی - علمی دانش آموزان کمک زیادی می‌کنند.



پیامدها

- دانش‌آموزان با درک مفاهیم انرژی، کار و توان متوجه می‌شوند که:
- انرژی در همه چیز و همه جا 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 و یا انجام کار توسط دستگاه، می‌توان انرژی را به دستگاه منتقل کرد و یا از دستگاه گرفت.

چه شناختی مطلوب است؟

- هر جسم در حال حرکت انرژی جنبشی دارد.
- کار انرژی را منتقل می‌کند و اگر نیروی وارد به جسم در حین جابه‌جایی ثابت بماند، می‌توانیم کار را به سادگی از روی نیرو و جابه‌جایی محاسبه کنیم.
- جمع جبری کارهای همه نیروهای وارد بر جسم، که به آن کار کل (W_t) می‌گوییم، برابر تغییر انرژی جنبشی جسم است.
- کار نیروی وزن، با منفی تغییر انرژی پتانسیل گرانشی جسم برابر است.
- برای جسمی که در حرکت است، در شرایطی که بتوان اثر ناشی از نیروهای غیر از وزن مانند اصطکاک را نادیده گرفت، انرژی مکانیکی جسم پایسته می‌ماند.
- اگر نیروهای اتلافی روی جسم کار انجام دهند، انرژی مکانیکی جسم کاهش می‌یابد و انرژی درونی جسم زیاد می‌شود.
- در یک سامانه منزوی، مجموع کل انرژی‌ها پایسته می‌ماند.
- آهنگ انجام کار، توان است.
- بازده هر سامانه نسبت انرژی خروجی مفید سامانه به انرژی ورودی آن است.

چه پرسش‌هایی اساسی است و باید در نظر گرفته شوند؟

- معنی انرژی با توجه به انواع آن چیست؟
- معنی کار چیست؟
- کار کل روی یک جسم چگونه محاسبه می‌شود؟
- قضیه کار – انرژی جنبشی چیست؟
- انرژی پتانسیل برای چه نیروهایی تعریف شده است؟ چه رابطه‌ای بین کار نیروی گرانشی (وزن) و انرژی پتانسیل گرانشی وجود دارد؟
- اصل پایستگی انرژی مکانیکی چیست؟
- چه رابطه‌ای بین کار نیروهای اتلافی، افزایش انرژی درونی جسم و قانون پایستگی انرژی وجود دارد؟
- توان متوسط انجام کار یک نیرو چیست؟
- بازده یک سامانه چگونه محاسبه می‌شود؟

در پایان این واحد یادگیری دانش آموزان چه دانش و مهارت های اساسی را کسب می کنند؟

الف) دانش آموزان خواهند دانست که :

- واژگان کلیدی : انرژی و شکل های آن، کار نیروی ثابت، رابطه های کار با انواع انرژی، پایداری انرژی مکانیکی، کار نیروهای اتلافی و افزایش انرژی درونی، قانون پایداری انرژی، توان و بازده.
- انرژی مکانیکی شامل : انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل.
- انواع انرژی پتانسیل شامل : انرژی پتانسیل گرانشی، کشسانی و الکتریکی.

ب) دانش آموزان قادر خواهند بود که :

- کار نیروی ثابت را محاسبه کنند.
- کار کل را محاسبه کنند.
- کار نیروی وزن را محاسبه کنند.
- توان انجام کار به وسیله یک نیرو را محاسبه کنند.
- بازده یک سامانه تبدیل انرژی را حساب کنند.
- با کمک اصل پایداری انرژی مکانیکی و قانون پایداری انرژی بسیاری از مسئله های مربوط به کار و انرژی را حل نمایند.

بودجه بندی پیشنهادی فصل سوم

- جلسه اول : نگاهی به تصویر و مقدمه فصل + بخش ۱-۳ و بخش ۲-۳ تا ابتدای مهارت ریاضی
- جلسه دوم : بخش ۲-۳ از مهارت های ریاضی تا پایان بخش ۲-۳
- جلسه سوم : بخش ۳-۳
- جلسه چهارم و پنجم : بخش ۴-۳
- جلسه ششم : بخش های ۵-۳ و ۶-۳
- جلسه هفتم : بخش ۷-۳
- جلسه هشتم : جمع بندی، رفع اشکال و حل پرسش ها و تمرین های باقیمانده از پایان فصل سوم
- جلسه نهم : آزمون تشریحی فصل سوم

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

دانش‌آموزان در فصل‌هایی از کتاب علوم تجربی سال هفتم با انرژی و منابع آن، برخی مفاهیم از قبیل کار نیرویی که ثابت و در جهت جابه‌جایی است، معرفی کیفی 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 اولیه 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.

نیرو را به عنوان یک کمیت برداری می‌شناسند و با نیروهای متوازن و نامتوازن و نحوه محاسبه برآیند نیروهای نامتوازنی که در یک راستا هستند، آشنا شده‌اند و در رابطه $F=ma$ ، نیروی F را به عنوان اندازه نیروی خالص وارد بر جسم می‌شناسند. افزون بر اینها، شناختی کیفی از نیروهای اصطکاک ایستایی و جنبشی پیدا کرده‌اند. به این ترتیب:

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

خوب است دبیران محترم فیزیک، که کتاب فیزیک ۱ پایه دهم را آموزش می‌دهند کتاب‌های **علوم تجربی سال‌های هفتم و نهم** را ببینند (برای دانلود فایل این کتاب‌ها به سایت www.chap.sch.ir مراجعه کنید).



کار، انرژی و توان



تصویر از انجمن، نخستین بازی آسیا برنده نشان طلا از مسابقات جهانی براسکیت ۲۰۱۶-۲۰۱۷ لندن و ۲۰۱۶ روم، با نظر سدا این طهران جهان، جلال، انرژی صرف کردن می‌کنند مهارت این انرژی در تندی نیرو را که از کمان را در می‌نموده می‌توان حساب کرد

انرژی بهترین مفهومی است که در سراسر فیزیک و علوم و مهندسی با آن سروکار داریم. انرژی این امکان را فراهم می‌کند تا تمامی فعالیت‌های روزمره خود را انجام دهید. بخوابید و استراحت کنید؛ مشاهده کنید و بیندیشید؛ بخورید و طرحی نو در اندازید؛ انرژی همین توان لازم را برای به حرکت درآوردن موتور خودروها، کشتی‌ها و هواپیماها فراهم می‌کند.

در علوم سال هفتم دیدید که انرژی شکل‌های متفاوتی دارد و در همه چیز وجود دارد. انرژی می‌تواند از شکلی به شکلی دیگر تبدیل شود و در حین این فرایند مقدار کل آن پابسته می‌ماند. همین دیدید که با انجام کار می‌توان انرژی را از جسمی به جسم دیگر منتقل کرد. در این فصل پس از آشنایی با انرژی جنبشی و کار انجام شده توسط نیروهای ثابت، به فضا کار انرژی جنبشی خواهیم پرداخت. در ادامه فصل، رابطه بین کار و انرژی پتانسیل و پتانسیل انرژی مکانیکی را بررسی می‌کنیم. سرانجام با توان، به عنوان کمیتی برای بیان آهنگ انجام کار آشنا می‌شویم.

راهنمای تدریس: تصویر شروع فصل 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 محاسبه کار نیرویی که ثابت و در جهت جابه‌جایی است، آشنایی دارند با توجه به شناخت قبلی آنها سعی کنید تا مروری بر آن مفاهیم شود. در مقدمه این فصل، انرژی از منظر مصادیق آن و با یادآوری آنچه در علوم هفتم خوانده‌اند، مرور شده است. در پرسش زیر شکل، منظور این نبوده که مثلاً کمان و زه کشیده شده را شبیه یک فنر کشیده شده فرض کنیم و سراغ رابطه انرژی پتانسیل کشسانی برویم، که این مفاهیم، بیش از برنامه درسی فیزیک ۱ است. بلکه خواسته‌ایم دانش‌آموزان با آنچه در تبدیل و پایداری انرژی می‌آموزند، آزمایشی را طراحی و اجرا کنند و با استفاده از آن به سؤال موردنظر پاسخ دهند. مثلاً می‌توان تیر را در امتداد قائم و رو به بالا پرتاب کرد و از پرتاب تیر فیلمبرداری کرد طوری که بتوان در فیلم، ارتفاع اوج تیر را اندازه گرفت. سپس با

چشم‌پوشی از تلف انرژی در مسیر حرکت تیر، انرژی جنبشی تیر در لحظه رهاشدن از کمان (که تقریباً برابر با انرژی پتانسیل کشسانی اولیه سامانه تیر و کمان است) را با انرژی پتانسیل گرانشی تیر در نقطه اوج برابر می‌گیریم. انرژی‌ای که ورزشکار صرف کشیدن کمان می‌کند، بخشی به گرما در بدن وی و بخشی به انرژی پتانسیل کشسانی سامانه تیر و کمان تبدیل می‌شود. اگر انرژی پتانسیل کشسانی سامانه تیر و کمان را به بازده بدن ورزشکار در این تبدیل انرژی تقسیم کنیم، انرژی مصرفی ورزشکار به دست می‌آید.

دانستنی برای معلم

ابداع مفهوم انرژی یکی از برجسته‌ترین نمونه‌های خلاقیت بشر در زمینه علمی است. معمولاً مطالعه دنیای فیزیکی پیرامون ما، از هر نوعی که باشد در نهایت سر از مفاهیم ماده و انرژی در می‌آورد. درک شهودی ما از ماده در همان سال‌های آغازین زندگی شکل می‌گیرد و حتی برخی از جنبه‌های کمی آن را نیز شامل می‌شود. اما ایده انرژی ظریف‌تر و انتزاعی‌تر است. ما عموماً انرژی را به طور مستقیم حس یا لمس نمی‌کنیم. در عوض معمولاً انرژی را در جسمی (یا موجی) که با جسم دیگری برهم‌کنش دارد احساس می‌کنیم. مثلاً در این شکل، انرژی موجود در موج صوتی را هنگامی حس می‌کنیم که موج جام شیشه‌ای را می‌شکند.



خیلی وقت‌ها مفهوم انرژی را با در نظر گرفتن مفهوم کار، که رابطه تنگاتنگی با آن دارد، تصور می‌کنیم. مثلاً می‌توان انرژی جنبشی یک جسم متحرک را به کمک مقدار کاری که این جسم انجام می‌دهد تا متوقف شود اندازه‌گیری کرد. از این‌رو درک روشن مفهوم انرژی مستلزم درک روشن مفهوم کار است.

۱-۳- 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، رابطه کمی انرژی به همراه تعدادی مثال و تمرین آمده است.

دانش‌آموزان با مفاهیم تندی و جرم در علوم سال نهم آشنا شده‌اند، لذا زمینه لازم برای درک رابطه انرژی جنبشی را دارند. در رابطه انرژی جنبشی، کمیت v ، نشان‌دهنده تندی لحظه‌ای جسم است که برای سادگی آن را تندی می‌نامیم. تندی لحظه‌ای جسم با اندازه سرعت لحظه‌ای جسم برابر است. دانش‌آموزان می‌توانند برای یادآوری کمیت‌های تندی متوسط، تندی لحظه‌ای (تندی)، سرعت متوسط و سرعت لحظه‌ای (سرعت)، به فصل حرکت علوم نهم مراجعه کنند (برای دانلود به سایت www.chap.sch.ir مراجعه کنید).

کتاب ۳۳

۱-۳-۱ انرژی جنبشی

در علوم سال هفتم دیده‌اید هر چیزی که حرکت کند، انرژی دارد و انرژی وابسته به حرکت یک جسم را انرژی حرکتی یا انرژی جنبشی نامیده‌اند (شکل ۱-۳-۱). همچنین دیده‌اید هر چه جسمی تندتر حرکت کند، انرژی جنبشی بیشتری دارد و هنگامی که جسم ساکن باشد، انرژی جنبشی آن صفر است. برای جسمی به جرم m که با تندی v حرکت می‌کند، انرژی جنبشی از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$K = \frac{1}{2}mv^2 \quad (1-3-1)$$

یگای SI جرم و تندی به ترتیب کیلوگرم (kg) و متر بر ثانیه (m/s) است. بنابراین، یگای SI انرژی جنبشی از هر نوع دیگری از انرژی kgm^2/s^2 است که به اختصار جیمز زول، فیزیک‌دان انگلیسی، زول (J) نامیده می‌شود. انرژی جنبشی کمیتی برداری و همواره مثبت است؛ این کمیت تنها به جرم و تندی جسم بستگی دارد و به جهت حرکت جسم وابسته نیست.



جرم خودرویی به همراه راننده‌اش 1400 kg است. این خودرو با تندی 20 km/h در حرکت است. انرژی جنبشی آن چند زول است؟

پاسخ: با توجه به اطلاعات داده شده داریم:

$$m = 1400 \text{ kg}, \quad v = 20 \text{ km/h} = \left(20 \times \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}\right) = 5.6 \text{ m/s}$$

با جایگذاری این مقادیر در رابطه ۱-۳-۱ داریم:

$$K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}(1400 \text{ kg})(5.6 \text{ m/s})^2 = 9.0 \times 10^3 \text{ J}$$

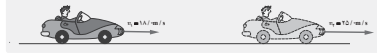
۱-۳-۲ تمرین ۱

ماهواره‌ای به جرم 2200 kg با تندی ثابت 7.0 km/s دور زمین می‌چرخد. انرژی جنبشی ماهواره را بر حسب زول و مگاژول حساب کنید.



۱-۳-۳ تمرین ۲

جرم خودرویی به همراه راننده‌اش 1400 kg است (شکل زیر). تندی خودرو در دو نقطه از مسیرش روی شکل زیر داده شده است. تغییرات انرژی جنبشی خودرو ($K_2 - K_1$) را بین این دو نقطه حساب کنید.



توجه: منظور از نقطه ۱ و ۲ در این مسئله، تندی لحظه‌ای را به اختصار تندی می‌نامیم.

۵۴

حل تمرین ۱-۳

$$m = 2200 \text{ kg}$$

$$v = 7.0 \text{ km/s} = (7.0 \text{ km/s}) \left(\frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} \right) = 7.0 \times 10^3 \text{ m/s}$$

$$K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}(2200 \text{ kg})(7.0 \times 10^3 \text{ m/s})^2 = 69 \times 10^7 \text{ J} = 6.9 \times 10^8 \text{ MJ}$$

حل تمرین ۲-۳

$$m = 1400 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

$$v_1 = 10 \text{ m/s}$$

$$v_2 = 25 \text{ m/s}$$

$$K_1 = \frac{1}{2}mv_1^2 = \frac{1}{2}(1400 \times 10^{-3} \text{ kg})(10 \text{ m/s})^2 = 136 \times 10^3 \text{ J} = 136 \text{ kJ}$$

$$K_2 = \frac{1}{2}mv_2^2 = \frac{1}{2}(1400 \times 10^{-3} \text{ kg})(25 \text{ m/s})^2 = 262 \times 10^3 \text{ J} = 262 \text{ kJ}$$

$$\Delta K = K_2 - K_1 = 262 \text{ kJ} - 136 \text{ kJ} = 126 \text{ kJ}$$

پاسخ پرسش ۱-۳

انرژی جنبشی کمیتی نرده‌ای است و فقط به تندی و جرم جسم بستگی دارد.
برای حل این پرسش ابتدا انرژی جنبشی هر یک از اجسام را به دست آورده و برحسب K_1 می‌نویسیم.

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

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

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

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

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

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

بنابراین می‌توان نوشت :

۳-۲- کار انجام شده توسط نیروی ثابت

راهنمای تدریس : قسمت اول این بخش تا قبل از مهارت‌های ریاضی، یادآوری از علوم سال هفتم است ضمن آنکه در مثال ۳-۳، 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 به صورت $F=ma$ آشنایی دارند و در این رابطه F را به عنوان نیروی خالص وارد بر جسم می‌شناسند.

در استفاده از رابطه $W=Fd$ و رابطه $W=(F\cos\theta)d$ فرض می‌کنیم که می‌توانیم جسم مورد بررسی را به صورت یک ذره در نظر بگیریم به طوری که هرگونه چرخش یا تغییر شکل جسم قابل چشم‌پوشی باشد (صلب و بدون چرخش).
به عبارت دیگر جسم باید ذره‌مانند (Particle-Like) باشد، یعنی باید همه قسمت‌های آن با هم و در یک جهت حرکت کنند.

(فیزیک دانشگاهی - ویراست ۱۲ - جلد ۱ - فصل ۶)
(مبانی فیزیک هالیدی - ویراست ۱۰ - جلد ۱ - فصل ۷)

کار انرژی و توان

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



عرب است هالیدی



لایب‌نیتس فیلسوف و ریاضی‌دان آلمانی نخستین دانشمندی بود که به اهمیت انرژی جنبشی در فیزیک پی برد. لایب‌نیتس استدلال می‌کرد که در طبیعت حاصل ضرب جرم در مربع تندی پاشنه است. وی نام این مفهوم جدید را نیروی زنده نامید.
سال‌ها پیش از لایب‌نیتس، رنه دکارت (۱۵۹۶-۱۶۵۰)، فیلسوف، ریاضی‌دان و فیزیک‌دان فرانسوی ادعا کرده بود حاصل ضرب جرم در سرعت که امروزه تکانه نامیده می‌شود، در طبیعت کمیتی پاشنه است.
معرفی واژه انرژی به جای اصطلاح نیروی زنده را به توماس یانگ (۱۷۷۳-۱۸۲۹)، فیزیک‌دان انگلیسی نسبت داده‌اند. هر چند از اصطلاح جدیدی در ابتدا چندان استقبال نشد، او در کتابی که در سال ۱۸۰۷ میلادی به چاپ رساند، پیشنهاد کرد که به منظور ساز بهتر میان مفاهیم نیرو و انرژی، به جای نیروی زنده از واژه انرژی استفاده شود. در سال ۱۸۴۳ میلادی، رز وکین و پیرت دو فیزیک‌دان اسکاتلندی در چند اثر رساله فلسفه طبیعی، اصطلاح انرژی انرژی جنبشی را برای انرژی جسم در حال حرکت به کار بردند و عرب یک دوم را هم که لایب‌نیتس در نظر گرفته بود، وارد کردند.

کار انجام شده توسط نیروی ثابت

در علوم سال هفتم دیدیم که مفهوم کار در فیزیک، با مفهوم آن در زندگی روزمره بسیار متفاوت است. همچنین با تعریف کار، برای حالتی که نیروی وارد شده به جسم، ثابت و یا جابه‌جایی جسم در یک جهت باشد (شکل ۳-۲)، به صورت رابطه زیر آشنا شدیم :



$$W = Fd \quad (3-2)$$

$W = \text{work (Joules)}$

تمرین‌های پیشنهادی بخش ۱-۳

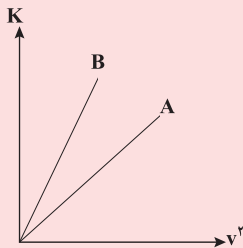
۱ شکل روبه‌رو کامیونی به جرم ۲۵ تن و خودرویی به جرم 900 kg را نشان می‌دهد که در امتداد مسیر مستقیمی در حرکت‌اند.



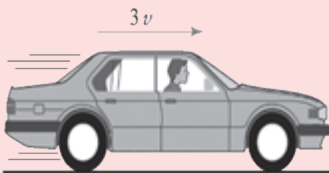
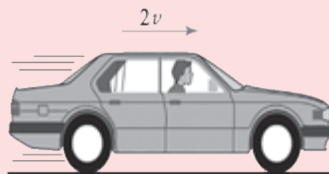
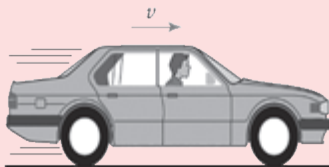
الف) اگر تندی کامیون و خودرو یکسان و برابر 72 km/h باشد، انرژی جنبشی هر کدام را به طور جداگانه پیدا کنید.

ب) اگر کامیون با تندی 10 m/s در حرکت باشد، خودرو باید با چه تندی‌ای حرکت کند تا انرژی جنبشی آن با انرژی جنبشی کامیون برابر شود؟

۲ نمودار انرژی جنبشی دو خودرو به جرم‌های m_A و m_B برحسب مجذور تندی آنها مطابق شکل روبه‌رو است. جرم کدام خودرو بیشتر است؟



۳ الف) در شکل روبه‌رو، خودرویی به جرم m با سه تندی متفاوت نشان داده شده است. انرژی جنبشی خودرو را در هر شکل برحسب m و v پیدا کنید.



ب) با توجه به نتیجه قسمت الف جمله‌های زیر را کامل کنید.
اگر تندی حرکت جسمی دو برابر شود انرژی جنبشی آن برابر می‌شود.
اگر تندی حرکت جسمی به $\frac{1}{3}$ مقدار اولیه برسد انرژی جنبشی آن برابر می‌شود.

دانستنی برای معلم

انرژی جنبشی، یا کار، کدام یک مفهوم محوری تر و اساسی تر هستند؟ طرح درس این کتاب، هماهنگ با منابعی مانند مبانی فیزیک هالیدی-رنزیک-واکر، مفاهیم انرژی، انرژی جنبشی، و پایداری انرژی را مقدم بر مفهوم کار گرفته است. متن زیر، از فصل ۷ ویراست ۱۰ مبانی فیزیک هالیدی، این ایده را تا حدی توضیح می دهد.

کار

اگر با وارد آوردن نیرو بر یک جسم، آن را تا یک تندی بزرگ تر شتابدار کنید، انرژی جنبشی $K = \frac{1}{2}mv^2$ آن جسم را افزایش داده اید. به همین ترتیب، اگر با وارد آوردن نیرویی یک جسم را تا یک تندی کوچک تر شتابدار کنید، انرژی جنبشی آن جسم را کاهش داده اید. این تغییرات انرژی جنبشی را با بیان اینکه نیروی شما، انرژی را از شما «به» جسم یا «از» جسم به شما منتقل کرده است، توضیح می دهیم. در چنین انتقالی از انرژی که توسط نیرو صورت می گیرد، گفته می شود که کار W توسط نیرو روی جسم انجام شده است. به بیانی رسمی تر، کار را چنین تعریف می کنیم:

کار W عبارت است از انرژی منتقل شده به جسم یا انتقال یافته از آن، توسط نیرویی که بر آن جسم وارد شود. انرژی منتقل شده به جسم، کار مثبت و انرژی انتقال یافته از جسم، کار منفی است.

بنابراین «کار» همان انرژی انتقال یافته است؛ «انجام کار» عمل انتقال انرژی است. کار همان یکای انرژی را دارد و کمیتی نرده ای است. واژه انتقال می تواند گمراه کننده باشد. این واژه به این معنا نیست که ماده ای به داخل جسم وارد یا از آن خارج شده است؛ یعنی، انتقال [انرژی] مانند شارش آب نیست. بلکه، به انتقال الکترونیکی پول بین دو حساب بانکی می ماند: در حالی که موجودی یک حساب افزایش می یابد، موجودی حساب دیگر کاهش پیدا می کند، بی آنکه چیزی مادی بین این دو حساب جابه جا شده باشد.

توجه کنید که در اینجا معنی متداول واژه «کار»، که حاکی از هر گونه تلاش فیزیکی یا ذهنی باشد، مورد نظر ما نیست. مثلاً اگر دیواری را به سختی فشار دهید، بر اثر انقباض های مداوم و متوالی ماهیچه ها که لازمه این عمل است، خسته می شوید و در اصطلاح متداول کار انجام می دهید. ولی چنین تلاشی باعث انتقال انرژی به دیوار یا بالعکس نمی شود و بنابراین طبق تعریفی که در اینجا ارائه کردیم، کاری روی دیوار انجام نگرفته است.

کار و انرژی جنبشی، یافتن رابطه ای برای کار

می خواهیم با در نظر گرفتن مهره ای که می تواند بر یک سیم بدون اصطکاک، واقع بر محور افقی x بلغزد رابطه ای برای کار به دست آوریم. نیروی ثابت \vec{F} که در جهت ϕ نسبت به سیم به آن وارد می شود (زاویه نیرو با سیم ϕ است) مهره را در طول سیم شتاب می دهد. نیرو و شتاب را می توانیم با استفاده از قانون دوم نیوتون، برای مؤلفه هایی که در راستای محور x نوشته شده اند، به هم مربوط کنیم:

$$F_x = ma_x$$

که در آن m جرم مهره است. وقتی مهره جابه‌جایی \vec{d} را انجام دهد، این نیرو سرعت مهره را از مقدار اولیه \vec{v}_0 به مقدار دیگر \vec{v} تغییر می‌دهد. چون نیرو ثابت است، می‌دانیم که شتاب نیز ثابت است. بنابراین می‌توانیم برای مؤلفه‌های واقع بر راستای محور x بگوییم:

$$v^2 = v_0^2 + 2a_x d$$

با حل این معادله برای a_x ، جای‌گذاری آن در معادله $F_x = ma_x$ ، و مرتب کردن نتیجه آن چنین به‌دست می‌آوریم:

$$\frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = F_x d$$

نخستین جمله سمت چپ این معادله، انرژی جنبشی K_f مهره در پایان جابه‌جایی d و دومین جمله، انرژی جنبشی K_i مهره در آغاز این جابه‌جایی است. بنابراین سمت چپ معادله اخیر حاکی از آن است که انرژی جنبشی بر اثر نیرو تغییر پیدا کرده است و سمت راست این معادله حاکی از تغییری معادل با $F_x d$ است. از این رو، کار W بی که توسط نیرو بر روی مهره انجام شده است (یا انرژی‌ای که بر اثر نیرو انتقال یافته است) برابر است با:

$$W = F_x d$$

اگر مقدارهای F_x و d معلوم باشند، از این معادله می‌توانیم برای محاسبه کار W بی که نیرو بر مهره انجام داده است استفاده کنیم.

حل تمرین ۳-۳

$$m = 65 \text{ kg}$$

$$d = 45 \text{ cm} = (45 \text{ cm}) \times \left(\frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}}\right) = 45 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$g = 9/8 \text{ N/kg}$$

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

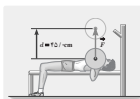
$$F = mg$$

$$F = 65 \text{ kg} \times 9/8 \text{ N/kg} = 6/4 \times 10^2 \text{ N}$$

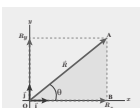
$$W = Fd = 6/4 \times 10^2 \text{ N} \times 45 \times 10^{-2} \text{ m} = 2/9 \times 10^2 \text{ J}$$

برای آگاهی از سطح‌آشنایی دانش‌آموزان با بردارها، به کتاب ریاضی سال هشتم مراجعه کنید. در این کتاب یک فصل به بردارها اختصاص داده شده است.

کتاب الفزیک و مکانیک



ورزشکاری وزنه‌ای به جرم 65 kg را به طور یکنواخت، 45 cm بالا می‌برد. اگر نیروی کشش را F و نیروی وزن را W در نظر بگیریم، این ورزشکار روی وزنه انجام داده، است را محاسبه کنید. اندازه شتاب گرانش زمین را $9/8 \text{ N/kg}$ بگیرید.



معمولاً برای بیان بردارهای مکانی (معمولاً بردارهای مکانی) در یک سیستم مختصات، بردارهای \vec{i} و \vec{j} را به عنوان بردارهای واحد در نظر می‌گیریم. اگر R_1 و R_2 مؤلفه‌های بردار \vec{R} روی محورهای \vec{i} و \vec{j} باشند، می‌توان نوشت:

$$\vec{R} = R_1 \vec{i} + R_2 \vec{j} \quad (1)$$

همچنین در ریاضی سال دهم دیده که در یک مثلث قائم‌الزاویه، مانند مثلث OAB در شکل بالا، توابع مثلثاتی سینوس و کسینوس را برای زاویه θ به صورت زیر تعریف می‌کنند:

$$\sin \theta = \frac{AB}{OA} \quad \text{و} \quad \cos \theta = \frac{OB}{OA} \quad (2)$$

اگر اندازه بردار \vec{R} را با R نشان دهیم، با توجه به شکل بالا داریم:

$$OA = R, \quad OB = R \cos \theta, \quad \text{و} \quad AB = R \sin \theta$$

به این ترتیب، مؤلفه‌های بردار \vec{R} را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$R_1 = R \cos \theta \quad \text{و} \quad R_2 = R \sin \theta \quad (3)$$

با جایگذاری رابطه‌های (۳) در رابطه (۱) می‌توان یک بردار را بر حسب توابع مثلثاتی سینوس و کسینوس نوشت. به این ترتیب داریم:

$$\vec{R} = R \cos \theta \vec{i} + R \sin \theta \vec{j} \quad (4)$$

برای مثلثی که در شکل بالا دیده می‌شود، می‌توانیم مؤلفه افقی این بردار $F_x = F \cos \theta$ و مؤلفه عمودی آن $F_y = F \sin \theta$ است که در آن F اندازه بردار \vec{F} است.

فصل ۳

همان‌طور که تا اینجا دیدیم، تعریف کار بر اساس رابطه ۳-۳ تنها برای حل مسئله‌های به کار می‌رود که نیرو و جابه‌جایی در یک جهت باشند. اگر متعلق شکل ۳-۳ نیرو وارد شده به جسم با جابه‌جایی زاویه θ باشد، در این حالت نیروی \vec{F} دارای دو مؤلفه است؛ یکی موازی با جابه‌جایی و دیگری عمود بر آن. همان‌طور که از علوم هفتم نیز یاد دارید، مؤلفه‌ای از نیرو که بر جابه‌جایی عمود است (F_{\perp}) کاری روی جسم انجام نمی‌دهد. کار انجام شده روی جسم تنها ناشی از مؤلفه‌ای از نیرو است که در راستای جابه‌جایی است (F_{\parallel}). در این حالت، کاری که نیروی ثابت \vec{F} به ازای جابه‌جایی \vec{d} روی جسم انجام می‌دهد از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$W = (F \cos \theta) d \quad (3-3)$$



شکل ۳-۳ نیروی ثابت \vec{F} با جابه‌جایی \vec{d} زاویه θ می‌سازد و کار $W = (F \cos \theta) d$ را روی جسم انجام می‌دهد.

مثال ۳-۳

شکل زیر دو شخص را نشان می‌دهد که جمعی از با نیروی ثابت 200 N روی سطحی هموار و با اصطکاک ناچیز به اندازه 10 m جابه‌جایی می‌کند. الف) کار انجام شده توسط این نیرو محاسبه کنید؟ ب) نیروهای دیگری را که بر جسم وارد می‌شوند مشخص کنید. کاری را که هر کدام از این نیروها روی جسم انجام می‌دهند حساب کنید.

پاسخ: الف) با جایگزینی اطلاعات داده شده و $\cos 0^\circ = \cos 0^\circ = 1$ داریم:

$$W = (F \cos \theta) d = (200 \text{ N} \times \frac{\sqrt{3}}{2}) (10 \text{ m}) = 1732 \text{ J} \approx 1.7 \times 10^3 \text{ J}$$

ب) نیروی وزن و نیروی عمودی سطح و جابه‌جایی عمودند (شکل روبرو) و کاری روی جسم انجام نمی‌دهند. (توجه کنید که $\cos 90^\circ = 0$)

۱- نیروی عمود از اهداف این فصل است، بلکه نگاه کلی روی این موضوع است که نقطه‌هایی از نیرو که در آنجا جابه‌جایی است کار انجام می‌دهد. برای درک از این مسئله این درس، تجربه روبرو را در نظر بگیرید.

۵۸

راهنمای تدریس: همان‌طور که در کتاب درسی نیز اشاره شده در برنامه درسی این کتاب، تجزیه یک نیرو به مؤلفه‌های x و y هدف‌گیری نشده است. در اینجا فقط لازم است دانش‌آموزان بفهمند مؤلفه نیرو در امتداد جابه‌جایی است که کار انجام می‌دهد و کار مؤلفه عمود بر جابه‌جایی همواره صفر است. به همین دلیل در رابطه محاسبه کار (رابطه ۳-۳)، مؤلفه نیرو در امتداد جابه‌جایی به‌طور جداگانه و در یک پراتنر آمده است ($F \cos \theta$).

حل تمرین ۳-۴

چون گفته به آرامی پایین می‌آورد $F = mg$ است.

$$F = 6/4 \times 10^2 \text{ N}$$

$$d = 45 \text{ cm} = 0.45 \text{ m}$$

$$\theta = 18^\circ, \cos 18^\circ = -1$$

$$W = (F \cos \theta) d = -6/4 \times 10^2 \text{ N} \times 0.45 \text{ m} = -2/9 \times 10^2 \text{ J}$$

در تمرین ۳-۳ ورزشکار 29 kJ + کار روی وزنه انجام داد. کمی بعد می‌بینیم این نتیجه به این معنی است که ورزشکار 29 kJ انرژی از دست داده و به انرژی وزنه 29 kJ اضافه شده است. در این تمرین ورزشکار 29 kJ - کار روی وزنه انجام داده است و به این معنی است که ورزشکار 29 kJ انرژی به دست آورده و از انرژی وزنه 29 kJ کاسته شده است.

کتاب، انرژی و توان

تمرین ۳-۴

تمرین ۳-۴ را دوباره ببینید. کار انجام شده توسط ورزشکار را روی وزنه برای حالتی حساب کنید که ورزشکار با وارد کردن همان نیروی \vec{F} ، وزنه را به آرامی پایین می‌آورد (شکل روبرو). توضیح دهید که در این دو حالت، چه تفاوتی بین کار انجام شده توسط ورزشکار وجود دارد.

پاسخ ۳-۴

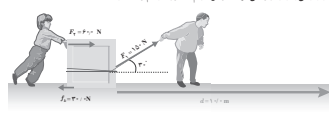
شخصی جسمی را یک بار با شتاب به سمت بالا و بار دیگر با شتاب کمتر به سمت پایین می‌کشد. اگر جابه‌جایی و کاری که این شخص در هر دو بار روی جسم انجام می‌دهد یکسان باشد، توضیح دهید در کدام حالت، شخص نیروی بزرگ‌تری وارد کرده است. اصطکاک را در هر دو حالت، ناچیز فرض کنید.



کار کل: اگر به جای یک نیرو، چند نیرو بر جسم وارد شود، با استفاده از رابطه ۳-۳، کار انجام شده توسط هر نیرو را به‌طور جداگانه محاسبه می‌کنیم. سپس با جمع جبری کار انجام شده توسط تک‌تک نیروها کار کل (W) را می‌یابیم. می‌توان نشان داد کار کل انجام شده روی جسم با کار نیروی خالص وارد بر جسم، برابر است.

مثال ۳-۵

شکل زیر پدر و پسر را در حال جابه‌جایی کردن یک جعبه سنگین روی سطحی هموار نشان می‌دهد. نیروی F_1 پدر و نیروی F_2 پسر به جسم وارد می‌کنند و از نیروی اصطکاک چنینی است که با حرکت جسم مخالفت می‌کند و در خلاف جهت جابه‌جایی به جسم وارد می‌شود. کار کل انجام شده روی جسم را محاسبه کنید.

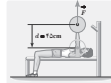


۱- نیروی پسر 400 N از سمت چپ و نیروی پدر 600 N از سمت راست به جعبه کشیده شده است.

۵۹

کتاب فیزیک و مهندسی

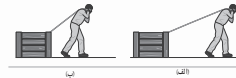
تمرین ۳-۲



تمرین ۳-۲ را دوباره ببینید. کار انجام شده توسط ورزشکار را روی وزنه برای حالتی حساب کنید که ورزشکار با وارد کردن همان نیروی F ، وزنه را به آرامی پایین می‌آورد (شکل رویه رو). توضیح دهید که در این دو حالت، چه تفاوتی بین کار انجام شده توسط ورزشکار وجود دارد.

تمرین ۳-۳

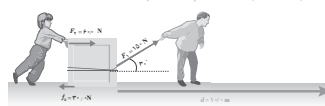
نخشم جسمی را یک بار با خطی بلند (شکل الف) و بار دیگر با خطی کوتاه‌تر (شکل ب) روی سطح هموار می‌کشد. اگر جابه‌جایی و کاری که این نخشم در هر دو بار روی جعبه انجام می‌دهد یکسان باشد، توضیح دهید در کدام حالت، نخشم نیروی بزرگ‌تری وارد کرده است. اصطکاک را در هر دو حالت، اجتناب فرض کنید.



کار کل: اگر به جای یک نیرو، چند نیرو بر جسم وارد شود، با استفاده از رابطه ۳-۳، کار انجام شده توسط هر نیرو را به طور جداگانه محاسبه می‌کنیم. سپس با جمع جبری کار انجام شده توسط تک‌تک نیروها کار کل $(W_{\text{کل}})$ را می‌یابیم. می‌توان نشان داد کار کل انجام شده روی جسم با کار نیروی خالص وارد بر جسم، برابر است.

مثال ۳-۵

شکل زیر پدر و پسر را در حال جابه‌جا کردن یک جعبه سنگین روی سطح هموار نشان می‌دهد. نیروی F_1 را پدر و نیروی F_2 را پسر به جسم وارد می‌کنند و اگر نیز نیروی اصطکاک چسبشی است که با حرکت جسم مخالفت می‌کند و در خلاف جهت جابه‌جایی به جعبه وارد می‌شود. کار کل انجام شده روی جسم را محاسبه کنید.



۱- نیروی N را از سرچشمه‌ای که گرفته شده است.

۵۹

پاسخ پرسش ۲-۳

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

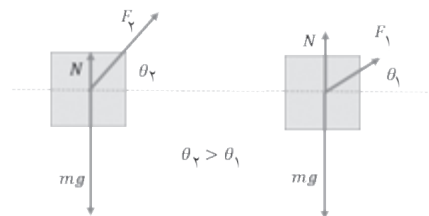
$$W_1 = (F_1 \cos \theta_1) d \quad \text{طناب بلند،}$$

$$W_2 = (F_2 \cos \theta_2) d \quad \text{طناب کوتاه،}$$

$$W_1 = W_2 \Rightarrow (F_1 \cos \theta_1) d = (F_2 \cos \theta_2) d$$

$$F_1 \cos \theta_1 = F_2 \cos \theta_2$$

$$\theta_2 > \theta_1 \Rightarrow \cos \theta_2 < \cos \theta_1 \Rightarrow F_2 > F_1$$



راه حل و پاسخ این مسئله، ربطی به بود و نبود اصطکاک بین بار و سطح افقی زمین ندارد. فرض ناچیز بودن اصطکاک در این سؤال برای آن است که ذهن دانش‌آموزان درگیر موضوعی مزاحم در حل مسئله نشود. همچنین لازم نیست برای فهمیدن بزرگ‌تر بودن θ_2 از θ_1 درگیر استدلال هندسی و ریاضی شویم، درک تصویری مستقیم دانش‌آموزان کفایت می‌کند. این جنس سخت‌گیری‌ها اگرچه ذهن ریاضی قدرتمند اقلیتی از دانش‌آموزان را راضی می‌کند ولی اکثریت دانش‌آموزان کلاس را از فرایند درس خسته و حذف می‌نماید.

مثال ۳۲

پاسخ:

کار انجام شده توسط هر نیرو را به طور جداگانه محاسبه می‌کنیم. برای محاسبه کار نیروی F_1 ، اطلاعات داده شده و $\cos \theta = \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}$ را در رابطه $W = F_1 \cos \theta d$ جایگذاری می‌کنیم. به این ترتیب داریم:

$$W_1 = (F_1 \cos \theta) d = (150 \times \frac{\sqrt{3}}{2} \times 2) = 150 \times \sqrt{3} \text{ J}$$

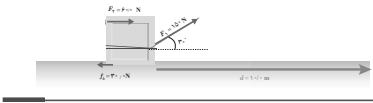
چون پس‌رجه را در جهت جابه‌جایی می‌دهد، کار انجام شده توسط نیروی F_1 برابر است با:

$$W_1 = F_1 d = (150 \times \sqrt{3}) \times 2 = 300 \sqrt{3} \text{ J}$$

برای محاسبه کار نیروی f_k ، اطلاعات داده شده و $\cos \theta = \cos 180^\circ = -1$ را در رابطه $W = f_k \cos \theta d$ جایگذاری می‌کنیم. پس:

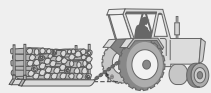
$$W_k = (f_k \cos \theta) d = (35 \times (-1) \times 2) = -70 \text{ J}$$

همان‌طور که گفتیم کار کل (W_t) انجام شده با جمع جبری مقدار کار انجام شده توسط تک نیروها برابر است. توجه کنید که کار نیروی وزن و نیروی عمودی نیکه‌کار صفری است. به این ترتیب داریم:

$$W_t = W_1 + W_k = 300 \sqrt{3} \text{ J} - 70 \text{ J} = (300 \sqrt{3} - 70) \text{ J} = 438 \text{ J}$$


تمرین ۳-۵

کشاورزی توسط تراکتور، سورتمه‌ای را از قطعه‌های چوبی پوش داده شده برای کارخانه را روی سطح افقی و در مسیر مستقیم به اندازه 20 m جابه‌جا می‌کند. شکل زیر، وزن کل سورتمه و بار آن 15000 N است. تراکتور نیروی ثابت $F = 5500 \text{ N}$ را در زاویه $\theta = 45^\circ$ بالای افق به سورتمه وارد می‌کند. نیروی اصطکاک جنبشی $f_k = 3500 \text{ N}$ است که برخلاف جهت حرکت به سورتمه وارد می‌شود. کار کل انجام شده روی سورتمه را محاسبه کنید.



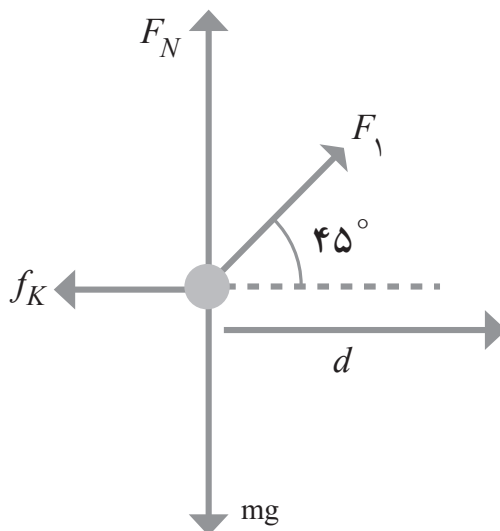
حل تمرین ۳-۵

$$d = 20 \text{ m}$$

$$mg = 15000 \text{ N}$$

$$F_1 = 5500 \text{ N}$$

$$f_k = 3500 \text{ N}$$



$$W_1 = (F_1 \cos \theta) d = (5500 \text{ N} \times \frac{\sqrt{2}}{2}) (20 \text{ m}) = 778 \times 10^3 \text{ J}$$

$$W_{fk} = (f_k \cos \theta) d = [3500 \text{ N} \times (-1)] (20 \text{ m}) = -70 \times 10^3 \text{ J}$$

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

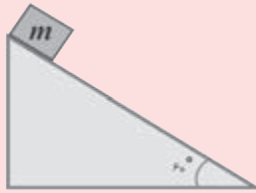
$$W_t = W_1 + W_{fk} = 778 \times 10^3 \text{ J} - 70 \times 10^3 \text{ J} = 708 \times 10^3 \text{ J}$$

تمرین‌های پیشنهادی بخش ۳-۲

۱ در چهار شکل زیر جعبه‌ها روی سطح افقی، به طرف راست و به اندازه d می‌لغزند. بزرگی نیروی \vec{F} در چهار شکل یکسان است. کار نیروی \vec{F} در این چهار شکل را با توجه به علامت جبری، از بزرگ به کوچک مرتب کنید.



۲ جسمی به جرم 2 kg از بالای سطح شیب‌داری با زاویه شیب 60° مطابق شکل به پایین می‌لغزد. کار نیروی عمودی تکیه‌گاه، که از طرف سطح به جسم وارد می‌شود، در یک جابه‌جایی 2 متری چقدر است؟



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



۳-۳- کار و انرژی جنبشی

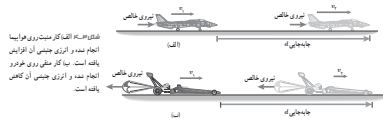
راهنمای تدریس: قضیه کار و انرژی جنبشی از مهم ترین نقاطی است که دو مفهوم کار و انرژی در این نقاط به هم مربوط می شوند. کسب مهارت در حل مسئله ها، با به کارگیری این قضیه بسیار اهمیت دارد.

دانش قبلی دانش آموزان در بحث حرکت شناسی علوم کلاس نهم به اندازه ای نیست که بتوان قضیه کار و انرژی جنبشی را حتی در حالت بسیار ساده «نیروی ثابت هم جهت با جابه جایی و حرکت بر خط راست»، برای ایشان اثبات کرد. به همین جهت کتاب درسی سعی کرده است با بیانی توصیفی و رویکردی تصویری، ذهن دانش آموزان را برای پذیرش این قضیه آماده کند.

کار، انرژی و توان

۳-۳- کار و انرژی جنبشی

اگر در حین جابه جایی جسمی، نیروی حاصلی به آن وارد شود، کار کل انجام شده روی جسم ممکن است مثبت یا منفی باشد. در شکل ۳-۳۱، نیروی حاصلی وارد شده به هواپیما یا جابه جایی آن هر جهت است و کار کل انجام شده روی هواپیما، سبب افزایش انرژی جنبشی آن شده است؛ در حالی که در شکل ۳-۳۲، نیروی حاصلی و جابه جایی به یک خودروی مسافتی وارد شده و کار کل انجام شده روی آن، سبب کاهش انرژی جنبشی اتومبیل شده است. به این ترتیب، می توان گفت: وقتی نیروی حاصلی به جسمی وارد می شود، اگر کار مثبتی روی جسم انجام دهد به معنای دادن انرژی به آن است و اگر کار منفی روی جسم انجام دهد، به معنای گرفتن انرژی از آن است.



بن کار کل انجام شده روی یک جسم و تغییر انرژی جنبشی آن رابطه ای وجود دارد که به قضیه کار - انرژی جنبشی معروف است. مطابق این قضیه، کار کل انجام شده روی یک جسم با تغییر انرژی جنبشی آن برابر است. اگر انرژی جنبشی جسم را در دو وضعیت متفاوت با K_1 و K_2 نشان دهیم، در این صورت قضیه کار - انرژی جنبشی با رابطه زیر بیان می شود:

$$W = K_2 - K_1 \quad (۳-۳)$$

حکایتی که $W > 0$ است انرژی جنبشی جسم افزایش می یابد. انرژی جنبشی باقی برگزگ تر از انرژی جنبشی آغازی K_1 است؛ و جسم در پایان جابه جایی کمتر از آغاز آن حرکت می کند. حکایتی که $W < 0$ است، انرژی جنبشی جسم کاهش می یابد ($K_2 < K_1$)، و تبدی آن پس از جابه جایی کمتر است. حکایتی که $W = 0$ است انرژی جنبشی جسم در دو نقطه آغازی و پایانی یکسان ($K_2 = K_1$) و تبدی آن نیز در این دو نقطه برابر است. توجه کنید که قضیه کار - انرژی جنبشی به تنها برای حرکت یک جسم روی مسیری مستقیم معتبر است، بلکه اگر جسم روی هر مسیر خمیده ای نیز حرکت کند، می توان از آن استفاده کرد (مبحث ۳-۴ را ببینید). قضیه کار - انرژی جنبشی، قانون جدیدی در فیزیک نیست؛ بلکه صرفاً کار (رابطه ۳-۳) و انرژی جنبشی (رابطه ۳-۲) را به هم مرتبط می سازد و به سادگی می توان آن را از قانون دوم نیوتون بدست آورد.

۶۱

حل تمرین ۳-۶

نیروی دست: $F = ۱۵۰ \text{ N}$ $m = ۱۰ \text{ kg}$ $d = ۱/۵ \text{ m}$, $g = ۹/۸ \text{ N/kg}$

(الف)

$$W_{\text{mg}} = mg \times d \cos ۱۸^\circ = ۱۰ \text{ kg} \times ۹/۸ \text{ N/kg} \times ۱/۵ \text{ m} \times (-۱) = -۱۴۷ \text{ J} \approx -۱/۵ \times ۱۰^۲ \text{ J}$$

$$W_F = F \times d \times \cos 0^\circ = ۱۵۰ \text{ N} \times ۱/۵ \text{ m} \times (۱) = ۲۲۵ \text{ J}$$

$$\approx ۲/۲ \times ۱۰^۲ \text{ J}$$

(ب)

$$W_t = W_{\text{mg}} + W_F = -۱۴۷ \text{ J} + ۲۲۵ \text{ J} = ۷۸ \text{ J}$$

(پ)

$$W_t = K_f - K_i \Rightarrow ۷۸ \text{ J} = \frac{1}{2} \times ۱۰ \text{ kg} \times v_f^2$$

$$\Rightarrow v_f^2 = ۱۵/۶ \text{ (m}^2/\text{s}^2) \Rightarrow v_f = ۳/۹ \text{ m/s}$$

کار، انرژی و توان

به این ترتیب، کار نیروی مقاومت هوا برابر است با:

$$W_{\text{air}} = -247 \times ۱۰^{-3} \text{ J} \approx -۰.۲۴۷ \text{ J} \Rightarrow W_{\text{air}} = -۰.۲۴۷ \text{ J} \approx -۰.۲۴۷ \text{ J}$$

توجه کنید برای اینکه جبران به طور آسان و با دقتی نسبتاً کمی به زمین برسد، کار نیروی مقاومت هوا اثر کار نیروی وزن را تقریباً خنثی کرده است.

تمرین ۳-۶

شکل زیر تصویر شخصی را نشان می دهد که با وارد کردن نیروی ثابت ۱۵۰ N به جرم ۱۰ kg را از حال سکون در امتداد قائم جابه جا می کند. الف) کار انجام شده توسط شخص و کار انجام شده توسط نیروی وزن را روی جسم تا ارتفاع $۱/۵ \text{ m}$ به طور جداگانه حساب کنید. ب) کار کل انجام شده روی جسم تا ارتفاع $۱/۵ \text{ m}$ چقدر است؟ ب) با استفاده از قضیه کار - انرژی جنبشی، تبدی نهایی جسم را در ارتفاع $۱/۵ \text{ m}$ حساب کنید.

تمرین ۳-۷
جرم یک خودرو الکتریکی به همراه راننده اش ۸۴ kg است. وقتی این خودرو از موقعیت A به موقعیت B می رود، کار کل انجام شده روی خودرو ۲۲۵۰ J است. اگر تبدی خودرو در موقعیت A برابر ۵۲۱ kJ باشد، تبدی آن در موقعیت B چقدر می تواند باشد؟

تمرین ۳-۸
دو قایق بادبانی مخصوص حرکت روی مسطح مجزای، دارای جرم های m_1 و m_2 روی دریاچه آبی و بدون اصطکاک قرار دارند و نیروی ثابت و یکسان F با وزین باد به هر دو وارد می شود (شکل زیر). هر دو قایق از حال سکون شروع به حرکت می کنند و پس از جابه جایی d ، از خط پایان می گذرند. انرژی جنبشی و تبدی قایق ها را درست پس از عبور از خط پایان، با هم مقایسه کنید.

۱۰۰۰۰۰۰۰

۶۲

حل تمرین ۳-۷

$$m = 8/4 \times 10^2 \text{ kg}, W_t = 7/35 \times 10^4 \text{ J}, v_A = 54/10 \text{ km/h}, v_B = ?$$

حل: ابتدا تندى در موقعیت A را بر حسب m/s می نویسیم:

$$v_A = (54/10 \text{ km/h}) \left(\frac{1}{3600} \frac{\text{h}}{\text{s}} \right) \left(\frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} \right) = 15/10 \text{ m/s}$$

$$W_t = K_B - K_A$$

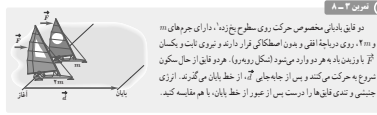
$$7/35 \times 10^4 \text{ J} = \frac{1}{2} (8/4 \times 10^2 \text{ kg}) v_B^2$$

$$- \frac{1}{2} (8/4 \times 10^2 \text{ kg}) (15/10 \text{ m/s})^2$$

$$\Rightarrow v_B^2 = 4 \times 10^2 \text{ m}^2/\text{s}^2 \Rightarrow v_B = 20 \text{ m/s}$$

کتاب انرژی و مکان

به این ترتیب، کار نیروی مقاومت هوا برابر است با:
 $0/88 \times 10^{-2} \text{ J} + W'_{\text{مقاومت هوا}} = 81/2 \Rightarrow W'_{\text{مقاومت هوا}} = 81/2 - 0/88 \times 10^{-2}$
 توجه کنید برای اینکه جریز به طور ایمن و با تندى نسبتاً کمى به زمین برسد، کار نیروی مقاومت هوا اثر کار نیروی وزن را
 غرضاً خنثی کرده است.



۱- کتابخانه

۳۳

حل تمرین ۳-۸

قضیه کار-انرژی جنبشی را برای هر دو قایق می نویسیم

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

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

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

اگر تندى نهایی قایق سبک را با v_2 و تندى نهایی قایق سنگین را با v'_2 نشان دهیم، آن گاه:

$$k_2 = k'_2$$

$$\frac{1}{2} m v_2^2 = \frac{1}{2} (2m) (v'_2)^2 \Rightarrow v_2^2 = 2 (v'_2)^2$$

$$\Rightarrow v_2 = v'_2 \sqrt{2}$$

حل تمرین ۳-۹

$$W_{1t} = K_2 - K_1 = \frac{1}{2}mv^2 - 0 = \frac{1}{2}mv^2,$$

$$W_{2t} = K_3 - K_1 = \frac{1}{2}m(2v)^2 - \frac{1}{2}mv^2 = \frac{3}{2}mv^2$$

$$\Rightarrow W_{1t}/W_{2t} = \frac{\frac{1}{2}mv^2}{\frac{3}{2}mv^2} = \frac{1}{3}$$



۶۶

مثال پیشنهادی

جسمی به جرم 2 kg را از سطح زمین و از حالت سکون، با شتاب ثابت $\frac{2}{2} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ تا ارتفاع 1 m از سطح زمین بالا می‌بریم. الف) کار انجام شده توسط نیروی بالا بر (نیروی که جسم را بالا می‌برد) و کار نیروی وزن جسم را به دست آورید.

ب) افزایش انرژی جنبشی جسم چقدر است؟

حل :

الف) به جسم نیروی بالا بر F ، در امتداد قائم و رو به بالا، و وزن mg در امتداد قائم و رو به پایین وارد می‌شود. می‌دانیم $F > mg$ است. همچنین می‌دانیم بنا به قانون دوم نیوتون $F - mg = ma$ خالص است.

$$F_{\text{خالص}} = F - mg = ma$$

$$F = m(g + a) = (2 \text{ kg})(9.8 \text{ m/s}^2 + 2 \text{ m/s}^2) = 24 \text{ N}$$

$$W_F = Fd \cos 0 = 24 \text{ N} \times 1 \text{ m} \times 1 = 24 \text{ J} = 24 \times 10^0 \text{ J}$$

$$W_{\text{وزن}} = (mg \cos \theta)d = (2 \text{ kg})(9.8 \text{ N/kg})(\cos 180^\circ)(1 \text{ m}) = -19.6 \text{ J} \approx -20 \times 10^0 \text{ J}$$

(ب) مطابق قضیه کار و انرژی، افزایش انرژی جنبشی جسم برابر کار کل است.

$$W_t = W_F + W_{\text{وزن}} = 240 \text{ J} - 196 \text{ J} = 44 \text{ J}$$

$$\Delta K = W_t \Rightarrow \Delta K = 44 \text{ J} \approx 4 \times 10 \text{ J}$$

بنابه ملاحظات مربوط به ارقام معنی دار در محاسبه، W_t و ΔK باید $4 \times 10 \text{ J}$ نوشته شود؛ یعنی نتیجه این محاسبه یک رقم معنی دار، دارد، که البته به کارگیری این ملاحظه ممکن است دانش آموزان را گیج کند. در این مورد دبیران محترم به صلاحدید خود تصمیم گیری کنند.

تمرین های پیشنهادی بخش ۳-۳

۱ قضیه کار - انرژی جنبشی به صورت رابطه $W_t = K_f - K_i$ بیان می شود. این رابطه نشان می دهد:

(الف) جمع جبری کارهای تک تک نیروهای وارد بر جسم در یک جابه جایی با تغییر انرژی جنبشی جسم در آن جابه جایی برابر است.
(درست ☐ نادرست ☐)

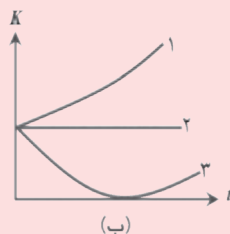
(ب) اگر کار کل نیروهای وارد بر جسم مثبت باشد، انرژی جنبشی جسم کاهش می یابد.
(درست ☐ نادرست ☐)

(پ) اگر جسم با تندی ثابت در حرکت باشد، کار کل نیروهای وارد بر جسم صفر است.
(درست ☐ نادرست ☐)

۲ شکل الف دو نیروی ثابت و افقی را نشان می دهد که به جسمی که روی سطح افقی بدون اصطکاکی به طرف راست می لغزد وارد شده اند. شکل ب سه نمودار انرژی جنبشی K را بر حسب زمان t نشان می دهد. هر یک از این سه نمودار با کدام یک از سه وضعیت زیر برای این جسم، بهتر سازگار است؟



(الف)



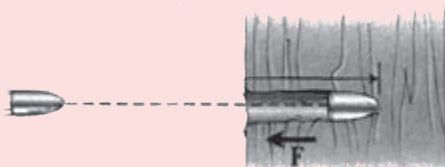
(ب)

$$F_1 = F_2 \text{ (الف)}$$

$$F_1 > F_2 \text{ (ب)}$$

$$F_1 < F_2 \text{ (پ)}$$

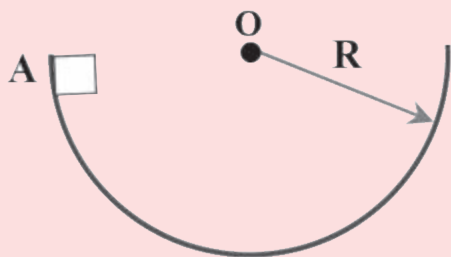
دبیران محترم توجه دارند که فهم دقیق نمودارهای ۱ و ۳ در توان علمی دانش آموزان این پایه تحصیلی نیست. دانش آموزان این اندازه می توانند بفهمند که در حالت $F_2 > F_1$ ، انرژی جنبشی با گذشت زمان زیاد می شود و در حالت $F_2 < F_1$ انرژی جنبشی با گذشت زمان کم می شود، به صفر می رسد و سپس دوباره زیاد می شود.



۳ گلوله ای به جرم 16 g و با تندی 260 m/s به تنه درختی برخورد می کند و پس از طی مسافت 12 cm درون تنه درخت، متوقف می شود (شکل روبه رو).

نیروی متوسط وارد بر گلوله هنگام حرکت درون تنه درخت چقدر است؟

(متوسط نیرویی که در اینجا محاسبه می‌شود $F_{av} = \frac{\Delta K}{\Delta x}$ با متوسط نیرویی که در درس فیزیک ۳ محاسبه می‌شود $F_{av} = \frac{\Delta P}{\Delta t}$ ، هم معنی نیست، متوسط مکانی نیرو و $\frac{\Delta P}{\Delta t}$ متوسط زمانی نیرو است. در حرکت بر خط راست و با شتاب ثابت متوسط مکانی و متوسط زمانی نیرو با هم برابرند.)



۴ جسمی به جرم m درون سطح نیم کره‌ای مطابق شکل روبه‌رو، از نقطه 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؟

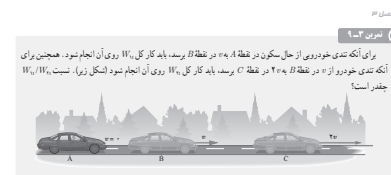
از نیروی مقاومت هوا در برابر حرکت جسم چشم‌پوشی کنید.

الف) ۱ ب) $\frac{1}{3}$ پ) ۱-

ت) $-\frac{1}{3}$ ث) ۲ ج) ۲-

۳-۴- کار و انرژی پتانسیل

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



۴-۳ کار و انرژی پتانسیل
در علوم هفتم با توجّه دیگری از انرژی، به نام انرژی پتانسیل با انرژی ذخیره‌ای آشنا شدید که می‌تواند به شکل‌های متنوعی مانند گرانشی، کشسانی و الکتریکی باشد. انرژی پتانسیل، برخلاف انرژی جنبشی که به حرکت یک جسم وابسته است، ویژگی یک سامانه (سامانه) است تا ویژگی یک جسم منفرد. به عبارت دیگر، انرژی پتانسیل به مکان اجسام یک سامانه نسبت می‌شود. برای مثال، به شکل‌های دیگری از انرژی تبدیل می‌شود. درون استخری پر از آب شیشه می‌زنند، انرژی پتانسیل سامانه شیشه-آب به تدریج به انرژی جنبشی شیشه تبدیل می‌شود و شیشه با تندی نسبتاً زیادی با سطح آب برخورد می‌کند (شکل ۵-۳ الف). با هنگامی که فشری را توسط جسمی فشرده و رها می‌کنیم، انرژی پتانسیل کشسانی سامانه جسم-فشر به انرژی جنبشی جسم تبدیل می‌شود و جسم با تندی زیادی پرتاب می‌شود (شکل ۵-۳ ب). همچنین وقتی یک جسم باردار را به جسم باردار دیگر نزدیک می‌کنیم، بسته به نوع بار، اجسام یکدیگر را می‌رانند یا می‌کشند. از این حالت انرژی پتانسیل الکتریکی سامانه دو جسم باردار تغییر می‌کند (شکل ۵-۳ ج).

مثال ۳-۸

جسمی به جرم 1 kg از ارتفاع 2 m سقوط می‌کند و به زمین می‌رسد. کار نیروی وزن جسم را در این مسیر، (الف) با استفاده از رابطه $W = (F \cos \theta) d$ و (ب) با استفاده از رابطه $W = (mg \cos \theta) d$ محاسبه کنید.

پاسخ: (الف) با استفاده از رابطه $W = (F \cos \theta) d$ برای محاسبه کار نیروی وزن داریم، $W = (F \cos \theta) d = (mg \cos \theta) d$

که با توجه به هم جهت بودن نیروی وزن و جابه‌جایی، $\theta = 0^\circ$ می‌شود و بنابراین، $W = (1\text{ kg})(9.8\text{ m/s}^2)(1)(2\text{ m}) = 2\text{ J}$

(ب) با استفاده از رابطه $W = (mg \cos \theta) d$ برای محاسبه کار نیروی وزن داریم، $W_{\text{وزن}} = -\Delta U = -(mgh_2 - mgh_1) = -mg(h_2 - h_1)$

در صورتی که ارتفاع‌های h_1 و h_2 را نسبت به سطح زمین مستقیم، $h_1 = 0$ و $h_2 = 2\text{ m}$ می‌شود و بنابراین، $W_{\text{وزن}} = -(1\text{ kg})(9.8\text{ m/s}^2)(2\text{ m} - 0) = -2\text{ J}$

و همان‌طور که می‌بینیم نتیجه دو محاسبه یکسان است.

تمرین ۳-۱۰

برای جسمی به جرم m که روی به بالا حرکت می‌کند و از سطح زمین دور می‌شود نشان دهید کار نیروی وزن هیچ‌چنان از رابطه $W_{\text{وزن}} = -mg(h_2 - h_1)$ فرقی نکند که جسم به اندازه کافی نزدیک به سطح زمین باشد یا گویه‌ای که وزن آن ثابت باشد.

توجه: انرژی پتانسیل گرانشی، یک ویژگی مشترک جسم و زمین است و برای سلسله‌ای متشکل از این دو، تعریف می‌شود. بنابراین، $U = mgh$ را باید انرژی پتانسیل گرانشی سامانه جسم-زمین بخوانیم؛ زیرا اگر زمین ثابت باشد و جسم از زمین دور شود، U افزایش می‌یابد و اگر جسم به زمین نزدیک شود U کاهش می‌یابد. توجه کنید که رابطه $U = mgh$ شامل هر دو ویژگی جسم (جرم آن m) و زمین (مقدار g) است. (برخی مواقع و صرفاً برای سادگی در گفتار، به انرژی پتانسیل گرانشی سامانه جسم-زمین، انرژی پتانسیل گرانشی جسم نیز می‌گویند.)

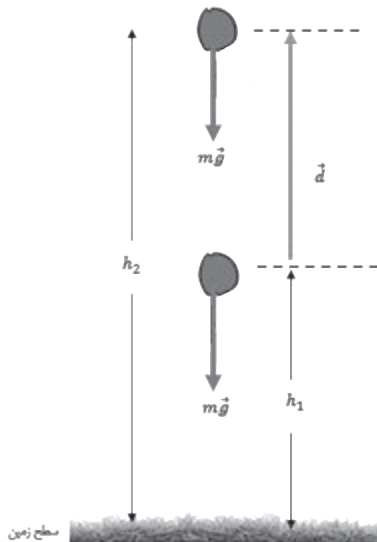
هنگامی که با انرژی پتانسیل گرانشی سر و کار داریم می‌توانیم $h = 0$ را در هر ارتفاعی انتخاب کنیم؛ زیرا اگر مبدأ انرژی پتانسیل گرانشی را انتقال دهیم، مقدارهای h_1 و h_2 تغییر می‌کنند و همین‌طور مقدارهای U_1 و U_2 ولی باید توجه داشته باشیم که این انتقال مبدأ، تأثیری بر تغییر ارتفاع $h_2 - h_1$ یا بر تغییر انرژی پتانسیل گرانشی $U_2 - U_1 = mg(h_2 - h_1)$ ندارد.

کمیته که در فیزیک اهمیت دارد تغییر انرژی پتانسیل گرانشی (ΔU) بین دو نقطه است، به مقدار U در یک نقطه خاص. در نتیجه همان‌طور که در مثال بعد خواهیم دید می‌توانیم U را در هر نقطه‌ای که بخواهیم برابر صفر تعریف کنیم بدون آنکه تأثیری در پاسخ مسئله داشته باشد.

حل تمرین ۳-۱۰

جسمی را در نظر می‌گیریم که به طرف بالا پرتاب شده است.

کار نیروی وزن را در قطعه‌ای از مسیر روبه بالا، حساب می‌کنیم. اگر در این قطعه از مسیر، ارتفاع جسم از سطح افقی زمین از h_1 به h_2 برسد، آن‌گاه:



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

$$= -mg(h_2 - h_1)$$

بنابراین داریم:

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

فصل ۳

تمرین ۱۱-۳

انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل گرانشی نسبت به زمین یک هواپیمای مسافری به جرم $7.5 \times 10^4 \text{ kg}$ که با سرعتی 864 km/h در ارتفاع $9.6 \times 10^3 \text{ m}$ حرکت می‌کند چقدر است؟ مقدار این انرژی‌ها را با هم مقایسه کنید.

تمرین ۱۲-۳

جرم موتور سواری با موتور 150 kg است. این موتور سواری، برشی عمودی شکل زرهی را انجام می‌دهد. (الف) انرژی پتانسیل گرانشی موتور سواری را روی هر یک از نیمه‌ها حساب کنید ($g = 9.8 \text{ m/s}^2$). (ب) کار نیروی وزن موتور سواری به همراه موتور سواری را در این جاها چای به دست آورید.

پایستگی انرژی مکانیکی

شکل ۳-۲ جسمی را در حال سقوط به طرف زمین نشان می‌دهد. فرض کنید مقاومت هوا در برابر حرکت جسم ناچیز است و تنها نیروی وزن به آن وارد می‌شود. در قسمتی از مسیر انرژی جنبشی جسم K_1 به K_2 و انرژی پتانسیل آن از U_1 به U_2 تغییر کرده است. همان‌طور که دیدیم عمودی رابطه ۳-۳، کار نیروی وزن هنگام جابه‌جایی از موقعیت ۱ به موقعیت ۲ برابر است با:

$$W_{\text{وزن}} = -(U_2 - U_1)$$

آن آنگاه که در طول مسیر تنها نیروی وزن به جسم وارد می‌شود کار کل انجام شده روی جسم برابر کار نیروی وزن است. به این ترتیب، با به قضیهٔ کار-انرژی جنبشی از رابطه ۳-۳ داریم:

$$W = W_{\text{وزن}} = K_2 - K_1$$

از مقایسهٔ دو رابطهٔ اخیر می‌توان نوشت:

$$K_2 - K_1 = -(U_2 - U_1)$$

شکل ۳-۲: پایستگی انرژی مکانیکی

فصل ۳: پایستگی انرژی مکانیکی

فصل ۳: پایستگی انرژی مکانیکی

حل تمرین ۱۱-۳

$$m = 7.5 \times 10^4 \text{ kg}$$

$$v = 864 \text{ km/h} = (864 \text{ km/h}) \left(\frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} \right) \left(\frac{1}{3600} \frac{\text{h}}{\text{s}} \right) = 240 \times 10^2 \text{ m/s}$$

$$h = 9.6 \times 10^3 \text{ m}$$

$$K = \frac{1}{2} mv^2 \Rightarrow K = \frac{1}{2} \times 7.5 \times 10^4 \text{ kg} \times (240 \text{ m/s})^2 = 2.16 \times 10^9 \text{ J}$$

$$U = mgh = 7.5 \times 10^4 \text{ kg} \times 9.8 \text{ N/kg} \times 9.6 \times 10^3 \text{ m} = 7.06 \times 10^9 \text{ J} \approx 7.1 \times 10^9 \text{ J}$$

$$\frac{U}{K} = \frac{7.06 \times 10^9 \text{ J}}{2.16 \times 10^9 \text{ J}} = 3.27 \approx 3/3 \Rightarrow U \approx 3K$$

حل تمرین ۱۲-۳

(الف)

$$m = 150 \text{ kg}, h_1 = 9 \text{ m}, h_2 = 5 \text{ m}$$

$$U_1 = mgh_1 = 150 \text{ kg} \times 9.8 \text{ N/kg} \times 9 \text{ m} = 1.32 \times 10^5 \text{ J} \approx 1.3 \times 10^5 \text{ J}$$

$$U_2 = mgh_2 = 150 \text{ kg} \times 9.8 \text{ N/kg} \times 5 \text{ m} = 7.35 \times 10^4 \text{ J} \approx 7.4 \times 10^4 \text{ J}$$

(ب)

$$W_{\text{وزن}} = -\Delta U = -(U_2 - U_1) = U_1 - U_2 = 1.32 \times 10^5 \text{ J} - 7.35 \times 10^4 \text{ J} = 5.85 \times 10^4 \text{ J}$$

$$\Rightarrow W_{\text{وزن}} \approx +5.9 \times 10^4 \text{ J}$$



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. این نوع از 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 به دست 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.



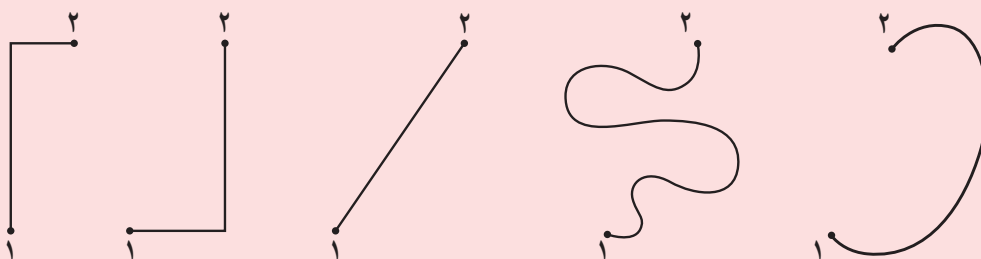
این مثال ساده به این موضوع اشاره دارد که با نوعی از انرژی سروکار داریم که به مکان اجسام در یک دستگاه (در اینجا، مکان سنگ نسبت به زمین، در دستگاه جسم و زمین) بستگی دارد. هنگامی که سنگی را در هوا بالا می‌بریم این امکان وجود دارد که سنگ به زمین سقوط کند، دارای انرژی جنبشی شود و روی اجسام دیگر کار انجام دهد. لذا پایداری انرژی می‌گوید وقتی سنگ در ارتفاع بالا هست (قبل از سقوط) باید دارای نوعی از انرژی باشد. این نوع انرژی‌های 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 مربوط به فشردگی یا کشیدگی یک حجم کشسان باشد به آن انرژی پتانسیل کشسانی می‌گویند. همچنین می‌توان گفت وقتی فنری را می‌کشیم یا می‌فشاریم، از دید میکروسکوپی پیوندهای الکتریکی میان اتم‌های آن را تغییر شکل می‌دهیم و فنر دارای انرژی پتانسیل کشسانی می‌شود.



