



بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

اللَّهُمَّ صَلِّ عَلَى مُحَمَّدٍ وَآلِ مُحَمَّدٍ وَعَجِّلْ فَرَجَهُمْ

# فیزیک (۱)

رشته ریاضی و فیزیک

پایه دهم

دوره دوم متوسطه





وزارت آموزش و پرورش  
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

فیزیک (۱) - پایه دهم دوره دوم متوسطه - ۱۱۰۲۰۹	نام کتاب:
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی	پدیدآورنده:
دفتر تألیف کتاب‌های درسی عمومی و متوسطه نظری	مدیریت برنامه‌ریزی درسی و تألیف:
احمد احمدی، روح‌الله خلیلی بروجنی، محمدرضا خوش‌بین خوش‌نظر، محمدرضا شریف‌زاده اکباتانی، سید هدایت سجادی، سیروان مردوخ و علیرضا نیکنام (اعضای شورای برنامه‌ریزی و گروه تألیف) - سید اکبر میرجعفری و کاظم بهنیا (ویراستار ادبی)	شناسه افزوده برنامه‌ریزی و تألیف:
اداره کل نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی	مدیریت آماده‌سازی هنری:
احمدرضا امینی (مدیر امور فنی و چاپ) - مجید ذاکری یونسی (مدیر هنری) - محمد مهدی ذبیحی (طراح جلد) - راحله زادفتح‌اله (طراح گرافیک و صفحه‌آرا) - فاطمه رئیس‌یان فیروزآباد، کبری اجابتی، سیف‌الله بیک محمد دلیوند، شاداب ارشادی، زینت بهشتی شیرازی، حمید ثابت کلاچاهی (امور آماده‌سازی) تهران: خیابان ایرانشهر شمالی - ساختمان شماره ۴ آموزش و پرورش (شهید موسوی)	شناسه افزوده آماده‌سازی:
تلفن: ۸۸۸۳۱۱۶۱-۹، دورنگار: ۸۸۳۰۹۲۶۶، کد پستی: ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹	نشانی سازمان:
وبگاه: www.irtextbook.ir و www.chap.sch.ir	ناشر:
شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران: تهران - کیلومتر ۱۷ جاده مخصوص کرج - خیابان ۶۱ (داروپخش) 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 هشتم ۱۴۰۲	

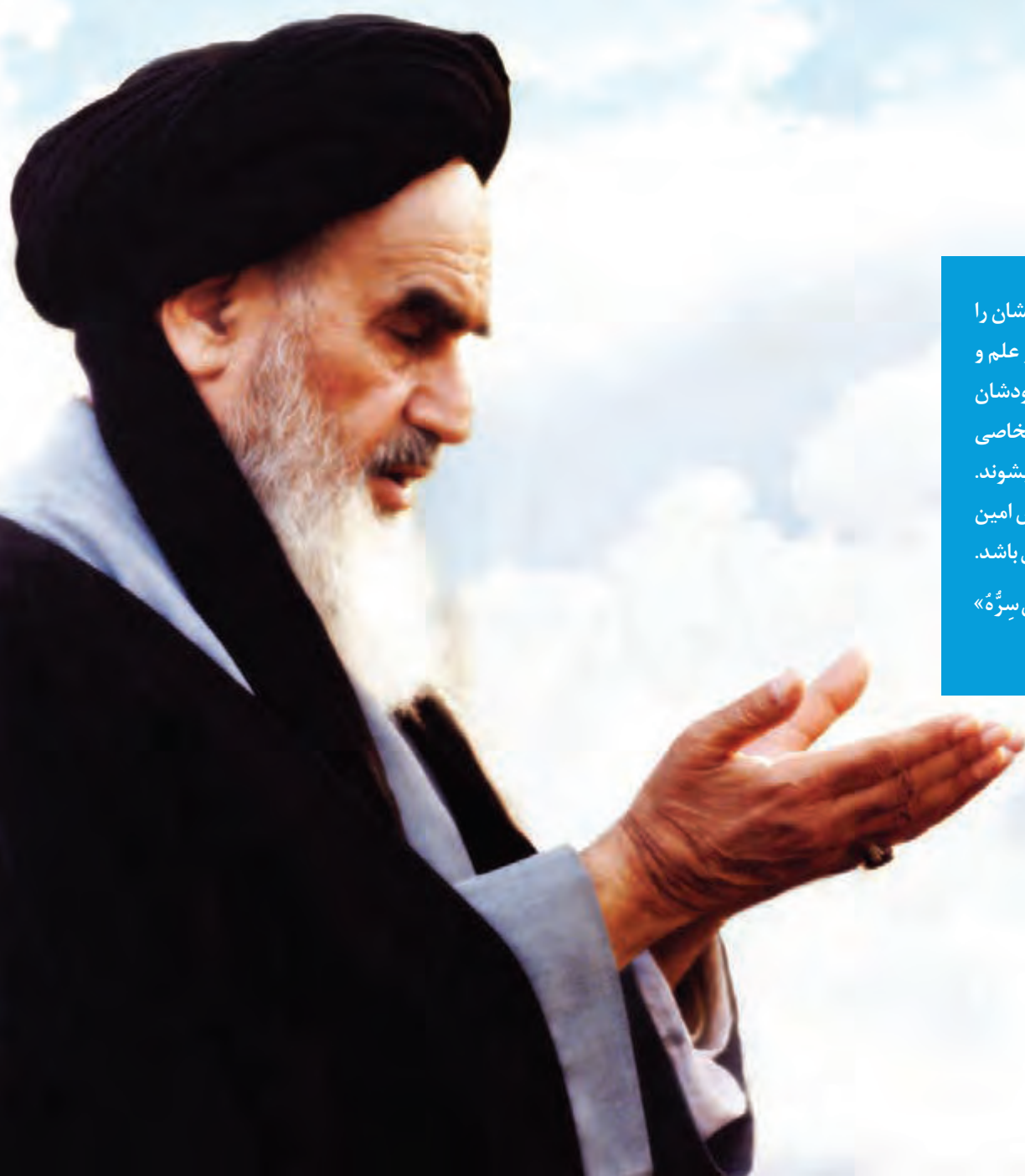
شابک ۹۷۸-۹۶۴-۵-۲۷۴۲-۹  
ISBN: 978-964-05-2742-9



@amoozesh\_physics



۰۹۹۳۵۷۵۷۳۳۶



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 «قُدَسِ سِرَّة»



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 از این سازمان ممنوع است و متخلفان تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.

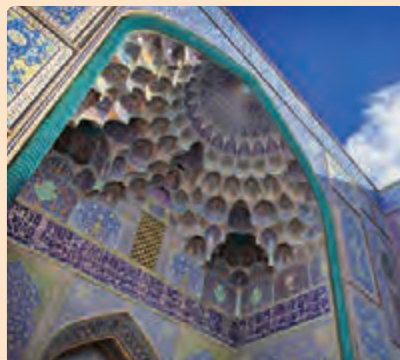




فصل ۱: فیزیک و اندازه گیری

۱

- ۱-۱ فیزیک : دانش بنیادی ..... ۲
- ۲-۱ مدل سازی در فیزیک ..... ۵
- ۳-۱ اندازه گیری و کمیت های فیزیکی ..... ۶
- ۴-۱ اندازه گیری و دستگاه بین المللی یکها ..... ۷
- ۵-۱ اندازه گیری و دقت و سبیله های اندازه گیری ..... ۱۴
- ۶-۱ چگالی ..... ۱۶
- پرسش ها و مسئله های فصل ۱ ..... ۱۹



۲۳

فصل ۲: ویژگی های فیزیکی مواد

- ۱-۲ حالت های ماده ..... ۲۴
- ۲-۲ نیروهای بین مولکولی ..... ۲۸
- ۳-۲ فشار در شماره ها ..... ۳۲
- ۴-۲ شناوری ..... ۴۰
- ۵-۲ شماره در حرکت و اصل برنولی ..... ۴۳
- پرسش ها و مسئله های فصل ۲ ..... ۴۸



۵۳

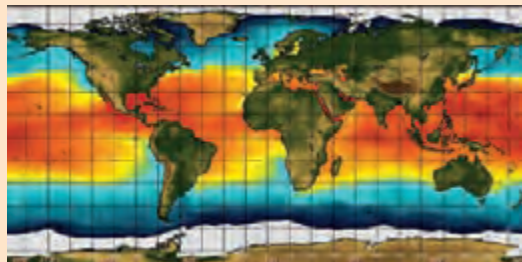
فصل ۳: کار، انرژی و توان

- ۱-۳ انرژی جنبشی ..... ۵۴
- ۲-۳ کار انجام شده توسط نیروی ثابت ..... ۵۵
- ۳-۳ کار و انرژی جنبشی ..... ۶۱
- ۴-۳ کار و انرژی پتانسیل ..... ۶۴
- ۵-۳ پایستگی انرژی مکانیکی ..... ۶۸
- ۶-۳ کار و انرژی درونی ..... ۷۱
- ۷-۳ توان ..... ۷۳
- پرسش ها و مسئله های فصل ۳ ..... ۷۸





- ۱-۴ دما و دماسنجی ..... ۸۴
- ۲-۴ انبساط گرمایی ..... ۸۷
- ۳-۴ گرما ..... ۹۶
- ۴-۴ تغییر حالت‌های ماده ..... ۱۰۳
- ۵-۴ روش‌های انتقال گرما ..... ۱۱۱
- ۶-۴ قوانین گازها ..... ۱۱۷
- پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۴ ..... ۱۲۴



- ۱-۵ معادلهٔ حالت و فرایندهای ترمودینامیکی ایستاوار ..... ۱۲۸
- ۲-۵ تبادل انرژی ..... ۱۲۹
- ۳-۵ انرژی درونی و قانون اول ترمودینامیک ..... ۱۳۰
- ۴-۵ برخی از فرایندهای ترمودینامیکی ..... ۱۳۱
- ۵-۵ چرخهٔ ترمودینامیکی ..... ۱۳۹
- ۶-۵ ماشین‌های گرمایی ..... ۱۴۰
- ۷-۵ قانون دوم ترمودینامیک (به بیان ماشین گرمایی) ..... ۱۴۶
- ۸-۵ قانون دوم ترمودینامیک و یخچال‌ها ..... ۱۴۷
- پرسش‌ها و مسئله‌های فصل ۵ ..... ۱۴۸





## خرد هر کجا کنجی آرد پدید به نام خدا سازد آن را کلید

### الف) سخنی با دانش آموزان عزیز

کتاب فیزیک ۱ نخستین کتاب فیزیک در دوره دوم متوسطه است که برای پایه دهم دوره نظری تألیف و چاپ شده است. این کتاب در ادامه تغییر برنامه درسی آموزش علوم تجربی در دوره اول متوسطه است. درس فیزیک برای رشته های علوم تجربی و ریاضی و فیزیک در سه پایه دهم، یازدهم و دوازدهم ارائه خواهد شد. برای ارتباط مؤثرتر با برنامه درسی این کتاب و تحقق اهداف آن، توجه به مواردی که در ادامه می آید توصیه می شود.

**مسیر آموزش و یادگیری:** دانش آموزان عزیز! مسیر آموزش و یادگیری، وقتی شوق انگیز و لذت بخش است که با تلاش و جدیت شما برای پیمودن آن همراه شود. پیش از همه، باید به توانایی های خود باور و اعتماد داشته باشید. مفاهیمی که در هر سال تحصیلی می خوانید، با سطح درک و فهم شما متناسب است و برای بهبود و ارتقای زندگی فردی، اجتماعی و حرفه ای شما مفیدند. در فرایند آموزش به طور فعال و با انگیزه مشارکت کنید. اگر امروز نتوانید دانش، مهارت و نگرش خود را بهبود ببخشید، ممکن است فردا دیر باشد! برای تعامل مؤثر و سازنده با دنیای پر شتاب و در حال تغییر امروز، راهی جز «کسب خرد» ندارید و این خرد به تدریج و به تبع باور، تلاش و مشارکت شما در فرایند آموزش به دست می آید.

خرد رهنما و خرد رهگشای  
خرد دست گیرد به هر دو سرای

**یادگیری را بیاموزیم:** هر یک از شما شیوه های یادگیری متفاوت و ابزار یادگیری ویژه خود را دارید و بهتر است بر همین اساس روشی مناسب برای یادگیری خود بیابید و متناسب با آن برنامه ریزی کنید. شاید مهم ترین کاری که می توانید انجام دهید، آن باشد که برای خود زمان های مطالعه با برنامه زمان بندی منظم و کافی در محیطی خالی از عوامل های پرهم زنده تمرکز، در نظر بگیرید. روشن است که باید وقت بیشتری را صرف جنبه هایی کنید که یادگیری آن برای شما دشوارتر است. اگر با شنیدن و انجام آزمایش مطالب درسی را می آموزید، حضور فعال در کلاس های درس بسیار مهم است. اگر با توضیح دادن آنها را می آموزید، آنگاه علاوه بر حضور فعال در کلاس های درس، کار کردن یا دانش آموزان دیگر نیز برای شما بسیار راه گشا است. اگر حل کردن مسئله برای شما دشوار است وقت بیشتری را صرف یادگیری روش حل مسئله ها کنید. با توجه به آنچه گفته شد، اکنون به پرسش های زیر پاسخ دهید:

آیا من توانایی به کار بردن مفهوم های ریاضی را در فیزیک دارم؟ اگر پاسخ شما منفی است، به کتاب های ریاضیات پایه هفتم تا دهم خود مراجعه کنید و افزون بر اینها از معلم خود نیز راهنمایی های لازم را بخواهید. آسان ترین فعالیت ها در فیزیک برای من کدام ها بوده اند؟ نخست این فعالیت ها را انجام دهید؛ این کار به ایجاد اعتماد به نفس در شما کمک می کند. آیا اگر کتاب را پیش از کلاس خوانده باشم، مطلب را بهتر می فهمم یا پس از آن؟ آیا زمانی که صرف یادگیری فیزیک می کنم کافی است؟ برای من بهترین ساعت روز برای مطالعه فیزیک کدام است؟ زمان خاصی از روز را برگزینید و آن را تغییر ندهید. آیا در جای آرامی که بتوانم تمرکز خود را حفظ کنم، کار می کنم؟

**کار گروهی:** دانشمندان و مهندسان به ندرت در انزوا کار می کنند؛ بلکه بیشتر با یکدیگر همکاری دارند. در آموزش مدرسه ای نیز اگر با دیگر دوستانتان کار کنید، هم فیزیک بیشتر می آموزید و هم از این یادگیری بیشتر لذت خواهید برد. امروزه بسیاری از معلمان به این همکاری گروهی و مشارکت در یادگیری در کلاس های درس توجه ویژه ای دارند.

**یادداشت برداری در کلاس درس:** یک مؤلفه بسیار مهم در فرایند یادگیری هر درس، حضور فعال در کلاس آن درس و یادداشت برداری است. در کلاس فیزیک و در فرایند آموزش فعالیت هایی انجام می شود که شما را یاری می کند تا درک خوبی از مفاهیم فیزیکی و کاربردهای آنها پیدا کنید. اگر نتوانستید در یکی از جلسه های کلاسی شرکت کنید، از یکی از اعضای گروه یا هم کلاسی های خود بخواهید که شما را در جریان آنچه گذشته است، قرار دهد.

**چه موقع فیزیک را فهمیده ایم؟** برخی از دانش آموزان هنگام خواندن درس فیزیک، خود را در این اندیشه می یابند که «من مفهوم ها را می دانم، اما نمی توانم مسئله ها را حل کنم.» حال آنکه در فیزیک، درک واقعی یک مفهوم یا اصل، با توانایی در به کار بردن آن اصل در مسئله های مختلف مرتبط است. فراگیری جگونگی حل مسئله ها اهمیت اساسی دارد؛ شما فیزیک را خوب فرا نگرفته اید؛ مگر آنکه بتوانید آنچه را فرا گرفته اید، در موقعیت های مناسب به کار برید.

**مسئله های فیزیک را چگونه حل کنیم؟** برای حل انواع مختلف مسئله های فیزیک به روش های متفاوتی نیاز داریم. صرف نظر از نوع مسئله ای که در دست دارید، گام های کلیدی مؤثری وجود دارند که باید آنها را مراعات کنید.




• گام اول: شناسایی مفهوم‌های مرتبط: نخست تشخیص دهید که چه مفهوم‌های فیزیکی به مسئله مربوط اند، اگرچه در این مرحله هیچ محاسبه‌ای وجود ندارد؛ اما گاهی بحث‌انگیزترین بخش راه‌حل مسئله همین مرحله است. در این مرحله باید متغیر هدف مسئله – یعنی کمیتی را که سعی در یافتن مقدار آن دارید – شناسایی کنید. این کمیت می‌تواند انرژی جنبشی یک توپ در حال حرکت، فشار هوا در قله یک کوه یا دمای تعادل یک جسم باشد.

• گام دوم: آمادگی برای حل مسئله: براساس مفهوم‌هایی که در گام اول برگزیده‌اید، معادله‌هایی را که برای حل مسئله نیاز دارید، بنویسید و در مورد چگونگی به کار بردن آنها تصمیم بگیرید. اگر لازم می‌دانید طرح و مدلی از وضعیتی رسم کنید که توسط مسئله توصیف شده است.

• گام سوم: اجرای راه حل: در این مرحله ریاضیات مسئله را انجام دهید. پیش از آنکه دست به کار محاسبه‌ها شوید، فهرستی از همه متغیرهای معلوم و مجهول تهیه کنید. سپس معادله‌ها را حل کنید و مجهول‌ها را به دست آورید.

• گام چهارم: ارزیابی پاسخ: هدف شما از حل مسئله فیزیک تنها به دست آوردن یک عدد یا یک فرمول نیست؛ هدف آن است که درک و شناخت بهتری حاصل شود. به این معنا که باید پاسخ را بیازمایید و دریابید که به شما چه می‌گوید. فراموش نکنید که از خود بپرسید «آیا این پاسخ با معناست؟» اگر مجهول شما مقدار افزایش طول یک میله هنگام انبساط است، پاسخ شما باید کسری از طول میله باشد؛ در غیر این صورت حتماً چیزی در فرایند حل مسئله شما نادرست بوده است. بازگردید و روش کار خود را امتحان و راه‌حل را اصلاح کنید.

• در ابتدای هر فصل، نشانه رمزینه سریع پاسخ  آمده است که با تلفن همراه یا رایانک (تبلت) می‌توان به محتوای آموزشی آن دسترسی پیدا کرد.