تمرین های پیشنهادی بخش ۳-۴

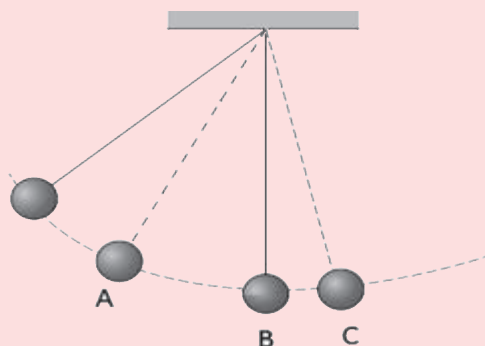
۱) بالابری، بسته ای به جرم 12 kg را ابتدا از سطح زمین تا ارتفاع 10% متری بالا می برد و سپس آن را 20% متر پایین می آورد. تغییر انرژی پتانسیل گرانشی این بسته نسبت به هنگامی که روی زمین بود چقدر است؟

۲) جسمی در پنج نوبت و با پیمودن پنج مسیر متفاوت مطابق شکل زیر از نقطه معین ۱ به نقطه معین ۲ منتقل می شود. نقطه ۱ روی سطح زمین و نقطه ۲ در ارتفاع h بالاتر از سطح زمین است. تغییر انرژی پتانسیل گرانشی سامانه جسم - زمین در این پنج مسیر را با هم مقایسه کنید.

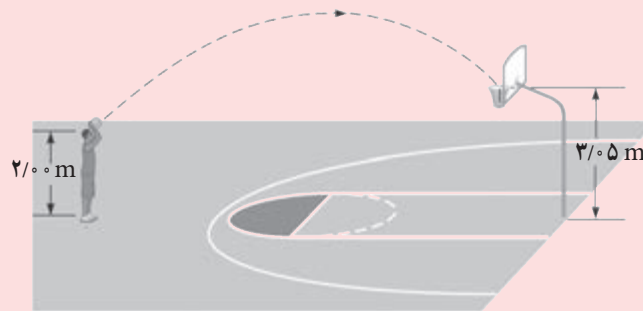


۳) با توجه به شکل زیر که آونگ در حال نوسانی را نشان می دهد، جاهای خالی را پر کنید. نقطه B را به عنوان مبدأ انرژی پتانسیل گرانشی بگیرید.

- الف) انرژی آونگ در نقطه A، شامل انرژی و انرژی است.
- ب) انرژی آونگ در نقطه B تنها از نوع انرژی است.
- پ) انرژی پتانسیل گرانشی آونگ در نقطه کمینه است.
- ت) انرژی جنبشی آونگ در نقطه بیشتر از نقاط است.
- ث) تندی آونگ در نقطه بیشینه است.



- ۴ شکل زیر ورزشکاری را در حال پرتاب یک توپ بسکتبال به طرف حلقه نشان می‌دهد. اگر تندی توپ در لحظه پرتاب 6 m/s باشد، مطلوب است :
- الف) انرژی جنبشی توپ در لحظه پرتاب.
- ب) تندی توپ هنگام عبور از حلقه.
- ج) جرم توپ را 59 g بگیرید و مقاومت هوا را در حین حرکت توپ ناچیز فرض کنید.



۳-۵- پایستگی انرژی مکانیکی

راهنمای تدریس: اهمیت این بخش در آن است که در مواردی که فقط نیروهایی روی جسم کار انجام می‌دهند که برای محاسبه کار آن نیروها، انرژی پتانسیل تعریف شده است، به کمک اصل پایستگی انرژی مکانیکی می‌توان به حل مسئله‌های مختلفی پرداخت که حل بسیاری از این مسئله‌ها، به روش‌های دیگر دشوار است. با حل مثال‌های متنوعی می‌توانید دانش‌آموزان را با اهمیت این اصل در حل مسئله‌ها آشنا کنید.

دیران محترم توجه دارند که کتاب درسی، به مراعات سطح مخاطبان دانش‌آموز، از ورود به موضوع نیروهای پایستار و ناپایستار پرهیز کرده است. با طرح درس کتاب، دانش‌آموز به این درک می‌رسد که اگر فقط نیروی وزن روی جسم کار انجام دهد، انرژی مکانیکی جسم پایسته است. همین‌طور است اگر فقط نیروی کشسانی فنر یا نیروی جاذبه و دافعه بارهای الکتریکی کار انجام دهد.

شکل ۳۱-۱
انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل گرانشی (نسبت به زمین) یک هواپیمای مسافری به جرم $750 \times 10^3\text{ kg}$ که با تندی 800 km/h در ارتفاع $10 \times 10^3\text{ m}$ حرکت می‌کند چقدر است؟ مقدار این انرژی‌ها را با هم مقایسه کنید.

شکل ۳۱-۲
جرم موتور سواری با موتور 150 kg است. این موتورسوار، روی سطحی شیب رو به بالا می‌دهد. الف) انرژی پتانسیل گرانشی موتورسوار را روی هر یک از تپه‌ها حساب کنید ($g = 9.8\text{ m/s}^2$). ب) کار نیروی وزن موتورسوار به همراه موتورسوار را در این جاده‌جایی به دست آورید.

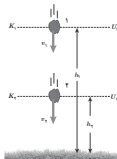
شکل ۳۱-۳
شکل ۳۱-۳ جیمی را در حال سقوط به طرف زمین نشان می‌دهد. فرض کنید مقاومت هوا در برابر حرکت جسم ناچیز است و تنها نیروی وزن به آن وارد می‌شود. در قسمتی از مسیر انرژی جنبشی جسم K_1 به K_2 و انرژی پتانسیل آن از U_1 به U_2 تغییر کرده است. همان‌طور که دیدیم مطابق رابطه ۳-۳، کار نیروی وزن هنگام جابه‌جایی از موقعیت ۱ به موقعیت ۲ برابر است با:

$$W_{\text{وزن}} = -(U_2 - U_1)$$

آن‌جا که در طول مسیر تنها نیروی وزن به جسم وارد می‌شود کار کل انجام شده روی جسم برابر کار نیروی وزن است. به این ترتیب، بنا به قضیه کار-انرژی جنبشی (رابطه ۳-۴) داریم:

$$W_{\text{وزن}} = K_2 - K_1$$

از معادله دو رابطه آخر می‌توان نوشت:

$$K_2 - K_1 = -(U_2 - U_1)$$


شکل ۳۱-۳: بازوی یک جسم در حال سقوط از ارتفاع. انرژی جنبشی آن افزایش می‌یابد.



توسعه پایستگی انرژی مکانیکی در کتاب درسی، به مراعات سطح مخاطبان دانش‌آموز، از ورود به موضوع نیروهای پایستار و ناپایستار پرهیز کرده است. با طرح درس کتاب، دانش‌آموز به این درک می‌رسد که اگر فقط نیروی وزن روی جسم کار انجام دهد، انرژی مکانیکی جسم پایسته است. همین‌طور است اگر فقط نیروی کشسانی فنر یا نیروی جاذبه و دافعه بارهای الکتریکی کار انجام دهد.

تاریخ: ۱۳۹۷/۰۵/۰۵

که می‌توان آن را به صورت زیر نیز بازنویسی کرد:

$$K_3 + U_3 = K_2 + U_2 \quad (\text{V-2})$$

این رابطه نشان می‌دهد مجموع انرژی پتانسیل و جنبشی جسم در نقطه‌های مختلف مسیر حرکت با هم برابر است. مجموع انرژی‌های پتانسیل و جنبشی هر جسم را انرژی مکانیکی آن می‌نامیم و با E نشان می‌دهیم ($E = K + U$). به این ترتیب، از رابطه ۳-۷ نتیجه می‌شود:

$$E_0 = E_0 \quad (\text{A-27})$$

چون نقطه‌های (۱) و (۲) در مسیر حرکت جسم در شکل ۷-۳ اختیاری‌اند، نتیجه می‌گیریم با نادیده گرفتن نیروی مقاومت هوا، انرژی مکانیکی در تمام نقاط مسیر مقدار یکسانی دارد و پایسته می‌ماند. این نتیجه، اصل پایستگی انرژی مکانیکی نام دارد. در مواردی شبیه به این، که هنگام حرکت جسم فقط نیروی وزن کار انجام می‌دهد، انرژی مکانیکی جسم در نقاط مختلف مسیر یکسان است.^۱

پوستی ۲-۳

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

11-3.15a

شکل رویه‌رو ورزشکاری را در حال پرتاب توپ بسکتبالی با تندی $v = 7\text{ m/s}$ به طرف سبد نشان می‌دهد. تندی توپ هنگام رسیدن به دهانه سبد

جغدر است: مقاومت هوا را در هنگام حرکت تپ نادیده بگیرد.

باسخ : چون از نیروی مقاومت هوا را در حین حرکت تپ نادیده قرض کردیم، بایستی انرژی اثری مکانیکی برقرار است. لذا از رابطه $\frac{1}{2}mv^2 = mgh$ می توان نوشت :

$$K_1 + U_1 = K_2 + U_2 \Rightarrow \frac{1}{2}mv_1^2 + mgh_1 = \frac{1}{2}mv_2^2 + mgh_2$$

$$K_1 + U_1 = K_2 + U_2 \Rightarrow \frac{1}{2}mv_1^2 + mgh_1 = \frac{1}{2}mv_2^2 + mgh_2$$

با حذف m از طرفین معادله بالا، و جایگذاری مقادیر داده شده داریم:

با حل معادله بالا، تنزی توپ در دهانه سبد تقریباً برابر $v_0 = 5\sqrt{4m/s}$ به دست می‌آید.

با حل معادله بالا، تندى توپ در دهانه سبد تقريباً برابر $v_0 = 5/4 \text{ m/s}$ به دست مى آيد.

۱- در مواردی که انرژی پتانسیل الکتریکی با انرژی پتانسیل کششی برای سلبان تعریف می‌شود و کار نیروهای الکتریکی و نیروهای دیگر واهی که برای کار انجام شده توسط آنها تغییر انرژی پتانسیل تعریف نمی‌شود (اصطلاحاً، نیز انرژی مکانیکی بسته می‌ماند که در سال‌های ۱۹۰۰ با آنها آشنا می‌شود.

200

(مثال ۳-۱۲)

سورتمه سواری از ارتفاع $h_1 = 5 \text{ m}$ بالای سطح زمین و روی مسیری بدون اصطکاک، از حال سکون شروع به حرکت می‌کند. (الف) تندی سورتمه را در ارتفاع h_2 به دست آورید.

ب) تندی سورتمه را هنگامی که به سطح زمین می‌رسد پیدا کنید.
مقاومت هوا را هنگام حرکت سورتمه نادیده بگیرید.

پاسخ: الف) چون نیروهای اصطکاک و مقاومت هوا را در حین حرکت سورتمه ناچیز فرض کردیم، بایستگی انرژی مکانیکی برقرار است؛ لذا از رابطه ۳-۷ می‌توان نوشت:

$$K_1 + U_1 = K_2 + U_2 \Rightarrow \frac{1}{2}mv_1^2 + mgh_1 = \frac{1}{2}mv_2^2 + mgh_2$$

با حذف m (جرم سورتبه و سورتبه سوار) از طرفین معادله بالا، و جایگذاری مقادیر داده شده داریم:

$$v + (\mathbf{g}/\Lambda m/s^2)(\Delta t/m) = \frac{1}{m}v_T + (\mathbf{g}/\Lambda m/s^2)(\mathbf{r}/m) \Rightarrow v_T = \mathbf{g}/\mathbf{r}m/s$$

ب) به‌طور مشابه قسمت قبل، انرژی مکانیکی وضعیت اول و وضعیت سوم سوار را مساوی یکدیگر قرار می‌دهیم. در این صورت تندی سوار در روی زمین برابر $v_3 = 9.9\text{ m/s}$ به دست می‌آید. به‌جای این کار می‌توانستید انرژی مکانیکی وضعیت دوم و وضعیت سوم سوار را مساوی یکدیگر قرار دهید.

(نمبرين ۳-۱۳)

در مثال ۱۱-۳، مبدأ انرژی پتانسیل گراشی را در ارتفاع h_2 بگیرید و بر این اساس تبدی توپ را هنگام رسیدن به دهانه سبد حساب کنید.

نمبر ۳-۱۲

نوعی مطابق شکل از سطح زمین با تندی $v_1 = 40 \text{ m/s}$ به طرف صخره‌ای پرتاب می‌شود.

اگر توپ با سرعتی $v_0 = 45 \text{ m/s}$ به بالای صخره برخورد کند، ارتفاع h را به دست آورید. مقاومت هوا را هنگام حرکت توپ نادیده بگیرید.

Y

پاسخ پرسش ۳-۳

چون در هر چهار وضعیت فقط نیروی وزن کار انجام می‌دهد انرژی مکانیکی پایسته است. حل معادله پایستگی انرژی مکانیکی ($K_A + U_A = K_B + U_B$) برای چهار شکل، انرژی جنبشی یکسان در نقطه B و در نتیجه تندی یکسان در نقطه B را برای چهار وضعیت نتیجه می‌دهد.

حل تمرین ۳-۱۳

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

$$K_{\downarrow} + U_{\downarrow} = K_{\uparrow} + U_{\uparrow}$$

$$\frac{1}{\gamma} m (\gamma \circ \text{m/s})^2 + \circ = \frac{1}{\gamma} m v_{\gamma}^2 + m \times (9/10 \text{ N/kg}) \times (1 \circ \text{m})$$

$$24/5 = 0/5 v_7^2 + 9/8$$

$$\Rightarrow v_r \approx 5/4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

حل تمرین ۳-۱۴

$$K_{\setminus} + U_{\setminus} = K_{\gamma} + U_{\gamma}$$

$$v_1 = 4 \text{ m/s}$$

$$v_v = 25 \text{ m/s}$$

$$\frac{1}{2}mv_1^2 + mgh_1 = \frac{1}{2}mv_2^2 + mgh_2$$

با تقسیم کردن دو طرف معادلهٔ اخیر به m ، جرم m از معادله کنار گذاشته می‌شود و داریم:

$$\frac{1}{2} (40 \text{ m/s})^2 + 0 = \frac{1}{2} (20 \text{ m/s})^2 + 9.8 \text{ N/kg} \times h_2$$

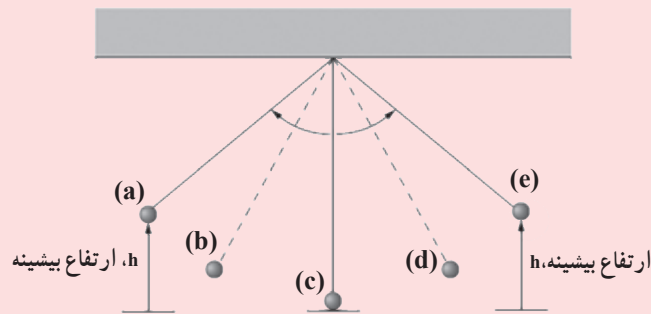
$$h_v = 49/Vm \approx 50 \text{ m}$$

مثال پیشنهادی

- ۱ در گروه خود بحث کنید که در چه صورت انرژی مکانیکی یک جسم در حال حرکت ثابت (پایسته) نمی ماند.
- پاسخ: در مواردی که به جسم در حال حرکت نیرویی به غیر از نیروی وزن mg وارد شود و این نیرو کار انجام دهد، انرژی مکانیکی جسم پایسته نیست (با بیان سخت گیرانه تر - که البته مناسب برای بچه ها نیست - در مواردی که نیروهایی به جسم اثر کند که برای این نیروها انرژی پتانسیل تعریف نشده است، و این نیروها کار انجام دهند). مثلاً به جسمی فکر کنید که روی یک سطح شیب دار به طرف پایین لیز می خورد و به آن نیروی اصطکاک جنبشی یا نیروی مقاومت هوا اثر می کند، انرژی مکانیکی جسم کاهش می یابد یا به این فکر کنید که کارگران باری را به وسیله طناب از پای ساختمان به بالای بام می برند. نیروی کشش طناب روی جسم کار انجام می دهد و انرژی مکانیکی جسم (بار) زیاد می شود. در این گونه موارد انرژی مکانیکی پایسته نمی ماند.
- ۲ اکنون موردی را ذکر کنید که با وجود یک نیروی تلف کننده انرژی بتوان فرض کرد که انرژی مکانیکی جسم تقریباً پایسته است.
- پاسخ: وقتی سنگی را از ارتفاع چند متری بالای زمین رها می کنیم، می توان از اثر مقاومت هوا در حرکت جسم صرف نظر کرد و فرض کرد تنها نیروی گرانشی بر جسم اثر می کند. با این فرض انرژی مکانیکی جسم با دقت قابل قبول و خطای ناچیزی پایسته می ماند. ولی اگر یک ورقه کاغذ را از همین ارتفاع رها کنیم، اثر مقاومت هوا قابل ملاحظه است و انرژی مکانیکی جسم حتی به تقریب نیز پایسته نمی ماند.

تمرین های پیشنهادی بخش ۳-۵

- ۱ توبی به جرم 45 g را از نزدیکی سطح زمین با تندی 7 m/s در امتداد قائم به طرف بالا پرتاب می کنیم. انرژی پتانسیل گرانشی توپ در بالاترین نقطه مسیرش نسبت به سطح زمین چقدر است؟ ارتفاع این نقطه را به دست آورید (از مقاومت هوا چشم پوشی کنید).
- ۲ شکل زیر آونگ ساده ای را در چند وضعیت مختلف نشان می دهد.
- 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 انرژی هایی است؟ مبدأ انرژی پتانسیل گرانشی را سطح افقی نشان داده شده زیر گوی در وضعیت C بگیرید.



توجه و تأکید بر دو موضوع در قانون پایستگی انرژی مهم است:

– اول آنکه اگرچه پایستگی انرژی مکانیکی را از دو معادله قبلی $W_t = \Delta K$ و $W_{\text{وزن}} = -\Delta U$ به دست آوردیم، ولی پایستگی انرژی را نمی‌توان از قوانین و معادلاتی قبل از خودش به دست آورد. پایستگی انرژی مستند به تجربه است.

– دوم آنکه تاکنون هیچ مورد استثنایی برای قانون پایستگی انرژی یافت نشده است. بعضی وقت‌ها در توضیح پایستگی انرژی به غلط گفته می‌شود که در فیزیک جدید و مثلاً در واکنش‌های هسته‌ای نه انرژی پایسته است و نه جرم، و به رابطه معروف $E=mc^2$ استناد می‌شود. این رابطه اگرچه به ناپایستگی جرم اشاره دارد ولی خودش از پایستگی انرژی به دست می‌آید. توضیح بیشتر مطلب را در «دانستنی برای معلم» زیر ببینید.

این رابطه نشان می‌دهد با حضور نیروهای افقی، انرژی مکانیکی جسم با اندازه پایسته نمی‌ماند و تغییر می‌کند. همان‌طور که پیش از این نیز اشاره کردیم آن کاهش انرژی مکانیکی به صورت افزایش انرژی درونی جسم و محیط اطراف آن (سطح مسیر و هوا) درمی‌آید.

علاقه‌مندانی که می‌خواهند این موضوع را عمیق‌تر بدانند می‌توانند به کتاب «انرژی و مکانیک» مراجعه کنند. این کتاب در دسترس است.

قانون پایستگی انرژی: در یک سامانه موزون، مجموع کل انرژی‌ها پایسته می‌ماند. انرژی را نمی‌توان خلق یا نابود کرد و تنها می‌توان آن را از یک شکل به شکل دیگر تبدیل کرد. این بیان، که بر اساس آزمایش‌های بسیاری تا نده است قانون پایستگی انرژی می‌دهد و تاکنون هیچ مورد استثنایی برای آن یافت نشده است.

از بالای که در ارتفاع ۵۰ متری سطح زمین و با سرعتی 4 m/s در پرواز است، پسته‌ای به جرم 3 kg را می‌بینیم و با سرعتی 20 m/s زمین می‌خورد. کار انجام شده توسط نیروی مقاومت هوا بر روی پسته را از لحظه رها شدن تا هنگام رسیدن به زمین حساب کنید.

پاسخ: ابتدا انرژی مکانیکی پسته را در لحظه رها شدن و هنگام برخورد به زمین حساب می‌کنیم. اگر مبدأ انرژی پتانسیل گرانشی را سطح زمین فرض می‌کنیم، داریم:

$$E_i = K_i + U_i = \frac{1}{2}mv_i^2 + mgh_i$$

$$= \frac{1}{2}(3 \text{ kg})(4 \text{ m/s})^2 + (3 \text{ kg})(9.8 \text{ m/s}^2)(50 \text{ m}) = 1494 \text{ J} \approx 1.5 \times 10^3 \text{ J}$$

$$E_f = K_f + U_f = \frac{1}{2}mv_f^2 + mgh_f$$

$$= \frac{1}{2}(3 \text{ kg})(20 \text{ m/s})^2 + 0 = 600 \text{ J} \approx 6 \times 10^2 \text{ J}$$

با جایگذاری مقادیر انرژی مکانیکی پسته در رابطه $E_f = E_i - W_f$ ، کار انجام شده توسط نیروی مقاومت هوا و روی پسته برابر است با:

$$W_f = E_i - E_f = 1494 \text{ J} - 600 \text{ J} = 894 \text{ J} \approx 9 \times 10^2 \text{ J}$$

۱- به اندازه‌ای که در محیط اطراف انرژی گرد و به محیط اطراف رها شده، سامانه موزون گداز می‌شود.

دانستنی برای معلم

نگاهی نو به انرژی در نظریه نسبیت، انرژی کل و پایستگی انرژی

برای هر جسمی، معادله $E=mc^2$ ، انرژی جرمی (mass energy) یا انرژی سکون (rest energy) مربوط به جسمی به جرم m را، بدون توجه به اینکه جسم ساکن است یا متحرک، به دست می‌دهد. اگر جسم در حال حرکت باشد، انرژی‌ای اضافی به شکل انرژی جنبشی K دارد. اگر فرض کنیم که انرژی پتانسیل جسم صفر است، آنگاه انرژی کل عبارت است از مجموع انرژی جرمی و انرژی جنبشی آن.

$$E = E_0 + K = mc^2 + K$$

در فیزیک کلاسیک مثال‌های زیادی را که شامل تغییرات انرژی کل یک ذره یا دستگاهی از ذرات باشد، بررسی می‌کنیم. ولی انرژی جرمی را در این بحث‌ها منظور نمی‌کنیم، زیرا تغییرات انرژی جرمی صفر یا بسیار کوچک است. با این وجود، قانون پایستگی انرژی کل وقتی تغییرات انرژی جرمی قابل توجه باشد نیز برقرار است. بنابراین، بدون توجه به آنچه که برای انرژی جرمی رخ می‌دهد، گفته زیر همچنان درست است:

انرژی کل E یک دستگاه منزوی نمی‌تواند تغییر کند.

مثلاً، اگر انرژی جرمی کل دو ذره برهم کنش کننده در یک دستگاه منزوی کاهش یابد، انواع دیگر انرژی در دستگاه باید افزایش یابد زیرا انرژی کل نمی‌تواند تغییر کند.

مقدار Q (Q Value)

در دستگاهی که دستخوش یک واکنش شیمیایی یا هسته‌ای می‌شود، تغییر انرژی جرمی کل دستگاه ناشی از واکنش، اغلب با مقدار Q داده می‌شود. مقدار Q برای یک واکنش از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$Q = \left(\text{انرژی جرمی کل نهایی دستگاه} \right) - \left(\text{انرژی جرمی کل اولیه دستگاه} \right)$$

$$E_{\text{f}} = E_{\text{i}} + Q \quad \text{یا}$$

با استفاده از معادله $E = mc^2$ ، می‌توان این رابطه را بر حسب جرم کل اولیه M_i و جرم کل نهایی M_f چنین نوشت:

$$M_i c^2 = M_f c^2 + Q$$

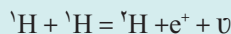
یا

$$Q = M_i c^2 - M_f c^2 = -\Delta M c^2$$

که در آن تغییر جرم ناشی از واکنش $\Delta M = M_f - M_i$ است.

اگر واکنشی به تبدیل انرژی از انرژی جرمی به، مثلاً انرژی جنبشی محصول‌های واکنش بینجامد، انرژی جرمی کل E (و جرم کل M) دستگاه کاهش می‌یابد و Q مثبت است. ولی اگر واکنشی مستلزم این باشد که انرژی به انرژی جرمی تبدیل شود، انرژی جرمی کل E دستگاه (و جرم کل M آن) افزایش می‌یابد و Q منفی است.

برای مثال، فرض کنید دو هسته هیدروژن، یک واکنش گداخت [همجوشی] انجام می‌دهند که در آن دو هسته هیدروژن برای تشکیل یک هسته تنها به یکدیگر می‌پیوندند و دو ذره را آزاد می‌کنند:



که ${}^2_1\text{H}$ نوع دیگری از هسته هیدروژن (با یک نوترون علاوه بر پروتون)، e^+ پوزیترون، و ν نوترینو است. انرژی جرمی کل (و جرم کل) تک هسته حاصل و دو ذره آزاد شده کمتر از انرژی جرمی کل (و جرم کل) هسته‌های هیدروژن اولیه است. بنابراین، Q واکنش گداخت مثبت است و گفته می‌شود انرژی بر اثر این واکنش آزاد شده است (یا از انرژی جرمی منتقل شده است). این آزاد شدن انرژی برای ما اهمیت دارد، زیرا گداخت هسته‌های هیدروژن در خورشید بخشی از فرایندی است که به نور آفتاب روی زمین می‌انجامد و زندگی را در زمین امکان‌پذیر می‌سازد.

(مبانی فیزیک – هالیدی، رزنیک، واکر – ویراست ۱۰ – فصل ۳۷، نسبت – بخش ۶.۳۷ – یا ویراست مختصر)

تمرین‌های پیشنهادی بخش ۳-۶

۱ شکل زیر صندوقی به جرم 15 kg را نشان می‌دهد که از بالای یک سرازیری به طرف پایین به راه می‌افتد و در انتهای مسیر به فنری برخورد می‌کند و متوقف می‌شود. اگر 20° درصد از انرژی پتانسیل گرانشی از دست رفته صندوق در طول مسیر، بر اثر اصطکاک به انرژی درونی صندوق و مسیر تبدیل شود، بیشترین مقدار انرژی پتانسیل کشسانی که در فنر ذخیره می‌شود چقدر است؟ (همکاران توجه دارند که در این مسئله نمی‌توانستیم بگوییم «اگر در طول مسیر 20° درصد از انرژی اولیه صندوق تلف شود...»). زیرا بسته به اینکه مبدأ انرژی پتانسیل گرانشی را کجا بگیریم، 20° درصد انرژی اولیه صندوق، مقادیر متفاوتی خواهد داشت. مثلاً اگر دانش‌آموزی مبدأ انرژی پتانسیل گرانشی را بالای سطح شیب‌دار بگیرد، 20° درصد از انرژی اولیه صندوق، صفر می‌شود!



۲ شکل زیر قطعه‌ای به جرم 20° g را نشان می‌دهد که روی مسیری اصطکاک‌دار از نقطه A به طرف نقطه B در حرکت است. تندی قطعه در نقطه A، 12 m/s و هنگام رسیدن به نقطه B برابر 8 m/s است، چقدر از انرژی جنبشی قطعه در فاصله A تا B به انرژی درونی قطعه و سطح تبدیل شده است؟



۳ جسمی به جرم 50° g مطابق شکل زیر با تندی 10 m/s از نقطه A به طرف نقطه B در حرکت است. اگر در مسیر A تا B، 20° درصد انرژی جنبشی‌اش در نقطه A، بر اثر اصطکاک به انرژی درونی تبدیل شده باشد، الف) تغییر انرژی درونی جسم و سطح (در مجموع) در این جابه‌جایی چقدر است؟ ب) تندی جسم در نقطه B چقدر است؟



کار انرژی و توان

تمرین ۳-۱۵

توپ به جرم 0.75 kg با تندی $8^\circ/\text{s}$ به نقطه A می‌گردد (شکل زیر). انرژی مقاومت هوا و نیروی اصطکاک در سطح تماسی توپ با زمین، 40% درصد انرژی جنبشی اولیه توپ را تا رسیدن به نقطه B تلف می‌کنند. تندی توپ را در این نقطه به دست آورید.

توان

در علوم به کارهای انجام شده، یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های هر ماشین چه ساده باشد چه پیچیده، مدت زمانی است که طول می‌کشد تا کار معینی را انجام دهد. یک ماشین می‌تواند کار معینی را آرام، یا تند انجام دهد. برای مثال، هرچه موتور یک خودرو قوی‌تر باشد راحت‌تر و سریع‌تر می‌تواند آن کار را انجام دهد. در صورتی که برای سیمون همین مسیر توسط خودروی شاهانه ولی با موتور ضعیف‌تر زمان طولانی‌تری لازم است.

در اغلب موارد لازم است تا موتور به مدت زمانی می‌تواند کار معینی را انجام دهد. در فیزیک، آهنگ انجام کار را با کمیتی به نام توان توصیف می‌کنیم. هرچه در گذرگاه‌های روزنه، موتور، آواز تو را با آوازهای انرژی با نیرو مترادف می‌گرداند، اما این کمیت در فیزیک تعریف دقیق دارد. توان همانند کار و انرژی، کمیتی است برداری و به صورت آهنگ انجام کار بیان می‌شود. هنگامی که کار W در بازه زمانی Δt انجام می‌شود، کار انجام شده در واحد زمان یا توان متوسط، P به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$P_{av} = \frac{W}{\Delta t} \quad (3-15)$$

یکی از توان، وات (W) است که به احترام جیمز وات مخترع انگلیسی نامگذاری شده است. مطابق تعریف توان (۳-۱۵)، یک وات برابر است با یک ژول بر ثانیه ($1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$). استفاده از یکاهای بزرگ‌تر توان مانند کیلووات (kW) و مگاوات (MW) نیز معمول است. یکای قسمی توان، به نام اسب بخار ($1 \text{ hp} = 746 \text{ W}$) هنوز نیز استفاده می‌شود. این یکا نخستین بار توسط وات برای ارزیابی توان خروجی اختراع جیمین، ماشین بخار، معرفی شد. توان موتور بیشتر وسایل نقلیه با این یکا بیان می‌شود.

مثال ۳-۱۴

شکل زیر، خودرویی به جرم 1200 kg را نشان می‌دهد که برای سبقت گرفتن از کامیونی در مسیری افقی و در مدت 3.7 s تندی خود را از $0^\circ/\text{s}$ به $14^\circ/\text{s}$ می‌رساند. توان متوسط موتور خودرو برای انجام این کار، دست کم چقدر باید باشد؟ نیروهای اتلافی را نادیده بگیرید.

۱. نیروی 1200 N در آن لحظه و از لحاظ 1000 W به معنی متوسط گرفته شده است. ۲. یکای hp از طرف عبارت $1 \text{ hp} = 746 \text{ W}$ به معنی اسب بخار گرفته شده است.

حل تمرین ۳-۱۵

می‌توان گفت که انرژی جنبشی توپ در نقطه B برابر با 80% درصد انرژی جنبشی اولیه آن است.

$$m = 0.75 \text{ kg}, v_A = 8^\circ/\text{s}$$

$$\frac{1}{2} m v_A^2 = K_A \Rightarrow \frac{1}{2} m v_B^2 = K_B \Rightarrow \frac{1}{2} m v_B^2 = 0.8 \times \frac{1}{2} m v_A^2 \Rightarrow v_B = \sqrt{0.8} v_A = \sqrt{0.8} \times 8^\circ/\text{s} \approx 7.2^\circ/\text{s}$$

$$\Rightarrow v_B \approx 7.2^\circ/\text{s}$$

۳-۷-۲ توان

راهنمای تدریس : دانش‌آموزان از دوره متوسطه اول به‌طور ضمنی با مفهوم توان آشنا شده‌اند. در اینجا به‌طور دقیق‌تر و همچنین براساس رابطه (۳-۹) می‌توانند به یافتن توان متوسط بپردازند.

توجه کنید که اگرچه در این مثال نیرویی که به خودرو شتاب می‌دهد نیروی اصطکاک بین چرخ‌ها و سطح جاده است، ولی این نیرو کاری انجام نمی‌دهد و به خودرو انرژی نمی‌دهد زیرا جابه‌جایی نقطه اثر این نیرو، در لحظات وجود نیرو، صفر است. انرژی جنبشی خودرو ناشی از سوختن سوخت و کار نیروهای داخلی (موتور خودرو) است. آنچه در این مثال محاسبه شده، توان موتور خودرو است نه توان انجام کار به وسیله نیروی اصطکاک رو به جلو، بین چرخ‌ها و سطح جاده. برای توضیح بیشتر، دانستن برای معلم صفحه بعد را ببینید.

همچنین توجه کنید که در ادبیات به کار رفته در صورت این مثال، جمله پایانی «نیروهای اتلافی را نادیده بگیرید» توضیح عبارت «دست‌کم» در جمله سؤالی قبلی است و شرطی اضافه بر بیان قبلی در این مثال نیست.

حل تمرین ۳-۱۶

$$P_{av} = \frac{W_{\text{موتور}}}{\Delta t} = \frac{Fd \cos \theta}{\Delta t} = \frac{2/0 \times 10^5 \text{ N} \times 15 \times 10^{-3} \text{ m}}{6 \text{ s}} = 50 \text{ MW}$$

$$P = 50 \times 10^6 \text{ W} \times \left(\frac{1 \text{ hp}}{746 \text{ W}} \right) \approx 6/7 \times 10^4 \text{ hp}$$

هریک از دو موتور جت به هوا در خلاف جهت حرکت هواپیما نیرو وارد می‌کند و هوا را در خلاف جهت حرکت هواپیما پرتاب می‌کند. این هوا نیز بنا به قانون سوم نیوتون به هواپیما (هریک از دو موتور جت)، همسو با حرکت هواپیما نیرو وارد می‌کند. این نیروی جلوبر هواپیما است. بیان کتاب در این مورد، دقت زیادی دارد و می‌گوید: «موتور جت این نیروی جلوبر را ایجاد می‌کند».

پاشخ: با توجه به رابطه ۳-۴، کار کل انجام شده توسط موتور خودرو، برابر تغییر انرژی جنبشی آن است. به این ترتیب با به‌دست آوردن انرژی جنبشی خودرو در دو وضعیت داده شده و محاسبه کار کل موتور خودرو داریم:

$$W_f = K_2 - K_1 = \frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2$$

$$= \frac{1}{2} m (v_2^2 - v_1^2) = \frac{1}{2} (1200 \text{ kg}) [(18 \text{ m/s})^2 - (13 \text{ m/s})^2] = 110700 \text{ J} \approx 1/11 \times 10^5 \text{ J}$$

با جایگذاری مقدار به دست آمده در رابطه ۳-۴، کمترین توان متوسط موتور خودرو برای انجام این کار برابر است با:

$$P_{av} = \frac{W_f}{\Delta t} = \frac{110700 \text{ J}}{3/8 \text{ s}} \approx 3/8 \times 10^4 \text{ W} = 250 \text{ hp}$$

در واقع با وجود نیروهای اضافی (مانند مقاومت هوا) در حین حرکت خودرو، توان مورد نیاز از این مقدار بیشتر است.

مثال ۱۵-۳
جرم اتفک بالایی به همراه بار آن ۵۰۰ کیلوگرم است (شکل رویبر). اگر این بالابر در مدت ۱۰ s از طبقه همکف به طبقه دوم در ارتفاع ۹/۰ m برود، توان متوسط موتور این بالابر چند است؟
پاشخ: با توجه به رابطه ۳-۴، کار کل انجام شده روی اتفک بالابر شامل کار نیروی وزن و کار نیروی موتور بالابر برابر تغییر انرژی جنبشی آن است. به این ترتیب داریم:

$$W_{\text{موتور}} + W_{\text{وزن}} = K_2 - K_1$$

$$W_{\text{موتور}} - mg(h_2 - h_1) = 0 - 0$$

$$W_{\text{موتور}} = mg(h_2 - h_1) = (500 \text{ kg})(9/0 \text{ m}) = 4500 \text{ J}$$

در محاسبه بالا، مبدأ انرژی پتانسیل گرانشی را سطح زمین (طبقه همکف) گرفته‌ایم. با توجه به رابطه ۳-۴، توان متوسط موتور بالابر برابر است با:

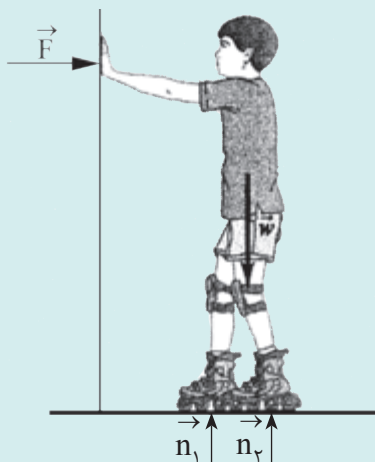
$$P_{av} = \frac{W_{\text{موتور}}}{\Delta t} = \frac{4500 \text{ J}}{10 \text{ s}} = 450 \text{ W} = 3/4 \text{ hp}$$

تمرین ۱۶-۳
هر یک از دو موتور جت یک هواپیمای مسافری، به‌شکل‌های آبروی جلویی هواپیما را با ۱۰۰% ایجاد می‌کند. اگر هواپیما در هر دقیقه ۱۵۰ km در ۱۵۰۰ m ارتفاع پرواز کند، توان متوسط هر یک از موتورهای هواپیما چند است؟
پاشخ: این تیر حرکت کند، توان متوسط هر یک از موتورهای هواپیما چند است؟

دانشتنی برای معلم

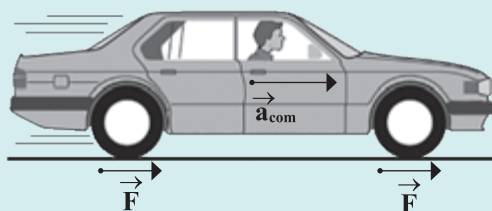
وقتی نیروهای خارجی روی جسم کار انجام نمی‌دهند ولی انرژی جنبشی جسم به دلیل انتقال انرژی داخلی تغییر می‌کند. فرض کنید پسری با کفش‌های اسکیت بی‌اصطکاک روی سطح همواری در مقابل دیوار سختی ایستاده است (شکل الف). او دیوار را هل می‌دهد که موجب می‌شود خودش به راست حرکت کند. نیروهای وارد بر او عبارت‌اند از وزن \vec{W} ، نیروهای عمودی به طرف بالای n_1 و n_2 که از طرف زمین بر کفش‌های او وارد می‌شوند و نیروی افقی \vec{F} که از سوی دیوار بر او وارد می‌شود. جابه‌جایی قائم وجود ندارد در نتیجه نیروهای n_1 و n_2 ، کاری انجام نمی‌دهند. نیروی \vec{F} پسر را به راست شتاب می‌دهد ولی بخش‌هایی از بدن او که این نیرو بر آنها وارد می‌شود (دست‌های پسر) در حین اعمال نیرو حرکت نمی‌کنند. بنابراین این نیرو هم کاری انجام نمی‌دهد. پس انرژی جنبشی پسر از کجا می‌آید؟

توضیح آن است که این کفایت نمی‌کند که پسر را به صورت یک تک جرم نقطه‌ای نمایش دهیم. بخش‌های مختلف بدن پسر حرکت‌های متفاوتی دارند، دست‌های او در مقابل دیوار ساکن می‌مانند در حالی که تنه او از دیوار دور می‌شود. بخش‌های مختلف بدن پسر با یکدیگر برهم کنش دارند و یک بخش می‌تواند بر بخش دیگر نیروهایی وارد کند و کار انجام دهد. بنابراین با آنکه بر این دستگاه مرکب که از بخش‌های مختلف بدن تشکیل شده است هیچ کاری توسط نیروهای وارد از سوی جسم‌های خارج از دستگاه (مانند دیوار) انجام نمی‌شود، ولی انرژی جنبشی کل دستگاه می‌تواند به دلیل کار نیروهای داخلی و انتقال انرژی داخلی تغییر کند.



الف) نیروهای خارجی وارد بر اسکیت‌بازی که دیوار را هل می‌دهد. کار انجام شده توسط این نیروها صفر است، ولی با این وجود انرژی جنبشی اسکیت‌باز تغییر می‌کند.

شکل ب مثال دیگری را نشان می‌دهد. موتور اتومبیل، تندی آن را با حرکت دادن چهار چرخ افزایش می‌دهد (هر چهار چرخ طوری ساخته شده‌اند که بر اثر نیروی موتور می‌چرخند). در حین شتاب گرفتن اتومبیل، موتور باعث می‌شود که لاستیک‌ها رو به عقب بر سطح جاده نیرو وارد کنند. این نیروهای رو به عقب، نیروهای اصطکاک f را ایجاد می‌کنند که به هر لاستیک رو به جلو وارد می‌شود. نیروی خارجی خالص F ناشی از جاده، که مجموع این نیروهای اصطکاک است، باعث شتاب گرفتن اتومبیل و افزایش انرژی جنبشی آن می‌شود. ولی F انرژی را از جاده به اتومبیل منتقل نمی‌کند و بنابراین کاری روی اتومبیل انجام نمی‌دهد (در غلتش بدون لغزش، بخشی از لاستیک که با زمین در تماس است، سرعت صفر دارد). بلکه، انرژی جنبشی اتومبیل به دلیل انتقال‌های داخلی انرژی ذخیره شده در سوخت، افزایش می‌یابد.



ب) اتومبیلی با استفاده از حرکت چهار چرخ خود، به سمت راست شتاب می‌گیرد. جاده، چهار نیروی اصطکاک (که دو تای آن در شکل نشان داده شده است) بر سطح پایین لاستیک‌ها وارد می‌کند. مجموع این چهار نیرو، نیروی خارجی خالص F را بر اتومبیل وارد می‌کنند.

وقتی در معادله $\Delta K = Fd \cos \phi$ ، طرف راست معادله کار نیروی F نیست!

در وضعیت‌های مشابه با دو مثال قبل (اسکیت‌باز، اتومبیل)، در صورتی که بتوانیم آن وضعیت را ساده‌سازی کنیم، گاهی می‌توانیم نیروی خارجی F وارد بر جسم را به تغییر انرژی مکانیکی جسم مرتبط کنیم. مثال اسکیت‌باز را در نظر بگیرید. در طی مسافت d در شکل الف می‌توانیم فرض کنیم شتابی که تندی اسکیت‌باز را از $v_0 = 0$ به v تغییر می‌دهد، ثابت است. (یعنی، فرض کنیم که F دارای بزرگی ثابت F و جهت ثابت است.) پس از هل دادن دیوار، اسکیت‌باز را به صورت یک ذره در نظر می‌گیریم و

با نادیده گرفتن این واقعیت که نیروی وارد بر ماهیچه‌ها انرژی گرمایی آنها را افزایش می‌دهد و باعث تغییرات فیزیولوژیکی می‌شود، مسئله را ساده می‌کنیم. آنگاه می‌توانیم معادله $\frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = Fd$ را به کار گیریم و یا در حالت کلی‌تری که نیروی \vec{F} و جابه‌جایی \vec{d} زاویه ϕ با یکدیگر می‌سازند بنویسیم:

$$K - K_0 = (F \cos \phi) d$$

یا

$$\Delta K = F d \cos \phi$$

اگر این وضعیت شامل تغییر ارتفاع جسم نیز شود، تغییر ΔU ی انرژی پتانسیل گرانشی را نیز می‌توانیم در آن لحاظ کنیم و بنویسیم:

$$\Delta K + \Delta U = F d \cos \phi$$

ولی باز هم توجه کنید که نیرو در طرف راست این معادله هیچ کاری انجام نمی‌دهد گرچه مسئول تغییرات انرژی نشان داده شده در طرف چپ است.

منابع

- ۱- فیزیک دانشگاهی - سیرز، زیمانسکی - ویراست ۱۲ - فصل ۶، کار و انرژی - بخش ۲۰.۶ - با ویراست مختصر.
- ۲- مبانی فیزیک - هالیدی، رزنیک، واکر - ویراست ۱۰ - فصل ۸، انرژی پتانسیل و پایداری انرژی - بخش ۵.۸ - با ویراست مختصر

مثال پیشنهادی

۱ دو تلمبه A و B از دو چاه آب می‌کشند. تلمبه A، $2/0 \text{ m}^3$ آب را در مدت $5/0^\circ$ ساعت، به اندازه 2 m بالا می‌برد و تلمبه B، $4/0 \text{ m}^3$ آب را در مدت $1/0^\circ$ ساعت، 16 m بالا می‌برد. توان خروجی هر تلمبه را محاسبه و نتیجه‌ها را با هم مقایسه کنید.

پاسخ: جرم آبی که تلمبه A در مدت $5/0^\circ$ ساعت بالا می‌کشد $m_A = 2/0 \times 10^3 \text{ kg}$ و جرم آبی که تلمبه B در مدت ۱ ساعت بالا می‌کشد $m_B = 4/0 \times 10^3 \text{ kg}$ است.

(هر متر مکعب آب تقریباً 1000 kg جرم دارد زیرا چگالی آب در حدود 1000 kg/m^3 است).

$$\text{انرژی خروجی تلمبه A, } E_A = m_A g h_A = (2/0 \times 10^3 \text{ kg}) \times (9/8 \text{ N/kg}) \times (2 \text{ m}) = 3/92 \times 10^5 \text{ J} \approx 3/9 \times 10^5 \text{ J}$$

$$\text{انرژی خروجی تلمبه B, } E_B = m_B g h_B = (4/0 \times 10^3 \text{ kg}) \times (9/8 \text{ N/kg}) \times (16 \text{ m}) = 6/27 \times 10^5 \text{ J} \approx 6/3 \times 10^5 \text{ J}$$

توان خروجی تلمبه A برابر است با:

$$P_A = \frac{E_A}{\Delta t} = \frac{3/92 \times 10^5 \text{ J}}{3600 \times 5/0 \text{ s}} = 217/7 \text{ J/s} \approx 2/2 \times 10^2 \text{ W}$$

و توان خروجی تلمبه B برابر است با:

$$P_B = \frac{E_B}{\Delta t} = \frac{6/27 \times 10^5 \text{ J}}{3600 \text{ s}} = 174 \text{ J/s} \approx 1/7 \times 10^2 \text{ W}$$

مشاهده می‌کنیم توان خروجی تلمبه A بیشتر از تلمبه B است. یعنی انرژی خروجی تلمبه A در مدت زمان ۱s، بیشتر از تلمبه B است.

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

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

طول مسیر ماریچ همواره از مسیر مستقیم بیشتر است. در نتیجه در سرعت معین مدت زمان پیمودن مسیر ماریچ بیشتر از مدت زمان پیمودن مسیر مستقیم است. اما در دو مسیر (مستقیم و ماریچ) انرژی خروجی موتور خودرو، با چشم‌پوشی از تلفات در این انرژی یکسان است، زیرا در هر دوی این مسیرها، انرژی خروجی موتور خودرو به افزایش انرژی پتانسیل گرانشی خودرو در بالا رفتن از تپه ($\Delta U = mg(h_p - h_s)$) تبدیل می‌شود که برای دو مسیر یکسان است. با توجه به اینکه توان خروجی موتور خودرو نسبت انرژی خروجی موتور به مدت زمان این رخداد است، در مسیری که مدت زمان بیشتر است (مسیر ماریچ) توان خروجی موتور کمتر می‌شود.



بعضی وقت‌ها دانش‌آموزانی که دقت زیادی دارند پاسخ این مثال را به نقد می‌کشند که، «چرا انرژی جنبشی آب خروجی از تلمبه را در نظر نگرفته‌اید؟ اگر قطر دهانه لوله خروج آب را داده بودید می‌توانستیم با استفاده از رابطه « $AV = \text{آهنگ شارش حجمی شاره}$ » اندازه سرعت آب خروجی را بیاییم و انرژی جنبشی آب خروجی را نیز حساب کنیم و مجموع انرژی پتانسیل گرانشی و انرژی جنبشی آب خروجی را به عنوان انرژی خروجی مفید در نظر بگیریم». در این گفت‌وگو چند نکته وجود دارد.

۱- انرژی جنبشی آب بیرون ریخته از لوله‌های خروجی پمپ، نهایتاً به افزایش انرژی درونی آب ذخیره شده در مخزن بالادست تبدیل می‌شود که، انرژی مفید به حساب نمی‌آید. در راه حل این مثال، «بازده تلمبه» را به معنی «بازده سیستم ذخیره‌سازی آب در مخزن بالادست» گرفته‌ایم.

۲- اگر بخواهیم «تلمبه» را فقط به معنی «موتور الکتریکی (یا سوختی) و پمپ کویل شده به موتور در نظر بگیریم (که البته مورد نظر سؤال نیست)، باید علاوه بر انرژی جنبشی آب بیرون ریخته از لوله‌های خروجی، به تلف انرژی ناشی از اصطکاک در کل لوله‌های ورودی و خروجی نیز فکر کنیم.

۳- به‌عنوان یک تمرین خوب می‌توانیم از دانش‌آموزان بخواهیم با فرض کردن یک مقدار معقول برای قطر لوله خروجی، انرژی جنبشی آب خروجی را نیز محاسبه کنند که البته در این صورت خواهند دید این انرژی در مقایسه با افزایش انرژی پتانسیل گرانشی آب، ناچیز است.

نکته انرژی و تلمبه

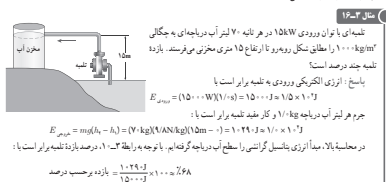
بازده: در هر سالانه تنها بخشی از انرژی ورودی (انرژی مصرفی سازه) به انرژی مورد نیاز ما تبدیل می‌شود. وای مثال وقتی موتور بالایی کار می‌کند بخشی از انرژی الکتریکی ورودی به کار مکانیکی تبدیل می‌شود و انتقال لایه را جابه‌جا می‌کند. بخش دیگری از انرژی الکتریکی ورودی به‌صورت انرژی‌های ناخواسته‌ای مانند گرم شدن اجزای موتور و کالی لایه در می‌ماند. شکل ۳-۱ طرح آرادی است که این نوع تبدیل انرژی‌ها در سازه را نشان می‌دهد.



همان‌طور که طرح وای، شکل ۳-۱ نشان می‌دهد تنها بخشی از انرژی ورودی قابل استفاده است که به آن انرژی خروجی یا کار مفید می‌گویند. نسبت انرژی خروجی به انرژی ورودی را بازده می‌نامیم. معمولاً بازده هر سازه را بر حسب درصد بیان می‌کنند. که همواره عددی کوچک‌تر از ۱۰۰ است. از رابطه زیر می‌توان درصد بازده هر سازه را به سادگی محاسبه کرد.

$$\text{بازده} (\%) = \frac{\text{انرژی خروجی}}{\text{انرژی ورودی}} \times 100 \quad (3-1)$$

همان‌گونه که نسبت توان متوسط را برای کار انجام شده تعریف کردیم، می‌توانیم برای انتقال‌های انرژی نیز نسبت توان را تعریف کنیم. اگر در مدت زمان Δt انرژی ΔE منتقل شده باشد، توان متوسط آن از نسبت ΔE به Δt بدست می‌آید.



شکل ۳-۲

تمرین ۲-۱۷

آب ذخیره شده در پشت سد یک نیروگاه برق آبی، از مسیری مطابق شکل روی بره های توربین می‌ریزد و آن را می‌چرخاند. با چرخش توربین، مولد می‌چرخد و انرژی الکتریکی تولید می‌شود (شکل رویه ر). اگر ۸۵ درصد کار توربین گراش به انرژی الکتریکی تبدیل شود، در هر ثانیه چند متر مکعب آب باید روی توربین بریزد تا توان الکتریکی خروجی مولد نیروگاه به $2 \times 10^6 \text{ W}$ و سد ۱ متر مکعب آب را چاه 100 kg در نظر بگیرد.

فعالیت ۳-۱

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

الف) یک نیروگاه سوخت فسیلی را در نظر بگیرید که با مصرف گازوئیل، انرژی الکتریکی تولید می‌کند. با سوختن هر لیتر گازوئیل حدود 35 کیلووات انرژی گرمایی تولید می‌شود. برای اینکه یک لامپ رشته‌ای 100 وات در طول یک ماه به مدت 180 ساعت روشن بماند (مطابق میانگین هر شبانه روز 6 ساعت)، چقدر گازوئیل باید در نیروگاه مصرف شود؟

ب) با توجه به نتیجه قسمت الف، درک خود از هدر رفتن انرژی اضافی خاموشی را بیان کنید.

ج) اگر در سراسر ایران، هر خانه در طول یک ماه، معادل انرژی الکتریکی مصرف شده در قسمت الف، مصرف‌جویی کند، مقدار گازوئیل مصرف‌جویی شده را محاسبه کنید.

تمرین ۳-۱۸

مدت زمانی که طول می‌کشد تا با دهن به بالای یک راه‌پله رسید را اندازه بگیرید. توان متوسط مفید خودتان را در این فعالیت بر حسب وات و نسبت بخار محاسبه کنید.

پاسخ فعالیت ۲-۳

برای این کار به کمک زمان سنج تلفن همراه، مدت زمان دویدن (Δt) را اندازه گرفته و ارتفاع هر پله (y) را در تعداد پله‌ها (n) ضرب می‌کنیم تا Δh به دست آید. بنابراین می‌توان نوشت $\Delta h = ny$.

$$P_{av} = \frac{\Delta U}{\Delta t} = \frac{mg\Delta h}{\Delta t}$$

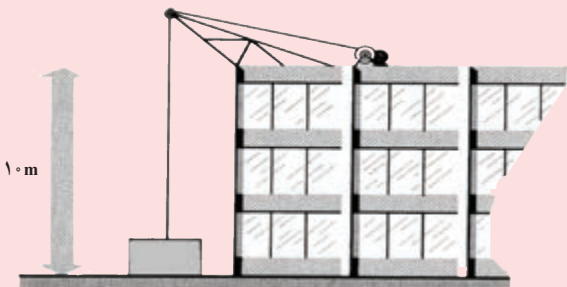
اگر در رابطه بالا یکاهای SI را مراعات کنیم P_{av} بر حسب وات به دست می‌آید. برای بیان این توان بر حسب اسب بخار می‌دانیم $1 \text{ hp} = 746 \text{ W}$ است.

توجه داریم که بدن ما در بالا رفتن از پله، همچون یک سامانه تبدیل انرژی، انرژی حاصل از سوخت و ساز داخلی بدن (انرژی ورودی) را به افزایش انرژی پتانسیل گرانشی (انرژی خروجی مفید) تبدیل می‌کند.

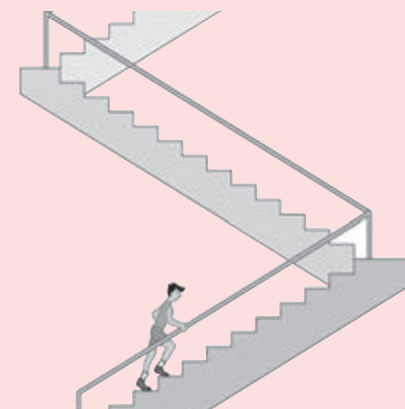
در بالا رفتن از پله، نیروی عمودی سطح F_N که به کف پاهای فرد، در امتداد قائم و رو به بالا وارد می‌شود، کار انجام نمی‌دهد و به فرد انرژی نمی‌دهد، زیرا جابه‌جایی نقطه اثر این نیرو صفر است. بنابراین، توانی که در این فعالیت به دست می‌آورید، توان انجام کار به وسیله نیروی F_N نیست، بلکه توان انتقال انرژی از انرژی درونی بدن فرد به انرژی پتانسیل گرانشی فرد است. در راه رفتن روی یک سطح صاف افقی یا شیب‌دار نیز نیروی جلوب‌ر اصطکاک ایستایی که به کف پای شخص وارد می‌شود کار انجام نمی‌دهد و به شخص انتقال انرژی نمی‌دهد. همین‌طور است در حرکت اتومبیل و نیروی اصطکاک جلوب‌ر بین چرخ‌ها و سطح زمین. توضیح بیشتر در این مورد را در دانستنی برای معلم چند صفحه قبل ببینید.

اگر بخواهیم توان مصرفی بدن را نیز حساب کنیم باید توان خروجی مفید $P_{av} = \Delta U / \Delta t = mg\Delta h / \Delta t$ را به بازده تبدیل انرژی بدن در این فعالیت تقسیم کنیم.

تمرین‌های پیشنهادی بخش ۲-۷



۱ از یک جرثقیل دستی برای بالا کشیدن باری به جرم 200 kg تا سقف ساختمانی به ارتفاع 10 m بهره می‌گیرند (شکل روبه‌رو). با فرض اینکه بتوانید با این جرثقیل با آهنگ ثابت 200 W کار کنید، چه مدت طول می‌کشد تا بار را به سقف ساختمان بکشید؟ (اتلاف انرژی ناشی از اصطکاک را نادیده بگیرید.)



۲ یک دوندۀ ماراتون به جرم 50 kg ، از پله‌های برجی بلند به ارتفاع 443 m ، در مدت 15 دقیقه بالا می‌رود (شکل روبه‌رو). توان مفید متوسط او چند وات و چند کیلووات است؟

دانستنی برای معلم

یکی از ویژگی‌های خودروها توان آنهاست به طور مثال توان خودروی پژو پارس، 100 hp و توان خودروی پراید 62 hp است. این اعداد حداکثر توان خودرو را بیان می‌کنند. وقتی خودرو در جاده‌ای مستقیم با سرعت ثابت حرکت می‌کند، مجموع نیروهای مقاوم در برابر حرکت، برابر با نیروی موتور است و توان خروجی موتور خودرو با چشم‌پوشی از اتلاف درون موتور در این حالت برابر با $P=Fv$ است که در آن F نیروی جلوبرو و v تندی خودرو است. حال فرض کنید خودرویی به جرم 1 تن با سرعت ثابت $54/0\text{ km/h}$ معادل $15/0\text{ m/s}$ در جاده 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 به طور مثال $10/0\text{ hp}$ معادل $7/46 \times 10^3\text{ W}$ باشد، آنگاه:

$$P=Fv \Rightarrow F=\frac{P}{v}$$

$$F=\frac{7/46 \times 10^3\text{ W}}{15/0\text{ m/s}}=497/3\text{ N} \approx 497\text{ N}$$

حال فرض کنید خودرو وارد جاده شیب‌داری با زاویه $\theta = 14/5^\circ$ می‌شود و از آن بالا می‌رود. در این صورت علاوه بر نیروهای اصطکاک و مقاومت هوا، مؤلفه‌ای از نیروی وزن نیز در خلاف جهت حرکت ظاهر می‌شود. اگر راننده بخواهد با همان سرعت $15/0 \text{ m/s}$ بالا رود باید توان مصرفی خودرو افزایش یابد. فرض کنید نیروهای مقاومت هوا و اصطکاک تقریباً همان مقادیر قبلی را داشته باشند.

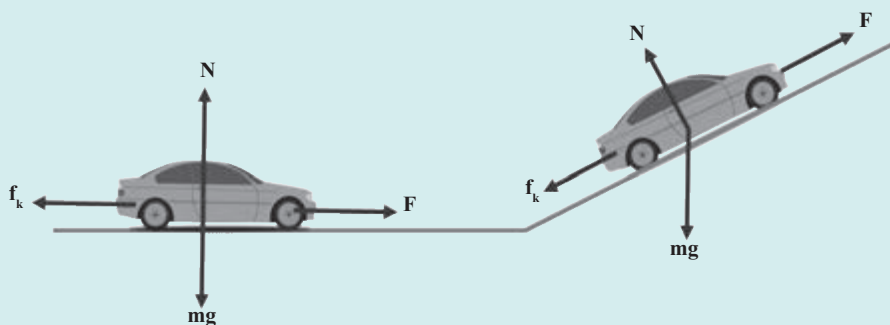
$F' = F + mg \sin \theta = 497 + 1000 \times 9/8 \times 0/25 = 2/947 \times 10^3 \text{ N} \approx 2/95 \times 10^3 \text{ N}$
و توان مصرفی برابر خواهد بود با:

$$P' = F'v = 2947 \text{ N} \times 15/0 \text{ m/s} = 44205 \text{ W} \approx 4/42 \times 10^4 \text{ W}$$

$$P' = 59/26 \text{ hp} \approx 59/3 \text{ hp}$$

حال اگر حداکثر توان خودرو 60 hp باشد خودرو با همان سرعت 54 km/h می‌تواند از جاده شیب‌دار بالا رود در غیر این صورت باید سرعت خود را کاهش دهد.

در دفترچه راهنمای خودروها، اغلب حداکثر شیب را برای خودرو می‌نویسند که به طور مثال برای خودروهای نسبتاً مرغوب حدود 36° است. این بدان معناست که خودرو با دنده سنگین و سرعت کم از شیب 36° بالا می‌رود. یعنی توان مصرفی خودرو در این حالت به اندازه حداکثر توان خودرو است.



۳-۴ نیرو و انرژی پتانسیل

۱. اگر شکل زیر سطح را در دست نگه دارید، آیا نیروی دست سازهایی که با تندی ثابت در مسیر افقی قدم می‌زنند روی سطح کاری انجام می‌دهد؟ اگر تندی حرکت شما در طول مسوگم زیاد شود، چطوراً پاسخ خود را در هر مورد توضیح دهید. از مغایرت هوا در مقابل حرکت سطح، چشم‌پوشی کنید.

۲. یک لیوان پلاستیکی را در دست بگیرید. آن را به آرامی از بلایه‌های ساختمان بالا می‌روید. گزاره‌های درست را با دکر دلیل مشخص کنید.

الف) در طبقه سوم، انرژی پتانسیل گرانشی (نسبت به زمین) شخص A از شخص B کمتر است، زیرا A را به بالا رفته است. ب) در طبقه سوم، انرژی پتانسیل گرانشی (نسبت به زمین) شخص A کمتر از شخص B است، زیرا A را به پایین رفته است. ج) در طبقه سوم، انرژی پتانسیل گرانشی (نسبت به زمین) شخص A و شخص B یکسان است.

۳. یک کارگر نیروی وزن را می‌برد و در طبقه سوم یک ساختمان می‌رود. در همان ارتفاع آن را با تندی ۱۰ m/s به بالا می‌برد. کار انجام شده توسط شخص روی گلوله‌ی فولاد چقدر است؟

۴. یک کارگر در مدارهای زمین و با تندی ثابت دور زمین می‌چرخد. حرکت یک ماهواره به دور زمین شکل (الف) را می‌توان مطابق شکل (ب) نمایش داد. همان‌طور که دیده می‌شود، نیروی جاذبه‌ی نیروی وزن هوا، بر ماهواره وارد می‌شود. چگونه امکان دارد با وجود وارد شدن این نیرو به ماهواره، انرژی جنبشی آن ثابت بماند؟



۴

$$m = 150 \text{ g} = (150 \text{ g})(1 \text{ kg}/1000 \text{ g}) = 150 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

$$F = 750 \text{ N}, d = 1/5 \text{ m}, W_t = \Delta K$$

از کار مقاومت هوا صرف نظر می‌کنیم،

$$W_t = \Delta K$$

$$F d \cos \theta = K_f - K_i$$

$$750 \text{ N} \times 1/5 \text{ m} = \frac{1}{2} \times (150 \times 10^{-3} \text{ kg}) \times v^2$$

$$v = \sqrt{1/500 \times 10^{-3}} \text{ m/s} \Rightarrow v = 38.7 \text{ m/s} \approx 39 \text{ m/s}$$

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

$$W_t = K_f - K_i$$

اگر W_t منفی باشد به این معنی است که $K_f > K_i$ یعنی تندی جسم کاهش پیدا کرده است، مثلاً زمانی که یک خودرو ترمز می‌گیرد.

۶

$$W_1 = K_f - K_i = \frac{1}{2} m v^2 \text{ در حالت اول}$$

$$W_2 = K_f - K_i = \frac{1}{2} m (3v)^2 = 9 \left(\frac{1}{2} m v^2 \right) = 9 W_1 \text{ در حالت دوم}$$

در نتیجه باید ۹ برابر کار انجام شود.

۷. چون مسیر مستقیم و تندی ثابت است نیروی خالص مؤثر بر سطل صفر است. با چشم‌پوشی از نیروی مقاومت هوا در برابر حرکت سطل، نیروی دست ما هم اندازه و خلاف سوی نیروی وزن سطل می‌شود. به این ترتیب نیروی دست ما بر جابه‌جایی عمود است. بنابراین کار نیروی دست ما در این حالت صفر می‌شود.

در حالتی که تندی تغییر می‌کند شتاب افقی و در نتیجه نیروی افقی وجود دارد. نیروی دست ما، یک مؤلفه قائم برای خنثی کردن نیروی وزن و یک مؤلفه افقی برای ایجاد شتاب افقی خواهد داشت. چون زاویه نیروی دست ما با راستای جابه‌جایی 90° نیست بنابراین کار انجام خواهد شد. توجه کنید که از منظر انرژی، وقتی انرژی جنبشی تغییر کند حتماً کار کل غیر صفر است. در اینجا نیروی وزن بر مسیر حرکت عمود و کارش صفر است، به ناچار نیروی دست ما کار انجام داده است.

۸

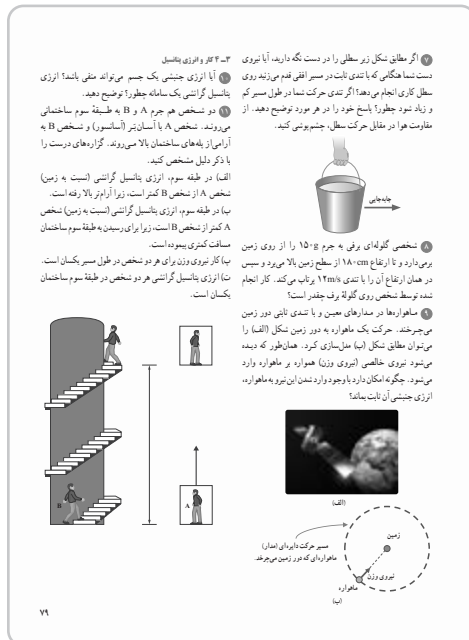
$$m = 150 \text{ g} = (150 \text{ g}) \left(\frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \right) = 150 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

$$h = 180 \text{ cm}, v = 12 \text{ m/s}$$

$$W_{\text{وزن}} = F d \cos \theta = m g d \cos 180^\circ = (150 \times 10^{-3} \text{ kg})(9.8 \text{ N/kg})(1/80 \text{ m})(-1) = 2/646 \text{ J} \approx 2/6 \text{ J}$$

$$W_t = \Delta K \Rightarrow W_{\text{وزن}} + W_{\text{دست}} = \frac{1}{2} m v_f^2 - \frac{1}{2} m v_i^2$$

$$2/646 \text{ J} + W_{\text{دست}} = \frac{1}{2} (150 \times 10^{-3} \text{ kg})(12 \text{ m/s})^2 \Rightarrow W_{\text{دست}} = 8/154 \text{ J} \approx 8/2 \text{ J}$$



ممکن است برخی دانش‌آموزان دقیق ایراد بگیرند که در محاسبه کار نیروی وزن مطمئن نیستیم جابه‌جایی $1/8^{\circ}m$ و زاویه نیروی وزن با جابه‌جایی 18° باشد. این ایراد درستی است، گرچه حل ما نیز درست است. می‌توان پاسخ این دانش‌آموزان را با استفاده از بحث انرژی پتانسیل داد. اگرچه نمی‌دانیم d و $\cos\theta$ دقیقاً چه مقادیری دارند اما می‌دانیم:

$$W_{\text{وزن}} = mgd\cos\theta = -\Delta U = -mg\Delta h$$

که مقدار Δh معلوم است ($1/8^{\circ}m$).

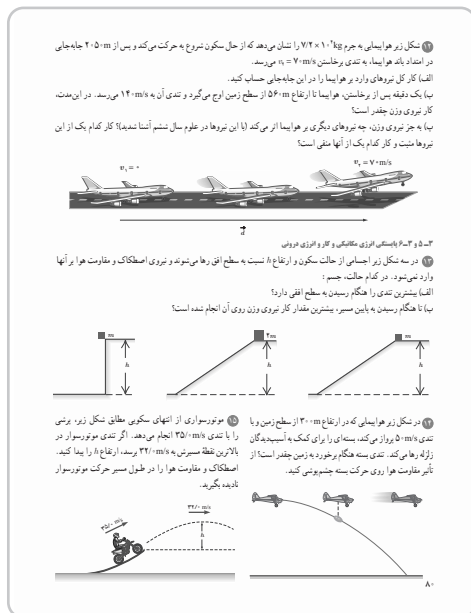
۹- چون این نیرو بر مسیر حرکت ماهره همواره عمود است؛ بنابراین کاری روی ماهره انجام نمی‌دهد. بنابراین انرژی جنبشی ماهره ثابت می‌ماند. ممکن است برخی دانش‌آموزان نکته سنج و دقیق ایراد بگیرند که رابطه $W=(F\cos\theta)d$ برای محاسبه کار نیروی ثابت (جهت ثابت، اندازه ثابت) است. در این سؤال، دست کم مطمئن هستیم جهت

نیروی وزن پیوسته در تغییر است. پس نمی‌توان با استناد به این رابطه و این توضیح که $\theta = 9^{\circ}$ و $\cos\theta = 0$ است به سؤال پاسخ داد. این اشکال، به جا و درست است. پیشنهاد می‌کنیم دبیران محترم، خودشان شروع کننده این بحث نباشند، اما در صورتی که طرح اشکال از طرف دانش‌آموزان به صورت جدی رخ دهد، باید توضیح داد. برای نیروی متغیر، مسیر را به قطعه‌های کوچکی خرد می‌کنیم، طوری که در هر قطعه بتوان از تغییر نیرو چشم‌پوشی کرد. در هر قطعه کوچک مسیر را به کارگیری رابطه $W=(F\cos\theta)d$ کاری جزئی حساب می‌کنیم، سپس این کارهای جزئی را با هم جمع می‌کنیم تا کار نیرو در کل مسیر به دست آید. در این سؤال، در هر بخش جزئی مسیر، $\theta = 9^{\circ}$ و $\cos\theta = 0$ و لذا $W = 0$ است. بنابراین جمع این کارهای جزئی نیز صفر می‌شود.

۱۰- انرژی جنبشی جسم همواره مقداری مثبت است. پرسش کتاب از انرژی پتانسیل، مربوط به انرژی پتانسیل گرانشی است که با جزئیات بیشتری بررسی شده است. انرژی پتانسیل گرانشی یک سامانه، به مبدأ انرژی پتانسیل (که اختیاری است) بستگی دارد و می‌تواند مثبت، منفی و یا صفر باشد و البته تغییر انرژی پتانسیل ΔU مستقل از مبدأ انتخاب شده برای انرژی پتانسیل U است. توجه کنید همان‌طور که در کتاب نیز توضیح داده شده است کمیتی که در معادله‌های $W_{\text{وزن}} = -\Delta U$ و $\Delta U = -\Delta K$ نقش بازی می‌کند و اهمیت دارد ΔU است نه U .

۱۱- الف) نادرست- انرژی پتانسیل گرانشی (نسبت به زمین) برای دو شخص هم جرم، فقط به ارتفاع از مبدأ در نظر گرفته شده بستگی دارد. ب) نادرست پ) درست- زیرا این کار برابر است با منفی تغییر انرژی پتانسیل گرانشی و لذا برای دو نفر آنها یکسان است. ت) درست

همان‌طور که در توضیح فعالیت ۳-۲ی کتاب درسی گفته شد، آنچه در بالا رفتن از پله، به فرد انرژی (انرژی پتانسیل گرانشی یا انرژی جنبشی) می‌دهد، کار نیروی خارجی نیست. کار نیروی خارجی \vec{F}_N که سطح پله‌ها به کف پاهای شخصی وارد می‌کند صفر است. در اینجا انتقال انرژی از انرژی درونی بدن شخص به انرژی پتانسیل گرانشی رخ می‌دهد.



$$v_1 = 0, m = 7/2 \times 10^4 \text{ kg}, d = 2/0.50 \times 10^2 \text{ m}$$

$$v_f = 70 \text{ m/s}$$

الف)

$$W_t = \Delta K$$

$$W_t = \frac{1}{2} m (v_f^2 - v_1^2) = \frac{1}{2} \times (7/2 \times 10^4 \text{ kg}) (70 \text{ m/s})^2 =$$

$$1/76 \times 10^8 \text{ J} \approx 1/8 \times 10^8 \text{ J}$$

$$h = 560 \text{ m}, v_f = 140 \text{ m/s}$$

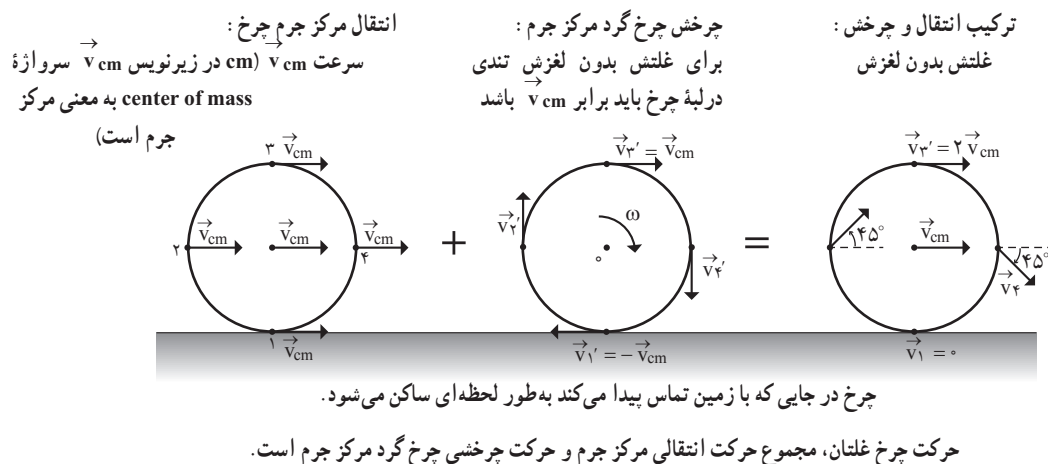
ب)

$$W_{mg} = -\Delta U = -mg(h_f - h_1) = -7/2 \times 10^4 \text{ kg} \times$$

$$9/8 \text{ N/kg} \times 560 \text{ m} = -3/951 \times 10^8 \text{ J} \approx -4/0 \times 10^8 \text{ J}$$

پ) در لحظات پرواز در هوا، سه نیروی دیگر بر هواپیما اثر می‌کند، ۱- نیروی جلوبر هواپیما (پیشران thrust) ۲- نیروی بالابر (lift) ۳- نیروی مقاومت هوا (drag). کار نیروی مقاومت هوا منفی و کار نیروی جلوبر مثبت است. کار نیروی بالابر در زمانی که هواپیما در حال اوج گرفتن است مثبت، در لحظاتی که هواپیما در حال کاهش ارتفاع است منفی و در لحظات پرواز افقی صفر است.

در لحظات حرکت هواپیما روی زمین با وضعیت کمی پیچیده‌ای درگیریم که مناسب مطرح کردن برای دانش‌آموزان این پایه تحصیلی نیست. در درگیری چرخ‌ها با زمین، در لحظاتی که نیروی اصطکاک به چرخ اثر می‌کند، با فرض غلش کامل چرخ، جابه‌جایی نقطه‌اثر این نیرو صفر و لذا کار این نیرو صفر است. هر چند توضیح این مطلب برای دانش‌آموزان، مناسب این سطح از آموزش نیست ولی برای وضوح و اطمینان به مطلب، این توضیح را از فیزیک دانشگاهی سیرز-زیمانسکی، ویراست ۱۲، فصل ۱۰، بخش ۱-۳ می‌بینیم:



الف) تندی هر سه یکسان است زیرا از ارتفاع‌های یکسان رها شده‌اند و اگر معادله پایستگی انرژی مکانیکی را برای پیدا کردن تندی در پایین سطح حل کنیم می‌بینیم تندی در پایین سطح تنها به ارتفاع بستگی دارد ($v = \sqrt{2gh}$).

ب) کار نیروی وزن با منفی تغییر انرژی پتانسیل گرانشی برابر است، پس برای جسم وسطی بیشتر است زیرا جرم بیشتری دارد.

$$h = 30 \text{ m}$$

$$v_1 = 50 \text{ m/s}$$

$$K_1 + U_1 = K_2 + U_2$$

سطح زمین را مبدأ انرژی پتانسیل گرانشی می گیریم بنابراین $U_2 = 0$

$$\frac{1}{2} m v_1^2 + m \times (9.8 \text{ N/kg}) \times (30 \text{ m}) =$$

$$\frac{1}{2} m v_2^2 \Rightarrow v_2 = 91.54 \text{ m/s} \approx 92 \text{ m/s}$$

$$v_1 = 350 \text{ m/s}, v_2 = 320 \text{ m/s}, h = ?$$

مکان جدا شدن از سکو را مبدأ انرژی پتانسیل گرانشی در نظر می گیریم بنابراین داریم:

$$K_1 + U_1 = K_2 + U_2 \Rightarrow \frac{1}{2} m (350 \text{ m/s})^2 = \frac{1}{2} m (320 \text{ m/s})^2 + m \times (9.8 \text{ N/kg}) \times h \Rightarrow h = 10.3 \text{ m} \approx 10 \text{ m}$$

۱۶ مقاومت هوا وجود ندارد، پس طبق اصل پایستگی انرژی مکانیکی، چون ارتفاع اولیه، جرم و تندی اولیه سه توپ یکسان است انرژی جنبشی یکسانی نیز در پایان مسیر خواهند داشت.

$$m = 50 \text{ g}$$

$$v_1 = 1/5 \text{ km/s} = (1/5 \text{ km/s}) \left(10^3 \frac{\text{m}}{\text{km}} \right) = 1/5 \times 10^3 \text{ m/s}$$

$$h = 1/6 \text{ m}$$

$$v_2 = 0.45 \text{ km/s} = 0.45 \times 10^3 \text{ m/s}$$

(الف)

$$W_f = E_2 - E_1$$

$$W_f = (K_2 + U_2) - (K_1 + U_1) = \left[\frac{1}{2} \times 50 \times 10^{-3} \text{ kg} \times (0.45 \times 10^3 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 \right] + 0 - \left[\frac{1}{2} \times 50 \times 10^{-3} \text{ kg} \times (1/5 \times 10^3 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 \right] + 50 \times 10^{-3} \text{ kg} \times (9.8 \text{ N/kg}) \times 1/6 \text{ m} = -5.12 \times 10^{-4} \text{ J} \approx -5.1 \times 10^{-4} \text{ J}$$

(ب)

$$W_{\text{وزن}} = -\Delta U = -mg(h_2 - h_1) = -(50 \times 10^{-3} \text{ kg})(9.8 \text{ N/kg})(-1/6 \text{ m}) = 7.84 \times 10^{-4} \text{ J} \approx 7.8 \times 10^{-4} \text{ J}$$

فرض کنید بخواهیم بدانیم آیا می توان از سهم کار نیروی وزن گلوله در تغییر انرژی جنبشی اش، در مقایسه با سهم کار نیروی مقاومت هوا در تغییر انرژی جنبشی گلوله، چشم پوشید یا نه ($\Delta K =$ مقاومت هوا $W_{\text{وزن}} + W$). کار نیروی مقاومت هوا در حدود 50 kJ و کار نیروی وزن در حدود 7.8 J است. بنابراین در معادله $\Delta K =$ مقاومت هوا $W + W_{\text{وزن}}$ می توان از کار نیروی وزن در مقایسه با کار نیروی مقاومت هوا چشم پوشید.



[illegible]

$$m = 12 \text{ kg}, h_A = 5/6 \text{ m}, h_B = 3/2 \text{ m}, v_B = ?$$

(الف)

$$E_A = E_B$$

$$U_A + K_A = U_B + K_B$$

$$\cancel{m}gh_A = \cancel{m}gh_B + \frac{1}{2}\cancel{m}v_B^2$$

$$(9/11 \text{ N/kg}) \times 0.5 \text{ m} = (9/11 \text{ N/kg}) \times 3/4 \text{ m} + \frac{1}{2} v_B^2 \Rightarrow$$

$$V_B = 0.94 \text{ m/s} \approx 0.9 \text{ m/s}$$

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

$$W_{\text{ऊज}} = -mg\Delta h = -mg(h_C - h_A) = -12 \text{ kg} \times (9/10 \text{ N/kg}) \times (2/5 \text{ m} - 5/5 \text{ m}) = 3/5 \times 10^3 \text{ J} \approx 3/5 \times 10^3 \text{ J}$$

۱۹ الف) انرژی گلوله قبل از رها کردن برابر است با انرژی پتانسیل گرانشی آن (توجه شود که گلوله باید رها شود و هیچ گونه انرژی جنبشی اولیه نباید به گلوله داده شود). در مسیر رفت و برگشت مقداری از انرژی آن به دلیل مقاومت هوا تلف خواهد شد. یعنی انرژی مکانیکی گلوله در پایان رفت و برگشت اول، کمتر از انرژی مکانیکی اش در شروع حرکت است، و بنابراین مطمئن خواهیم بود که تا ارتفاع کم، پایین تر از محل رها شدن بالا خواهد آمد.

ب) در این حالت احتمال برخورد با صورت دانش آموز وجود دارد. اگر انرژی جنبشی اولیه داده شده به گلوله بیشتر از انرژی تلف شده در مسیر رفت و برگشت باشد برخورد رخ می دهد.

$$m_1 = 9/10 \times 10^3 \text{ kg}, t = 3/10 \text{ min} \times \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 1/1 \times 10^3 \text{ s}, h = 70 \text{ m}, m_2 = 3/2 \times 10^3 \text{ kg}$$

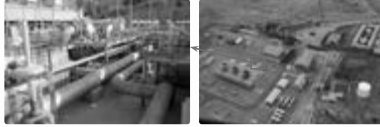
$$m = m_1 + m_2 = 9/10 \times 10^{-2} \text{ kg}$$

بالا، انرژی ورودی خودش را که معمولاً انرژی الکتریکی است به انرژی خروجی مفید که انرژی پتانسیل گرانشی بار باشد انتقال می‌دهد. توان مفید خروجی بالا، نسبت این انرژی پتانسیل گرانشی به زمان انتقال انرژی است.

$$P_{\text{مفید}} = \frac{W_{\text{مفید}}}{t} = \frac{mgh}{t} = \frac{9/10 \times 10^3 \text{ kg} \times 9.8 \text{ N/kg} \times 75 \text{ m}}{1/10 \times 10^3 \text{ s}}$$

$$P = 3/96 \times 10^3 W \approx 4/0 \times 10^3 W$$

آورد. شکل زیر یکی از این مراکز را نشان می‌دهد که در ارتفاع سطح دریای آزاد غوطه‌ور می‌شود. اگر بزرگ‌ترین یک از پمپ‌های ۲۰۵ m از سطح دریای آزاد قرار دارد. در این مرکز، در هر ثانیه ۱۰۰۰ m^۳ مواد غنی از طریق لوله‌ای با قطر ۲۲/۰ اینچ و حسب محکومات (MW) واسپ پمپ (hp) چندر است؟ (چگالی مواد غنی را ۸۶۰۰ kg/m^۳ بگیرد.)



مرکز انتقال نفت گندکاز، یکی از مراکز است که در مسیر مازندران - اصفهان قرار دارد. این مسیر، که برای بار ۲۲۰ کیلوگرم دارد و من مسیر سخت و صعب‌العبور خطوط انتقال مواد غنی در فاصله است.

۸۲

$$P = (3/96 \times 10^3 W) \left(\frac{1}{746} \frac{\text{hp}}{W} \right) = 5/31 \text{ hp} \approx 5/3 \text{ hp}$$

۲۱

$$m = 72 \text{ kg}, t = 9 \text{ s}, n = 50, y = 3 \text{ cm}$$

$$h = ny = 50 \times 3 \text{ cm} = 1/5 \times 10^3 \text{ cm} = 15 \text{ m}$$

بدن شخص به عنوان یک سامانه تبدیل انرژی، انرژی درونی حاصل از سوخت و ساز درون بدن را به انرژی پتانسیل گرانشی انتقال می‌دهد. این انرژی پتانسیل گرانشی، انرژی خروجی مفید سامانه بدن است.

$$P_{\text{مفید}} = \frac{W_{\text{مفید}}}{t} = \frac{mgh}{t} = \frac{72 \text{ kg} \times (9/8 \text{ N/kg}) \times 15 \text{ m}}{9 \text{ s}} =$$

$$1/18 \times 10^3 \text{ W} \approx 1/2 \times 10^3 \text{ W}$$

پیشنهاد می‌شود دبیران محترم به این توان به عنوان توان خروجی و مفید یک سامانه انتقال انرژی^۱ (تبدیل انرژی) نگاه کنند. نگاه کردن به این توان به عنوان توان انجام کار، پردردسر است. نیروهای خارجی مؤثر بر بدن در اینجا هیچ کاری انجام نمی‌دهند.

۲۲

$$h_1 = 2/50 \times 10^3 \text{ m}, h_2 = 2/700 \times 10^3 \text{ m}, \Delta h = 6/50 \times 10^3 \text{ m}, m = \rho v = (860 \text{ kg/m}^3)(1/10 \text{ m}^3) = 860 \text{ kg}$$

$$\Delta U = mg\Delta h = (860 \times 10^3 \text{ kg}) \times (9/8 \text{ N/kg}) \times (6/50 \times 10^3 \text{ m}) = 5/48 \times 10^6 \text{ J} \approx 5/5 \times 10^6 \text{ J}$$

$$\text{انرژی خروجی مفید هر پمپ در مدت } 1/100 \text{ s: } \frac{\Delta U}{2} = \frac{5/48 \times 10^6 \text{ J}}{2} = 2/74 \times 10^6 \text{ J} \approx 2/7 \times 10^6 \text{ J}, 1/100 \text{ s}$$

$$\text{انرژی خروجی} = \frac{\text{انرژی خروجی}}{\text{بازده}} = \frac{2/74 \times 10^6 \text{ J}}{(2/8)} = 9/79 \times 10^6 \text{ J} \approx 9/8 \times 10^6 \text{ J}$$

$$\text{توان ورودی هر پمپ در } 1/100 \text{ s: } P_{\text{ورودی}} = \frac{9/79 \times 10^6 \text{ J}}{1/100 \text{ s}} = 9/79 \times 10^6 \text{ W} \approx 9/8 \text{ MW}$$

$$P_{\text{ورودی}} = (9/79 \times 10^6 \text{ W}) \times \left(\frac{\text{hp}}{746 \text{ W}} \right) = 1/31 \times 10^4 \text{ hp} \approx 1/3 \times 10^4 \text{ hp}$$

۱- مبانی فیزیک هالیدی - زرنیک - واکر برای انرژی‌های ورودی و خروجی و تلف شده یک سامانه اصطلاح «انتقال انرژی» (Energy transfer) و نه «تبدیل انرژی» (Energy transformation) را به کار می‌برد (ویراست ۱۰، فصل ۸، بخش ۵-۸) و بر این تعبیر با توجه به قانون پایستگی انرژی تأکید دارد. حتی وقتی در خود یک سامانه منزوی مثلاً انرژی پتانسیل کاهش می‌یابد و در عوض انرژی جنبشی افزایش می‌یابد، در اینجا نیز از تعبیر انتقال انرژی استفاده می‌کند و می‌گوید انتقال انرژی از انرژی پتانسیل به انرژی جنبشی رخ داد. انرژی، موجودی پایسته است که هیچ‌گاه به نحوی اسرارآین خلق یا نابود نمی‌شود. انرژی از جایی به جای دیگر و یا در یک جسم از نوعی به نوع دیگر منتقل می‌شود.

فصل ۴

دما و گرما

- ۱-۴ دما و دماسنجی
 - ۲-۴ انبساط گرمایی
 - ۳-۴ گرما
 - ۴-۴ تغییر حالت‌های ماده
 - ۵-۴ روش‌های انتقال گرما
 - ۶-۴ قوانین گازها
- پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۴

دبیران محترم توجه دانش آموزان را به رمزینه‌های سریع پاسخ (QR Code ها) آورده شده در ابتدای هر فصل از کتاب درسی جلب کنند. این رمزینه‌ها دربردارنده محتوای آموزشی متنوعی از قبیل آزمایش‌های انجام شده کتاب درسی، شبیه‌سازی‌ها و ... هستند که به یادگیری و نشاط آموزشی - علمی دانش آموزان کمک زیادی می‌کنند.



پیامدها

دانش آموزان با درک مفاهیم این فصل :

- تفاوت دما و گرما را می فهمند و آنها را از هم تمیز می دهند.
- با استفاده از پایداری انرژی به درکی از دمای تعادل و مبادله انرژی به صورت گرما می رسند.
- با روش های انتقال گرما در محیط پیرامون خود آشنا می شوند.
- اثر تغییر دما بر ویژگی های فیزیکی مختلف مواد را می شناسند.
- رفتار گازهای آرمانی (کامل) را می شناسند و آنها را از گازهای واقعی تمیز می دهند.

چه شناختی مطلوب است؟

- تغییر کمیت دماسنجی، اساس کار دماسنج ها است.
- بیشتر اجسام با افزایش دما، حجم شان زیاد و با کاهش دما حجم شان کم می شود.
- بر اثر اختلاف دما بین دو جسم که در تماس فیزیکی با یکدیگر قرار دارند، انرژی به صورت گرما از جسم گرم تر به جسم سردتر منتقل می شود.
- دو یا چند جسم با دماهای متفاوت که در تماس با یکدیگرند پس از مدتی به دمای تعادل می رسند.
- تغییر حالت (فاز) معمولاً با گرفتن و یا از دست دادن گرما همراه است بی آنکه تغییر دمایی رخ دهد.
- انتقال گرما به سه روش رسانش گرمایی، همرفت و تابش گرمایی صورت می گیرد.
- فشار، حجم، دما و مقدار گاز آرمانی، با قانون گازهای آرمانی به هم مربوط می شوند.

چه پرسش هایی اساسی است و باید در نظر گرفته شوند؟

- کمیت دماسنجی چیست و چگونه از آن در مقیاس بندی دماسنج ها استفاده می شود؟
- بین تغییر حجم و تغییر دما (در حالت کلی) چه رابطه ای وجود دارد؟
- مقدار گرمای لازم برای آن که جرم مشخصی از یک جسم به اندازه معینی افزایش دما بیابد به چه عواملی بستگی دارد؟
- دمای تعادل بر اساس چه قانون فیزیکی تعیین می شود؟
- گرمای منتقل شده برای تغییر حالت (فاز) یک جسم به چه عاملی بستگی دارد؟
- گرما به چه روش هایی می تواند از جسمی با دمای بالاتر به جسمی با دمای پایین تر منتقل شود؟
- رفتار گازها را با چه کمیت هایی می توان توصیف کرد؟

در پایان این واحد یادگیری دانش آموزان 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، گرمای نهان ذوب و تبخیر، گرماسنج و گرماسنجی، قوانین گازها و گازهای آرمانی آشنا می‌شوند.

ب) مهارتی

به مهارت‌های چگونگی مدرج کردن دماسنج‌ها، اندازه‌گیری دما با دماسنج‌ها، تبدیل مقیاس‌های دما به یکدیگر، تعیین عوامل مؤثر بر انبساط، محاسبه انبساط گرمایی اجسام، به‌دست آوردن ضریب انبساط حجمی مایعات، محاسبه گرمای منتقل شده به یک جسم در یک تغییر دمای معین، تعیین دمای تعادل، گرماسنجی و به‌دست آوردن گرمای ویژه یک جسم نامشخص، تعیین گرمای نهان، محاسبه گرمای لازم برای تغییر حالت‌ها، نشان دادن پدیده همرفت، کنترل متغیرها و پیدا کردن عوامل مؤثر بر رفتار گازها و تعیین کمیت مجهول در رفتار گازها دست می‌یابند.

بودجه‌بندی پیشنهادی

- جلسه اول و دوم : تصویر شروع فصل، بخش ۱-۴ دما و دماسنجی
- جلسه سوم و چهارم : بخش ۲-۴، انبساط گرمایی
- جلسه پنجم و ششم : بخش ۳-۴ گرما تا سر دمای تعادل
- جلسه هفتم و هشتم : از دمای تعادل تا ابتدای بخش ۴-۴
- جلسه نهم و دهم : بخش ۴-۴ ، تغییر حالت‌های ماده
- جلسه یازدهم : روش‌های انتقال گرما
- جلسه دوازدهم و سیزدهم : قوانین گازها
- جلسه چهاردهم : جمع‌بندی، رفع اشکال و حل پرسش‌ها و تمرین‌های باقیمانده
- جلسه پانزدهم : آزمون تشریحی فصل چهارم

راهنمای تدریس

خوب است همکاران محترم توجه دانش‌آموزان را به نقشه داده شده در ابتدای فصل جلب کنند و از ایشان بپرسند آیا با این نقشه می‌توان پی برد که در زمان تهیه نقشه نیمکره شمالی گرم‌تر بوده است یا نیمکره جنوبی. همچنین از دانش‌آموزان بخواهند ایران را با توجه به طول و عرض جغرافیایی‌اش در نقشه پیدا کنند و دمای خلیج فارس را با دمای منطقه‌ای دیگر مانند دریای بالتیک مقایسه کنند.

یکی از اهداف پرسش‌های ابتدای هر فصل، آن است که دانش‌آموزان با موضوع درس درگیر شوند و انگیزه لازم برای یادگیری آن را پیدا کنند و اهمیت این دانش را در گوشه و کنار زندگی پیرامونشان درک کنند.

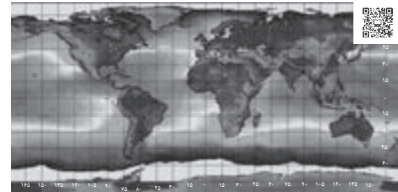
در ابتدای فصل تعداد زیادی پرسش‌های مرتبط با زندگی روزمره دانش‌آموزان، در ارتباط با مباحث دما و گرما مطرح شده است. انتظار می‌رود دانش‌آموزان با یادگیری فصل بتوانند پاسخ‌های درستی به این پرسش‌ها بدهند و یا اینکه پاسخ‌های ارائه شده را بفهمند.

۴-۱- دما و دماسنجی

راهنمای تدریس: هدف این بخش، آن است که درک تجربی و عُرُفی 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 رده تحصیلی نیست و پیمودن این مسیر با اهداف آموزش علم در این مرحله فاصله دارد.

همان‌طور که در فصل ۱ دیدیم، یکای دمای کلون، در دستگاه بین‌المللی یکاها (SI)، از یکاهای اصلی است و در روابط فیزیکی غالباً از این یکا استفاده می‌شود.

دما و گرما



براندانشان براساس تصویرهای متوالی در دمای محیط را با یکدیگر مقایسه می‌کنند. یکی از بخش‌های جداگانه این بخش، نقشه دمای مناطق مختلف زمین است. این تصویر متوالی، دمای آب در سطح کره زمین را در یک روز خاص نمایش می‌دهد. رنگ‌ها نشان‌دهنده دمای آب در سطح کره زمین است. این تصویر متوالی، دمای آب در سطح کره زمین را در یک روز خاص نمایش می‌دهد. رنگ‌ها نشان‌دهنده دمای آب در سطح کره زمین است.

چگونه آب می‌تواند آتش را خاموش کند؟ چرا آتش‌نشان‌ها لباس‌های آتش‌پوش را می‌پوشند؟ چرا پارچه‌های نسبی که روی بدن پهن شده است، شایسته ضد شعله می‌شود؟ چگونه دماهای حاصلی به وجود می‌آید؟ چگونه شیشه‌های دوجداره مانع از انتقال گرما می‌شود؟ چگونه با استری کردن باغ‌های میوه می‌توان از پخش آن‌ها در نسی سرد جلوگیری کرد؟ چرا بیشتر لباس‌ها به صورت پشمی یا پشمی ساخته می‌شوند که فاصله کمی بین آن‌ها وجود دارد؟ چگونه به موهای خرس‌های قطبی می‌تواند آن‌ها را از سرمای کشنده قطب در آمان نگه دارد؟ پاسخ این پرسش‌ها و بسیاری از پرسش‌های مشابه را می‌توان با بررسی مفهوم دما و گرما و انرژی آن روی داده دست آورد.

در کتاب‌های علوم با مفاهیمی دما و گرما به طور ساده آشنا شدیم. در این فصل، ضمن گسترش و توضیح بیشتر این مفاهیم به بررسی مواردی از قبیل دماسنج و اثر تغییر دما بر حجم مواد می‌پردازیم. افزون بر آن، گرانشی و اندازه‌گیری گرمای ویژه، تغییر حالت مواد و گرما و دمای دمای و تغییر دما را بررسی می‌کنیم و راه‌های انتقال گرما را مورد بحث قرار می‌دهیم و سرانجام قانون گازها را بررسی می‌کنیم.

دما و دماسنجی

دما و دماسنجی

وقتی شخصی بسیاری به رنگ و بوی یک ماده می‌نگرد، یکی از بهترین اطلاعات برای تشخیص همین دمای بدن بیمار است. برای این منظور رنگ و بوی یک ماده می‌نگرد. برای تشخیص دمای بدن بیمار است. برای این منظور رنگ و بوی یک ماده می‌نگرد. برای تشخیص دمای بدن بیمار است.



دما و دماسنجی



دما و دماسنجی

برای اندازه‌گیری دما لازم است دمای ماده‌ای داشته باشیم و برای این کار می‌توانیم از هر وسیله‌ای برای اندازه‌گیری بهره‌گیریم که با گرمی و سردی جسم تغییر می‌کند. به این روش، «اصطلاحاً دماسنج» می‌گویند. به عنوان مثال دماسنجی که برای اندازه‌گیری دمای بدن بیمار استفاده می‌شود، دماسنجی است که با تغییر دمای بدن بیمار، تغییر در طول ستون مایع درون آن را نشان می‌دهد. دماسنج‌های دیگری نیز وجود دارند که برای اندازه‌گیری دمای اجسام مختلف استفاده می‌شوند. دماسنج‌های پزشکی برای اندازه‌گیری دمای بدن بیمار استفاده می‌شوند. دماسنج‌های صنعتی برای اندازه‌گیری دمای اجسام مختلف استفاده می‌شوند. دماسنج‌های علمی برای اندازه‌گیری دمای اجسام مختلف استفاده می‌شوند.

دما و دماسنجی

دما و دماسنجی

نشان دهید که تغییر دما در مقیاس‌های سلسیوس و کلوین با هم برابر است ($\Delta T = \Delta \theta$).

نشان دهید که تغییر دما در مقیاس‌های سلسیوس و کلوین با هم برابر است ($\Delta T = \Delta \theta$).

نشان دهید که تغییر دما در مقیاس‌های سلسیوس و کلوین با هم برابر است ($\Delta T = \Delta \theta$).

حفظ کردن مرتبه بزرگی این دماها مورد نظر نیست، ولی لازم است در طرح درس دبیران محترم، این مقادیر مورد گفت‌وگو قرار گیرد تا دانش‌آموزان دست کم به‌طور اجمالی با حدود این دماها آشنا شوند و دانش‌آموز دمای 1°K یا 1°K را عجیب و غیر ممکن نداند.

تمرین ۱-۴

این تمرین با توجه به نقش مهمی که در ادامه درس این فصل دارد باید مورد تأکید ویژه قرار گیرد. در ادامه فصل در همه روابطی که با تغییر دما سروکار داریم، ΔT و $\Delta \theta$ قابل جایگزینی با هم هستند.

پاسخ تمرین ۱-۴

$$\Delta T = T_f - T_i = (\theta_f + 273/15) - (\theta_i + 273/15) \\ = \theta_f - \theta_i = \Delta \theta$$

پاسخ تمرین ۲-۴

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

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

(الف)

$$F = \frac{9}{5}\theta + 32 = \frac{9}{5}(37) + 32 = 98/6^\circ\text{F} \approx 99^\circ\text{F}$$

همچنین برای تبدیل به فارنهایت داریم

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

(ب) برحسب کلوین داریم

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

و برحسب فارنهایت داریم

$$F_f = \frac{9}{5}\theta_f + 32 = \frac{9}{5}(70) + 32 = 158^\circ\text{F}$$

$$F_f = \frac{9}{5}\theta_f + 32 = \frac{9}{5}(-89) + 32 = -128^\circ\text{F} \approx -1/3 \times 10^2^\circ\text{F}$$

خوب است همکاران محترم، فرصت مغتنم یادگیری دانش‌آموز را صرف بررسی دماسنج‌های تخیلی و غیرواقعی و رابطه بین دما در این مقیاس‌ها نکنند، به‌خصوص که برخی از این مسئله‌ها، بی‌توجه به رابطه غیرخطی بین دما و کمیت‌سنجی گفته شده در سؤال، طرح می‌شوند و سبب کج‌فهمی جدی دانش‌آموز می‌گردند.

[illegible]

پاسخ فعالیت ۴-۱

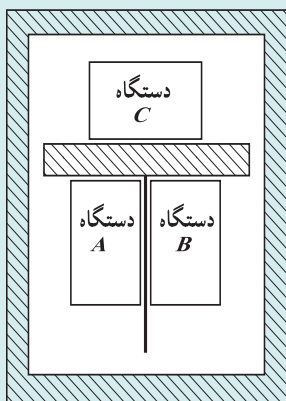
این دما حدود 196°C - است و نمونه در ظرف‌های مخصوص و نیز برای مدت طولانی جهت پیوند نگهداری می‌شود. این دما توسط نیتروژن (یا هیدروژن) مایع حاصل می‌شود و نمونه‌ها در ظرف‌های نیتروژن مایع نگهداری می‌شود و تا مدت ۱۵ سال می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند.

خوب است دبیران محترم در فرصت‌های مناسب، گریزی به زندگی علمی دانشمندان بزنند و نکات برجسته این نوع از زندگی را در نگاه دانش‌آموزان نشانند. قطعاً آشنایی با زیبایی‌ها، جاذبه‌ها و منش علمی این بزرگان، در جهت‌گیری ذهنی استعداد‌های نوجوانان به این سمت و سو مؤثر است.

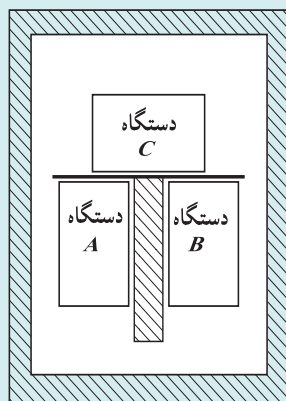
دماسنج‌های مختلف که از کمیت‌های دماسنجی متفاوت بهره می‌گیرند، دقت (precision) و صحت (accuracy) یکسان ندارند. در اندازه‌گیری‌هایی که لازم است دما با دقت و صحت زیاد اندازه‌گیری شود باید سراغ دماسنج‌های معیار برویم. این دماسنج‌ها پیشنهاد فیزیک‌دانان تجربی کار برجسته در کنفرانس‌های بین‌المللی SI هستند.

دما و قانون صفرم ترمودینامیک

احساس عادی ما از دما به صورت 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 ارائه تعریف کمی دما باید به اثراتی از جسم توجه کرد که صرفاً ناشی از احساس کیفی 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 لوله باریکی وصل شده است، نمونه‌ای از این دستگاه‌ها است. هرچه مایع موجود در مخزن گرم‌تر شود، طول L ستون مایع در لوله باریک زیادتر می‌گردد. یا گازی با حجم ثابت که درون حبایی قرار دارد نمونه دیگری است که با گرم یا سرد شدن گاز محبوس در حباب، فشار P ی 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 مشخصه دستگاه A عبارت است از طول L ستون مایع و مشخصه دستگاه B فشار P ی گاز است. هرگاه A و B در تماس با هم قرار گیرند، معمولاً ابتدا مشخصه دمای هر دو تغییر می‌کند، ولی سرانجام حالتی پیش خواهد آمد که پس از آن مشخصات دو دستگاه تغییر نمی‌کند. به حالتی 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 گرم‌تر با دستگاه سوم C مانند 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 دیواره عایق بین A و B را برداریم، مشخصه‌های دو دستگاه A و B تغییر بیشتری نخواهد کرد. به عبارتی، دو دستگاه A و B نیز با یکدیگر در تعادل گرمایی خواهند بود. این تجربه به صورت زیر بیان می‌شود: «دو دستگاه که هر یک به طور 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 حالی که قانون صفرم در دهه ۱۹۳۰ میلادی، سال‌ها پس 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.



ب) A و B نیز در تعادل گرمایی با یکدیگرند.



الف) اگر A و B در تعادل گرمایی با C باشند، آنگاه

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 با 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 نام دما 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.

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، کمیت دماسنجی و ولتاژ است نه جریان. همین‌طور، معمولاً در یک آزمایش کیفی در آزمایشگاه مدرسه اتصال مرجع برای دماسنج درست نمی‌کنیم، ولی در یک ترموکوپل دقیق، حتماً به وجود اتصال مرجع نیاز داریم.

 $NE = E_{\text{max}}$

1-26

بن کنید برای نگهداری باخته‌های بنیادی بنذاف خون، به چه دمای نیازمندیم. این دما چگونه ایجاد و حفظ می‌شود؟

دما سنج های معیار^۱: امروزه از انواع دما سنج ها در زندگی روزمره استفاده می شود. برخی از آنها در شکل های ۵۴ نشان داده شده است.



تایید می‌گردد. کار می‌کنند.



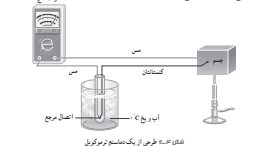
(الف) برخی از دماسنج‌ها که در اطراف خود مشاهده می‌کنید.



تامسون کلورین*

عضی، دان، فیزیک‌دان و مهندس
تأیاری در سال ۱۳۸۲. او در شهر
است. او تولد به دنیا آمد. او تحصیلات
شکافی خود را در دانشگاه گلاسکو
انجام رسانید و در این دوران غیر
اختراعات مختلف، کارهای مهمی
تحلیل ریاضی و الکترونیک و
عملکردی در قوانین اول و دوم
ترمودینامیک انجام داد و قشقه مهم
ایجابی رشته فیزیک در عصر مدرن
را کرد. با این حال، هفده شهوت
وین به خاطر تمین دقیق ستر مطلق
برای ۱۷۷۸۵۸- است و این در
لی است که بیش از اوست، کارهای
مهمی دارد. او در سال ۱۳۸۲ در تهران

دانشمندان برای کارهای علمی، سه دانشجو را به عنوان دانشمندی معیار برای اندازه‌گیری
نفسه دماهای مختلف بره‌اند: دانشجو گازی، دانشجو مقاومت لایستی و دانشجو (برونتر).
یکی از دانشمندی مهم دیگر که تا سال ۱۹۹۰ میلادی جزو دانشمندی معیار نمرده
بود، دانشجو رومبلی است که به دلیل ثبت کردن نسبت به دانشمندی‌های بنده، از مجموعه
دانشمندی معیار کار گذشته بود؛ ولی این دانشجو همچنان کاربرد فراوانی در صنعت و آزمایشگاه‌ها
دارد. از این معیار که در ادامه به معرفی آن دانشمندی می‌پردازیم، می‌توان دانست که
بسیاری از طوایر از دانشجو به نسبت ۴-۵ سال زمان دانه شده است.



† William Thomson (Baron Kelvin)

به‌خاطر سپردن گسترهٔ دقیق دماسنجی ترموکوپل و جنس سیم‌ها و آلیاژها، برای دانش‌آموزان، ضرورت ندارد.



شکل ۳۴-۳ در این تصویر دمای یک گرمایج
یورو با الکترونیک اندازه گیری می شود.

[illegible]

نوع وزمهای از دماستج‌های مایعی که یبشبه و کمینه دما را در یک مدت زمان معین نشان می‌دهد، دماستج یبشبه - کمینه نام دارد. از این دماستج‌ها معمولاً در مراکز پرورش گل و گیاه، باغبانری، هوانشاسی و ... استفاده می‌شود. در مورد چگونگی کار این دماستج‌ها تحقیق کنید.



شکل ۳۰۸ ماده‌ای که دندان را پر می‌کند باید همان مشخصه‌های گرمایی دندان را داشته باشد.

اگر در یک طرف نیشه‌ای محکم باشد، معمولاً برای از کردن در طرف روی آن آب داغ می‌ریزم. وقتی دو لیوان نیشه‌ای در هم، یک‌گرفته باشند، با ریختن آب سرد در لیوان داخلی و گذاشتن لیوان بیرونی در آب گرم، می‌توانیم دو لیوان را از هم جدا کنیم. وقتی تفاوتی در دما و فشار دانیان را بر می‌کنند، آب در یک‌گرفته دانهان خاص مشخصه‌ای انتقال گرمی دانهان را داشته باشد (شکل ۴.۲). زمان در این صورت، خوردن یک بستنی در دانهان بسیار نزدیک به نوشیدن جای داغ بسیار در دناگ خواهد بود و ممکن است سبب نشتن دناگ نیز شود.

Alumel (Ni & Cr) / Chromel (Ni & Cr) thermocouple

توجه کنید که دماسنج «کمینه – بیشینه» به عنوان یک ابزار ساده، تنها می تواند کمینه و بیشینه دما را در یک بازه زمانی نشان دهد. اگر بخواهیم بدانیم در چه مدتی از این بازه زمانی دما در نزدیکی دمای کمینه و در چه مدتی، دما در نزدیکی دمای بیشینه بوده است باید از اندازه گیری و ثبت کردن دما در فاصله های زمانی پیاپی و معین در این بازه زمانی کمک بگیریم. ابزارهای پیشرفته و کامل تری وجود دارد که این کار را به صورت خودکار انجام می دهد.

پاسخ فعالیت ۲-۴

هنگامی که دما بالا رود، به دلیل انبساط الکلی یا روغن موجود در مخزن وسطی و لوله سمت چپ دماسنج، جیوه در لوله سمت راست به بالا رانده می شود و شاخص فولادی لوله سمت راست را با خود بالا می برد. اگر سطح جیوه در لوله سمت راست پایین بیاید، شاخص فولادی که به آن فنرهای ریزی متصل است، همراه آن حرکت نمی کند و در همان محل قبلی خود در مقابل دمای بیشینه می ایستد.

وقتی الکلی به علت کاهش دما منقبض می شود، جیوه از طرف چپ لوله U شکل بالا می رود و شاخص فولادی دیگر را در این طرف لوله بالا می راند. اگر سطح جیوه در لوله سمت چپ پایین بیاید شاخص فولادی سمت چپ که به آن نیز فنرهای ریزی متصل است همراه با آن حرکت نمی کند و در همان محل قبلی خود در مقابل دمای کمینه می ایستد.

با استفاده از آهنربا، این دو شاخص فولادی در پایان مدت زمان مورد نظر دوباره به سطح جیوه برگردانده می شود. در طراحی جدید این نوع دماسنج ها، به علت سمی بودن جیوه از مایع ترکیبی جدیدی به عنوان جایگزین استفاده می شود. این دماسنج به دماسنج Six نیز مشهور است و فیلم های زیادی از آن در اینترنت پیدا می شود.

دانستنی برای معلم

دماسنج های معیار

دانشمندان در پی یک مقیاس عملی و وسیله ای آسان و سریع برای اندازه گیری دما و مدرج کردن دماسنج های علمی و صنعتی هستند. در نشست بین المللی اوزان و مقادیر سال ۱۹۹۰، مقیاس بین المللی دمای ITS_{90}^1 معرفی شد. در ITS_{90} 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 نقطه سه گانه مواد مختلف را به طور دقیق اندازه گرفته اند و سپس برای اندازه گیری دما، بین این نقاط ثابت، دماسنج های معیار ثانویه معرفی کرده اند. این دماسنج های ثانویه در نقاط ثابت دمایی که با دماسنج معیار گازی اندازه گیری شده است، با این دماسنج همخوان هستند و در بین این نقاط، دما را با روش های بیان شده در ITS_{90} درون یابی می کنند. کمترین دمای اندازه گیری شده با دماسنج گازی $0.65K$ است و تا به حال برای دماهای کمتر از این، مقیاسی تعریف نشده است، گرچه پژوهش ها در این زمینه ادامه دارد.

اندازه گیری دما بنا به ITS_{90} ، در دماهای کمتر از $2.13/8.33K$ با دماسنج معیار گازی 3He و 4He انجام می گیرد، در دماهای $2.13/8.33K$ تا $4.2/3.3K$ با دماسنج معیار ثانویه مقاومت پلاتینی و روش های مربوط به این دماسنج (که ITS_{90} توضیح می دهد) انجام می شود، و در دماهای بیشتر از $4.2/3.3K$ ، از دماسنج معیار ثانویه تفسنج نوری و روش های مربوط به آن (که ITS_{90} توضیح می دهد) استفاده می شود. پیش از ITS_{90} ، ترموکوپل به عنوان دماسنج معیار ثانویه برای اندازه گیری دماهای بالا استفاده می شد، ولی دماسنج های مقاومت پلاتینی و تفسنج نوری به دلیل داشتن دقت بیشتر جایگزین آن شدند. توجه داریم که این گزارش براساس استاندارد ITS_{90} ، مربوط به سال ۱۹۹۰ میلادی تهیه شده است. ممکن است امروز مواردی از این استاندارد تغییر کرده باشد.

1- International Temperature Scale 1990

۲- دمای نقطه سه گانه H_2 است که به وسیله دماسنج معیار گازی اندازه گیری شده است.

۳- دمای ذوب طبیعی طلا است که به وسیله دماسنج معیاری گازی اندازه گیری شده است.

پاسخ پرسش ۱-۴

الف) در این صورت انبساط و انقباض گرمایی هر دو به یک گونه خواهد بود و بنابراین تغییرات دمایی تأثیری بر جا گرفتن درست کلید در قفل نخواهد گذاشت.

ب) اگر در و چارچوب هم جنس نباشند، به دلیل انبساط‌های گرمایی متفاوت در و چارچوب، تغییرات ابعاد آنها یکسان نخواهد بود. فرض کنید ابعاد در و چارچوب در فصل سرد سال، کاملاً مناسب باشند. اگر ضریب انبساط طولی در، بزرگ‌تر از ضریب انبساط طولی چارچوب باشد، با انبساط در و چارچوب در فصل گرم، ممکن است در، در چارچوب خود گیر کند. این بار فرض کنید ابعاد در و چارچوب در فصل گرم سال، کاملاً مناسب باشند. اگر ضریب انبساط طولی چارچوب، بزرگ‌تر از ضریب انبساط طولی در باشد، با انقباض در و چارچوب در فصل سرد؛ ممکن است در در چارچوب گیر کند. البته اگر در و چارچوب هم جنس باشند نیز به دلیل اینکه چارچوب در میان مصالح ساختمانی نصب شده است این مصالح می‌توانند جلوی انبساط و انقباض چارچوب را بگیرند و باز هم این اتفاق می‌تواند رخ دهد.

مسئله ۳۴

الف) چرا درخت است قفل و کلید یک در، هم جنس باشند؟
ب) چرا در برخی از فصل‌های سال، بعضی از درها در چارچوب خود گیر می‌کنند؟

پیشتر اجسام با افزایش دما منبسط می‌شوند و با کاهش دما منبسط می‌شوند. همان‌طور که دیدیم این پدیده اساس ساخت بعضی از دستگاه‌هاست. بی‌تردید به پدیده انبساط در ساختن لوله‌ها، ساختمان‌ها، خط‌ها، خطوط انتقال نیرو، خطوط انتقال سوخت و ... می‌تواند مشکل‌هایی را ایجاد کند.

نکته ۳۴-۱

۱) شکل الف) تصویری واقعی از دو قسمت متوالی خط آهن، (اگر فاصله از برای راننده‌های قدیمی را در گذشته نشان می‌دهد. اگر فاصله خالی بین این دو قسمت به حد کافی زیاد نمی‌بود، چه مشکلی پیش می‌آمد؟

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

انبساط طولی: میله‌ای قوی، طول اولیه L_0 را در نظر بگیرید. اگر دمای میله را به اندازه ΔT افزایش دهید، تجربه نشان می‌دهد که طول میله به اندازه $\Delta L = \alpha L_0 \Delta T$ افزایش می‌یابد. شکل ۳۴-۲.

فرض: ضریب انبساط گرمایی α میله به طول اولیه L_0 است.

آزمایش‌ها نشان می‌دهند که هرچه تغییر دمای میله قوی بیشتر باشد، افزایش طول بیشتر است و هرچه طول اولیه میله بزرگ‌تر باشد، به ازای یک تغییر دمای مشخص، افزایش طول بیشتر خواهد بود. همچنین اگر دمای دو میله همترازه که جنس‌های آنها یا هم متفاوت است را به یک اندازه، افزایش دهیم، میزان افزایش طول آنها متفاوت است. بنابراین، در تغییرات دمایی به نسبت کوچک، ΔL را می‌توان از رابطه زیر بدست آورد:

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T \quad (34-2)$$

به α ضریب انبساط طولی میله می‌گویند که به جنس میله بستگی دارد. در رابطه ۳۴-۲، ΔL و L_0 بر حسب متر، ΔT بر حسب کلوین (K) یا درجه سلسیوس ($^{\circ}\text{C}$) و α از آنجا که ΔL بر کلوین (K) یا بر درجه سلسیوس ($^{\circ}\text{C}$) تعیین می‌شود.

یادگیری موارد استثنا، برای دانش‌آموزان، ضرورت ندارد.

می‌توان با طرح درس‌ها و رویکردهای متفاوتی به رابطه ۲-۴ یا رابطه‌هایی قدری متفاوت ولی معادل با این رابطه رسید. همه این روش‌ها، تقریبی بودن را به شکل‌های مختلف، در درون خود دارند. رویکرد این کتاب، به ملاحظه ذهن مخاطب دانش‌آموز، تکیه کردن به آزمایش و تجربه است و البته همان‌طور که متن کتاب درسی تأکید می‌کند برای تغییر دماهای نه‌چندان زیاد است.

فصل ۱۷

تمرین ۱۷-۳

الف) چرا بهتر است قفل و کلبه یک در، هرجس باشد؟
بما چرا در برخی از فصل‌های سال، بعضی از درها در چارچوب خود گیر می‌کنند؟

بیشتر اجسام با افزایش دما جمتان زیاد و با کاهش دما جمتان کم می‌شود. همان‌طور که دریم این دیده‌ا، اساس ساخت بعضی از دماست. بی‌ترجی به پدیده انبساط در ساختن (ل‌ها) ساختمان‌ها، خط‌ها، خطوط انتقال نیرو، خطوط انتقال سوغات و ... می‌تواند مشکل‌هایی را ایجاد کند.

فعالیت ۱۷-۳

۱) شکل الف) تصویری واقعی از دو قسمت متوالی خط آهن (ریل راه‌آهن‌های قدیمی را در گذشته نشان می‌دهد. اگر فاصله خالی بین این دو قسمت به حد کافی زیاد نمی‌بود، چه مشکلی پیش می‌آمد؟

۲) امروز بین قسمت‌های متوالی خط آهن فاصله‌ای در نظر گرفته نمی‌شود و این قسمت‌ها پشت سرهم جوشکاری می‌شوند (شکل ب). تحقیق کنید در این روش چگونه مشکل ناشی از انبساط در یک روز گرم تابستانی برطرف می‌شود؟

انبار

انبساط طولی: میله‌ای قوی به طول اولیه $L_0 = L_0$ را در نظر بگیرید. اگر دمای میله را به اندازه ΔT افزایش دهیم، تحریک نشان می‌دهد که طول میله به اندازه $\Delta L = L - L_0$ افزایش می‌یابد (شکل ۱۷-۳).

فقط: $\Delta L = \alpha L_0 \Delta T$
میله‌ای به طول اولیه L_0

آزمایش‌ها نشان می‌دهد که هرچه تغییر دمای میله قوی بیشتر باشد، افزایش طول بیشتر است و هرچه طول اولیه میله بزرگتر باشد، به ازای یک تغییر دمای مشخص افزایش طول بیشتر خواهد بود. همین‌اگر دمای دو میله هم‌اندازه، که جنس‌های آنها با هم متفاوت است را به یک اندازه، افزایش دهیم، میزان افزایش طول آنها متفاوت است. بنابراین، در تحریکات دمایی به نسبت کوچک، ΔL را می‌توان از رابطه زیر بدست آورد:

$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T$ (۱۷-۳)

به α ضریب انبساط طولی میله می‌گویند که به جنس میله بستگی دارد.
در رابطه ۱۷-۳، ΔL و $\alpha L_0 \Delta T$ بر حسب متر (m) و ΔT بر حسب کلوین (K) یا درجه سلسیوس ($^{\circ}\text{C}$) و از آنجا بکای α بر کلوین (K) یا بر درجه سلسیوس ($^{\circ}\text{C}$) تعیین می‌شود.

۸۸

پاسخ فعالیت ۳-۴

۱- در شکل الف، فاصله یا «شکاف‌هایی انبساطی» برای انبساط قرار داده شده است تا دو بخش خط آهن در روزهای گرم، فضایی برای انبساط داشته باشند. اگر این فاصله کافی نباشد، پس از آنکه با قدری افزایش دما دو قطعه ریل به هم رسیدند، افزایش دمای بیشتر، سبب فشرده شدن دو قطعه ریل به یکدیگر می‌شود و فشردگی خیلی زیاد می‌تواند به خمیده شدن ریل بیانجامد.

۲- خطوط ریل جدید (شکل ب) دارای چنین فضاهایی برای انبساط نیستند. آنها به‌طور پیوسته به هم جوش خورده‌اند. این ریل‌ها زمانی درست می‌شوند که دما حدوداً برابر با میانگین کمینه و بیشینه دمای سالیانه در منطقه موردنظر باشد. با این تدبیر، در محاسبه بیشینه تغییر طولی ناشی از تغییر دما (به فرض آزاد بودن دو انتهای هر قطعه)، تغییر دمایی که موجب این تغییر طول بیشینه می‌شود به نصف کاهش می‌یابد و بنابراین حتی در صورتی که ریل دارای شکاف‌های انبساطی باشد نیز این انبساط تا نصف کاهش می‌یابد. اگر دو انتهای میله‌ای را محکم ببندیم و مانع انبساط آن شویم و سپس دما را افزایش دهیم، گیره‌های دو انتهای میله مانع انبساط میله می‌شود و اگر افزایش دما بسیار زیاد باشد، همان‌طور که در پاسخ قسمت ۱ گفتیم ممکن است میله تغییر شکل دهد و حتی ممکن است بشکند. امروزه جنس خط آهن‌ها به گونه‌ای است که برای تغییر دماهای معمولی، تنش مربوط به افزایش یا کاهش طول توسط خط آهن تحمل شود. دبیران محترم می‌توانند فیزیک بحث تنش گرمایی را از کتاب فیزیک دانشگاهی سیرز - زیمانسکی، ویراست ۱۲، فصل ۱۷ (دما و گرما)، بخش ۱۷-۴ (انبساط گرمایی) ببینند.

دما و گرما

ضرب انبساط طولی برخی اجسام در جدول ۱-۴ داده شده است. توجه کنید که مقادیر داده شده برای ۱۰ درجه سانتیگراد در جدول است. همچنین ضرب انبساط طولی ۱۰ علاوه بر جنس ماده، به دما نیز بستگی داشته است، اما به دلیل اینکه این وابستگی ناچیز است، معمولاً آن را در محاسبات معمولی نادیده می‌گیریم.

جدول ۱-۴: ضرب انبساط طولی برخی اجسام	ماده	ضرب انبساط طولی (۱۰)
آلومینیم	۲۳ × ۱۰ ^{-۶}	۱۹ × ۱۰ ^{-۶}
برنج	۱۹ × ۱۰ ^{-۶}	۱۷ × ۱۰ ^{-۶}
سرب	۲۹ × ۱۰ ^{-۶}	۲۱ × ۱۰ ^{-۶}
بج (۱۰۰ درجه سانتیگراد)	۱ × ۱۰ ^{-۶}	۵۱ × ۱۰ ^{-۶}

طول یک بی‌مغنی شکل (الف)، در پایین ترین دمای منطقه ۱۱۵۵ m است. این بی از توسی فولاد با $\alpha = 13 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ ساخته شده است. فرض کنید کمترین دمای ممکن 50°C و بیشترین دمای ممکن 50°C باشد. بیشترین تغییر طول ممکن بی چقدر است؟ پاسخ: با استفاده از رابطه ۱-۴ داریم:

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T = (13 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}) (1155 \text{ m}) (100^\circ\text{C}) = 1.5 \text{ mm}$$

تغییر طول ۱.۵ mm مقدار نسبتاً زیادی است. بهیچ‌است که در عمل نمی‌توان فضای خالی به طول ۱.۵ m را برای این تغییر طول روی بی در نظر گرفت. برای رفع این مشکل از تعدادی پوست انبساطی (کنتاکت) که از جنس فولاد هستند استفاده می‌کنند. شکل الف، توسی از این دستگاه و شکل ب، توسی دیگر از این دستگاه را نشان می‌دهد.



۱-۴: Finger Expansion Joint

۸۹

خوب است دانش‌آموزان مرتبه بزرگی ضرب انبساط‌های جامدات (10^{-6} تا 10^{-5} با یکای $\frac{1}{K}$) در این جدول را به‌خاطر بسیارند 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 شیشه پیرکس است. از این شیشه در ساخت شیشه‌آلات آزمایشگاهی استفاده می‌شود.

دامنه تغییر دما در منطقه مربوط به مثال ۱-۴ 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، به بدترین شرایط فکر می‌کنند تا در یک طراحی مهندسی خوب برای مقابله با بدترین شرایط نیز آماده باشند. به علاوه که در بسیاری موارد در کاربردهای عملی و مهندسی تنها مقدار حدودی یک کمیت را می‌دانیم.

در صورتی که چپش (setup) دستگاه موجود در آزمایشگاه مدرسه شما، قدری متفاوت با این دستگاه باشد، لازم است جزئیات آزمایش را براساس دستگاه خودتان متناسب‌سازی کنید.

ممکن است دما در ابتدا و انتهای لوله فلزی توخالی، قدری متفاوت باشد. در یک اندازه‌گیری دقیق‌تر ضرب انبساط طولی، باید به تصحیح خطای ناشی از این اختلاف دما بیندیشیم.

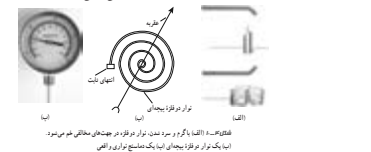
چون در دماسنج نواری دو فلز از نوار دو فلز استفاده شده است که در آن ضرب انبساط خطی دو فلز متفاوت است، واکنش این نوار پیچیده‌ای به تغییر دما به‌صورت جمع شدن یا باز شدن خواهد بود.

فصل دوم

آزمایش ۱-۴

هدف: اندازه‌گیری ضرب انبساط طولی و مسیله‌های مورد نیاز. دستگاه اندازه‌گیری ضرب انبساط طولی، چند لوله فلزی توخالی، آرنج یا لوله جایی و درپوش، لوله لاسکی، دماسنج مجموعه پایه و گرد و چراغ لاسکی، شرح آزمایش: ۱- طول لوله توخالی مورد نظر را اندازه بگیرید (L_0) و لوله را روی دستگاه نصب کنید. ۲- در آرنج مقداری آب بریزید و درپوش آن را بگذارید. ۳- دمای محیط را بخوانید (۱) و دماسنج را در جای نشان داده شده قرار دهید. ۴- آرنج را گرم کنید تا آب به جوش آید. ۵- آب آنقدر صبر کنید تا بخار آب از لوله خارج و لوله توخالی کالای گرم شود و دمای دماسنج را بخوانید (۲). ۶- افزایش طول لوله توخالی را با دماسنج متصل به دستگاه اندازه بگیرید (۳). ۷- با استفاده از رابطه ۱-۴ ضرب انبساط طولی را به دست آورید. ۸- می‌توانید این آزمایش را برای مایعاتی دیگر، تکرار کنید.

دماسنج نواری دو فلز: نوار دو فلز (مثلاً) از دو فلز فلزی متفاوت، مانند برنج و آهن ساخته شده است که سرهم به هم چسبیده شده و به هم چسبیده. هرگاه این نوار گرم شود، نوار منحنی شکل می‌گیرد. این منحنی با شکل الف نمایش داده شده است. از این ویژگی می‌توان برای دماسنجی ساختن دماسنج استفاده کرد. به این نوع دماسنج، دماسنج نواری دو فلز می‌گویند. شکل الف، یک نمونه از این دماسنج را که در آن یک نوار دو فلز بیضی‌ای استفاده شده است، نشان می‌دهد و شکل ب، یک تصویر واقعی از این نوع دماسنج است.



۱-۴: Bimetallic

۹۰

خیلی وقت‌ها ترموستات با تیغهٔ دو فلزه (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، با فرض رفتار خطی برای فنرها هرگز با افزایش ارتعاشات گلوله‌ها، شبکه منبسط نمی‌شد. می‌توانید توضیح پدیدهٔ انبساط گرمایی را در دانستنی برای معلم منحنی‌های انرژی پتانسیل مولکولی و نیز دانستنی برای معلم توجیه انبساط گرمایی از دیدگاه میکروسکوپی ببینید.



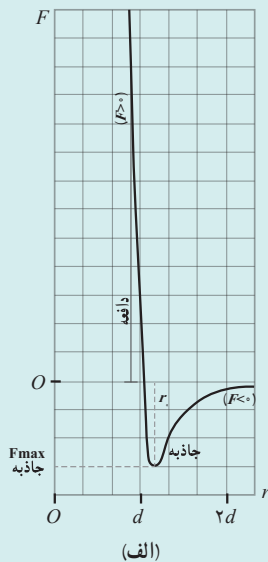
توجه: فناوری و کاربرد بخشی از درس محسوب می‌شود و لازم است به‌طور کامل آموزش داده شود و در ارزشیابی نیز مورد توجه قرار گیرد.

دانستنی برای معلم

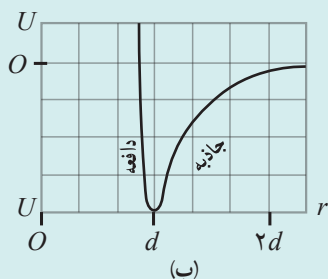
منحنی‌های انرژی پتانسیل مولکولی

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، 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 دافعهٔ (مثبت) بین مولکولی باید نزولی یا دارای شیب منفی باشد (یعنی با جهت مثبت محور طول‌ها زاویهٔ منفرجه بسازد) و به ازای $r > d$ و نیروی جاذبهٔ بین مولکولی (منفی) باید صعودی یا دارای شیب مثبت باشد (یعنی با جهت مثبت محور طول‌ها زاویهٔ حاده بسازد). نیروی دافعه نسبت به نیروی جاذبه به‌طور شدیدیتری با فاصله تغییر می‌کند، لذا منحنی انرژی پتانسیل نامتقارن است. در طرف چپ کمینه ($r < d$) شیب خیلی تند است، در حالی که در طرف راست کمینه ($r > d$)، منحنی ابتدا صعود می‌کند، اما با شیب کمتر و سرانجام تخت می‌شود، زیرا نیروی برهم‌کنش برای فاصله‌های خیلی بزرگ‌تر از d ، $r \gg d$ عملاً صفر است. همان‌طور که می‌دانیم تراز صفر انرژی پتانسیل را می‌توان به دلخواه اختیار کرد. در اینجا انرژی پتانسیل برای وقتی که



توجه کنید که در این نمودار در $r=d$ ، نیرو $F=0$ و در $r=r$ ، $F=F_{\text{max}}$ است. نیرو، جاذبه $F=F_{\text{max}}$ است.



مولکول‌ها از یکدیگر بسیار دورند، صفر در نظر گرفته شده است. منحنی انرژی پتانسیل برهم کنش بین مولکولی در شکل ب نشان داده شده است. در این شکل، U_0 کمینه انرژی پتانسیل مربوط به برهم کنش بین مولکول‌ها و مربوط به حالت تعادل آنها (نظیر نقطه $F = 0$ در نمودار $F-r$) است. به عبارتی، هرگاه مولکول‌ها به فاصله d از یکدیگر قرار گیرند، دارای این مقدار انرژی پتانسیل خواهند بود. همان‌طور که خواهیم دید این شکل منحنی‌های انرژی پتانسیل است که باعث انبساط گرمایی می‌شود.

نگاه مفصل‌تر به این بحث را، (با نمادگذاری اندکی متفاوت) می‌توانید در جلد ۱ فیزیک دانشگاهی سیرز - زیمانسکی، ویرایش دوازدهم، فصل ۱۳، بخش ۱۳-۴ ببینید.

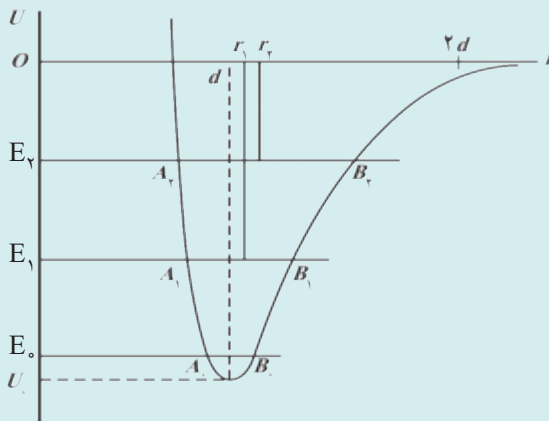
دانشتنی برای معلم

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 فاصله بین مولکولی رسم کنیم و انرژی کل یک مولکول (E) را برای چند دما روی آن مشخص کنیم، می‌توانیم به توجیه انبساط گرمایی جامدات و مایعات بپردازیم.

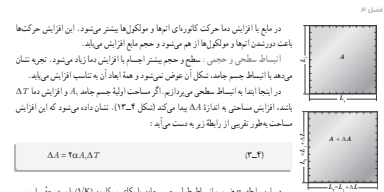
در این شکل E انرژی نقطه صفر، یعنی کمینه انرژی ارتعاشی مولکول (یعنی انرژی کل مربوط به ارتعاش) در دمای صفر مطلق است. E_1 و E_2 انرژی‌های ارتعاشی مولکول در دماهای بالاتر T_1 و T_2 هستند. در صفر مطلق، مولکول‌ها حول مکان تعادل خود که مثلاً در شکل d است بین نقاط A_1 و B_1 ارتعاش می‌کنند. با افزایش دما و در 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 می‌کنند. اما نکته مهم این است که چون منحنی انرژی پتانسیل نامتقارن است، نقطه‌های B به طرف راست بیشتر از نقطه‌های A به طرف چپ تغییر مکان پیدا می‌کنند. بنابراین با افزایش دما، مکان تعادل (مکان r_1 در دمای T_1 و مکان r_2 در دمای T_2) نیز به سمت راست انتقال می‌یابد. به عبارت دیگر، این نامتقارن بودن منحنی انرژی پتانسیل است که باعث انبساط گرمایی می‌گردد. به دلیل نامتقارن بودن منحنی انرژی پتانسیل، با افزایش دما، فاصله بین مولکول‌ها افزایش می‌یابد.

می‌توانید شبیه این بحث را در جلد ۱ فیزیک دانشگاهی سیرز - زیمانسکی، ویرایش دوازدهم، فصل ۱۷، بخش ۱۷-۴ (انبساط گرمایی) ببینید.



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 رابطه ۳-۴ 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 رابطه 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.)

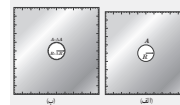


در این رابطه، α ضریب انبساط طولی جسم جامد یا مایع و ΔT تغییر دما در درجه سلسیوس است. ΔA ، A ، α و ΔT دارای یکای مترمربع (m²) و یکای دما (K) یا درجه سلسیوس (°C) است.

ورقه‌ای تزیینی و مستطیل‌شکل به ابعاد a و b را در نظر بگیرید. بر اثر افزایش دمای ΔT طول اضلاع مستطیل به اندازه Δa و Δb افزایش می‌یابد. اگر ضریب انبساط طولی ورقه α باشد، نشان دهید که افزایش مساحت این ورقه با ضریب مناسب از رابطه $\Delta A = 2\alpha A \Delta T$ به دست می‌آید.

مساحت یک ورقه مس $25 \times 10^{-4} \text{ cm}^2$ است. اگر دمای این ورقه را 15°C تا 50°C افزایش دهیم، مساحت آن چقدر افزایش خواهد یافت؟ پاسخ: از رابطه ۳-۴ استفاده می‌کنیم. ضریب انبساط طولی مس با استفاده از جدول ۳-۱ و $\alpha = 17 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ است؛ بنابراین داریم:

$$\Delta A = 2\alpha A \Delta T = 2(17 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C})(25 \times 10^{-4} \text{ cm}^2)(50^\circ\text{C} - 15^\circ\text{C}) = 4 \times 10^{-7} \text{ cm}^2$$



شکل‌های (الف) و (ب) نشان می‌دهند که وقتی ورقه یک ورقه تزیینی خطی دارای دانه‌های پهن و ورقه را گرم کنیم، ورقه (الف) مساحتاً بزرگ‌تر می‌شود. فرض کنید ورقه مس (ب) را در 25°C درون آن ایجاد شده است. وقتی دمای ورقه 50°C افزایش یابد، افزایش مساحت ورقه چقدر خواهد بود؟

پاسخ فعالیت ۴-۴

با استفاده از معادله ۲-۴ می‌توان Δa و Δb را به دست 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

$$\begin{aligned} A_2 &= a_2 b_2 \\ &= a_1(1 + \alpha \Delta T) b_1(1 + \alpha \Delta T) = a_1 b_1 (1 + \alpha \Delta T)^2 \\ &= a_1 b_1 (1 + 2\alpha \Delta T + (\alpha \Delta T)^2) \end{aligned}$$

با توجه به اینکه α معمولاً از مرتبه 10^{-5} بر درجه سلسیوس است (جدول ۳-۱ را ببیند) و ΔT معمولاً بیشتر از مرتبه 10^2 درجه سلسیوس نیست، می‌توان نتیجه گرفت که جمله $(\alpha \Delta T)^2$ در مقایسه با جمله $2\alpha \Delta T$ بسیار کوچک است و می‌شود از آن چشم‌پوشی کرد. از طرفی $a_1 b_1$ همان مساحت اولیه ورقه است که آن را با A_1 نشان می‌دهیم. بنابراین می‌توان نوشت:

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

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 سراسر استرین 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 می‌توان 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. در خواهیم یافت، اکنون حفره مربعی بین صفحات هم باید بزرگ‌تر شده باشد.

این گونه پاسخ‌ها علاوه بر اینکه به راحتی با ساختار یادگیری ذهن دانش‌آموز ارتباط می‌گیرد، قدرت منطق تجربی و اهمیت آن را در علوم تجربی به دانش‌آموز می‌فهماند.

در مایع با افزایش دما حرکت کاتوره‌ای آنها و مولکول‌ها بیشتر می‌شود. این افزایش حرکت باعث دور شدن آنها و مولکول‌ها از هم می‌شود و حجم مایع افزایش می‌یابد. انبساط سطحی و حجمی سطح و حجم بیشتر اجسام با افزایش دما زیاد می‌شود. تجربه نشان می‌دهد با انبساط جسم جامد، شکل آن عوض نمی‌شود و همه ابعاد آن به تناسب افزایش می‌یابد. در اینجا ابتدا به انبساط سطحی می‌پردازیم. اگر مساحت اولیه جسم جامد A_0 و افزایش دما ΔT باشد، افزایش مساحتی به اندازه ΔA پیدا می‌کند. شکل (۳-۴) نشان داده می‌شود که این افزایش مساحت به‌طور تقریبی از رابطه زیر به دست می‌آید:

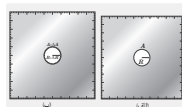
$$\Delta A = 2\alpha A_0 \Delta T \quad (3-4)$$

در این رابطه، α ضریب انبساط طولی جسم جامد با یکای $1/K$ یا درجه سلسیوس $(1/^\circ C)$ است، یکای ΔA و A_0 مترمربع (m^2) و یکای ΔT کلوین (K) یا درجه سلسیوس ($^\circ C$) است. ورقه‌های ورقه‌ای $E=0.8$ ورقه‌های انبساط گرمایی یک

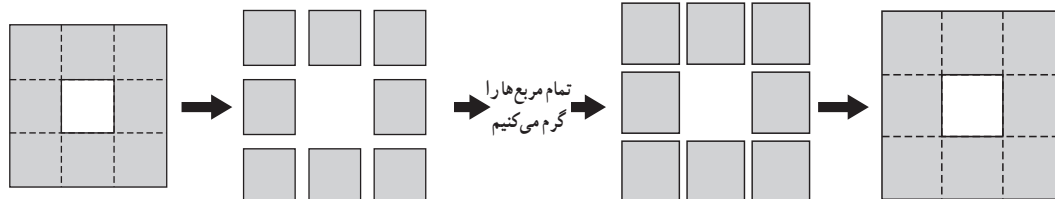
ورقه‌ای قوی و مستطیلی شکل به اصلاح α را در نظر بگیرید. بر اثر افزایش دمای ΔT طول اصلاح مستطیل به اندازه ΔL و ΔA افزایش می‌یابد. اگر ضریب انبساط طولی ورقه α باشد، نشان دهید که افزایش مساحت این ورقه با ضرب مناسب از رابطه $\Delta A = 2\alpha A_0 \Delta T$ به دست می‌آید.

مساحت یک ورقه نقره‌ای $25 \times 10^{-4} cm^2$ است. اگر دمای این ورقه را $50^\circ C$ از افزایش دهیم، مساحت آن چقدر افزایش خواهد یافت؟ پاسخ: از رابطه ۳-۴ استفاده می‌کنیم. ضریب انبساط طولی مس با استفاده از جدول ۳-۱ و $17 \times 10^{-6} / ^\circ C$ است. بنابراین داریم:

$$\Delta A = 2\alpha A_0 \Delta T = (2)(17 \times 10^{-6} / ^\circ C)(25 \times 10^{-4} cm^2)(50^\circ C) = 4.25 \times 10^{-7} m^2$$



شکل‌های (الف) و (ب) نشان می‌دهند که وقتی روی یک ورقه فلزی حفره‌ای داریم، دما را بالا می‌بریم و ورقه را گرم می‌کنیم، قطر (مساحت) حفره بزرگ می‌شود. فرض کنید جنس ورقه، برنج است و حفره‌ای به قطر یک اینچ (۲.۵۴ cm) درون آن ایجاد شده است. وقتی دمای ورقه $200^\circ C$ افزایش یابد، افزایش مساحت حفره چقدر خواهد شد؟



پاسخ تمرین ۳-۴

برای محاسبه افزایش مساحت حفره نیز، اگرچه حفره فضایی خالی از فلز است، ولی باید باز هم از رابطه $\Delta A = 2\alpha A_0 \Delta T$ با در نظر گرفتن α ی ورقه فلزی استفاده کنیم. در صورت مقاومت کردن دانش‌آموزان در برابر این پاسخ، خوب است دبیران محترم با رویکردهای شهودی درست و پرهیز از استدلال ریاضی ذهن دانش‌آموزان را راضی کنند.

با جای‌گذاری خواهیم داشت:

$$\Delta A = 2(17 \times 10^{-6} / ^\circ C)(\pi)((2/54 \times 10^{-2} m)^2/4)(200^\circ C) \approx 3/8 \times 10^{-6} m^2$$

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) نمونه معروفی از این بلورها است. ژئیس (گچ آبدار) نمونه دیگری از این بلورهاست. به این بلورها *ناهمسانگرد* می‌گویند.

به دانش‌آموزان توجه دهید که برای مایع‌ها، انبساط حجمی تنها پارامتر انبساط معنی‌دار است. به عبارت دیگر، توجه دانش‌آموزان به این نکته جلب شود که سخن گفتن از انبساط خطی یا سطحی برای مایعات بی‌معناست.

در یک محاسبه سخت‌گیرانه در مثال‌هایی از نوع مثال ۴-۴، باید به این نکته توجه کرد که مایع سرریز شده، در دماهای متفاوتی از ظرف بیرون می‌ریزد. چنین نیست که همه مایع سرریز شده به دمای نهایی 60°C رسیده باشد. بنابراین در مدل ریاضی ساخته شده در حل این مسئله، نوعی خطای ذاتی وجود دارد که البته تفاوت از خطای مربوط به رابطه $\Delta V = \beta V_1 \Delta T$ است.

شاید درست‌تر آن است که در چنین پرسشی معلوم باشد دمای نهایی گلیسرین سرریز شده چقدر است.

در این راه حل فرض شده دمای نهایی گلیسرین سرریز شده 6°C است. اگر دمای نهایی گلیسرین سرریز شده را 20°C بگیریم که دمای محیط (در این پرسش) است، حجم گلیسرین سرریز شده، $3/6\text{cm}^3$ می‌شود.

خوب است پیش از آزمایش فعالیت ۴-۵، توجه دانش آموزان 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.