## ب) سخنی با دبیران ارجمند

اهداف برنامه آموزش فیزیک در دوره متوسطه دوم، مطابق با برنامه درسی ملی در سه عرصه ارتباط با خالق، شناخت خود، خلق و خلقت مبتنی بر شناخت و ارتباط با خدا تعریف شده و در جهت تقویت پنج عنصر تفکر و تعقل، ایمان، علم، عمل و اخلاق پیش خواهد رفت. بر این اساس مهم‌ترین شایستگی‌های مدنظر حوزه علوم تجربی که در درس فیزیک باید در دانش آموز تحقق یابد، عبارت‌اند از:

- نظام‌مندی طبیعت را براساس درک و تحلیل مفاهیم، الگوها و روابط بین پدیده‌های طبیعی به عنوان نشانه‌های الهی کشف و گزارش کند و نتایج آن را برای حل مسائل حال و آینده در ابعاد فردی و اجتماعی در قالب اندیشه یا ابزار ارائه دهد / به کار گیرد.
- با ارزیابی رفتارهای متفاوت در ارتباط با خود و دیگران در موقعیت‌های گوناگون زندگی، رفتارهای سالم را انتخاب کند/ گزارش کند/ به کار گیرد.
- با درک ماهیت، روش و فرایند علم تجربی، امکان به کارگیری این علم را در حل مسائل واقعی زندگی (حال و آینده)، تحلیل و محدودیت‌ها و توانمندی‌های علوم تجربی را در حل این مسائل گزارش کند.
- با استفاده از منابع علمی معتبر و بهره‌گیری از علم تجربی، بتواند اندیشه‌هایی مبتنی بر تجارب شخصی، برای مشارکت در فعالیت‌های علمی ارائه دهد و در این فعالیت‌ها با حفظ ارزش‌ها و اخلاق علمی مشارکت کند.

شیوه‌های آموزش. تجربه نشان می‌دهد که درک ایده‌های نهفته در بیشتر مفاهیم فیزیک و کاربرد آنها در زندگی برای اغلب دانش‌آموزان امکان‌پذیر است. آنچه در این راه در میزان موفقیت دانش‌آموزان مؤثر است، شیوه‌های آموزش ما در کلاس درس است. این شیوه‌ها می‌توانند درک و فهم مفاهیم فیزیک را برای همه دانش‌آموزان، بدون توجه به توانایی علمی آنان، باز یا بسته کند. بنابراین می‌توان گفت شیوه آموزش کارآمد کلید موفقیت هر برنامه درسی است. انتظار می‌رود همکاران ارجمند با تکیه بر تجربه خود و به کارگیری شیوه‌های آموزشی مؤثر، بستر مناسبی برای یادگیری و مشارکت دانش‌آموزان در فرایند آموزش و همچنین شوق‌انگیزتر شدن فضای کلاس فراهم کنند.

### قدردانی

گروه فیزیک لازم می‌داند از اتحادیه دبیران فیزیک ایران و انجمن‌های وابسته، دبیرخانه راهبری کشوری درس فیزیک، کارگروه معلمان فیزیک و همکارانی که به طور مستقل در اعتبارسنجی این کتاب با ما همکاری داشته‌اند، تشکر و قدردانی کند.

<http://physics-dept.talif.sch.ir>

گروه فیزیک دفتر تألیف کتاب‌های درسی عمومی و متوسطه نظری



@amoozesh\_physics



۰۹۹۳۵۷۵۷۳۳۶





# فیزیک و اندازه‌گیری

فصل ۱



یکی از وجوه مشترک فیزیک و معماری، **اندازه‌گیری است**. معماران هنرمند ایرانی از صدها سال پیش با بهره‌گیری از روش‌ها و فنون اندازه‌گیری، اثرهای بدیع و ماندگاری به یادگار گذاشته‌اند.

اگر به دنبال رد پای فیزیک در زندگی خود باشید، لازم نیست جای خیلی خیلی دوری بروید؛ زیرا فیزیک با زندگی روزانه ما عجین 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 پی خواهید برد. با کمیت‌های فیزیکی، دستگاه بین‌المللی یکاها و دقت در اندازه‌گیری آشنا خواهید شد. در پایان فصل نیز نگاهی به چگالی و کاربردهای آن خواهد شد.



# در چه صورت یک مدل یا نظریه فیزیکی بازنگری می‌شود؟

## ۱-۱ فیزیک: دانش بنیادی دلیل اهمیت مطالعه و یادگیری فیزیک

(مطالعه و یادگیری فیزیک به این دلیل اهمیت دارد که فیزیک از بنیادی‌ترین دانش‌ها و شالوده‌تأمای مهندسی‌ها و فناوری‌هایی است که به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم در زندگی ما نقش دارند.)

فیزیک‌دانان، پدیده‌های گوناگون طبیعت را مشاهده می‌کنند و می‌کوشند الگوها و نظم‌های خاصی میان این پدیده‌ها بیابند. دانشمندان فیزیک برای توصیف و توضیح پدیده‌های مورد بررسی، اغلب از قانون، مدل و نظریه فیزیکی استفاده می‌کنند. از آنجا که فیزیک، علمی تجربی است، لازم است این قوانین، مدل‌ها و نظریه‌های فیزیکی توسط آزمایش مورد آزمون قرار گیرند.

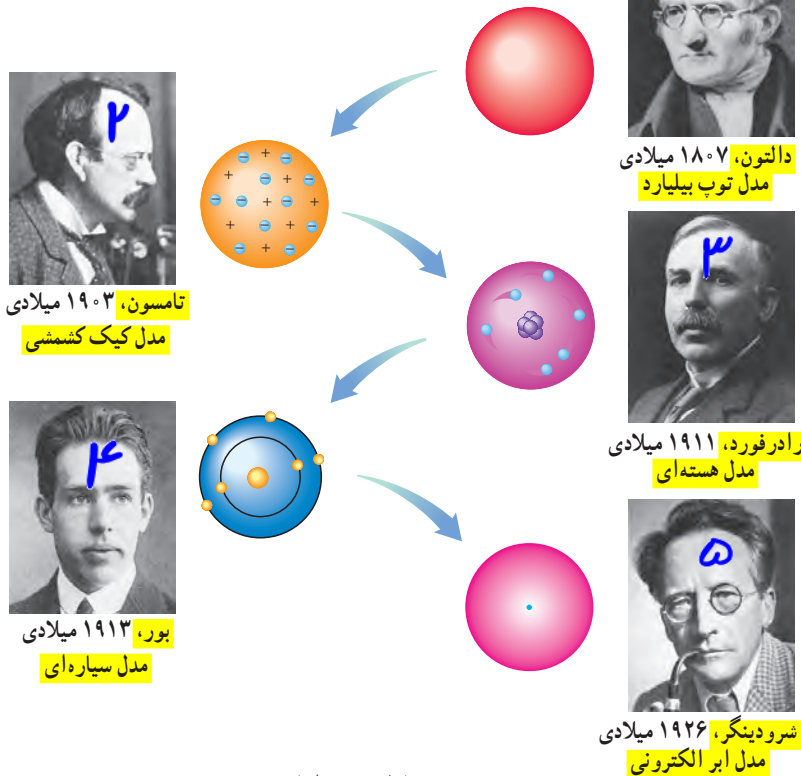
(مدل‌ها و نظریه‌های فیزیکی در طول زمان همواره معتبر نیستند و ممکن است دستخوش تغییر شوند. به بیان دیگر همواره این امکان وجود دارد که نتایج آزمایش‌های جدید منجر به بازنگری مدل یا نظریه‌ای شود و حتی ممکن است نظریه‌ای جدید جایگزین آن شود) مثلاً در دهه‌های آغازین قرن گذشته، نظریه اتمی با توجه به مشاهده‌ها و کسب اطلاعات جدید در خصوص رفتار اتم‌ها، بارها اصلاح شد (شکل ۱-۱).



آزمایش و مشاهده در فیزیک، اهمیت زیادی دارد؛ اما آنچه بیش از همه در پیشبرد و تکامل علم فیزیک نقش ایفا کرده و می‌کند، تفکر نقادانه و اندیشه‌ورزی فعال فیزیک‌دانان نسبت به پدیده‌هایی است که با آنها مواجه می‌شوند.

## ترتیب نظریه‌های اتمی:

## ترتیب، اسم دانشمندان و اسم مدل رو بایر بلر باشیر.



شکل ۱-۱ تغییر مدل اتمی در طول زمان

ویژگی آزمون‌پذیری و اصلاح نظریه‌های فیزیکی، نقطه قوت دانش فیزیک است و نقش مهمی در فرایند پیشرفت دانش و تکامل شناخت ما از جهان پیرامون داشته است.

واژه 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 پرسش‌هایی درباره طبیعت مطرح ساختند. اندیشه‌های علمی این فیلسوفان در سده پنجم قبل از میلاد در یونان و پس از آن در مناطقی مانند مقدونیه، سوریه، مصر و به‌ویژه در شهر اسکندریه پیگیری شد. کارهای ارشمیدس و برخی دیگر از دانشمندان یونان باستان به همین دوره مربوط می‌شود. بررسی‌های انجام‌شده توسط تاریخ‌نگاران علم نشان می‌دهد روش ارشمیدس به روش‌های علمی امروزه نزدیک بوده است. پس از ظهور و گسترش اسلام، دانشمندان مسلمان و به‌خصوص ایرانی مانند ابوریحان بیرونی، ابن هیشم، خواجه نصیرالدین طوسی، ابن سینا و بسیاری دیگر در زمینه‌های نجوم، نورشناسی و مکانیک، دانش فیزیک را گسترش دادند که بعدها بخشی از این نتایج پایه‌ای برای کارهای گالیله و دیگران شد.



خواجه نصیرالدین طوسی  
(۱۲۷۴-۱۲۰۱ م)



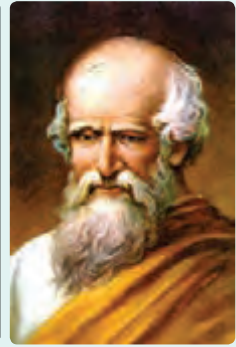
ابوعلی سینا  
(۱۰۳۷-۹۸۰ م)



ابوریحان بیرونی  
(۱۰۴۸-۹۷۳ م)



ابن هیشم  
(۱۰۴۰-۹۶۵ م)



ارشمیدس  
(۲۸۷ تا ۲۱۲ قبل از میلاد)



برج کج پیزا واقع در فلورانس ایتالیا



گالیلهو گالیله  
(۱۶۴۲-۱۵۶۴ م)

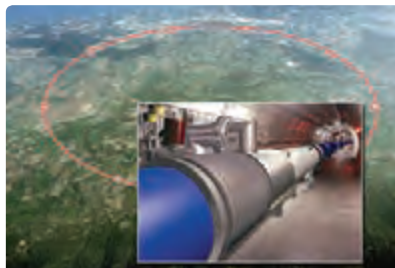
در کتاب‌های تاریخ علم، روایت کرده‌اند که گالیله جسم‌های سبک و سنگین را از بالای برج کج پیزا رها کرد تا دریابد که آیا زمان سقوط آنها یکسان است یا متفاوت. گالیله تشخیص داد که تنها یک بررسی تجربی می‌تواند به این پرسش پاسخ دهد. وی با تعمق زیاد روی نتیجه آزمایش‌های خود، گام بلندی به سوی این اصل برداشت که شتاب جسم در حال سقوط، مستقل از جرم آن است.

**فیزیک، پایه و اساس تمامی مهندسی‌ها و فناوری‌هاست.** هیچ مهندسی نمی‌توانست بدون آنکه نخست قانون‌های اساسی فیزیک را درک کند، یک تلویزیون با صفحه تخت، یک فضایمای میان‌سیاره‌ای، یک لامپ کم‌مصرف LED یا حتی یک ابزار ساده طراحی کند. شکل ۱-۲ الف تا ج، بخش بسیار کوچکی از دستاوردهای دانش و فناوری‌های نوین را نشان می‌دهند که فیزیک، شالوده تمامی آنهاست.

۱- تمامی مطالب «خوب است بدانید» در تمامی فصل‌های کتاب، جزء ارزشیابی نیستند.



(ب)



(ب)



(الف)



(ج)



(ث)



(ت)

**شکل ۱-۱ الف) جُونو (Juno)**، کاوشگری که ناسا به سوی مشتری (برجیس)، بزرگ‌ترین سیاره منظومه شمسی پرتاب کرد و پس از پنج سال، در اوایل تابستان ۱۳۹۵ به مداری نزدیک این سیاره رسید. این مدارگرد که به ابزارهای پیشرفته‌ای مجهز شده، اطلاعاتی دربارهٔ جو مشتری، ویژگی‌های مغناطیسی و گرانشی و همچنین چگونگی شکل‌گیری این سیاره به زمین ارسال می‌کند. (ب) نشتاب‌دهنده ذرات سازنده اتم در تونلی به طول ۲۷ کیلومتر که در عمق ۱۷۵ متری زمین و در مرز کشورهای فرانسه و سوئیس ساخته شده است. در این مرکز پژوهشی بیش از ۳۰۰۰ دانشمند و فیزیک‌دان مشغول به کارند. بزرگ‌ترین دستاورد این آزمایشگاه تانکون، کشف ذره بوزون هیگز است که خبر تأیید آن در تابستان ۱۳۹۱ اعلام شد. (پ) سامانه موقعیت‌یابی جهانی (GPS) مکان اجسام را با دقت قابل ملاحظه‌ای روی زمین پیدا می‌کند. بخشی از دقت این سامانه، به این دلیل حاصل می‌شود که GPS بر اساس نظریه نسبیت اینشتین کار می‌کند. (ت) ترابری مگ لو (maglev)، یکی از دستاوردهای فیزیک ابررساناست. این وسیله نقلیه موسوم به قطار مغناطیسی حامل پیچه‌های ابررسانا در زیر خود است. همین امر سبب می‌شود تا قطار چند سانتی‌متر بالاتر از ریل به صورت شناور درآید و با تندی‌ای فراتر از ۴۰۰ کیلومتر بر ساعت حرکت کند. (ث) این عکس نمای بزرگ شده از یک حشره را نشان می‌دهد که با میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) گرفته شده است. در این نوع میکروسکوپ‌ها، به جای نور مرئی، از باریکه‌ای از الکترون‌ها برای تصویربرداری استفاده می‌شود. (ج) پردازنده یا واحد پردازش مرکزی (CPU) متشکل از صدها میلیون تا چندین میلیارد ترانزیستور بسیار کوچک و ظریف است که در یک محفظهٔ سرامیکی جای گرفته‌اند. این شکل یکی از پردازنده‌های نسل جدید را نشان می‌دهد که فراتر از یک میلیارد ترانزیستور ۲۲ نانومتری در آن به کار رفته است.<sup>۱</sup>

### فعالیت ۱-۱

افزون بر فهرست بالا، شما نیز به اتفاق اعضای گروه خود، فهرست دیگری از کاربردهای فیزیک در فناوری تهیه کنید که نقش مهمی در زندگی ما دارند. (این فهرست را می‌توانید به صورت پوستر، پرده‌نگار (پاورپوینت)، فیلم‌های کوتاه و ... تهیه و ارائه کنید.)

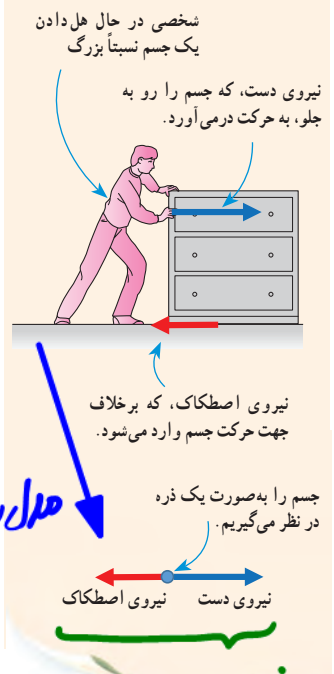
**تشخیص بیماری‌ها، سونوگراف، پرتاب موشک و...**

۱- مطالب آمده در شرح قسمت‌های مختلف شکل ۱-۲ جزء ارزشیابی نیست.



# مدل سازی در فیزیک

**مکانیک** یکی از شاخه های فیزیک است که در آن به بررسی حرکت اجسام و نیروهای وارد شده به آنها می پردازد. شکل زیر، مثالی ساده از کاربرد مدل سازی در مکانیک است. در فصل سوم، از این مدل سازی استفاده زیادی خواهیم کرد.



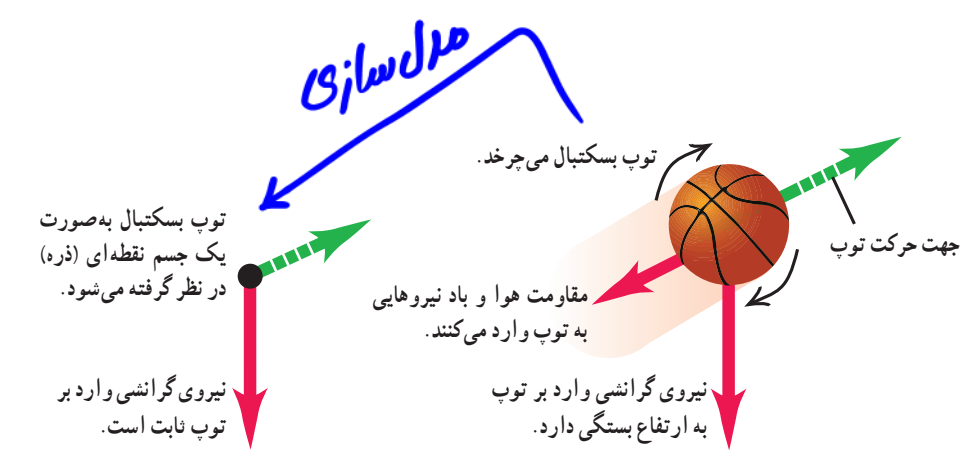
پدیده هایی مانند پرتاب توپ، افتادن برگ درخت، تشکیل رنگین کمان، آذرخش و ... ممکن است برای ما عادی شده باشند؛ ولی بررسی و تحلیل آنها در فیزیک معمولاً با پیچیدگی هایی همراه است. به همین دلیل فیزیک دانان برای بررسی پدیده ها، از مدل سازی استفاده می کنند (مدل سازی در فیزیک فرایندی است که طی آن یک پدیده فیزیکی، آن قدر ساده و آرمانی می شود تا امکان بررسی و تحلیل آن فراهم شود.)

برای شناخت بهتر فرایند مدل سازی در فیزیک، حرکت یک توپ پرتاب شده را بررسی می کنیم (شکل ۳-۱ الف). ممکن است در نگاه اول، بررسی و تحلیل حرکت توپ، ساده به نظر برسد، ولی واقعیت برخلاف این است. توپ، یک کره کامل نیست (درزها و برجستگی هایی روی توپ وجود دارد) و در حین حرکت به دور خود می چرخد، باد و مقاومت هوا بر حرکت آن اثر می گذارند. وزن توپ با تغییر فاصله آن از مرکز زمین تغییر می کند. اگر بخواهیم تمام این موارد را هنگام بررسی و تحلیل حرکت توپ در نظر بگیریم، تحلیل ما پیچیده خواهد شد.

با مدل سازی حرکت توپ، می توانیم تا حدود زیادی این پیچیدگی ها را کاهش دهیم و بررسی و تحلیل حرکت توپ را به طور ساده، امکان پذیر سازیم. با چشم پوشیدن از اندازه و شکل توپ، آن را به صورت یک جسم نقطه ای یا ذره در نظر می گیریم. همچنین با فرض اینکه توپ در خلأ حرکت می کند، از مقاومت هوا و اثر وزش باد صرف نظر می کنیم. سرانجام فرض می کنیم با تغییر فاصله توپ از مرکز زمین، وزن آن ثابت می ماند (شکل ۳-۱ ب). اینک مسئله ما به قدر کافی ساده شده است و می توانیم حرکت آن را بررسی و تحلیل کنیم.

توجه داریم هنگام مدل سازی یک پدیده فیزیکی، باید اثرهای جزئی تر را نادیده بگیریم نه اثرهای مهم و تعیین کننده را. برای مثال، اگر به جای مقاومت هوا، نیروی جاذبه زمین را نادیده می گرفتیم، آن گاه مدل ما پیش بینی می کرد که وقتی تویی به بالا پرتاب شود در یک خط مستقیم بالا می رود!

چون نیروی دست (نیروی اصطکاک) بیگانه نیروی دست بر اثر نرم سازه است.



نکات مدل سازی حرکت توپ پرتاب شده: ۱- صرف نظر از درز و برجستگی های روی توپ و نقطه ای در نظر گرفتن توپ ۲- صرف نظر کردن از مقاومت هوا و وزش باد ۳- صرف نظر کردن از تغییرات وزن توپ با تغییر ارتفاع

@amoozesh\_physics ۰۹۹۳۵۷۵۷۳۳۶



نرده‌ای: جرم (m) ، تندی ، مسافت ، شار مغناطیسی

برداری: وزن (mg) ، سرعت ، جابجایی ، میران مغناطیسی



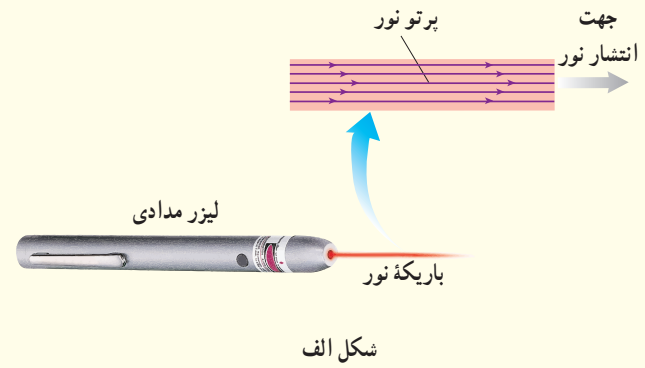
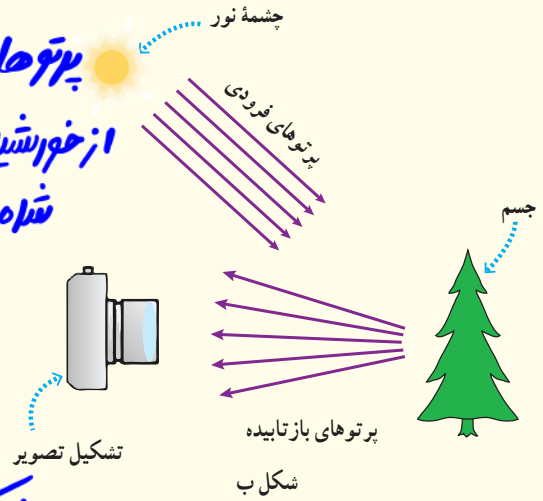
فصل ۱

پوشی ۱-۱

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

باریکه‌ی نور به صورت پرتوهای موازی مدل سازی شده است.

پرتوهای تابیده شده از خورشید موازی فرض شده اند.

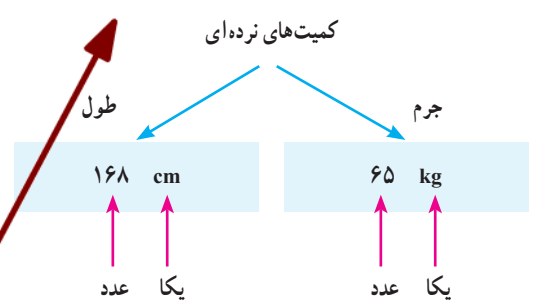


حرف فیزیک

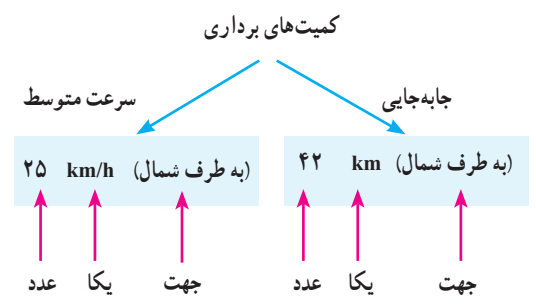
۳-۱ اندازه گیری و کمیت های فیزیکی

کمیت نرده‌ای

همان طور که پیش از این گفتیم فیزیک علمی تجربی است و هدف آن بررسی پدیده های فیزیکی در جهان پیرامون است. اساس تجربه و آزمایش، اندازه گیری است و برای بیان نتایج اندازه گیری، به طور معمول از عدد و یکای مناسب آن استفاده می کنیم. (در فیزیک به هر چیزی که بتوان آن را اندازه گرفت، مانند طول، جرم، تندی، نیرو و زمان سقوط یک جسم، کمیت فیزیکی گفته می شود.) برای بیان برخی از کمیت های فیزیکی، تنها از یک عدد و یکای مناسب آن استفاده می شود. این گونه کمیت ها، کمیت نرده‌ای نامیده می شوند. برای مثال، وقتی می گوئیم جرم و طول قد شخصی به ترتیب، ۶۵ kg و ۱۶۸ cm است، از دو کمیت فیزیکی نرده‌ای برای توصیف این شخص استفاده کرده ایم (شکل ۱-۴). برای بیان برخی دیگر از کمیت های فیزیکی، افزون بر یک عدد و یکای مناسب آن، لازم است به جهت آن نیز اشاره کنیم. این دسته از کمیت ها را، کمیت برداری می نامند. با برخی از این کمیت ها مانند جابه جایی، سرعت، شتاب و نیرو در علوم سال نهم آشنا شدید. برای مثال، وقتی می گوئیم جابه جایی دو چرخه سواری ۴۲ km به طرف شمال و سرعت متوسط آن ۲۵ km/h به طرف شمال است، از دو کمیت برداری برای توصیف حرکت این دو چرخه سوار استفاده کرده ایم (شکل ۱-۵). برای نوشتن کمیت های برداری، مانند نیرو  $F$  و شتاب  $a$ ، از علامت پیکان بالای نماد آن کمیت استفاده می کنیم. اگر علامت پیکان بالای یک کمیت برداری نیاید، مانند  $F$  و  $a$ ، تنها اندازه آن کمیت برداری (شامل عدد و یکا) بیان شده است.



شکل ۱-۴ هر کمیت نرده‌ای را باید با عدد و یکای مناسب آن بیان کنیم. بیان یک کمیت فیزیکی، بدون ذکر یکای آن، معنایی ندارد!



شکل ۱-۵ هر کمیت برداری را باید با عدد، یکای مناسب و جهت آن بیان کنیم. بیان یک کمیت فیزیکی برداری بدون ذکر یکا و جهت آن، معنایی ندارد!

کمیت برداری

کل کمیت های برداری کشور: ۱- جابجایی ۲- سرعت ها ۳- شتاب ها ۴- نیروها ۵- میران ها (الکترومغناطیسی و...) ۶- تکانه (اندازه حرکت)



جدول جوهره شود!

کمیت و یکای اصلی

ویژگی‌های یکای مناسب

۴-۱ اندازه گیری و دستگاه بین المللی یکاها

جدول ۱-۱ کمیت های اصلی و یکاهای اصلی  
دستگاه بین المللی (SI)

کمیت	نام یکا	نماد یکا
طول	متر	m
جرم	کیلوگرم	kg
زمان	ثانیه	s
دما	کلوین	K
مقدار ماده	مول	mol
جریان الکتریکی	آمپر	A
شدت روشنایی	کندلا (شمع)	cd

برای انجام اندازه گیری های درست و قابل اطمینان به یکاهای اندازه گیری ای نیاز داریم که تغییر نکنند و دارای قابلیت باز تولید در مکان های مختلف باشند. دستگاه یکاهایی که امروزه بیشتر مهندسان و دانشمندان علوم در سراسر جهان به کار می برند را اغلب دستگاه متریک می نامند، ولی این دستگاه یکاها از سال ۱۹۶۰ میلادی، به طور رسمی، دستگاه بین المللی (SI) نامیده شده است.

در سال ۱۹۷۱ میلادی (مجمع عمومی اوزان و مقیاس ها، هفت کمیت را به عنوان کمیت اصلی انتخاب کرد که اساس دستگاه بین المللی یکاها را تشکیل می دهند (جدول ۱-۱). یکای این کمیت ها را یکاهای اصلی می نامند. سایر یکاهای دیگر را که بر حسب یکاهای اصلی بیان می شوند، یکاهای فرعی می نامند.

تعداد کمیت های فیزیکی، بسیار زیاد و سازمان دهی آنها دشوار است. خوشبختانه، بسیاری از کمیت های فیزیکی مستقل از یکدیگر نیستند و توسط رابطه ها و تعریف های فیزیکی به یکدیگر وابسته اند. این وابستگی به ما کمک می کند تا لازم نباشد برای همه کمیت های فیزیکی، یکای مستقل تعریف کنیم. برای مثال، همان طور که در علوم سال نهم دیدید، تندی متوسط به صورت نسبت مسافت به زمان تعریف می شود. اگر مسافت را که از جنس 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 ۲-۱ نمونه هایی از یکاهای فرعی آمده است که در این کتاب از آنها استفاده می کنیم. همان طور که در این جدول نیز دیده می شود برای برخی از یکاهای پر کاربرد فرعی، نامی مخصوص قرار داده اند، مثلاً یکای نیرو (kg.m/s<sup>2</sup>) را نیوتون (N) نامیده اند. در این صورت گفته می شود: یکای SI نیرو، نیوتون است. معرفی این یکاهای خاص در SI، ضمن احترام به فعالیت های علمی دانشمندان گذشته، سبب سهولت در گفتار و نوشتار نیز می شود.

تنها یکای اصلی که پیشتر دارد.

کمیت و یکای فرعی

جدول ۲-۱ چند مثال از یکاهای فرعی دستگاه بین المللی (SI)

کمیت	نام یکا	یکای فرعی بر حسب یکاهای اصلی
تندی و سرعت	متر بر ثانیه (m/s)	m/s
شتاب	متر بر مربع ثانیه (m/s <sup>2</sup> )	m/s <sup>2</sup>
نیرو	نیوتون (N)	kg.m/s <sup>2</sup>
فشار	پاسکال (Pa)	kg/ms <sup>2</sup>
انرژی	ژول (J)	kg.m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>

$v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$   
 $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$   
 $F = ma$   
 $p = \rho gh$   
 $K = \frac{1}{2}mv^2$

نکته: تمام کمیت های اصلی فرعی هستند.

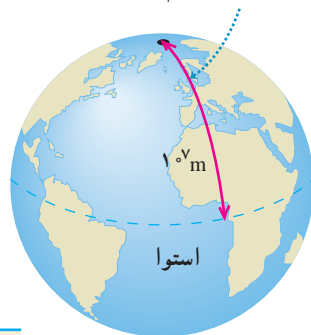
نکته: اساسی دانشمندان همیشه یکای SI است.



# یکای طول

**طول:** (به لحاظ تاریخی، در اواخر قرن هجدهم، یکای طول (متر) به صورت یک ده میلیونیم فاصله استوا تا قطب شمال تعریف شد (شکل ۱-۶)). تا سال ۱۹۶۰ میلادی، فاصله میان دو خط نازک حک شده در نزدیکی دو سر میله‌ای از جنس پلاتین - ایریدیوم، وقتی میله در دمای صفر درجه سلسیوس قرار داشت، برابر یک متر تعریف شده بود. بنابراین توافق جهانی مجمع عمومی وزن‌ها و مقیاس‌ها در سال ۱۹۸۳ میلادی، یک متر برابر 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). در جدول ۱-۳ مقادیر تقریبی برخی طول‌ها آمده است.

متر در آغاز به صورت یک ده میلیونیم این فاصله تعریف شد



شکل ۱-۷ اولین تعریف متر در سال ۱۷۹۱ میلادی

جدول ۱-۳ مقادیر تقریبی برخی طول‌های اندازه‌گیری شده

طول (m)	طول (m)	طول (m)
$9 \times 10^1$	طول زمین فوتبال	$2/8 \times 10^{11}$ فاصله منظومه شمسی تا نزدیک‌ترین کهکشان
$5 \times 10^{-3}$	طول بدن نوعی مگس	$4 \times 10^{16}$ فاصله منظومه شمسی تا نزدیک‌ترین ستاره
$1 \times 10^{-4}$	اندازه ذرات کوچک گرد و خاک	$9 \times 10^{15}$ یک سال نوری
$1 \times 10^{-5}$	اندازه باخته‌های بیشتر موجودات زنده	$1/50 \times 10^{11}$ شعاع مدار میانگین زمین به دور خورشید
$2 \times 10^{-6}$	اندازه بیشتر میکروب‌ها	$3/84 \times 10^8$ فاصله میانگین ماه از زمین
$1/06 \times 10^{-10}$	قطر اتم هیدروژن	$6/40 \times 10^6$ شعاع میانگین زمین
$1/75 \times 10^{-15}$	قطر هسته اتم هیدروژن (قطر پروتون)	$3/6 \times 10^7$ فاصله ماهواره‌های مخابراتی از زمین

## پوشش ۱-۲

### معایب ثابت نبودن یکای طول: عدم قابلیت بازتولید - عدم کاربرد برای فاصله‌های زیاد...



اگر مطابق شکل روبه‌رو، یکای طول را به صورت فاصله نوک بینی تا نوک انگشتان دست کشیده‌شده بگیریم، چه مزایا و چه معایبی دارد؟  
**مزایا: همیشه همراهمان است.**

# یکای نجومی (AU)

## تمرین ۱-۱

الف) یکای نجومی برابر میانگین فاصله زمین تا خورشید است  $(1 \text{ AU} \approx 1/50 \times 10^{11} \text{ m})$ . 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 طی می‌کند یک سال نوری می‌نامند و آن را با نماد ly نمایش می‌دهند. این فاصله را بر حسب متر محاسبه کنید. تندی نور را در خلأ  $3/00 \times 10^8$  متر بر ثانیه بگیرید.  
 پ) اخترش‌ها دورترین اجرام شناخته‌شده از منظومه شمسی هستند و به عبارتی در دورترین محل قابل مشاهده کیهان قرار دارند. فاصله اخترش‌ها از منظومه شمسی  $1/00 \times 10^{26}$  متر برآورد شده است. این فاصله را بر حسب سال نوری بیان کنید.

۱- نیازی به حفظ کردن این تعریف تخصصی نیست.

۲- Astronomical Unit

۳- light year

۴- Quasars





# یکای جرم

**جرم** (یکای جرم در SI، کیلوگرم (kg)) نامیده می‌شود و به صورت جرم استوانه‌ای فلزی از جنس الیاز پلاتین - ایریدیوم تعریف شده است. جرم این استوانه که به دقت درون دو حباب شیشه‌ای جای گرفته، کیلوگرم استاندارد بین‌المللی است که در موزه سِور فرانسه نگهداری می‌شود.<sup>۱</sup> نسخه‌های کاملاً مشابهی از این نمونه ساخته و برای کشورهای دیگر ارسال شده است (شکل ۱-۷).

در علوم سال هفتم با ابزارهای اندازه‌گیری جرم آشنا شدید. مقادیر تقریبی برخی جرم‌ها در جدول ۴-۱ آمده است.



**شکل ۱-۷** استاندارد ملی کیلوگرم که نسخه دقیقی از استاندارد بین‌المللی سِور فرانسه است. این نمونه، در مرکز اندازه‌شناسی در سازمان ملی استاندارد ایران نگهداری می‌شود.

جرم (kg)	جرم (kg)	جرم (kg)	جرم (kg)
$1 \times 10^{52}$	انسان	$7 \times 10^1$	عالم قابل مشاهده
$7 \times 10^{41}$	قورباغه	$1 \times 10^{-1}$	کهکشان راه شیری
$2 \times 10^{30}$	پشه	$1 \times 10^{-5}$	خورشید
$6 \times 10^{24}$	باکتری	$1 \times 10^{-15}$	زمین
$7/34 \times 10^{22}$	اتم هیدروژن	$1/67 \times 10^{-27}$	ماه
$1 \times 10^2$	الکترون	$9/11 \times 10^{-31}$	کوسه

# یکای زمان

**زمان** (در طول سال‌های ۱۲۶۸ تا ۱۳۴۶ ه.ش، یکای زمان، ثانیه (s) به صورت ۸۶۴۰۰ میانگین روز خورشیدی تعریف می‌شد).<sup>۱</sup> استاندارد کنونی زمان که از سال ۱۳۴۶ ه.ش به کار گرفته شد بر اساس دقت بسیار زیاد ساعت‌های اتمی تعریف شده است که در کتاب‌های پیشرفته‌تر فیزیک می‌توانید با آن آشنا شوید.<sup>۲</sup>

(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 ۵-۱ آمده است.

# بازه‌های زمانی

ثانیه	ثانیه
$5 \times 10^{17}$	سن عالم
$1/43 \times 10^{17}$	سن زمین
$2 \times 10^9$	میانگین عمر یک انسان
$3/15 \times 10^7$	یک سال
$8/6 \times 10^4$	یک روز
$8 \times 10^{-1}$	زمان بین دو ضربان عادی قلب

# فعالیت ۱-۲

در خصوص چگونگی اندازه‌گیری زمان از دوران باستان تا عصر حاضر مطالبی را به‌طور مستند تهیه کنید.<sup>۳</sup>

مطالب تهیه‌شده را با توجه به مهارت و علاقه‌مندی افراد گروه خود، به یکی از شکل‌های روزنامه دیواری، پاورپوینت، قطعه فیلم کوتاه و... به کلاس درس ارائه دهید.

۱- در بیست و ششمین مجمع عمومی اوزان و مقیاس‌ها که در آبان ۱۳۹۷ برگزار شد تعریف یکاهای کیلوگرم، آمپر، کلونین و مول تغییر کرد. بر اساس تعریف‌های جدید کیلوگرم بر اساس ثابت پلانک ( $h$ )، آمپر بر اساس بار بنیادی ( $e$ )، کلونین بر اساس ثابت بولتزمان ( $k_B$ ) و مول بر اساس ثابت آووگادرو ( $N_A$ ) باز تعریف شدند.