LaSf e LaSf

جدول ۲-۴ ضریب انبساط
حجمی چند مایع در دمای حدود ۲۰°

معاد	$\left(\frac{1}{K}\right)$
تعمیم	$\Delta V = \beta V_s \Delta T$ (۴-۹)

10^{-1}	اب	در این رابطه، ΔT ضریب انبساط حجمی جامد یا مایع است. ΔV و V_0 به ترتیب ΔV و V_0 به ترتیب
10^{-2}	گلیسرین	در این رابطه، ΔT کلون (K) درجه سلسیوس (C) و ΔV و V_0 به ترتیب ΔV و V_0 به ترتیب
10^{-3}	روغن زیتون	سلسیوس (C) است.
10^{-4}	آرافین	انبساط طولی بیشتر معادله در راستاهای مختلف، با ضریب انبساط طولی یکسان صورت
10^{-5}	بیتون	می گیرد. می توان نشان داد که ضریب انبساط طولی جامدات یا مایعات نسبت به سایر
10^{-6}	آب یون	ضریب انبساط آنهاست.
10^{-7}	آب یون	

$$\beta_{\text{site}} = \tau \alpha \quad (5-4)$$

3-9.11a

در یک روز داغ تستان که دمای هوا 41°C است، شخصی با یک (مخزن) ۵۵ لیتری اتوبیل خود را از بترین کاملاً پر می‌کند. فرض کنید بترین از سطحی در زمین با دمای 12°C بالا آمده باشد. شخص اتوبیل را از بارک می‌کند و ساقته به بازاری می‌گردد. مشاهده می‌کند که بترین قابل توجهی از آن سرریز شده است. چقدر تفاوت از بارک بیرون ریخته است؟ (از افزایش سطح می‌کند.)

پاسخ : با توجه به اینکه بهترین زمان کاری برای همه شدن با محیط دانسته است، دمای نهایی آن را 40°C در نظر می‌گیریم. اکنون با استفاده از رابطه $Q = mc\Delta T$ و جدول ۴-۲ برای ضرب انبساط حجمی بهترین خواهیم داشت:

$$\Delta V = \beta V_0 \Delta T = (1/5 \times 10^{-5} / ^{\circ}\text{C})(55\text{L})(40^{\circ}\text{C} - 12^{\circ}\text{C}) = 1/5\text{L}$$

بنابراین، در کمال تعجب درم‌پایم که ۱/۵ لیتر بیش روی زمین ریخته است.

نکته مهم در استفاده از رابطه $Q = \frac{1}{2} \rho A V^2$ این است که باید A و V یکسان باشند. مقایسه ضریب انبساط حجمی جامدها با ضریب انبساط حجمی مایعات نشان می‌دهد انبساط حجمی جامدها عموماً از مایعات بسیار کمتر است و به همین دلیل در بسیاری از محاسبات می‌توان از مقدار افزایش حجم جامد در مقابل مقدار افزایش حجم مایع صرف‌نظر کرد.

95

Figure 1

اثرش شبیه‌ای با ضریب انبساط طولی $10 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ را که در دمای 20°C گنجایشی برابر با 200 cm^3 دارد، مطابق شکل با گلیسرین در همان دما پر کرده‌ایم. اگر دمای ظرف و گلیسرین را به 60°C برسانیم (الف) آیا گلیسرین از ظرف بیرون می‌ریزد؟
(ب) اگر با نسبت قسمت (الف) مثبت است، حجم گلیسرین سرریز شده چقدر است؟

باسخ:

الف) افزایش حجم گسیلرین و افزایش گنجایش ظرف را با استفاده از رابطه‌های α و $\Delta\alpha$ محاسبه می‌کنیم.

$$\Delta V_{\text{گسیلرین}} = V_{\text{گسیلرین}} \cdot \Delta T \cdot \alpha = (4 \times 10^{-3}) \text{ C} (20^\circ\text{C}) (6^\circ\text{C}^{-1}) = 4 \times 10^{-4} \text{ cm}^3$$
$$\Delta V_{\text{در آب}} = \beta \cdot V_{\text{در آب}} \cdot \Delta T = (2 \times 10^{-4}) \text{ C} (20^\circ\text{C}) (10^\circ\text{C}^{-1}) = 4 \times 10^{-4} \text{ cm}^3$$

در این محاسبه از جدول α برای ضرب اینصطحاب محاسبه استفاده کردیم؛ چون افزایش حجم گسیلرین بیش از افزایش گنجایش ظرف است، پس گسیلرین از ظرف سرریز می‌گردد.

فعاليت ۴ =

آزمایشی را طراحی و اجرا کنید که با آن بتواند حجم گلبیرین سرخ شده در مثال ۴-۴ را اندازه بگیرد. سپس از روی آن، ضرب انبساط حجمی گلبیرین را تعیین کنید.

نمبرين ۲-۲

افزایش دما که به طور معمول موجب افزایش جرم اجسام می‌شود، به جرم آنها بستگی ندارد، به همین دلیل انتظار داریم که چگالی اجسام با افزایش دما کاهش یابد. رابطه چگالی با تغییر دما به صورت $\rho_1 = \rho_0(1 + \beta \Delta T)$ است که در آن ρ_0 و ρ_1 به ترتیب چگالی ماده در دماهای T_0 و T_1 ، و β ضریب انبساط حجمی و $\Delta T = T_1 - T_0$ است.

الف) تغییر دما را به دست آورید.

ب) نشان دهید که تغییرات نسبی می‌توان کلیت جسم را از رابطه $\rho_1 = \rho_0(1 - \beta \Delta T)$ نیز به دست آورد.

مثال ۴-۵

یک قطعه سرب را در دمای اتاق در نظر بگیرید. اگر دمای این قطعه را 400°C افزایش دهیم، جگالی آن چند برابر می‌شود؟

$$\rho_2 = \rho_1(1 - \beta \Delta T) \Rightarrow \frac{\rho_2}{\rho_1} = (1 - \beta \Delta T) = 1 - (2 \times 10^{-5} \times 400^{\circ}\text{C}) = 0.99992$$

پاسخ فعالیت ۵-۴

این فعالیت در واقع در همان امتداد مثال ۴-۴ است. یک ارلن شیشه‌ای را (همراه با یک لوله شیشه‌ای بلند) پر از گلیسیرین می‌کنیم، به طوری که هیچ هوایی در ارلن نباشد و گلیسیرین تا لبه 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 مدرج اندازه می‌گیریم. باید حجم اولیه 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 ۴-۴ دیدیم حجم سرریز شده از رابطه زیر به دست 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.

مثال ۴-۴
ارلن شیشه‌ای با ضریب انبساط طولی $1.0 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ را که در دمای 20.0°C گلیسیرین برابر با 2.00 cm^3 دارد، مطابق شکل با گلیسیرین در همان دما پر کردیم. اگر دمای ظرف و گلیسیرین را به 60.0°C برسانیم، آیا اگر گلیسیرین از ظرف بیرون می‌ریزد؟
بیا اگر پاسخ مثبت (آنها مثبت است، حجم گلیسیرین سرریز شده چقدر است؟)
پاسخ:
الفا افزایش حجم گلیسیرین و افزایش گنجایش ظرف را با استفاده از رابطه‌های 2.0°C و 5.0°C محاسبه می‌کنیم.
 $\Delta V_{\text{گلیسیرین}} = \beta_{\text{گلیسیرین}} V_1 \Delta T = (9.0 \times 10^{-4} / ^\circ\text{C})(2.00 \text{ cm}^3)(60.0^\circ\text{C} - 20.0^\circ\text{C}) = 3.60 \text{ cm}^3$
 $\Delta V_{\text{ظرف}} = \beta_{\text{ظرف}} V_1 \Delta T = (2.0 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C})(2.00 \text{ cm}^3)(60.0^\circ\text{C} - 20.0^\circ\text{C}) = 0.24 \text{ cm}^3$
در این محاسبه از جدول ۲-۴ برای ضریب انبساط حجمی گلیسیرین استفاده کردیم؛ چون افزایش حجم گلیسیرین پس از افزایش گنجایش ظرف است، پس گلیسیرین از ظرف سرریز می‌نهد.
بیا حجم گلیسیرین سرریز شده را از است $\Delta V_{\text{گلیسیرین}} - \Delta V_{\text{ظرف}} = (3.60 \text{ cm}^3 - 0.24 \text{ cm}^3) = 3.36 \text{ cm}^3$

فعالیت ۴-۵
آزمایشی را طراحی و اجرا کنید که با آن بتوانید حجم گلیسیرین سرریز شده در مثال ۴-۴ را اندازه بگیرید. سپس از روی آن، ضریب انبساط حجمی گلیسیرین را تعیین کنید.

تمرین ۴-۴
افزایش دما که به طور معمول موجب افزایش حجم اجسام می‌شود، بر جرم آنها تأثیری ندارد. به همین دلیل انتظار داریم که چگالی اجسام با افزایش دما کاهش یابد. رابطه چگالی با تغییر دما به صورت $\rho = \rho_1(1 - \beta \Delta T)$ است که در آن ρ و ρ_1 به ترتیب چگالی ماده در دماهای T و T_1 و β ضریب انبساط حجمی و $\Delta T = T - T_1$ است.
الفا رابطه چگالی با تغییر دما را به دست آورید.
بیا نشان دهید با تقریب مناسب می‌توان چگالی جسم را از رابطه $\rho = \rho_1(1 - \beta \Delta T)$ به $\rho = \rho_1$ نزدیک کرد.

مثال ۴-۵
یک قطعه سرب را در دمای اتاق به نظر بگیرید. اگر دمای این قطعه را 20.0°C افزایش دهیم، چگالی آن چند برابر می‌شود؟
 $\rho_2 = \rho_1(1 - \beta \Delta T) \Rightarrow \frac{\rho_2}{\rho_1} = (1 - \beta \Delta T) = 1 - (3.0 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C})(20.0^\circ\text{C}) = 0.99994$

دانش‌آموزان می‌دانند جرم جسم با دما تغییر نمی‌کند. همچنین رابطه تغییر حجم با تغییر دما را می‌دانند و با رابطه چگالی نیز آشنا هستند، از آنها بخواهید پیش از اثبات رابطه چگالی با تغییر دما (که داده شده است)، حدس خود را از مسیری که برای رسیدن به رابطه باید طی کنند، بیان نمایند.

پاسخ تمرین ۴-۴

الف) با استفاده از رابطه (۴-۴) داریم

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

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

ب) صورت و مخارج رابطه بالا را در $(1 - \beta \Delta T)$ ضرب می‌کنیم:

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

با توجه به اینکه β مقداری کوچک از مرتبه 10^{-2} است (جدول ۲-۴ را ببینید) از جمله $\beta^2 (\Delta T)^2$ چشم‌پوشی می‌کنیم و بنابراین داریم:

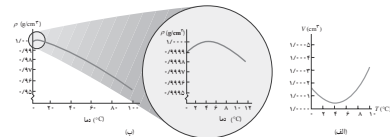
$$\rho_2 = \rho_1(1 - \beta \Delta T)$$

تغییر حجم آب در محدوده دمایی صفر تا ۴ درجه 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) به خوبی محسوس و قابل مشاهده است. پیشنهاد می شود دانش آموزان ظرفی را که لبالب از یخ پر شده است، در معرض گرمای ملایمی قرار دهند تا به آرامی آب شود و پس از آنکه همه یخ آب شد، این کاهش حجم چشمگیر را ببینند.

معمولاً بحث رفتار غیرعادی آب، در درس شیمی نیز مطرح می شود. خوب است دبیران محترم دو درس، در این مورد با هم همفکری و گفتگو کنند و با دیدگاه های یکدیگر آشنا شوند.

دما و انبساط

انبساط غیرعادی آب: در زمستان های سرد، سطح آب آبروها و دریاچه های کوچک یخ می زند و به تدریج یخ ضخیم تر می شود. اما در نه آبروها، دمای آب بالاتر از 4°C بوده و برای موجودات زمینی که آنجا زندگی می کنند، نسبتاً گرم و مناسب است. در واقع حجم بیشتر مایع ها با کم شدن دما کاهش و در نتیجه چگالی آنها افزایش می یابد. ولی رفتار آب در محدوده دمایی 4°C تا 0°C مغایرت است؛ یعنی در این محدوده با کاهش دما، حجم آب افزایش و در نتیجه چگالی آن کاهش می یابد. شکل های ۱۴-۲ (الف) و (ب) به ترتیب نمودار حجم و چگالی دما و نمودار چگالی دما را برای آب در همین نشان می دهد که در آنها رفتار غیرعادی آب در محدوده 4°C تا 0°C دیده می شود. همانطور که در این شکل ها نشان داده شده است، در دما 4°C با 4°C با افزایش دما، حجم آب کاهش و چگالی آن افزایش می یابد. پس از دمای 4°C مانند دیگر اجسام، با افزایش دما، حجم افزایش و چگالی کاهش می یابد. همین تغییر حجم غیرعادی آب است که موجب می شود دریاچه ها به جای آنکه از پایین به بالا یخ زنند، از بالا یخ زنند. وقتی دمای سطح آب مثلاً از 10°C ادقی کمتر شود، چگالی آب نسبت به آب زیر خود افزایش می یابد و این آب پایین می رود. این رفتار تا رسیدن به دمای 4°C ادامه می یابد و وقتی همانطور که در دمای پایین تر از 4°C ، حجم آب افزایش پیدا می کند و در نتیجه چگالی آن کاهش می یابد؛ یعنی سرد شدن بیشتر آب موجب می شود که چگالی آب سطح دریاچه نسبت به آب زیر آن کمتر شود و در نتیجه در سطح باقی بماند تا اینکه یخ زنند. بنابراین، در حالی که آب زیر دریاچه یخ می زند و دمای بیش از صفر درجه دارد، سطح آب یخ می زند. اگر آب دریاچه ها از پایین به بالا یخ می زند، اثرات زیست محیطی زاینده ای در پی داشت و حیات گیاهی و جانوری در عمق دریاچه ها از بین می رفت.



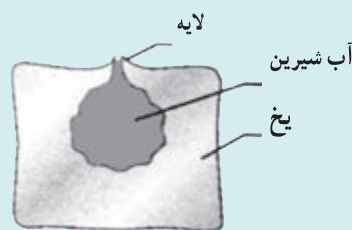
شکل ۱۴-۲: (الف) تغییرات حجم یک گرم آب با تغییر دما؛ (ب) تغییرات چگالی آب با تغییر دما؛ (ج) تغییرات چگالی آب با تغییر دما

۱۵

دانشتنی برای معلم

سطح مخروطی یخ در ظرف روباز (میخ یخی)

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



تمرین‌های پیشنهادی بخش ۲-۴

۱ قطر یک روزنه دایره‌ای در صفحه‌ای آلومینیومی در دمای $^{\circ}\text{C}/^{\circ}$ برابر $2/725\text{ cm}$ است. وقتی دمای صفحه تا $10^{\circ}\text{C}/^{\circ}$ افزایش یابد، قطر روزنه چقدر می‌شود؟

پاسخ: $2/731\text{ cm}$

۲ چگالی آب در دمایی خاص $\rho = 999 \times 10^{-3}\text{ kg/m}^3$ است. اگر ضریب انبساط حجمی آب برابر $\beta = 1/8 \times 10^{-4}\text{ K}^{-1}$ باشد، دمای آب چقدر است؟ (راهنمایی: چگالی آب در دمای 4°C برابر با $1000 \times 10^{-3}\text{ kg/m}^3$ است.)

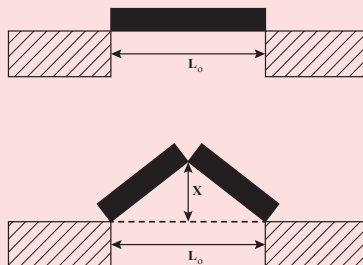
پاسخ: 54°C

۳ دو ظرف که حاوی نفت سفید در دماهای $\theta_1 = 10^{\circ}\text{C}$ و $\theta_2 = 80^{\circ}\text{C}$ هستند، توسط لوله باریکی از پایین ظرف‌ها به هم وصل شده‌اند، طوری که شارش مایع از هیچ‌یک از دو ظرف به ظرف دیگر وجود ندارد. اگر ضریب انبساط حجمی نفت سفید برابر $\beta = 1/100 \times 10^{-3}\text{ K}^{-1}$ 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: $h_2/h_1 = 1/06$

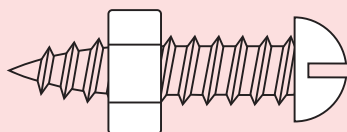
۴ شکل میله‌ای را نشان می‌دهد که در وسط آن شکافی وجود دارد و بر اثر افزایش دمای 32°C ، رو به بالا تاب خورده است. اگر فاصله ثابت L برابر $3/77\text{ m}$ و ضریب انبساط خطی میله $25 \times 10^{-6}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ باشد، بالارفتگی x میله چقدر است؟

پاسخ: $7/5\text{ cm}$



پرسش‌های پیشنهادی بخش ۲-۴

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: اگر ضریب انبساط خطی مهره بیشتر از ضریب انبساط خطی پیچ باشد، با گرم کردن مجموعه، مهره انبساط بیشتری پیدا می‌کند و پیچ آزاد می‌شود. اگر ضریب انبساط خطی پیچ بیشتر از مهره باشد با سرد کردن مجموعه، پیچ انقباض بیشتری پیدا می‌کند و آزاد می‌شود. همچنین می‌توانیم فقط مهره را گرم کنیم تا انبساط یابد و بدین ترتیب راحت‌تر باز شود.

۲ چرا در خانه‌هایی که لوله‌های آب در معرض هوای سرد زمستان هستند، ممکن است لوله‌ها بترکند؟
(راهنمایی: یخ حاصل از انجماد بخشی از آب درون لوله ممکن است بستی (گرفتگی‌ای) را ایجاد کند طوری که ارتباط آب درون لوله با بقیه آب در لوله‌های دیگر قطع شود و آب باقی‌مانده در این لوله محبوس شود.)

۳-۴ گرم

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، در 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 تاریخچه 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 محدوده خود به خوبی عمل می‌کرده‌اند. اتفاقی که در پیشرفت و توسعه علم رخ می‌دهد، ارائه مدل‌های جدیدی است که هم در محدوده 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، همه 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 همه ذرات در دو جسم مساوی می‌گردد.

پاسخ پرسش ۴-۲

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

توجه کنید که پیش از بیان رابطه ۴-۶ و ۴-۷ امکان اندازه‌گیری مستقیم گرما وجود ندارد. در واقع پیش از رابطه ۴-۶ و ۴-۷ گرما را براساس فهمی که از پایداری انرژی و هم ارزی کار و گرما داریم به روش‌هایی غیر از روش‌های گرماسنجی یا کالری‌متری اندازه می‌گیریم (مثلاً به روش الکترونیک، و با استفاده از رابطه $W = RI^2t$).

La25 & La26

پرسنی ۲-۴

(الف) منظور از این جمله که «داسنچ دمای خودشان را اندازه گیری می کنند» چیست؟
(ب) در یک کلاس درس میز، صندلی، دانش آموز، نخته، نشیبه و پنجره ... وجود دارد. در یک روز زمستانی، دمای کدام یک از آنها بیشتر از دمای هوای اتاق است؟ دمای کدام یک کمتر از دمای هوای اتاق است؟
(پ) در شکل ۴-۱۶ مینگین انرژی جنبشی ذرات در جسم چگونه تغییر کرده است؟

ظرفیت گرمایی: اگر یک پانچ آب سرد را از داخل یخچال بیرون آوریم و در اتاق قرار دهیم، آب از محیط خود، گرما می‌گیرد تا دمایش با دمای اتاق یکی شود. آزمایش نشان می‌دهد که گرمایی گرفته‌شده توسط آب با تغییر دمای آب، متناسب است. یعنی هر چه آب سردتر باشد، مقدار گرمایی که می‌گیرد تا دمایش با دمای اتاق یکی شود، بیشتر است. بنابراین، اگر جسمی با محیط اطراف خود گرمای Q مبادله کند و از T_1 میانه‌گرم، به دما T_2 تغییر کند، متناسب با Q متناسب با C است که ضریب ظرفیت گرمایی است.

$$Q = C \Delta T \quad (9-11)$$

۶. C_p ، ظرفیت گرمایی گفتم می‌شود که به جنس جسم و جرم آن بستگی دارد. در رابطه $C_p = \frac{Q}{\Delta T}$ و $Q = K \Delta T$ (که K ثابت تارابین، پادای C_p ، و ΔT دما در کلوین) می‌شود. وقتی می‌خواهیم ظرفیت گرمایی یک جسم K را پیدا کنیم، باید آن را به C_p و ΔT تقسیم کنیم. اگر C_p را به گرمای در واحد جرم c_p و ΔT را به درجه سانتیگراد ΔT تبدیل کنیم، خواهیم داشت $K = c_p \Delta T$ و $C_p = m c_p \Delta T$ که m جرم جسم است. اگر C_p را به گرمای در واحد جرم c_p و ΔT را به درجه سانتیگراد ΔT تبدیل کنیم، خواهیم داشت $K = c_p \Delta T$ و $C_p = m c_p \Delta T$ که m جرم جسم است.



مثلاً $3x - 2x = x$ تصویری از سواحل قشم. آب دریا به دلیل داشتن ظرفیت گرمایی زیاد، دمای هوا را متعادل نگه می‌دارد، اما دمای طودن تغییر محسوس نمی‌کند.

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، به دلیل تغییر حجم با دما، بسیار دشوار است. برای همین ظرفیت گرمایی در حجم ثابت معمولاً اندازه‌گیری نمی‌شود، بلکه از روی داده‌های دیگر محاسبه می‌گردد.

دیران محترم، مراقبت کنند که این تعریف گرمای ویژه، سبب کج‌فهمی دانش‌آموزان نشود، به طوری که گمان کنند گرمای ویژه، از جنس گرما است. واضح است که گرمای ویژه براساس تعریفش، $C = Q/m\Delta T$ ، گرما بر جرم بر تغییر دما است.

گرمای ویژه: تجربه نشان می‌دهد ظرفیت گرمایی اجسامی که از یک نوع ماده ساخته نشده‌اند متناسب با جرم آنهاست. بنابراین، متناسب آن است که ظرفیت گرمایی یک جرم اجسام را تعریف کنیم که به آن ظرفیت گرمایی ویژه یا به سادگی گرمای ویژه می‌گویند. گرمای ویژه را با c نشان می‌دهند و طبق تعریف، رابطه‌اش با ظرفیت گرمایی به صورت $m \cdot c = C$ است. در نتیجه رابطه $C = mc$ چنین می‌شود:

$$Q = mc\Delta T \quad (7-3)$$

در رابطه Q ، c ، m ، ΔT و Q و یکای m ، کیلوگرم (kg) و یکای ΔT ، کلوین (K) است؛ بنابراین، یکای c در SI، ژول بر کیلوگرم-کلوین (J/kg.K) است.

گرمای ویژه یک جسم به جنس ماده تشکیل دهنده آن و دما بستگی دارد. گرمای ویژه برخی از مواد در جدول ۳-۲ داده شده است. در این جدول گرمای ویژه آلومینیم (Al) ۹۰۰ J/kg.K است؛ یعنی برای اینکه دمای ۱ kg آلومینیم را به اندازه ۱ K افزایش دهیم، باید به آن ۹۰۰ J گرما دهیم.

مثال ۳-۳

مقدار ۲۰۰ L آب با دمای ۲۰°C در اختیار داریم. چقدر گرما لازم است تا دمای این آب را به نقطه جوش آن (در دمای ۱۰۰°C) برسانیم؟

پاسخ: براساس چگالی آب، جرم ۲۰۰ L آب برابر ۲۰۰ kg است و از جدول ۳-۲، گرمای ویژه آب ۴۱۸۷ J/kg.C است. بنابراین، گرمای لازم برای گرم کردن ۲۰۰ L آب از ۲۰°C تا نقطه جوش آب و برآیند آن:

$$Q = mc\Delta T = (200 \text{ kg})(4187 \text{ J/kg.C})(100^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) = 67 \times 10^6 \text{ J}$$

مقدار مورد نیاز از یک بر دمای ۲۰°C

مشاوره و تذکره

استفاده از آب در دستگاه‌های گرم کننده، و خشک کننده،

در جدول ۳-۲، دمای که گرمای ویژه آب از سایر مواد بیشتر است. این نشان می‌دهد که وقتی یک کلوگرم آب به اندازه یک درجه سلسیوس تغییر دما دهد، در مقایسه با سایر مواد، گرمای بیشتری را محیط اطراف خود می‌دهد. از این خاصیت آب برای گرم کردن فضای خانه‌ها و وسیله نقلیه استفاده می‌شود. آب گرم شده در مخزن به وسیله پمپ (فشار) و از طریق لوله به رادیاتور می‌رسد. آب در رادیاتور که با هوای سرد در تماس است، سرد می‌شود و بخشی از انرژی درونی خود را از دست

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 شعله شمع تشکیل می‌شود. دلیل را توضیح دهید.

پاسخ: این به ظرفیت گرمایی بالای آب مربوط می‌شود. آب به دلیل ظرفیت گرمایی بالایی خود، بیشتر گرمای داده شده به بادکنک را جذب می‌کند و نمی‌گذارد بادکنک به دمای برسد که آن را بسوزاند. مورد مشابهی در قابلمه کاغذی رخ می‌دهد که در آن آب ریخته باشید. در این آزمایش هم کاغذ در تماس با شعله، نمی‌سوزد. نازک بودن غشای بادکنک و غشای قابلمه کاغذی نیز سبب می‌شود که آهنگ انتقال گرما از شعله به آب زیاد باشد. این تجربه‌ها با غشاهای ضخیم جواب نمی‌دهد.

دما و گرما



می‌دهد و بار دیگر، از طریق لوله‌های برگشت، به مخزن برمی‌گردد و در هر چرخه بار دین مثل بخار می‌شود. از آب رای خشک کردن موتور خودروها نیز استفاده می‌شود (شکل ۱۸-۲). چنین منظور، در محفظه پمپ و سرپمپ، مسدود می‌شود آب در نظر گرفته شده است که به وسیله بخار آب از بخار آب به سرپمپ در درون این سرپمپ گردش می‌کند و گرما را از موتور به رادیاتور خودرو می‌برد. در اثر بخار هوا از میان بردهای رادیاتور، هوا با آب درون رادیاتور تبادل گرمایی می‌کند. آب از روی خود را از دست می‌دهد و دوباره به موتور برمی‌گردد و این عمل بخار می‌شود.

پرسش ۳-۴



گرمای بسته به چسب خورد، دما را افزایش داد
زمان طول متفاوت دما را می‌کشد

جذب گرمایی از جنس‌های مختلف، مثلاً از آلومینیوم، فولاد، برنج، مس، سرب و ... را اختیار می‌کنیم که همگی جرم یکسانی داشته باشند. گوی‌ها را توسط رسیک‌های داخل ظرف‌های قرار می‌دهیم که آب آن در حال جوشیدن است و پس از مدتی گوی‌ها را بیرون آورده و آنها را روی یک ورقه پارافین قرار می‌دهیم. به نظر شما کدام گوی، پارافین بیشتری را ذوب می‌کند و علت آن چیست؟ این آزمایش را نخستین بار فرنگس‌دان ابراردی، جان تیندل (۱۸۲۷-۱۸۹۳)، طرایی و ابرار کرد.

خوب است بدانید

گرمای ویژه مولی: وقتی مقدار ماده به جای جرم بر حسب مول بیان شود پایه به‌جای ظرفیت گرمایی واحد جرم از ظرفیت گرمایی واحد مول (C_{Vm}) استفاده کنیم که به آن ظرفیت گرمایی مولی یا گرمای ویژه مولی گفته می‌شود. در واقع گرمای ویژه مولی یک ماده، مقدار گرمایی است که پایه به یک مول از آن ماده به‌جای تا در شرایط فیزیکی تعین شده، دمای آن 1 K افزایش یابد. اگر گرمای ویژه مولی مواد بزرگ مختلف را با هم مقایسه کنیم (در حجم ثابت)، به نظر شکست‌انگیزی می‌بینیم و درمی‌یابیم برای بیشتر فلزها، مقدار آن تقریباً مساوی $25\text{ J/mol}\cdot\text{K}$ است. این طبعاً با آنکه ترمی است به نام فاعله مولی و می‌تواند مشهور است که بیان می‌دارد گرمای لازم برای بالا بردن دمای یک مول از هر کدام از این فلزها، مقدار یکسانی است و به جنس آنها بستگی ندارد.

۱. John Tinsdell
۲. Blake of Dablog - Post
۳. مجله دمای برای طرانت مختلف تفاوت است. دما را می‌سازد از ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ کلوین است.

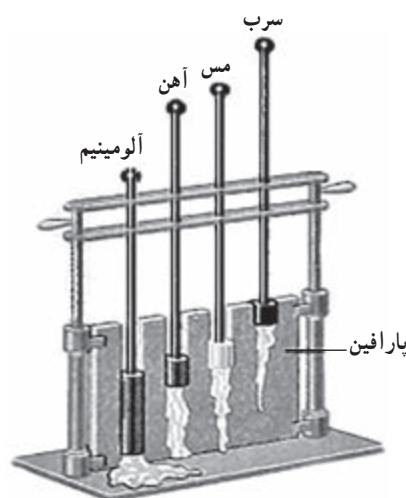
۹۹

در این قسمت از درس به نقش گرمای ویژه بالای آب در زندگی و فناوری می‌پردازیم. اهمیت و کاربرد گرمای ویژه آب در پدیده‌های طبیعی و فناوری و صنعت بسیار زیاد است. اشاره به نقش دریاها در تنظیم دمای محیط و گردش آب در رادیاتورهای منازل و خودروها می‌تواند به فرایند آموزش و توجه دانش‌آموزان به این موضوع کمک کند. می‌توانیم از دانش‌آموزان بخواهیم در مورد فناوری‌های وابسته به گرمای ویژه بالای آب تحقیق کرده و به کلاس گزارش دهند.

پاسخ پرسش ۳-۴

این به گرمای ویژه گوی‌ها بستگی دارد. اگر به جدول ۳-۴ رجوع کنید گرمای ویژه سرب، برنج، مس، فولاد و آلومینیوم بر حسب $\text{J/kg}\cdot\text{K}$ به ترتیب ۱۲۸، ۳۸۰، ۳۸۶، ۴۵۰ و ۹۰۰ است. بنابراین میزان ذوب شدن پارافین از کمترین تا بیشترین به همان ترتیب است. آزمایش اصلی که توسط جان تیندل انجام شد به وسیله وزنه‌های استوانه‌ای انجام شده که شکل آن به صورت زیر است.

مدت زمان‌های متفاوت ذوب شدن پارافین به وسیله گوی‌ها افزون بر گرمای ویژه‌های متفاوت گوی‌ها به رسانندگی گرمایی متفاوت آنها نیز بستگی دارد.



در جامدهای بلوری غیرفلزی رفتار C_p (گرمای ویژه مولی در فشار ثابت) و C_V (گرمای ویژه مولی در حجم ثابت) با تغییر دما متفاوت است. با افزایش دما C_p به‌طور خطی افزایش می‌یابد در حالی که 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 سخت گیرانه، 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 مناسب فضای فهم علمی دانش‌آموزان در این رده تحصیلی نیست.

برای جا انداختن معادله ۸-۴ که براساس قانون پایستگی انرژی نوشته شده است چند مثال باید مطرح شود تا دانش‌آموزان به درک درستی از آن برسند.

بعضی وقت‌ها گفته می‌شود رابطه ۸-۴ 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 Q این هوا را نیز در مجموع گرمای رابطه ۸-۴ قرار دهیم.

در مثال ۸-۴ و تمرین ۵-۴، چشم‌پوشی از ظرفیت گرمایی ظرف حاوی آب در مقایسه با ظرفیت گرمایی آب درون ظرف، ناهم‌جا نیست. ظرفیت گرمایی ظرف گرماسنج‌های معمولی آزمایشگاهی چیزی در حدود $100 \text{ J/}^\circ\text{C}$ است که در مقایسه با ظرفیت گرمایی $500 \text{ kg/}^\circ\text{C}$ آب ($2100 \text{ J/}^\circ\text{C}$) ناچیز (در حدود ۵ درصد) است. از این منظر نیز، این مثال و تمرین، مقدمه خوبی برای ورود به بحث گرماسنج (کالری متر) هستند. البته، گرماسنج علاوه بر اینکه باید ظرفیت گرمایی ناچیزی داشته باشد، باید به خوبی نیز عایق‌بوش گرمایی شده باشد، و بلکه این ویژگی دوم مهم‌تر نیز هست.

دما تعادل: اگر دو یا چند جسم با دماهای مختلف در تماس با یکدیگر قرار گیرند، پس از مدتی هم‌دما می‌شوند، یعنی دمای آنها به مقدار یکسانی می‌رسد. به این دما، دمای تعادل می‌گویند که می‌توان با استفاده از قانون پایستگی انرژی آن را محاسبه کرد. در این حالت بعضی از اجسام گرم‌تر از دما می‌دهند و بقیه اجسام گرم‌تر می‌گیرند. بنا به قرارداد علامت Q برای اجسامی که گرم‌تر می‌گیرند مثبت ($Q > 0$) و برای اجسامی که گرم‌تر می‌دهند منفی ($Q < 0$) اختیار می‌شود؛ مثلاً از رابطه $(8-4)$ نیز درمی‌یابیم که با افزایش دما، مقدار مثبتی برای Q به دست می‌آید و با کاهش دما، مقداری منفی برای Q به دست می‌آید. بنا به قانون پایستگی انرژی، همان‌قدر که اجسام گرم‌تر از دما می‌دهند، اجسام سرد‌تر از دما می‌گیرند، پس جمع جبری این Q ها صفر می‌شود:

$$(8-4) \quad Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n = 0$$

هرگاه چند جسم متفاوت با گرمای ویژه c ، به یک m و به جرم‌های m_1, m_2, m_3, \dots و با دماهای اولیه $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots$ و \dots را در تماس با یکدیگر قرار دهیم با استفاده از رابطه $(8-4)$ معادله‌ای به دست می‌آوریم که می‌توان دمای تعادل θ را از آن محاسبه کرد:

$$(9-4) \quad m_1 c_1 (\theta - \theta_1) + m_2 c_2 (\theta - \theta_2) + m_3 c_3 (\theta - \theta_3) + \dots = 0$$

مثال ۷-۴

خاصی 300 g آب 70°C را در یک لیوان آلومینیومی 100 g کیلوگرمی که دمای آن 20°C است می‌ریزد. دمای نهایی پس از آنکه آب و لیوان به تعادل گرمایی می‌رسند چقدر است؟ فرض کنید هیچ گرمایی با محیط مبادله نمی‌شود. پاسخ: با توجه به اینکه هیچ مبادله گرمایی با محیط نداریم، با استفاده از رابطه ۸-۴ داریم:

$$Q_1 + Q_2 = 0$$

اکنون با استفاده از رابطه ۷-۴ $m_1 c_1 (\theta - \theta_1) + m_2 c_2 (\theta - \theta_2) = 0$ خواهیم داشت:

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

$$m_1 c_1 \theta + m_2 c_2 \theta = m_1 c_1 \theta_1 + m_2 c_2 \theta_2 \Rightarrow \theta = \frac{m_1 c_1 \theta_1 + m_2 c_2 \theta_2}{m_1 c_1 + m_2 c_2} = \frac{(0.3 \text{ kg})(4183 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C})(70^\circ\text{C}) + (0.1 \text{ kg})(896 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C})(20^\circ\text{C})}{(0.3 \text{ kg})(4183 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}) + (0.1 \text{ kg})(896 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C})} = 66^\circ\text{C}$$

از معادله ۸-۴ می‌توانیم برای یافتن کمیت‌های دیگری مانند گرمای ویژه یک جسم نیز استفاده کنیم.

۱۰۰

واضح است که رابطه ۹-۴ در شرایطی که برخی از اجسام، در نتیجه داد و ستد گرما تغییر فاز دهند، درست نیست.

مثال ۸-۴

در ظرف عایقی حاوی 500 g آب 20°C یک قطعه مس 100 g کیلوگرمی که دمای آن 50°C و یک قطعه نقره دیگر به جرم 50 g و به دمای 90°C را گرمای ویژه معلوم می‌اندازیم و دمای تعادل را اندازه می‌گیریم. دمای تعادل 22°C شده است. با چسبوندن این مثال بین ظرف و سایر اجسام، گرمای ویژه ظرف را حساب کنید.

پاسخ: دمای تعادل 22°C است و نیز با استفاده از سار داده‌های این مثال و جدول ۸-۴ داریم:

$$\text{آب: } m_1 c_1 (\theta - \theta_1) + m_2 c_2 (\theta - \theta_2) + m_3 c_3 (\theta - \theta_3) = 0 \Rightarrow m_1 c_1 \theta - m_1 c_1 \theta_1 + m_2 c_2 \theta - m_2 c_2 \theta_2 + m_3 c_3 \theta - m_3 c_3 \theta_3 = 0$$

$$m_1 c_1 \theta + m_2 c_2 \theta + m_3 c_3 \theta = m_1 c_1 \theta_1 + m_2 c_2 \theta_2 + m_3 c_3 \theta_3 \Rightarrow \theta = \frac{m_1 c_1 \theta_1 + m_2 c_2 \theta_2 + m_3 c_3 \theta_3}{m_1 c_1 + m_2 c_2 + m_3 c_3} = \frac{(0.5 \text{ kg})(4183 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C})(22^\circ\text{C}) + (0.1 \text{ kg})(896 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C})(22^\circ\text{C}) + (0.05 \text{ kg})(400 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C})(22^\circ\text{C})}{(0.5 \text{ kg})(4183 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}) + (0.1 \text{ kg})(896 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}) + (0.05 \text{ kg})(400 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C})} = 22^\circ\text{C}$$

اکنون با استفاده از رابطه ۹-۴ خواهیم داشت:

$$m_1 c_1 (\theta - \theta_1) + m_2 c_2 (\theta - \theta_2) + m_3 c_3 (\theta - \theta_3) = 0 \Rightarrow m_1 c_1 \theta - m_1 c_1 \theta_1 + m_2 c_2 \theta - m_2 c_2 \theta_2 + m_3 c_3 \theta - m_3 c_3 \theta_3 = 0$$

$$m_1 c_1 \theta + m_2 c_2 \theta + m_3 c_3 \theta = m_1 c_1 \theta_1 + m_2 c_2 \theta_2 + m_3 c_3 \theta_3 \Rightarrow \theta = \frac{m_1 c_1 \theta_1 + m_2 c_2 \theta_2 + m_3 c_3 \theta_3}{m_1 c_1 + m_2 c_2 + m_3 c_3} = \frac{(0.5 \text{ kg})(4183 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C})(22^\circ\text{C}) + (0.1 \text{ kg})(896 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C})(22^\circ\text{C}) + (0.05 \text{ kg})(400 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C})(22^\circ\text{C})}{(0.5 \text{ kg})(4183 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}) + (0.1 \text{ kg})(896 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}) + (0.05 \text{ kg})(400 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C})} = 22^\circ\text{C}$$

تمرین ۵-۴

جسمی به جرم 150 g و دمای 20°C را درون ظرف عایقی حاوی 500 g آب 15°C می‌اندازیم. پس از چند دقیقه دمای تعادل را اندازه می‌گیریم. دمای تعادل 10°C می‌شود. گرمای ویژه جسم را محاسبه کنید. از مثال گرمای ظرف و سایر اجسام چشم‌پوشی کنید.



الف) ظرف عایقی

ب) ظرف عایقی

ج) ظرف عایقی

د) ظرف عایقی

ه) ظرف عایقی

و) ظرف عایقی

ز) ظرف عایقی

ح) ظرف عایقی

ط) ظرف عایقی

ی) ظرف عایقی

ک) ظرف عایقی

ل) ظرف عایقی

م) ظرف عایقی

ن) ظرف عایقی

س) ظرف عایقی

ص) ظرف عایقی

ض) ظرف عایقی

مثال ۴-۵

در ظرف عایلی حاوی 50°C آب، یک قطعه مس 10°C و یک قطعه فلز دیگر به جرم 0.75 kg و به دمای 6°C و گرمای ویژه معلوم می‌اندازیم و دمای تعادل را اندازه می‌گیریم. دمای تعادل 22°C شده است. با چشمویشی از تابل گرما بین ظرف و سایر اجسام، گرمای ویژه فلز را حساب کنید.

پاسخ : دمای تعادل 22°C است و نیز با استفاده از شار دماهای این مثال و جدول ۳-۲ داریم :

آب : $m_1 = 0.50\text{ kg}$, $\theta_1 = 50^\circ\text{C}$, $c_1 = 4187\text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C}$
 مس : $m_2 = 0.75\text{ kg}$, $\theta_2 = 6^\circ\text{C}$, $c_2 = 386\text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C}$
 فلز : $m_3 = 0.75\text{ kg}$, $\theta_3 = 6^\circ\text{C}$, $c_3 = ?$

اکنون با استفاده از رابطه ۴-۹ خواهیم داشت :

$$m_1 c_1 (\theta - \theta_1) + m_2 c_2 (\theta - \theta_2) + m_3 c_3 (\theta - \theta_3) = 0$$

$$(0.50\text{ kg})(4187\text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C})(22^\circ\text{C} - 50^\circ\text{C}) + (0.75\text{ kg})(386\text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C})(22^\circ\text{C} - 6^\circ\text{C}) + (0.75\text{ kg})c_3(22^\circ\text{C} - 6^\circ\text{C}) = 0 \Rightarrow c_3 = 552\text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C}$$

تمرین ۵-۴


جسمی به جرم 0.75 kg و دمای 30°C را درون ظرف عایلی حاوی 50°C آب 15°C می‌اندازیم. پس از چند دقیقه دمای تعادل را اندازه می‌گیریم. دمای تعادل 21°C می‌شود. گرمای ویژه جسم را محاسبه کنید. از تابل گرما بین ظرف و سایر اجسام چشمویشی کنید.

گرماسنج و گرماسنجی : گرماسنج که به آن تالری نیز می‌گویند شامل ظرفی است دیویندار که به خوبی عایق‌دهی گرمایی شده است (شکل ۵-۴). این ظرف در آزمایش‌های گرماسنجی مانند تعیین گرمای ویژه اجسام به کار می‌رود. در گرماسنج مقداری آب با جرم معین می‌ریزیم و پس از همسان شدن آب و گرماسنج، دمای آب را اندازه می‌گیریم. سپس جسمی را که می‌خواهیم گرمای ویژه‌اش را پیدا کنیم و جرم و دمای اولیه آن معلوم است، درون گرماسنج قرار می‌دهیم. آنگاه به کمک همزن آب را به هم می‌زنیم تا مجموعه سریع‌تر به دمای تعادل برسد. پس از برقراری تعادل گرمایی، دمای تعادل را اندازه می‌گیریم. با استفاده از رابطه‌های (۵-۳) و (۵-۴) و با چشمویشی از اثر نامچر دمسنج و همزن در مبادله گرما داریم :

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0$$

$$m_1 c_1 (\theta - \theta_1) + m_2 c_2 (\theta - \theta_2) + m_3 c_3 (\theta - \theta_3) = 0$$

به کمک این رابطه می‌توانیم گرمای ویژه جسم را به دست آوریم. معمولاً در مورد گرماسنج به جای آنکه جرم و گرمای ویژه ظرف گرماسنج را جداگانه معلوم کنند، ظرفیت گرمایی ظرف گرماسنج را مشخص می‌کنند.



۱۰۱

دانش آموزان، معمولاً نمی‌توانند به سادگی میان عایق بودن ظرف و رخ ندادن مبادله گرما بین ظرف و مواد درون ظرف، تمایز قائل شوند. لازم است دبیران محترم، در تمرین ۴-۵، که مقدمه خوبی برای ورود به بحث گرماسنج و گرماسنجی است، تفاوت و تمایز این دو مفهوم را برای دانش آموزان روشن کنند.

پاسخ تمرین ۵-۴

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

آب : $m_1 = 0.50\text{ kg}$, $\theta_1 = 25^\circ\text{C}$, $c_1 = 4187\text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C}$

جسم : $m_2 = 0.75\text{ kg}$, $\theta_2 = 3^\circ\text{C}$

از رابطه ۴-۹ خواهیم داشت :

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

$$\Rightarrow c_2 = \frac{m_1 c_1 (\theta_1 - \theta)}{m_2 (\theta - \theta_2)} = \frac{(0.50\text{ kg})(4187\text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C})(25^\circ\text{C} - 21^\circ\text{C})}{(0.75\text{ kg})(21^\circ\text{C} - 3^\circ\text{C})}$$

$$= 1861\text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C} \approx 1/9 \times 10^4\text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C}$$

برای آنکه از درستی انجام آزمایش ۲-۴ مطمئن شوید پیشنهاد می‌شود نخست با استفاده از این روش آزمایش، گرمای ویژه یک فلز معلوم را محاسبه و آن را با مقادیر جدول ۳-۴ مقایسه کنید. اگر عدد به دست آمده با تقریب خوبی درست بود، بعد گرمای ویژه نامعلوم را تعیین کنید، وگرنه در پی رفع مشکل آزمایش بگردید.

هدف: تعیین گرمای ویژه فلزی با جنس نامعلوم
وسایل: دو دایره: گرماسنج با ظرفیت گرمایی معین، یک جسم کوچک فلزی (مثل یک وزنه فلزی غلابه‌دار)، دماسنج، ترازو، پسر شیشه‌ای، چراغ الکلی، سه پایه و تخته‌بستن، کفن.
شرح آزمایش:
۱- مقداری آب با جرم معلوم را درون گرماسنج بریزید و صبر کنید تا دمای گرماسنج و آب یکسان شود. این دما را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.
۲- جرم جسم فلزی را به کمک ترازو اندازه بگیرید و یادداشت کنید.
۳- جسم فلزی را درون بشر قرار دهید، مقداری آب روی آن بریزید و سپس مجموعه را روی چراغ الکلی روشن بگذارید.
۴- صبر کنید تا آب چند دقیقه بچشد. دمای آب را در این حالت اندازه بگیرید. این دما همان دمای جسم فلزی تر هست.
۵- جسم داغ شده را توسط اثر به سرعت درون گرماسنج بیندازید.
۶- آب درون گرماسنج را با همزن آن به هم بریزید و دمای حاصل را اندازه گرفته و یادداشت کنید.
۷- با استفاده از رابطه ۳-۴ گرمای ویژه جسم فلزی را به دست آورید.



۱-۲
هدف: تعیین گرمای ویژه فلزی با جنس نامعلوم
وسایل: دو دایره: گرماسنج با ظرفیت گرمایی معین، یک جسم کوچک فلزی (مثل یک وزنه فلزی غلابه‌دار)، دماسنج، ترازو، پسر شیشه‌ای، چراغ الکلی، سه پایه و تخته‌بستن، کفن.
شرح آزمایش:
۱- مقداری آب با جرم معلوم را درون گرماسنج بریزید و صبر کنید تا دمای گرماسنج و آب یکسان شود. این دما را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.
۲- جرم جسم فلزی را به کمک ترازو اندازه بگیرید و یادداشت کنید.
۳- جسم فلزی را درون بشر قرار دهید، مقداری آب روی آن بریزید و سپس مجموعه را روی چراغ الکلی روشن بگذارید.
۴- صبر کنید تا آب چند دقیقه بچشد. دمای آب را در این حالت اندازه بگیرید. این دما همان دمای جسم فلزی تر هست.
۵- جسم داغ شده را توسط اثر به سرعت درون گرماسنج بیندازید.
۶- آب درون گرماسنج را با همزن آن به هم بریزید و دمای حاصل را اندازه گرفته و یادداشت کنید.
۷- با استفاده از رابطه ۳-۴ گرمای ویژه جسم فلزی را به دست آورید.

تمرین‌های پیشنهادی بخش ۳-۴

۱ مهندسی می‌خواهد گرمای ویژه یک آلیاژ فلزی نامعلوم را تعیین کند. 15°C/kg از نمونه‌ای از این آلیاژ را تا 54°C گرم می‌کند و بلافاصله آن را در 40°C/kg آب 10°C می‌اندازد که در ظرف گرماسنجی از جنس آلومینیوم به جرم 20°C/kg قرار دارد. دمای نهایی مجموعه $30/5^\circ\text{C}$ است. گرمای ویژه آلیاژ را تعیین کنید.
پاسخ: $498\text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C}$

۲ برای اندازه‌گیری گرمای ویژه سرب به این ترتیب عمل کرده‌ایم. نخست یک گلوله سربی به جرم 60 g را تا دمای 100°C گرم کرده و سپس آن را در یک گرماسنج آلومینیومی به جرم 20 g که حاوی 50 g آب در دمای اولیه $17/3^\circ\text{C}$ است قرار داده‌ایم. دمای نهایی مخلوط 20°C شده است، گرمای ویژه سرب چقدر است؟
پاسخ: $828\text{ kJ/kg}\cdot^\circ\text{C}$

پرسش‌های پیشنهادی بخش ۴-۳

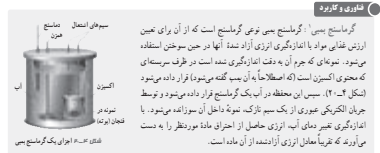
- ۱) گرمای ویژه آب 1° برابر گرمای ویژه آهن است. اگر جرم برابری از آب و آهن در ابتدا در تعادل گرمایی باشند، پس از افزودن 50°J گرما به هر کدام، کدام یک از موارد زیر تحقق می‌یابد؟
 الف) آنها در تعادل گرمایی باقی می‌مانند.
 ب) آنها دیگر در تعادل گرمایی نیستند. آهن گرم‌تر است.
 پ) آنها در تعادل گرمایی نیستند. آب گرم‌تر است.
 پاسخ: ب)

- ۲) در قدیم مرسوم بود در فصل زمستان سبزیجات و شیشه‌های ترشیجات را برای در امان ماندن از سرما در زیرزمین قرار می‌دادند که در آن تستی بزرگ از آب در کنار آنها گذاشته می‌شد. چگونه چنین کاری می‌توانست مانع از یخ زدن آنها شود؟
 (راهنمایی: وقتی آب درون تشت شروع به یخ‌زدن می‌کند، مقدار زیادی انرژی آزاد می‌شود که دمای زیرزمین را در حدود 5°C نگه می‌دارد. البته توجه به این نکته نیز مهم است که محلول‌های آبی شیشه‌های ترشیجات، نقطه انجماد پایین‌تری از آب خالص دارند.)

۴-۴- تغییر حالت‌های ماده

تغییر حالت‌های ماده، همان‌طور که در ادامه می‌آید، می‌تواند بحثی راه‌گشا در مورد انرژی درونی باشد. بنابراین خوب است به ارتباط این بحث با انرژی درونی توجه داده شود.

دما و گرما



۴-۴-۱ تغییر حالت‌های ماده

همان‌طور که در فصل ۲ دیدیم، موادی که در اطراف ما وجود دارند معمولاً در سه حالت (جامد، مایع و گاز) یافت می‌شوند. گذار از یک حالت (جامد) به یک حالت (گاز) دیگر را یک تغییر حالت (گذار جامد-گاز) می‌نامند. برای مثال در شکل ۴-۱۱ انواع تغییر حالت‌هایی که برای سه حالت آب امکان‌پذیر است نشان داده شده است. تغییر حالت‌ها معمولاً با گرفتن و یا از دست دادن گرما همراه است.



شکل ۴-۱۱: تغییر حالت‌های مختلف آب که به‌طور مکرر در این تصویر واقعی مشاهده می‌شود.

تبدیل جامد به مایع را ذوب، تبدیل مایع به بخار را تبخیر و تبدیل جامد به بخار را انجماد و تبدیل بخار به مایع را جلاش بخار به مایع یا یمن می‌نامیم. امکان دارد که تغییر حالت از جامد به بخار و وارون آن از بخار به جامد نیز تبخیر و مستقیم و برعکس از حالت مایع صورت گیرد. تغییر حالت از جامد به بخار، انجماد، تبخیر و تغییر حالت وارون آن، یعنی از بخار به جامد جلاش بخار به جامد، گفته می‌شود. برای مثال، فشان در دمای اتاق به‌طور مستقیم از جامد به بخار تبدیل می‌شود، یا در صبح‌های سرد زمستان، برف که روی گیاهان و یا روی تپه‌ها می‌بارد، تبخیر می‌شود، بخار آن است که به‌طور مستقیم به برف‌های یخ تبدیل شده است. در ادامه تغییر حالت‌های جامد-مایع، مایع-بخار و بخار-بخار جداگانه بررسی می‌کنیم.

۱- Bunsen Burner

۲- در سمت راست، پخش‌شده، بخار را که در طرفین آن، دما و گرما در آن کانون‌ها، در یک کاسه مشاهده می‌شود.

خوب است پیش از ورود به بحث تغییر فاز جامد – مایع، از دانش آموزان 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 درس نزدیک شوند.

پاسخ فعالیت ۴-۶

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

تفسیر حالت جامد - مایع - جامد که اگر به جسم جامدی گرم‌دهیم دمای آن افزایش می‌یابد. اگر عمل گرم‌دادن را برای جامدهای خاص و بطورین ادامه دهیم، وقتی دمای جسم به مقدار مشخصی برسد، افزایش دما متوقف می‌شود و دما ثابت باقی می‌ماند. در این حالت، جسم شروع به ذوب شدن می‌کند و به مایع تبدیل می‌شود. این دمای ثابت را نقطه ذوب یا دمای گداز جامد به مایع می‌نامند که به جسم و فشار وارد بر آن بستگی دارد. به استثنای چند مورد خاص، حجم جامدهای خوری هنگام ذوب شدن افزایش می‌یابد؛ زیرا حجمی که یخ را از این نظر منجر به انقباض حالت جامد است، نسبت به این حجم در حالت مایع که از این مولکولی باطنی دارد، کمتر است.



شکل ۳-۳ تصویر از یخ در حال ذوب

ماده غیر نقطه ذوب کلاً مشخصی ندارد. در واقع وقتی این مواد را گرم می‌کنیم پیش از ذوب شدن همیشه به شکل می‌مانند. این مواد در گسترده‌ای از دما به صورت جامد می‌مانند. معمولاً این افزایش دما را در جسم بزرگ‌تر از دما به صورت جامد می‌مانند. اما در برخی مواد مانند یخ، افزایش دما به نقطه ذوب می‌انجامد که آن در مورد یخ بسیار واضح است.



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



سری کردن باغ‌های میوه، گاهی اوقات گیاهان را با آب سردی می‌کنند تا آنها را از یخ زدن در زمستان محافظت کنند. این محافظت ناشی از لایه‌ای نازک است که روی گیاه تشکیل می‌شود. این محافظت ناشی از فرایندی است که می‌تواند در تنه‌های گیاه‌ها رخ دهد؛ یعنی فرایندی که در آنها آب تا نقطه انجماد سرد می‌شود و سپس یخ می‌ماند. لازمه هر دو فرایند این است که آب به گیاه گرم‌تر از آنی که به گیاه و سپس به هوا

۱۰۴

فعالیت پیشنهادی



در نقطه سه گانه آب، سه فاز آب در تعادل اند.

نقطه ذوب یخ در فشار ۱ atm برابر 0°C است. برای آب نقطه‌ای موسوم به نقطه سه گانه وجود دارد که در آن سه حالت یخ، آب و بخار در تعادل اند. دمای این نقطه 0.01°C است. تحقیق کنید برای رسیدن به این نقطه به چه فشاری نیاز است.

پاسخ

فشار برای نقطه سه گانه آب طبیعی $611/73\text{ Pa}$ است که تفاوت زیادی با فشار ۱ atm دارد. (توجه کنید این فشار نقطه سه گانه را با فشار P_{tr} در «خوب است بدانید دماسنج گازی حجم ثابت» اشتباه نگیرید. P_{tr} فشار گاز دماسنج گازی در نقطه سه گانه است.)

توجه کنید که در این فعالیت، فهمیدن دقیق معنی نقطه سه گانه آب اهمیت ندارد. هدف از این فعالیت آن است که نشان دهد برای افزایش جزئی نقطه ذوب یخ به چه کاهش فشار زیادی نیاز است.

پس‌دمه^۱

وقتی هواپیما در ارتفاع زیاد در حرکت است، گردبادهایی توسط نوک بال‌ها (و سایر قسمت‌های نوک‌تیز بدنه هواپیما) در هوا ایجاد می‌شود. بخار آب موجود در دود خارج‌شده از موتور هواپیما، درون این گردبادهای و در هوای بسیار سرد ارتفاع زیاد، تبدیل به قطره‌های کوچک آب، یا بلورهای ریز و درشت یخ می‌شود. قطره‌های آب یا بلورهای یخ که درون این گردبادهای ایجاد شده‌اند، نور خورشید را شدیداً پراکنده می‌کنند و دنباله‌های گردبادی ایجادشده در پشت هواپیما را قابل مشاهده می‌سازند. چون پراکندگی نور سفید خورشید به وسیله این قطره‌های آب و بلورهای یخ، معمولاً به طول موج نور بستگی ندارد، این پس‌دمه‌ها معمولاً سفیدرنگ هستند.

معمولاً پس‌دمه‌هایی که از قطرات آب تشکیل شده‌اند کوتاه‌اند، زیرا این قطره‌ها به سرعت 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 رسیدن 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 تیره سایه در جلوی هواپیما دیده می‌شود.

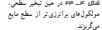
پدیده مشابه دیگری هنگام عبور هواپیما از میان ابری که حاوی قطرات آب و بلورهای ریز یخ است رخ می‌دهد. گرمای ایجادشده به وسیله موتور هواپیما باعث تبخیر قطره‌های آب و بلورهای یخ درون ابر می‌شود و خط تاریکی به نام دنباله اتلافی^۲ در آسمان ظاهر می‌گردد.

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 دنباله اتلافی در آسمان ظاهر شود. (برگرفته از نمایش هیجان‌انگیز فیزیک، واکر، جلد اول، صفحه ۱۸۱)



۱- Contrail مخفف Condensation trail

۲- Distrail



الف) بررسی کنید از دیدگاه مولکولی، افزایش دما و افزایش مساحت سطح مایع چگونه بر آهنگ تبخیر سطحی اثر می‌گذارد؟
 ب) با بررسی تبخیر سطحی در شرایط مختلف سعی کنید از راه تجربه، عامل یا عوامل دیگری را پیدا کنید که بر آهنگ تبخیر سطحی مؤثر باشند.
 ج) تحقیق کنید کوزه‌های سفالی چگونه می‌توانند آب داخل خود را خشک کنند.



تعریف و تنظیم بدن: برای جانوران بزرگ جثه، نسبت مساحت سطح بدن که از آن گرما تلف می‌شود، و حجم داخلی بدن که در آن گرما تولید می‌شود، نسبت کم است. بنابراین، جانوران سگ‌ها و گاوهای رومانی برای خالص شدن از گرما، نیازمند راه‌های تلافی‌بخش هستند. این جانوران در صورت سرد شدن، پشم یا خز خود را بلند می‌کنند و در صورت گرم شدن، آن را کوتاه می‌کنند. با فرستادن خون به گوش‌های بزرگ، و بزرگ و از مویز خود این گرما را از دست می‌دهند. بدن انسان‌ها هم‌گای دیگر عمل می‌کند و با تغییر رنگ، گرما را از دست می‌دهد. در واقع رنگ بدن کبک در آن‌هایی که روی یخست بین تنگنیل برای جذب سطحی آن‌ها، و در آن‌ها رنگ سفید.

[illegible]

1. Y

ياسخ فعالیت ۴-۸

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 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 ۴-۵ نیز این بستگی به دما به وضوح نمایان است.

افزایش مساحت نیز موجب افزایش تبخیر سطحی می‌شود. چرا که هر چه مساحت سطح آزاد بیشتر شود 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 پنهان 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. عرق کردن بدن و یا خیساندن لباس و پوشیدن آن و سپس قرار گرفتن در زیر سایه و محلّی بادگیر نیز به‌طور مشابه می‌تواند باعث خنک شدن شخص شود.

پاسخ فعالیت ۹-۴

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

نمایش ۳۰

آهنگ تبخیر به بیشترین مقدار خود می‌رسد. دماهایی که معزن آن درون آب قرار دارد دمای ثابتی را نشان می‌دهد که برای آب خالص در فشار جو معارف (1 atm) 100°C است. در جوشیدن کل مایع در فرایند تبخیر شرکت می‌کند. به فرایند تبخیر تا پیش از رسیدن به نقطه جوش، تبخیر سطحی و به فرایند تبخیر در نقطه جوش، اصطلاحاً جوشیدن می‌گویند. در حالی که هر دو فرایند تبخیرند.

نمایش ۳۱-۱

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

تجربه نشان می‌دهد که گرمای منتقل شده برای تبخیر هر مایع با جرم آن نسبت مستقیم دارد. نسبت این گرما به جرم مایع بخار شده را گرمای نهان ریزه تبخیر می‌نامیم که برای سادگی گرمای نهان تبخیر نامیده می‌شود و آن را با L_v نشان می‌دهیم.

$$L_v = \frac{Q_v}{m} \quad (11-3)$$

گرمای نهان تبخیر هر مایع به جنس و دمای آن بستگی دارد و یکانی آن در 55 (بیل و کلوگرم (kg)) جدول ۱۱-۲ برخی از مقدارهای L_v را نشان می‌دهد که به طور تجربی برای آب در دماهای مختلف به دست آمده است.

نمایش ۳۱-۲

چرا در جدول ۱۱-۲ گرمای نهان تبخیر آب با افزایش دمای آن کاهش می‌یابد؟

گرمای لازم برای تبخیر مایعی به جرم m که گرمای تبخیر آن L_v است از رابطه $Q_v = m L_v$ به دست می‌آید. علاقت مثبت نشان دهنده آن است که مایع هنگام تبخیر گرما می‌گیرد.

نمایش ۳۱-۳

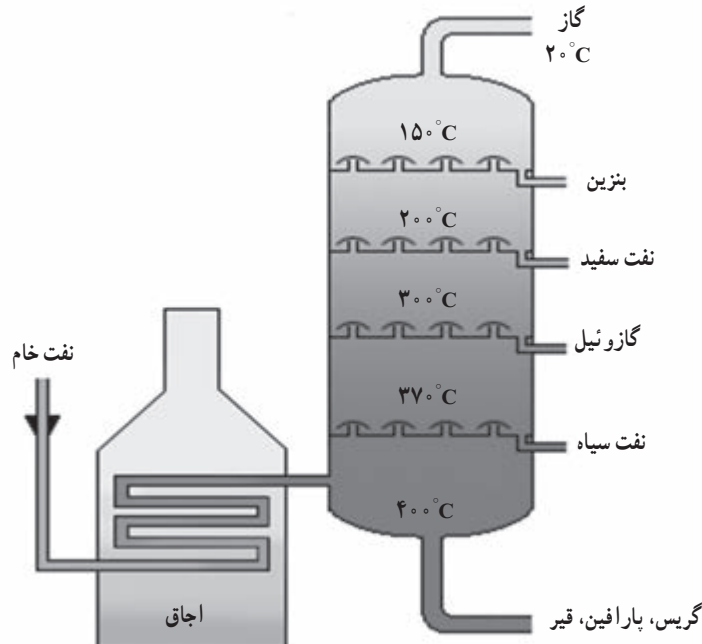
معمولاً وقتی هوا را با بخارهای دماهای گرم می‌کنند، برای حفظ رطوبت محیط، ظرف آبی را روی بخاری می‌گذارند. اگر دمای آب در یکی از این ظرف‌های 50°C ثابت مانده باشد، تعیین کنید برای تبخیر 1000 kg از آب در این شرایط چقدر گرما لازم است؟

پاسخ: با توجه به رابطه ۱۱-۲ و استفاده از جدول ۱۱-۲ داریم:

$$Q_v = m L_v = 1000 \text{ kg} \times (2374 \text{ kJ/kg}) = 2.374 \times 10^6 \text{ kJ}$$

۱۱-۲ جدول ۱۱-۲ حرارت انزال (انگلیسی: Vaporization) به مایعات تبخیر است.

۱۱-۸



پاسخ پرسش ۴-۴

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 مقاله بسیار آموزنده‌ای تحت عنوان «مولکول‌ها، اتم‌ها و ساختار داخلی اتم‌ها» در صفحه ۹ شماره ۷۲ مجله رشد آموزش فیزیک به چاپ رسیده است که توصیه می‌شود حتماً به آن رجوع شود). همان‌طور که دیدیم نیروهای چسبندگی مولکولی به فاصله بین مولکول‌ها بستگی دارند. با افزایش دما و کاهش چگالی، فاصله بین مولکولی در حالت مایع افزایش و نیروی چسبندگی بین مولکول‌ها کاهش می‌یابد و در نتیجه تفاوت بین انرژی‌های درونی جسم در حالت‌های مایع و بخار کاهش می‌یابد. به بیانی بسیار ساده شده، با افزایش دما، مولکول‌ها ساده‌تر می‌توانند از سطح آزاد مایع بگریزند و به گرمای کمتری برای این امر نیاز است (همچنین نگاه کنید به پاسخ فعالیت ۴-۸ الف).

آهنگ تبخیر به بیشترین مقدار خود می‌رسد. دما سطحی که معزن آن درون آب قرار دارد دمای ثابتی را نشان می‌دهد که برای آب خالص در فشار جو معنارف (atm) 100°C است. در جوشیدن، کلی مایع در فرایند تبخیر شرکت می‌کند. به فرایند تبخیر تا پیش از رسیدن به نقطه جوش، تبخیر سطحی می‌گویند. نقطه جوش اصطلاحاً جوشیدن می‌گفته، در حال که در دمای بالاتر، تبخیر می‌باشد.

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

تجربه نشان می‌دهد که گرمای منتقل شده برای تخییر هر مایع با جرم آن نسبت مستقیم دارد. نسبت این گرما به جرم مایع بخار شده را گرمای نهان ویزه تخییر می‌نامیم که برای سادگی گرمای نهان تخییر نامیده می‌شود و آن را با L_v ^۱ نشان می‌دهیم.

$$L_V = \frac{Q}{\dots} \quad (11.9)$$

گرمای نهان تبخیر هر مایع به جنس و دمای آن بستگی دارد و یگانی آن در SI زول بر کیلوگرم (J/kg) است. جدول ۴-۵ برخی از مقدارهای E_v را نشان می‌دهد که به طور تجربی برای آب در دماهای مختلف دست آمده است.

حرادر حدود ۴-۵ گرمی نهان تخم آب با افزایش دمای آن کاهش می‌یابد؟

گرمای لازم برای تبخیر مایعی به جرم m که گرمای تبخیر آن L_v است از رابطه $Q = mL_v$ به دست می آید. علامت مثبت نشان می دهد که آن است که به واسطه هنگام تبخیر گرمای می گیرد.

معمولاً وقتی هوا را با بخاری‌های صنعتی گرم می‌کنند، برای حفظ رطوبت محیط، ظرف آبی را روی بخاری می‌گذارند. اگر دمای آب در یکی از این ظرف‌ها روی 50°C ثابت مانده باشد، تعیین کنید برای تبخیر 1 kg از آب در این شرایط چقدر گرما لازم است؟

۱۱- و استفاده از جدول ۴-۵ داریم:

(۱-۲) نوع V، به نام ذرات گازی Vaporization و معنی بخار است.

Layk & Layk

در مسئله‌های عملی بیشتر با گرمای نهان تبخیر مایع در نقطه جوش این سروکار داریم و البته نقطه جوش هر مایع به جنس و فشار وارد بر آن بستگی دارد. افزایش فشار وارد بر مایع سبب بالا رفتن نقطه جوش آن می‌شود. جدول ۴-۴ نقطه جوش و گرمای نهان تبخیر مربوط به این نقطه را برای برخی از مواد در فشار ۱ اتمسفر نشان می‌دهد.

[illegible]

الف) چرا غذا در دیگ زودپز، زودتر پخته می‌شود؟
ب) دلیل دیوتر پخته شدن تخم مرغ در ارتفاعات چیست؟ کوهنوردان برای رفع این مشکل چه کاری انجام می‌دهند؟

توجه کنید که بادگیرها اقسام متفاوتی دارند و در اینجا به یکی از انواع آن پرداخته شده است.

دانستنی برای معلم

بخار اشباع شده

اگر مقداری کافی از مایعی را در ظرف در بسته‌ای بریزیم، قسمتی از مایع بخار می‌شود و بقیه آن به شکل مایع باقی می‌ماند. اما فرایند بخار شدن متوقف نمی‌شود. همراه فرایند بخار شدن، فرایند چگالش بخار به آب نیز صورت می‌گیرد. پس از مدتی، بین فرایند بخار شدن 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.

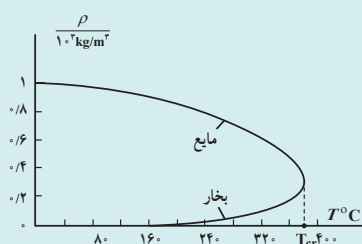
برای اندازه‌گیری و گزارش میزان بخار آب موجود در هوا، معمولاً از کمیت‌های رطوبت مطلق هوا و رطوبت نسبی آن استفاده می‌شود. رطوبت مطلق هوا، جرم بخار آب موجود در 1 m^3 هوا، یعنی چگالی بخار آب در هوای آن محیط است که معمولاً بر حسب g/m^3 بیان می‌شود. رطوبت نسبی، نسبت رطوبت مطلق به چگالی بخار اشباع شده در هوا، در آن دما است.

دانستنی برای معلم

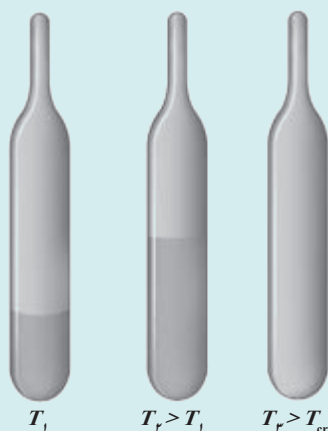
نقطهٔ بحرانی و حالت گازی

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 خود 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.

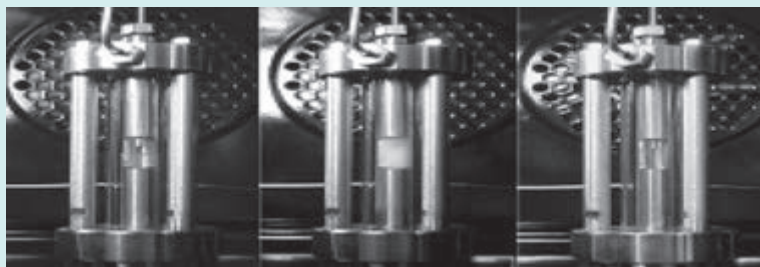
مثلاً این دما برای آب $T_{cr} = 374^\circ\text{C}$ است. فشار و چگالی متناظر با این دما را فشار و چگالی بحرانی می‌گویند که برای آب $P_{cr} = 218\text{ atm}$ است. آزمایش نشان می‌دهد که در دمای بالاتر از دمای بحرانی، هرچه فشار بالاتر هم برود، دو حالت مجزای مایع - بخار که با فصل مشترک مشخصی از هم جدا شده 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 - بخار امکان‌پذیر نیست. حالت بحرانی ماده را می‌توان به‌وسیلهٔ آزمایش نمایش داد. در یک فلاسک شیشه‌ای کوچک سر بسته که دارای مقداری اتر است در دمای پایین، مرز کاملاً مشخصی بین مایع و بخار اشباع شده دیده می‌شود. اگر فلاسک گرم شود، 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



چگالی آب و بخار اشباع آن بر حسب دما



پیدا کرده است. در دمای بحرانی مرز بین مایع و بخار ناپدید می‌شود و تمام حجم ماده موجود در فلاسک ابری می‌شود. به وضعیت بالای نقطه بحرانی که در آن فشار و دما افزایش یابد، حالت *شاره آب‌بر بحرانی*^۱ گفته می‌شود.



۳. بالای نقطه بحرانی، شاره آب‌بر بحرانی ۲. در نقطه بحرانی 32.17°C و ۱. برای اتان^۲ در زیر نقطه بحرانی، فازهای مجزای بخار و مایع وجود ندارد و شیری رنگ است. فازهای گاز و مایع به طور همزیست وجود دارد.

(به دوره درسی فیزیک، لندسبرگ، انتشارات فاطمی، جلد ۱، صفحه ۵۵۵ نگاه کنید.)