۲- یک روز خورشیدی، زمان بین ظاهر شدن‌های متوالی خورشید در بالاترین نقطه آسمان در هر روز است.

۳- ساعت‌های اتمی پس از چندین میلیون سال، تنها یک ثانیه جلو یا عقب می‌افتند!

۴- خوب است نگاهی به وبگاه موزه علوم و فناوری [www.irstm.ir](http://www.irstm.ir) نیز داشته باشید.



**تبدیل یکاها:** اغلب در حل مسئله‌های فیزیک، لازم است یکای کمیتی را تغییر دهیم. برای مثال، ممکن است لازم باشد کیلوگرم (kg) را به میکروگرم ( $\mu\text{g}$ )، 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 برابر عدد یک است) ضرب می‌کنیم. برای مثال، چون ۱ m برابر ۱۰۰ cm است، داریم:

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

بنابراین، هر دو کسر بالا را که برابر یک هستند می‌توان به‌عنوان ضریب تبدیل به‌کار برد (ذکر یکاها در صورت و مخرج کسر الزامی است). از آنجا که ضرب کردن هر کمیت در عدد یک، اندازه آن کمیت را تغییر نمی‌دهد، هرگاه ضریب تبدیلی را مناسب بدانیم می‌توان از آن استفاده کرد. برای مثال، یکای cm را در ۸۵ cm، به‌صورت زیر به یکای m تبدیل می‌کنیم:

$$85\text{cm} = (85\text{cm})(1) = (85\text{cm})\left(\frac{1\text{m}}{100\text{cm}}\right) = 0.85\text{m}$$

← ضریب تبدیل

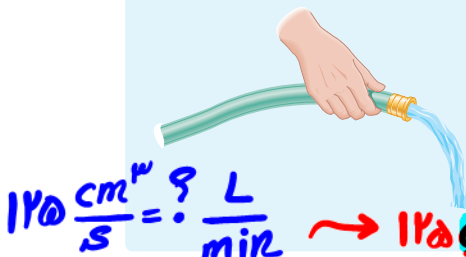
همچنین در مثالی دیگر، تبدیل یکای کمیت ۳۶ km/h را بر حسب یکای m/s به‌صورت زیر انجام می‌دهیم:

$$36\text{km/h} = \left(36\frac{\text{km}}{\text{h}}\right)(1)(1) = \left(36\frac{\text{km}}{\text{h}}\right)\left(\frac{1\text{h}}{3600\text{s}}\right)\left(\frac{1000\text{m}}{1\text{km}}\right) = 10\text{m/s}$$

## آهنگ هرکسیت

تمرین ۱-۲

(در فیزیک، تغییر هر کمیت را نسبت به زمان، معمولاً آهنگ آن کمیت می‌نامیم.) از شیلنگ شکل روبه‌رو، آب با آهنگ  $125\text{cm}^3/\text{s}$  خارج می‌شود. این آهنگ را به روش تبدیل زنجیره‌ای، بر حسب یکای لیتر بر دقیقه (L/min) بنویسید. (هر لیتر معادل  $1000\text{cm}^3$  سانتی متر مکعب است.)



$$125\frac{\text{cm}^3}{\text{s}} = ?\frac{\text{L}}{\text{min}} \rightarrow 125\frac{\text{cm}^3}{\text{s}} \times \frac{1\text{L}}{1000\text{cm}^3} \times \frac{60\text{s}}{1\text{min}} = 7.5\frac{\text{L}}{\text{min}}$$



خروار، من تبریز، سیر، مثقال، نخود و گندم از جمله یکاهای قدیمی ایرانی برای اندازه‌گیری جرم است<sup>۱</sup>. این یکاها به صورت زیر به یکدیگر مرتبط اند:

$$۱ \text{ خروار} = ۱۰۰ \text{ من تبریز}$$

$$۱ \text{ من تبریز} = ۴۰ \text{ سیر} = ۶۴۰ \text{ مثقال}$$

$$۱ \text{ مثقال} = ۲۴ \text{ نخود} = ۹۶ \text{ گندم}$$

با توجه به اینکه هر مثقال اندکی بیش از  $\frac{۴}{۶}$  گرم است، یکاهای سیر و گندم را برحسب گرم و کیلوگرم بیان کنید.

### سازگاری یکاها: هر کمیت فیزیکی را با نماد مشخصی نشان می‌دهیم. برای مثال اندازه شتاب

را با  $a$  و جرم را با  $m$  نشان می‌دهیم. همچنین برای بیان ارتباط بین کمیت‌های فیزیکی، از روابط و معادله‌ها استفاده می‌کنیم. یکی از این رابطه‌های فیزیکی، قانون دوم نیوتون،  $F = ma$  است که در علوم سال نهم با آن آشنا شدید. هنگام استفاده از این رابطه و جایگذاری اندازه هر کمیت در آن، باید به سازگاری یکاها در دو طرف رابطه توجه کنیم. اگر بخواهیم حاصل دو طرف رابطه برحسب یکاهای SI بیان شود باید یکای کمیت‌های داده شده را نیز به یکاهای SI تبدیل کنیم. برای مثال، اگر جرم جسمی  $۳۲۵\text{g}$  و شتاب آن  $۱/۷۵\text{m/s}^2$  باشد، برای سازگاری یکاها در دو طرف معادله، باید یکای جرم جسم را به کیلوگرم تبدیل کنیم. در این صورت مقدار حاصل را می‌توان برحسب یکای نیوتون بیان کرد.

$$F = ma = (۰/۳۲۵ \text{ kg})(۱/۷۵ \text{ m/s}^2) = ۰/۵۶۹ \text{ N}$$

یکای دو طرف معادله با هم سازگار است.  
(جدول ۱-۲ را ببینید.)

### پیشوندهای یکاها: هرگاه در اندازه‌گیری‌ها با اندازه‌های بسیار بزرگ‌تر یا بسیار کوچک‌تر از

یکای اصلی آن کمیت مواجه شویم، از پیشوندهایی استفاده می‌کنیم که در جدول ۱-۶ فهرست شده‌اند. همان‌طور که از ضرایب تبدیل جدول پیداست هر پیشوند، توان معینی از  $۱۰$  را نشان می‌دهد که به صورت یک عامل ضرب به کار می‌رود (به بزرگ و کوچک بودن حروف نمادها توجه کنید). یعنی وقتی پیشوندی به یکایی افزوده می‌شود، آن یکا در ضریب مربوطه ضرب می‌شود، مثلاً یک میکرومتر ( $۱\mu\text{m}$ ) که به آن میکرون نیز می‌گویند برابر  $۱ \times ۱۰^{-۶}\text{m}$  است یا سه مگاوات ( $۳\text{MW}$ ) برابر  $۳ \times ۱۰^۶\text{W}$  است.

۱ م

۱- در تمامی فصل‌های کتاب، به‌خاطر سپردن یکاهای قدیمی ضرورتی ندارد و نباید مورد ارزشیابی قرار گیرد.



$$10^1 < x < 10^n \quad \left\{ \begin{array}{l} n \in \mathbb{Z} \\ x \times 10^n \end{array} \right.$$

**نمادگذاری علمی:** در پاره‌ای از اندازه‌گیری‌ها با مقدارهای خیلی بزرگ یا خیلی کوچک سرو کار داریم؛ مثلاً برای نوشتن جرم زمین برحسب کیلوگرم باید تعداد ۲۲ صفر را بعد از عدد ۵۹۸ بنویسیم یا برای نوشتن جرم یک الکترون برحسب کیلوگرم باید بعد از ممیز، ۳۰ عدد صفر قرار دهیم و پس از آن عدد ۹۱۰۹ را بنویسیم.

بدیهی است نوشتن چنین عددهایی به صورت اعشاری یا با صفرهای زیاد، علاوه بر دشواری در خواندن و نوشتن، احتمال اشتباه را نیز افزایش می‌دهد. از این رو، با استفاده از روشی که آن را نمادگذاری علمی می‌نامند، نوشتن و محاسبه مقدارهای خیلی بزرگ یا خیلی کوچک ساده‌تر می‌شود.

اندازه هر کمیت فیزیکی، که به صورت نمادگذاری علمی بیان می‌شود، باید شامل سه قسمت باشد. قسمت‌های اول و دوم، در برگزیده حاصل ضرب عددی از ۱ تا ۱۰ در توان صحیحی از ۱۰ است و در قسمت سوم، یکای آن کمیت نوشته می‌شود. برای آشنایی بیشتر با نمادگذاری علمی، به مثال‌های جدول ۱-۷ توجه کنید.

حرکت ممیز به چپ ← توان +  
حرکت ممیز به راست ← توان -

جدول ۱-۶ پیشوندهای یکاها

ضریب	پیشوند	نماد	ضریب	پیشوند	نماد
$10^{24}$	یوتا	Y	$10^{-24}$	یوکتو	y
$10^{21}$	زِتا	Z	$10^{-21}$	زِپتو	z
$10^{18}$	اِگزا	E	$10^{-18}$	آتو	a
$10^{15}$	پِتا	P	$10^{-15}$	فِمتو	f
$10^{12}$	ترا	T	$10^{-12}$	پیکو	p
$10^9$	گیگا (جیگا)	G	$10^{-9}$	نانو	n
$10^6$	مِگا	M	$10^{-6}$	میکرو	$\mu$
$10^3$	کیلو	k	$10^{-3}$	میلی	m
$10^2$	هکتو	h	$10^{-2}$	سانتی	c
$10^1$	دِکا	da	$10^{-1}$	دِسی	d

پیشوندهایی که کاربرد بیشتری دارند و بهتر است آنها را به خاطر بسپارید با رنگ قرمز نشان داده شده‌اند.



فقط همین هاروبلا باش!



### مثال ۱-۱

مقدار بار الکتریکی الکترون  $۱۶۰ \times ۱۰^{-۱۵} \mu\text{C}$  است. مقدار این بار را برحسب کولن و با نمادگذاری علمی بنویسید.

**پاسخ:** با توجه به جدول ۱-۶، پیشوند میکرو ( $\mu$ ) برابر  $۱۰^{-۶}$  است. به این ترتیب داریم:

$$۱۶۰ \times ۱۰^{-۱۵} \mu\text{C} = ۱۶۰ \times ۱۰^{-۲۱} \text{C} = ۱/۶۰ \times ۱۰^{-۱۹} \text{C}$$

### پرسش ۳-۱

کدام گزینه جرم یک زنبور عسل ( $۰/۰۰۰۱۵ \text{ kg}$ ) را به صورت نمادگذاری علمی درست بیان می کند؟

$۱۵ \times ۱۰^{-۵} \text{ kg}$






$۱/۵ \times ۱۰^{-۵} \text{ kg}$

$۱/۵ \times ۱۰^{-۴} \text{ kg}$

$۰/۱۵ \times ۱۰^{-۲} \text{ kg}$

### تمرین ۳-۱

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

	قطر میانگین یک گویچه (گلبول) قرمز	$۷/۰ \times ۱۰^{-۶} \text{ m}$	$۷ \times ۱۰^{-۳} \dots \text{ mm}$	$۷ \dots \mu\text{m}$
	قطر هسته اتم اورانیوم	$۱/۱۷ \times ۱۰^{-۱۴} \text{ m}$	$۱,۱۷ \times ۱۰^{-۲} \dots \text{ pm}$	$۱,۱۷ \times ۱۰^{-۱} \dots \text{ fm}$
	جرم یک گیره کاغذ	$۱/۰ \times ۱۰^{-۴} \text{ kg}$	$۱ \times ۱۰^{-۱} \dots \text{ g}$	$۱ \times ۱۰^{-۴} \dots \text{ mg}$
	زمانی که نور مسافت $۰/۳$ متر را در هوا طی می کند.	$۱/۰ \times ۱۰^{-۹} \text{ s}$	$۱ \times ۱۰^{-۳} \dots \mu\text{s}$	$۱ \dots \text{ ns}$
	زمانی که صوت مسافت $۰/۳۵$ متر را در هوا طی می کند.	$۱/۰ \times ۱۰^{-۳} \text{ s}$	$۱ \dots \text{ ms}$	$۱ \times ۱۰^{-۳} \dots \mu\text{s}$



مدراج: خودمان باید عدد را استخراج کنیم.

دقت: کوچکترین تقسیم بندی روی جسم.

وسایل اندازه گیری

رقمی یا دیجیتالی: خودش عدد را به ما تحويل می دهد.

دقت: رقم سمت راست = ۰ و ۱ و بقیه ی ارقام از صفر بزرگتر.

### ۵-۱ اندازه گیری و دقت وسیله های اندازه گیری

در اندازه گیری کمیت های فیزیکی مانند طول، جرم، زمان و ... قطعیت وجود ندارد و همواره مقداری خطا وجود دارد. با انتخاب وسیله های دقیق و روش صحیح اندازه گیری، تنها می توان خطای اندازه گیری را کاهش داد، ولی هیچ گاه نمی توان آن را به صفر رساند. با وجود این، توجه به عوامل زیر نقش مهمی در افزایش دقت اندازه گیری دارد.

۱- دقت وسیله اندازه گیری: یکی از عوامل مهم در دقت اندازه گیری، دقت و حساسیت وسیله اندازه گیری است. برای مثال، دقت خط کشی که تا میلی متر مدرج شده، بیشتر از دقت خط کشی است که تا سانتی متر درجه بندی شده است.

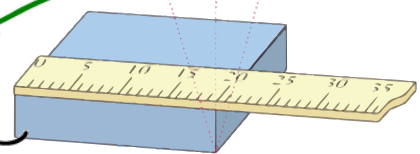
۲- مهارت شخص آزمایشگر: یکی دیگر از عوامل مهم و تأثیرگذار روی دقت اندازه گیری، مهارت های شخص آزمایشگر است. یکی از این مهارت ها، نحوه خواندن نتیجه اندازه گیری است. شکل ۱-۸ تأثیر اختلاف منظر در خواندن نتیجه اندازه گیری را نشان می دهد. خواندن نتیجه اندازه گیری از منظرهای A و C خطا را افزایش می دهد در حالی که گزارش شخصی که از منظر B نتیجه اندازه گیری را می خواند دقت بیشتری دارد.

### دقت اندازه گیری

دقت ابزارهای اندازه گیری مدرج، برابر کمیته درجه بندی آن ابزار است. برای مثال، دقت خط کشی که کمیته درجه بندی آن مطابق شکل زیر تا میلی متر است برابر ۱mm است.



عددی کمتر می بیند ← عددی دقیق تر می بیند → عددی بیشتر می بیند.



شکل ۱-۸ خطای مشاهده، ناشی از اختلاف منظر، در خواندن و گزارش نتیجه اندازه گیری تأثیر مهمی دارد.


مربوط به مهارت شخص آزمایشگر

عوامل مهم در افزایش دقت اندازه گیری  
۱- دقت وسیله اندازه گیری  
۲- مهارت شخص آزمایشگر  
۳- تعداد دفعات اندازه گیری



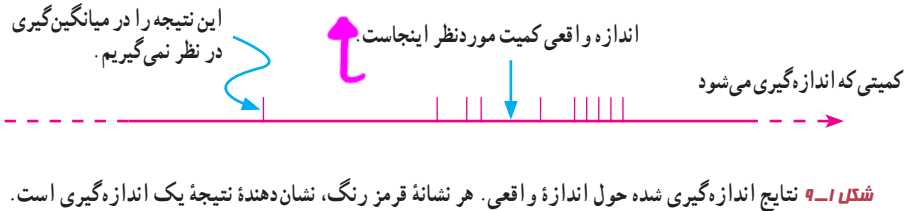
# دقت اندازه‌گیری ابزارهای رقمی یا دیجیتال

دقت اندازه‌گیری در ابزارهای رقمی (دیجیتال)، برابر یک واحد از آخرین رقمی است که آن ابزار می‌خواند. برای مثال، آخرین رقمی که دماسنج شکل زیر نشان می‌دهد  $0.2^{\circ}\text{C}$  و دقت آن  $0.1^{\circ}\text{C}$  است.



۳- تعداد دفعات اندازه‌گیری (برای کاهش خطا در اندازه‌گیری هر کمیت، معمولاً اندازه‌گیری آن را چند بار تکرار می‌کنند. میانگین عددهای حاصل از اندازه‌گیری به‌عنوان نتیجه اندازه‌گیری گزارش می‌شود. البته در میان عددهای متفاوت، اگر یک یا دو عدد اختلاف زیادی با بقیه داشته باشند در میانگین‌گیری به حساب نمی‌آیند) شکل (۹-۱).

## مربوط به تعداد دفعات اندازه‌گیری



### فعالیت ۴-۱

الف) آزمایشی طراحی و اجرا کنید که به کمک آن بتوان جرم و حجم یک قطره آب را اندازه‌گیری کرد.  
ب) تکه‌ای سیم لاک‌پلاستی یا نخ قرقره به طول تقریبی یک متر تهیه کنید. آزمایشی طراحی و اجرا کنید که به کمک یک خط کش میلی‌متری بتوان قطر این سیم یا نخ را اندازه‌گیری کرد.

الف) یک استوانه‌ی مدرج تهیه می‌کنیم و به تعداد مشخص قطره‌ی آب داخل آن می‌ریزم. حجم کل قطره‌ها را یادداشت کرده و به تعداد قطره‌ها تقسیم می‌کنیم و حجم هر قطره به دست می‌آید. به همین صورت جرم قطره‌ها را با ترازو به دست می‌آوریم.

ب) سیم یا نخ را دور قرقره می‌پیچیم. ضخامت ایجاد شده را اندازه‌گیری و به تعداد دورهایی که پیچیده ایم تقسیم می‌کنیم، آن‌گاه قطر سیم یا نخ به دست می‌آید.



چگالی:

نردهای

فیزی

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$\xrightarrow{\text{kg}}$   $m$   $\xrightarrow{\text{m}^3}$   
 $\xleftarrow{\text{kg/m}^3}$

یکای SI چگالی

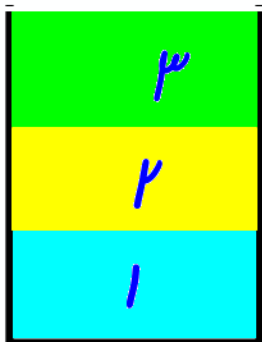
$$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \xrightarrow{\times 1000} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

چگالی فقط به دما و جنس ماده بستگی دارد نه جرم و حجم!

به چگالی در افغانستان میگویند کثافت!

آگه چند ماده با چگالی متفاوت داشته باشیم:



$$\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$$

۶-۱ چگالی

چگالی هر ماده یکی از ویژگی های مهم آن به شمار می رود که کاربردهای گوناگونی دارد. برای مثال با توجه به دستورالعمل مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، چگالی شیرخام تحویلی در کارخانه های شیر و لبنیات باید در دمای ۱۵ درجه سلسیوس بین ۱۰۲۹ تا ۱۰۳۲ کیلوگرم بر متر مکعب باشد.

در علوم سال هفتم دیدید که اگر ماده همگنی دارای جرم  $m$  و حجم  $V$  باشد، چگالی  $\rho$  آن به صورت زیر تعریف می شود:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1-1)$$

یکای چگالی در SI کیلوگرم بر متر مکعب ( $\text{kg/m}^3$ ) است. در جدول

۸-۱ چگالی برخی مواد داده شده است.

تیب مقایسه ای:

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{m_2}{m_1} \times \frac{V_1}{V_2}$$





### تمرین ۴-۱

یکی دیگر از یکاهای متداول چگالی، گرم بر سانتی متر مکعب ( $\text{g/cm}^3$ ) است. به روش تبدیل زنجیره‌ای نشان دهید:

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

$$1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \frac{10^3 \text{ g}}{1000 \text{ kg}} \times \frac{10^{-6} \text{ m}^3}{1 \text{ cm}^3} = 1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

### پرسش ۴-۱

چگالی بنزین  $680 \times 10^2 \text{ kg/m}^3$  است. توضیح دهید چرا آب مایع مناسبی برای خاموش کردن بنزین شعله‌ور نیست.

**زیرا بنزین آب است و بنزین روی آب می‌ماند.**

### مثال ۲-۱

**فلز آسمیم** ( $\rho = 22/5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ) یکی از چگال‌ترین مواد یافت شده روی زمین است. جرم قطعه‌ای از این ماده به حجم  $23/0 \text{ cm}^3$ ، چند کیلوگرم است؟  
**پاسخ:** از رابطه ۱-۱ داریم:

$$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow m = \rho V = (22/5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3) \times (23/0 \times 10^{-6} \text{ m}^3) = 0/518 \text{ kg}$$

این نتیجه نشان می‌دهد که اگر قطعه‌ای مکعبی، 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  $4/7 \text{ L}$  تا  $5/5 \text{ L}$  باشد. جرم  $4/7 \text{ L}$  خون چند کیلوگرم است؟ چگالی خون را  $1/05 \text{ g/cm}^3$  بگیرید.

$$\rho = 1/05 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \quad \rho = \frac{m}{V} \quad V = 4/7 \text{ L} \times \frac{10^3 \text{ cm}^3}{1 \text{ L}} = 4700 \text{ cm}^3 \quad 1/05 = \frac{m}{4700} \rightarrow m = 4935 \text{ g} \times \frac{\text{kg}}{10^3 \text{ g}} = 4/935 \text{ kg}$$

### فعالیت ۵-۱



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

اگر پرتقال را بدون پوست درون ظرف محتوی آب بیندازیم 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) پرتقال جرم بیشتری دارد و اصطلاحاً سنگین‌تر است. آیا سنگین‌تر بودن یک جسم دلیلی بر فرو رفتن آن در آب است؟ توضیح دهید.

**پرتقال با پوست، به دلیل حفره‌هایی که دارد چگالی آن کمتر از پرتقال بدون پوست است. پس پرتقال با پوست برخلاف این که سنگین‌تر است، چگالی کمتری دارد و روی آب قرار می‌گیرد.**

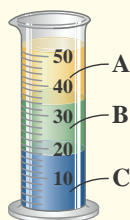
## فعالیت ۱-۶



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

ب) با استفاده از سرنگ مدرج بزرگ و ترازوی با دقت مناسب، چگالی برخی از مایع‌های در دسترس مانند شیر، روغن، مایع ظرفشویی و... را اندازه بگیرید. قبل و بعد از پرکردن سرنگ، جرم آن را اندازه بگیرید و به این روش جرم مایع را تعیین کنید.

## پرسش ۱-۵



سه مایع مخلوط‌نشده‌ی A، B و C که چگالی‌های متفاوتی دارند درون استوانه‌ای شیشه‌ای ریخته شده‌اند. این سه مایع عبارت‌اند از: جیوه (با چگالی  $13.6 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ )، روغن زیتون (با چگالی  $9.2 \times 10^2 \text{ kg/m}^3$ ) و آب (با چگالی  $1.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ) است. جنس هر یک از مایع‌های A، B و C درون استوانه را مشخص کنید.

**A: روغن**      **B: آب**      **C: جیوه**

مسائل مفهومی:

$$V_{\text{کل}} = V_{\text{ماده}} + V_{\text{حفره}}$$

۱- فرمول هندسی }  $V_{\text{کل}}$   
 ۲- غوطه‌روی

$$\rho = \frac{m}{V_{\text{ماده}}}$$

الف) اگر زمین را کره‌ای یکنواخت به شعاع  $6400$  کیلومتر در نظر بگیریم (شکل زیر)، مساحت آن چند هکتار است؟  
 ب) تحقیق کنید مساحت کل سرزمین ایران، شامل خشکی و دریا، چند هکتار است؟ این مساحت چند درصد از مساحت کره زمین است؟



۸) یکی از بزرگ‌ترین الماس‌های موجود در ایران، دریای نور به جرم  $182$  قیراط، است. این الماس به رنگ کیمیا صورتی شفاف بوده و در خزانه جواهرات ملی نگه‌داری می‌شود. کوه نور نیز یکی دیگر از الماس‌های مشهور جهان است که جرمی حدود  $108$  قیراط دارد و هم اکنون در برج لندن نگه‌داری می‌شود. با توجه به اینکه هر قیراط معادل  $200$  میلی‌گرم است، جرم الماس دریای نور و کوه نور بر حسب گرم چقدر است؟  
 ۹) نقشه مفهومی زیر را کامل کنید.

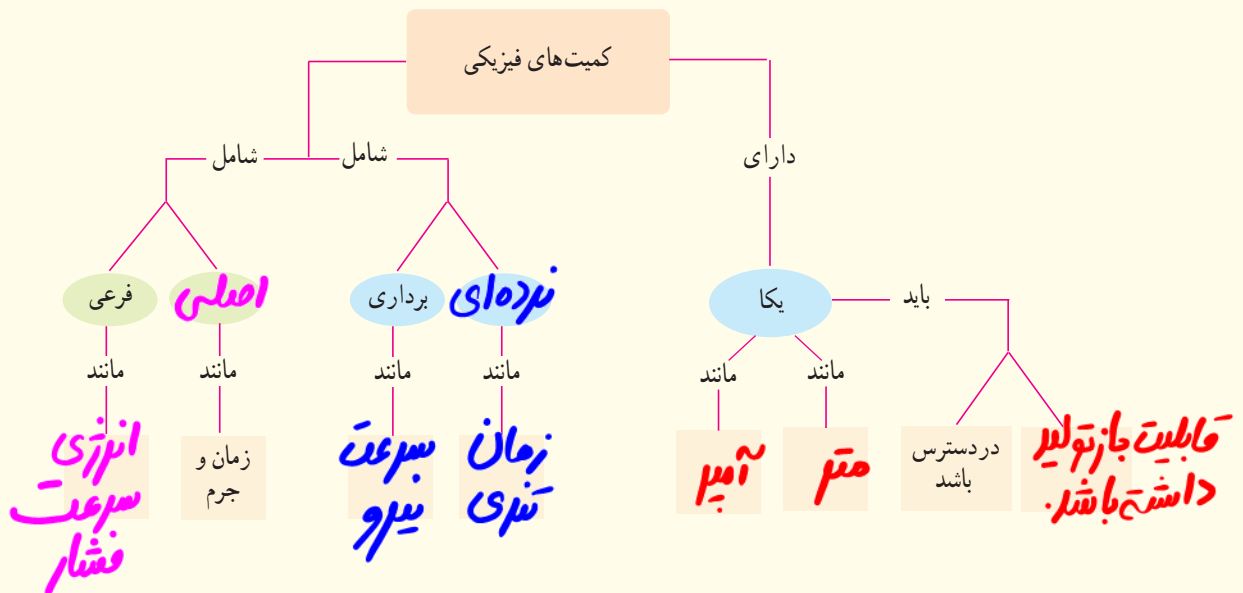
### ۱-۱ و ۲-۱ فیزیک: دانش بنیادی و مدل‌سازی در فیزیک

۱) در چه صورت یک مدل یا نظریه فیزیکی بازنگری می‌شود؟  
 ۲) فرایند مدل‌سازی در فیزیک را با ذکر یک مثال توضیح دهید.

### ۳-۱ و ۴-۱ اندازه‌گیری و کمیت‌های فیزیکی و اندازه‌گیری و

#### دستگاه بین‌المللی یکاها

۳) سعی کنید با نگاه کردن، طول برخی از اجسامی را که در محیط اطرافتان هستند، بر حسب سانتی‌متر یا متر برآورد کنید. سپس طول آنها را با خط‌کش یا متر اندازه بگیرید. برآوردهای شما تا چه حد درست بوده‌اند؟  
 ۴) جرم یک سوزن ته‌گرد را چگونه می‌توان با یک ترازوی آشپزخانه اندازه‌گیری کرد؟  
 ۵) گالیلو در برخی از کارهایش از ضربان نبض خود به عنوان زمان‌سنج استفاده کرد. شما نیز چند پدیده تکرار شونده در طبیعت را نام ببرید که می‌توانند به عنوان ابزار اندازه‌گیری زمان به کار روند.  
 ۶) الف) هر میکروقرن، تقریباً چند دقیقه است؟  
 ب) یک میلیارد ثانیه دیگر، تقریباً چند سال پیرتر می‌شوید؟  
 ۷) هکتار، از جمله یکاهای متداول مساحت است. هر هکتار برابر  $10$  هزار متر مربع است.



جواب ۱) مدل‌ها و نظریه‌های فیزیکی در طول زمان همواره معتبر نیستند و اگر نتایج آزمایش‌های جدید نشان دهد که نظریه‌ی فیزیکی صحیح نیست باید بازنگری شود.

جواب ۲) مدل‌سازی در فیزیک فرآیندی است که طی آن یک پدیده‌ی فیزیکی، آن‌قدر ساده و آسان می‌شود تا امکان بررسی و تحلیل آن فراهم شود.

مثلاً هنگام افتادن توپ از ارتفاع از عواملی مانند چرخیدن توپ، اندازه‌ی توپ، زبری و نرم بودن، تغییر ستاب گرانچ و... صرف نظر می‌کنیم تا مطالعه ساده‌تر شود.

جواب ۱۴) تعداد مشخصی سوزن را روی ترازو قرار داده و جرم آن‌ها را اندازه‌گیری می‌کنیم. سپس جرم به دست آمده را بر تعداد سوزن‌ها تقسیم می‌کنیم تا

جرم هر سوزن به دست آید.

جواب ۵) گردش زمین به دور خورشید، گردش ماه به دور زمین، چرخش و مد دریاها

جواب ۶ الف) 
$$1 \text{ mile} \times \frac{10^3 \text{ feet}}{1 \text{ mile}} \times \frac{100 \text{ yd}}{1000 \text{ feet}} \times \frac{365 \text{ d}}{1 \text{ y}} \times \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ d}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = 52,560 \text{ min}$$

ب) 
$$10^9 \text{ s} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \times \frac{1 \text{ d}}{24 \text{ h}} \times \frac{1 \text{ y}}{365 \text{ d}} = 31,7 \text{ y}$$

جواب ۷ الف) 
$$r = 4400 \text{ km} = 44 \times 10^5 \text{ m} \quad \pi = 3,14 \quad A_{\text{کره}} = 4\pi r^2 = 4 \times 3,14 \times (44 \times 10^5)^2 = 5,114 \times 10^{14} \text{ m}^2$$

$$A = 5,114 \times 10^{14} \text{ m}^2 \times \frac{1 \text{ هکتار}}{10^4 \text{ m}^2} \approx 5,114 \times 10^{10} \text{ هکتار}$$

ب) 
$$\frac{\text{مساحت ایران}}{\text{مساحت کره زمین}} \times 100 = \frac{1448195 \text{ km}^2}{5,114 \times 10^{10} \text{ km}^2} \times 100 = 0,28\%$$

جواب ۱۸) 
$$100 \text{ mg} = 100 \times 10^{-3} \text{ g} = 0,1 \text{ g}$$

درای نور 
$$182 \text{ قیراب} \times \frac{100 \text{ mg}}{1 \text{ قیراب}} \times \frac{10^{-3} \text{ g}}{1 \text{ mg}} = 18,2 \times 10^{-1} \text{ g}$$

کوه نور 
$$108 \text{ قیراب} \times \frac{100 \text{ mg}}{1 \text{ قیراب}} \times \frac{10^{-3} \text{ g}}{1 \text{ mg}} = 10,8 \times 10^{-1} \text{ g}$$



۱۰ سریع‌ترین رشد گیاه متعلق به گیاهی موسوم به هِسپروئوکا است که در مدت ۱۴ روز،  $\frac{3}{7}$  متر رشد می‌کند (شکل زیر). آهنگ رشد این گیاه برحسب میکرومتر بر ثانیه چقدر است؟



۱۳ تندی شناورها در دریا بر حسب یکایی به نام گره بیان می‌شود. هر گره دریایی برابر  $\frac{1}{5144}$  متر بر ثانیه است. تاریخچه گره دریایی به حدود ۴۰۰ سال پیش باز می‌گردد، زمانی که ملوانان تندی متوسط کشتی خود را با استفاده از وسیله‌ای به نام تندیسنج شناور اندازه می‌گرفتند. این وسیله، شامل طنابی بود که در فواصل مساوی، گره‌ای روی آن زده شده بود. در حین کشیده شدن طناب به دریا، تعداد گره‌های رد شده از دست ملوان در یک زمان معین شمرده می‌شد و تندی متوسط کشتی را به دست می‌آوردند. پس از آن، ملوان‌ها از واژه «گره» برای بیان تندی متوسط کشتی استفاده می‌کنند.

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

۱۱ دستگاه بریتانیایی یکاها، دستگاهی است که در برخی از کشورها مانند آمریکا و انگلستان همچنان استفاده می‌شود. یکای اصلی طول در این دستگاه پا (فُوت) و یکای کوچک‌تر آن اینچ است به طوری که  $1 \text{ ft} = 12 \text{ in}$  است. ارتفاع هواپیمایی را که در فاصله ۳۰۰۰۰ پا از سطح آزاد دریاها در حال پرواز است برحسب متر به دست آورید. هر اینچ  $\frac{2}{54}$  سانتی‌متر است.

۱۲ قدیمی‌ترین سنگ‌نوشته حقوق بشر که تاکنون یافت شده است به حدود ۲۵۵۰ سال پیش باز می‌گردد که به فرمان کورش، پادشاه ایران در دوره هخامنشیان نوشته شده است. این مدت برحسب ثانیه چقدر است؟



$$\vec{\omega} = \frac{\Delta L}{\Delta t} = \frac{177m}{14d} \times \frac{1\mu m}{10^6m} \times \frac{1d}{24h} \times \frac{1h}{3600s} = 11.05 \frac{\mu m}{s}$$

جواب ۱۰)

$$1ft = 12in \quad 1in = 2.54cm$$

جواب ۱۱)

$$1000ft \times \frac{12in}{1ft} \times \frac{2.54cm}{1in} \times \frac{10^6m}{cm} = 9144m$$

$$1000y \times \frac{365d}{1y} \times \frac{24h}{1d} \times \frac{3600s}{1h} = 1.04144 \times 10^8 s$$

جواب ۱۲)

$$\text{گره} = 0.15144 \frac{m}{s}$$

جواب ۱۳)

$$14 \text{ گره} \times \frac{0.15144 \frac{m}{s}}{\text{گره}} \approx 2.12 \frac{m}{s} \times \frac{km}{10^3m} \times \frac{3600s}{1h} = 20.92 \frac{km}{h}$$

الف)



نتیجه اندازه‌گیری (شامل دقت ابزار و خطای آن) توسط آنها آشنا خواهید شد. شکل‌های (الف) و (ب)، به ترتیب یک ریزسنج و یک کولیس رقمی را نشان می‌دهد. دقت هر یک از این وسیله‌ها را مشخص کنید.



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

۱۴ ذرع و فرسنگ از جمله یکاهای قدیمی ایرانی برای طول است. هر ذرع ۱۰۴ سانتی‌متر و هر فرسنگ ۶۰۰۰ ذرع است. بزرگ‌ترین جزیره خلیج فارس است که مساحت آن از بیش از بیست کشور جهان بزرگ‌تر است. طول این جزیره حدود ۱۲۰ کیلومتر برآورد شده است. این طول را بر حسب ذرع و فرسنگ بیان کنید.



### ۶- چگالی

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

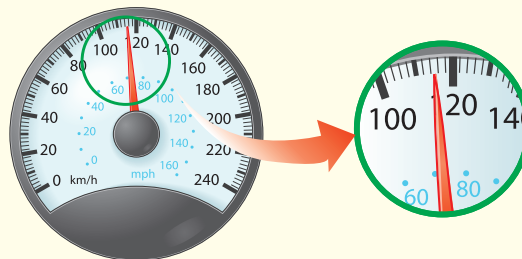
(ب) بزرگ‌ترین شمش طلا با حجم  $10^4 \text{ cm}^3 \times 1/573$  و جرم  $250 \text{ kg}$  توسط یک شرکت ژاپنی ساخته شده است (شکل زیر). چگالی این شمش طلا را به دست آورید.

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



### ۵- اندازه‌گیری و دقت وسیله‌های اندازه‌گیری

۱۵ شکل زیر، صفحه تندی سنج یک خودرو را نشان می‌دهد. دقت این تندی سنج چقدر است؟



۱۶ در بسیاری از کارگاه‌های صنعتی، مانند تراشکاری‌ها، اندازه‌گیری طول با ابزارهای دقیق‌تر از خط‌کش میلی‌متری انجام می‌شود. این ابزارها، کولیس و ریزسنج نام دارند که به دو صورت مدرج و رقمی (دیجیتال) ساخته می‌شوند. در درس آزمایشگاه علوم، با نحوه کار کولیس و ریزسنج مدرج و ثبت

۱- هر مایل در خشکی ۱۶۰۹ متر است.

$$\text{mile} = 1852 \text{ m} \quad v = 25,92 \frac{\text{km}}{\text{h}} \times \frac{10^3 \text{ m}}{\text{km}} \times \frac{\text{mile}}{1852 \text{ m}} \approx 14 \frac{\text{mile}}{\text{h}}$$

جواب ۱۳) ب)

$$\text{ذرع} = 10^4 \text{ cm} \quad \text{فرسنگ} = 7000$$

جواب ۱۴)

$$110 \text{ km} \times \frac{10^3 \text{ m}}{\text{km}} \times \frac{\text{ذرع}}{10^4 \text{ cm}} \times \frac{10^2 \text{ cm}}{10^4 \text{ cm}} \approx 1153847 \text{ ذرع}$$

$$110 \text{ km} \times \frac{10^3 \text{ m}}{\text{km}} \times \frac{\text{ذرع}}{10^4 \text{ cm}} \times \frac{10^2 \text{ cm}}{7000 \text{ فرسنگ}} \approx 19123 \text{ فرسنگ}$$

جواب ۱۵)  $\frac{2 \text{ km}}{\text{h}}$  یا  $10 \text{ mph}$

جواب ۱۶) الف: ایزسج (دقت:  $0.001 \text{ mm}$ ) ب: گولیس (دقت:  $0.01 \text{ mm}$ )

جواب ۱۷) الف) با محاسبه ی چگالی آن با چگالی طلای خالص

$$v = 1,573 \times 10^6 \text{ cm}^3 = 1,573 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \quad m = 250 \text{ kg} \quad \rho = \frac{m}{v} = \frac{250 \text{ kg}}{1,573 \times 10^{-6} \text{ m}^3} = 15893,19 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

ب) مقایسه ی تفاوت دارد که ممکن است به علت وجود ناخالصی در طلای مورد نظر باشد.