تمرین‌های پیشنهادی بخش ۴-۴

۱ در گرماسنجی با ظرفیت گرمایی ناچیز، 20°C آب با دمای 25°C وجود دارد. قطعه یخی به جرم 10°g و دمای 15°C را درون آن می‌اندازیم. در مبادله گرمایی بین آب و یخ، مقداری از یخ ذوب می‌شود و پس از مبادله گرما و برقراری تعادل گرمایی، مخلوطی از آب و یخ بر جای می‌ماند. جرم یخ باقی مانده چند گرم است؟
پاسخ: $46/7\text{g}$

همکاران محترم توجه دارند که در مسئله‌های گرماسنجی و تعادل گرمایی که شبیه مسئله بالا است، قبل از محاسبه نمی‌توان وضعیت تعادل را دانست. آیا تعادل در دمای زیر صفر درجه سلسیوس رخ می‌دهد، یا در دمای بالای صفر درجه سلسیوس، یا در دمای صفر درجه سلسیوس؟ اگر تعادل در دمای صفر درجه سلسیوس رخ می‌دهد، آیا بخشی از یخ ذوب می‌شود یا بخشی از آب یخ می‌زند، یا اصلاً تغییر فازی رخ نمی‌دهد؟ البته این ابهام و چندگانگی، حل شدنی است ولی ورود به حل این ابهام در توان ذهنی و حوصله یادگیری مخاطبان دانش آموز ما، در این پایه تحصیلی نیست. همچنین در نوعی از رویکرد به حل این ابهام، دانش آموز را به یادگیری و حفظ کردن تکنیک‌های ویژه با برخی مقادیر معلوم برای جرم آب و یخ و بخار و تغییر دما توصیه می‌کنند. این تکنیک‌ها اگرچه درست است ولی با اهداف برنامه درسی فاصله زیادی دارد. غالباً همان قدر که این تکنیک‌ها، حل مسئله را تسهیل و تسریع می‌کنند، فهم و درک فیزیکی و علمی دانش آموز در این پایه تحصیلی را پس می‌زنند. لازم است دبیران محترم در این نوع مسائل، شبیه آنچه در مسئله بالا دیده می‌شود، وضعیت تعادل نهایی را کاملاً روشن و بدون ابهام و چندگانگی، برای مخاطب دانش آموز بیان کنند.

۲ مقداری آب با حجم $V=0/8^{\circ}\text{L}$ و دمای $\theta=15^{\circ}\text{C}$ روی یک گرمکن برقی با توان مفید 20°W قرار دارد. آب تا نقطه جوش آن گرم می‌شود. اگر 10% از آب به بخار تبدیل شود، زمان لازم برای این فرایند چقدر است؟
پاسخ: 39 min

۱- Supercritical

۲- ethane

پرسش‌های پیشنهادی بخش ۴-۴

۱ چرا وقتی باد می‌وزد احساس خنکی می‌کنیم؟

۲ اگر قطعه یخی با دمای $^{\circ}\text{C}$ را در ظرف آبی با دمای $^{\circ}\text{C}$ در اتاقی با دمای $^{\circ}\text{C}$ قرار دهیم چه رخ می‌دهد؟

- (الف) تمام یخ آب می‌شود.
(ب) فقط بخشی از یخ آب می‌شود.
(پ) فقط بخشی از آب یخ می‌زند.
(ت) نه آب یخ می‌زند، نه یخ آب می‌شود.

پاسخ : ت)

پاسخ پرسش ۴-۵

(الف) این مثالی از افزایش نقطه جوش آب با افزایش فشار در سطح آزاد مایع است. در درون دیگ زودپز، با افزایش بخار آب، فشار در سطح مایع درون دیگ زیاد می‌شود و در نتیجه نقطه جوش افزایش می‌یابد. آب با گرفتن گرما از اجاق، به دمایی بالاتر از نقطه جوش در فشار هوای معمولی محیط می‌رسد، بنابراین مواد درون زودپز در دمای بالاتر و سریع‌تر پخته می‌شود.

(ب) در ارتفاعات، فشار هوا پایین‌تر است و بنابراین نقطه جوش پایین می‌آید. مثلاً در قله دماوند نقطه جوش آب حدود $^{\circ}\text{C} 72$ و در قله اورست نقطه جوش آب در حدود $^{\circ}\text{C} 8$ است. البته این دما برای پختن تخم مرغ که به دمای $^{\circ}\text{C} 70$ نیاز دارد کافی است ولی زمان پختن را طولانی می‌کند. معمولاً گفته می‌شود کوه‌نوردان از نمک استفاده می‌کنند، ولی خوب است بدانید که افزودن 20g نمک (حدود یک لیوان) در ۱ لیتر آب، حداکثر $^{\circ}\text{C} 2$ بر نقطه جوش آب می‌افزاید.

جدول ۳-۳ نقطه جوش و گرمای نهان تبخیر برای آب در فشار استاندارد

دما (°C)	فشار (kPa)	گرمای نهان تبخیر (kJ/kg)
۰	۰.۶۱۱	۲۵۰۰.۸
۱۰	۱.۲۲۷	۲۴۵۰.۷
۲۰	۲.۳۳۷	۲۴۰۰.۷
۳۰	۳.۵۴۹	۲۳۵۰.۷
۴۰	۴.۸۱۷	۲۳۰۰.۷
۵۰	۶.۱۱۷	۲۲۵۰.۷
۶۰	۷.۵۰۸	۲۲۰۰.۷
۷۰	۸.۹۹۶	۲۱۵۰.۷
۸۰	۱۰.۵۹۳	۲۱۰۰.۷
۹۰	۱۲.۳۴۹	۲۰۵۰.۷
۱۰۰	۱۴.۳۲۹	۲۰۰۰.۷
۱۱۰	۱۶.۵۲۹	۱۹۵۰.۷
۱۲۰	۱۸.۹۵۹	۱۹۰۰.۷
۱۳۰	۲۱.۶۱۷	۱۸۵۰.۷
۱۴۰	۲۴.۵۴۹	۱۸۰۰.۷
۱۵۰	۲۷.۷۵۹	۱۷۵۰.۷
۱۶۰	۳۱.۲۵۹	۱۷۰۰.۷
۱۷۰	۳۵.۰۵۹	۱۶۵۰.۷
۱۸۰	۳۹.۱۵۹	۱۶۰۰.۷
۱۹۰	۴۳.۵۵۹	۱۵۵۰.۷
۲۰۰	۴۸.۳۵۹	۱۵۰۰.۷



پرسش ۳-۵

الف) چرا غذا در دیگ زودپز، زودتر پخته می‌شود؟
ب) دما دلیلی بر پخته شدن تخم مرغ در ارتفاعات چیست؟ کوه‌نوردان برای رفع این مشکل چه کاری انجام می‌دهند؟

پاسخ تمرین ۴-۶

گرمای لازم برای تبدیل یخ 2°C به بخار 100°C از مجموع گرما در چهار فرایند حاصل می شود.

(۱) تبدیل یخ 2°C به یخ 0°C

(۲) تبدیل یخ 0°C به آب 0°C

(۳) تبدیل آب 0°C به آب 100°C

(۴) تبدیل آب 100°C به بخار 100°C .

یعنی

$$\begin{aligned} Q &= mc_{\text{یخ}} \Delta\theta_1 + mL_F + mc_{\text{آب}} \Delta\theta_2 + mL_V \\ &= (1/\text{kg})(2100 \text{ J/kg} \cdot ^{\circ}\text{C})(2^{\circ}\text{C}) \\ &\quad + (1/\text{kg})(333 \text{ J/kg}) \\ &\quad + (1/\text{kg})(4187 \text{ J/kg} \cdot ^{\circ}\text{C})(100^{\circ}\text{C}) \\ &\quad + (1/\text{kg})(2256 \text{ J/kg}) \\ &= 305040 \text{ J} \approx 3/1 \times 10^6 \text{ J} \end{aligned}$$

(توجه کنید گرچه جدول ۳-۴ گرمای ویژه یخ را برای 5°C داده است، ولی در این مسئله از همان داده استفاده کردیم.)

پاسخ فعالیت ۴-۱۰

به بیان ساده شده ای می توان گفت که با برخورد مولکول های بخار آب با سطح برگ که در صبحگاهان دمای پایین تری از دمای بخار آب دارند، بخار آب مایع می شود.

اما پاسخ تفصیلی آن نیاز به معرفی برخی مفاهیم دارد. مقدار بخار آب موجود در هوا اغلب به صورت رطوبت نسبی در مقایسه با حد اشباع داده می شود. برای مثال، رطوبت نسبی 50% به معنی آن است که مقدار بخار، نصف حد اشباع است. مثلاً در یک دوش آب گرم در محیطی بسته، رطوبت نسبی ممکن است به 100% برسد و پس از آن وقتی بخار آب اضافی به هوا داده شود، مقداری از این بخار به قطرات آب تبدیل می شود. باید توجه کرد که حد اشباع برای هوای سردتر، پایین تر است (یعنی هرچه دما کمتر باشد، هوا بخار کمتری را می تواند در حالت اشباع در خود جای دهد) و بنابراین میعان بخار آب بیشتر رخ می دهد. به همین دلیل است که آینه سرد حمام باعث چگالش بخار آب به صورت مایع بر روی آن می شود. در شبین صبحگاهی هم پدیده مشابهی در نزدیکی سطح برگ گیاه رخ می دهد.

فصل ۴

مسئله ۱۳-۲

۲۱۰ لیتر آب درون یک کتری برقی با توان الکتریکی ۱۵۰۰ W می ریزیم و آن را روشن می کنیم. (الف) از ترموجویند تا بخار شدن آب درون کتری چقدر گرما به آب داده می شود؟ (ب) چه مدت طول می کشد تا این فرایند انجام شود؟ فرض کنید تمام انرژی الکتریکی تبدیل شده به انرژی گرمایی، به آب می رسد. پاسخ: (الف) با توجه به رابطه $Q = Pt$ و جدول ۳-۴ داریم:

$$Q = mL_V = (210 \text{ kg})(2256 \times 10^3 \text{ J/kg}) = 4.74 \times 10^8 \text{ J}$$

ب) آن که با استفاده از رابطه توان خواهیم داشت:

$$Q = P \Delta t \Rightarrow \Delta t = \frac{Q}{P} = \frac{4.74 \times 10^8 \text{ J}}{1500 \text{ W}} = 3.16 \times 10^5 \text{ s} = 5.27 \text{ h}$$

برای اندازه گیری گرمای نهان تبخیر در نقطه جوش هر مایع روش های عملی گوناگونی وجود دارد که آزمایش ۴-۳ را مشاهده کنید. از این روش ها یکی استفاده شده است.

آزمایش ۴-۳

هدف: تعیین گرمای نهان تبخیر آب. وسایل: ترازوی سوراخدار، بشر ۲۰۰ cc، دماسنج، سیاه، توری بایه و گیره، چراغ گاز، زمان سنج، آب و ترازو. شرح آزمایش: ۱- حرم بشر حاکی را از آب، از میان کتری و مقدار معینی آب (مثلاً 100 g) در آن بریزید. ۲- توری را روی سیاه بگذارید. چراغ را زیر آن روشن کنید و بشر را روی توری قرار دهید. ۳- دماسنج را به کمک پایه و گیره، طوری درون بشر قرار دهید تا سطح آن کمی پایین تر از سطح آب باشد. ۴- در لحظه ای که دمای آب به 100°C می رسد زمان سنج را روشن کنید (مثلاً $t_1 = 0$). ۵- صبر کنید تا آب به جوش آید. زمان (مثلاً t_2) و دما (مثلاً 100°C) را ثبت کنید. ۶- با استفاده از رابطه $Q = mc\Delta\theta$ و $P(t_2 - t_1) = mL_V$ جایگزینی مقادیر معلوم، توان گرمایی چراغ به آب (P) را بدست آورید. ۷- گرمای داده شده را از قدر داده تا مقدار قابل ملاحظه ای از آب بخار شود (مثلاً 10 g در طول گرم شدن). ۸- زمان (مثلاً t_3) را ثبت کنید. بشر را از روی چراغ بردارید و با وزن کردن آن جرم آب بخار شده (مثلاً m) را بدست آورید. ۹- گرمای تبخیر را با استفاده از رابطه $Q = mL_V$ بدست آورید.

تجرب ۴-۳

نقطه جوش به جرم 100 g و دمای اولیه 40°C را آن قدر گرم می کنیم تا تمام آن تبدیل به بخار 100°C شود. کل گرمای مورد نیاز برای این تبدیل چقدر است؟ گرمای ویژه بخار را در محدوده دمای 100°C به طور متوسط $2010 \text{ J/kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$ فرض کنید.

۱۱۰

دما و گرما

تبدیل بخار به مایع از نظر طبع رخ می دهد و گاهی قطره های مایعی از بخار روی سطوح خنک تشکیل می شود. به این پدیده «میانگه» می گویند. در واقع میانگه را درون فرایند تبخیر است. بخار آب بخار گرما از دست می دهد و مایع تبدیل می شود. گرمای مربوط به میعان بخار به جرم «m» و گرمای نهان تبخیر «L» از رابطه $Q = -mL_V$ محاسبه می شود. علامت منفی نشان دهنده آن است که بخار هنگام میعان گرما از دست می دهد و باعث گرم شدن اشیاء می شود. مثلاً یکی از عواملی که موجب می شود در هوای که رطوبت آن زیاد است، احساس گرمای بیشتری کنیم، همین بخار آب روی بدنمان است.

آزمایش ۴-۴

در مورد ایجاد تبخیر صبحگاهی روی گیاهان تحقیق کنید.



مسئله ۱۳-۳

در یک روز زمستانی، بخار آب موجود در اتاقی روی شیشه پنجره به شکل مایع می آید و قطره ها می شود. اگر دمای شیشه حدود 5°C باشد و رای آن که 5 g آب روی شیشه تشکیل شود چقدر گرما به شیشه داده می شود؟ پاسخ: با استفاده از جدول ۳-۴ و رابطه ۱۳-۲ داریم:

$$Q = -mL_V = -(5 \times 10^{-3} \text{ kg})(2256 \times 10^3 \text{ J/kg}) = -11.28 \text{ J}$$

در این عمل، 11.28 J گرما به شیشه داده می شود.

آزمایش ۴-۵

در فرایندهای تغییر حالت (تغییر فاز) دما تغییر نمی کند، اما انرژی درونی ماده تغییر می کند. در این باره، تحقیق کنید.

دما و گرما



این تصویر مربوط به آزمایش ۴-۵ است.

۱۱۱

تبدیل بخار به مایع نیز در طبیعت رخ می‌دهد و گاهی قطره‌های مایعی از بخار روی سطوح جامد تشکیل می‌شود. به این پدیده پدیده‌ای گفته می‌شود. در واقع بخار، را درون فرایند تبخیر است. بخار این بخار گرما از دست می‌دهد و به مایع تبدیل می‌شود. گرمای مربوط به میان‌مداری بخار به جرم و گرمای نهان تبخیر از رابطه $Q = -mL_v$ محاسبه می‌شود. علامت منفی نشان‌دهنده آن است که بخار هنگام پدیده گرما از دست می‌دهد و باعث گرم شدن اجسام پیرامون خود می‌شود؛ مثلاً یکی از عواملی که موجب می‌شود در هوایی که رطوبت آن زیاد است، احساس گرمای بیشتری بکنیم. همین میان‌بخار آب روی چشمان است.

تجربه ۱۰-۳
در مورد ایجاد تبخیر صحنه‌های روی گدازها تحقیق کنید.

مثال ۱۲-۳
در یک روز زمستانی، بخار آب موجود در اتاقی روی شیشه پنجره به شکل مایع درمی‌آید و قطره‌ها می‌شود. اگر دمای شیشه حدود 5°C باشد برای آنکه 5 g آب روی شیشه تشکیل شود چقدر گرما به شیشه داده می‌شود؟
پاسخ: با استفاده از جدول ۴-۲ و رابطه $Q = -mL_v$ داریم:
$$Q = -mL_v = -(5 \times 10^{-3} \text{ kg})(2240 \frac{\text{J}}{\text{kg}}) = -1.12 \times 10^{-2} \text{ J}$$

در این عمل، $1.12 \times 10^{-2} \text{ J}$ گرما به شیشه داده می‌شود.

تجربه ۱۱-۳
در فرایندهای تبخیر حالت (تغییر فاز) مایع تبخیر نمی‌کند، اما انرژی درونی ماده تبخیر می‌کند. در این باره تحقیق کنید.

۳-۲ روش‌های انتقال گرما
همان‌طور که در کتاب علوم هفتم دیدیم، شش روش گرما به سه صورت متفاوت انجام می‌شود: که عبارتند از: رسانش گرمایی، هرفت و تابش گرمایی. در هر فرایند انتقال گرما، مقدار است هر سه این ساز و کارها رخ داده باشند (شکل ۳-۲).
اختلاف دما باعث تابش گرما از جسم با دمای بالاتر به جسم با دمای پایین‌تر می‌شود. انتقال گرما از جسم گرم به جسم سرد تا وقتی ادامه می‌یابد که دو جسم همدما شوند و اصطلاحاً به حالت گرما می‌رسند. در ادامه به بررسی انتقال گرما و کار هر یک از این روش‌ها می‌پردازیم.

رسانش
هرفت
تابش
علمی-مدرسه فرسور می‌انتقال گرما را در این تصویر مشاهده می‌کنید.

پاسخ فعالیت ۱۱-۴

بعضی وقت‌ها این پرسش ذهن دانش‌آموزان را درگیر می‌کند که چرا در جایی می‌گوییم وقتی به مخلوط آب و یخ صفر درجه سلسیوس گرما می‌دهیم دماسنج درون ظرف آب و یخ تغییر دمایی را نشان نمی‌دهد و در جای دیگر می‌گوییم با گرم شدن جسم، انرژی درونی آن افزایش می‌یابد. باید توجه کرد اینها دو امکان متفاوت برای افزایش انرژی درونی ماده هستند و با هم تناقضی ندارند، افزایش انرژی درونی حتماً با افزایش دما همراه نیست. انرژی درونی مجموع انرژی پتانسیل و انرژی گرمایی است. انرژی گرمایی، مجموع انرژی جنبشی‌های مولکول‌ها، اتم‌ها و... است، و انرژی پتانسیل به برهم‌کنش این ذرات مربوط می‌شود. بررسی این انرژی پتانسیل با استفاده از منحنی‌های انرژی پتانسیل صورت می‌گیرد که پیش‌تر به معرفی آنها در این کتاب پرداختیم.

تشریح کامل‌ترین منحنی‌ها را می‌توانید در این مقاله بیابید: «مولکول‌ها، اتم‌ها و ساختار داخلی اتم‌ها، مجله رشد آموزش فیزیک، شماره ۷۲ صفحه ۹». در اینجا یادآوری می‌کنیم که این منحنی‌ها می‌توانند نیروهای بین اتمی و بین مولکولی را توضیح دهند. با نیروهای بین مولکولی در فصل ۳ آشنا شدیم. در نتیجه افزایش دما، نقطه تعادل در این منحنی‌ها به سمت راست انتقال می‌یابد (به دلیل نامتقارن بودن شکل منحنی انرژی پتانسیل) و فاصله بین مولکول‌ها افزایش می‌یابد. همچنین با توجه به منحنی‌های انرژی پتانسیل می‌توان گفت با افزایش دما قدرت پیوند مولکولی 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 مولکول‌ها می‌شود. برای دانش‌آموزان می‌توان به همین توضیح ساده اکتفا کرد که مثلاً برای آب در نقطه جوش پیش از آنکه گرما صرف جنبش مولکول‌ها و در نتیجه افزایش دما شود باید بتواند مولکول‌های آب را از آب در حال جوشیدن جدا کند و آنها را به شکل بخار درآورد. پس از این وضعیت است که گرما به جنبش مولکول‌ها و در نتیجه به افزایش دما می‌انجامد. در مورد این مباحث به این مقاله‌ها نیز نگاه کنید: «دو خطای رایج در آموزش فیزیک، رشد و آموزش فیزیک، شماره ۱۰۹ صفحه ۱۵» و «گرمای نهان ذوب و گرمای ویژه آب، رشد آموزش فیزیک شماره ۱۰۲، صفحه ۲۶».

دانش‌آموزان با روش‌های انتقال گرما به‌خوبی در فصل ۱۰ کتاب علوم تجربی پایه هفتم دوره اول متوسطه آشنا شده‌اند. خوب است تدریس این بخش را با یادآوری دانسته‌های قبلی دانش‌آموزان آغاز کنیم.

1443 e 142

تبدیل بخار به مایع در دو طبیعت رخ می‌دهد و گاهی قطره‌های مایعی از بخار روی سطوح جامد می‌نشیند. به این پدیده، همانگ می‌گویند. در واقع همانگ می‌تواند در دو فرآیند تبدیل بخار رخ دهد. تا این زمان گرمای از بخار به مایع می‌دهد و گرمای مایع به مایع مقداری بخار به جرم m و گرمای بخار به بخار m را می‌دهد. در رابطه $Q = m \cdot h_{fg}$ h_{fg} محاسبه می‌شود. علامت مثبت نشان‌دهنده آن است که در هنگام همانگ بخار از دست می‌دهد و باعث گرم شدن اجسام اطراف آن خود می‌شود؛ مثلاً یکی از وظایف که موجب می‌شود در هوایی که در قطب آن زیاد است، احساس گرمای بیشتری بکنیم، همین همانگ است. در این زمان،



در مورد ایجاد شبنم صبحگاهی روی گیاهان تحقیق کنید.

12-2.10

در یک روز زمستانی، بخار آب می‌تواند در اتاقی روی شیشه پنجره به شکل مایع
پوشیده و قطره‌ها را تشکیل دهد. اگر دمای شیشه حدود 5°C باشد برای آنکه Δg
بر روی شیشه تشکیل شود چقدر گرما به شیشه داده می‌شود؟
پاسخ : با استفاده از جدول ۴-۱ و رابطه ۱۱-۴ داریم :

$$Q = -mL_v = -(0.5 \times 10^{-3} \text{ kg})(2294 \times \frac{1}{\text{kg}}) = -1.1 \times 10^3 \text{ J}$$

در این عمل ، $1.1 \times 10^3 \text{ J}$ گرما به شیشه داده می‌شود.



در این عمل، $10^9 \times 1/2$ گرم ماهی شسته را در دو

11. **9. collect**

در فرایندهای تقسیم حالت (تقسیم فاز) دما تقسیم نمی‌کند، اما انرژی درونی ماده تقسیم می‌کند. در این باره تحقیق کنید.

۵-۴ روش‌های انتقال گرما

همان‌طور که در کتاب علوم هفتم دیدیم، نشارش گرما به سه صورت متفاوت انجام می‌شود. به عبارت ساده‌تر از: رسانش گرما، همرفت و تابش گرما. در هر فرایند انتقال گرما، ممکن است هر سه این‌ها و کارها دخالت داشته باشند (استکل ۲۵۰).

تفاوت دما باعث تابش گرما را جسم با دمای بالاتر به جسم با دمای پایین‌تر می‌شود. انتقال گرما را جسم گرم به جسم سرد تا وقتی ادامه می‌دهد که جسم هم‌دم شود. به اصطلاحاً تعادل گرما برقرار می‌شود. در فیزیک، انتقال گرما را می‌توان به سه روش دیگر هم به نام تابش، همرفت و رسانش تقسیم کرد.



335

موهای سفید خرس قطبی، قسمت‌های مرئی و فروسرخ نور خورشید را با بازتاب‌های مکرر به پوست منتقل می‌کند. بدین ترتیب پوست بدن خرس انرژی تابشی خورشید را جذب و سپس به انرژی گرمایی تبدیل می‌کند. اما با توجه به اینکه این موها توخالی هستند و مانند لوله‌های توخالی رسانندهٔ ضعیف گرما هستند نمی‌توانند گرما را به خوبی از بدن خرس (پوست خرس) به بیرون منتقل کنند.

تشبیه موی سفید خرس قطبی به تار نوری درست نیست.
توضیح بیشتر در این مورد را از جلد اول نمایش هیجان‌انگیز
فیزیک، واکر، صفحه ۳۴^۰ ببینید.

HC (1990)

سائنس گرمایی: بسیاری از ما این تجربه را داریم که اشتیاق فائق فلزی درون
فلزای روی اجاق روشن را با دست گرفته و داغی آن را احساس کردیم. اما
نمی‌دیدیم اجسامی دیگر مانند شیشه، چوب و... نیز می‌توانست گرما را تا حدودی
دهند. سائنس گرما می‌داند، این اجسام، به دلیل ارتعاش اتم‌ها و گسترش این
ارتعاشات، گرما را می‌توانند به اجسام دیگر منتقل کنند (۲۵، ۱۵، ۱۴، ۱۳، ۱۲، ۱۱، ۱۰، ۹، ۸، ۷، ۶، ۵، ۴، ۳، ۲، ۱).



انتقال از $AC \rightarrow PV$ در ناقلات گرما صرفاً از طریق ارتعاش اتم‌ها انتقال می‌یابد. در شکل، این انتقال ارتعاشات توسط فنرهای نیبه‌سازی بدو است.



الکترون‌های آزاد
 طیف‌های الکترون‌های آزاد با برخورد به
 یکدیگر و اتم‌ها موجب رسانش بهتری برای
 فراموشی می‌شوند.

فعاليات ١٢-٤

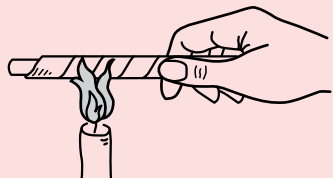
م‌های خـم فقط نه خالـم هستند. تحقیق کنه این م‌خـم چه نقشه در گم نگه داشتن بین خـم در سه مای قطب داره؟



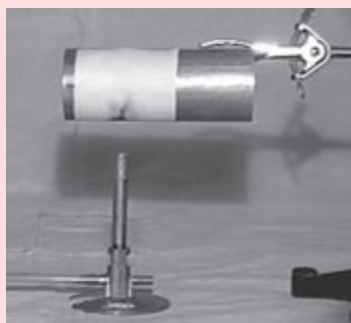
صویری بسیار بزرگ شده از موی یک خرس قطبی

هیرفت: وقتی طرفی از آب از روی اجلی می‌گذریم چگونه همه آب آن در مدت که چندان زیادی گرم می‌شود یا بخاری چگونه هایل دایر اناق را گرم می‌کند؟
انتقال گرما در مایعات و گازها که معمولاً رسانای گرمایی خوبی نیستند عمدتاً به روش هیرفت، یعنی همراه با مایع یا جایی بخشی از خود داده، انجام می‌گیرد. همان‌طور که در کتاب علوم هشتم دیدید می‌توانید به این پدیده به آگاهی اشاره یا افزایش ما صورت می‌گیرد. انتقال گرما به روش هیرفت را می‌توان به سه سادگی در چگونگی آن مشاهده نمود. مشاهده آن:

فعالیت پیشنهادی

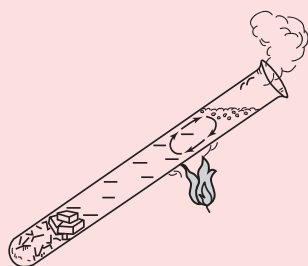


یک نوار باریک کاغذی را دور یک میخ، یا یک میله، یا لوله‌ای فلزی طوری بپیچید که حلقه‌های نوار کاغذی پیچیده شده دور فلز، روی هم افتادگی نداشته باشند و خیلی محکم روی فلز پیچیده شده باشند. اکنون فلز را طوری روی شعله شمع بگیرید که شعله به نوار کاغذی بخورد. کاغذ از دود شعله سیاه می‌شود، ولی تا وقتی که میخ یا میله کاملاً داغ نشود، نمی‌سوزد. ولی اگر در این تجربه به جای فلز از میله شیشه‌ای استفاده کنید، نتیجه آزمایش متفاوت خواهد بود. در مورد هر دو تجربه بحث کنید.



پاسخ: میخ یا میله آهنی رسانندگی گرمایی بالایی دارد. گرما از نوار کاغذی به میخ یا میله 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 نتیجه بهتری به دست می‌دهد، زیرا رسانندگی گرمایی مس بیشتر از رسانندگی گرمایی آهن است و گرما با سرعت بیشتری از کاغذ به مس انتقال می‌یابد. رسانندگی گرمایی شیشه بسیار کم است و نمی‌تواند گرما را به سرعت زیاد از کاغذ به میله شیشه‌ای برساند و بنابراین کاغذ به سرعت به دمای اشتعال می‌رسد و آتش می‌گیرد.

فعالیت پیشنهادی



در یک لوله آزمایش مقداری آب بریزید. قطعه یخ کوچکی را درون لوله بیندازید و برای آنکه یخ ته لوله بماند وزنه فلزی کوچکی روی یخ بگذارید (یا توری فلزی کوچکی را محاله 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 آب بالای لوله که روی شعله است گرم می‌شود، انبساط می‌یابد و چگالی آن کاهش می‌یابد. آب انبساط یافته به ته لوله نمی‌رود و جریان همرفتی فقط در آب بالای لوله رخ می‌دهد. چون جریان آب گرم بالای لوله به آب ته لوله که چگال تر است سرایت نمی‌کند، آب ته لوله با همرفت گرم نمی‌شود. آب پایین لوله از طریق رسانش گرمایی شیشه لوله آزمایش و خود آب گرم می‌شود. رسانندگی گرمایی شیشه و آب بسیار کم است و بنابراین مدت بسیار زیادی طول می‌کشد تا گرما با سازوکار رسانش گرمایی آب و شیشه لوله آزمایش، از بالای لوله به پایین لوله برسد، تا آب ته لوله گرم شود و یخ را آب کند. این فعالیت نشان می‌دهد که در گرم کردن آب درون ظرف و روی شعله، ساز و کار مؤثر، همرفت است.

دانشتنی برای معلم

چگونه در دستگاه گردش خون همرفت واداشته رخ می دهد؟

فرض کنید شخصی تب دارد یا فعالیت زیادی کرده و یا به هر دلیل دیگری دمای بدنش افزایش یافته است. در این وضعیت، رگ های خونی نزدیک پوست شخص انبساط می یابد تا خون بیشتری توسط قلب به سطح پوست انتقال یابد. خون، گرما را از درون بدن به پوست می رساند و گرما از پوست به محیط سردتر اطراف جریان می یابد. در واقع همرفت واداشته خون مهم ترین سازوکار انتقال گرما در بدن است که برای تنظیم دمای بدن در محیط های مختلف لازم است.

دانشتنی برای معلم

اثر لیدن فراست

یک قطره آب روی ماهی تابه ای با دمای بین 100°C تا حدود 200°C ، تقریباً ۱s دوام می آورد. ولی اگر ماهی تابه بسیار داغ تر باشد، قطره می تواند چند دقیقه دوام آورد. به این اثر، *اثر لیدن فراست* گفته می شود (لیدن فراست نخستین کاوشگر این پدیده بوده است). عمر طولانی تر قطره روی ماهی تابه بسیار داغ ناشی از تکیه آن بر لایه نازکی از هوا به ضخامت L است که قطره را از فلز جدا می کند. این لایه هوا همچون عایق گرما رفتار می کند و جلوی انتقال گرما از ماهی تابه به قطره آب را تا حد زیادی می گیرد.

پرسش های پیشنهادی بخش ۴-۵

۱ الف) به نظر شما در شرایط بی وزنی شکل شعله آتش چگونه می شود؟

ب) آیا در نبود جریان هوا سوختن ممکن است؟ (راهنمایی: به پدیده همرفت توجه کنید.)

پاسخ: الف) به شکل کره ب) خیر

۲ به نظر شما اگر فضانوردان در اعماق فضا بدون لباس فضانوردی حرکت کنند، به غیر از کمبود اکسیژن چه خطرهای دیگری ایشان را تهدید می کند؟

پاسخ: یک دلیل اینکه در دمای اتاق احساس راحتی می کنید این است که تابش فروسرخ که از دیوارها به شما گسیل می شود و تابش فروسرخ که از شما به دیوارها گسیل می شود تقریباً برابر است. در نتیجه، شما تقریباً با همان آهنگی که انرژی از دست می دهید، انرژی به دست می آورید. اگر تابشی که به شما می رسد به میزان چشمگیری کاهش یابد احساس سرما می کنید. اگر در عمق فضا، دور از سفینه، راه بروید دیگر دیواری وجود نخواهد داشت و سریعاً احساس سرما خواهید کرد. در این شرایط آهنگی که با آن انرژی گرمایی را به

به این گیاهان اصطلاحاً **ترموجنیک** (Thermogenic) می‌گویند. خوب است دانش‌آموزان را ترغیب کنید موارد دیگری از این گیاهان را نیز بیابند.

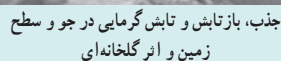


پاسخ فعالیت ۴-۱۴

حرکت پره‌ها در رادیومتر کروکس را بعضی وقت‌ها به اشتباه به فشار نور مربوط می‌کنند (نور می‌تواند به جسم نیرو وارد کند و آن را هل دهد، و در صورتی که نور از جسم بازتابد، این نیرو بیشتر می‌شود). اما تأثیر فشار نور بسیار ناچیزتر از آن است که بتواند باعث چرخش پره‌ها شود. وانگهی اگر چنین چرخشی ناشی از فشار نور وجود می‌داشت باید در خلاف جهت چرخش مشاهده شده رخ می‌داد. ماجرای اصلی این است که نور (تابش فروسرخ و نور مرئی) در طرف سیاه پره بیشتر از طرف سفید آن جذب می‌شود و بدین ترتیب طرف سیاه قدری گرم‌تر از طرف سفید می‌گردد و مولکول‌های هوای اطراف خود را نیز بیشتر گرم می‌کند. به علت اختلاف دما، مولکول‌های هوا در طرف سیاه پره‌ها سریع‌تر از مولکول‌های هوا در طرف سفید آن حرکت می‌کنند و بنابراین نیروی وارد بر طرف سیاه بزرگ‌تر از نیروی وارد بر طرف سفید است و بنابراین پره‌ها در جهتی می‌چرخند که نیروی وارد از مولکول‌های هوا به طرف سیاه پره‌ها، تعیین می‌کنند.

ولی اگر داخل حباب شیشه‌ای کاملاً تخلیه شده باشد، ممکن است در شرایط ایده‌آل پره‌ها در خلاف این جهت بچرخند، چرا که در آن صورت همان‌طور که در بالا گفتیم نوری که به پره‌ها می‌تابد طرف سفید را بیشتر هل می‌دهد. (مرجع: نمایش هیجان‌انگیز فیزیک - واکر - جلد ۱ - صفحه ۳۶۷)

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. (مرجع: دائرةالمعارف ویکی‌پدیای انگلیسی)



با افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای در پوش سپهر، اثر گلخانه‌ای تشدید می‌شود و بدین ترتیب، دمای زمین افزایش می‌یابد. در چند دهه اخیر به دلیل فعالیت‌های مختلف صنعتی و افزایش آلاینده‌هایی مثل CO₂ در جو زمین، غلظت گازهای گلخانه‌ای در لایه پوش سپهر 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 جو زمین نیز وجود دارد.

در این فصل به یاد سپاری نام‌هایی چون قانون بویل، قانون شارل و... ضرورتی ندارد و نباید از دانش‌آموزان سؤال شود. تنها باید به رفتار گازها اشاره شود و دانش‌آموزان رشته ریاضی و فیزیک برای فصل ۵ آماده شوند.

از تابش گرمایی می‌توان به عنوان مبتنی برای اندازه‌گیری دمای اجسام استفاده کرد. به روش‌های اندازه‌گیری دما مبتنی بر تابش گرمایی، **تشنسجی**^۱ و به ابزارهای اندازه‌گیری دما به این روش، **تشنسج**^۲ می‌گویند. تشنسج بر خلاف سایر دماسنج‌ها بدون تماس با جسمی که می‌خواهیم دمای آن را اندازه بگیرد، دمای جسم و اندازه گرمی آن را می‌گیرد.

[illegible]

۲- قوانین افکار

یورپی‌ها از اعتقاد (اسیرها) نوشته شده است "از قرار داد اعتقاد در آتش خودداری می‌نمایند." و به‌دراغ از این موضوع گفتار افکار، جنبش افکار زیاده می‌نمود و شورش و آشوب در افکار به‌دراغ از این افزایش می‌یابد و این امر حتی موجب ترکین خود نموده، اگر در بعضی نوبت‌های استثنایی و توخالی، اعتقاد را با بریزیم و سپس با در طری خرمخانه و دور و نزدیک به‌دراغ از این اعتقاد، بعضی از اعتقاد می‌نمودند. پس از مدت مجالعه چند، نسبتاً ۱۷۴۰-۱۷۴۱ از این اعتقاد،



شکل ۱۴

پرسی گاز در فشار ثابت : تاکنون در مورد انبساط گرمایی مایع‌ها و مایع‌ها مطالعه‌ای را فراموش نکنیم. اما در مورد گازها چطور؟ آیا حجم گازها نیز متناسب با دما تغییر می‌کند؟ چون گازها به سادگی متراکم می‌شوند یا به فشار گاز نیز فکر کنیم. راک شاولی^۱ دانشمند فرانسوی (۱۸۲۳-۱۷۲۶ م) به‌طور تجربی دریافت که اگر فشار مقدار معینی از یک گاز، ثابت نگه داشته شود حجم آن مستقیماً با افزایش دما (در حسب کلوین) افزایش و با کاهش دما، کاهش می‌یابد. شکل ۱۴-۳. نوعی از آزمایش او و شکل ۱۴-۴. به نتیجه‌ای از آن آزمایش را نشان می‌دهد.

شکل ۱۴-۳: دمای و حجم مقدار دانی از گاز که در فشار ثابت نگه داشته شده است. دمای مقدار ۷۰ درجه ۳۰ برای یک گاز و دمای مقدار ۷۰ درجه ۳۰

شکل ۱۴-۴: دمای و حجم مقدار دانی از گاز که در فشار ثابت نگه داشته شده است. دمای مقدار ۷۰ درجه ۳۰ برای یک گاز و دمای مقدار ۷۰ درجه ۳۰

نتیجه این آزمایش را می‌توان به صورت زیر نوشت :

(۱۴-۳) (فشار و جرم ثابت)

در این رابطه V حجم گاز و T دمای گاز بر حسب کلوین است.

سر سرنگی را که پیستون آن آزادانه حرکت می‌کند به فشارسنج می‌نمید و آن را به طور افقی درون ظرف آبی می‌گذاریم و ظرف را با آزاری گرم می‌کنیم. توضیح دهید کدامیک از کشت‌های دما، حجم، فشار و مقدار هوای درون سرنج تغییر می‌کند و تغییر آنها چگونه است؟

مثال ۱۴-۳

در آزمایش، دمای مقدار معینی گاز اکسیژن را در فشار ثابت از 27°C به 87°C می‌رسانیم. اگر حجم گاز ابتدا 2.0 L باشد، حجم آن را در بالای آزمایش حساب کنید.

پاسخ : در این آزمایش، جرم و فشار گاز ثابت مانده است. پس بنا به رابطه ۱۴-۳ داریم :

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

با استفاده از داده‌های مثال، می‌دانیم :

$$T_1 = (27 + 273)\text{K} = 300\text{K} \quad V_1 = 2.0\text{L}$$

$$T_2 = (87 + 273)\text{K} = 360\text{K} \quad V_2 = ?$$

بنابراین

$$\frac{2.0}{300} = \frac{V_2}{360} \Rightarrow V_2 = \frac{2.0 \times 360}{300} = 2.4\text{L}$$

۱۴. Jacques Charles

توجه کنید که هدف از فعالیت ۱۵-۴، آزمودن رابطه ۱۴-۳ است.

پاسخ فعالیت ۱۵-۴

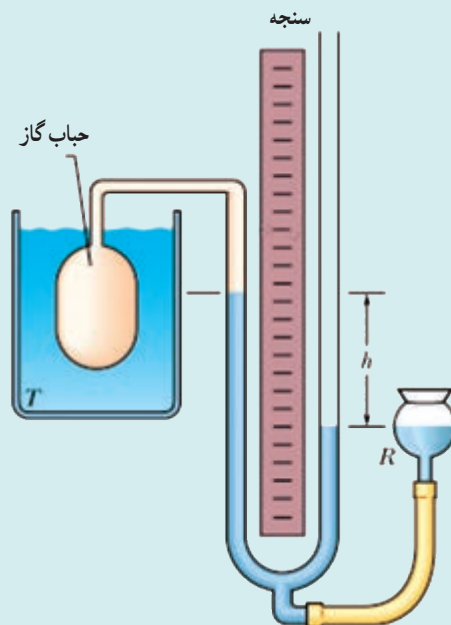
اگر اصطکاک پیستون سرنج با سیلندر آن کم باشد، پیستون هیچ اختلاف فشاری را برای هوای درون سرنج با آب بیرون سرنج تحمل نمی‌کند و همواره طوری جابه‌جا می‌شود و در وضعیتی قرار می‌گیرد که فشار هوای درون سرنج با فشار آب بیرون آن برابر باشد. چون در این آزمایش فشار آب بیرون سرنج تغییری نمی‌کند ($P = P_0 + \rho gh$)، برای یک پیستون کم‌اصطکاک، فشار هوای درون سرنج نیز ثابت می‌ماند. بنابراین در اینجا انبساط هوای درون سرنج 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.

دماسنج گازی حجم ثابت

مطابق شکل، این دماسنج شامل یک حباب پرشده از گاز است که توسط لوله‌ای به یک فشارسنج جیوه‌ای متصل شده است. با بالا و پایین بردن مخزن R، همواره می‌توان سطح جیوه را در شاخه سمت چپ لوله U شکل، در مقابل صفر خط کش نگه داشت تا حجم گاز ثابت باقی بماند. با تغییر دما، فشار گاز تغییر می‌کند. دما با فشار نسبت مستقیم دارد و نمودار دما بر حسب فشار خطی است. برای استاندارد کردن درجه بندی دماسنج، در یک توافق بین‌المللی، نقطه‌ای موسوم به نقطه سه گانه آب^۱ را به عنوان مرجع اندازه گیری دما انتخاب کرده‌اند. نقطه سه گانه آب، نقطه‌ای است که در آن سه فاز آب (آب مایع، یخ و بخار آب) در تعادل‌اند. به این نقطه دمای $273/16\text{ K}$ اختصاص داده‌اند.^۲ برای اندازه گیری دمای محیط، فشار گاز درون حباب را در این دما اندازه می‌گیرند و به آن دما و فشار به ترتیب، مقادیر T و P را اختصاص می‌دهند. به همین ترتیب، به دما و فشار گاز درون حباب در نقطه سه گانه آب به ترتیب، مقادیر T_{tr} و P_{tr} را اختصاص می‌دهند (توجه کنید P_{tr} آن فشاری نیست که برای رسیدن به نقطه سه گانه لازم است، بلکه فشار گاز درون حباب در نقطه سه گانه است). با توجه به خطی بودن رابطه فشار و دما داریم:

$$T = T_{tr} \left(\frac{P}{P_{tr}} \right) = (273/16\text{ K}) \left(\frac{P}{P_{tr}} \right)$$

یعنی با دانستن فشار گاز در دمای مورد نظر و در نقطه سه گانه آب، به راحتی می‌توان دمای مورد نظر را محاسبه کرد. اگر از گازهای مختلف در درون حباب استفاده کنیم، به مقادیر متفاوتی برای دمای مورد نظر می‌رسیم که البته فقط اندکی با هم تفاوت دارند. اما وقتی این گازها بسیار رقیق باشند نشان داده می‌شود که همگی به یک مقدار واحد برای دمای مورد نظر همگرا می‌شوند.



۱ – Triple Point of Water

۲ – دقت کنید که این دما همان دمای صفر درجه سلسیوس نیست و اندکی با آن متفاوت است.

توجه کنید هدف از فعالیت ۴-۱۶، آزمودن قوانین گازها و کاربرد آنها است. مسائلی مانند فاسد شدن محتوای قوطی‌ها و بسته‌ها مورد نظر نیست.

پاسخ فعالیت ۴-۱۶

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

رابطه $PV = nRT$ که برای گازهای کامل برقرار است، در گازهای واقعی که به اندازه کافی رقیق باشند به نتایج تقریبی قابل قبولی می‌انجامد. رابطه T, V, P و n در گازهای واقعی، مفصل تر و پیچیده‌تر از این رابطه برای گازهای کامل است.

مجله ۴-۱۷

دلفینی حباب‌ه‌وی را در زیر دریاهای تخریبی ایجاد می‌کند. فرض کنید آن حباب به سطح دریاه
م‌رسد و با رسیدن به سطح، حباب آن دو برابر می‌شود. عمقی که در آن حباب تشکیل شده است
چندتر و دوستانه‌تر است. حباب به سطح آب ۰.۱۸۹۲۹ می‌رسد. دمای آب دریاه در هم‌جا بسیار است
و فشار ه‌وی داخل حباب همان فشار آب پیرامون آن است.

باسم: با توجه به اینکه آب آن‌هم در دمای یکسان است، رخ می‌دهد از رابطه ۳-۴

برای ه‌وی دریاه درون حباب استفاده می‌کنیم:

ب در محل ایجاد آن و P_1 و

۱۶ به ترتیب، فشار و حجم آن در سطح دریاچه است. بنابراین:

$$P_1 = P_2 + \rho g h \quad , \quad P_1 = P_2 \quad , \quad V_1 =$$

$$(P_1 + \rho gh)V_1 = P_2(\sum V_2)$$

$$h = \frac{P_c}{\rho} = \frac{1.0 \times 10^5 \text{ Pa}}{1000 \text{ kg/m}^3}$$

PS $(1/10 \times 10^3 \text{ kg/m}^3)(9/10 \text{ N}$

بنابراین، دلقین در عمق $1/3$ m از سطح دریاچه، حباب را ایجاد کرده است.

فعاليات ١٦ - ٤

با وجود تلاش در جهت ثابت نگه داشتن فشار هوای درون هواپما، همواره مقدار آن کمتر از فشار هوای روی زمین است. وقتی هواپما بالا می‌رود و فشار هوا کم می‌شود، بسته‌های توپشویی با دسر باد می‌کنند و حتی گاهی درشان باژ می‌شود. با قرض ثابت بودن دما، این پدیده را توضیح دهید.

قانون آوگادرو: کمیت دیگری که در بررسی قوانین گازها باقی مانده است، جرم گاز و یا به طور معادل تعداد مول گاز است. آمدن آوگادرو^۱ (۱۷۷۴ تا ۱۸۵۶ م.) دانشمند ایتالیایی در سال ۱۸۱۱ میلادی بیان کرد که در دما و فشار یکسان، نسبت حجم گاز (V) به تعداد مول گاز (N) ثابت است:

$$\frac{V}{N} = \text{ثابت}$$

(دما و فشار یکسان)

در یک مول از گاز به تعداد 6.02×10^{23} (عدد آووگادرو) مولکول وجود دارد. بنابر این، $N = nN_A$ که در آن n تعداد مول و N_A همان عدد آووگادرو است. پس نتیجه می‌گیریم که رابطه بالا را می‌توانیم به صورت زیر بنویسیم:

ثابت $\frac{V}{n}$ (۴-۱۵) (دما و فشار یکسان)

Amedeo Avogadro

172

فصل ۱۰۰

قانون‌گذارهای آمرتانی (کامل): همه روابطی که برای گناهان یازدهم در مورد گناهانی به اعزاز کافی باشند، با چگالی آنها خود کافی کم باشد، با دقت خوبی برقرار است. به این گناه که موکلان آنها به حدی از کم دورند که بر هم تأثیر جنسی ندارند، گناهان آمرتانی (کامل) می‌گویند. در واقع این روابط برای گناهانی واقعی که چگالی بالایی دارند نتایج فیزیکی دارد. این روابط را می‌توانیم به شکل کلی موسوم به قانون گناهان آمرتانی به صورت زیر ترکیب کنیم:

این مقدار ثابت را با R نشان می‌دهند و به آن ثابت جهانی گازها می‌گویند. آزمایش نشان می‌دهد که مقدار R برابر است با

$$R = 8.314 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$$

بنابر این، قانون‌گازهای کامل را می‌توان چنین نوشت:

$$PV = nRT$$

که در آن P بر حسب پاسکال V ، بر حسب مترمکعب m^3 ، n بر حسب مول (mol) و T بر حسب کلوین (K) است. شکل ۴-۴ الف طرحی از یک دستگاه تحقیق قانون گازهای کامل و شکل ۴-۴ ب تصویری واقعی از این دستگاه را نشان می‌دهد.

The figure shows a schematic diagram of the experimental setup. It consists of a round-bottomed flask containing a reaction mixture, which is placed in a water bath. A thermometer is inserted into the flask to monitor the temperature. The flask is connected via a delivery tube to a gas syringe. Labels in Persian identify the components: 'تخلیه' (Delivery), 'محلول' (Solution), 'کاتالیزور' (Catalyst), 'درمان سرد' (Cold treatment), 'درمان گرم' (Warm treatment), 'ترمومتر' (Thermometer), 'سیلندر گاز' (Gas cylinder), 'بهره‌دهی' (Yield), 'برای تغییر سرعت' (For changing speed), 'مجموعه برای تغییر سرعت' (Set for changing speed), and 'تجهیزات' (Equipment).

شاید نوعی تعادل (القای طرحی از یک دستگاه، تحلیلی قانون‌گذاران کامل و بی‌تصویری واقعی از آن

1577

خوب است دبیران محترم، دانش‌آموزان را توجه کنند که وقتی قانون گازهای کامل را به صورت $PV = nRT$ به کار می‌بریم، با توجه به اینکه مقدار ثابت جهانی ثابت جهانی را برحسب یکاهای SI می‌دانیم ($R = 8.314 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$)، یکاهای همه کمیت‌های موجود در معادله باید یکاهای SI باشد. اما وقتی این قانون را به صورت $\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$ به کار می‌بریم، کافی است V_1 و V_2 در دو طرف معادله، هم یکا (مثلاً هر دو برحسب لیتر) باشند، همین‌طور کافی است P_1 و P_2 که فشار مطلق گاز (نه فشار پیمانه‌ای) هستند، هم یکا (مثلاً هر دو برحسب اتمسفر) باشند، ولی در مورد T_1 و T_2 لازم است بر حسب کلوین باشند و نمی‌توان T_1 و T_2 را برحسب درجه سلسیوس یا درجه فارنهایت گذاشت.

آدمز از دانشمندانی است که در زمینه گازها و مایعات تحقیقات زیادی انجام داده است. او در سال ۱۸۸۱ میلادی به این نتیجه رسید که برای گازهای واقعی، قانون گازهای کامل را می‌توان به صورت زیر ترکیب کرد:

این معادله را با R نشان می‌دهد و به آن ثابت جهانی گازها می‌گویند. آزمایش نشان می‌دهد که مقدار R برابر است با:

$$R = 8.314 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$$

بنابراین، قانون گازهای کامل را می‌توان چنین نوشت:

$$PV = nRT \quad (14-2)$$

که در آن P بر حسب پاسکال (Pa)، V بر حسب مترمکعب (m^3)، n بر حسب مول (mol) و T بر حسب کلوین (K) است. شکل ۱۴-۲ الف: طرحی از یک دستگاه تحقیق قانون گازهای کامل و شکل ۱۴-۲ ب: تصویری واقعی از این دستگاه را نشان می‌دهد.



شکل ۱۴-۲ الف: طرحی از یک دستگاه تحقیق قانون گازهای کامل و ب: تصویری واقعی از 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: گاهی اوقات به غلط تصور می‌شود که چون ضمن سوختن شمع، اکسیژن هوای درون استوانه شیشه‌ای می‌سوزد، مقدار گاز درون استوانه شیشه‌ای کم می‌شود، فشار گاز درون استوانه کاهش می‌یابد و در نتیجه این اتفاق می‌افتد. اما باید توجه کرد که کاهش مقدار گاز موجود در ظرف، در نتیجه کاهش گاز O_2 (که البته تا حدودی نیز با اضافه شدن گازهای حاصل از سوختن شمع جبران می‌شود)، جزئی‌تر از آن است که سبب این تغییر حجم زیاد هوای درون ظرف شیشه‌ای شود. علت اصلی، گرم شدن هوای درون استوانه و سپس سرد شدن دوباره آن است. می‌توان بدون شمع شعله‌ور نیز این آزمایش را انجام داد. می‌توانید ظرف شیشه‌ای را با آب جوش بشوید و خوب گرم کنید و سپس همین آزمایش را انجام دهید.

اگر به جای شمع از یک تکه پنبه آغشته به الکل که مدت زیادتری می‌سوزد و هوای درون استوانه را بیشتر گرم می‌کند استفاده کنیم، آن وقت آب تقریباً تا وسط ظرف شیشه‌ای بالا می‌رود، در صورتی که می‌دانیم اکسیژن فقط در حدود $\frac{1}{5}$ حجم هوا را تشکیل می‌دهد و بنابراین، چنین کاهش حجمی نمی‌تواند مربوط به کاهش گاز O_2 درون استوانه شیشه‌ای باشد.

آنچه در این پدیده رخ می‌دهد، این است که شمع شعله‌ور، هوای داخل استوانه شیشه‌ای را گرم می‌کند، فشار این هوا افزایش می‌یابد و در نتیجه مقداری از هوای داخل استوانه شیشه‌ای از زیر آن خارج می‌شود. وقتی شمع خاموش می‌شود، هوای داخل استوانه از نو سرد و ضمن سرد شدن فشارش کم می‌شود و بر اثر فشار بیشتر هوای بیرون استوانه شیشه‌ای، آب از بشقاب به زیر استوانه و سپس به داخل آن می‌رود.

فعالیت پیشنهادی

بادکنکی را باد کنید و درون فریزر قرار دهید. پس از آنکه بادکنک به خوبی 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 مدت زمان پس از بیرون آمدن از فریزر بحث کنید. ب) می‌توانید فیلم‌های اجرای این آزمایش را جست‌وجو کنید و ببینید. به این منظور عبارت «بیرون آوردن بادکنک مچاله شده از ظرف نیتروژن مایع» را در اینترنت جست‌وجو کنید. در این فیلم‌ها، تجربه‌ای را می‌بینید که بخشی از آن، همان 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 بماند، طبق قانون گازهای کامل، فشار هوای درون بادکنک زیاد می‌شود. ولی به دلیل کشسان بودن پوسته بادکنک، آنچه در اینجا رخ می‌دهد، متفاوت است. تغییر فشار هوای درون بادکنک با تغییر حجم بادکنک رفتار خاصی دارد که می‌ارزد مستقلاً مطالعه و تجربه شود. (فعالیت پیشنهادی بعدی) آنچه در اینجا انتظار داریم این است که بنا به معادله $PV = nRT$ با افزایش دمای T ی هوای درون بادکنک، حاصل ضرب PV این هوا نیز زیاد شود. افزایش حجم V ی هوا را در این تجربه مشاهده می‌کنیم. رفتار فشار P ی هوا نیز در اینجا طوری است که به هر حال حاصل ضرب PV زیاد می‌شود.

ب) در این فیلم‌ها، بادکنک مچاله شده‌ای را می‌بینید که از ظرف نیتروژن مایع بیرون آورده می‌شود و با این که دهانه بادکنک کاملاً بسته است در هوای اتاق خودبه‌خود باد می‌شود. در لحظات اولیه 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 اندازه کافی رقیق شود تا بتوان قانون گازهای کامل را برای آن به کار برد. در این مدت، معادله $\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$ برای هوای درون بادکنک برقرار نیست. پس از آنکه هوای درون بادکنک به اندازه کافی رقیق شد، همان توضیحات قسمت الف درست است.

فعالیت پیشنهادی

چگونگی تغییر فشار هوای محبوس در بادکنک، با بادکردن بیشتر بادکنک و افزایش حجم آن تجربه باد کردن یک بادکنک را بیشتر ما داریم. اولین لحظاتی که یک بادکنک را باد می‌کنیم، به گونه‌هایمان، فضای داخل دهان و دستگاه تنفسی مان فشار زیادی وارد می‌شود. ولی پس از چند بار فوت کردن (دمیدن هوا) درون بادکنک، ادامه کار راحت می‌شود. با بیشتر شدن هوای درون بادکنک و حجم آن، فشار هوای درون بادکنک کمتر می‌شود. بعضی وقت‌ها، اگر دانش‌آموز درس گرما و ترمودینامیک، متوجه این تجربه عمومی نباشد و مورد این پرسش قرار گیرد که «با باد کردن هرچه بیشتر یک بادکنک، کمیت‌های فشار و حجم هوای درون بادکنک چه تغییری می‌کنند، این پاسخ غلط را می‌دهد که هر دو زیاد می‌شوند. تجربه معروف زیر نیز تا حدودی روشن‌گر این پدیده است.

دو بادکنک کاملاً مشابه و هم‌اندازه و یک یا دو قطعه نی پلاستیکی که بتواند دهانه‌های دو بادکنک را برای جابه‌جا شدن هوا از یک بادکنک به دیگری، به هم وصل کند، فراهم کنید. یکی از بادکنک‌ها را کمتر و بادکنک دیگر را بیشتر باد کنید، طوری که تفاوت بزرگی دو بادکنک کاملاً دیده شود. به وسیله یک یا دو قطعه نی، دهانه‌های دو بادکنک باد شده را به هم وصل کنید. اینک نخ‌هایی را که دهانه‌های بادکنک‌ها را مسدود کرده باز کنید تا هوا بتواند از یک بادکنک به دیگری برود.

هوا از کدام بادکنک به دیگری می‌رود؟ فشار هوا، قبل از به هم وصل شدن بادکنک‌ها در کدام بادکنک بیشتر بوده است؟ به نظر شما و با توجه به این تجربه، پس از آنکه بادکنکی را کمی باد می‌کنیم و پوسته آن کمی کشیده می‌شود، با بیشتر باد کردن بادکنک، فشار هوای درون آن بیشتر می‌شود یا کمتر؟ با جستجوی عبارت «به هم وصل کردن بادکنک‌های کوچک و بزرگ (کم باد و پر باد)» می‌توانید فیلم‌های انجام عملی این تجربه را ببینید.

تمرین‌های پیشنهادی بخش ۴-۶

۱ طرفی با تیغه‌هایی به سه بخش با حجم‌های V_1 ، V_r و V_r تقسیم شده است. این بخش‌ها شامل گازهای رقیقی در فشارهای P_1 ، P_r و P_r هستند. پس از برداشتن تیغه‌ها، اگر دما تغییر نکند، فشار داخل ظرف چقدر می‌شود؟
پاسخ: $(P_1 V_1 + P_r V_r + P_r V_r) / (V_1 + V_r + V_r)$

۲ در مخزنی به حجم 1000 cm^3 ، گاز اکسیژن در دمای 20°C و فشار $1 \times 10^5 \text{ Pa}$ وجود دارد. تعداد مول‌های گاز موجود در مخزن چقدر است؟
پاسخ: $4/15 \times 10^{-2} \text{ mol}$

۳ بهترین خلأ آزمایشگاهی، فشاری در حدود $1 \times 10^{-13} \text{ Pa}$ دارد. در دمای 293 K ، چند مولکول گاز در هر سانتی‌متر مکعب از چنین خلأی وجود دارد؟
پاسخ: ۲۵ مولکول

۴ لاستیک اتومبیل به حجم $۱/۶۴ \times ۱۰^{-۲} \text{m}^3$ در دمای $۰/۰^{\circ}\text{C}$ از هوا پر شده است و فشار آن ۲۶۶kPa است. وقتی هوای داخل لاستیک به دمای $۲۷/۰^{\circ}\text{C}$ و حجم لاستیک به $۱/۶۷ \times ۱۰^{-۲} \text{m}^3$ برسد، الف) فشار داخل لاستیک چقدر می‌شود؟ ب) اگر فشار هوای محیط $۱/۰۱ \times ۱۰^۵ \text{Pa}$ باشد، فشارسنج چه فشاری (فشار پیمانه‌ای) را نشان می‌دهد؟

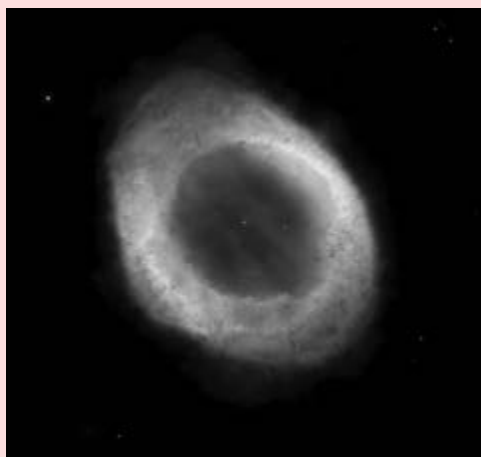
پاسخ : الف) ۲۸۷kPa

ب) ۱۸۶kPa

۵ سحابی سیاره‌ای، ابری است حلقوی که عمدتاً از گاز هیدروژن با غلظت ۱۰۰۰ مولکول بر سانتی متر مکعب و دمای ۱۰۰۰۰K تشکیل شده است. فشار گاز این سحابی چقدر است؟

(راهنمایی : از رابطه $P = nRT/V$ استفاده کنید و در آن به جای n از $n = N/N_A$ جای گذاری کنید.)

پاسخ : $۱/۳۸ \times ۱۰^{-۱} \text{Pa}$



۶ گازی با دمای ۸۰۰K و فشار $۱/۰ \text{atm}$ در ظرفی به حجم $۱/۰ \text{L}$ محبوس است. گاز را به حجم $۰/۵ \text{L}$ و فشار $۰/۵ \text{atm}$ می‌رسانیم. دمای گاز برحسب کلون چقدر می‌شود؟

الف) ۸۰۰K

ب) ۶۰۰K

پ) ۴۰۰K

ت) ۲۰۰K

پاسخ : (ت)

راهنمای پرسشی ها و مسئله های فصل ۴

در فصل اول کتاب درسی فیزیک ۱، در خوب است بدانید «رقم های با معنا» گفتیم، در مورد عددهایی مانند ۶۰۰ یا ۶۰۰۰ و از این قبیل که به صفر ختم می شوند، این صفرها می توانند با معنا باشند یا نباشند. همین طور گفتیم در این کتاب، به منظور سادگی، و همخوان با کتاب مرجع مبانی فیزیک (هالیدی - رزیک - واکر) تمام صفرهای سمت راست اعداد را با معنا فرض می کنیم. مثلاً در $\theta = ۸۰^\circ \text{K}$ سه رقم با معنا و در $V = ۲^\circ \text{L}$ دو رقم با معنا فرض کرده ایم.

۱

الف)

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

$$F = [(-273/15)(\frac{9}{5}) + 32/0.0]^\circ \text{F} = -459/67^\circ \text{F} \approx -460^\circ \text{F}$$

ب)

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

$$F = [(0/15)(\frac{9}{5}) + 32/0.0]^\circ \text{F} = +31/73^\circ \text{F} \approx 32^\circ \text{F}$$

پ)

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

$$F = [(99/85)(\frac{9}{5}) + 32/0.0]^\circ \text{F} = 211/73^\circ \text{F} \approx +212^\circ \text{F}$$

ت)

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

$$F = [(272/85)(\frac{9}{5}) + 32/0.0]^\circ \text{F} = 523/13^\circ \text{F} \approx 523^\circ \text{F}$$

۲ اگر دماسنج، جیوه ای یا الکلی باشد باید دما را از روبه رو بخوانیم تا اختلاف منظر یا خطای مشاهده نداشته باشیم (به فصل ۱ کتاب درسی فیزیک ۱ نگاه کنید). همچنین پس از قرار دادن دماسنج در کنار جسمی که قصد اندازه گرفتن دمای آن را داریم باید مدت زمان کافی صبر کنیم تا دماسنج با جسم مورد نظر هم دما شود. خوب است اندازه گیری را چند بار تکرار کنیم و البته باید از دماسنج مناسبی برای گستره دمایی و نیز دقت مورد نظر استفاده کنیم.

۳ طول خط کش، فاصله میان خط های نشانه و قطر سوراخ دایره ای روی خط کش، هر سه بزرگ شده اند. لازم به ذکر است که این تغییر طول ها غالباً آن قدر ناچیز است که صدمه ای به درستی اندازه گیری طول با یک خط کش معمولی نمی زند.

۴ الف) ۲ و ۳ یکسان، سپس ۱، سپس ۴.

ب) ۳، سپس ۲، سپس ۱ و ۴ که افزایش مساحت یکسان پیدا می کنند.

پ) همه یکسان.

۱-۴ دما و دما سنجی

۱ دمای روز را بر حسب درجه سلسیوس و فارنهایت مشخص کنید:

الف) 37°K ب) 273°K ج) 546°K

۲ برای اندازه گیری دمای یک جسم توسط دماسنج به چه نکاتی باید توجه کنید؟ (راهنمایی: به نکاتی که در فصل ۱ خواندید نیز توجه کنید)

۳-۴ المساحت گرمایی

۱ شکل زیر یک خط کش قری را که در آن سوراخی ایجاد شده است در دو دمای متفاوت نشان می دهد. برای روشن بودن مطلب، اشیاء به صورت افراق آمیزی رسم شده است. از این شکل چه نتیجه ای می گیرید؟

۲ شکل زیر چهار صفحه قری همجنس به اضلاع متفاوت را در یک دما نشان می دهد. اگر دمای همه آنها را به اندازه یکسان زیاد کنیم،

الف) ارتفاع کدام صفحه با صفحه ها بیشتر افزایش پیدا می کند؟
ب) مساحت کدام یک بیشتر افزایش پیدا می کند؟
ج) اگر در هر چهار تایی آنها روزنه کوچک هم اندازه ای وجود داشته باشد، افزایش قطر چهار روزنه در اثر افزایش دمای یکسان را با هم مقایسه کنید.

۵ طول خط های لوله گاز، نفت و فرآورده های نفتی در کشورمان که صدها کیلومتر طول دارند، به دلیل تغییر دما در طول روز و فصل به قدری تغییر می کند که باید در محاسبات مساحت و وزن آن ها به این تغییر دما توجه داشت. در زمستان مساحت آن ها تا 10°C و در تابستان تا 50°C در مساحت آن ها تغییر می کند. در صورتی که این لوله ها عموماً از فولاد یا 10°K تا 100°K است. طول لوله، بین دو ایستگاه تهران - اصفهان تقریباً 230 km است.

۶ دمای ترین در معرخی استوای به ارتفاع $h=1 \text{ m}$ ریخته شده است. در دمای 10°C فاصله بین سطح ترین تا لای طرف و $AA=5 \text{ cm}$ است. اگر از اشیاء طرف در نتیجه افزایش دما جنوبی شود، در دمای ترین از طرف سوز می شود؟

۷ در شکل زیر با افزایش دما، توار دوقطره به طرف پایین خم می شود. اگر یکی از توارها، برجی و توار دیگر فولادی باشد، اشیاء توارهایی از چه جنسی است؟
ب) اگر توارها را سرد کنیم به کدام سمت خم می شوند.

۸ طول خط های لوله گاز، نفت و فرآورده های نفتی در کشورمان که صدها کیلومتر طول دارند، به دلیل تغییر دما در طول روز و فصل به قدری تغییر می کند که باید در محاسبات مساحت و وزن آن ها به این تغییر دما توجه داشت. در زمستان مساحت آن ها تا 10°C و در تابستان تا 50°C در مساحت آن ها تغییر می کند. در صورتی که این لوله ها عموماً از فولاد یا 10°K تا 100°K است. طول لوله، بین دو ایستگاه تهران - اصفهان تقریباً 230 km است.

۸ با افزایش دما، نوار برنجی افزایش طول بیشتری پیدا می‌کند، چون ضریب انبساط طولی برنج بیشتر از فولاد است. بنابراین، نوار دو فلزه طوری خم می‌شود که نوار برنجی (با طول بیشتر)، قوس بیرونی باشد. با کاهش دما، نوار برنجی کاهش طول بیشتری از نوار فولادی می‌یابد و بنابراین قوس با طول کمتر یعنی قوس داخل را می‌سازد.

۹ الف

$$\Delta L = \alpha L_1 \Delta T = (1 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1})(2/3 \times 10^5 \text{ m})(6^\circ \text{ K})$$

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

ب) معمولاً در بخش‌هایی از این خط لوله، مانند شکل، لوله‌ها را به صورت U شکل در می‌آوردند که امکان تغییر طول لوله با تغییر زاویه گوشه‌های U ایجاد شود، و از تاب برداشتن لوله جلوگیری شود. همچنین (به‌خصوص در مورد ریل‌های راه‌آهن) این لوله‌ها (ریل‌ها) را زمانی می‌سازند که دما حدوداً برابر با نصف میانگین مقدارهای بیشینه و کمینه سالیانه‌اش است که با این چاره‌اندیشی، بیشترین تغییر دما و بیشترین تغییر طول لوله‌ها (ریل‌ها) (از دما و طول هنگام ساختن لوله‌ها یا ریل‌ها) تا حدود نصف کاهش می‌یابد.

الف) در اثر این اختلاف دما، این خط جفت‌رست می‌شود؛
ب) چگونگی می‌توان تأثیر این انبساط را بر طول کرد؟
۱) در یک روز گرم، یک کامیون حمل سوخت، ۳۰۰۰۰ L سوخت بترن بارگیری می‌کند. دمای هوا در محل تحویل سوخت ۲۰/۰°C کمتر از محلی است که در آنجا کامیون بارگیری کرده است. راننده چند لیتر سوخت را در این محل تحویل می‌دهد؟
۲) گرمای گرم ۲۰۰ g آب جهت تهیه چای، از یک گرمکن الکتریکی غوطه‌ور در آب استفاده می‌کنیم. روی رنجبند گرمکن ۲۰۰ W نوشته شده است. با نادیده گرفتن اختلاف گرمای زمان لازم برای رساندن دمای آب از ۳۰/۰°C به ۱۰۰/۰°C را محاسبه کنید.
۳) برای گرم کردن ۲۰۰ g آب جهت تهیه چای، از یک گرمکن الکتریکی غوطه‌ور در آب استفاده می‌کنیم. روی رنجبند گرمکن ۲۰۰ W نوشته شده است. با نادیده گرفتن اختلاف گرمای زمان لازم برای رساندن دمای آب از ۳۰/۰°C به ۱۰۰/۰°C را محاسبه کنید.
۴) دمای یک قطعه فلز ۲۰۰ کیلوگرمی را توسط یک گرمکن ۵۰ وات در مدت ۱۱/۱۵ از ۱۸°C به ۲۸°C رساندیم. این آزمایش برای گرمای ویژه فلز چه مقداری را به دست می‌دهد؟
۵) گرمکنی به جرم ۲۰۰ گرم از مس ساخته شده است. یک قطعه ۸۰ گرمی از یک ماده نامعلوم همراه با ۵۰ گرم آب به درون گرمکن ریخته می‌شود. اکنون دمای این مجموعه ۳۰°C شده است. در این هنگام ۱۰۰ گرم آب ۷۰°C به گرمکن اضافه می‌شود. دمای محلول ۵۴°C می‌شود. گرمای ویژه قطعه را محاسبه کنید.
۶) یک از روش‌های پالایند دمای یک جسم، دادن گرما به آن است. اگر به جسمی گرما دهیم، آیا دمای آن حتماً بالا می‌رود؟ توضیح دهید.
۷) فلز از تزریق دارو یا سرم به یک بیمار، محل تزریق را با شکل نمایی می‌کنند. این کار سبب احساس خنکی در محل تزریق می‌شود. علت را توضیح دهید.
۸) کدام گزینه درباره فرایند ذوب نادرست است؟
۹) الف) افزایش فشار و دما بر جسم در بیشتر مواد، سبب پایین رفتن نقطه ذوب می‌شود.
ب) افزایش فشار و دما، سبب کاهش اندک نقطه ذوب آن می‌شود.
ج) افزایش دمای نقطه ذوب، سبب تغییر دمای آن نمی‌شود.
د) گرمای که جسم جامد حاصل و باورن در نقطه ذوب خود می‌گیرد تا به مایع تبدیل شود، سبب تغییر دمای آن نمی‌شود.
۱۰) گرمای لازم برای ذوب کامل ۲۰۰ گرم که در آغاز در دمای ۲۰/۰°C قرار دارد چقدر است؟ (فشار هوا را یک استفسار فرض کنید)
۱۱) یک را برای جوشاندن از سرد شدن بیش از حد یک سالن سرشته در سبب هنگام، وقتی که دمای زیر صفر بیشینه شده است. قرار دادن تشت بزرگ و از آب در سالن است. اگر جرم آب درون تشت ۱۵ kg و دمای اولیه آن ۲۰/۰°C باشد و همه آن به یخ ۰°C تبدیل شود، آب چقدر گرما به محیط پیرامونش می‌دهد؟ اگر بخواهیم به جای این تشت آب از یک بخاری برقی ۲۰۰۰ وات استفاده کنیم، بخاری چند ساعت باید روشن باشد تا همان قدر گرما به سالن بدهد؟
۱۲) یک گرمکن ۵۰ وات به طور کامل در ۱۰۰ گرم آب درون یک گرمکن قرار داده می‌شود.
۱۳) الف) در مدت در مدت دقیقه دمای آب و گرمکنش از ۲۰°C به ۲۵°C می‌رسد. ظرف گرمای گرمکنش را حساب کنید.
ب) چه مدت طول می‌کشد تا دمای آب درون گرمکنش از ۲۵°C به نقطه جوش (۱۰۰°C) برسد؟
ج) چه مدت طول می‌کشد تا ۲۰ گرم آب در حال جوش درون این گرمکنش به بخار تبدیل شود؟



۱۲۵

$$\Delta V = \beta V_1 \Delta \theta$$

$$\Rightarrow V_f = V_i (1 + \beta \Delta \theta)$$

$$= (3000 \text{ L})(1 + (1/100 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1})(-20/^\circ \text{ K}))$$

$$= 2940 \text{ L} \approx 2/94 \times 10^4 \text{ L}$$

$$P \Delta t = mc \Delta \theta$$

$$(200 \text{ J/s})(\Delta t) = (2/100 \text{ kg})(418 \text{ J/kg} \cdot ^\circ \text{ C})(7^\circ \text{ C})$$

$$\Rightarrow \Delta t = 293/09 \text{ s} \approx 2/93 \times 10^2 \text{ s}$$

$$P \Delta t = mc \Delta \theta$$

$$\Rightarrow c = \frac{P \Delta t}{m \Delta \theta} = \frac{(50 \text{ J/s})(11 \text{ s})}{(0/6 \text{ kg})(38 - 18)^\circ \text{ C}}$$

$$= 458 \text{ J/kg} \cdot ^\circ \text{ C} \approx 4/6 \times 10^2 \text{ J/kg} \cdot ^\circ \text{ C}$$

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

۱۱ با توجه به اینکه $Q = P \Delta t$ است داریم:

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

تأکید «کمترین گرمای لازم» در متن سؤال، یکی به این دلیل است که معمولاً در فرایند گرما دادن به یک جسم، همه گرمایی که مثلاً به وسیله اجاق می‌دهیم به جسم موردنظر نمی‌رسد بلکه بخشی از گرمایی که اجاق می‌دهد به ظرف حاوی جسم موردنظر یا هوای اطراف آن داده می‌شود. دلیل دیگر آن است که می‌توان در فرایند ذوب کردن، دمای نقره مذاب را به بیش از دمای 960°C که نقطه ذوب نقره در فشار ۱ atm، است رساند که در این صورت گرمای بیشتری نیاز است. در ضمن خوب است به این نکته توجه کنیم که برای پاسخ دادن به سؤال، از گرمای ویژه نقره در دمای 20°C استفاده کردیم که نوعی خطای ذاتی در مدل ریاضی حل مسئله را سبب می‌شود. گرمای ویژه اجسام، با تغییر دمای آنها تغییر می‌کند.