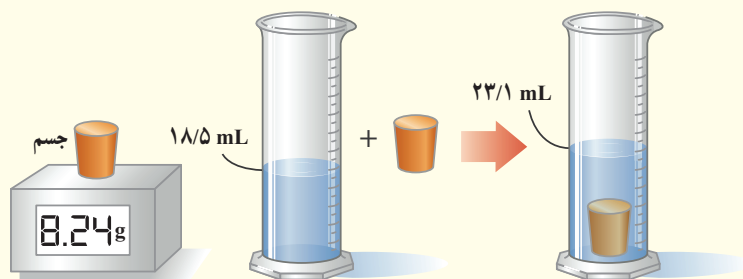


### ابوبکر محمدبن حسین کرجی

ابوبکر محمدبن حسین کرجی از دانشمندان ایرانی قرن چهارم و پنجم هجری است هر چند اطلاع دقیقی از سال تولد و وفات وی در دست نیست.

وی تحصیلات خود را در شهر ری که آن زمان مرکز رفت و آمد دانشمندان اسلامی بود به اتمام رساند و سپس برای آشنایی با دانشمندان دیگر و تحصیلات بیشتر راهی بغداد شد. کرجی در بغداد، در زمان تصرف این شهر به دست آل بویه، به تحصیل مشغول بود؛ در آنجا کتاب «الفخری فی صناعة الجبر و المقابلة» را به نام فخرالملوک وزیر بهاءالدوله تألیف کرد. کرجی در حدود سال ۴۰۳ هجری قمری به زادگاه خود کرج بازگشت و کتاب «انباط المیاء الخفیه» (به معنی استخراج آب‌های نهان زمین) را تألیف کرد. از نوشته‌های کرجی می‌توان به میزان دانش وی درباره ویژگی‌های فیزیکی خاک و کاربرد مهندسی بی برد. به عنوان نمونه، از بهره‌وری خاک رُس برای آب‌بندی و ساختن سدهای خاکی و نیز روش‌های فشرده کردن خاک سخن گفته است. کرجی همچنین در ارائه روش‌ها و ساختن ابزارهای اندازه‌گیری در تاریخ مهندسی جایگاه والایی دارد. او در کنار بررسی ابزارهای اندازه‌گیری درازا (طول)، بلندی (ارتفاع)، زاویه و دستورهای نقشه‌برداری و گزینش راه، قنات، به تشریح اختراع‌های خود که دربرگیرنده ترازو و چند وسیله اندازه‌گیری دیگر است، در این کتاب می‌پردازد.

۱۸ برای تعیین چگالی یک جسم جامد، ابتدا جرم و حجم آن را مطابق شکل زیر پیدا کرده‌ایم. با توجه به داده‌های روی شکل، چگالی جسم را بر حسب  $g/L$  و  $g/cm^3$  حساب کنید.



ترازوی رقمی

۱۹ الف) ستاره‌های کوتوله سفید بسیار چگال هستند و چگالی آنها در SI حدود  $10^9$  میلیون است. اگر شما یک قوطی کبریت از ماده تشکیل‌دهنده این ستاره‌ها در اختیار داشتید، جرم آن چند کیلوگرم می‌شد؟ ابعاد قوطی کبریت را با خط‌کش اندازه‌گیری کنید. ب) اگر جمعیت کره زمین ۷ میلیارد نفر، جرم میانگین هر نفر  $60$  کیلوگرم و ماده تشکیل‌دهنده انسان‌ها از جنس ستاره‌های کوتوله سفید فرض شود (فرضی ناممکن!)، ابعاد یک اتاق چقدر باشد تا همه انسان‌ها در آن جای گیرند؟

$$m = 1,24g \quad V = 1,4mL$$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{1,24g}{1,4mL} \times \frac{mL}{10^{-3}L} = 1,79 \times 10^{-3} \frac{g}{L}$$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{1,24g}{1,4mL} \times \frac{mL}{10^{-3}L} \times \frac{1L}{10^3cm^3} = 1,79 \frac{g}{cm^3}$$

$$\rho = 100 \text{ مليون} = 100 \times 10^6 = 10^8 \frac{kg}{m^3}$$

ابعاد قوس كبريت  $\rightarrow 1cm \times 3cm \times 5cm \rightarrow V = abc = 15cm^3 = 15 \times 10^{-6}m^3$

جواب 19 الفـ

$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow 10^8 = \frac{m}{15 \times 10^{-6}} \rightarrow m = 1500kg$$

حجم  $\times$  تقراء = جرم  $\times$  ميلياردا انسان

$$V \times 10^9 \times 40 = 42 \times 10^8 kg$$

$$\rho = 10^8 \frac{kg}{m^3}$$

$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow 10^8 = \frac{42 \times 10^8}{V} \rightarrow V = 4200m^3$$

بـ

## ویژگی‌های فیزیکی مواد



چرا آب روی گلبگ‌ها و برگ‌های نیلوفر آبی (نیلوفرهایی که در آب رشد می‌کنند) به صورت قطره‌های ریز و درشتی درمی‌آید؟

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. **شماره‌ها (واژه‌ای که برای مایع‌ها و گازها به کار می‌بریم)** 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 **پلازما** ساخته شده است.

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



# جامد مایع گاز پلاسما

## ۱-۲ حالت های ماده



شکل ۱-۲ چهار حالت ماده در این تصویر وجود دارد. یخ (جامد)، آب (مایع)، هوا (گاز) و خورشید (پلاسما)

ماده

سال های قبل در درس علوم دیدید که (به هر چیزی که فضا را اشغال کند (حجم داشته باشد) ماده می گوئیم) مواد از ذره های ریزی به نام اتم یا مولکول ساخته شده اند. اندازه اتم ها حدود یک تا چند انگستروم ( $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$ ) است و اندازه مولکول ها به این بستگی دارد که از چند اتم ساخته شده باشند. اندازه برخی از درشت مولکول ها، مانند بسپارها (پلیمرها)، می تواند تا ۱۰۰۰۰ انگستروم نیز باشد. ذره های سازنده مواد همواره در حرکت اند و به یکدیگر نیرو وارد می کنند. (حالت ماده به چگونگی حرکت این ذره ها و اندازه نیروی بین آنها بستگی دارد.)

جامد، مایع و گاز سه حالت آشنای ماده هستند که در این فصل به بررسی برخی از ویژگی های فیزیکی آنها خواهیم پرداخت. حالت چهارم ماده، پلاسما نامیده می شود که اغلب در دماهای خیلی بالا به وجود می آید. (ماده درون ستارگان و بیشتر فضای بین ستاره ای، آذرخش، شفق های قطبی، آتش و ماده داخل لوله تابان لامپ های مهتابی از پلاسما تشکیل شده است) و خورشید.

### مثال های پلاسما

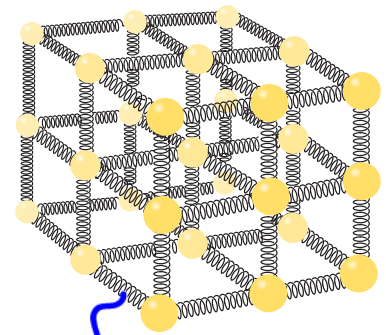
جامد: هزاران سال است که بشر از مواد جامد بهره می گیرد. اصطلاح های عصر حجر، عصر برنز، و عصر آهن اهمیت مواد جامد را در توسعه تمدن های پیشین نشان می دهد. تجربه روزمره نشان می دهد که جسم جامد، حجم و شکل معینی دارد. ذرات جسم جامد به سبب نیروهای الکتریکی که به یکدیگر وارد می کنند در کنار یکدیگر می مانند. این ذرات در مکان های معینی نسبت به یکدیگر قرار دارند و در اطراف این مکان ها، نوسان های بسیار کوچکی دارند.

برای درک بهتر ساختار جسم جامد، معمولاً مدلی مطابق شکل ۲-۲ ارائه می دهند و فرض می کنند که ذرات آن توسط فنرهایی به یکدیگر متصل اند. اگر این ذرات نسبت به وضعیت تعادل، به هم نزدیک تر یا از هم دورتر شوند، نیروی کشسانی بین فنرها آنها را به وضع تعادل برمی گرداند و جسم جامد، شکل و اندازه اولیه اش را حفظ می کند.

### جامد بلورین + مثال

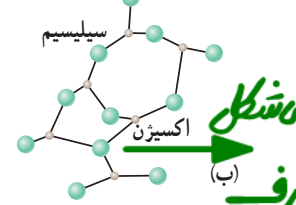
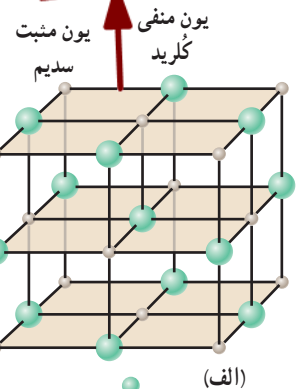
اتم های برخی از جامدها در طرح های منظمی مانند شکل های ۲-۳ الف کنار هم قرار می گیرند. (جامدهایی را که در یک الگوی سه بعدی تکرار شونده از این واحدهای منظم ساخته می شود جامد بلورین می نامیم. فلزها، نمک ها، الماس، یخ و بیشتر مواد معدنی جزو جامدهای بلورین اند.) وقتی مایعی را به آهستگی سرد کنیم اغلب جامدهای بلورین تشکیل می شوند. در این فرایند سردسازی آرام، ذرات سازنده مایع فرصت کافی دارند تا در طرح های منظم خود را مرتب کنند.

(ذرات سازنده جامدهای بی شکل (آمورف) برخلاف جامدهای بلورین، در طرح های منظمی کنار هم قرار ندارند. وقتی مایعی به سرعت سرد شود معمولاً جامد بی شکل به وجود می آید.) در این فرایند سردسازی سریع، ذرات فرصت کافی ندارند تا در طرحی منظم، مرتب شوند. بنابراین در طرح نامنظمی که در حالت مایع داشتند باقی می مانند. شیشه، مثالی از یک جامد بی شکل است (شکل ۲-۳ ب).



شکل ۲-۲ مدلی از ساختار یک جامد که از میلیاردها میلیارد بخش، مانند این تشکیل شده است.

### جامد بلورین



شکل ۲-۳ الف ساختار بلورین NaCl، که در آن یون های سدیم و یون های کلرید به صورت یک در میان در گوشه های یک مکعب قرار گرفته اند. (ب) ذرات سازنده یک جامد بی شکل، مانند شیشه که در طرحی نامنظم در کنار هم قرار گرفته اند.

حالت ماده به نیروی بین اتمی بستگی دارد.

طریقه تشکیل جامد بلورین

طریقه تشکیل جامد های آمورف - بی شکل + مثال

جامدهای بی شکل یا آمورف



از قلم سفت شاه برای استحکام و جاگویری از فرورفتن بیش از حد سطح و شکستن فلز در برابر ضربه و همچنین کاهش سروصدا استفاده می کنند.

فعالیت ۱-۲



قلم زنی یکی از هنرهای صنعتی ایران و با قدمتی چندین هزار ساله است. تحقیق کنید صنعتگران قلم زن، چگونه از شل و سفت شدن قیر کمک می گیرند تا بدون سوراخ شدن فلز، بر روی آن نقش و نگارهای متنوعی ایجاد کنند.

## ویژگی های مایع



شکل ۳- ذرات سازنده جواهر به تدریج در آب پخش می شوند.



شکل ۴- طریقی از حرکت نامنظم و کاتوره ای یک مولکول آب

مایع (مولکول های مایع نظم و تقارن جامدهای بلورین را ندارند و به صورت نامنظم و نزدیک به یکدیگر قرار گرفته اند. مایع به راحتی جاری می شود و به شکل ظرف خودش درمی آید. فاصله ذرات سازنده مایع و جامد تقریباً یکسان و در حدود یک آنگستروم است.) پدیده پخش در مایع ها (اگر مقداری نمک را در یک لیوان آب بریزید، پس از مدتی آب، شور می شود. اگر چند قطره جواهر را به آب درون لیوانی اضافه کنید، به تدریج رنگ آب تغییر می کند (شکل ۲-۴). تجربه های ساده ای مانند این، نشان می دهند که ذرات سازنده نمک و جواهر در آب درون لیوان پخش شده اند. دلیل پخش ذرات نمک و جواهر در آب، به حرکت مولکول های آب مربوط می شود. در واقع به دلیل حرکت های نامنظم و کاتوره ای (تصادفی) مولکول های آب (شکل ۲-۵) و برخورد آنها با ذرات سازنده نمک و جواهر، این گونه مواد در آب پخش می شوند.)

دلیل پخش شدن ذرات نمک و جواهر در آب



# ویژگی های گاز

گاز (گاز، ماده ای است که شکل مشخصی ندارد. اتم ها و مولکول های آن آزادانه و با تندی بسیار زیاد به اطراف حرکت و با یکدیگر و با دیواره های ظرفی که در آن قرار دارند برخورد می کنند). فاصله میانگین مولکول های گاز در مقایسه با اندازه آنها، خیلی بیشتر است. مثلاً اندازه مولکول های هوا بین ۱ تا ۳ آنگستروم است در حالی که فاصله میانگین آنها در شرایط معمولی در حدود  $3.5 \text{ \AA}$  است (شکل ۲-۶).



شکل ۲-۶ حرکت نامنظم ذرات گاز درون یک بادکنک

## فعالیت ۲-۲



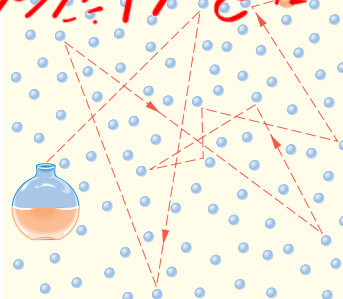
یک سرنگ، مثلاً  $10$  سی سی، اختیار کنید. پیستون آن را بکشید تا هوا وارد سرنگ شود. انگشت خود را محکم روی دهانه خروجی سرنگ قرار دهید و تا جایی که می توانید پیستون را حرکت دهید تا هوای درون سرنگ متراکم شود.

هوای 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 مایع درون آن را متراکم کنید. از این آزمایش ساده چه نتیجه ای در مورد تراکم پذیری گازها و مایع ها می گیرید؟ توضیح دهید.

**چون فاصله ی بین مولکولی در مایع ها کم است مانع از دافعه بین مولکولی اجازه نمی دهد که این فاصله را با وارد کردن فشار کاهش داد. ولی در گازها فاصله ی بین مولکول ها بسیار زیاد است پس مولکول های گاز را می توان تحت فشار به یکدیگر نزدیک و متراکم کرد. در نتیجه می توانیم مایع ها را با تراکم گازها تراکم کنیم.**

الف) وقتی در شیشه عطری را در گوشه ای از اتاق باز می کنید، پس از چند ثانیه ذرات عطر در همه جای اتاق پخش و بوی آن حس می شود. با توجه به شکل روبه رو این پدیده را چگونه توجیه می کنید؟ چرا پدیده پخش در گازها سریع تر از مایع ها رخ می دهد؟

ب) هوای اطراف کره زمین، آمیزه ای از نیتروژن (۷۸ درصد)، اکسیژن (۲۱ درصد)، کربن دی اکسید، بخار آب و مقدار کمی گازهای بی اثر (کریپتون، نئون و هلیوم) است. این مولکول ها به طور کاتوره ای و با تندی زیاد همواره در حرکت اند. برخورد مولکول های هوا به یکدیگر سبب پخش آنها می شود. اهمیت این پدیده را برای حیات روی کره زمین توضیح دهید.



**الف) ذرات عطر در اثر برخورد با مولکول های هوا در جهات مختلف پخش می شوند و پدیده پخش رخ می دهد. پخش در گازها سریع تر است زیرا تندی مولکول های گاز نسبت به مایع بیشتر است.**

**ب) پدیده پخش در جو باعث توزیع اکسیژن و سایر گازها در جو می شود و از تراکم نوعی گاز مانند اکسیژن در یک منطقه و کم شدن آن در مناطق دیگر جلوگیری می کند.**





## ۲-۲ نیروهای بین مولکولی

پیش از این با انجام فعالیت ۲-۲ دیدید که متراکم کردن آب درون سرنگ عملاً امکان پذیر نیست. برای توجیه پدیده‌هایی مشابه این، باید به نیروهای بین مولکولی در یک مایع توجه کنیم. به طور کلی، نیروهای بین مولکول‌های همسان مانند نیروهای بین مولکول‌های آب را نیروی هم‌چسبی می‌نامیم (شکل ۲-۷). وقتی سعی می‌کنیم فاصله بین مولکول‌های مایع را کم کنیم نیروی دافعه بزرگی بین آنها ظاهر می‌شود که از تراکم پذیری مایع جلوگیری می‌کند. همین‌طور وقتی مولکول‌های مایع را کمی از هم دور کنیم، نیروی جاذبه بین آنها ظاهر می‌شود. این جاذبه در قطره آب آویزان از شاخه درخت دیده می‌شود.

نیروی هم‌چسبی →

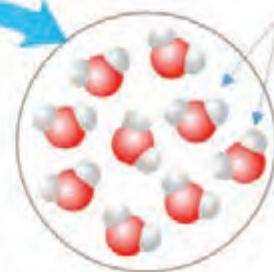
(نیروهای بین مولکولی کوتاه‌برد هستند، یعنی وقتی فاصله بین مولکول‌ها چند برابر فاصله بین مولکولی شود، نیروهای بین مولکولی بسیار کوچک و عملاً صفر خواهند شد.)

نیروهای بین مولکولی کوتاه‌برد هستند. یعنی چه؟





مولکول‌های آب به یکدیگر نیروی جاذبه وارد می‌کنند.



**نیروی هم‌چسبی**

**شکل ۷-۲** قطره‌های شبنمی که روی شاخ و برگ درختان در نور خورشید صبحگاهی می‌درخشند، نشانه‌ای از نیروی جاذبه بین مولکول‌های آب است.