۱۸ برای یخ زدن کامل، مجموعاً دو فرایند صورت می‌گیرد. نخست آب 20°C به آب 0°C تبدیل می‌شود و سپس در دمای صفر درجه یخ می‌زند. پس کل گرمایی که آب از دست می‌دهد برابر است با

$$Q = mc_{\text{آب}} |\Delta\theta| + mL_f$$

$$= (150 \text{ kg})(4187 \text{ J/kg} \cdot \text{K})(20^{\circ}\text{C}) + (150 \text{ kg})(333 \times 10^3 \text{ J/kg})$$

$$= 6/26 \times 10^7 \text{ J}$$

خوب است بدانید این گرما، تقریباً برابر گرمایی است که یک بخاری برقی 2000 واتی در مدت ۸ ساعت روشن بودنش می‌دهد. یعنی وجود این ظرف آب در فضای داخل اتاق، شبیه وجود یک بخاری برقی روشن 2000 واتی، در مدت زمان ۸ ساعت، در فضای داخل اتاق است.

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

$$P\Delta t = Q = Q_{\text{آب}} + Q_{\text{ظرف}}$$

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

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

الف) با استفاده از این رابطه داریم:

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

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

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

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

$$= \frac{[(0/100 \text{ kg})(4187 \text{ J/kg} \cdot ^{\circ}\text{C}) + 181/3 \text{ J/}^{\circ}\text{C}](75^{\circ}\text{C})}{50 \text{ J/s}}$$

$$= 9/0 \times 10^2 \text{ s} = 15 \text{ min}$$

الف) در اثر این اختلاف دما، این خط جقدر منبسط می‌شود؟
ب) چگایی می‌تواند این انبساط را برطرف کرد؟
۱) در یک روز گرم، یک کامیون حمل سوخت، 30000 L بنزین پارکری می‌کند. دمای هوا در محل تحویل سوخت 20°C کمتر از محلی است که در آنجا کامیون پارکری کرده است. راننده چند لیتر سوخت را در این محل تحویل می‌دهد؟
۲) ۳۰۴
۳) برای گرم کردن 200 g آب جهت تهیه چای، از یک گرمکن الکتریکی مجهز به در آب استفاده می‌کنیم. روی رنجب گرمکن 200 W نوشته شده است. با بایده گرفتن اختلاف گرما، زمان لازم برای رساندن دمای آب از 30°C به 100°C را محاسبه کنید.
۴) دمای یک قطعه فلز 40°C کیلوگرمی را توسط یک گرمکن 50 واتی در مدت $11/15$ از 18°C به 28°C رساندیم. این آزمایش برای گرمای ویژه فلز چه مقداری را به دست می‌دهد؟
۵) حدس می‌زنید که این پاسخ از مقدار واقعی ویژه فلز بیشتر باشد یا کمتر؟ توضیح دهید.
۶) گرماسنجی به جرم 200 گرم از مس ساخته شده است. یک قطعه 80 گرمی از یک ماده نامعلوم همراه با 50 گرم آب به درون گرماسنج ریخته می‌شود. اکنون دمای این مجموعه 30°C شده است. در این هنگام 100 گرم آب 70°C به گرماسنج اضافه می‌شود. دمای تعادل 50°C می‌شود. گرمای ویژه قطعه را محاسبه کنید.
۷) ۴-۳-۲-۱-۰
۸-۷-۶-۵-۴-۳-۲-۱-۰
۹-۸-۷-۶-۵-۴-۳-۲-۱-۰
۱۰-۹-۸-۷-۶-۵-۴-۳-۲-۱-۰
۱۱-۱۰-۹-۸-۷-۶-۵-۴-۳-۲-۱-۰
۱۲-۱۱-۱۰-۹-۸-۷-۶-۵-۴-۳-۲-۱-۰
۱۳-۱۲-۱۱-۱۰-۹-۸-۷-۶-۵-۴-۳-۲-۱-۰
۱۴-۱۳-۱۲-۱۱-۱۰-۹-۸-۷-۶-۵-۴-۳-۲-۱-۰
۱۵-۱۴-۱۳-۱۲-۱۱-۱۰-۹-۸-۷-۶-۵-۴-۳-۲-۱-۰
۱۶-۱۵-۱۴-۱۳-۱۲-۱۱-۱۰-۹-۸-۷-۶-۵-۴-۳-۲-۱-۰
۱۷-۱۶-۱۵-۱۴-۱۳-۱۲-۱۱-۱۰-۹-۸-۷-۶-۵-۴-۳-۲-۱-۰
۱۸-۱۷-۱۶-۱۵-۱۴-۱۳-۱۲-۱۱-۱۰-۹-۸-۷-۶-۵-۴-۳-۲-۱-۰
۱۹-۱۸-۱۷-۱۶-۱۵-۱۴-۱۳-۱۲-۱۱-۱۰-۹-۸-۷-۶-۵-۴-۳-۲-۱-۰
۲۰-۱۹-۱۸-۱۷-۱۶-۱۵-۱۴-۱۳-۱۲-۱۱-۱۰-۹-۸-۷-۶-۵-۴-۳-۲-۱-۰
۲۱-۲۰-۱۹-۱۸-۱۷-۱۶-۱۵-۱۴-۱۳-۱۲-۱۱-۱۰-۹-۸-۷-۶-۵-۴-۳-۲-۱-۰
۲۲-۲۱-۲۰-۱۹-۱۸-۱۷-۱۶-۱۵-۱۴-۱۳-۱۲-۱۱-۱۰-۹-۸-۷-۶-۵-۴-۳-۲-۱-۰
۲۳-۲۲-۲۱-۲۰-۱۹-۱۸-۱۷-۱۶-۱۵-۱۴-۱۳-۱۲-۱۱-۱۰-۹-۸-۷-۶-۵-۴-۳-۲-۱-۰
۲۴-۲۳-۲۲-۲۱-۲۰-۱۹-۱۸-۱۷-۱۶-۱۵-۱۴-۱۳-۱۲-۱۱-۱۰-۹-۸-۷-۶-۵-۴-۳-۲-۱-۰
۲۵-۲۴-۲۳-۲۲-۲۱-۲۰-۱۹-۱۸-۱۷-۱۶-۱۵-۱۴-۱۳-۱۲-۱۱-۱۰-۹-۸-۷-۶-۵-۴-۳-۲-۱-۰
۲۶-۲۵-۲۴-۲۳-۲۲-۲۱-۲۰-۱۹-۱۸-۱۷-۱۶-۱۵-۱۴-۱۳-۱۲-۱۱-۱۰-۹-۸-۷-۶-۵-۴-۳-۲-۱-۰
۲۷-۲۶-۲۵-۲۴-۲۳-۲۲-۲۱-۲۰-۱۹-۱۸-۱۷-۱۶-۱۵-۱۴-۱۳-۱۲-۱۱-۱۰-۹-۸-۷-۶-۵-۴-۳-۲-۱-۰
۲۸-۲۷-۲۶-۲۵-۲۴-۲۳-۲۲-۲۱-۲۰-۱۹-۱۸-۱۷-۱۶-۱۵-۱۴-۱۳-۱۲-۱۱-۱۰-۹-۸-۷-۶-۵-۴-۳-۲-۱-۰
۲۹-۲۸-۲۷-۲۶-۲۵-۲۴-۲۳-۲۲-۲۱-۲۰-۱۹-۱۸-۱۷-۱۶-۱۵-۱۴-۱۳-۱۲-۱۱-۱۰-۹-۸-۷-۶-۵-۴-۳-۲-۱-۰
۳۰-۲۹-۲۸-۲۷-۲۶-۲۵-۲۴-۲۳-۲۲-۲۱-۲۰-۱۹-۱۸-۱۷-۱۶-۱۵-۱۴-۱۳-۱۲-۱۱-۱۰-۹-۸-۷-۶-۵-۴-۳-۲-۱-۰
۳۱-۳۰-۲۹-۲۸-۲۷-۲۶-۲۵-۲۴-۲۳-۲۲-۲۱-۲۰-۱۹-۱۸-۱۷-۱۶-۱۵-۱۴-۱۳-۱۲-۱۱-۱۰-۹-۸-۷-۶-۵-۴-۳-۲-۱-۰
۳۲-۳۱-۳۰-۲۹-۲۸-۲۷-۲۶-۲۵-۲۴-۲۳-۲۲-۲۱-۲۰-۱۹-۱۸-۱۷-۱۶-۱۵-۱۴-۱۳-۱۲-۱۱-۱۰-۹-۸-۷-۶-۵-۴-۳-۲-۱-۰
۳۳-۳۲-۳۱-۳۰-۲۹-۲۸-۲۷-۲۶-۲۵-۲۴-۲۳-۲۲-۲۱-۲۰-۱۹-۱۸-۱۷-۱۶-۱۵-۱۴-۱۳-۱۲-۱۱-۱۰-۹-۸-۷-۶-۵-۴-۳-۲-۱-۰
۳۴-۳۳-۳۲-۳۱-۳۰-۲۹-۲۸-۲۷-۲۶-۲۵-۲۴-۲۳-۲۲-۲۱-۲۰-۱۹-۱۸-۱۷-۱۶-۱۵-۱۴-۱۳-۱۲-۱۱-۱۰-۹-۸-۷-۶-۵-۴-۳-۲-۱-۰
۳۵-۳۴-۳۳-۳۲-۳۱-۳۰-۲۹-۲۸-۲۷-۲۶-۲۵-۲۴-۲۳-۲۲-۲۱-۲۰-۱۹-۱۸-۱۷-۱۶-۱۵-۱۴-۱۳-۱۲-۱۱-۱۰-۹-۸-۷-۶-۵-۴-۳-۲-۱-۰
۳۶-۳۵-۳۴-۳۳-۳۲-۳۱-۳۰-۲۹-۲۸-۲۷-۲۶-۲۵-۲۴-۲۳-۲۲-۲۱-۲۰-۱۹-۱۸-۱۷-۱۶-۱۵-۱۴-۱۳-۱۲-۱۱-۱۰-۹-۸-۷-۶-۵-۴-۳-۲-۱-۰
۳۷-۳۶-۳۵-۳۴-۳۳-۳۲-۳۱-۳۰-۲۹-۲۸-۲۷-۲۶-۲۵-۲۴-۲۳-۲۲-۲۱-۲۰-۱۹-۱۸-۱۷-۱۶-۱۵-۱۴-۱۳-۱۲-۱۱-۱۰-۹-۸-۷-۶-۵-۴-۳-۲-۱-۰
۳۸-۳۷-۳۶-۳۵-۳۴-۳۳-۳۲-۳۱-۳۰-۲۹-۲۸-۲۷-۲۶-۲۵-۲۴-۲۳-۲۲-۲۱-۲۰-۱۹-۱۸-۱۷-۱۶-۱۵-۱۴-۱۳-۱۲-۱۱-۱۰-۹-۸-۷-۶-۵-۴-۳-۲-۱-۰
۳۹-۳۸-۳۷-۳۶-۳۵-۳۴-۳۳-۳۲-۳۱-۳۰-۲۹-۲۸-۲۷-۲۶-۲۵-۲۴-۲۳-۲۲-۲۱-۲۰-۱۹-۱۸-۱۷-۱۶-۱۵-۱۴-۱۳-۱۲-۱۱-۱۰-۹-۸-۷-۶-۵-۴-۳-۲-۱-۰
۴۰-۳۹-۳۸-۳۷-۳۶-۳۵-۳۴-۳۳-۳۲-۳۱-۳۰-۲۹-۲۸-۲۷-۲۶-۲۵-۲۴-۲۳-۲۲-۲۱-۲۰-۱۹-۱۸-۱۷-۱۶-۱۵-۱۴-۱۳-۱۲-۱۱-۱۰-۹-۸-۷-۶-۵-۴-۳-۲-۱-۰
۴۱-۴۰-۳۹-۳۸-۳۷-۳۶-۳۵-۳۴-۳۳-۳۲-۳۱-۳۰-۲۹-۲۸-۲۷-۲۶-۲۵-۲۴-۲۳-۲۲-۲۱-۲۰-۱۹-۱۸-۱۷-۱۶-۱۵-۱۴-۱۳-۱۲-۱۱-۱۰-۹-۸-۷-۶-۵-۴-۳-۲-۱-۰
۴۲-۴۱-۴۰-۳۹-۳۸-۳۷-۳۶-۳۵-۳۴-۳۳-۳۲-۳۱-۳۰-۲۹-۲۸-۲۷-۲۶-۲۵-۲۴-۲۳-۲۲-۲۱-۲۰-۱۹-۱۸-۱۷-۱۶-۱۵-۱۴-۱۳-۱۲-۱۱-۱۰-۹-۸-۷-۶-۵-۴-۳-۲-۱-۰
۴۳-۴۲-۴۱-۴۰-۳۹-۳۸-۳۷-۳۶-۳۵-۳۴-۳۳-۳۲-۳۱-۳۰-۲۹-۲۸-۲۷-۲۶-۲۵-۲۴-۲۳-۲۲-۲۱-۲۰-۱۹-۱۸-۱۷-۱۶-۱۵-۱۴-۱۳-۱۲-۱۱-۱۰-۹-۸-۷-۶-۵-۴-۳-۲-۱-۰
۴۴-۴۳-۴۲-۴۱-۴۰-۳۹-۳۸-۳۷-۳۶-۳۵-۳۴-۳۳-۳۲-۳۱-۳۰-۲۹-۲۸-۲۷-۲۶-۲۵-۲۴-۲۳-۲۲-۲۱-۲۰-۱۹-۱۸-۱۷-۱۶-۱۵-۱۴-۱۳-۱۲-۱۱-۱۰-۹-۸-۷-۶-۵-۴-۳-۲-۱-۰
۴۵-۴۴-۴۳-۴۲-۴۱-۴۰-۳۹-۳۸-۳۷-۳۶-۳۵-۳۴-۳۳-۳۲-۳۱-۳۰-۲۹-۲۸-۲۷-۲۶-۲۵-۲۴-۲۳-۲۲-۲۱-۲۰-۱۹-۱۸-۱۷-۱۶-۱۵-۱۴-۱۳-۱۲-۱۱-۱۰-۹-۸-۷-۶-۵-۴-۳-۲-۱-۰
۴۶-۴۵-۴۴-۴۳-۴۲-۴۱-۴۰-۳۹-۳۸-۳۷-۳۶-۳۵-۳۴-۳۳-۳۲-۳۱-۳۰-۲۹-۲۸-۲۷-۲۶-۲۵-۲۴-۲۳-۲۲-۲۱-۲۰-۱۹-۱۸-۱۷-۱۶-۱۵-۱۴-۱۳-۱۲-۱۱-۱۰-۹-۸-۷-۶-۵-۴-۳-۲-۱-۰
۴۷-۴۶-۴۵-۴۴-۴۳-۴۲-۴۱-۴۰-۳۹-۳۸-۳۷-۳۶-۳۵-۳۴-۳۳-۳۲-۳۱-۳۰-۲۹-۲۸-۲۷-۲۶-۲۵-۲۴-۲۳-۲۲-۲۱-۲۰-۱۹-۱۸-۱۷-۱۶-۱۵-۱۴-۱۳-۱۲-۱۱-۱۰-۹-۸-۷-۶-۵-۴-۳-۲-۱-۰
۴۸-۴۷-۴۶-۴۵-۴۴-۴۳-۴۲-۴۱-۴۰-۳۹-۳۸-۳۷-۳۶-۳۵-۳۴-۳۳-۳۲-۳۱-۳۰-۲۹-۲۸-۲۷-۲۶-۲۵-۲۴-۲۳-۲۲-۲۱-۲۰-۱۹-۱۸-۱۷-۱۶-۱۵-۱۴-۱۳-۱۲-۱۱-۱۰-۹-۸-۷-۶-۵-۴-۳-۲-۱-۰
۴۹-۴۸-۴۷-۴۶-۴۵-۴۴-۴۳-۴۲-۴۱-۴۰-۳۹-۳۸-۳۷-۳۶-۳۵-۳۴-۳۳-۳۲-۳۱-۳۰-۲۹-۲۸-۲۷-۲۶-۲۵-۲۴-۲۳-۲۲-۲۱-۲۰-۱۹-۱۸-۱۷-۱۶-۱۵-۱۴-۱۳-۱۲-۱۱-۱۰-۹-۸-۷-۶-۵-۴-۳-۲-۱-۰
۵۰-۴۹-۴۸-۴۷-۴۶-۴۵-۴۴-۴۳-۴۲-۴۱-۴۰-۳۹-۳۸-۳۷-۳۶-۳۵-۳۴-۳۳-۳۲-۳۱-۳۰-۲۹-۲۸-۲۷-۲۶-۲۵-۲۴-۲۳-۲۲-۲۱-۲۰-۱۹-۱۸-۱۷-۱۶-۱۵-۱۴-۱۳-۱۲-۱۱-۱۰-۹-۸-۷-۶-۵-۴-۳-۲-۱-۰
۵۱-۵۰-۴۹-۴۸-۴۷-۴۶-۴۵-۴۴-۴۳-۴۲-۴۱-۴۰-۳۹-۳۸-۳۷-۳۶-۳۵-۳۴-۳۳-۳۲-۳۱-۳۰-۲۹-۲۸-۲۷-۲۶-۲۵-۲۴-۲۳-۲۲-۲۱-۲۰-۱۹-۱۸-۱۷-۱۶-۱۵-۱۴-۱۳-۱۲-۱۱-۱۰-۹-۸-۷-۶-۵-۴-۳-۲-۱-۰
۵۲-۵۱-۵۰-۴۹-۴۸-۴۷-۴۶-۴۵-۴۴-۴۳-۴۲-۴۱-۴۰-۳۹-۳۸-۳۷-۳۶-۳۵-۳۴-۳۳-۳۲-۳۱-۳۰-۲۹-۲۸-۲۷-۲۶-۲۵-۲۴-۲۳-۲۲-۲۱-۲۰-۱۹-۱۸-۱۷-۱۶-۱۵-۱۴-۱۳-۱۲-۱۱-۱۰-۹-۸-۷-۶-۵-۴-۳-۲-۱-۰
۵۳-۵۲-۵۱-۵۰-۴۹-۴۸-۴۷-۴۶-۴۵-۴۴-۴۳-۴۲-۴۱-۴۰-۳۹-۳۸-۳۷-۳۶-۳۵-۳۴-۳۳-۳۲-۳۱-۳۰-۲۹-۲۸-۲۷-۲۶-۲۵-۲۴-۲۳-۲۲-۲۱-۲۰-۱۹-۱۸-۱۷-۱۶-۱۵-۱۴-۱۳-۱۲-۱۱-۱۰-۹-۸-۷-۶-۵-۴-۳-۲-۱-۰
۵۴-۵۳-۵۲-۵۱-۵۰-۴۹-۴۸-۴۷-۴۶-۴۵-۴۴-۴۳-۴۲-۴۱-۴۰-۳۹-۳۸-۳۷-۳۶-۳۵-۳۴-۳۳-۳۲-۳۱-۳۰-۲۹-۲۸-۲۷-۲۶-۲۵-۲۴-۲۳-۲۲-۲۱-۲۰-۱۹-۱۸-۱۷-۱۶-۱۵-۱۴-۱۳-۱۲-۱۱-۱۰-۹-۸-۷-۶-۵-۴-۳-۲-۱-۰
۵۵-۵۴-۵۳-۵۲-۵۱-۵۰-۴۹-۴۸-۴۷-۴۶-۴۵-۴۴-۴۳-۴۲-۴۱-۴۰-۳۹-۳۸-۳۷-۳۶-۳۵-۳۴-۳۳-۳۲-۳۱-۳۰-۲۹-۲۸-۲۷-۲۶-۲۵-۲۴-۲۳-۲۲-۲۱-۲۰-۱۹-۱۸-۱۷-۱۶-۱۵-۱۴-۱۳-۱۲-۱۱-۱۰-۹-۸-۷-۶-۵-۴-۳-۲-۱-۰
۵۶-۵۵-۵۴-۵۳-۵۲-۵۱-۵۰-۴۹-۴۸-۴۷-۴۶-۴۵-۴۴-۴۳-۴۲-۴۱-۴۰-۳۹-۳۸-۳۷-۳۶-۳۵-۳۴-۳۳-۳۲-۳۱-۳۰-۲۹-۲۸-۲۷-۲۶-۲۵-۲۴-۲۳-۲۲-۲۱-۲۰-۱۹-۱۸-۱۷-۱۶-۱۵-۱۴-۱۳-۱۲-۱۱-۱۰-۹-۸-۷-۶-۵-۴-۳-۲-۱-۰
۵۷-۵۶-۵۵-۵۴-۵۳-۵۲-۵۱-۵۰-۴۹-۴۸-۴۷-۴۶-۴۵-۴۴-۴۳-۴۲-۴۱-۴۰-۳۹-۳۸-۳۷-۳۶-۳۵-۳۴-۳۳-۳۲-۳۱-۳۰-۲۹-۲۸-۲۷-۲۶-۲۵-۲۴-۲۳-۲۲-۲۱-۲۰-۱۹-۱۸-۱۷-۱۶-۱۵-۱۴-۱۳-۱۲-۱۱-۱۰-۹-۸-۷-۶-۵-۴-۳-۲-۱-۰
۵۸-۵۷-۵۶-۵۵-۵۴-۵۳-۵۲-۵۱-۵۰-۴۹-۴۸-۴۷-۴۶-۴۵-۴۴-۴۳-۴۲-۴۱-۴۰-۳۹-۳۸-۳۷-۳۶-۳۵-۳۴-۳۳-۳۲-۳۱-۳۰-۲۹-۲۸-۲۷-۲۶-۲۵-۲۴-۲۳-۲۲-۲۱-۲۰-۱۹-۱۸-۱۷-۱۶-۱۵-۱۴-۱۳-۱۲-۱۱-۱۰-۹-۸-۷-۶-۵-۴-۳-۲-۱-۰
۵۹-۵۸-۵۷-۵۶-۵۵-۵۴-۵۳-۵۲-۵۱-۵۰-۴۹-۴۸-۴۷-۴۶-۴۵-۴۴-۴۳-۴۲-۴۱-۴۰-۳۹-۳۸-۳۷-۳۶-۳۵-۳۴-۳۳-۳۲-۳۱-۳۰-۲۹-۲۸-۲۷-۲۶-۲۵-۲۴-۲۳-۲۲-۲۱-۲۰-۱۹-۱۸-۱۷-۱۶-۱۵-۱۴-۱۳-۱۲-۱۱-۱۰-۹-۸-۷-۶-۵-۴-۳-۲-۱-۰
۶۰-۵۹-۵۸-۵۷-۵۶-۵۵-۵۴-۵۳-۵۲-۵۱-۵۰-۴۹-۴۸-۴۷-۴۶-۴۵-۴۴-۴۳-۴۲-۴۱-۴۰-۳۹-۳۸-۳۷-۳۶-۳۵-۳۴-۳۳-۳۲-۳۱-۳۰-۲۹-۲۸-۲۷-۲۶-۲۵-۲۴-۲۳-۲۲-۲۱-۲۰-۱۹-۱۸-۱۷-۱۶-۱۵-۱۴-۱۳-۱۲-۱۱-۱۰-۹-۸-۷-۶-۵-۴-۳-۲-۱-۰
۶۱-۶۰-۵۹-۵۸-۵۷-۵۶-۵۵-۵۴-۵۳-۵۲-۵۱-۵۰-۴۹-۴۸-۴۷-۴۶-۴۵-۴۴-۴۳-۴۲-۴۱-۴۰-۳۹-۳۸-۳۷-۳۶-۳۵-۳۴-۳۳-۳۲-۳۱-۳۰-۲۹-۲۸-۲۷-۲۶-۲۵-۲۴-۲۳-۲۲-۲۱-۲۰-۱۹-۱۸-۱۷-۱۶-۱۵-۱۴-۱۳-۱۲-۱۱-۱۰-۹-۸-۷-۶-۵-۴-۳-۲-۱-۰
۶۲-۶۱-۶۰-۵۹-۵۸-۵۷-۵۶-۵۵-۵۴-۵۳-۵۲-۵۱-۵۰-۴۹-۴۸-۴۷-۴۶-۴۵-۴۴-۴۳-۴۲-۴۱-۴۰-۳۹-۳۸-۳۷-۳۶-۳۵-۳۴-۳۳-۳۲-۳۱-۳۰-۲۹-۲۸-۲۷-۲۶-۲۵-۲۴-۲۳-۲۲-۲۱-۲۰-۱۹-۱۸-۱۷-۱۶-۱۵-۱۴-۱۳-۱۲-۱۱-۱۰-۹-۸-۷-۶-۵-۴-۳-۲-۱-۰
۶۳-۶۲-۶۱-۶۰-۵۹-۵۸-۵۷-۵۶-۵۵-۵۴-۵۳-۵۲-۵۱-۵۰-۴۹-۴۸-۴۷-۴۶-۴۵-۴۴-۴۳-۴۲-۴۱-۴۰-۳۹-۳۸-۳۷-۳۶-۳۵-۳۴-۳۳-۳۲-۳۱-۳۰-۲۹-۲۸-۲۷-۲۶-۲۵-۲۴-۲۳-۲۲-۲۱-۲۰-۱۹-۱۸-۱۷-۱۶-۱۵-۱۴-۱۳-۱۲-۱۱-۱۰-۹-۸-۷-۶-۵-۴-۳-۲-۱-۰
۶۴-۶۳-۶۲-۶۱-۶۰-۵۹-۵۸-۵۷-۵۶-۵۵-۵۴-۵۳-۵۲-۵۱-۵۰-۴۹-۴۸-۴۷-۴۶-۴۵-۴۴-۴۳-۴۲-۴۱-۴۰-۳۹-۳۸-۳۷-۳۶-۳۵-۳۴-۳۳-۳۲-۳۱-۳۰-۲۹-۲۸-۲۷-۲۶-۲۵-۲۴-۲۳-۲۲-۲۱-۲۰-۱۹-۱۸-۱۷-۱۶-۱۵-۱۴-۱۳-۱۲-۱۱-۱۰-۹-۸-۷-۶-۵-۴-۳-۲-۱-۰
۶۵-۶۴-۶۳-۶۲-۶۱-۶۰-۵۹-۵۸-۵۷-۵۶-۵۵-۵۴-۵۳-۵۲-۵۱-۵۰-۴۹-۴۸-۴۷-۴۶-۴۵-۴۴-۴۳-۴۲-۴۱-۴۰-۳۹-۳۸-۳۷-۳۶-۳۵-۳۴-۳۳-۳۲-۳۱-۳۰-۲۹-۲۸-۲۷-۲۶-۲۵-۲۴-۲۳-۲۲-۲۱-۲۰-۱۹-۱۸-۱۷-۱۶-۱۵-۱۴-۱۳-۱۲-۱۱-۱۰-۹-۸-۷-۶-۵-۴-۳-۲-۱-۰
۶۶-۶۵-۶۴-۶۳-۶۲-۶۱-۶۰-۵۹-۵۸-۵۷-۵۶-۵۵-۵۴-۵۳-۵۲-۵۱-۵۰-۴۹-۴۸-۴۷-۴۶-۴۵-۴۴-۴۳-۴۲-۴۱-۴۰-۳۹-۳۸-۳۷-۳۶-۳۵-۳۴-۳۳-۳۲-۳۱-۳۰-۲۹-۲۸-۲۷-۲۶-۲۵-۲۴-۲۳-۲۲-۲۱-۲۰-۱۹-۱۸-۱۷-۱۶-۱۵-۱۴-۱۳-۱۲-۱۱-۱۰-۹-۸-۷-۶-۵-۴-۳-۲-۱-۰
۶۷-۶۶-۶۵-۶۴-۶۳-۶۲-۶۱-۶۰-۵۹-۵۸-۵۷-۵۶-۵۵-۵۴-۵۳-۵۲-۵۱-۵۰-۴۹-۴۸-۴۷-۴۶-۴۵-۴۴-۴۳-۴۲-۴۱-۴۰-۳۹-۳۸-۳۷-۳۶-۳۵-۳۴-۳۳-۳۲-۳۱-۳۰-۲۹-۲۸-۲

فصل چهارم : دما و گرما ۲۰۹

گرما می‌کشد تا این گرمکن ۰/۰۰ کیلوگرم آب ۱۰۰°C را به بخار ۱۰۰°C تبدیل کند؟ این گرمکن در همین مدت، چه مقدار آب ۱۰۰°C را می‌تواند به آب ۲۰°C تبدیل کند؟

اگر به جسم جامدی که دما آن به اندازه کافی کوچک است بتوان بانی گرما به هم نمودار دما-زمان آن به صورت کلی مانند شکل زیر نمود. این نمودار در اینجا برای جسم جامدی به جرم ۵۰۰g رسیده که توسط یک گرمکن ۱۰۰W گرم شده است. (الف) جقدر طول می‌کشد تا این جامد از دمای اولیه ۲۰°C به نقطه ذوب خود برسد؟

ب) گرما و دما جامد و آب گرمای نهان ذوب آنرا محاسبه کنید.

۱- در چاه کوچکی ۱۰۰g آب ۱۰۰°C قرار دارد. اگر بر اثر تبخیر سطحی قسمتی از آب تبخیر شود و بقیه آن به جلد، جرم آب بزرگ جقدر می‌شود؟

۲- در گریز از جانوران خونگرم و انسان، تبخیر عرق بدن، یکی از راه‌های مهم تنظیم دمای بدن است.

۳- (الف) چه مقدار آب تبخیر شود تا دمای بدن شخصی به جرم ۵۰۰kg به اندازه ۱۰۰°C کاهش یابد؟ گرمای نهان تبخیر آب در دمای بدن (۳۷°C) برابر ۲۲۸۰J/kg و گرمای ویژه بدن در حدود ۳۸۰J/kg است. ب) حجم آبی که شخصی باید برای خنک کردن آب تبخیر شده بنوشد، جقدر است؟

۴- دوش‌های انتقال گرما

۵- اگر سبک یک تر جوی و یک لوله فلزی سرد را که همدما هستند لمس کنید، چرا حس می‌کنید که لوله سردتر است؟ چرا ممکن است دست شما به لوله چسبند؟

۶- یک بشو چگونه شما را گرم نگه می‌دارد؟ چرا استفاده از

۱- چند ثانیه در برف و برف در این فصل را تسهیل می‌کند؟

۲- مرفوزی هجس و هم اندازه را در نظر بگیرید که سطح برفی یکی بسیار بزرگ و دیگری بسیار کوچک است. چه مقدار دمای برفان و برف می‌کشد. آب کدام برفی زودتر خنک می‌شود؟

۳- ۶۰۰۰ واتن کالری

۴- گازی در دمای ۲۰°C دارای حجم ۱۰۰۰cm³ است. (الف) این گاز را باید تا چه دمای گرم کنیم تا در فشار ثابت، حجم آن ۲۰۰۰cm³ شود؟ ب) این گاز در همین فشار در چه دمای دارای حجم ۵۰۰۰cm³ خواهد شد؟

۵- هوایی با فشار ۱۰۰atm درون استوانه‌ای یک شیشه بزرگ به قطر ۲۰cm محبوس است. راه‌های ورودی و خروجی هوای استوانه شیشه را می‌توانیم اکنون:

۶- (الف) اگر طول استوانه را در دمای ثابت به ۳/۴ افزایش دهیم، فشار هوای محبوس جقدر خواهد شد؟

۷- برای آنکه در دمای ثابت، فشار هوای محبوس ۲۰atm شود، طول استوانه را جقدر باید کاهش دهیم؟

۸- لاستیک یک اتومبیل حاوی مقدار معینی هواست. هنگامی که دمای هوا ۱۷°C است، فشارش جقدر است. درون لاستیک را ۲/۱۰۰ انقباض نشان می‌دهد. پس از یک بار استیج بسیار سریع، فشار لاستیک دوباره اندازه‌گیری می‌شود. اکنون:

۹- فشارش جقدر است؟

۱۰- لاستیک در این وضعیت جقدر است؟ حجم لاستیک را ثابت و فشار جو را ۲/۱۰۰ انقباض در نظر بگیرید.

۱۱- دما و فشار متعارف (STP) برای گاز، دمای ۲۷۳°C و فشار ۱۰۱۳۲۵Pa است.

۱۲- گاز کربن در دما و فشار متعارف جقدر است؟

۱۳- یک حباب هوا به حجم ۱۰۰cm³ در یک دریایچه به عمق ۲۰cm قرار دارد که دما در آنجا ۲۰°C است. حباب با سطح آب بالا می‌آید که در آنجا دما ۲۰°C است (دماهای هوای حباب با دمای آب اطراف آن یکسان است). در لحظه‌ای که حباب به سطح آب می‌رسد، حجم آن جقدر است؟ فشار هوا در سطح دریایچه را ۱۰۱۳۲۵Pa در نظر بگیرید.

Standard Temperature and Pressure

۱۲۶

همچنین با توجه به رابطه $\Delta\theta/P = (C_{\text{جرم}} + m_{\text{آب}} c_{\text{آب}}) \Delta t$ که نشان می‌دهد تا زمانی که آب نجوشد، مدت زمان Δt مستقیماً متناسب با تغییر دمای $\Delta\theta$ است، می‌توان این گونه استدلال کرد که چون در مقایسه با قسمت الف سؤال، $\Delta\theta$ ، ۱۵ برابر شده است، پس Δt نیز ۱۵ برابر می‌شود.

$$\Delta t = 15 \times 1 \text{ min} = 15 \text{ min}$$

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

$$P \Delta t = mL_V$$

و از آنجا

$$\Delta t = \frac{mL_V}{P} = \frac{(0.2 \text{ kg})(2256 \times 10^3 \text{ J/kg})}{50 \text{ J/s}} =$$

$$902/4 \text{ s} \approx 9/0 \times 10^2 \text{ s}$$

خوب است دانش‌آموزان قوی را به این نکته تذکر دهیم که در مدل ریاضی ساده شده‌ای که در قسمت‌های الف و ب برای حل مسئله به کار برده‌ایم از تبخیر سطحی آب در دماهای پایین‌تر از نقطه جوش چشم‌پوشی کرده‌ایم که می‌تواند سبب اختلاف نتیجه به دست آمده از مدل ساده شده ما با نتایج اندازه‌گیری در یک آزمایش خیلی دقیق باشد.

۲۰ الف) گرمای لازم برای تبدیل آب ۱۰۰°C به بخار آب ۱۰۰°C از رابطه $Q = mL_V$ به دست می‌آید و از طرفی $Q = P \Delta t$ است. در نتیجه داریم:

$$\Delta t = \frac{mL_V}{P} = \frac{(0.1 \text{ kg})(2256 \times 10^3 \text{ J/kg})}{200 \text{ J/s}} = 1128 \text{ s} \approx 1/13 \times 10^2 \text{ s}$$

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

$$(0.1 \text{ kg})(2256 \times 10^3 \text{ J/kg}) = (m_{\text{یخ}})(333/7 \times 10^2 \text{ J/kg}) \Rightarrow m_{\text{یخ}} = 676 \text{ kg}$$

۲۱ الف) همان‌طور که شکل نشان می‌دهد تغییر فاز از جامد به مایع در زمان ۳۰۰s شروع می‌شود و بنابراین ۳۰۰s طول می‌کشد تا جامد از دمای ۲۰°C به نقطه ذوب خود برسد.

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

$$P \Delta t = mc\Delta\theta$$

و در نتیجه

$$c = \frac{P \Delta t}{m \Delta\theta} = \frac{(10 \text{ J/s})(300 \text{ s})}{(0.5 \text{ kg})(80 - 20)^\circ \text{C}} = 10 \times 10^2 \text{ J/kg} \cdot ^\circ \text{C}$$

پ) گرمای نهان ذوب را با استفاده از رابطه $L_F = Q/m$ به دست می آوریم. دوباره به جای Q از رابطه $Q = P\Delta t$ قرار می دهیم. ولی توجه کنید که در اینجا Δt زمان تغییر فاز جامد است که از روی نمودار، تقریباً $85^\circ\text{s} = 30^\circ - 115^\circ$ می شود. بنابراین برای L_F داریم:

$$L_F = \frac{(1^\circ/\text{J/s})(8/\text{s} \times 10^3 \text{ s})}{0.5^\circ\text{kg}} = 1/7 \times 10^5 \text{ J/kg}$$

توجه به دو نکته در این پرسش بی فایده نیست.

۱- بحث ارقام معنی دار در این مسئله با دو چالش مواجه است. اول آنکه روی محور t درجه بندی کوچک تر از 1°s نداریم. یعنی امکان نمودار خوانی با دقت 1°s و 1s وجود ندارد. به این ملاحظه وقتی در قسمت ب، زمان را 30°s می خوانیم، ممکن است بگوییم

این خواننده، فقط یک رقم معنی دار دارد (؟). همین ملاحظه در خواندن دماها نیز وجود دارد. چالش دوم آنکه در قسمت پ در خواندن مدت زمان 85°s ، 5°s را حدس زده ایم. آیا این کار مجاز است؟ حرف هایی در این چالش ها وجود دارد که هم به بحث های دقیق تر در دنیای اندازه گیری ربط پیدا می کند، هم به ملاحظات آموزش علم برای دانش آموزان در این رده تحصیلی. درگیر کردن دانش آموز مبتدی در فیزیک با این صحبت ها نتیجه خوبی ندارد.

۲- تأکید بر کوچک بودن ابعاد هندسی نمونه جامد در صورت سؤال، به این دلیل است که اگر ابعاد نمونه بزرگ باشد، در مدت زمان افزایش دمای جسم، در یک لحظه معین t ، کل توده نمونه، دمای برابر ندارد، پوسته نمونه دمای بیشتر و مغز نمونه دمای کمتری دارد.

۲۲ وقتی بخشی از آب درون چاله بر اثر تبخیر سطحی تبخیر می شود، انرژی گرمایی لازم را از آب باقی مانده تأمین می کند. بنابراین آب باقی مانده که دمایش صفر درجه است، با از دست دادن انرژی گرمایی یخ می زند. در حین یخ زدن جرم m_1 آب، مقداری انرژی گرمایی برابر با $Q_1 = m_1 L_F$ آزاد می شود. در حین تبخیر، جرم باقی مانده $m_2 = (m - m_1)$ ، مقدار انرژی گرمایی جذب شده برابر $Q_2 = m_2 L_V$ است. چون $Q_2 = Q_1$ است، داریم:

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

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

$$m_1 = \frac{m L_V}{L_F + L_V} = \frac{(1^\circ/\text{kg})(2490 \text{ kJ/kg})}{(2490 \text{ kJ/kg}) + (2333/7 \text{ kJ/kg})} = 0.882 \text{ kg} = 882 \text{ g}$$

(توجه کنید که در این مسئله چون مبادله انرژی بین دو قسمت آب بدون اختلاف دما بین این دو قسمت صورت گرفته و دلیل مبادله انرژی اختلاف دما نبوده است، انرژی مبادله شده را /انرژی گرمایی و نه گرما نامیدیم.)

- ۱ گرمکنی در هر ثانیه 2000 J (دو کیلوگرم می دهد) القاء چقدر طول می کشد تا این گرمکن 1000 J (یک کیلوگرم آب 10°C را به بخار 100°C تبدیل کند) یا این گرمکن در همین مدت، چه مقدار بخار را می تواند به آب 10°C تبدیل کند؟
۲ اگر به جسم جامدی که ابعاد آن به اندازه کافی کوچک است بتوان بانی گرمای نمودار دما-زمان آن به صورت کیفی مانند شکل زیر نمود. این نمودار در اینجا برای جسم جامدی به جرم 500 g رسم شده که توسط یک گرمکن 1000 W گرم شده است. القاء چقدر طول می کشد تا این جامد از دمای اولیه 20°C به نقطه ذوب خود برسد؟
۳ با گرمای ویژه جامد و آب گرمای نهان ذوب آن را محاسبه کنید.
۴ دما (C) را از زمان (s) رسم کنید.
۵ در چاله کوچکی که 100°C قرار دارد، اگر بر اثر تبخیر سطحی قسمتی از آب تبخیر شود و بقیه آن یخ جمود، جرم آب یخ زده چقدر می شود؟
۶ در گرهی از جانوران خونگرم و انسان، تبخیر عرق بدن، یکی از راه های مهم تنظیم دمای بدن است.
۷ القاء چه مقدار آب تبخیر شود تا دمای بدن شخصی به جرم 50 kg به اندازه 1°C کاهش یابد؟ گرمای نهان تبخیر آب در دمای بدن 2380 J/kg و گرمای ویژه بدن $3500 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$ است. با حجم آب که شخص باید برای جبران آب تبخیر شده بنوشد، چقدر است؟
۸ دما و فشار معانی انتقال گرما
۹ اگر سبک یک ترم جوی و یک لوله فازی سرد را که همدما هستند لمس کنید، چرا حس می کنید که لوله سردتر است؟ چرا ممکن است دست شما به لوله چسبند؟
۱۰ یک بطری چگونه شما را گرم نگه می دارد؟ چرا استفاده از

چند ثانیه زیر باتری این عمل را تشدید می کند؟
۱۱ ترموستات هجس و هارماد را در نظر بگیرید که سطح بر روی یکی سبکبارک و دیگری سبکبارک است. هر دورا با آب داغ یا دمای یکسان بر می کشد. آب کدام ترموستات را بیشتر می کشد؟

۱۲ فوین ۱۰۰۰

۱۳ گرمی در دمای 20°C دارای حجم 100 cm^3 است.

۱۴ القاء این گاز را باید تا چه دمای گرم کنیم تا در فشار ثابت، حجم آن 200 cm^3 شود؟ آیا این گاز در همین فشار در چه دمای

دارای حجم 500 cm^3 خواهد شد؟

۱۵ برای آب فشار 1 atm درون استوانه ای یک تپه دوجره به طول 2 cm محسوس است. راه های ورودی و خروجی هوای استوانه تپه را می تنظیم. اکنون:

۱۶ القاء اگر طول استوانه را در دمای ثابت 3°C افزایش دهیم، فشار هوای محسوس چقدر خواهد شد؟

۱۷ برای آنکه در دمای ثابت، فشار هوای محسوس 1 atm شود، طول استوانه را چقدر باید کاهش دهیم؟

۱۸ لاستیک یک اتومبیل حاوی مقدار معینی هواست. هنگامی که دمای هوا 17°C است، فشارسنج، فشار درون لاستیک را 2100 (اتمسفر نشان می دهد). پس از یک رانندگی سبک، سریع فشار لاستیک دوباره اندازه گیری می شود. اکنون فشارسنج 2300 (اتمسفر را نشان می دهد، دمای هوای درون لاستیک در این وضعیت چقدر است؟ حجم لاستیک را ثابت و فشار جو را 1013 hPa (اتمسفر در نظر بگیرید).

۱۹ دما و فشار معانی (STP) برای گاز، دمای 273°C و فشار 1013 hPa معنی می دهد. حجم یک سیل

گاز کامل در دما و فشار متعارف چقدر است؟

۲۰ یک حباب هوا به حجم 1 cm^3 در یک دریایچه به عمق 2 cm قرار دارد که دما در آنجا 24°C است. حباب تا سطح آب بالا می آید که در آنجا دما 20°C است (دماهای حباب به دمای آب اطراف آن یکسان است). در لحظه ای که حباب به سطح آب می رسد حجم آن چقدر است؟ فشار هوا در سطح دریایچه را 10^5 Pa در نظر بگیرید.

Standard Temperature and Pressure

^a Standard Temperature and Pressure.

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

$$Q_{\text{آب}} = Q_{\text{شخص}}$$

$$m_{\mathcal{J}} L_V = m_{\text{سُخف}} c_{\text{سُخف}} |\Delta\theta|$$

از اینجا جرم آب را به دست می آوریم

$$m_{\text{ج}} = \frac{m_{\text{نخس}} c_{\text{نخس}} |\Delta\theta|}{L_V} = \frac{(\text{J/kg}\cdot\text{K})(\text{J/kg}\cdot\text{K})(\text{J/kg}\cdot\text{K})}{2.42 \times 10^6 \text{ J/kg}}$$

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

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{0.001 \text{ kg}}{1000 \text{ kg/m}^3} = 1 \times 10^{-6} \text{ m}^3 = 1 \text{ cc}$$

۲۴ احساس اینکه یک جسم چقدر سرد است به آهنگ رسانش گرما از دستان شما به جسم بستگی دارد. فلز، رساننده گرمای بهتری از چوب است و در نتیجه گرما از دست شما با آهنگ بیشتری به لوله فلزی شارش می‌کند، دمای دست شما سریع‌تر کاهش می‌یابد و لوله سردتر به نظر می‌رسد. در صورتی که دمای لوله فلزی کمتر از نقطه ذوب رطوبت دست باشد، انگشتان به این دلیل به سطح لوله می‌چسبند که رطوبت روی پوست به سرعت به لوله فلزی گرما می‌دهد و روی سطح فلز یخ می‌زند.

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 لایه هوا (هوای محبوس بین الیاف پارچه پالتو) در اطراف بخشی از بدن شما ایجاد کند که چون انتقال گرما از طریق هوا نسبتاً کم است، این لایه به عایق‌بندی گرمایی شما کمک می‌کند. پوشیدن چند لباس در زیر پالتو این عمل را تشدید می‌کند، زیرا در این صورت چند لایه هوا شما را عایق‌بندی می‌کند.

۲۶ قوری سیاه تابش گرمایی بیشتری می‌کند و بنابراین زودتر سرد می‌شود.

۲۷ الف) چون فشار ثابت است از قانون گازها داریم :

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

$$T_r = \left(\frac{T_1 V_1}{V_2} \right) = \frac{(273 + 27)(273 \text{ cm}^3)}{100 \text{ cm}^3} = 519 \text{ K} = 246^\circ \text{C}$$

(ب)

$$T_r = \frac{(20 + 273)(5^\circ/\text{cm}^2)}{100^\circ/\text{cm}^3} = 146/5 \text{ K}$$

$$= -126/5^\circ \text{C} \approx -127^\circ \text{C}$$

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

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

اگر مساحت قاعده استوانه تلمبه را A بگیریم خواهیم داشت

$$(1/0 \text{ atm})(24 \text{ cm} \times A) = P_2 (3^\circ/\text{cm} \times A)$$

و در نتیجه $P_2 = 8^\circ/\text{atm}$ می شود.

(ب) اکنون داریم

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

و از اینجا $L = 8^\circ/\text{cm}$ می شود و بنابراین باید طول استوانه را به

اندازه $16 \text{ cm} = 8^\circ/\text{cm} - 24 \text{ cm}$ کاهش دهیم.

۲۹ در این مسئله حجم ثابت است و بنابراین از قانون گازها داریم:

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

توجه کنید فشاری که فشارسنج اندازه می گیرد فشار پیمانه ای (سنجه ای) است، ولی در این رابطه باید فشارهای مطلق را قرار دهیم و نه فشار پیمانه ای را. بنابراین:

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

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

به صلاح دید دبیران محترم، می توان در این مسئله، گریزی به بحث مدل سازی در فیزیک از فصل ۱ کتاب درسی زد. مسئله را با این فرض حل کردیم که حجم هوای درون لاستیک بدون تغییر می ماند. در واقع چنین نیست و افزایش فشار هوای درون لاستیک می تواند حجم هوای درون لاستیک را تغییر دهد. ما با یک مدل سازی ساده از تغییر مختصر حجم چشم پوشی کرده ایم. بنابراین اگرچه محاسبه، دمای نهایی را با دقت 1°C ، برابر با 46°C به دست می دهد، ولی خطای ذاتی مدل سازی انجام شده می تواند به دقتی کمتر از 1°C در پاسخ نهایی 46°C منجر شده باشد.

۳۰ از رابطه $PV = nRT$ استفاده می کنیم:

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

$$= 0/0224 \text{ m}^3 = 22/4 \text{ L}$$

حجم یک مول گاز در شرایط متعارفی (STP)، $22/4 \text{ L}$ است که نزد دانش آموزان و دانشجویان درس های شیمی و فیزیک، غالباً شناخته شده است.

۱ گرمکنی در هر ثانیه $20/0^\circ \text{C}$ (زل گرم می دهد، الفدا) جلد طول می کشد تا این گرمکن $0/001 \text{ kg}$ گرم آب 10°C را به بخار آب 10°C تبدیل کند! این گرمکن در همین مدت، چه مقدار بخار 10°C را می تواند به آب 10°C تبدیل کند؟
۲ اگر به جسم جامدی که ابعاد آن به اندازه کافی کوچک است بتوان بانی گرمای نمودار دما-زمان آن به صورت کلی مانند شکل زیر نمود. این نمودار در اینجا برای جسم جامدی به جرم $5/0 \text{ g}$ رسم شده که توسط یک گرمکن $10/0 \text{ W}$ گرم شده است. الفدا) جلد طول می کشد تا این جامد از دمای اولیه 20°C به نقطه ذوب خود برسد؟
ب) گرمای ویژه جامد و آب گرمای نهان ذوب آن را محاسبه کنید.
۳ الفدا) یک اتومبیل حاوی مقدار معینی هواست. هنگامی که دمای هوا 17°C است، فشارسنج، فشار درون لاستیک را $2/00$ اتمسفر نشان می دهد. پس از این که رانندگی بسیار سریع، فشار هوای لاستیک دوباره اندازه گیری می شود، اکنون فشارسنج، $2/30$ اتمسفر را نشان می دهد. دمای هوای درون لاستیک در این وضعیت جلد است؟ حجم لاستیک را ثابت و فشار جو را $1/00$ اتمسفر در نظر بگیرید.
۴ دما و فشار متعارف (STP) برای گاز، دمای 273 K و فشار $1/013 \times 10^5 \text{ Pa}$ تعریف می شود. چه مقدار یک گاز کامل در دما و فشار متعارف جلد است؟
۵ یک جلد هوا، $0/2 \text{ cm}^3$ در 1°C در یک دریایچه به حجم $2/0 \text{ cm}^3$ قرار دارد که دما در آنجا 24°C است. جلد تا سطح آب بالا می آید که در آنجا دما 20°C است (دمای هوای جلد با دمای آب اطراف آن یکسان است). در لحظه ای که جلد به سطح آب می رسد، دمای آن جلد است؟ فشار هوا در سطح دریایچه را $1/013 \times 10^5 \text{ Pa}$ در نظر بگیرید.

Standard Temperature and Pressure

توجه کنید که در این مسئله، منظور از یک مول گاز، دقیقاً یک مول است (یعنی این یک مول هیچ خطایی ندارد) و نه 1 mol (با یک رقم معنی دار) یا $1/0 \text{ mol}$ (با دو رقم معنی دار) و ... به همین دلیل تعداد رقم‌های با معنی در یک مول، محدودکنندهٔ تعداد ارقام با معنی پاسخ نهایی نیست.

۳۱ از قانون گازهای کامل داریم

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

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

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

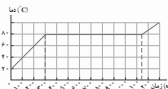
که در آن ρ چگالی آب و h عمق دریاچه است، می‌دانیم $P_1 = P_{\text{atm}}$. از اینجا داریم

$$V_r = \frac{T_r}{T_1} \times \frac{P_{\text{atm}} + \rho gh}{P_{\text{atm}}} \times V_1 = \left(\frac{293 \text{ K}}{277 \text{ K}} \right) \frac{1/0 \times 1 \times 10^5 \text{ Pa} + (1/0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3)(9/8 \text{ m/s}^2)(40/0 \text{ m})}{1/0 \times 10^5 \text{ Pa}} \times (0/2 \text{ cm}^3) \\ = 1/04 \text{ cm}^3 \approx 1/0 \text{ cm}^3$$

اگرچه در اینجا فرض کردیم فشار هوای درون حباب هوایی که داخل آب است با فشار آب پیرامونش برابر است (که البته با دقت کافی قابل قبول است) ولی در بحث کشش سطحی، اختلاف فشار هوای درون این حباب و آب پیرامونش را محاسبه می‌کنند. این اختلاف فشار به کشش سطحی آب و قطر حباب بستگی دارد.

- ۱ گرمکنی در هر ثانیه 2000 J (دو کیلوگرم آب) 10°C را به بخار 100°C تبدیل کند؟ این گرمکن در هر ثانیه، چه مقدار آب را می‌تواند به آب 10°C تبدیل کند؟
- ۲ اگر به جسم جامدی که ابعاد آن به اندازهٔ کافی کوچک است بتوان بانی گرما به‌جسم نمودار دما را زمان آن به‌صورت کیفی مانند شکل رومی‌نمود. این نمودار در اینجا برای جسم جامدی به جرم 500 g رسم شده که توسط یک گرمکن 1000 W گرم شده است. (الف) جفتی طول می‌کشد تا این جامد از دمای اولیهٔ 20°C به نقطه ذوب خود برسد؟ (ب) گرمای ویژهٔ جامد و آب گرمای نهان ذوب آن را محاسبه کنید.
- ۳ در جاذبه کوچکی $9/8 \text{ m/s}^2$ آب 100°C قرار دارد. اگر بر اثر تبخیر سطحی قسمتی از آب تبخیر شود و بقیه آن به جفت، جرم آب بخارده جفتی می‌شود؟
- ۴ در گرگی از جانوران خونگرم و انسان، تبخیر عرق بدن، یکی از راه‌های مهم تنظیم دمای بدن است. (الف) چه مقدار آب تبخیر شود تا دمای بدن شخصی به جرم 50 kg به اندازهٔ 100°C کاهش یابد؟ (ب) اگر دمای بدن یک انسان 37°C برابر 310 K و گرمای ویژهٔ بدن در حدود $3300 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$ است. (ب) حجم آبی که شخص باید برای جبران آب تبخیر شده بنوشد، جفتی است؟
- ۵ در دمای 20°C قرار دارد که دما در آنجا 24°C است. حباب 1 cm^3 به سطح آب بالا می‌آید که در آنجا دما 20°C است (دماهای حباب با دمای آب اطراف آن یکسان است). در لحظه‌ای که حباب به سطح آب می‌رسد جفتی از جفتی است؟ فشار هوا در سطح دریاچه را $1/0 \times 10^5 \text{ Pa}$ در نظر بگیرید.

۶-۳۳ فواین کارها





فصل ۵

ترمودینامیک

- ۱-۵ معادلهٔ حالت و فرایندهای ترمودینامیکی ایستوار
 - ۲-۵ تبادل انرژی
 - ۳-۵ انرژی درونی و قانون اول ترمودینامیک
 - ۴-۵ برخی از فرایندهای ترمودینامیکی
 - ۵-۵ چرخهٔ ترمودینامیکی
 - ۶-۵ ماشین‌های گرمایی
 - ۷-۵ قانون دوم ترمودینامیک (به بیان ماشین گرمایی)
 - ۸-۵ قانون دوم ترمودینامیک و یخچال‌ها
- پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۵

دبیران محترم توجه دانش آموزان را به رمزیندهای سریع پاسخ (QR Code ها) آورده شده در ابتدای هر فصل از کتاب درسی جلب کنند. این رمزیندها دربردارندهٔ محتواهای آموزشی متنوعی از قبیل آزمایش‌های انجام شدهٔ کتاب درسی، شبیه‌سازی‌ها و ... هستند که به یادگیری و نشاط آموزشی - علمی دانش آموزان کمک زیادی می‌کنند.



پیامدها

دانش‌آموزان با درک مفاهیم این فصل :

- با فرایندهای ترمودینامیکی ایستوار و برخی از انواع آن آشنا می‌شوند.
- راه‌های تبادل انرژی بین دستگاه و محیط در فرایندهای ترمودینامیکی را می‌شناسند.
- با قانون‌های اول و دوم ترمودینامیک و کاربرد آنها در بررسی فرایندهای ترمودینامیکی آشنا می‌شوند.
- بررسی اجمالی طرز کار ماشین‌های گرمایی و یخچال‌ها را از منظر دانش ترمودینامیک یاد می‌گیرند.

چه شناختی مطلوب است؟

- در بررسی یک تحول ترمودینامیکی، دستگاه و محیط باید مشخص شود.
- از متغیرهای ترمودینامیکی برای توصیف دستگاه در حالت تعادل ترمودینامیکی و نیز توصیف فرایندهای ایستوار استفاده می‌شود.
- برای توصیف نموداری فرایندهای ترمودینامیکی باید فرایندها به صورت ایستوار انجام شوند.
- تبادل انرژی بین محیط و دستگاه از دو راه کار و گرما صورت می‌گیرد.
- تغییر انرژی درونی یک دستگاه با مجموع جبری گرمای داده‌شده به دستگاه و کار انجام‌شده روی آن برابر است.
- دستگاه‌های ترمودینامیکی با فرایندهای مختلفی می‌توانند از یک حالت به حالت دیگر بروند.
- اگر دستگاه پس از انجام فرایند یا فرایندهایی به حالت اولیه خود بازگردد، یک چرخه ترمودینامیکی را طی کرده است.
- ماشین‌های گرمایی با استفاده از برخی فرایندهای ترمودینامیکی و در یک چرخه، گرمای حاصل از یک سوخت را به کار تبدیل می‌کنند.
- هدف از ساختن هر ماشین گرمایی آن است که گرمای گرفته شده از منبع دما بالا (چشمه گرم) در چرخه را با بالاترین بازده به کار تبدیل کند.
- در یخچال با استفاده از یک چرخه ترمودینامیکی و با دادن کار به دستگاه، گرما را از منبع دما پایین می‌گیریم و به منبع دما بالا می‌دهیم.

چه پرسش‌هایی اساسی هستند و باید در نظر گرفته شوند؟

- دستگاه و محیط در تحول‌های ترمودینامیکی چگونه تعیین می‌شوند؟
- برای توصیف حالت ترمودینامیکی دستگاهی که یک گاز در حالت تعادل است معمولاً از چه متغیرهایی استفاده می‌شود؟
- تغییرات دستگاه در یک فرایند ترمودینامیکی چگونه باشد تا بتوانیم فرایند را توسط متغیرهای ترمودینامیکی توصیف کنیم؟
- دستگاه ترمودینامیکی از چه راه‌هایی با محیط تبادل انرژی می‌کند (انرژی درونی یک دستگاه ترمودینامیکی به چه روش‌هایی تغییر می‌کند)؟
- تغییر انرژی درونی یک ماده و گرما و کار مبادله شده بین آن ماده (دستگاه) و محیط پیرامونش در فرایندهای ترمودینامیکی مختلف هم حجم، هم فشار، هم دما و بی‌دررو چگونه است؟

- به چه روش‌هایی می‌توان کار و گرمای مبادله شده بین دستگاه و محیط در یک چرخه را محاسبه کرد؟
- در یک چرخه ماشین گرمایی درون‌سوز بنزینی، چه فرایندهایی انجام می‌شود؟
- معنی بازده ماشین گرمایی چیست؟
- قانون دوم ترمودینامیک به بیان‌های ماشین گرمایی و یخچالی از چه محدودیت‌هایی در ماشین‌ها و یخچال‌ها صحبت می‌کند؟

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

الف) دانشی

- با مفاهیم دستگاه، محیط، تعادل ترمودینامیکی، متغیرهای ترمودینامیکی، فرایندهای ترمودینامیکی، فرایند ایستوار، منبع گرما، انرژی درونی و قانون اول ترمودینامیک، فرایندهای هم‌حجم، هم‌فشار، هم‌دما و بی‌دررو، چرخه ترمودینامیکی، ماشین‌های گرمایی برون‌سوز و درون‌سوز، ماشین بخار وات، ماشین درون‌سوز بنزینی، بازده ماشین گرمایی و قانون دوم ترمودینامیک به بیان‌های ماشین گرمایی و یخچالی آشنا می‌شوند.

ب) مهارتی

- به مهارت‌های رسم نمودار برای برخی فرایندهای ایستوار ترمودینامیکی، محاسبه کار، گرما و تغییر انرژی درونی در برخی فرایندهای خاص ترمودینامیکی، محاسبه کار و گرمای مبادله شده بین دستگاه و محیط در چرخه‌های ترمودینامیکی، توصیف مرحله‌های کار ماشین بخار و ماشین بنزینی و محاسبه بازده یک ماشین گرمایی در حالت‌های ساده دست می‌یابند.

بودجه‌بندی پیشنهادی

- جلسه اول : تصویر شروع فصل، مقدمه و بخش ۱-۵ معادله حالت.
- جلسه دوم : بخش ۱-۵، فرایندهای ترمودینامیکی ایستوار، بخش ۲-۵ تبادل انرژی و بخش ۳-۵ انرژی درونی و قانون اول ترمودینامیک
- جلسه سوم : بخش ۴-۵، فرایندهای خاص هم‌حجم و هم‌فشار
- جلسه چهارم : بخش ۴-۵، فرایندهای خاص هم‌دما و بی‌دررو
- جلسه پنجم و ششم : بخش ۵-۵، چرخه ترمودینامیک، بخش ۶-۵ ماشین‌های گرمایی و بخش ۷-۵ قانون دوم ترمودینامیک (به بیان ماشین گرمایی)
- جلسه هفتم : ادامه بخش ۷-۵ قانون دوم ترمودینامیک به بیان ماشین گرمایی و بخش ۸-۵ یخچال‌ها و قانون دوم ترمودینامیک
- جلسه هشتم : جمع‌بندی، رفع اشکال و حل پرسش‌ها و تمرین‌های باقیمانده در پایان فصل
- جلسه نهم : آزمون تشریحی فصل پنجم

راهنمای تدریس

دما یکی از مفاهیم اساسی و مرکزی در دانش ترمودینامیک است. در اینجا به دما به عنوان یک کمیت مشاهده پذیر در کنار کمیت‌های مشاهده پذیر دیگر همچون فشار و حجم در دانش ترمودینامیک تأکید می‌شود. به عبارتی، تأکید می‌شود که این حضور دما در کنار کمیت‌های مشاهده پذیر دیگر است که ترمودینامیک را از سایر شاخه‌های فیزیک متمایز می‌کند. همچنین تأکید می‌کنیم که در بررسی ترمودینامیکی رفتار یک گاز یا مایع که از بی‌شمار ذره تشکیل شده است، با رفتار مولکول‌ها و اتم‌ها کاری نداریم، بلکه سراغ کمیت‌های ماکروسکوپی یا مشاهده پذیری همچون فشار، حجم و دما که مربوط می‌شود به کل توده گاز یا مایع، می‌رویم.

۱-۵- معادله حالت و فرایندهای ترمودینامیکی ایستوار

دانش‌آموزان در فصل قبل با معادله حالت گاز کامل (قانون گازهای کامل) آشنا شده‌اند و می‌دانند بنا به این معادله، هرگاه یکی از کمیت‌های V, P 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 معادله حالت گاز کامل است.

دیران محترم بر مفهوم تعادل ترمودینامیکی شاره تأکید کنند. اگر دما و فشار در همه نقاط یک شاره یکسان باشد، می‌گوییم شاره در حالت تعادل ترمودینامیکی است و حالت تعادل ترمودینامیکی شاره را با این فشار و دما و نیز حجم شاره توصیف می‌کنیم. حالت دستگاه وقتی معلوم است که متغیرهای ترمودینامیکی آن معلوم باشد.

ترمودینامیک



موتور ماشین‌های بنزینی تا حدود ۳۰ درصد انرژی شیمیایی حاصل از سوختن بنزین را به کار مفید مکانیکی تبدیل می‌کنند. دانش‌آموزان می‌توانند با بررسی کار استرین کردن این ماشین‌ها مشاهده کنند. با این حال، حد بالایی برای بازده این ماشین‌ها وجود دارد که به دلیل کار آنتروپی شیمیایی به کار مفید می‌شود.

مقاله
در موتور خودروها، از اکتان شیمیایی اکسژن با خالص‌ترین در سیلندرها، انرژی گرمایی تولید می‌شود. گاز داغ یا دما، سیلندرها را درون سیلندرها می‌فشارد و کار مکانیکی انجام می‌دهد و این کار باعث جابجایی خودرو می‌شود. موتور خودروها، هم‌اکنون، قطارها، کشتی‌ها و تورگادهای تولید و روش‌های اساسی اصول ترمودینامیک طراحی و ساخته می‌شوند. معادله ترمودینامیک در قرن نوزدهم آغاز شده است. مهندسان طراحی ماشین‌های گرمایی می‌خواستند مانند قوانین فیزیک چه محدودیت‌هایی در عملکرد ماشین‌های بخار و ماشین‌های دیگری که با استفاده از انرژی گرمایی، انرژی مکانیکی تولید می‌کنند، وجود می‌آورد. در ترمودینامیک به معادله ای که دما و کار و تبدیل گرما به کار مکانیکی مربوط می‌آید، بیستگی انرژی و این واقعیت که گرما خود به خود از جسم سرد به جسم داغ منتقل نمی‌شود، بخشی از مبنای دانش ترمودینامیک را تشکیل می‌دهد.

تصاویر



فشار داغ آب‌دور کرد می‌تواند دستگاه ترمودینامیکی در نظر گرفت.



فشار داغ در داخل استوانه بر ماشین‌های فشار اولیه و آب‌های جانشین فشار اولیه است.

۱۶۸

منحنی‌های آبی رنگ روی این سطح، مسیرهای دما ثابت هستند. اگر این منحنی‌ها را روی صفحه $P-V$ تصویر کنیم، خم‌های هم‌دما ایجاد می‌شوند و به سادگی دیده می‌شود که خم‌های هم‌دمای بالاتر در صفحه $P-V$ مربوط به مسیرهای دما ثابت با دمای بیشتر روی سطح $P-V-T$ گاز هستند.

به این ترتیب همه اطلاعات مربوط به سه صفحه $P-V$ ، $P-T$ و $V-T$ ، به صورت کامل و یک‌جا، در سطح $P-V-T$ 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 ایستواری که برای یک گاز کامل رخ دهد، با عبور از بی‌شمار حالت تعادلی، از بی‌شمار نقطه این سطح می‌گذرد و با مسیری روی این سطح مشخص می‌گردد.

سطح $P-V-T$ یک گاز واقعی نیز به شکل مشابه، حاوی همین اطلاعات برای گاز واقعی است. سطح $P-V-T$ یک گاز واقعی، متفاوت از سطح $P-V-T$ یک گاز کامل است.

۳-۵- انرژی درونی و قانون اول ترمودینامیک

همان‌طور که در فصل ۴ اشاره شد، انرژی درونی مجموع انرژی جنبشی ذرات تشکیل‌دهنده و انرژی پتانسیل آنهاست. در یک توضیح رایج، مجموع انرژی جنبشی ذرات ماده، وابسته به انرژی درونی، برای مخزن گازی که ساکن است و برای همان مخزن گاز، با همان دما، که درون اتومبیلی در حالت حرکت قرار دارد، فرقی نمی‌کند. و تأکید می‌شود که در انرژی درونی ترمودینامیکی، منظور از مجموع انرژی جنبشی ذرات تشکیل‌دهنده ماده، مجموع انرژی جنبشی‌های وابسته به حرکات کاتوره‌ای ذرات از دید چهارچوب بسته به مرکز جرم توده ماده موردنظر است. همین‌طور، منظور از انرژی پتانسیل ذره‌ها را انرژی پتانسیل مربوط به برهم‌کنش خود ذرات ماده با یکدیگر می‌گیرند و مثلاً انرژی پتانسیل گرانشی ذرات در اینجا موردنظر نیست. یعنی وقتی یک مخزن گاز را از روی سطح زمین برمی‌داریم و بالا می‌بریم، انرژی پتانسیل وابسته به انرژی درونی تغییر نمی‌کند. این مثال کتاب فیزیک دانشگاهی سیرز-زیمانسکی، ویراست دوازدهم است.

انرژی درونی و قانون اول ترمودینامیک

در یک فرایند ترمودینامیکی، انرژی درونی یک سیستم بسته را می‌توان به دو روش تعریف کرد. اولاً، انرژی درونی یک سیستم بسته را می‌توان به عنوان مجموع انرژی جنبشی و پتانسیل ذرات تشکیل‌دهنده آن تعریف کرد. ثانیاً، انرژی درونی یک سیستم بسته را می‌توان به عنوان مجموع انرژی جنبشی و پتانسیل ذرات تشکیل‌دهنده آن تعریف کرد.

قانون اول ترمودینامیک بیان می‌کند که تغییر انرژی درونی یک سیستم بسته برابر با مجموع تغییرات انرژی گرمایی و کار است. این قانون را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\Delta U = Q + W$$

که در آن ΔU تغییر انرژی درونی، Q تغییر انرژی گرمایی و W کار است.

این قانون را می‌توان به صورت دیگری نیز نوشت:

$$\Delta U = Q - W$$

که در آن W کار انجام شده توسط سیستم است.

این دو فرمول به هم مرتبط هستند و تفاوتی ندارند.

در یک فرایند ترمودینامیکی، اگر یک سیستم بسته را در نظر بگیریم، تغییر انرژی درونی آن برابر با مجموع تغییرات انرژی گرمایی و کار است. این قانون را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\Delta U = Q + W$$

که در آن ΔU تغییر انرژی درونی، Q تغییر انرژی گرمایی و W کار است.

این قانون را می‌توان به صورت دیگری نیز نوشت:

$$\Delta U = Q - W$$

که در آن W کار انجام شده توسط سیستم است.

نگاه همراه با احتیاط بیشتر، نگاه کتاب مبانی فیزیک هالیدی - رزنیک - واکر است. این کتاب می‌گوید ما در بررسی فرایندهای ترمودینامیکی و استفاده از قانون اول، به فرایندهایی فکر می‌کنیم که در آنها انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل دستگاه به عنوان یک جسم کلی، تغییر نکند.

خوب است دبیران محترم نیز به عنوان یک رویکرد تعلیم و تربیتی از مطرح کردن پرسش‌هایی که دانش‌آموزان را دچار این

چالش می‌کند پرهیز کنند و مانند مبانی فیزیک هالیدی – رزنیک – واکر و در فصل ترمودینامیک به مثال‌هایی بسنده کنند که در آنها انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل دستگاه به‌عنوان یک جسم کلی ثابت می‌ماند.

نکته مهم دیگری که خوب است دبیران محترم در این بحث به آن توجه کنند همان است که در تذکر ابتدای فصل گفتیم. در بررسی ترمودینامیکی رفتار یک شاره، با رفتار مولکول‌ها و اتم‌های تشکیل دهنده شاره کاری نداریم بلکه سراغ کمیت‌های ماکروسکوپی یا مشاهده‌پذیری همچون فشار، حجم و دمای شاره که مربوط می‌شود به کل توده ذرات تشکیل دهنده شاره می‌رویم. شروع بحث انرژی درونی با اشاره به انرژی جنبشی و پتانسیل اتم‌ها و مولکول‌ها، رویکردی آموزشی است که راه ورود به بحث را برای مخاطب در این رده تحصیلی هموار می‌کند. برای اطلاع بیشتر از این بحث، دانستی برای معلم «انرژی درونی – دیدگاه ماکروسکوپی» را که از فصل ۱۹ جلد ۱ کتاب فیزیک دانشگاهی سیرز – زیمانسکی گرفته شده است ببینید.

دانستی برای معلم

انرژی درونی – دیدگاه ماکروسکوپی

اگرچه در ابتدای بحث ترمودینامیک انرژی درونی را به‌طور موقت برحسب انرژی‌های جنبشی و پتانسیل میکروسکوپی تعریف کردیم. اما این تعریف ایرادهایی دارد. در عمل محاسبه انرژی درونی به این روش برای هر دستگاه واقعی به‌طور مایوس‌کننده‌ای پیچیده است. به‌علاوه، این تعریف عملیاتی نیست زیرا این تعریف چگونگی تعیین انرژی درونی را از کمیت‌های فیزیکی که به‌طور مستقیم می‌توانیم اندازه بگیریم، شرح نمی‌دهد.

بنابراین بهتر است از منظر دیگری به انرژی درونی نگاه کنید. در ابتدا، تغییر در انرژی درونی ΔU را در طی هر گونه تغییر یک دستگاه به صورت $\Delta U = Q + W$ ، تعریف می‌کنیم. این یک تعریف عملیاتی است زیرا می‌توانیم Q و W را اندازه بگیریم. در این معادله فقط ΔU و نه U تعریف شده است. این موضوع نقصی محسوب نمی‌شود زیرا می‌توانیم انرژی درونی دستگاه را در یک حالت مرجع صفر تعریف کنیم، سپس برای تعیین انرژی درونی دستگاه در هر حالت دیگری از معادله $\Delta U = Q + W$ استفاده کنیم. این قابل قیاس با رفتاری است که مثلاً با انرژی پتانسیل گرانشی انجام می‌دهیم. در آن‌جا ما به‌طور دلخواه انرژی پتانسیل گرانشی یک دستگاه مکانیکی را در وضع معینی صفر اختیار می‌کنیم.

این تعریف جدید مشکلی را با مشکل دیگر عوض می‌کند. اگر ΔU را با معادله $\Delta U = Q + W$ تعریف کنیم، آنگاه وقتی دستگاه از دو مسیر متفاوت از حالت ۱ به حالت ۲ برود، چگونه بدانیم که ΔU برای دو مسیر یکسان است؟ به‌خصوص که می‌دانیم به‌طور کلی Q و W برای مسیرهای متفاوت یکسان نیستند. اگر ΔU ، که برابر $Q + W$ است، نیز تابع مسیر باشد، آنگاه ΔU مبهم است. تنها راه پاسخ به این پرسش از طریق آزمایش است. برای مواد مختلفی Q و W را برای تغییر حالت‌های متفاوت و مسیرهای گوناگون اندازه می‌گیریم تا ببینیم ΔU تابع مسیر است یا نه. نتایج بسیاری از چنین بررسی‌هایی روشن و غیرمبهم است: با آن‌که Q و W تابع مسیرند، $\Delta U = Q + W$ مستقل از مسیر است.

تغییر در انرژی درونی یک دستگاه در طی هر فرایند ترمودینامیکی تنها تابع حالت‌های ابتدایی و نهایی است و به مسیر انتقال دستگاه از یک حالت به حالت دیگر بستگی ندارد.

بنابراین، برای رسیدن به این باور که یک دستگاه ترمودینامیکی در یک حالت خاص، انرژی درونی منحصر به فردی دارد که تنها به آن حالت وابسته است، آزمایش داور نهایی است. به بیان دیگر، انرژی درونی U یک دستگاه تابع مختصه‌های حالت p ، V و T است (در واقع، هر دوتای دلخواهی از این سه متغیر، زیرا این سه متغیر با معادله حالت به هم مربوط‌اند).

می‌توان گفت قانون اول ترمودینامیک که با معادله $\Delta U = Q + W$ بیان می‌شود، نشان می‌دهد که پایستگی انرژی برای فرایندهای ترمودینامیکی همواره صادق است. اما جنبه اضافی مهم قانون اول این واقعیت است که انرژی درونی تنها به حالت دستگاه وابسته است. در تغییر حالت، تغییر در انرژی درونی مستقل از مسیر است.



اگر قانع شوید که انرژی درونی را به صورت انرژی مکانیکی میکروسکوپی در نظر بگیرید همه این بحث‌ها اندکی انتزاعی به نظر می‌آیند. اما در تعریف‌های عملیاتی دقیق، انرژی درونی، مانند گرما، می‌تواند و باید به گونه‌ای تعریف شود که از جزئیات ساختار میکروسکوپی ماده مستقل باشد.

منبع: فیزیک دانشگاهی، سیرز - زیمانسکی - یانگ - فریدمن، ویراست ۱۲، جلد ۱، فصل ۱۹، صفحه ۶۵۲.

انرژی درونی یک فنجان قهوه فقط به حالت ترمودینامیکی آن بستگی دارد. چقدر آب و دانه‌های قهوه در آن است. و دمای آن چقدر است. به جگونگی آماده شدن قهوه یعنی، به مسیر ترمودینامیکی برای رسیدن به حالت فعلی بستگی ندارد.

در این بخش باید با ارائه مثال‌هایی، به علامت‌های Q و W و توجیه و تعبیر اینکه دستگاه و محیط چیست پرداخته شود و توضیح داده شود که اگرچه انتخاب دستگاه و محیط اختیاری است ولی با یک نوع انتخاب ذهنی و نظری از دستگاه، مسئله مورد بررسی، حل نشده باقی می‌ماند، یا به سختی حل می‌شود، در حالی که با انتخابی متفاوت، مسئله به سادگی حل می‌شود.

فصل ۱۹

۲-۵-۱ انرژی درونی و قانون اول ترمودینامیک

انرژی درونی یک ماده با مجموع انرژی‌های اجزای تشکیل‌دهنده آن ماده برابر است. به طور دقیق‌تر، می‌توان گفت که انرژی درونی ماده که آن را با U نشان می‌دهیم، با مجموع انرژی‌های جنبشی و پتانسیل ذره‌های آن ماده برابر است. هنگامی که دستگاه در حالت تعینی قرار دارد، مقدار U مشخص است. این مقدار به تغییرهای ترمودینامیکی مانند T و P بستگی دارد. در مورد گاز آرمانی می‌توان نشان داد که انرژی درونی فقط تابع دمای گاز است، بطوری که با افزایش دما انرژی درونی گاز افزایش می‌یابد. هنگامی که دستگاه در یک فرایند ترمودینامیکی ایستوار یا مبادله کار، گرما، یا هر دو با محیط از حالت اولیه (۱) به انرژی درونی U_1 به حالت نهایی (۲) با انرژی درونی U_2 برسد، تغییر انرژی درونی، یعنی $\Delta U = U_2 - U_1$ ، به گرما و کار مبادله شده بین دستگاه و محیط بستگی دارد. اگر دستگاه در فرایندی ایستوار، گرمای Q را بپذیرد و کار W بر روی آن انجام شود (شکل ۵-۱)، این بستگی با رابطه زیر نشان داده می‌شود:

$$\Delta U = Q + W \quad (5-1)$$

که به آن قانون اول ترمودینامیک گویند و یا اگر قانون پایستگی انرژی است. توجه کنید که در فرایندهای مختلفی که برای مقدار معینی از یک گاز رخ می‌دهد و از حالت اولیه یکسان (P_1, T_1, V_1) و P_2, T_2, V_2) آغاز می‌شوند و به حالت نهایی یکسان (P_2, T_2, V_2) می‌رسند، تغییر انرژی درونی گاز (ΔU) برابر است، ولی کار و نیز گرمای مبادله شده در این فرایندها می‌تواند متفاوت باشند. در رابطه ۵-۱، گرمای Q می‌تواند مثبت (دستگاه گرما بگیرد) یا منفی (دستگاه گرما از دست بدهد) باشد. W نیز می‌تواند مثبت (محیط روی دستگاه کار انجام دهد) یا منفی (دستگاه روی محیط کار انجام دهد) باشد. بنابراین، هنگامی که دستگاه با محیط تبادل کار و گرما دارد، ممکن است انرژی درونی آن افزایش ($\Delta U > 0$)، یا کاهش ($\Delta U < 0$) یا اینکه تغییر نکند ($\Delta U = 0$).

مثال ۵-۱

در یک فرایند ترمودینامیکی دستگاه ۲۴-۱۰۰ جرم از محیط می‌گیرد و انبساط می‌یابد. اگر کاری که دستگاه روی محیط انجام می‌دهد ۱۰۰-۱۰۰ باشد، تغییر انرژی درونی دستگاه چقدر است؟ پاسخ: چون دستگاه از محیط گرما گرفته است $Q = +24-100$ و چون کار دستگاه روی محیط ۱۰۰-۱۰۰ است پس کار محیط روی دستگاه ۱۰۰-۱۰۰ می‌شود. با استفاده از قانون اول ترمودینامیک داریم:

$$\Delta U = Q + W = 24-100 + (-100-100) = 24-200$$

بدون در نظر گرفتن علامت، تغییر انرژی درونی با ΔU نشان داده شده است.

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 ایستوار برابر است. دوباره تأکید می‌کنیم که انرژی درونی یک کمیت ماکروسکوپی مشاهده‌پذیر است و در ترمودینامیک نیازی به ربط دادن این کمیت ماکروسکوپی و مشاهده‌پذیر به کمیت‌های میکروسکوپی مربوط به تک تک ذرات ماده نیست.

تکامل انرژی



تکامل انرژی در بدن انسان به گونه‌ای است که انرژی را از غذا می‌گیرد و به کار می‌برد. این فرآیند شامل سوختن مواد غذایی و تبدیل آن به انرژی است. در این فرآیند، انرژی به صورت گرما و کار در بدن انسان به کار می‌رود.

خوب است بدانید

سوختن و ساز بدن و قانون اول ترمودینامیک

وقتی غذا می‌خوریم انرژی شیمیایی ذخیره شده در مواد غذایی به بدن ما انتقال می‌یابد. از طرفی وقتی فعالیت انجام می‌دهیم انرژی درونی بدن کالری می‌سازد و طبق قانون اول ترمودینامیک به کار و گرما تبدیل می‌شود. بنا به همین، آهنگ سوختن و ساز بدن آهنگ تبدیل انرژی شیمیایی مواد غذایی به گرما و کار درونی بدن برای جبران کاهش انرژی درونی است و معمولاً برحسب کیلوکالری و ساعت (kcal/h) یا برحسب وات بیان می‌شود. جدول زیر آهنگ سوختن و ساز بدن را در برخی از فعالیت‌ها برای شخصی به چرخ متوسط ۷۵kg نشان می‌دهد.

نوع فعالیت	آهنگ تقریبی سوختن ساز
Watt	kcal/h
900	۱۱۵
۱۱۵۰	۱۴۰
۱۴۰۰	۱۷۵
۱۷۵۰	۲۱۰
۲۱۰۰	۲۶۰
۲۶۰۰	۳۲۰
۳۲۰۰	۳۹۰
۳۹۰۰	۴۸۰
۴۸۰۰	۵۸۰
۵۸۰۰	۷۰۰

در هر ساعتی که در این فعالیت‌ها شرکت می‌کنید، بدن شما به همان میزان انرژی سوختن می‌کند.

هدف از این «خوب است بدانید» آن است که به کاربرد و اهمیت قانون اول ترمودینامیک در بررسی و شناخت فیزیکی فعالیت‌های بدن انسان پرداخته شود.

همچنین توجه کنید که در این «خوب است بدانید»، انرژی درونی در معنای سخت‌گیرانه‌ای به کار رفته است و تأکید بر این معنا، مناسب توان ذهنی همه دانش‌آموزان در یک کلاس درسی نیست. در این بحث، به انرژی شیمیایی موجود در مواد غذایی ذخیره شده در بدن، انرژی درونی بدن گفته شده است. بلکه هنگام یک فعالیت، در نتیجه سوختن مواد غذایی ذخیره شده در بدن، بخشی از انرژی شیمیایی این مواد آزاد شده و به صورت انرژی گرمایی به اندام‌ها داده می‌شود. به این انرژی گرمایی (پس از سوختن مواد غذایی در بدن)، انرژی درونی بدن گفته شده است.

تمرین‌های پیشنهادی بخش ۵-۳

۱) یخ را می‌توان با ساییدن دو قالب آن به یکدیگر، ذوب کرد. اگر بخواهیم 10°C به این روش ذوب شود، هنگام ساییدن اجزای این یخ به هم، چقدر کار برحسب ژول باید روی یخ انجام دهیم؟ (راهنمایی: بنابه قانون اول ترمودینامیک کاری که در این روش ذوب کردن یخ انجام می‌دهیم، هم اندازه گرمایی است که در روش ذوب کردن یخ با دادن گرما به یخ، وجود دارد. به رابطه $\Delta U = Q + W$ برای این دو روش فکر کنید.)

پاسخ: 334 J

۲) فرض کنید 20°C کار توسط دستگاهی انجام شده است و $7\% \text{ cal}$ انرژی به صورت گرما از دستگاه گرفته شده است. تغییر انرژی درونی دستگاه چقدر است؟ ($1\text{ cal} = 4.186\text{ J}$)

پاسخ: -493 J

پرسش پیشنهادی بخش ۵-۳

گاز کاملی درون ظرفی استوانه‌ای و زیر یک پیستون که به راحتی درون استوانه بالا و پایین می‌رود قرار دارد. استوانه و پیستون به‌خوبی عایق‌بندی گرمایی شده‌اند. در این حالت با بالا بردن آرام پیستون، گاز به‌تدریج افزایش حجم می‌یابد و دمای گاز کاهش پیدا می‌کند. برای کاهش دمای گاز کدام توضیح از دو توضیح زیر درست است؟

الف) گاز به پیستون نیرو وارد می‌کند و پیستون در جهت این نیرو جابه‌جا می‌شود. پس گاز روی پیستون کار انجام می‌دهد. بنابراین انرژی درونی گاز کاهش می‌یابد و در نتیجه دمای گاز نیز کاهش می‌یابد.

ب) با حرکت پیستون، گاز مقداری گرما از دست می‌دهد و از دست دادن گرما به معنی کاهش دما است.

پاسخ: الف

۵-۴- برخی از فرایندهای ترمودینامیکی

برای ایجاد انگیزه در شروع این بخش، خوب است به دیگ زودپزی اشاره شود که مقدار خیلی کمی آب درون آن ریخته و روی شعله گاز گذاشته شده است. پس از مدتی فتر سوپاپ باز می‌شود. در این فرایند، پس از بخار شدن همه آب و پیش از باز شدن فتر سوپاپ، دما و فشار بخار افزایش می‌یابد در حالی که تعداد مول گاز و حجم آن ثابت است.

در توضیح صفر بودن کار W در این فرایند می‌توانید با ارجاع به شکل ۵-۶، به این نکته تأکید کنید که اگرچه گاز و پیستون به هم نیرو وارد می‌کنند ولی چون پیستون قفل شده است، هیچ‌یک از گاز و پیستون جابه‌جایی ندارند و بنابراین کار صفر است.

کتیون‌هایمیل



کتیون‌هایمیل، دانشمند آمریکایی، با همکاری همکارانش، موفق شد تا برای اولین بار، یک ماده را در حالت فشرده و در دمای بسیار پایین، به یک حالت فشرده تبدیل کند. این ماده، که به نام «کاترین» شناخته می‌شود، دارای خواص فیزیکی و شیمیایی بسیار جالبی است. این ماده، که به نام «کاترین» شناخته می‌شود، دارای خواص فیزیکی و شیمیایی بسیار جالبی است.



در این آزمایش، یک ماده را در حالت فشرده و در دمای بسیار پایین، به یک حالت فشرده تبدیل کرد. این ماده، که به نام «کاترین» شناخته می‌شود، دارای خواص فیزیکی و شیمیایی بسیار جالبی است. این ماده، که به نام «کاترین» شناخته می‌شود، دارای خواص فیزیکی و شیمیایی بسیار جالبی است.

انرژی		انرژی	
Watt	kcal/h	انرژی	انرژی
۷۰	۶۰	انرژی	انرژی
۱۱۵	۱۰۰	انرژی	انرژی
۲۳۰	۲۰۰	انرژی	انرژی
۴۶۰	۴۰۰	انرژی	انرژی
۱۱۵۰	۱۰۰۰	انرژی	انرژی
۱۷۲۰	۱۵۰۰	انرژی	انرژی

در این فرایند، یک ماده را در حالت فشرده و در دمای بسیار پایین، به یک حالت فشرده تبدیل کرد.

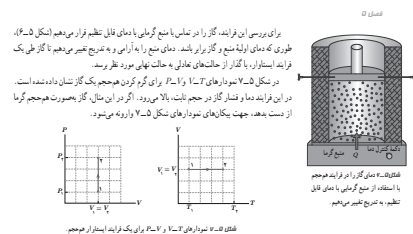
در این فرایند، یک ماده را در حالت فشرده و در دمای بسیار پایین، به یک حالت فشرده تبدیل کرد. این ماده، که به نام «کاترین» شناخته می‌شود، دارای خواص فیزیکی و شیمیایی بسیار جالبی است. این ماده، که به نام «کاترین» شناخته می‌شود، دارای خواص فیزیکی و شیمیایی بسیار جالبی است.

$$\Delta U = Q + W = Q + 0 = Q$$

۱- در صورتی که دمای گاز را از 20°C به 40°C افزایش دهیم و آن را از 10°C به 20°C افزایش دهیم، چه مقدار گرما را از گاز می‌گیریم؟
۲- اگر دمای گاز را از 20°C به 40°C افزایش دهیم و آن را از 10°C به 20°C افزایش دهیم، چه مقدار گرما را از گاز می‌گیریم؟
۳- اگر دمای گاز را از 20°C به 40°C افزایش دهیم و آن را از 10°C به 20°C افزایش دهیم، چه مقدار گرما را از گاز می‌گیریم؟

خوب است مجدداً به این نکته تأکید کنید که اگر گرم یا سرد کردن گاز به آرامی نباشد، هنگام وقوع فرایند گاز متلاطم و آشوبناک می‌شود و فشار و دمای یکسانی برای همه نقاط گاز وجود ندارد و در نتیجه نمی‌توان برای چنین فرایندی نمودار $P-V$ ، $T-V$ ، یا $P-T$ رسم کرد.

به ذهن سپردن نمودار $P-T$ فرایند هم حجم گاز کامل و اینکه شیب این نمودار (nR/V) با حجم گاز نسبت وارون دارد در پاسخ دادن به بعضی، تمرین‌ها و سؤال‌های این فصل از درس به کار می‌آید.



نشان دهید نمودار $P-T$ برای فرایند هم‌حجم یک گاز آرمانی خط راستی است که امتداد آن از مبدأ مختصات $P-T$ می‌گذرد. پاسخ: چون گاز آرمانی است با استفاده از معادله حالت گاز آرمانی داریم: $P = \left(\frac{nR}{V}\right)T$ چون (nR/V) ثابت است، رابطه بالا معادله یک خط راست است که امتداد آن از مبدأ مختصات می‌گذرد (شیب خط $P-T$ در صفحه $P-T$). با حفظ‌گذاری می‌توان نمودار را رسم کرد.



پاسخ پرسش ۱-۵

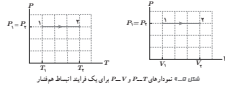
درون قوطی اسپری، شاره دو فاز دارد. بخشی از شاره مایع و بخشی بخار است. با داغ کردن قوطی، مقدار دیگری از مایع درون قوطی بخار می‌شود و به علاوه جنبش مولکول‌های بخار نیز با داغ شدن افزایش می‌یابد. این هر دو رخداد سبب می‌شود که فشار شاره افزایش یابد و این می‌تواند موجب ترکیدن قوطی شود. در واقع این مثالی از یک فرایند ترمودینامیکی هم‌حجم است که در آن با افزایش دما، فشار افزایش می‌یابد.

ممکن است ذهن دانش‌آموزان درگیر این پیچیدگی شود که درون قوطی اسپری دوفاز مختلف مایع و بخار وجود دارد. با گرم شدن قوطی تعداد مول بخار نیز زیاد می‌شود و علاوه بر افزایش جنبش مولکولی، افزایش تعداد مول بخار نیز در افزایش فشار مؤثر است. به این ترتیب با یک فرایند هم‌حجم ساده سروکار نداریم. اگر دیدید این پیچیدگی سبب به هم ریختن درس و کلاس می‌شود می‌توانید توضیح را محدود به حالت ساده‌ای کنید که در ابتدا مقدار مایع کمی درون قوطی اسپری وجود دارد و در لحظات اولیه و با گرفتن کمی گرما، همه مایع بخار می‌شود. حالا از این به بعد با یک فرایند هم‌حجم ساده سروکار دارید. آنچه پس از این مرحله و تا قبل از ترکیدن قوطی رخ می‌دهد ثابت ماندن تعداد مول بخار، ثابت ماندن تقریبی حجم بخار (قوطی کمی باد می‌کند) و افزایش دما و فشار است.

برخی دانش‌آموزان دچار این سؤال می‌شوند که چگونه ممکن است بدون تغییر فشار گاز درون سیلندر، پیستون شروع به حرکت کند و جابه‌جا شود. شاید این توضیح مفید باشد که در یک انبساط هم‌فشار واقعی، فشار گاز نوسانات کوچکی بالاتر از فشار اولیه گاز دارد. در واقع با دادن هر مقدار کوچکی از گرما به گاز، افزایش دمای کمی در گاز پدید می‌آید که موقتاً فشار گاز را کمی می‌افزاید. سپس با انبساط مختصری که پدید می‌آید فشار به مقدار اولیه برمی‌گردد. توضیح تراکم هم فشار نیز مشابه است.

ترومپت‌های...

را اندکی به طرف بالا جابه‌جا می‌کند. اگر گرما دادن به گاز را به همین روش، بصورت بسیار آهسته ادامه دهیم، گاز به تدریج منبسط می‌شود و پیستون بسیار آهسته به طرف بالا حرکت می‌کند. در این فرایند، فشار گاز ثابت می‌ماند. نمودارهای $P-T$ و $P-V$ این فرایند در شکل‌ها رسم شده است.



شکل‌ها: نمودارهای $P-T$ و $P-V$ برای یک فرایند انبساط هم‌فشار

نمود ۱-۵

تشان دیدید نمودار $V-T$ برای فرایند هم‌فشار یک گاز آرمانی، خط راستی است که امتداد آن از مبدأ مختصات می‌گذرد.



در فرایند هم‌فشار، گرما و کار هر دو مبادله می‌شود. در اینجا فقط کار را محاسبه می‌کنیم. اگر فشار گاز P باشد یا توجه به تعریف فشار ($P=F/A$)، کار طی این فرایند نیروی ثابت $F=PA$ را به پیستون وارد می‌کند که در آن A ، مساحت پیستون است. اگر در این فرایند پیستون به اندازه Δh جابه‌جا شود شکل‌ها (Δh) کاری که کار روی پیستون انجام می‌دهد برابر است با:

$$W = F \Delta h = (PA \cos \theta) \Delta h = (PA \cos 0^\circ) \Delta h = P \Delta V$$

ولی Δh ، تغییر حجم گاز و برابر است با $\Delta V = V_f - V_i$ در نتیجه

$$W = P \Delta V$$

با به قانون سوم نیوتن، نیروی که گاز به پیستون وارد می‌کند و نیروی که پیستون به گاز وارد می‌کند همداراز و در خلاف جهت یکدیگر. از سوی دیگر می‌دانیم جابه‌جایی پیستون و جابه‌جایی لایه گاز مجاور آن، همداراز و هم‌جهت‌اند پس می‌توان نوشت:

$$W = P \Delta V$$

در این کلیه، کار محیط روی دستگاه (مثلاً در اینجا کار پیستون روی گاز را W) نشان می‌دهیم. بنابراین، در فرایند هم‌فشار داریم:

$$W = -P \Delta V \quad (13-5) \quad (\text{کار در فرایند هم‌فشار})$$

با به رابطه فوق اگر گاز منبسط شود ($\Delta V > 0$) کار محیط روی دستگاه (W) منفی و اگر گاز تراکم شود ($\Delta V < 0$) کار محیط روی دستگاه (W) مثبت است.

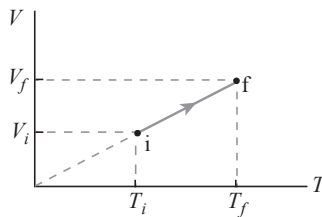
۱۳۳

پاسخ تمرین ۱-۵

چون گاز، کامل (آرمانی) است با استفاده از معادله حالت گاز آرمانی داریم:

$$V = \left(\frac{nR}{P} \right) T$$

چون nR/P ثابت است، رابطه بالا معادله یک خط راست است که امتداد (برون‌یابی) آن از مبدأ مختصات می‌گذرد. بنابراین نمودار این رابطه به شکل زیر می‌شود:



به ذهن سپردن نمودار $V-T$ ی فرایند هم‌فشار گاز کامل، و اینکه شیب این نمودار (nR/P) با فشار گاز نسبت وارون دارد در پاسخ دادن به برخی پرسش‌ها و حل برخی مسئله‌های این درس به کار می‌آید.

در اینجا خوب است اشاره شود که در تراکم و در انبساط، سوی نیروی وارد از گاز به پیستون یکسان است.

پاسخ تمرین ۲-۵

در تراکم هم فشار، در شکل ۵-۱۰ کتاب، جابه جایی رو به پایین می شود، در حالی که سوی نیروی وارد از گاز به پیستون تغییر نمی کند و بنابراین کار گاز روی پیستون چنین می شود:

$$Fd \cos 180^\circ = -Fd = -P\Delta V$$

اما توجه کنید که این بار Ad برابر ΔV است (زیرا حجم کاهش یافته ΔV منفی می شود). پس خواهیم داشت:

$$-P\Delta V = -P(-\Delta V) = P\Delta V$$

ولی چون کار پیستون روی گاز (کار محیط) منفی این رابطه است، کار پیستون روی گاز $-P\Delta V$ می شود که همان رابطه ۲-۵ کتاب است.

پاسخ فعالیت ۱-۵

از رابطه ۲-۵ می دانیم که کار در فرایند هم فشار از رابطه $W = -P\Delta V$ به دست می آید. از روی نمودار $P-V$ ی فرایند هم فشار در می یابیم که $|P\Delta V|$ برابر با مساحت زیر نمودار $P-V$ (مساحت ناحیه هاشور خورده) است. بنابراین می توان گفت که در فرایند هم فشار، قدر مطلق کار انجام شده (قدر مطلق کار محیط روی دستگاه) برابر با مساحت زیر نمودار $P-V$ است.

برخی دانش آموزان در پاسخ فعالیت ۱-۵ و نتیجه گیری پس از آن، که در متن درس آمده است دچار این مشکل می شوند که کار از جنس حاصل ضرب نیرو در جابه جایی (یا حاصل ضرب فشار در تغییر حجم) و یکای SI آن ژول است، در حالی که مساحت سطح هاشور خورده در شکل، از جنس حاصل ضرب دو طول و یکای SI آن مترمربع است. چگونه ممکن است کار با مساحت مساوی شود؟ این ابهام در بقیه جاهای دیگری که در آموزش فیزیک با سطح زیر نمودار سروکار داریم نیز وجود دارد. واقعیت این است که به کارگیری واژه مساحت در این موارد، با قدری مسامحه و ساده گیری همراه است و آنچه محاسبه می شود، در واقع مساحت نیست. به بیانی سخت گیرانه تر (که البته لازم نیست دانش آموزان را درگیر این نوع بیان کنیم) قدر مطلق کار در هر بخش از نمودار $P-V$ متناسب با سطح محصور بین نمودار و محور حجم در آن بخش از نمودار است. مثلاً اگر محور فشار P را طوری درجه بندی کرده باشید که هر 1 cm از طول محور را معادل 1 atm فشار گرفته باشید و محور حجم V را طوری درجه بندی کرده باشید که هر 1 cm از طول محور را معادل 1 L حجم گرفته باشید آنگاه هر قطعه ای از سطح محصور بین نمودار فرایند و محور حجم که مساحتش 1 cm^2 باشد به معنی 100 J کار است. با چنین انتخاب هایی برای درجه بندی محورهای P و V می توان به درستی گفت $|W| \approx 100S$ که در آن W ، کار بر حسب ژول و S مساحت سطح محصور بین نمودار و محور حجم بر حسب cm^2 است.

تمرین ۲-۵
نشان دهید رابطه ۲-۵ که برای یک ایستاد هم فشار بدست آمده، برای یک تراکم هم فشار نیز برقرار است.

فعالیت ۱-۵
با توجه به نمودار شکل روبرو، نشان دهید در فرایند هم فشار، مساحت سطح زیر نمودار $P-V$ برای یک فرایند هم فشار، مساحت سطح زیر نمودار $P-V$ برای یک فرایند هم فشار است.

گروه فعالیت ۵-۱
برای یک فرایند هم فشار است، ولی می توان نشان داد که نتیجه آن در حالت کلی نیز برای هر فرایندی برقرار است و همواره قدر مطلق کار انجام شده برابر با مساحت سطح زیر نمودار فرایند در صفحه $P-V$ است.

مثال ۳-۲
گازی آرمانی به حجم 100 L در فشار ثابت 10^5 Pa گرمای 1000 J به محیط می دهد و حجم آن به 180 L می رسد. اگر دمای اولیه گاز 300 K باشد، (الف) دمای نهایی گاز و (ب) کار انجام شده روی آن چقدر است؟
پاسخ: چون گاز، آرمانی است و حجم آن به طور هم فشار کاهش یافته است، داریم:

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

در نتیجه

$$T_2 = T_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right) = (300\text{ K}) \left(\frac{100}{180} \right) = 167\text{ K}$$

کار انجام شده محیط روی گاز برابر است با

$$W = -P\Delta V = -(10^5\text{ N/m}^2)(180 - 100)\text{ m}^3 = -8000\text{ J}$$

مثال ۳-۳
در شکل روبرو، نمودار $P-V$ برای یک گاز آرمانی نشان داده شده است. در فرایند abc و در فرایند bca ، گرمای 600 J به دستگاه داده شده است. (الف) تغییر انرژی درونی گاز در فرایند abc چقدر است؟ (ب) تغییر انرژی درونی گاز در فرایند bca چقدر است؟ (ج) گرمای داده شده به گاز در فرایند bca را محاسبه کنید. پاسخ: (الف) چون در فرایند abc هیچ تغییر حجمی نداریم، $W_{abc} = 0$ و در نتیجه

$$\Delta U_{abc} = Q_{abc} = 600\text{ J}$$

بما فرایند bca در فشار ثابت رخ می دهد، و بنابراین، کار انجام شده روی دستگاه برابر است با

$$W_{bc} = -P\Delta V = -P(V_c - V_b) = -(10^5\text{ N/m}^2)(180 - 100)\text{ m}^3 = -8000\text{ J}$$

ترمودینامیک

در نتیجه کل کار انجام شده در فرایند abc برابر است با

$$W_{abc} = W_{ab} + W_{bc} = -144 \text{ J} = -144 \text{ J}$$

و از طرفی گرمای کل داده شده به دستگاه در فرایند abc برابر است با

$$Q_{abc} = Q_{ab} + Q_{bc} = 150 \text{ J} + 60 \text{ J} = 210 \text{ J}$$

با استفاده از قانون اول ترمودینامیک داریم:

$$\Delta U_{abc} = Q_{abc} + W_{abc} = 210 \text{ J} - 144 \text{ J} = 66 \text{ J}$$

بنابراین می‌دانیم در فرایندهای مختلفی که از حالت اولیه یکسان آغاز می‌شوند و به حالت نهایی یکسان می‌رسند، تغییر انرژی درونی گاز یکسان است. بنابراین:

$$\Delta U_{ab} = \Delta U_{bc} = 66 \text{ J}$$

از طرفی کل کار انجام شده در فرایند abc برابر است با:

$$W_{abc} = W_{ab} + W_{bc} = -P(V_c - V_a) = -(2 \times 10^5 \text{ Pa})(3 \times 10^{-3} \text{ m}^3 - 1 \times 10^{-3} \text{ m}^3) = -200 \text{ J}$$

با استفاده از قانون اول ترمودینامیک داریم:

$$\Delta U_{abc} = Q_{abc} + W_{abc}$$

و در نتیجه

$$Q_{abc} = \Delta U_{abc} - W_{abc} = (66 \text{ J}) - (-200 \text{ J}) = 266 \text{ J}$$

تجرباتی



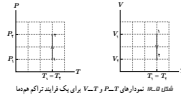
در فرایند هودما، دمای گاز تغییر نمی‌کند. بنابراین، برای گاز آرمانی که انرژی درونی آن فقط تابعی از دماست، تغییر انرژی درونی صفر است و با استفاده از قانون اول ترمودینامیک می‌توانیم بنویسیم:

$$\Delta U = Q + W = 0$$

در نتیجه:

$$Q = -W$$

که چون در تراکم، کار انجام شده محیط روی گاز، W ، مثبت است، Q ، منفی می‌شود؛ یعنی در تراکم هودما، گاز گرما از دست می‌دهد. نمودارهای P - V و T - V این فرایند در شکل ۱۴-۳ رسم شده است.



شکل ۱۴-۳: نمودارهای P - V و T - V برای یک فرایند تراکم هودما

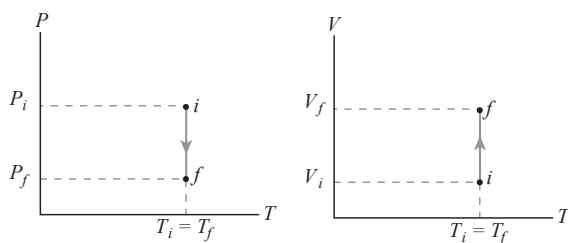
۱۲۵

می‌توان برای ورود به بحث فرایند هم‌دما، با این پرسش شروع کرد: سرنگی را که پیستون آن به نرمی و با اصطکاک ناچیز درون سیلندرش جابه‌جا می‌شود، از هوا پرمی‌کنیم و سوراخ ته آن را می‌بندیم. سپس سرنگ را ته ظرف خیلی گودی که درون آن مقدار کمی آب وجود دارد، زیر آب نگه می‌داریم، طوری که پیستون سرنگ بتواند آزادانه حرکت کند. اینک به آرامی به آب درون ظرف اضافه می‌کنیم؛ آبی که دمای آن با دمای آب اولیه درون ظرف برابر باشد. به نظر شما با زیاد شدن تدریجی ارتفاع لایه آب بالای سرنگ، فشار، حجم، و دمای هوای درون سرنگ، چه تغییری می‌کند و هوای درون سرنگ چه فرایندی را تجربه می‌کند؟

برخی دانش‌آموزان به سختی می‌پذیرند که در فرایند هم‌دما گاز با محیط تبادل گرما می‌کند، بی‌آنکه دمایش تغییر کند. باید تأکید کنیم که در فرایند هم‌دمای گاز کامل تبدیل کامل کار و گرما به یکدیگر رخ می‌دهد ($Q = -W$). در ضمن در صورت لزوم می‌توان با این توضیح، ابهام ذهن دانش‌آموزان را تا حدودی برطرف کرد که مثلاً در یک تراکم هم‌دما واقعی، در هر تراکم جزئی، کار کوچکی روی گاز انجام می‌شود و بدین ترتیب 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 هم‌دما واقعی، دمای گاز نوسانات کوچکی در بالای دمای منبع دارد. با توضیح مشابه، در یک انبساط هم‌دما واقعی، دمای گاز نوسانات کوچکی در پایین دمای منبع دارد که سبب می‌شود گاز از منبع، گرما بگیرد.

پاسخ تمرین ۳-۵

الف) باید ترتیبی دهیم که حجم گاز داخل استوانه حاوی گازی که در تماس با یک منبع گرما با دمای ثابت است به گونه‌ای تدریجی و ایستوار افزایش یابد. پس کاهش تدریجی ساچمه‌های سربی می‌تواند روشی قابل قبول باشد؛ البته این کار را می‌توان با روش‌های متفاوتی انجام داد. مثلاً می‌توان به جای ساچمه‌های سربی از کیسه‌های شنی استفاده کرد که سوراخ کوچکی در آن ایجاد شده، به گونه‌ای که شن به آرامی از آن خارج می‌شود. در هر حال، با کاهش تدریجی 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 به صورت 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 کار محیط روی گاز (W) منفی است. چون فرایند هم دما 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 مرحله 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 ۲-۵

وقتی سرنگ حاوی هوا را در آب نگه می‌داریم 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 (به عنوان 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 به کندی رخ می‌دهد، دمای دستگاه همان دمای منبع باقی می‌ماند، یعنی دما ثابت است و بنابراین یک تراکم هم‌دما داریم (در واقع توجه کنید که در هر مرحله 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). در این فعالیت و نیز در تمرین ۳-۵ دانش‌آموزان یاد می‌گیرند که در فرایند هم‌دما، گاز با محیط تبادل گرما می‌کند بی‌آنکه دمایش تغییر کند. در فرایند هم‌دمای گاز کامل تبدیل کامل کار و گرما به یکدیگر رخ می‌دهد. در اینجا که تراکم هم‌دمای گاز کامل بررسی می‌شود، محیط روی دستگاه کار انجام می‌دهد و به همان اندازه کار، دستگاه به محیط گرما می‌دهد.

فصل ۵

تمرین ۳-۵

مثله آنچه که برای تراکم هم‌دما سرنگ داریم، انبساط هم‌دمای گاز کامل را شرح دهد و علامت‌های Q و W را برای چنین فرایندی تعیین و نمودارهای $P-T$ و $V-T$ را برای آن رسم کنید.

فعالیت ۲-۵

انتهای یک سرنگ جاری هوا را سسوده و آن را وارد حجم وزنی از آب کنید. پس از مدتی، پیستون سرنگ را به آرامی فشار دهید. هوای درون سرنگ چه فرایندی را طی می‌کند؟

مثال ۵-۳

گازی آرمانی را در دمای ثابت از حالت اولیه $P_1 = 1 \text{ atm}$ و $V_1 = 1 \text{ L}$ به حالت نهایی با حجم $V_2 = 1/2 \text{ L}$ تراکم می‌کنیم. (الف) در طی این فرایند، فشار گاز را برای هر یک از حجم‌های $V_1/2$ و $V_1/4$ و $V_1/8$ حساب کنید و نمودار $P-V$ را با استفاده از روش نقطه‌ای و معلوم بودن مشخصات هر نقطه رسم کنید. (ب) اگر ساختار سطح زیر این نمودار را W و Q در این فرایند محاسبه کنید. پاسخ: (الف) چون گاز، آرمانی و فرایند هم‌دماست داریم:

$$PV = nRT \Rightarrow P_1 V_1 = P_2 V_2 = \dots$$

$$V_1 = 1 \text{ L} \Rightarrow (1 \text{ atm})(1 \text{ L}) = (P_2)(1/2 \text{ L}) \Rightarrow P_2 = 2 \text{ atm}$$

$$V_1 = 1 \text{ L} \Rightarrow (1 \text{ atm})(1 \text{ L}) = (P_3)(1/4 \text{ L}) \Rightarrow P_3 = 4 \text{ atm}$$

$$V_1 = 1 \text{ L} \Rightarrow (1 \text{ atm})(1 \text{ L}) = (P_4)(1/8 \text{ L}) \Rightarrow P_4 = 8 \text{ atm}$$

مشخصات نقاطی مربوط به نمودار $P-V$ را در جدول یادداشت و نمودار را رسم می‌کنیم:

$V (\text{L})$	$P (\text{atm})$
$V_1 = 1$	$P_1 = 1$
$V_2 = 1/2$	$P_2 = 2$
$V_3 = 1/4$	$P_3 = 4$
$V_4 = 1/8$	$P_4 = 8$

ب) فرایند کار محیط روی دستگاه برابر با مساحت سطح زیر نمودار $P-V$ است. افزون بر این، چون گاز تراکم شده است، علامت کار انجام شده بر روی گاز مثبت است؛ یعنی:

$$W = +5.05 \text{ J}$$

ب) برای فرایند هم‌دمای گاز کامل نشان‌دهنده داریم $Q = -W$ است. بنابراین، برای Q داریم:

$$Q = -W = -5.05 \text{ J}$$

پاسخ تمرین ۴-۵

الف) با توجه به معادله حالت گاز کامل داریم

$$PV = nRT \Rightarrow P = \left(\frac{nR}{V} \right) T$$

اگر طبق راهنمایی، خطی عمود بر محور حجم رسم کنیم به گونه‌ای که هر چهار نمودار را قطع کند از رابطه بالا درمی‌یابیم که برای چهار نقطه 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 جای (فشار) پایین‌تری قطع کرده است کمترین دما را دارد و منحنی T_4 که خط عمود بر محور حجم را در جای (فشار) بالاتری قطع کرده است، بیشترین دما را دارد و بدین ترتیب $T_1 < T_2 < T_3 < T_4$ است. البته می‌توانیم مسئله را به ازای یک فشار معین نیز بررسی کنیم. در این صورت، معادله حالت گاز کامل را به صورت زیر می‌نویسیم:

$$V = \left(\frac{nR}{P} \right) T$$

تأثیر فرایند بر درو: در این فرایند بین دستگاه (گاز) و محیط گرما مبادله نمی‌شود. برای انجام دادن این فرایند باید دستگاه را طاق شکل ۱۳-۵ کاملاً عایق‌بندی کنیم و سپس عمل تراکم یا انبساط را با افزودن یا کاستن دمای جرمی سامانه‌های فازی روی سیستم به آهستگی انجام دهیم و یا اینکه گاز را چنان به سرعت تراکم یا منبسط کنیم که گاز فرصت تبادل گرما با محیط را پیدا نکند. بنابراین، در فرایند بی‌درو، $Q = 0$ است. در نتیجه، قانون اول ترمودینامیک برای این فرایند بصورت زیر درمی‌آید:

$$\Delta U = Q + W = +W$$

یا

$$\Delta U = W$$

(۱۳-۵) (فرایند بی‌درو)

در انبساط بی‌درو، گاز آرامی، کار محیط روی گاز (دستگاه) نمی‌کند. در نتیجه، $\Delta U < 0$ است و انرژی دوی گاز و دمای آن کاهش می‌یابد. در تراکم بی‌درو، عکس این اتفاق رخ می‌دهد و انرژی دوی گاز و دمای آن افزایش می‌یابد.

۱۳۵

حال اگر خطی عمود بر محور فشار رسم کنیم به گونه‌ای که هر چهار نمودار را قطع کند، از رابطه بالا درمی‌یابیم در مقایسه این چهار نقطه 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 پاسخ این تمرین درمی‌یابیم که نمودارهای هم‌دمادر صفحه $P-V$ نقش یک مقیاس دمایی را دارند و با مشاهده آنها در مقایسه با یکدیگر می‌توان درباره دما اظهار نظر کرد. در واقع با مشاهده نمودار یک فرایند در زمینه نمودارهای هم‌دمادر صفحه $P-V$ می‌توان درباره تغییر دمای گاز در مسیر آن فرایند اظهار نظر کرد.

ب) مقدار کار برابر مساحت زیر نمودار $P-V$ است. در یک تغییر حجم معین از حجم معین V_1 به حجم کمتر و معین V_2 ، مساحت زیر منحنی هم‌دمای T_1 از همه کمتر و مساحت زیر منحنی هم‌دمای 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 دیران محترم، مبحث فرایند بی‌درو را با این پرسش از دانش‌آموزان آغاز کنند که به نظر شما برای دستگاهی که مبادله گرما ندارد چگونه می‌توان تغییر حالت ایجاد کرد؟

پاسخ فعالیت ۳-۵

وقتی در نوشابه گازدار باز می‌شود، گاز محبوس در بالای آن و نیز گاز کربن دی اکسید خارج شده از نوشابه انبساط می‌یابد. این انبساط چنان سریع صورت می‌گیرد که آن را می‌توان تقریباً بی‌دررو پنداشت. در این انبساط، گاز منبسط شده، هوای بیرون بطری را پس می‌زند و روی این هوا کار انجام می‌دهد (مانند وقتی که گاز درون یک سیلندر، با منبسط شدن، پیستون را پس می‌زند و روی پیستون کار انجام می‌دهد). گاز منبسط شده و کار انجام داده است، از سویی انبساط سریع بوده و فرصت مبادله گرما بین گاز و محیط وجود نداشته است؛ پس بنا به قانون اول ترمودینامیک انرژی درونی گاز کاهش یافته است. گاز انرژی درونی از دست می‌دهد و سردتر می‌شود که این باعث می‌گردد بخار آب موجود در گاز در حال انبساط به‌صورت قطرات ریز آب درآید. این قطرات موجود در هوا، هاله رقیقی را تشکیل می‌دهند که در اطراف دهانه بطری دیده می‌شود. (توجه کنید اگر دمای مایع در نزدیکی نقطه انجماد باشد یخ زدن نوشابه نیز ممکن است رخ دهد. چرا که وقتی در بطری باز می‌شود، فشار داخل آن ناگهان تا فشار جو کاهش می‌یابد و این به بالا رفتن نقطه انجماد مایع می‌انجامد. مایع که دمای آن اکنون زیر نقطه انجماد جدید قرار دارد، شروع به یخ زدن می‌کند.)

تدا فرایند بی‌دررو: در این فرایند بین دستگاه (گاز) و محیط گرما مبادله نمی‌شود. برای انجام دادن این فرایند باید دستگاه را عایق شکل ۱۳-۵ کاملاً عایق‌بندی کنیم و سپس عمل تراکم یا انبساط را با افزودن یا کاستن تدریجی سیم‌های فازی روی پیستون به آهستگی انجام دهیم و یا اینکه گاز را چنان به سرعت تراکم یا منبسط کنیم که گاز فرصت تبادل گرما با محیط را پیدا نکند. بطری، در فرایند بی‌دررو، $Q = 0$ است. در نتیجه، قانون اول ترمودینامیک برای این فرایند بصورت زیر درمی‌آید:

$$\Delta U = Q + W = +W$$

(۳-۵) (فرایند بی‌دررو)

در انبساط بی‌درروی گاز آرمانی، کار محیط روی گاز (دستگاه عایق) است. در نتیجه $\Delta U < 0$ و انرژی درونی گاز و دمای آن کاهش می‌یابد. در تراکم بی‌دررو، عکس این اتفاق رخ می‌دهد و انرژی درونی گاز و دمای آن افزایش می‌یابد.

فرض کنید در یک نوشابه گازدار خیلی سرد را سریع باز می‌کنیم. مشاهده می‌شود که هاله رقیقی در اطراف دهانه نوشابه ایجاد می‌شود. این پدیده را توجه کنید.

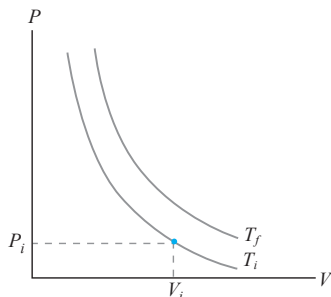
خوب است دیران محترم در اینجا، این مقایسه را بین دو فرایند هم‌دما و بی‌دررو برای گاز کامل انجام دهند که در فرایند هم‌دما مبادله گرما با گاز داریم ولی دمای گاز تغییر نمی‌کند، و در فرایند بی‌دررو مبادله گرما با گاز نداریم ولی دمای گاز تغییر می‌کند. مبادله گرما با دستگاه ترمودینامیکی یعنی $Q \neq 0$ تغییر دمای دستگاه یعنی $\Delta T \neq 0$ ؛ این دو رخداد می‌توانند همراه با هم اتفاق بیفتند و یا نه.

برخی دانش‌آموزان با گذشت زمان و فاصله گرفتن از درس، فرایند بی‌دررو را فقط با شرط عایق پوش بودن دستگاه به یاد می‌آورند. لازم است روی این موضوع که انبساط‌ها و تراکم‌های سریع یک گاز نیز بی‌دررو هستند به اندازه کافی صحبت شود، به‌خصوص که در ادامه درس و در بحث ماشین‌های گرمایی به این مطلب نیاز داریم.

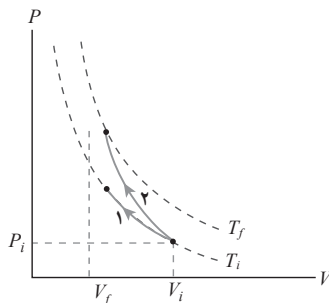
در ضمن ممکن است برخی دانش‌آموزان قوی در درس، این نکته را مطرح کنند که اگر انبساط یا تراکم یک گاز خیلی سریع باشد، فرایند رخ داده ایستاوار نیست و بررسی ترمودینامیکی آن ممکن نیست. این اشکال بجا و درست است. در چنین مواردی، در صورت لزوم و به ناچار، فرایند مورد نظر را، با تن دادن به قدری خطا، با فرایند مشابهی که به قدر کافی کند باشد مدل‌سازی و سپس بررسی می‌کنیم.

پاسخ تمرین ۵-۵

با توجه به رابطه ۵-۳ 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. چگونگی رسم منحنی‌های هم‌دما را در پاسخ تمرین ۵-۴ آموختیم و دریافتیم دمای بالاتر مربوط به خم (منحنی) بالاتر است؛ بنابراین نمودارهای هم‌دما $T = T_i$ و $T = T_f$ مانند شکل زیر خواهیم داشت (در پاسخ این تمرین از نمادهای i و f به جای ۱ و ۲ در کتاب درسی استفاده کرده‌ایم. حرف i سرواژه initial به معنی اولیه و حروف f سرواژه final به معنی نهایی است).



بدیهی است که در تراکم هم‌دما، دما تغییر نمی‌کند و همواره $T = T_f$ است (مسیر ۱). ولی نشان دادیم که در تراکم بی‌دررو، دمای گاز افزایش می‌یابد، پس در تراکم بی‌دررو، گاز باید به دمای بالاتری مثل T_f برسد (مسیر ۲).

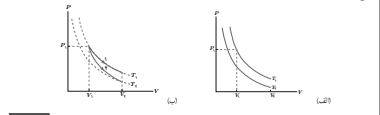


چون سطح زیر نمودار مربوط به تراکم بی‌دررو بیشتر است، $|W|$ برای این فرایند مقدار بیشتری دارد. (البته توجه کنید که در اینجا در هر دو فرایند هم‌دما و بی‌دررو تراکم رخ می‌دهد و بنابراین برای هر دو فرایند $W > 0$ است و می‌توانستیم از قدر مطلق استفاده نکنیم.) همچنین با مقایسه نمودار در مثال ۵-۶ و نمودار پاسخ در تمرین ۵-۵ می‌توان دید در نقطه برخورد نمودار هم‌دما و نمودار بی‌دررو در صفحه P - V برای گاز کامل، همیشه قدر مطلق شیب نمودار بی‌دررو بیشتر است. توجه داریم که شیب نمودارهای هم‌دما و بی‌درروی گاز کامل در صفحه P - V در همه نقاط، منفی است.

فصل ۱۲

مسئله ۲-۶

گازی آرمانی را با حجم V_1 و فشار P_1 در نظر بگیرید. اگر این گاز را با یک فرایند بی‌دررو متسلسل کنیم، نشان داده می‌شود که نمودار P - V آن حسی مشابه شکل روی‌روی می‌شود که اندکی با خم‌بک فرایند هم‌دما متفاوت است. فرض کنید که گاز در طی دو فرایند هم‌دما و بی‌دررو که از حجم و فشار یکسانی شروع می‌شوند به حجم یکسانی انبساط یابد. نمودارهای این دو فرایند را در یک صفحه P - V رسم و با هم مقایسه کنید. در کدام فرایند مقدار کار بیشتر است؟



تمرین ۵-۵

مثال ۵-۶ را با فرض آنکه گاز بی‌مای انبساط، تراکم باید پاسخ دهید.

مسئله ۲-۷

در شکل روی‌روی گازی آرمانی را از طریق چند فرایند مختلف از جمله یک فرایند هم‌دما، یک فرایند هم‌فشار و یک فرایند بی‌دررو از دمای T_i به دمای T_f رسم دادیم. توضیح دهید چرا مسیر انرژی درونی از نقطه a به نقطه b نشان است. پاسخ: همان‌طور که می‌دانید انرژی درونی گاز آرمانی فقط به دمای گاز بستگی دارد. بنابراین، با توجه به اینکه دمای اولیه و نهایی در همه فرایندها یکی است، تغییر انرژی درونی در هر چهار فرایند برابر است.

۱۲۸

فرایند بی‌درروی گاز کامل

می‌دانیم در فرایند بی‌دررو $Q = 0$ ، و قانون اول ترمودینامیک در شکل دیفرانسیلی به صورت 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 رابطه $\Delta U = nC_V \Delta T$ برای انرژی درونی گاز کامل در هر فرایند دلخواهی برقرار است. بنابراین داریم:

$$nC_V dT = -PdV$$

در معادله بالا P را از معادله حالت گاز کامل به صورت $P = nRT/V$ جاگذاری می‌کنیم و پس از عملیات جبری ساده‌ای به رابطه زیر می‌رسیم:

$$\frac{dT}{T} + \left(\frac{R}{C_V} \right) \frac{dV}{V} = 0$$

با توجه به اینکه برای گاز کامل $R = C_P - C_V$ است و با معرفی ضریب موسوم به ضریب اتمیسیته $\gamma = C_P / C_V$ می‌توانیم $\frac{R}{C_V}$ را چنین بنویسیم:

$$\frac{R}{C_V} = \frac{C_P - C_V}{C_V} = \frac{C_P}{C_V} - 1 = \gamma - 1$$

در نتیجه داریم:

$$\frac{dT}{T} + (\gamma - 1) \frac{dV}{V} = 0$$

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:

$$\ln T + (\gamma - 1) \ln V = \text{ثابت}$$

$$\ln T + \ln V^{\gamma-1} = \text{ثابت}$$

$$\ln (TV^{\gamma-1}) = \text{ثابت}$$

و در نتیجه

$$TV^{\gamma-1} = \text{ثابت}$$

و یا

$$T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1}$$

توجه کنید که در این رابطه T باید برحسب کلوین باشد.

هرگاه در معادله «ثابت $= TV^{\gamma-1}$ » از رابطه گازهای کامل، T را به صورت $T = PV/nR$ جایگزین کنیم، به رابطه زیر خواهیم رسید :

$$\left(\frac{PV}{nR} \right) V^{\gamma-1} = \text{ثابت}$$

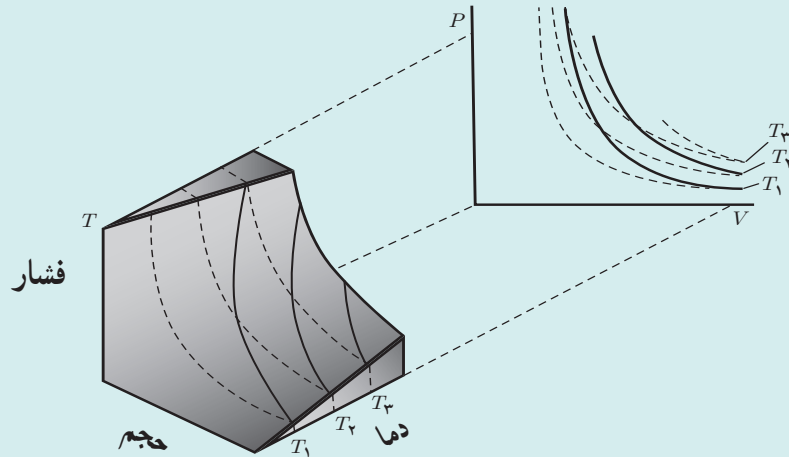
که چون n و R ثابت اند، می توان نوشت :

$$PV^{\gamma} = \text{ثابت}$$

و یا

$$P_1 V_1^{\gamma} = P_2 V_2^{\gamma}$$

در شکل زیر، نمودارهای فرایندی های هم دما و بی دررو برای گاز کامل رسم شده است. فرایندهای بی دررو با خط چین و فرایندهای هم دما با خطوط ضخیم نشان داده شده اند. همانگونه که پیش تر گفتیم در اینجا نیز از شکل درمی یابیم که در هر نقطه برخورد نمودار هم دما و نمودار بی دررو در صفحه $P-V$ اندازه (قدر مطلق) شیب منحنی هم دما کمتر از شیب منحنی بی دررو است. اگر در صفحه $P-V$ و از راست به چپ و روی یک منحنی بی دررو حرکت کنیم، این منحنی، منحنی های هم دما با دمای بیشتر از قبل را یکی پس از دیگری قطع می کند که این نشان دهنده این واقعیت است که در تراکم بی دررو، دما افزایش می یابد.



سرنگ آبیروژن^۱ استوانه کوچکی است مجهز به پیستونی که کاملاً بر سطح داخلی استوانه منطبق است. در فضای محصور داخل سرنگ، فقط هوا و تکه کوچکی از پنبه قرار دارد. با زدن سریع پیستون به داخل، و تراکم بی‌درزی هوای محصور، تکه پنبه مشتعل می‌شود. (معمولاً از کاغذ نیتروسولوز در این آزمایش استفاده می‌شود که نقطه اشتعال بسیار پایینی دارد.) چرا پنبه در این فرایند آتش می‌گیرد؟

۲-۵-۱ *جرعه ترمودینامیکی*

دستگاه می‌تواند فرایندی را طی کند که از مجموع چند فرایند تشکیل شده باشد. برای مثال، فرایند شکل ۲-۵-۱ از سه فرایند ab ، bc و ca تشکیل شده است. مجموعه این فرایندها یک *جرعه ترمودینامیکی* را تشکیل داده است. در واقع در *جرعه ترمودینامیکی*، دستگاه پس از طی چند فرایند مختلف به حالت اولیه خود بازمی‌گردد؛ چون در *جرعه ترمودینامیکی*، حالت نهایی با حالت ابتدایی یکسان است به‌عبارت‌های دیگر برای هر صفت A (مثلاً EA)، قانون اول ترمودینامیک برای *جرعه‌های ترمودینامیکی* داریم:

$$Q = -W \quad (2-5-1)$$

را در صفحه ۲۰۷ تشکیل می‌دهد.

۲-۵-۲ *حالت نهایی*

شکل دوهم، یک *جرعه ترمودینامیکی* فرضی را نشان می‌دهد. (تصاویر کار انجام شده روی دستگاه در هر فرایند را برحسب سطح زیر نمودار آن بیان کنید. بی‌اشاره به مقدار کار کل انجام‌شده، روی دستگاه، ورم با ساخت داخل *جرعه* است. بی‌اشاره به مقدار کار کل انجام‌شده، روی دستگاه، شیب است با شیب؟ توضیح دهید.

با انجام فعالیت ۲-۵-۲، در واقع اندازه کار انجام‌شده در *جرعه* برابر با مساحت سطح داخل *جرعه* در صفحه ۲۰۷ است و می‌توان نشان داد که *جرعه‌های ساده‌تر* در صفحه ۲۰۷ کار انجام‌شده، روی دستگاه، شیبی و در *جرعه‌های ساده‌تر*، شیب است.

۱۳۹

پاسخ پرسش ۲-۵

در اینجا برای هوای داخل سرنگ تراکمی بی‌دررو رخ می‌دهد، چرا که گفتیم هرگاه تغییر حجم گاز چنان به سرعت رخ دهد که گاز فرصت تبادل گرما با محیط را پیدا نکند، آن فرایند، تراکمی یا انبساطی، بی‌دررو است. در پاسخ تمرین ۵-۵ دیدیم که در یک تراکم بی‌دررو، دمای گاز کامل افزایش می‌یابد. بنابراین، در اینجا دمای هوای داخل سرنگ زیاد می‌شود. اگر درون سرنگ قطعه‌ای از کاغذ نیتروسولوز انداخته باشیم، با توجه به اینکه نقطه اشتعال کاغذ نیتروسولوز بسیار پایین است، با اندک افزایش دمایی مشتعل می‌شود. خوب است بدانید اگر هوا با دمای معمولی محیط، در یک تراکم بی‌دررو به نصف حجم اولیه‌اش برسد، در حدود 100°C افزایش دما پیدا می‌کند. انجام این آزمایش با انواع دیگر کاغذ به دلیل داشتن نقطه اشتعال بالاتر، دشوارتر است، در حالی که با کاغذ نیتروسولوز، به سادگی می‌توان به نتیجه رسید.

تمرین‌های پیشنهادی بخش ۴-۵

۱) گاز معینی در فشار $1/2 \text{ atm}$ و دمای 310 K حجمی برابر با $4/3 \text{ L}$ را اشغال می‌کند. این گاز به‌طور بی‌دررو تا حجم 0.76 L متراکم می‌شود و به فشار 14 atm می‌رسد. دمای نهایی گاز چقدر است؟
پاسخ: $6/2 \times 10^2 \text{ K}$

۲) گرمای تبخیر آب در نقطه جوش $2/26 \times 10^3 \text{ J/g}$ است. اگر $1/0^\circ\text{C}$ (یا $1/0^\circ\text{C}$) آب بر اثر جوشیدن در فشار جو متعارف ($1/0 \times 10^5 \text{ Pa}$) به $1/67 \times 10^3 \text{ cm}^3$ بخار تبدیل شود، الف) کار محیط روی آب چقدر است؟
ب) افزایش انرژی درونی آب چقدر است؟
پاسخ: الف) $-1/69 \times 10^3 \text{ J}$ ب) $2/09 \times 10^3 \text{ J}$

۳) یک گاز آرمانی تک‌اتمی با فشار و حجم اولیه P_1 و V_1 و دمای اولیه $T_1 = 300^\circ\text{K}$ را تا حجم نهایی V_2 یک‌بار به‌صورت هم‌دما و بار دیگر به‌صورت بی‌دررو منبسط می‌کنیم. در انبساط بی‌دررو، دمای گاز به 285°K می‌رسد. فشار نهایی گاز در انبساط بی‌دررو چند برابر فشار نهایی در انبساط هم‌دماست؟
پاسخ: 0.95

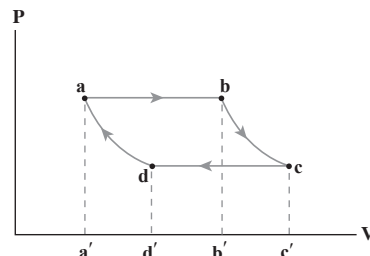
پرسش‌های پیشنهادی بخش ۴-۵

۱ چرا هنگام باد کردن لاستیک دوچرخه با تلمبه، استوانه (سیلندر) تلمبه گرم می‌شود؟
(راهنمایی: هنگام تلمبه‌زدن، هوای درون استوانه چنان سریع متراکم می‌شود که می‌توان از تبادل گرمای این هوا با محیط، در لحظات وقوع تراکم 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؟

پاسخ فعالیت ۴-۵

برای آنکه منظور مشخص شود، محل‌های تقاطع خط‌چین‌های عمودی با محور V را به ترتیب با a', b', c' و d' نمایش می‌دهیم:



بنابراین، قدرمطلق کار انجام شده در فرایند da برابر مساحت سطح محصور در $a'da$ ، قدرمطلق کار انجام شده در فرایند ab برابر مساحت سطح محصور در $abb'a'$ و قدرمطلق کار انجام شده در فرایند bc برابر مساحت سطح محصور در $bcc'b'$ و قدرمطلق کار انجام شده در فرایند cd برابر مساحت سطح محصور در $dcc'd'$ 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. با توجه به مساحت‌ها و علامت‌های کار که در قسمت الف بررسی کردیم، در می‌یابیم اندازه (قدرمطلق) کار محیط در این چرخه برابر با مساحت سطح داخل چرخه است.

پ) بنا به توضیح قسمت ب کار کل انجام شده روی دستگاه در این چرخه، منفی است. به عبارت دیگر، همان‌طور که در شکل مشاهده می‌کنیم مساحت‌های با علامت منفی بر مساحت‌های با علامت مثبت غالب شده اند.

۴-۳ پرسش

بریک آنتی‌تانه استوانه کوچکی است معبر به بستونی که تالار و سطح داخلی استوانه متعلق است. در فضای محصور داخل بریک، فقط هوا و تانک کوچکی از پنبه قرار دارد. با زدن سریع بستونی به داخل، تراکم می‌رود و هوای محصور، تانک پنبه متحمل می‌شود. (معمولاً از کاغذ تیتروسلولر در این آزمایش استفاده می‌شود که فقط امتداد بسیار باریک دارد.) چرا پنبه در این فرایند آنتی می‌گردد؟

۴-۴ چرخه ترمودینامیکی

دستگاه می‌تواند فرایندی را طی کند که از مجموع چند فرایند تشکیل شده باشد. برای مثال، فرایند شکل ۴-۳، از سه فرایند هر حجم دارد: فرایند bc و فرایند cd تشکیل شده است. مجموعه این فرایندها یک چرخه ترمودینامیکی را تشکیل داده است. در واقع در چرخه ترمودینامیکی، دستگاه پس از طی چند فرایند مختلف به حالت اولیه خود بازمی‌گردد؛ چون در چرخه ترمودینامیکی حالت نهایی با حالت ابتدایی یکسان است تغییر انرژی درونی برابر صفر است ($\Delta E = 0$). بنابراین، از قانون اول ترمودینامیک وای چرخه‌های ترمودینامیکی داریم:

$$Q = -W$$

(شکل ۴-۳ چرخه ترمودینامیکی)

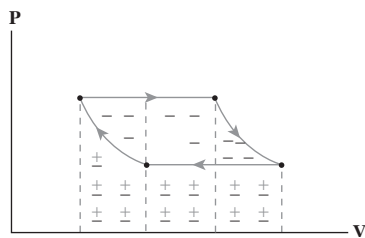
۴-۵ فعالیت

شکل رویه‌رو یک چرخه ترمودینامیکی فرضی را نشان می‌دهد. (تصویر کار انجام شده روی دستگاه در هر فرایند را در حسب سطح زیر نمودار آن بیان کنید.)

سپا نشان دهنده مقدار کار کل انجام‌شده روی دستگاه و او با مساحت داخل چرخه است.

کجا کار کل انجام‌شده روی دستگاه مثبت است یا منفی؟ توضیح دهید.

با انجام فعالیت شکل ۴-۵ را باقیمانده کار انجام‌شده در چرخه و او با مساحت سطح داخل چرخه در صفحه $P-V$ است و می‌توان نشان داد در چرخه‌های ساده‌تر در صفحه $P-V$ کار انجام‌شده روی دستگاه منفی و در چرخه‌های پادساعتگرد، مثبت است.



۵-۵۔ چرخہ 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. همچنین خوب است مثال‌هایی مطرح شود که در آنها، برخی یا حتی همهٔ فرایندهای رخ داده در چرخه، متفاوت از فرایندهای خاص و معروفی باشد که تا اینجا بررسی کردیم.

بعضی دانش‌آموزان با چند وقت فاصله گرفتن از درس، یادشان می‌رود که این قاعده‌ها مربوط به نمودار چرخه در صفحه $P-V$ است و این قاعده‌ها را برای نمودار چرخه در صفحه‌های $P-T$ و $V-T$ نیز به کار می‌برند. لازم است همکاران بزرگوار بر اینکه آنچه در اینجا گفته شده مربوط به نمودار چرخه در صفحه $P-V$ است تأکید کنند.

تمرین‌های پیشنهادی بخش ۵-۶

۱) یک گاز کامل چرخه‌ی نشان داده شده در نمودار $P-V$ ی شکل روبه‌رو را طی می‌کند. کار انجام شده توسط گاز و گرمای داده شده به گاز در این چرخه را بر P_0 و V_0 بدست آورید؟

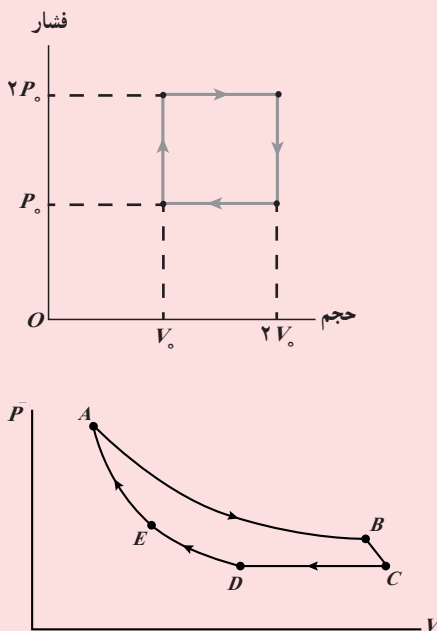
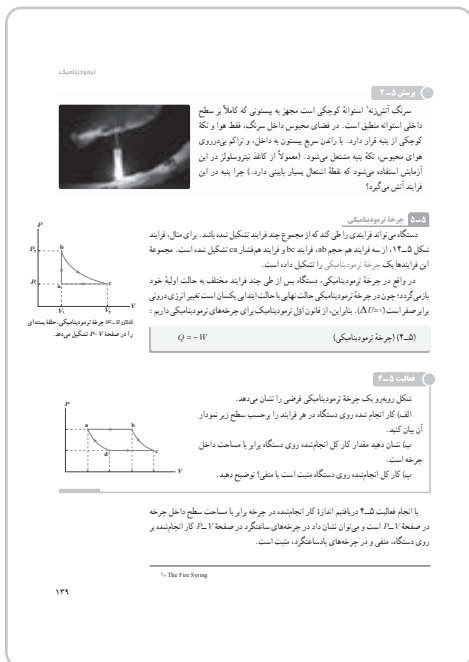
پاسخ :

$$\text{کار گاز روی محیط در چرخه} = -W_{\text{چرخه}} = +P_0 V_0$$

$$Q_{\text{حرخه}} = +P_0 V_0 = \text{گرمای داده شده به گاز در چرخه}$$

۲ شکل چرخه‌ای شامل ۵ فرایند برای یک گاز کامل را نشان می‌دهد. AB هم‌دما در $K = 300^\circ$ ، BC بی‌دررو با کاری برابر $J = 50$ ، در فشار ثابت $atm = 5.0$ ، DE هم‌دما، و EA بی‌دررو با تغییر انرژی درونی $J = 80$ است. تغییر انرژی درونی گاز در مسیر CD چقدر است؟

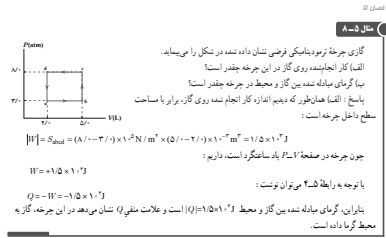
پاسخ : J : ۳/۰ -



گفته شده است بازده ماشین بخاری که وات ساخت در حدود ۱٪ بود. بازده توربین‌های بخاری امروزی در حدود ۴۰٪ است.

۵-۶- ماشین‌های گرمایی

خوب است برای شروع بحث ماشین‌های برون‌سوز، دانش‌آموزان را ترغیب به انجام یا مشاهده فعالیت‌های ساده‌ای، از جمله ساختن یک توربین ساده بخار بکنید. به این ترتیب که پره چرخان (فرفره‌ای) را که بر محوری سوار است، مطابق شکل، روبه‌روی لوله یک کتری در حال جوشیدن قرار دهند. محور که با نخ به گیره کوچکی متصل است، با چرخش پره، گیره را بالا می‌کشد (توجه کنید ساخت فرفره چنان است که محور چرخش فرفره، خودش نیز همواره با فرفره می‌چرخد). به عبارتی، بخشی از گرمای حاصل از اجاق به انجام کار بلند کردن گیره می‌انجامد، بخشی دیگر از گرما که به کار تبدیل می‌شود صرف چرخاندن پره‌ها و محور (غلبه بر اصطکاک‌های داخلی فرفره و مقاومت هوا در برابر چرخش پره‌ها) می‌شود و بقیه گرما، بی‌آنکه به کاری بینجامد، به هوای اتاق وارد می‌شود. لازم است به دنبال ساختن و مشاهده این وسیله، در مورد انتقال انرژی، پایداری انرژی، و مبادله‌های کار و گرما در این وسیله گفت‌وگو شود تا ذهن دانش‌آموزان برای بحث ماشین‌های گرمایی آماده شود. همکاران محترم حتماً بچه‌ها را به احتیاط لازم برای جلوگیری از سوختگی با بخار داغ خروجی از لوله کتری، تذکر دهند.