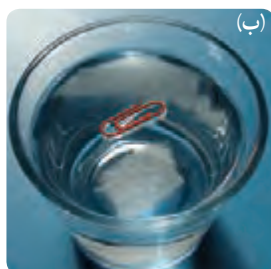
پرسش ۲-۲

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

### مقاله‌های کنش سطحی

**کنش سطحی** (نشستن یا راه رفتن برخی حشره‌ها روی سطح آب (شکل ۸-۲-الف)، شناور ماندن گیره فلزی کاغذی روی سطح آب (شکل ۸-۲-ب) و تشکیل حباب‌های آب و صابون (شکل ۸-۲-پ) تنها نمونه‌هایی از وجود کنش سطحی هستند. **کنش سطحی ناشی از هم‌چسبی مولکول‌های سطح مایع است و آن را می‌توان با نیروهای بین مولکولی توضیح داد.** به دلیل نیروهای ربایشی که مولکول‌های سطح مایع به یکدیگر وارد می‌کنند سطح مایع شبیه یک پوسته تحت کنش رفتار می‌کند و کنش سطحی روی می‌دهد. با کنش سطحی همچنین می‌توان توضیح داد که چرا قطره‌هایی که آزادانه سقوط می‌کنند تقریباً کروی‌اند (شکل ۸-۲-ت). به ازای حجمی معین، کره نسبت به هر شکل هندسی دیگری، کوچک‌ترین مساحت سطح را دارد. به این ترتیب سطح قطره‌ای که آزادانه سقوط می‌کند مانند یک پوسته کشیده شده، تمایل به کمینه کردن مساحتش را دارد.

*نیروی بین مولکولی کوتاه برد است. یعنی فقط در فاصله‌های کوتاه اثرش کنش. با نزدیک شدن دو قطعه شیشه، مولکول‌ها در قسمت شکسته به اندازه کافی به هم نزدیک‌تر می‌شوند و نیروی بین مولکولی شکل منگیزد. اما وقتی دو سطح در اثر گرما نرم‌تر می‌شوند فاصله بین مولکول‌های سطوح دو قطعه خیلی کم می‌شود به طوری که منگیزد هم نیروی جاذبه وارد کنند و بهم بچسبند.*



**شکل ۸-۲** (الف) نشستن حشره روی سطح آب، (ب) قرار گرفتن گیره فلزی روی سطح آب، (پ) تشکیل حباب‌های آب و صابون و (ت) قطره‌های کروی آب در حال سقوط آزاد، جلوه‌هایی از کنش سطحی هستند.



دگر چسبی بین مولکول‌های جامد و مایع < هم چسبی بین مولکول‌های مایع به مایع جامد را تراخیس می‌کند.  
 دگر چسبی بین مولکول‌های جامد و مایع > هم چسبی بین مولکول‌های مایع به مایع جامد را تراخی کند.



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

ب) پس از شناور شدن سوزن یا گیره، سطح آب را به دقت مشاهده کنید و مشاهدات خود را به کلاس گزارش دهید. **روی سطح آب شناور می‌ماند.**

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

**مولکول‌های سطح آب و در نتیجه کاهش سطح را کاهش می‌دهد.**

**ترشوندگی:** دیدیم که نیروی هم چسبی بین مولکول‌های یک ماده سبب بروز پدیده‌های جالبی می‌شود.

**هنگامی که دو ماده مختلف در تماس با یکدیگر قرار گیرند نیز جاذبه مولکولی مشابهی بین مولکول‌های آنها**

**ظاهر می‌شود که به آن نیروی دگر چسبی می‌گوییم.** هم چسبی هر دو نیروهایی بین مولکولی

**هستند. تفاوت آنها در این است که هم چسبی، جاذبه بین مولکول‌های همسان و دگر چسبی جاذبه بین**

**مولکول‌های ناهمسان است.**

**هرگاه مایعی در تماس با جامدی قرار گیرد دو حالت می‌تواند رخ دهد. یکی اینکه دگر چسبی بین**

**مولکول‌های مایع و جامد از هم چسبی بین مولکول‌های مایع بیشتر باشد. در این صورت می‌گوییم**

**مایع، جامد را تراخی می‌کند. مثلاً در شکل ۲-۹ الف می‌بینیم که آب، سطح شیشه‌ی تمیز را خیس**

**کرده و روی آن پهن شده است. اما اگر نیروی هم چسبی بین مولکول‌های مایع از نیروی دگر چسبی بین**

**مولکول‌های مایع و جامد بیشتر باشد می‌گوییم مایع جامد را تر نمی‌کند. در شکل ۲-۹ ب می‌بینیم که**

**سطح شیشه با جیوه خیس نشده و جیوه به شکل قطره روی سطح شیشه باقی مانده است (هرچه قطره**

**بزرگ‌تر باشد نیروی گرانش زمین، آن را تخت‌تر می‌کند.)**

**نیروی دگر چسبی →**

**سست چسب مایع زیرا قطره‌های درشت**

**نشان (دهنده) نیروی هم چسبی**

**بیشتر و در نتیجه قطرات**

**بزرگ‌تر است.**

پرسش ۲-۳

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

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

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

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

نیز استفاده کنیم؟



**آب گرم دمای بالاتری دارد و باعث ضعیف شدن نیروی بین مولکول‌های چسبی می‌شود.**  
**ب) کاهش می‌دهد. زیرا با افزایش دما باعث افزایش انرژی جنبشی مولکول‌ها می‌شود. باز یادشان**  
**انرژی جنبشی، فاصله‌ی مولکول‌ها را زیاد کرده و نیروی بین مولکول‌ها ضعیف می‌شود.**

یک طرف یک تکه شیشه کوچک (با ابعادی حدود ۱۰ cm در ۱۰ cm) را کمی بالاتر از شعله یک شمع بگیرید تا سطح شیشه

به طور کامل دوداندود شود. شیشه را از طرف تمیز آن روی سطحی افقی قرار دهید و سپس روی سطح دوداندود شده آن چند

قطره آب بریزید. آنچه را مشاهده می‌کنید در گروه خود به بحث بگذارید و نتیجه را به کلاس ارائه دهید.

بار دیگر سطح شیشه را به جای دوداندود 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 پرسش شروع فصل بازگردید

و پاسخی قانع کننده ارائه دهید.) **چون نیروی هم چسبی بین مولکول‌های آب از نیروی دگر چسبی مولکول‌های آب و (دوره بیشتر است)،**

**آب دوده را تر نمی‌کند و قطرات آب بر روی دوده به شکل کروی باقی می‌ماند و به صورت قطره‌های کوچک روی شیشه قرار می‌گیرد.**

**چون نیروی هم چسبی بین مولکول‌های آب از نیروی دگر چسبی بین مولکول‌های آب و روغن بیشتر است، آب بر سطح شیشه چرب شده با**

**روغن پخش نمی‌شود و به صورت قطره‌های کوچک روی سطح شیشه قرار می‌گیرد.**



با افزودن مایع ظرفشویی به آب، نیروی دگرچسبی کاهش یافته و کارت با قرار دادن وزنه‌ها به راحتی از سطح آب جدا می‌شود. چون نیروی دگرچسبی بین آب و کارت بیشتر از نیروی هم‌چسبی بین موکول‌های آب است، با افزودن وزنه‌ها در یک سمت کارت، سوی دیگر علاوه بر اینکه از سطح اولیه خود بالاتر می‌آید و سطح آب در تماس با خود را نیز بالا می‌برد. بنابراین کارت از سطح آب جدا نمی‌شود. با افزایش تعداد وزنه‌ها، نیروی دگرچسبی آب و کارت غلبه کرده و کارت از سطح آب جدا می‌گردد.

این فعالیت به شما کمک می‌کند تا درک بهتری از نیروی دگرچسبی به دست آورید. به این منظور از یک لیوان پر از آب، یک کارت بانکی و تعدادی وزنه چند گرمی یا سکه‌های پول استفاده کنید. ابتدا مطابق شکل الف، کارت را طوری روی لبه لیوان قرار دهید که تنها نیمی از آن با آب در تماس باشد. وزنه‌های 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 گرفته‌اید توضیح دهید. یکی دو قطره مایع شوینده به آب اضافه کنید و آزمایش را تکرار کنید. نتیجه مشاهده خود را در گروه خود به بحث بگذارید.



### لوله‌ی موئین

اثر موئینگی (لوله‌هایی که قطر داخلی آنها حدود یک دهم میلی‌متر ( $\sim 0.1 \text{ mm}$ ) باشد، معمولاً لوله موئین نامیده می‌شوند.) واژه موئین به معنی «مُو مانند» است. (آزمایش نشان می‌دهد اگر چند لوله موئین شیشه‌ای و تمیز را وارد یک ظرف آب کنیم، آب در لوله‌های موئین بالا می‌رود و سطح آن بالاتر از سطح آب ظرف قرار می‌گیرد. همچنین هرچه قطر لوله موئین کمتر باشد ارتفاع ستون آب در آن بیشتر است. افزون بر اینها سطح آب در بالای لوله‌های موئین فرورفته است.)

سبب و اثر لوله‌های آب در لوله‌ی موئین

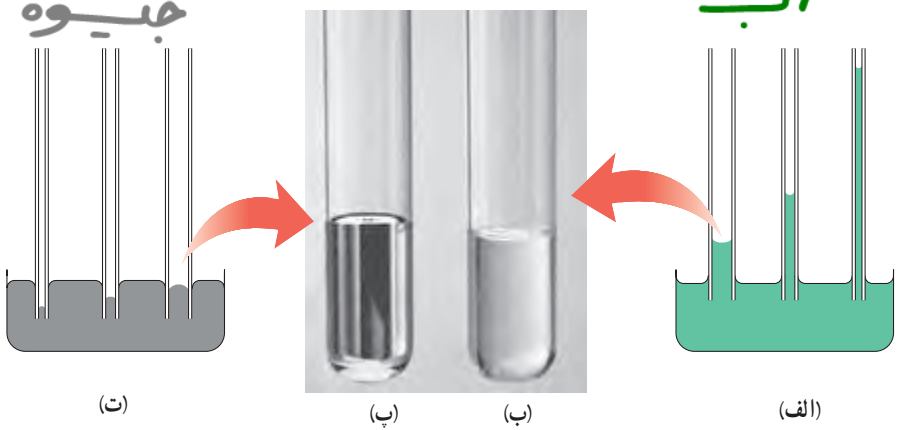
اگر همین آزمایش‌ها را با جیوه انجام دهیم مشاهده می‌کنیم که جیوه در لوله‌های موئین مقداری بالا می‌رود ولی سطح آن پایین‌تر از سطح جیوه ظرف قرار می‌گیرد. همچنین هرچه قطر لوله موئین کمتر باشد ارتفاع ستون جیوه در آن کمتر است. افزون بر اینها سطح جیوه در لوله موئین برآمده است. اثر موئینگی در لوله‌های با قطر داخلی بزرگ‌تر از لوله‌های موئین نیز قابل مشاهده است. شکل‌های ۱-۲ الف و ب، اثر موئینگی را برای آب و شکل‌های ۲-۱ ب و ت اثر موئینگی را برای جیوه، در چنین لوله‌هایی نشان می‌دهد.

سبب و اثر لوله‌های جیوه در لوله‌ی موئین

### جیوه

### آب

شکل ۱-۲ الف) و ب) اثر موئینگی برای آب  
ب) و ت) اثر موئینگی برای جیوه



# چرا آب در لوله‌ی موئین بالا می‌رود؟



برای توجیه فیزیکی تفاوت اثر موئینگی آب و جیوه، باید به نیروهای هم‌چسبی و دگرچسبی توجه کرده و اندازه آنها را با یکدیگر مقایسه کنیم (آب تمایل به چسبیدن به دیواره‌های شیشه‌ای دارد زیرا نیروی دگرچسبی بین مولکول‌های آب و مولکول‌های شیشه بیشتر از نیروی هم‌چسبی بین مولکول‌های آب است. در نتیجه آب سطح شیشه را خیس می‌کند و مانند شکل ۲-۱ الف در لوله بالا می‌رود. در مورد جیوه نیروی دگرچسبی بین مولکول‌های جیوه و مولکول‌های شیشه کمتر از نیروی هم‌چسبی بین خود مولکول‌های جیوه است. در نتیجه جیوه سطح شیشه را خیس نمی‌کند و مانند شکل ۲-۱ ب سطح جیوه در لوله موئین پایین‌تر از سطح جیوه درون ظرف قرار می‌گیرد.)

چرا جیوه در لوله‌ی موئین پایین‌تر از سطح جیوه درون ظرف است؟

## فعالیت ۲-۶

### کاربرد مواد ناتراوا (مانند قیر) چیست؟



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

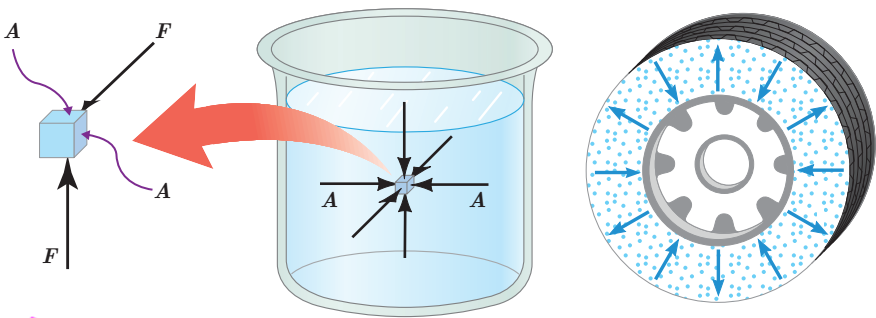
در ساختن دیوارهای ساختمان باید اثر موئینگی در نظر گرفته شود، زیرا تراوش آب از منفذهای موئین در این دیوارها می‌تواند سبب خسارت در داخل ساختمان شود. (برای جلوگیری از این خسارت، دیوارهای داخل یا خارج ساختمان را معمولاً با مواد ناتراوا (مانند قیر) می‌پوشانند.)  
تحقیق کنید در معماری سنتی ایران به جای قیراندود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

از ترکیب خاک رس و آهک گلی سفت می‌ساختند که به آن ساروج گفته می‌شود.

## ۲-۳ فشار در شاره‌ها

وقتی شاره‌ای (مایع یا گاز) ساکن است، به هر سطحی که با آن در تماس باشد، مانند جداره یک ظرف یا سطح جسمی که در شاره غوطه‌ور است، نیرویی عمودی وارد می‌کند (شکل ۲-۱۱). این همان نیرویی است که وقتی درون آب استخری قرار دارید روی پرده گوش احساس می‌کنید. (با وجود اینکه شاره به عنوان یک کل ساکن است، مولکول‌های آن در حال حرکت‌اند؛ نیرویی که توسط شاره به دیواره داخلی ظرف یا به جسم درون شاره وارد می‌شود به دلیل این حرکت‌ها و نیروهای تماسی بین مولکولی است. برای گازهای رقیق، به علت اینکه فاصله متوسط بین مولکول‌ها زیاد است، تقریباً تمام این نیرو ناشی از برخورد مولکول‌های گاز است.)

چرا با وجود ساکن بودن شاره، بر هر جسمی که در آن قرار می‌گیرد نیرو وارد می‌شود؟



شکل ۲-۱۱ الف) برخورد مولکول‌های هوای درون لاستیک به سطح داخلی آن سبب ایجاد نیروی عمودی می‌شود.  
ب) به هر نقطه از سطح جسم غوطه‌ور در شاره (آب) نیرویی عمودی وارد می‌شود.  
ب) برای سادگی تنها نیروهای وارد بر دو سطح نشان داده شده است.

هر سه شکل مربوط به وارد شدن نیروی عمودی به جسم درون شاره



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

$A = \pi r^2$  و  $A = ab$  و  $A = a^2$   
 دایره مستطیل مربع

$P = \frac{F}{A}$  طرفین وسطین  $F = P A$   $N \rightarrow Pa \rightarrow m^2$  (۱-۲)

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

$1 Pa = 1 N / 1 m^2$

مثال ۲-۱



یک زیردریایی تفریحی در اعماق اقیانوسی به آرامی حرکت می‌کند (شکل روبه‌رو). این زیردریایی تعدادی پنجره کوچک دایره‌ای شکل به شعاع  $0.40 m$  دارد. اگر فشار آب در محل هر یک از این پنجره‌ها برابر  $9.0 \times 10^5 Pa$  باشد، بزرگی نیروی عمودی که آب بر سطح خارجی یکی از این پنجره‌ها وارد می‌کند چقدر است؟  
**پاسخ:** مساحت پنجره برابر است با:

$A = \pi r^2 = 3.14 \times (0.40 m)^2 = 0.50 m^2$   
 دایره

به این ترتیب از رابطه (۱-۲) داریم:

$F = PA = (9.0 \times 10^5 Pa) \times (0.50 m^2) = 4.5 \times 10^5 N$

این نیرو تقریباً معادل وزن جسمی به جرم  $4.5 \times 10^4 kg$  است!

محاسبه فشار در شماره‌ها: در علوم سال نهم دیدید فشار هوا در ارتفاع‌های بالا کمتر از فشار

در سطح دریاست، به همین دلیل باید در حین پرواز، فشار هوای کابین هواپیما را برای سلامت سرنشینان تنظیم کنند. وقتی به درون قسمت عمیق استخری شیرجه می‌زنید، با افزایش عمق از سطح آب، افزایش فشار را روی گوش‌های خود احساس می‌کنید. همچنین با انجام آزمایش‌هایی مشابه آزمایش شکل ۲-۱۲ دیدید که با افزایش عمق از سطح شماره، فشار ناشی از شماره نیز افزایش می‌یابد. در ادامه می‌خواهیم یک رابطه کلی برای محاسبه فشار در هر نقطه دلخواه درون یک شماره ساکن به دست آوریم. به این منظور، فرض می‌کنیم شتاب گرانش  $g$  و چگالی شماره، یکنواخت و برابر  $\rho$  باشد.



شکل ۲-۱۳ با باز کردن در بطری، آب از سوراخ‌های ایجاد شده در بطری، با فشار متفاوت خارج می‌شود. سرعت خروج آب از کدام سوراخ بیشتر است؟

در شکل ۲-۱۳ الف، بخشی از شماره به ارتفاع  $h$  نشان داده شده است که بین دو سطح فرضی  $A$  قرار دارد. نیروهای در راستای قائم، که بر این بخش از شماره وارد می‌شود در شکل ۲-۱۳ ب نشان داده شده است. چون شماره در حال تعادل است، نیروها متوازن اند و برآیند آنها صفر است. بنابراین از قانون دوم نیوتون برای نیروهای در راستای قائم داریم:

$F_2 = F_1 + mg$

$P_2 A = P_1 A + mg$

سوراخ‌ها که پایین‌تر است، چون فشار بیشتری دارد، پس آب با سرعت بیشتری خارج می‌شود.