ساخت ماشین‌های گرمایی

۱. حدود سه قرن پیش، انرژی مکانیکی مورد نیاز انسان بخاطر عده از طریق توری ماهیچه‌ای انسان‌ها و حیوانات تأمین می‌شد. از توری حاصل از باد و جریان آب (مثل آسیاب‌های بادی و آسیاب‌های آبی) نیز انرژی مکانیکی دست می‌آمد. اما استفاده از این منابع انرژی فقط در زمان‌ها و مکان‌های خاصی امکانپذیر بود. امروزه بیشتر انرژی مورد نیاز انسان از طریق ماشین‌های گرمایی دست می‌آید. ماشین‌ها استفاده از برخی فرایندهای ترمودینامیکی، گرمای حاصل از سوخت را به کار تبدیل می‌کنند. از این ماشین‌ها در مواردی از قبیل لوکوموتور، کشتی بخار، یخ‌ساز، موتور، خودرو، هواپیما و فضاییاب استفاده می‌شود. همچنین در نیروگاه‌ها کار حاصل از این ماشین‌ها نخست به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود و سپس از طریق شبکه پخش‌رسانی به مکان‌های مختلف منتقل می‌گردد و از این طریق، انرژی مورد نیاز انسان در محل کار و زندگی تأمین می‌شود. دیگری از کاربردهای ماشین‌های گرمایی، ماشین‌های درون‌سوز مانند ماشین‌های بنزین و دیزل هستند. نوعی چرخه ترمودینامیکی که به آنها ماشین‌های درون‌سوز می‌گویند.

۲. ماشین‌های گرمایی یا ترکیب چند فرایند ترمودینامیکی، دستگاه مفیدی گرما را به محیط دریافت و بخشی از آن را به کاروری محیط تبدیل می‌کنند. آنجا که از تبدیل انرژی پدیده‌ای تماماً انجام شود، طرایی این ماشین‌ها به این صورت است که دستگاه پس از پیوستن چند فرایند، به حالت اولیه خود برمی‌گردد. یعنی پدیده‌ای که در این ماشین‌ها در یک چرخه معین کار می‌کنند و این چرخه در ضمن کار ماشین‌ها تکرار می‌شود. در ادامه با ذکر مثال‌های چگونگی کار ماشین‌های درون‌سوز و درون‌سوز را توضیح می‌دهیم و با اساس کار ماشین‌های گرمایی آشنا می‌شویم.

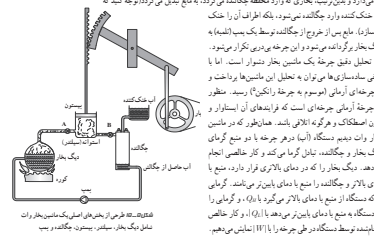
۱۲۰

دینامیک

الکترا ماشین‌های گرمایی درون‌سوز

ماشین‌های درون‌سوز انواع مختلفی دارند که اجزای ترمودینامیکی آنها ماشین‌های نوکمان است که از آن برای برآورد کشتی‌های آب‌ساز استفاده می‌کنند. انواع دیزل‌سازان این ماشین‌ها ماشین‌های استرلینگ و ماشین‌های بخار است. در ادامه به توضیح نمونه ساده‌ای از ماشین‌های بخار می‌پردازیم که توسط جیمز وات (۱۷۳۶-۱۸۱۹) طراحی شد.

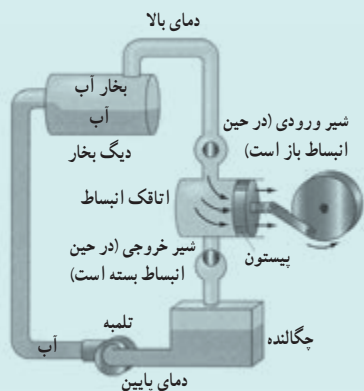
ماشین بخار وات ۱: در ماشین بخار دستگاهی که چرخه را طی می‌کند، آب است. همانطور که در شکل مشاهده می‌توانید، نشان داده شده است، آب در دیگ بخار مفیدی گرما دریافت می‌کند و پس از انجام دادن چند فرایند مختلف به توضیح آنها می‌پردازیم. به حالت اولیه خود در دیگ بخار برمی‌گردد و این چرخه دائماً تکرار می‌شود؛ چون گرمای سوخت‌گرفته از برون، به آب داده می‌شود، ماشین بخار از نوع ماشین‌های درون‌سوز محسوب می‌شود. با باز شدن شیر ۸، بخار حاصل از دیگ بخار وارد فشار وارد استوانه (سیلندر) می‌شود و به این ترتیب سیلندر را به بالا برده و در حالی که شیر ۹ بسته است، وقتی سیلندر به بالای استوانه می‌رسد، شیر ۸ بسته می‌شود و به این ترتیب، دیگ بخار مسدود می‌گردد. هر زمان شیر ۹ باز می‌شود و به این ترتیب، بخار از استوانه خارج و وارد محفظه چگالنده می‌گردد. با ورود بخار به چگالنده، سیلندر پایین می‌آید و هنگامی که سیلندر به پایین‌ترین سطح خود می‌رسد، شیر ۹ بسته و به طور همزمان شیر ۸ باز می‌شود و این مراحل دوباره تکرار می‌گردد. آب خنک کننده، چگالنده را هوار و خنک نگه می‌دارد و به این ترتیب، بخاری که وارد محفظه چگالنده می‌گردد، به مایع تبدیل می‌گردد و توجه کنید که آب خنک کننده وارد چگالنده نمی‌شود، بلکه اطراف آن را خنک می‌سازد. مایع پس از خروج از چگالنده توسط یک پمپ (پمپ) به دیگ بخار برنگرداند می‌شود و این چرخه بی‌پایان تکرار می‌شود.



۱۲۱

ش. این چرخه توسط جیمز وات (۱۷۳۶-۱۸۱۹) طراحی شد.

ماشین بخار



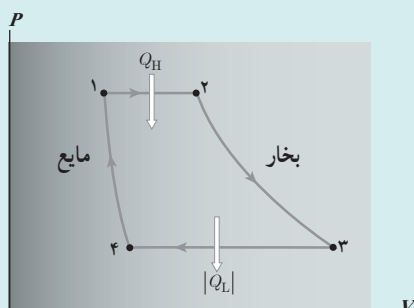
شکل ۱- بخش‌های اصلی ماشین بخار عبارت‌اند از: دیگ بخار، اتاقک انبساط، چگالنده، تلمبه، شیرهای ورودی و خروجی و لوله‌های رابط.

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 ماشین بخار 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 انجام دادن چند فرایند مختلف، که در زیر به توضیح آنها می‌پردازیم، به حالت اولیه 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.

برای بررسی نحوه کار ماشین بخار، مقدار مشخصی از آب درون دیگ بخار را به‌عنوان دستگاه ترمودینامیکی در نظر 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 ایستوار فرض شده‌اند.

الف) مرحله اول (از ۱ تا ۲): در این مرحله، مقدار مشخص آب موردنظر، درون دیگ بخار و در فشار ثابت و نسبتاً زیاد، گرما می‌گیرد و به بخار تبدیل می‌شود. دما و حجم بخار آب در این مرحله تا حد معینی افزایش می‌یابد. مقدار مشخص آب مورد بررسی، هنگام بخار شدن و افزایش حجم، بخار آب قبلی موجود در دیگ را پس می‌زند و روی آن کار انجام می‌دهد.

ب) مرحله دوم (از ۲ تا ۳): شیر ورودی باز می‌شود و بخار آب که دما و فشار آن بسیار زیاد است، وارد اتاقک انبساط می‌شود؛ به پیستون نیرو وارد می‌کند و آن را به حرکت در می‌آورد. در نتیجه این حرکت، بخار آب به سرعت 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 به کار انداختن مولد برق، به حرکت درآوردن چرخ‌های لکوموتیو و... مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل ۲- نمودار ساده شده چرخه ماشین بخار در صفحه $P-V$ (چرخه رانکین). توجه کنید که تمام فرایندها در این چرخه، ایستوار فرض شده‌اند.

پ) مرحله 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 اتاقک انبساط بسته و شیر خروجی آن باز می‌شود و بخار آب به سمت چگالنده که لوله‌های آب سرد یا فن‌های 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. هنگام

کاهش حجم این بخار، بخار آب قبلی موجود در جگالنده جای خالی این بخار را پُر می‌کند و روی این بخار کار انجام می‌دهد. مرحله چهارم (از ۴ تا ۱): تلمبه، آب حاصل از میعان را به دیگ بخار برمی‌گرداند و فشار آن را به‌طور بی‌دررو به فشار اولیه می‌رساند (فقط تغییر کوچکی در دما و حجم مایع رخ می‌دهد) و بدین ترتیب یک چرخه ترمودینامیکی کامل می‌شود. تلمبه با متراکم کردن بخار، روی آن کار انجام می‌دهد.

پاسخ فعالیت ۵-۵

در نیروگاه‌های حرارتی، انرژی گرمایی به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود. اساس کار کلیه نیروگاه‌های حرارتی که از ماشین بخار استفاده می‌کنند گرم کردن آب، تبدیل آن به بخار آب و در پی آن چرخاندن یک توربین بخار است که یک مولد (ژنراتور) را به‌راه می‌اندازد. بخار پس از عبور از توربین، در یک جگالنده چگالیده شده و به آب تبدیل می‌گردد. سپس این آب به دیگ بخار برگردانده می‌شود و در آنجا به بخار داغ پُر فشار تبدیل گردیده و مجدداً به طرف توربین می‌رود و این چرخه دوباره تکرار می‌گردد که در واقع همان چرخه 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.



تصویر ۱
تلمبه ۱: در مورد ماشین‌های بخاری که امروزه در نیروگاه‌های گرمایی (حرارتی) استفاده می‌شوند، بخار کار کرده آنها تخلیه‌کننده و نتیجه تخلیه را در کلاس ارائه کنید.



تصویر ۲
قایق پونتسون: نوعی قایق اسباب بازی است که اساس کار آن مانند ماشین‌های برون‌سوز است. در مورد این قایق‌های اسباب‌بازی تحقیق کرده و سعی کنید آن را بسازید.



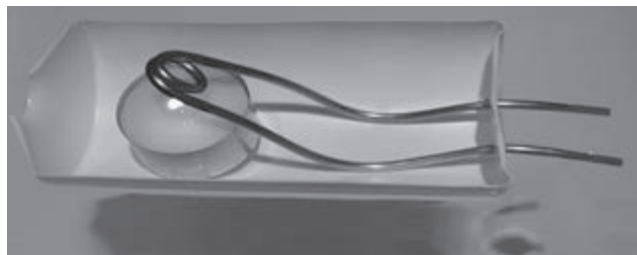
تصویر ۳: موتورهای گرمایی درون سوز
موتور پنتون: موتورهای گرمایی درون سوز، هوا، اسیلها، برخی کشتی‌ها، قطارها و موتورهای کوچک برون‌سوز و درون سوز هستند. ماشین‌های گرمایی درون سوز انواع مختلفی دارند که در نوع مثال آنها پنتون و دیزل نام دارند. در اینجا به توصیف ماشین‌های پنتون می‌پردازیم.
ماشین درون سوز پنتون: موتور ماشین پنتون از یک یا چند استوانه (سیلندر) تشکیل شده است که پیستونها داخل آنها حرکت می‌کنند. یکی از این استوانه‌ها و اجزای جانی آن در شکل ۱-۴ نشان داده شده است. در این نوع موتور، بخشی از انرژی حاصل از سوخت، سبب حرکت پیستون می‌شود. با حرکت از طریق دسته (شاتون) و میل لنگ به حرکت چرخشی تبدیل می‌شود. با انتقال این حرکت چرخشی به چرخ‌ها، آتومیل حرکت می‌کند. بخش دیگر انرژی از طریق رادیاتور، که موتور را سرد می‌کند، و ترمز چرخشی (اگر در استیلینا به هوا داده می‌شود).
ماشین پنتون: برخلاف موتورهای درون سوز، در ماشین پنتون سوخت در یک استوانه جداگانه قرار دارد و از طریق یک لوله به استوانه اصلی می‌رسد. این فرایندها بطور طرح رار در شکل ۱-۵ نشان داده شده است.

پاسخ فعالیت ۶-۵

شاید قایق پوت‌پوت ساده‌ترین ماشین بخاری باشد که تا به حال دیده‌اید. این ماشین، سیلندر، پیستون، میل لنگ، سوپاپ‌های ورود و خروج بخار و... ندارد ولی در آن چرخه‌ای مشابه چرخه ماشین بخار رخ می‌دهد و این چرخه کار مکانیکی مورد نیاز برای به حرکت درآوردن قایق در یک استخر یا حوض آب را تأمین می‌کند.

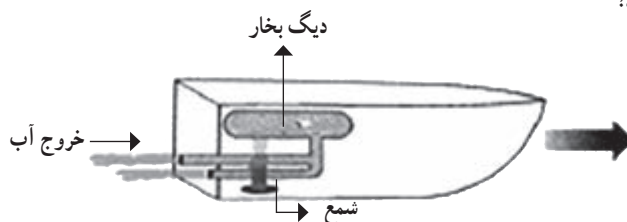
می‌توانید برای ساختن این قایق از یک بطری پلاستیکی استفاده کنید. بطری را مطابق شکل طوری از وسط نصف کنید که هر نیمه آن شبیه یک قایق کوچک باشد. یک لوله مسی به قطر تقریباً ۳mm و طول تقریباً ۷cm (بسته به بزرگی و کوچکی قایق) تهیه و آن را مطابق شکل خم کنید (این نوع لوله را می‌توانید از تعمیرگاه‌های یخچال بخرید). برای درست کردن بخش پیچیده‌ای شکل خم این لوله، می‌توانید لوله را دور یک میله بپیچانید. دو سوراخ کوچک در انتهای قایق ایجاد کنید و دو سر لوله مسی را مطابق شکل از این دو سوراخ عبور دهید. دقت کنید سوراخ‌ها خیلی کوچک باشند طوری که وقتی دو سر لوله مسی را از آنها عبور می‌دهید، سوراخ‌ها به خوبی مسدود شوند و وقتی قایق روی آب قرار می‌گیرد، آب از کناره‌های این سوراخ‌ها وارد قایق نشود. یک شمع

تزیینی که درون استوانه آلومینیمی کوچکی قرار دارد را مطابق شکل، زیر قسمت پیچه مانند لوله مسی قرار دهید، طوری که وقتی شمع روشن شد پیچه را داغ کند. لوله مسی را کاملاً از آب پر کنید. به این منظور می‌توانید یک سر لوله را درون آب قرار دهید و از سر دیگر لوله، هوای درون لوله را بکشید. با مکیدن هوای درون لوله، آب کل لوله را پر می‌کند. دو انتهای لوله را با انگشتان 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 داخل بخش پیچه‌ای شکل لوله به اندازه کافی داغ و بخار شود. حالا قایق به راه می‌افتد. با نگاه دقیق به حرکت قایق، مشاهده امواج آب که در محل دو انتهای لوله مسی تشکیل می‌شود، گوش دادن به صدای قایق و ... متوجه می‌شوید که حرکت قایق به صورت بُزیده بُزیده 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 انگشتان 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 پیچه‌ای شکل لوله داغ و بخار می‌شود، این بخار پُرفشار، آب درون دو ساق لوله را از دو انتهای لوله، به سرعت و با فشار زیاد، به صورت دو جت آب به بیرون می‌راند. عکس العمل نیرویی که بخار پُرفشار به این دو جت آب وارد می‌کند، باعث جهش رو به جلوی قایق می‌شود. وقتی بخار داغ منبسط می‌شود، کمی سرد می‌گردد (انبساط سریع و بی‌دررو)، به علاوه اینکه بخار وارد بخش سرد لوله مسی، یعنی دو ساق متصل به پیچه شده است. بخار در این بخش سرد، چگالیده و کم فشار می‌گردد. در واقع این بخش از لوله 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 پیچه داغ می‌شود، تبدیل به بخار داغ و پرفشار می‌گردد و همه 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 کار این نیرو به مراتب کوچک‌تر از کار نیروی پیشران قایق است که در مرحله انبساط بخار درون پیچه و خروج جت‌های آب از دو انتهای لوله کار به قایق وارد می‌شود، لذا حرکت کلی قایق رو به جلو باقی می‌ماند. مکش آب از دو انتهای لوله به درون آن، به صورت جت آب نیست و به آرامی رُخ می‌دهد. در مورد این قایق دو فیلم در سایت گروه قرار داده شده است.

دیران محترم توجه دارند که در طرح درس ساده و اولیه ماشین‌های گرمایی، Q_H را مجموع گرماهای داده‌شده به دستگاه در چرخه، و $|Q_L|$ را مجموع گرماهای دریافتی از مخزن سرد می‌کنند. در چرخه ماشین استرلینگ ساده‌ای که گفتیم، گرمای مبادله شده بین دستگاه و محیط در فرایندهای هم‌حجم و هم‌فشار به ترتیب Q_L و Q_H است. شرح و توضیح این تفاوت مناسب مخاطبان دانش‌آموز در این پایه می‌باشد. Q_L را می‌توان به عنوان گرماهای دفعی از مخزن سرد در این چرخه در نظر گرفت. شرح بیشتر ماشین استرلینگ را می‌توان در فصل ۱۰ کتاب «مبانی ترمودینامیک» - دیتمن ببینید.

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 $۱ \rightarrow ۵$ و $۵ \rightarrow ۱$ ، با فرایند هم‌فشاری که در شروع این فصل بررسی شد متفاوت است. در فرایند $۱ \rightarrow ۵$ ، دما ثابت است، گرمایی داد و ستد نمی‌شود و تعداد مول گاز افزایش می‌یابد. در فرایند $۵ \rightarrow ۱$ ، دما ثابت است، گرمایی داد و ستد نمی‌شود، و تعداد مول گاز کاهش می‌یابد.



انرژی دانه‌دهی

بازده ماشین گرمایی: هدف از ساخت هر ماشین آن است که انرژی گرفته شده را تا بیشترین مقدار ممکن به انرژی مفید خروجی تبدیل کند. بنابراین بازده هر ماشین به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\eta = \frac{\text{انرژی مفید خروجی}}{\text{انرژی دانه‌دهی}}$$

در ماشین‌های گرمایی، انرژی مفید خروجی همان کار $|W|$ و انرژی دانه‌دهنده به ماشین، همان گرمای Q_H است. بنابراین، برای بازده هر ماشین گرمایی داریم:

$$\eta = \frac{|W|}{Q_H} \quad \text{(۵.۵۰) (بازده هر ماشین گرمایی)}$$

بازده ماشین‌های درون‌سوز بتنی در حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد، بازده ماشین‌های درون‌سوز دیزلی در حدود ۳۵ تا ۴۰ درصد، و بازده ماشین‌های یونسوز بخار ۳۰ تا ۴۰ درصد است.

مثال ۵-۱

بازده یک ماشین درون‌سوز بتنی ۲۲٪ درصد است. این ماشین در هر چرخه 1.051×10^4 کار انجام می‌دهد. گرمای حاصل از سوخت در هر چرخه چقدر است؟ پاسخ: با استفاده از رابطه ۵.۵۰ داریم:

$$\eta = \frac{|W|}{Q_H} \Rightarrow 0.22 = \frac{1.051 \times 10^4}{Q_H} \Rightarrow Q_H = \frac{1.051 \times 10^4}{0.22} = 4.78 \times 10^4 \text{ J}$$

تاریخ و تک‌رود

نسبت تراکم ماشین‌ها: محاسبه نشان می‌دهد که با بالا بردن نسبت تراکم ۳ می‌توان به بازده بیشتری برای ماشین‌های درون‌سوز بتنی رسید. اما در عمل ممکن نیست به هر نسبت تراکمی دست یافت؛ مثلاً نسبت تراکم ماشین‌های بتنی معمولی تا حدود ۱۰ و ماشین‌های بتنی مدرن تا حدود ۱۴ است. در نسبت‌های تراکم بالا، مخلوط سوخت و هوا در ضربه تراکم، چنان گرم می‌شود که پیش از جرقه زدن شمع، آتش می‌گیرد. این مشکل را رودلف کریستین کارل دیزل، مخترع و مهندس آلمانی با طراحی ماشین در پایین سده نوزدهم تا حدودی و طرف کرد. در ماشین دیزل به جای مخلوط سوخت و هوا، خود هوا به طور ی‌درو تراکم و در نتیجه

۱ - Rudolf Christian Karl Diesel (1858-1913)

۱۲۵

در تمام وسایل تبدیل انرژی یک وجه مشترک وجود دارد و آن این است که همه انرژی دانه شده به وسیله، به نوع مطلوب تبدیل نمی‌شود، ولی در تمام آنها، پایداری انرژی برقرار است. آنچه مهم است بازده است. از دانش آموزان پرسید آیا ممکن است ماشینی طراحی کرد که بازده آن به ۱۰۰٪ برسد؟

تمرین پیشنهادی بخش ۵-۲

بازده موتور یک خودرو ۲۰٪ است و در هر ثانیه به طور متوسط 23000 J کار مکانیکی انجام می‌دهد. در هر ثانیه چقدر گرما لازم است به موتور داده شود؟ پاسخ:

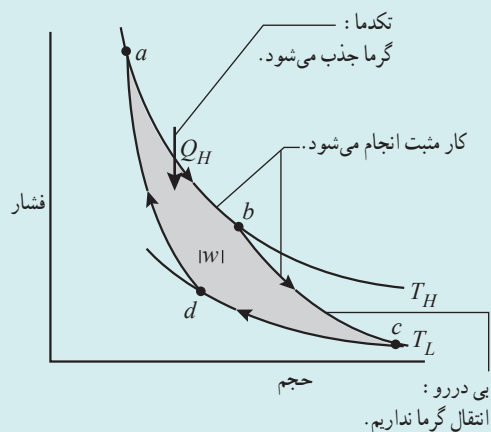
$$Q_H = 115 \text{ kJ}$$

همچنین خوب است دانش‌آموزان را به کوشش‌های تاریخی در ساختن ماشین‌های محرک دائمی که همگی خیال یا نیرنگی بیش نبوند، توجه دهیم.

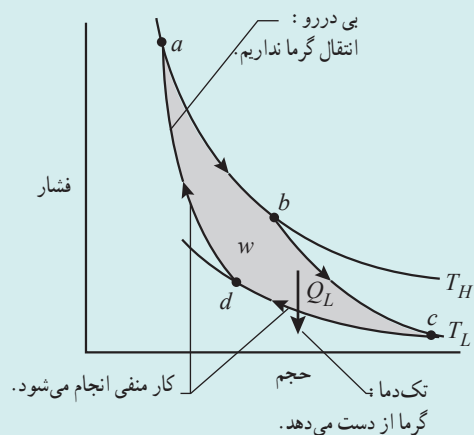
بازده ماشین گرمایی کارنو بیشترین است.

نشان داده می شود که نه تنها امکان ندارد بازده یک ماشین گرمایی برابر یک (۱۰۰ درصد) شود، بلکه برای ماشین گرمایی ای که با منبع دما بالا با دمای T_H کلین و منبع دما پایین با دمای T_L کلین کار می کند غیر ممکن است بازده ماشین از $1 - T_L/T_H$ بیشتر شود. «کارنو» (۱۸۳۲-۱۷۹۶) مهندس فرانسوی با در نظر گرفتن یک ماشین گرمایی آرمانی و فرضی، نخستین بار به این واقعیت دست یافت. چرخه ماشین گرمایی کارنو از دو فرایند هم دما در دماهای بالا و پایین T_H و T_L ، و دو فرایند بی دررو ساخته شده است. بازده ماشین کارنو، بیشینه بازده ماشین هایی است که دمای منبع دما بالای یکسان T_H کلین و نیز دمای منبع دما پایین یکسان T_L کلین دارند $(\eta_{\text{کارنو}} = \eta_{\text{max}} = 1 - T_L/T_H)$.

فرایندهای ab و bc :



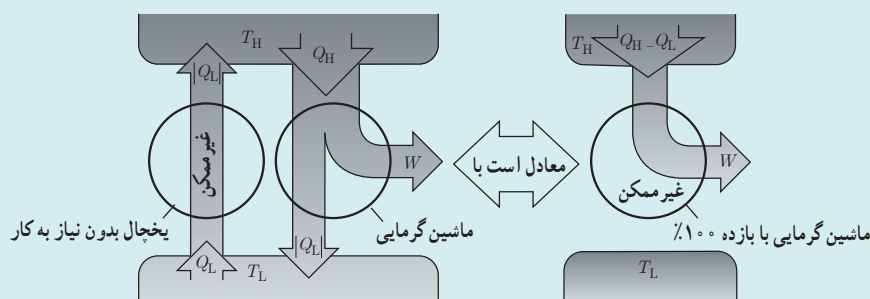
فرایندهای cd و da :



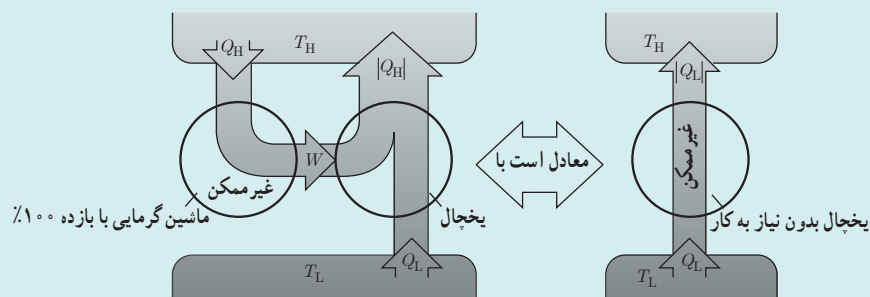
این چرخه شامل دو فرایند تکدما (ab و cd) و دو فرایند بی دررو (bc و da) است. ناحیه سایه دار که توسط چرخه در برگرفته شده است برابر با $|W|$ ی انجام شده در هر چرخه توسط ماشین کارنو است.

بالا بدهد، وجود این یخچال مخالف بیان یخچالی قانون دوم است. اگر این یخچال با یک ماشین گرمایی ترکیب شود که به همان منبع‌های دما پایین و دما بالای یخچال متصل باشد و همان مقدار گرمای دریافتی یخچال از منبع دما پایین را به منبع دما پایین بازگرداند، مجموعه مرکب این یخچال و ماشین (شکل الف) به منزله ماشینی گرمایی است که گرما را از منبع دما بالا 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 بازده 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 دما پایین و دما بالا متصل باشد (شکل ب)، مجموعه مرکب از این ماشین و یخچال (شکل ب)، معادل یخچالی است که بدون احتیاج به کار، گرما را از منبع دما پایین به منبع دما 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 بازده ۱۰۰٪ را ایجاد می‌کند.

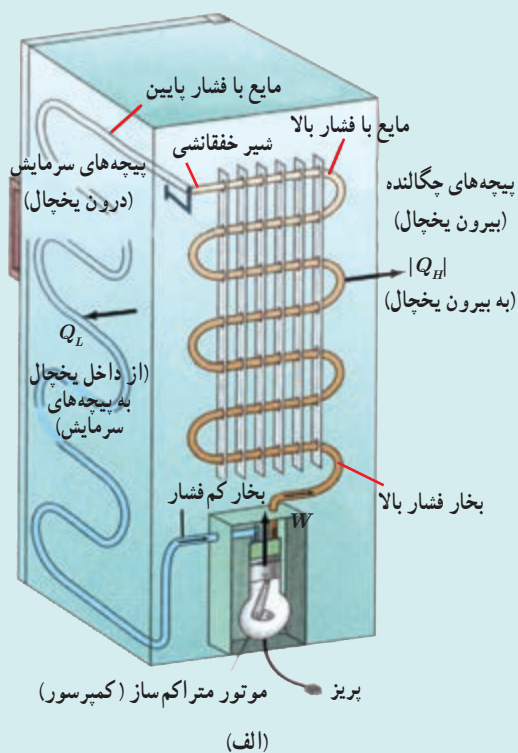
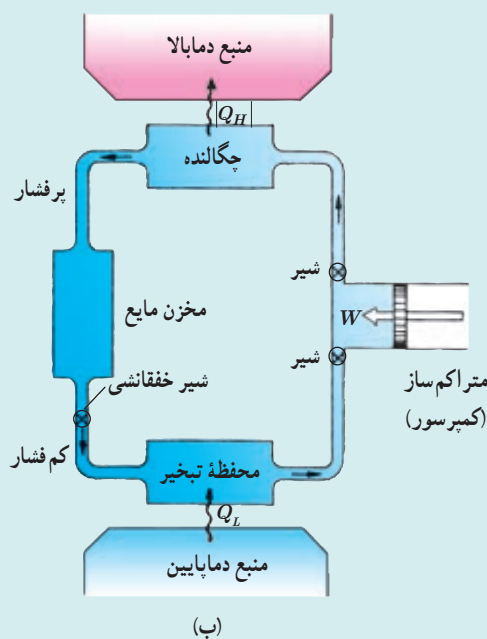


ب) اگر ماشینی گرمایی با بازده ۱۰۰٪ وجود داشته باشد، در ترکیب با یک یخچال معمولی، یخچالی بدون نیاز به کار را ایجاد می‌کند.

ساز و کار یخچال خانگی: یخچال خانگی یکی از وسایل بسیار ضروری خانگی است. یخچال‌های خانگی را در اندازه‌های مختلف می‌سازند و آنها را با حجم داخلی مشخص می‌کنند؛ مثلاً یخچال ۹ فوت دارای حجم داخلی ۹ فوت مکعب یا حدود ۲۴۰ لیتر است.

در شکل (الف) یک یخچال خانگی و در شکل (ب) نمایش طرح وار طرز کار آن را مشاهده می‌کنید. همان‌طور که در این دو شکل نشان داده شده است، قسمت‌های اصلی یخچال خانگی عبارت‌اند از: چگالنده، پیچه‌های سرمایش (محفظه تبخیر)، متراکم‌ساز (کمپرسور) و شیر خفقا نشی (شیر فشار شکن). چگالنده با منبع دما بالا (هوای بیرون یخچال) و محفظه تبخیر با منبع دما پایین (محتویات داخل یخچال) در تماس است. در یخچال‌های قدیمی‌تر ماده‌ای که چرخه ترمودینامیکی را طی می‌کند، گاز فریون است، اما این گاز از جمله گازهایی است که به لایه ازن صدمه می‌زند و پژوهش‌های زیادی برای جایگزینی آن انجام شده است. فریون در چگالنده به مایع در فشار زیاد تبدیل می‌شود و در محفظه تبخیر به صورت گاز در فشار کم درمی‌آید.

طرز کار یخچال خانگی به‌طور مختصر به شرح زیر است: کمپرسور با انجام کار W گاز را از محفظه تبخیر به چگالنده منتقل می‌کند و دما و فشار آن را بالا می‌برد. در این مرحله، گاز که دمای آن از دمای منبع دما بالا (اتاق) بیشتر شده است، گرمای $|Q_H|$ را به این منبع می‌دهد، مایع می‌شود و وارد مخزن مایع می‌گردد. هنگامی که این مایع پرفشار از شیر خفقا نشی می‌گذرد به شدت سرد می‌شود، به طوری که از منبع دما پایین (هوای داخل یخچال) هم سردتر می‌شود و از آن گرمای Q_L را می‌گیرد و بدین ترتیب، در محفظه تبخیر، به بخار تبدیل می‌گردد. این چرخه دائماً تکرار می‌شود.



فرایند خفقانسی

بررسی کامل و دقیق کار یک یخچال خانگی مستلزم آشنایی با فرایندی موسوم به فرایند خفقانسی است. در فرایند خفقانسی، شارهای که ابتدا در فشار ثابت و زیادی است، پس از عبور از یک جدار متخلخل یا مجرای باریک (شیر سوزنی یا شیر خفقانسی)، بدون انتقال گرما به محیطی که فشار آن پایین است، وارد می شود. در این رخداد، هر جزء از شار به دستخوش فرایند خفقانسی می شود.

خوب است بدانید در فرایند خفقانسی مجموع $U+PV$ که آن را آنتالپی دستگاه می نامند و آن را با H نشان می دهند ثابت باقی می ماند. دمای یک شار به گونه ای که بر اثر فرایند خفقانسی به شدت افت کند؛ که این امر در واقع اساس کار سردکن ها و دستگاه های تهویه مطبوع است؛ اما همیشه چنین نیست و دمای یک شار گاهی ممکن است طی فرایند خفقانسی بدون تغییر بماند و یا حتی افزایش یابد. تغییر دمای یک شار در فرایند خفقانسی را ضریبی موسوم به ضریب ژول-تامسون که آن را با μ نشان می دهند معلوم می کند. در یک فرایند خفقانسی، بستگی تغییر دمای شار به ضریب ژول - تامسون μ به این شکل است :

دما افزایش می یابد $\Rightarrow \mu < 0$

دما ثابت می ماند $\Rightarrow \mu = 0$

دما کاهش می یابد $\Rightarrow \mu > 0$

دیران محترم می توانند توضیح بیشتر این بحث را در کتاب «حرارت و ترمودینامیک» از «زیمانسکی - دیتمن»، ویراست هفتم ببینند.

پرسش پیشنهادی بخش ۵-۸

یک روش که گاهی برای سرد کردن آشپزخانه در یک روز گرم پیشنهاد می شود این است که در یخچال را باز بگذاریم. آیا واقعاً این کار آشپزخانه را خنک می کند؟

الف) بله، زیرا یخچال ها مانند وسایل تهویه هوا هستند.

ب) نه، این کار آشپزخانه را گرم تر می کند.

پ) بستگی به این دارد که یخچال از قبل روشن بوده باشد و هوا و مواد داخل یخچال خنک شده باشد یا نه، و نیز به مدت زمان باز گذاشتن در یخچال بستگی دارد.

ت) این کار هیچ تأثیری بر دمای هوای آشپزخانه ندارد.

پاسخ : بایبید فرض کنیم مدتی طولانی است که یخچال خاموش است و هوا و مواد داخل یخچال هم دما با هوای بیرون یخچال شده اند. اگر اینک همزمان با روشن کردن یخچال، در یخچال را باز کنیم اتفاقی که می افتد این است که گرما Q_L از هوا و مواد داخل یخچال گرفته می شود، کار W نیز توسط تراکم ساز انجام می شود و مجموع این دو به صورت گرمای $|QH|$ به هوای آشپزخانه داده می شود. اما با توجه به باز بودن در یخچال، هوا و مواد داخل یخچال و هوای بیرون یخچال جدای از هم نیستند و

در واقع گرمای Q_L از هوای آشیخانه گرفته می شود و گرمای $Q_H = Q_L + W$ نیز به هوای آشیخانه داده می شود. از آنجا که $|Q_H| > Q_L$ است، هوای آشیخانه در نتیجه این رخداد گرم تر می شود. اما اگر فرض کنیم یخچال از قبل روشن بوده و هوا و مواد داخل آن به خوبی خنک شده اند، با باز کردن در یخچال، هوای قسمتی از آشیخانه که در نزدیکی و مقابل در یخچال است به خوبی خنک می شود. پس گزینه پ درست است.

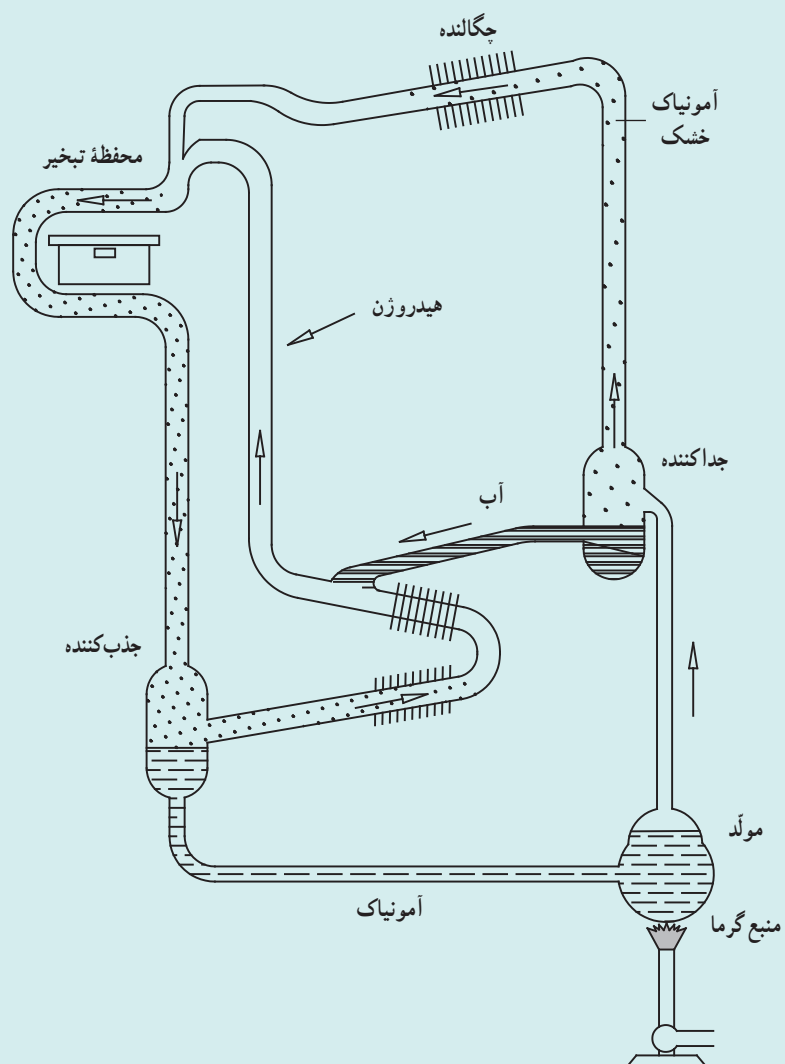
دانستنی برای معلم

یخچال جذبی

یخچال جذبی، یخچالی است که با استفاده از یک منبع گرما انرژی لازم برای راه انداختن فرایند سرمایش را مهیا می کند. یخچال جذبی انواع مختلفی دارد که از معروف ترین آنها *یخچال/نشتین* – زیلارد است. نوع بدوی این یخچال ها، یخچالی است که اصطلاحاً آن را *یخچال نفتی* می نامند. در اینجا به معرفی این یخچال می پردازیم.

یخچال نفتی

در این یخچال که طرح ساده ای از آن را در شکل می بینید از منبع گرمای کوچکی (اجاق یا چراغ نفتی) برای جوشاندن محلول غلیظ آمونیاک در آب و تبخیر آن استفاده می شود. این بخش از یخچال را مولد یا ژنراتور می گویند. مخلوط بخار آب و آمونیاک پُرفشار از بخش دیگری به نام جداکننده عبور می کند و بدین ترتیب بخار آب، تقطیر و از آمونیاک جدا می شود. به این آمونیاک، آمونیاک خشک می گویند. سپس آمونیاک خشک و پُرفشار وارد چگالنده می گردد. در چگالنده، آمونیاک با دادن گرما به هوای پیرامون چگالنده، سرد و مایع می شود. در این مرحله، گاز هیدروژن به آمونیاک مایع اضافه شده و این مخلوط وارد محفظه تبخیر می گردد. در محفظه تبخیر، آمونیاک مایع با گرفتن گرما از هوا و مواد درون یخچال که پیرامون محفظه تبخیر هستند، بخار می شود و این عمل، هوا و مواد را خنک می کند. هیدروژن اضافه شده به آمونیاک مایع، پیش از ورود به محفظه تبخیر، سبب سرعت بخشیدن به تبخیر آمونیاک در محفظه تبخیر می گردد. مخلوط بخار آمونیاک و هیدروژن پس از خروج از محفظه تبخیر وارد قسمت دیگری از یخچال به نام جذب کننده می شود. در این بخش، بخار آمونیاک در آب حل می شود اما هیدروژن در آب حل نشده و دوباره برای اضافه شدن به آمونیاک مایع هنگام ورود به محفظه تبخیر برگردانده می شود. آبی که در این مرحله آمونیاک در آن حل می شود قبلاً از مخلوط بخار داغ و پُرفشار آمونیاک و آب، در جداکننده از آمونیاک جدا شده است. محلول آمونیاک در آب، از جذب کننده به مولد یا ژنراتور برمی گردد و دوباره با گرفتن گرما از منبع گرما (اجاق یا چراغ نفتی) تبخیر شده و همه این چرخه از نو تکرار می شود. در یخچال نفتی، چون قسمت های متحرک یخچال های برقی (موتور و کمپرسور) وجود ندارد، یخچال بدون سر و صدا کار می کند.



راهنمای پرسشی ها و مسئله های فصل ۵

۱ از قانون اول ترمودینامیک داریم

$$\Delta U = Q + W = -31 \text{ kJ} + 40 \text{ kJ} = 9 \text{ kJ}$$

۲ الف) همان طور که در متن درس اشاره شد اگر پیستون را با گیره هایی ثابت کنیم و دمای گاز را با استفاده از یک منبع گرما به آرامی و به تدریج افزایش یا کاهش دهیم، فشار گاز طی یک فرایند هم حجم ایستوار، افزایش یا کاهش می یابد.

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 می شود که در نتیجه آن گاز کمی منبسط می شود و پیستون را که حالا آزاد است اندکی به طرف بالا جابه جا می کند. اگر گرما دادن را به همین روش به صورت آهسته ادامه دهیم، گاز به کندی منبسط می شود و پیستون به طور ایستوار به بالا حرکت

می کند. شتاب حرکت پیستون چنان کم است که می توان گفت در طی گرما دادن همواره فشار گاز ثابت می ماند. برای کاهش حجم ایستوار و هم فشار گاز نیز، به روش مشابه، دمای منبع گرما را به تدریج و به کندی کاهش می دهیم.

۳ این آزمایش مشابه حالتی است که گاز محبوس در استوانه ای با پیستون آزاد در تماس با یک منبع گرما با دمای قابل تنظیم است و دمای منبع به آرامی بالا می رود.

به علت افزایش کند و تدریجی دمای آب و ایجاد اختلاف جزئی بین دمای منبع (آب) و هوای درون سرنگ، گرما به کندی به هوای محبوس درون سرنگ منتقل می شود و این هوا به آرامی و در فشار ثابت اندکی منبسط می گردد و پیستون سرنگ را اندکی به جلو می راند. اگر گرما دادن را به همین روش کند و تدریجی ادامه دهیم، ضمن افزایش آرام دما و حجم هوای درون سرنگ، پیستون به آهستگی حرکت می کند. همان طور که گفتیم این فرایند در فشار ثابت رخ می دهد. زیرا وقتی سرنگ با پیستون کم اصطکاک درون آب قرار گرفته است، اختلاف فشاری بین هوای درون سرنگ و آب بیرون آن وجود ندارد. یعنی به محض اینکه یکی از این دو فشار اندکی افزایش یا کاهش یابد، پیستون کم اصطکاک جابه جا می گردد تا دوباره فشارها برابر شوند و چون در اینجا فشار آب تغییر نمی کند، فشار درون سرنگ هم تغییر نخواهد کرد و انبساطی هم فشار خواهیم داشت.

۴ با توجه به اینکه گاز منبسط شده است، کار محیط روی گاز که آن را با W نشان می دهیم برابر است با مساحت سطح واقع شده بین نمودار و محور حجم در صفحه $P-V$.

$W = \text{کار (گاز)} = -(\text{مساحت ذوزنقه})$

$$= -\frac{1}{2} [(3/00 + 2/00)(1/01 \times 10^5 \text{ N/m}^2)](2/00 \times 10^{-2} \text{ m}^3) = -5.5 \text{ J}$$

در این بخش از راهنمای ترمودینامیک، است با کتور گرمای داده شده به گاز بیشتر است یا کمتر؟ (یا اگر گاز را از سر خمداد در حالت c به حالت d و برگردانیم، چقدر به از آن انرژی بگیریم؟)

۱ یک متکب از اومینوس تور به مساحت 20 cm^2 از 50°C تا 150°C در فشار معارف جو ($1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$) گرم می شود. کار انجام شده توسط متکب را محاسبه کنید.

۲ مطابق شکل زیر، حجم کاری آرامی طی سه فرایند هم فشار، هم دما و بی درون از 1 به حجم بزرگتر 2 می رسد. (الف) اندازه کار انجام شده توسط گاز را در این سه فرایند مقایسه کنید. (ب) دمای نهایی را در این فرایندها مقایسه کنید. (ج) گرما داده شده به گاز را در این فرایندها مقایسه کنید.

۳ در این فرایند هم حجم چگونه می توان فشار گاز را افزایش داد؟ (یا کاهش داد؟) کار انجام شده توسط گاز را افزایش یا کاهش داد؟

۴ یک سرنگ را که مستقیماً می تواند آزادانه حرکت کند مسدود می کنید. آن را در دین فشاری آب می اندازید و آب را به بیج گرم می کنید. هوای درون سرنگ چه فرایندی را طی می کند؟

۵ نمودار $P-V$ ی گازی در نقطه در شکل زیر نشان داده شده است. در این فرایند با فرض اینکه انرژی درونی در نقطه (2) برابر 95 J و در نقطه (1) برابر 912 J باشد، چقدر گرما مبادله شده است؟ آیا کار گرما گرفته است یا از دست داده است؟

۶ گازی مطابق شکل زیر، از طریق مسیر abc از حالت a به c می رود. کار در این مسیر 90 J گرما می گیرد و 70 J گرما انجام می دهد. (الف) تغییر انرژی درونی گاز در مسیر abc چقدر است؟ (ب) اگر گازی در همین به حالت c فرایند از مسیر bdc انجام شود، کار انجام شده توسط گاز در مقایسه با مسیر abc بیشتر است.

۷ شکل زیر چرخه ای را نشان می دهد که یک گاز طی کرده است.

۸ شکل چرخه ترمودینامیکی برای چرخه کاری که نمودار $P-V$ ی آن در اینجا نشان داده شده است، ΔU ، کار W و Q مثبت است یا منفی، و با برآیند صفر است؟

$$Q = \Delta U - W = (912\text{ J} - 456\text{ J}) + 50.5\text{ J} = 461\text{ J}$$

$$Q = 961 \text{ J} = \text{گرمای مبادله شده}$$

چون Q مثبت شده است این بدین معنی است که گاز گرما گرفته است. توجه کنید که وقتی از گرمای مبادله شده سؤال می شود، منظور سؤال $|Q|$ است. در تعبیر گرمای مبادله شده، معلوم نیست گرما از محیط به دستگاه داده شده است یا برعکس.

۵ الف) نخست قانون اول، ترمو دینامیک را بر ای مسیر abc می نویسیم :

$$\Delta U_{abc} = Q_{abc} + W_{abc} = \mathfrak{A} \circ J + (-\mathfrak{V} \circ J) = \mathfrak{Y} \circ J$$

(ب) قدر مطلق کار انجام شده برابر با مساحت زیر نمودار فرایند در صفحه $P-V$ است. مساحت زیر مسیر adc کمتر از مساحت زیر مسیر abc است و در نتیجه مقدار کار در مسیر adc 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 مقایسه 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 تر است و از طرفی W کار محیط روی گاز و در هر دو مسیر منفی است پس $W_{\text{adc}} > W_{\text{abc}}$ است و در نتیجه Q در مسیر adc کوچک تر است و چون Q در هر دو مسیر abc و adc مثبت است، می توان گفت گاز در هر دو مسیر گرما گرفته و گرمای گرفته شده به وسیله گاز در مسیر adc بیشتر است.

(ب)

$$\Delta U_{abc} = U_c - U_a, \Delta U_{ca} = U_a - U_c$$

$$\Rightarrow \Delta U_{ca} = -\Delta U_{abc} = -2 \text{ J}$$

همچنین بس از اینکه دانش‌آموزان بحث چرخه‌های ترمودینامیکی را آموختند می‌توان با استفاده از مفهوم چرخه مسئله را حل کرد.

حرخه بسته‌ای را در نظر بگیرید که شامل مسیر abc و مسیر خمیده بازگشت است.

$$\Delta U_{\text{حده}} = \Delta U_{\text{abc}} + \Delta U_{\text{ca}} = 0 \Rightarrow \Delta U_{\text{ca}} = -\Delta U_{\text{abc}} = -2 \text{ J}$$

در نتیجه در مسیر خمیده c به a، 20 J انرژی از گاز گرفته می‌شود.

۶ با استفاده از تعریف کار و رابطهٔ انبساط حجمی داریم:

$$W_{\text{مکب دیو،}} = -W = P \Delta V = P (\beta V \Delta T) = (1/3 \times 10^5 \text{ N/m}^2) [(3 \times 23 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}) (1/3 \times 10^{-3} \text{ m}^3) (1000 \text{ } ^\circ\text{C})] = 5/6 \text{ J}$$

خوب است Q و ΔU را نیز محاسبه کنیم.

$$Q = mc\Delta T = (\rho V)c\Delta T$$

$$= (2/700 \times 10^2 \text{ kg/m}^3)(\text{J/kg} \cdot \text{K})(900 \times 10^{-2} \text{ m}^3)$$

$$(1000/\text{K}) = 1/94 \times 10^6 \text{ J}$$

در محاسبه $\Delta U = Q + W$ باید توجه کنیم که دقت به کار رفته در محاسبه Q از مرتبه 10^4 J است یعنی در مقدار محاسبه شده برای Q ممکن است تا $\pm 10^4 \text{ kJ}$ خطا داشته باشیم. اما $W = -5/6 \text{ J}$ است. مرتبه بزرگی W ، 1000 بار از مرتبه خطای محاسبه Q کوچک تر است. بنابراین مجموع W و Q با Q برابر است.

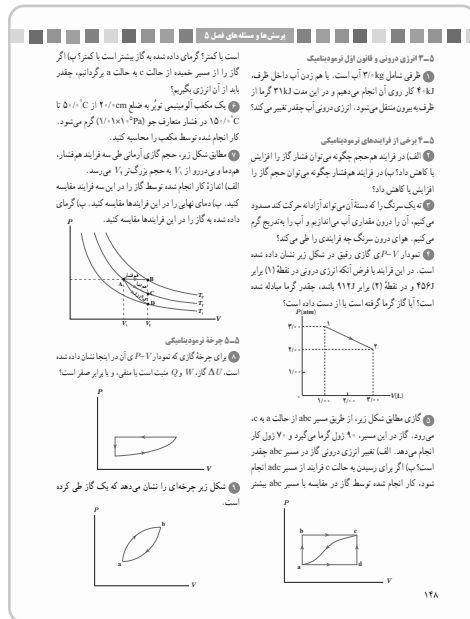
$$\Delta U = Q + W = 1/94 \times 10^6 \text{ J} - 5/6 \text{ J} = 1/94 \times 10^6 \text{ J}$$

با توجه به اینکه کار انجام شده در مقایسه با Q بسیار کوچک است برای اینکه اثر W در ΔU دیده شود لازم است Q با دقت

خیلی بیشتر محاسبه شود. به این منظور باید دقت محاسبه Q ، 1 J شود، یعنی دقت، 10000 بار افزایش یابد. این سخن به این معنی است که دمای اولیه و نهایی، طول ضلع مکعب، چگالی و گرمای ویژه، هر کدام ده هزار بار دقیق تر اندازه گیری شوند!

۷ الف) قدر مطلق کار برابر با مساحت زیر نمودار فرایند ترمودینامیک ها در صفحه $P-V$ است. از روی شکل دیده می شود که مساحت زیر نمودار فرایند هم فشار از همه بیشتر و مساحت زیر نمودار فرایند بی دررو از همه کمتر است. بنابراین مقدار کار انجام شده از کمترین تا بیشترین به ترتیب بی دررو، هم دما و هم فشار است. البته در این سؤال از کار گاز روی محیط پرسیده شده است که با توجه به انبساطی بودن هر سه فرایند، برای هر فرایند مقداری مثبت است. پس همین مقایسه در مورد خود کارها نیز درست است. (ب) از قانون گازهای کامل درمی یابیم که در فرایند هم فشار با افزایش حجم، دما افزایش می یابد. در فرایند هم دما نیز معلوم است که دما ثابت می ماند. در فرایند بی دررو نیز از قانون اول ترمودینامیک در می یابیم که در انبساط، کاهش دما داریم. بنابراین دمای نهایی در این سه فرایند از کمترین تا بیشترین به ترتیب بی دررو، هم دما و هم فشار می شود. البته با توجه به نمودارهای هم دمای رسم شده در شکل و توجه به اینکه نمودارهای هم دمای بالاتر مربوط به دماهای بیشتر است نیز، مقایسه دمای نهایی سه فرایند ممکن است. (پ) در فرایند بی دررو $Q = 0$ و در فرایندهای هم دما و هم فشار انبساطی $Q > 0$ است. برای مقایسه فرایندهای هم دما و هم فشار نیز باید به قانون اول ترمودینامیک نگاه کنیم. با توجه به اینکه تغییر انرژی درونی و مقدار کار در فرایند هم دما از فرایند هم فشار کمتر است و نیز کار در هر دو فرایند منفی است، Q در فرایند هم فشار از فرایند هم دما بیشتر می شود، بنابراین در این مورد نیز گرمای داده شده به گاز، به ترتیب از کمترین تا بیشترین، مربوط به فرایندهای بی دررو، هم دما و هم فشار می شود.

۸ در درس آموختیم با توجه به اینکه در چرخه ترمودینامیکی حالت نهایی با حالت اولیه یکسان است تغییر انرژی درونی صفر می شود، یعنی $\Delta U = 0$. همین طور در فعالیت ۵-۴ یاد گرفتیم برای یک چرخه ساعتگرد در صفحه $P-V$ ، کار محیط روی دستگاه (W) برابر است با منفی مساحت سطح داخل چرخه. با روش مشابه معلوم می شود برای یک چرخه پاد ساعتگرد در صفحه $P-V$ (مانند چرخه مورد پرسش در این سؤال) کار محیط روی دستگاه (W) برابر است با مساحت سطح داخل چرخه (با علامت مثبت). اینک با توجه به



الف) همین کنید که گاز در این چرخه گرما گرفته یا از دست داده است؟
 ب) اگر مقدار گرمای مبادله شده در این چرخه ۲۰۰ J باشد، کار انجام شده روی گاز چقدر است؟
 ج) کار گاز در چرخه نشان داده شده در شکل رو را می‌سازد. دمای گاز در حالت (۱) برابر ۲۰۰ K است. الف) دما در سه نقطه دیگر چقدر است؟
 ب) کار انجام شده در چرخه چقدر است؟
 ج) در چه فرایندهای گاز گرما گرفته است؟
 د) در چه فرایندهای گاز گرما از دست داده است؟

شماره ۹: ماشین‌های گرمایی
 ۱) یک ماشین گرمایی در هر چرخه ۳/۰۰ J گرما از منبع دما بالا می‌گیرد و ۲/۰۰ J گرما به منبع دما پایین می‌دهد. چرخه آن تبدیل به کار می‌شود. الف) بازده این ماشین چقدر است؟ ب) اگر هر چرخه ۱۵۰۰ J گرما از منبع دما بالا می‌گیرد، چقدر گرما از منبع دما پایین می‌گیرد؟ ج) اگر هر چرخه ۱۵۰۰ J گرما از منبع دما بالا می‌گیرد، چقدر گرما به منبع دما پایین می‌دهد؟ د) اگر هر چرخه ۱۵۰۰ J گرما از منبع دما بالا می‌گیرد، چقدر گرما به منبع دما پایین می‌دهد؟

اینکه در چرخه ترمودینامیکی $Q = -W$ است، می‌فهمیم که در این چرخه Q منفی است.

۹ 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 (با مقایسه مساحت زیر بخش‌های مختلف نمودار چرخه در صفحه $P-V$ ، منفی یا مثبت بودن کار در چرخه معلوم می‌شود). بنابراین Q مثبت می‌شود. یعنی در این چرخه، دستگاه گرما می‌گیرد.

ب) توجه کنید که وقتی در سؤال از تعبیر «گرمای مبادله شده» استفاده می‌کنیم، اینکه دستگاه به محیط گرما داده است ($Q < 0$) یا برعکس ($Q > 0$)، در پرسش ما معلوم نیست. «گرمای مبادله شده»، یعنی $|Q|$. اما در قسمت الف دیدیم که Q مثبت است و در نتیجه داریم $W = -Q = -400 \text{ J}$

که W همان کار محیط روی گاز در چرخه است. پس بهتر است بگوییم در این چرخه، گاز روی محیط 400 J کار انجام داده است.

۱۰ الف) با استفاده از قانون گازهای کامل داریم:

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

با جای گذاری $P_1 = 1/0 \text{ atm}$ ، $P_2 = 3/0 \text{ atm}$ ، $V_1 = V_2$ و $T_1 = 200 \text{ K}$ به $T_2 = 600 \text{ K}$ می‌رسیم که با توجه به قواعد محاسبه ارقام معنی‌دار باید به صورت $6 \times 10^2 \text{ K}$ بیان شود. اکنون با استفاده از قانون گازهای کامل T_1 و T_2 را نیز به دست می‌آوریم.

$$T_2 = T_1 \frac{P_2 V_2}{P_1 V_1} = T_1 \frac{P_2}{P_1} = (200 \text{ K}) \left(\frac{3/0}{1/0} \right) = 600 \text{ K} = 6 \times 10^2 \text{ K}$$

$$T_2 = T_1 \frac{P_2 V_2}{P_1 V_1} = T_1 \frac{P_2}{P_1} = (1/8 \times 10^2 \text{ K}) \left(\frac{1/0 \text{ atm}}{3/0 \text{ atm}} \right) = 600 \text{ K} = 6 \times 10^2 \text{ K}$$

ب) توجه کنید که تعبیر «کار انجام شده در چرخه»، معلوم نمی‌کند کار محیط روی دستگاه مورد نظر است یا کار دستگاه روی محیط و بنابراین به معنی $|W|$ است. کار انجام شده برابر با مساحت سطح محصور در چرخه است که چنین می‌شود.

$$|W| = [(300 - 100)(10^{-3} \text{ m}^3)(3/0 - 1/0)(1/0 \times 10^5 \text{ N/m}^2)] = 4/0 \times 10^4 \text{ J}$$

پ) در فرایندهای ۱→۲ و ۲→۳ با توجه به نمودارهای هم‌دما در صفحه $P-V$ ، دمای گاز زیاد شده است. همان‌طور که در متن درس آموختیم برای آنکه گاز کامل در فرایندهای هم‌حجم ۱→۲ و هم‌فشار ۲→۳ افزایش دما پیدا کند، باید به وسیله یک منبع گرما و به صورت ایستوار به گاز گرما بدهیم.

ت) در فرایندهای ۴→۳ و ۱→۴ با توجه به نمودارهای هم‌دما در صفحه P-V، دمای گاز کم شده است. همان‌طور که در متن درس آموختیم برای آنکه گاز کامل در فرایندهای هم‌حجم ۴→۳ و هم‌فشار ۱→۴ کاهش دما پیدا کند، باید به‌وسیله یک منبع گرما و به‌صورت ایستوار از گاز گرما بگیریم.

۱۱ چون فرایندی چرخه‌ای داریم $\Delta U = 0$ است. بنابراین $Q = -W$ می‌شود که در آن W کار محیط است. از طرفی می‌دانیم مقدار کار انجام شده در چرخه برابر مساحت سطح محصور در چرخه است و در چرخه‌های ساعتگرد کار انجام شده بر روی دستگاه منفی است. بنابراین

$$W = -S_{ABC} = -\frac{1}{2}[(3/0 - 1/0) \times 1/0 \times 10^5 \text{ N/m}^2] \\ [(4/0 - 1/0) \times 10^{-2} \text{ m}^2] \\ = -3/0 \times 10^2 \text{ J} \approx -3/0 \times 10^3 \text{ J}$$

و از آنجا $Q \approx 3/0 \times 10^3 \text{ J}$ می‌شود. گرمای مبادله شده به معنی |Q| است. پس،

$$|Q| \approx 3/0 \times 10^3 \text{ J} = \text{گرمای مبادله شده}$$

۱۲ الف)

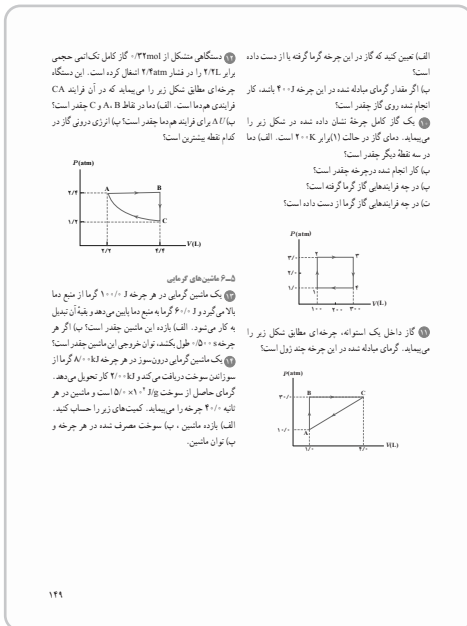
$$T_C = T_A = \frac{P_A V_A}{nR} \\ = \frac{(2/4 \times 1/0 \times 10^5 \text{ N/m}^2)(2/2 \times 10^{-3} \text{ m}^3)}{(0/32 \text{ mol})(8/314 \text{ J/mol.K})} \\ = 200/4 \text{ K} \approx 2/0 \times 10^2 \text{ K} \\ T_B = \frac{P_B V_B}{nR} = \frac{P_A (2V_A)}{nR} = \frac{2P_A V_A}{nR} \\ = 2T_A = 400/9 \text{ K} \approx 4/0 \times 10^2 \text{ K}$$

ب) از درس فرایند هم‌دما در کتاب به یاد داریم که چون انرژی درونی گاز کامل فقط به دمای گاز بستگی دارد، در فرایند هم‌دما گاز کامل $\Delta U = 0$ است.

پ) نقاط A و C روی یک نمودار هم‌دما در صفحه P-V هستند. نقطه B روی نمودار هم‌دما دیگری از صفحه P-V قرار دارد که بالاتر از نمودار هم‌دما گذرنده از نقاط A و C است و بنا به آنچه در متن درس کتاب آموختیم دمای بیشتری دارد. پس $T_B > T_A = T_C$. از طرفی آموختیم انرژی درونی گاز کامل فقط به دمای گاز بستگی دارد و با افزایش دمای گاز، زیاد می‌شود.

$$U_B > U_A = U_C$$

پس:



الف) همین کنید که گاز در این چرخه گرما گرفته یا از دست داده است؟
 ب) اگر مقدار گرمای مبادله شده در این چرخه ۲۰۰ J باشد، کار انجام شده روی گاز چقدر است؟
 ج) یک گاز در یک چرخه نشان داده شده در شکل زیر را می‌بینید. دمای گاز در حالت (۱) برابر ۲۰۰ K است. الف) دما در سه نقطه دیگر چقدر است؟
 ب) کار انجام شده در چرخه چقدر است؟
 ج) آیا در چه فرایندهای گاز گرما گرفته است؟
 د) در چه فرایندهای گاز گرما از دست داده است؟

الف) چرخه‌ای متشکل از ۲ mol گاز کامل تک‌اتمی جرم مولی ۲۸ g/mol را در فشار ۲ atm انتقال کرده است. این دستگاه چرخه‌ای مطابق شکل زیر را می‌بینید که در آن فرایند CA فرایندی همدم است. الف) دما در نقاط A و B چقدر است؟
 ب) کار گاز در این چرخه چقدر است؟
 ج) آیا در چه فرایندهای گاز گرما گرفته است؟
 د) در چه فرایندهای گاز گرما از دست داده است؟

الف) چرخه‌ای متشکل از ۲ mol گاز کامل تک‌اتمی جرم مولی ۲۸ g/mol را در فشار ۲ atm انتقال کرده است. این دستگاه چرخه‌ای مطابق شکل زیر را می‌بینید که در آن فرایند CA فرایندی همدم است. الف) دما در نقاط A و B چقدر است؟
 ب) کار گاز در این چرخه چقدر است؟
 ج) آیا در چه فرایندهای گاز گرما گرفته است؟
 د) در چه فرایندهای گاز گرما از دست داده است؟

الف) چرخه‌ای متشکل از ۲ mol گاز کامل تک‌اتمی جرم مولی ۲۸ g/mol را در فشار ۲ atm انتقال کرده است. این دستگاه چرخه‌ای مطابق شکل زیر را می‌بینید که در آن فرایند CA فرایندی همدم است. الف) دما در نقاط A و B چقدر است؟
 ب) کار گاز در این چرخه چقدر است؟
 ج) آیا در چه فرایندهای گاز گرما گرفته است؟
 د) در چه فرایندهای گاز گرما از دست داده است؟

۱۳ الف) توجه به این نکته مهم است که در طرح درس کتاب درسی برای ماشین‌های گرمایی، به ملاحظه تمایز ماشین‌های واقعی و آرمانی، به رابطه $Q_H = |W| + |Q_L|$ تصریح نشده است. بنا به توضیح واکر در آخرین ویراست مبانی فیزیک هالیدی-رزینک-واکر، در حالی که رابطه $\eta = \frac{|W|}{Q_H}$ برای هر ماشینی درست است، رابطه‌های $Q_H = |W| + |Q_L|$ و $\eta = 1 - |Q_L|/Q_H$ فقط برای ماشین‌های آرمانی (و از جمله ماشین کارنو) درست است. کتاب درسی ما، با این ملاحظه، دو رابطه اخیر را ندارد. اگر حل مسئله‌ای به این دو رابطه نیاز دارد، خوب است مانند همین مسئله کتاب درسی، این رابطه‌ها به دانش آموز فهمانده شود. در این مسئله، می‌گوید «... و بقیه آن تبدیل به کار می‌شود.» (این دیدگاه واکر در ویراست‌های قبلی مبانی فیزیک تصریح نشده است. برای مراجعه مستقیم، به ترجمه آقای خوشبین، نشر نیاز دانش، چاپ ۱۳۹۳ به بعد نگاه کنید).

$$Q_H = |W| + |Q_L| \Rightarrow ۱۰۰۰ \text{ J} = |W| + ۶۰۰ \text{ J} \Rightarrow |W| = ۴۰۰ \text{ J}$$

$$\eta = \frac{|W|}{Q_H} = \frac{۴۰۰ \text{ J}}{۱۰۰۰ \text{ J}} = ۰/۴۰۰$$

ب) منظور از توان خروجی ماشین، توان انجام کار به وسیله ماشین است.

$$P = \frac{|W|_{\text{چرخه}}}{t_{\text{چرخه}}} = \frac{۴۰۰ \text{ J}}{۰/۵۰۰ \text{ s}} = ۸۰۰ \text{ W}$$

۱۴ الف) از رابطه ۵-۵ برای بازده ماشین داریم:

$$\eta = \frac{|W|}{Q_H} = \frac{۲/۰ \text{ kJ}}{۸/۰ \text{ kJ}} = ۰/۲۵۰$$

ب) گرمای حاصل از سوخت $۱۰^۴ \text{ J/g} \times ۵/۰$ است. بنابراین، مقدار سوخت مصرف شده در هر چرخه چنین می‌شود:

$$m = \frac{۸/۰ \times ۱۰^۴ \text{ J}}{۵/۰ \times ۱۰^۴ \text{ J/g}} = ۰/۱۶ \text{ g}$$

ت) ماشین در هر ثانیه ۴۰ چرخه را می‌پیماید. بنابراین، زمان پیمودن یک چرخه، $\frac{1}{۴۰} \text{ s}$ می‌شود. پس توان ماشین برابر است با:

$$P = \frac{|W|_{\text{چرخه}}}{t_{\text{چرخه}}} = \frac{۲/۰ \text{ kJ}}{\frac{1}{۴۰} \text{ s}} = ۸۰ \text{ kJ/s} = ۸۰ \text{ kW}$$



منابع فارسی

- ۱- فیزیک دانشگاهی (جلد اول)، ویراست دوازدهم، سیزر، زیمانسکی، یانگ و فریدمن، ترجمه اعظم پورقاضی، روح الله خلیلی بروجنی، محمدتقی فلاحتی مروستی، چاپ اول ۱۳۸۹، مؤسسه نشر علوم نوین.
- ۲- مبانی فیزیک (جلد اول) مکانیک، گرما و شارها، ویراست دهم، دیوید هالیدی، رابرت رزنیگ و یرل واکر، ترجمه محمدرضا خوش بین خوش نظر، چاپ اول ۱۳۹۳، انتشارات نیاز دانش.
- ۳- مبانی فیزیک (جلد اول و دوم) ریموند سروی و کریس ووئیل، ترجمه منیژه رهبر، چاپ اول ۱۳۹۴، انتشارات فاطمی.
- ۴- مجموعه سه جلدی دانشنامه فیزیک، جان ریگدن و دیگران، ویراسته محمد ابراهیم ابوکاظمی، ۱۳۸۱-۱۳۸۷، مرکز تحصیلات تکمیلی زنجان و بنیاد دانشنامه بزرگ فارسی.
- ۵- دوره درسی فیزیک گ.س.لند سبرگ، ترجمه لطیف کاشیگر و دیگران، چاپ اول، ۱۳۷۴، انتشارات فاطمی.
- ۶- نمایش هیجان انگیز فیزیک، ویراست دوم، یرل واکر، ترجمه محمدرضا خوش بین خوش نظر و رسول جعفری نژاد، چاپ اول ۱۳۹۱، انتشارات آراکس.
- ۷- فیزیک تجربی (از مجموعه ۵ جلدی المپیاد فیزیک)، کمیته المپیاد فیزیک ژاپن، ترجمه روح الله خلیلی بروجنی و ناصر مقبلی، چاپ اول ۱۳۹۴، انتشارات مدرسه.
- ۸- اصول فیزیک (جلد اول)، هانس اوهانیان، ترجمه یوسف امیرارجمند و نادر رابط، چاپ اول، ۱۳۸۳، مرکز نشر دانشگاهی.
- ۹- فیزیک مفهومی، ویراست دهم، پل جی هیوئیت، ترجمه منیژه رهبر، چاپ اول، ۱۳۸۸، انتشارات فاطمی.
- ۱۰- فیزیک پایه، ویراست سوم، فرانک بلت، ترجمه محمد خرمی و ناصر مقبلی و مهران اخباریفر، چاپ پنجم، ۱۳۸۸، انتشارات فاطمی.
- ۱۱- به علوم نانو خوش آمدید (به همراه DVD)، ویژه دوره آموزش متوسطه، اندرو اس مدن و دیگران، ترجمه روح الله خلیلی بروجنی و معصومه قاسمی، چاپ سوم ۱۳۹۵، انتشارات مدرسه.

1. Mc Graw – Hill Dictionary of scientific and technical terms, Parker, 4th Edition, 1989, Mc Graw – Hill.
2. Applied Physics, 10th Edition, Dale Ewen, 2012, Prentice Hall.
3. Physics, 4th Edition, James S. Walker, Pearson, 2010.
4. IGCSE Physics, 3rd Edition, Tom Duncan, 2014, Hodder Education.
5. University Physics, Bauer and Westfall, 1st Edition, 2011, McGraw – Hill.
6. Physics, Douglas C. Giancoli, 7th Edition, 2014, Prentice – Hall International.
7. Physics, Allen Giambattista, Betty Richardson and Robert Richardson, 2nd Edition, 2008, McGraw– Hill.
8. Concept in Thermal Physics, 1st Edition, S.J. Blundel and K.M. Blundel, 2006, Oxford University Press.
9. Physics for Scientists and Engineering, Randy Knight, 3rd Edition, 2013, Pearson.
10. Physics, Mike Crundell, Cambridge International AS and A Level, 2nd Edition, 2014, Hodder Education.
11. University Physics, Richard Wolfson, 2nd Edition, 2012, Pearson.
12. Heat and Thermodynamics, Mark Zemansky and Richard Dittman, 7th Edition, 1997, Mc Graw – Hill
13. Holt Physics, Serway and Faughn, 1999, Holt Rinehart and Winston.
14. College Physics, Sears & Zemansky and Hugh D. Young, 9th Edition 2012, Addison–Wesely.
15. Introduction to Physics, John D. Cutnell and Kenneth W. Johnson, 9th Edition, 2013, John Wiley & Sons, Inc.
16. Contemporary College, Edwin Jones and Richard Childers, 2001, McGraw–Hill.
17. Glencoe Physics, Paul W. Zitzewitz, 2000, McGraw– Hill
18. Physics for Scientists and Engineers, Paul Tipler and Gene Morsca, 2008, W. H. Freeman.
19. Science at the Nanoscale, Chin Wee Shong, 2010, Pan Stanford Publishing.
20. Physical Science, Shipman, 13th Edition, 2013, Brooks/Cole.
21. Nanoscale Science: Activities for Grades 6–12, M. Gail Jones, 2007, NSTA Press.
22. Nanotechnology for Dummies, Richard Booker and Earl Boysen, 2005, John Wiley & Sons, Inc.
23. How Things Work, Louis A. Bloomfield, 5th Edition, 2013, John Wiley & Sons, Inc.
24. Physics, Eugen Hecht, 2nd edition, 1998, Brooks.

دبیران محترم و صاحب نظران می توانند نظر اصلاحی خود را درباره مطالب کتاب های
درسی از طریق سامانه «نظرسنجی از محتوای کتاب درسی» به نشانی «nazar.roshd.ir» یا نامه به
نشانی تهران - صندوق پستی ۴۸۷۴ - ۱۵۸۷۵ ارسال کنند.

سازمان پژوهش و برنامه ریزی آموزشی