# فشار ناشی از مایع $\rightarrow P = \rho gh$

# فشار یا فشار کل $\rightarrow P = \rho gh + P_0$

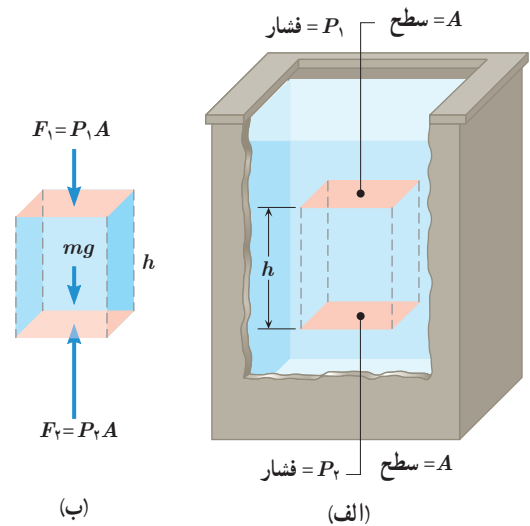
با جایگذاری  $m = \rho V = \rho Ah$  در رابطه اخیر و حذف  $A$  از طرفین تساوی داریم:

$$P_2 = P_1 + \rho gh \quad (2-2)$$

معمولاً رابطه ۲-۲ را بر حسب عمق از سطح شماره بیان می کنند (شکل ۲-۱۴). به این منظور نقطه ۱ را در سطح شماره می گیرند که فشار برابر  $P_0$  است. نقطه ۲ را در هر جایی درون شماره می توان گرفت. فشار در این نقطه را با  $P$  نمایش می دهیم. به این ترتیب داریم:

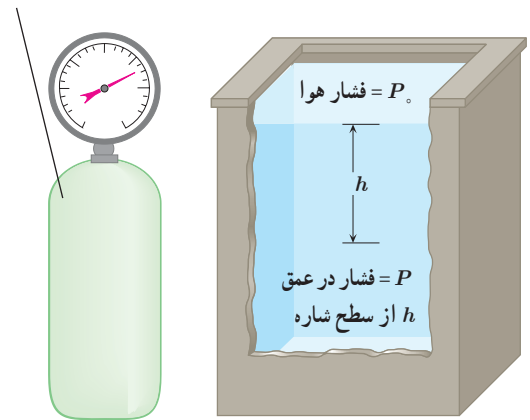
$$P = P_0 + \rho gh \quad (2-3)$$

این رابطه نشان می دهد فشار در عمق  $h$  از سطح شماره، به اندازه  $\rho gh$  از فشار  $P_0$  در سطح شماره بیشتر است. همان طور که خواهیم دید فشار در سطح دریای آزاد، حدود  $10^5 \times 1.3 \times 10^3$  پاسکال (Pa) است و به آن ۱ اتمسفر (atm) نیز می گویند. رابطه های ۲-۲ و ۲-۳ برای همه شماره های ساکن و در حال تعادل کاربرد دارد. یعنی هم برای مایع ها و هم برای گازها می توان از آن استفاده کرد. مثلاً می توان اختلاف فشار آب در عمق های متفاوت یک اقیانوس یا اختلاف فشار هوای بالا و پایین یک ساختمان را با استفاده از این رابطه ها حساب کرد. **با توجه به اینکه چگالی گازها خیلی کم است، در محفظه های کوچک گاز، مانند شکل ۲-۱۵، اختلاف فشار در نقاط مختلف داخل محفظه ناچیز است.**



شکل ۲-۱۳ الف) بخشی از شماره ساکن (ب) نیروهای وارد بر این بخش از شماره در راستای قائم.

فشار گاز در تمام نقاط یک محفظه کوچک را می توان یکسان فرض کرد.



شکل ۲-۱۵

شکل ۲-۱۴

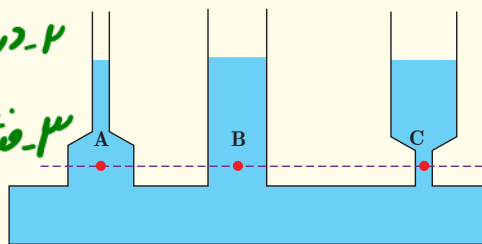
## پرسش ۲-۴

در علوم سال نهم دیدید که فشار در نقاط هم تراز یک مایع ساکن مانند نقاط A، B و C در شکل یکسان است و به شکل ظرف

بستگی ندارد. سازگاری این موضوع را با رابطه ۲-۳ توضیح دهید. ۱- در نقاط هم تراز (هم عمق) فشار ناشی از مایع برابر است.

۲- در سطح مایع، فشار هوا وجود دارد.

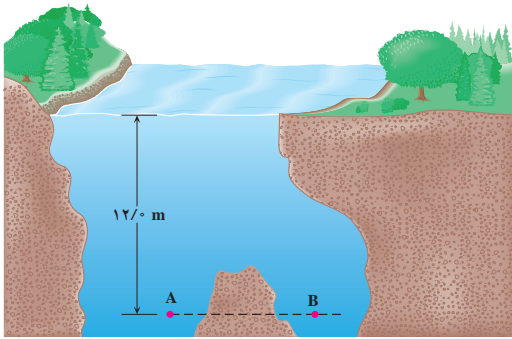
۳- فشار در مایع در شکل ظرف بستگی ندارد.



۱- زیر نویس صفر برای عمق صفر است. معمولاً فشار هوا را در سطح آزاد دریا با زیر نویس صفر نمایش می دهند.



### مثال ۲-۲



نقاط A و B در عمق یکسانی از سطح آب یک دریاچه قرار گرفته اند. فشار در نقطه A چقدر است؟ در نقطه B چطور؟ چگالی آب دریاچه را  $1000 \text{ kg/m}^3$  و فشار هوا در سطح دریاچه را  $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$  در نظر بگیرید.

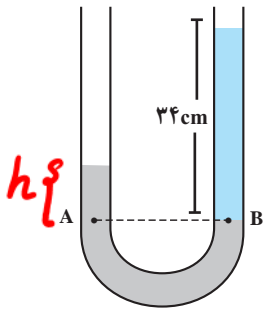
**پاسخ:** با توجه به رابطه ۲-۳، فشار در نقطه A برابر است با:

$$P = P_0 + \rho gh = 1.01 \times 10^5 (\text{Pa}) + (1000 \text{ kg/m}^3)(9.80 \text{ N/kg})(12.0 \text{ m}) = 2.19 \times 10^5 \text{ Pa}$$

چون نقطه A با نقطه B هم تراز است، فشار در این نقطه با فشار در نقطه A برابر است.

### مثال ۳-۲

در یک لوله U شکل، مقداری جیوه قرار دارد. در شاخه سمت راست لوله آن قدر آب می ریزیم تا ارتفاع آب به  $34 \text{ cm}$  برسد (شکل روبه رو). اختلاف ارتفاع جیوه در دو شاخه چند سانتی متر است؟ (مقیاس ها در این شکل واقعی نیست.)



$$P_A = P_B \rightarrow \rho_{\text{جیوه}} gh + P_0 = \rho_{\text{آب}} gh + P_0$$

$$13.6 \times h = 1 \times 34 \rightarrow h = 2.5 \text{ cm}$$

### مثال ۴-۲



اختلاف بین فشار هوای بالا و پایین برج آزادی، با ارتفاع  $45$  متر، چقدر است؟ چگالی هوا را تقریباً  $1.2 \text{ kg/m}^3$  بگیرید.

$$\Delta P = \rho g \Delta h = 1.2 \times 9.8 \times 45 = 529.2 \text{ Pa}$$



$$P = \rho gh + P_0 = 1000 \times 10 \times 5 + 1001000 = 1501000 \text{ Pa}$$

تمرین ۱-۲

شناگری در عمق  $5/0$  متری از سطح آب دریاچه ای شنا می کند. فشار در این عمق چقدر است؟ اگر مساحت پرده گوش را یک سانتی متر مربع ( $1 \text{ cm}^2$ ) فرض کنیم، بزرگی نیرویی که به پرده گوش این شناگر وارد می شود چند نیوتون است؟ فشار هوای محیط را  $1/01 \times 10^5 \text{ Pa}$  بگیرد.

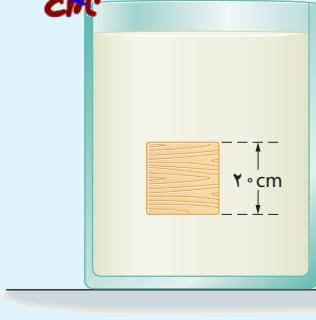
$$P = 1501000 \text{ Pa}$$

$$A = 1 \text{ cm}^2 \times \frac{10^{-4} \text{ m}^2}{\text{cm}^2} = 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$F = PA = 1501000 \times 10^{-4} = 150 \text{ N}$$

تمرین ۲-۲

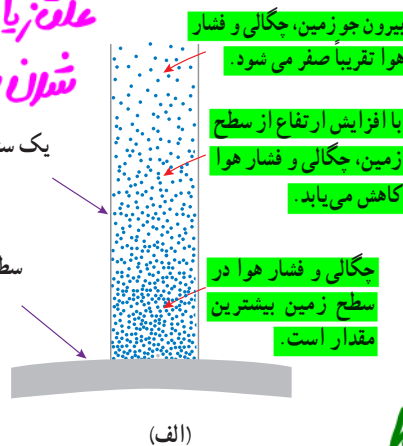
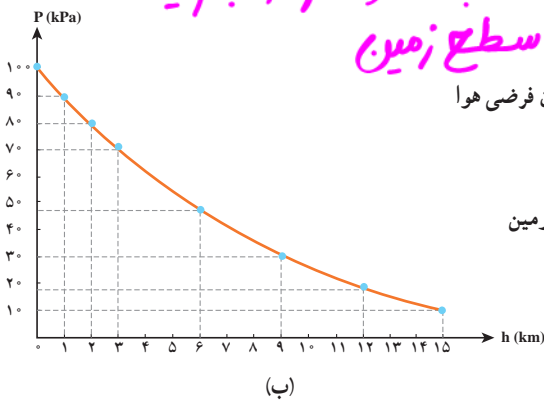
جسم مکعبی به طول ضلع  $2 \text{ cm}$  درون شاره ای غوطه ور و در حال تعادل است (شکل روبه رو). فشار در بالا و زیر جسم به ترتیب برابر  $10^5$  و  $10^6$  کیلو پاسکال است. چگالی شاره چند کیلوگرم بر متر مکعب است؟ (راهنمایی: از رابطه ۲-۲ استفاده کنید.)



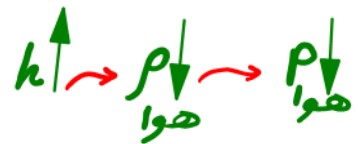
$$\Delta P = \rho g \Delta h \rightarrow 5000 = \rho \times 10 \times 2 \times 10^{-2} \rightarrow \rho = 2500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

برای محاسبه اختلاف فشار بین دو نقطه از هوا که اختلاف ارتفاع قابل توجهی دارند، دیگر نمی توان از رابطه ۲-۲ استفاده کرد. برای مثال، اختلاف فشار قله دماوند و سطح دریا با استفاده از این رابطه، حدود  $74 \text{ kPa}$  به دست می آید در حالی که مقدار واقعی آن نزدیک به  $50 \text{ kPa}$  است! برای یافتن دلیل تفاوت آشکار بین این مقادیر، باید توجه کنیم که با افزایش ارتفاع از سطح زمین، چگالی هوا کاهش می یابد (شکل ۲-۱۶ الف). محاسبه های دقیق تر نشان می دهند که تغییر فشار بر حسب ارتفاع از سطح زمین، مطابق نمودار شکل ۲-۱۶ ب است (نیروی جاذبه زمین سبب می شود که لایه های زیرین هوا نسبت به لایه های بالایی هوا متراکم تر شوند. در نتیجه هرچه به سطح زمین نزدیک تر می شویم، چگالی و فشار هوا بیشتر می شود.)

علاقه زیاد نشان چگالی و فشار هوا با نزدیک شدن به سطح زمین



نقطه: هر چه از سطح زمین دورتر می شویم، چگالی و فشار هوا کمتر می شود.



شکل ۲-۱۷ الف) با افزایش ارتفاع از سطح زمین، چگالی و فشار هوا کاهش می یابد. ب) نمودار فشار هوا بر حسب ارتفاع از سطح دریای آزاد.

توضیحات شکل و نمودار مهم!





$$F = pA = 10^5 \times 1 = 10^5 \text{ N} \quad F = mg$$

$$F = mg \quad 10^5 = m \times 10 \rightarrow m = 10000 \text{ kg}$$

تمرین ۲-۳



در هواشناسی و روی نقشه های آب و هوا، معمولاً از یکای بار (bar) برای فشار هوا استفاده

می کنند. به طوری که داریم:

$$1 \text{ bar} = 1/0000 \times 10^5 \text{ N/m}^2 = 1/0000 \times 10^5 \text{ Pa}$$

یک ستون به سطح مقطع  $1 \text{ m}^2$  در نظر بگیرید که از سطح دریای آزاد تا بالاترین بخش جو زمین ادامه می یابد (شکل روبه رو). اگر فشار هوا را در سطح دریا  $1 \text{ bar}$  در نظر بگیریم، چند کیلوگرم هوا در این ستون فرضی وجود دارد؟ با توجه به شکل ۲-۱۶ ب، چند درصد این جرم

تا ارتفاع ۹ کیلومتری این ستون فرضی قرار دارد؟  $F = pA \rightarrow mg = pA \rightarrow m \times 10 = 10000 \times 1$

$$m = 1000 \text{ kg} \quad \frac{1000}{10000} \times 100 = 10 \text{ درصد}$$

**فشارسنج هوا (بارومتر):** وسیله ای ساده که برای اندازه گیری فشار جو به کار می رود. این

فشارسنج در سال ۱۶۴۳ میلادی توسط تورچلی فیزیک دان ایتالیایی اختراع شد.

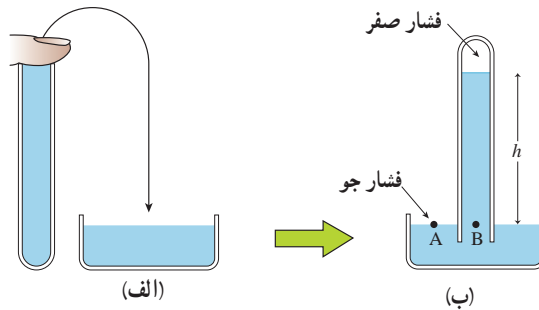
فشارسنج هوا شامل یک لوله شیشه ای بلند (به طول تقریبی  $80 \text{ سانتی متر}$ ) با یک سر بسته است که

از جیوه پر شده (شکل ۲-۱۷ الف) و سپس در یک ظرف محتوی جیوه به طور وارون قرار گرفته است

(شکل ۲-۱۷ ب). فضای خالی بالای ستون جیوه تنها محتوی بخار جیوه است که فشار آن ناچیز

بوده و در عمل برابر صفر فرض می شود.

نکته: بارومتر فشار هوا (جو) را اندازه می گیرد.



شکل ۲-۱۷ فشارسنج جیوه ای که برای

اندازه گیری فشار جو به کار می رود.

فشار در نقطه B برابر  $\rho gh$  و در نقطه A برابر  $P_0$  است. چون نقاط A و B هم ترازند، می توان نوشت:

$$P_A = P_B \Rightarrow P_0 = 0 + \rho gh \Rightarrow P_0 = \rho gh \quad (۲-۴)$$

بنابراین فشارسنج هوا، فشار جو را به طور مستقیم از روی ارتفاع ستون جیوه نشان می دهد

که در سطح دریای آزاد این ارتفاع حدود  $760 \text{ mm}$  است. به همین دلیل در بسیاری موارد فشار

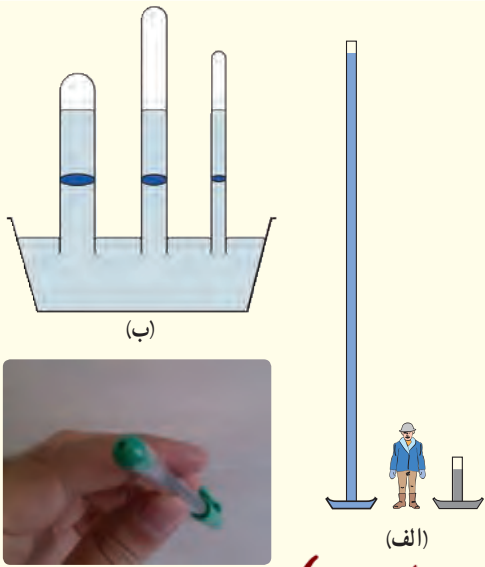
اندازه گیری شده برحسب میلی متر جیوه (mmHg) یا سانتی متر جیوه (cmHg) بیان می شود.

۱- چون جیوه و بخار آن بسیار سمی است و می تواند جذب پوست یا مخاط تنفسی شود، انجام این کار توصیه نمی شود.

۲- به افتخار تورچلی،  $1 \text{ mmHg}$  را یک تور (torr) می نامند.



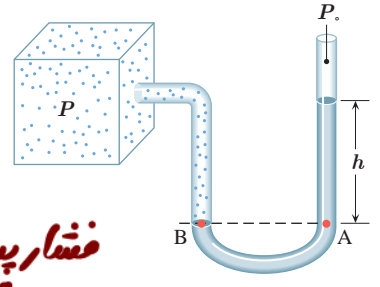
**الف) چون چنانچه جیوه بسیار بیشتر از آب است، ارتفاع ستون جیوه در آزمایش بسیار کمتر از ارتفاع ستون جیوه است.**  
**ب) جالبترین جیوه درون لوله های غیر موئین و مربوط به فشار هوا است و ستون جیوه در هر لوله به قدری بالا می رود که طول ستون جیوه فشاری معادل فشار هوا به وجود آورد.**



الف) توضیح دهید چرا توریجلی در آزمایش خود ترجیح داد به جای آب از جیوه استفاده کند؟ (ممکن است شکل الف بتواند در پاسخ به این پرسش به شما کمک کند.)  
 ب) برای لوله های غیر موئین، اگر سطح مقطع و طول لوله ها متفاوت باشد، ارتفاع ستون جیوه تغییر نمی کند (شکل ب). علت را توضیح دهید.  
 پ) در قلم خودکار، جوهر از طریق یک لوله وارد نوک قلم شده و در آنجا توسط یک گوی فلزی ضد زنگ غلتان، روی ورقه کاغذ پخش می شود. در بدنه لاکه یا درپوش بالایی این نوع قلم های خودکار، سوراخ ریزی ایجاد می کنند (شکل پ). دلیل این کار را

**توضیح دهید. این سوراخ ریزی برای ورود هوا به داخل بدنه لاکه خودکار و وارد کردن فشار به سطح جوهر درون لوله، تعبیه شده است.**

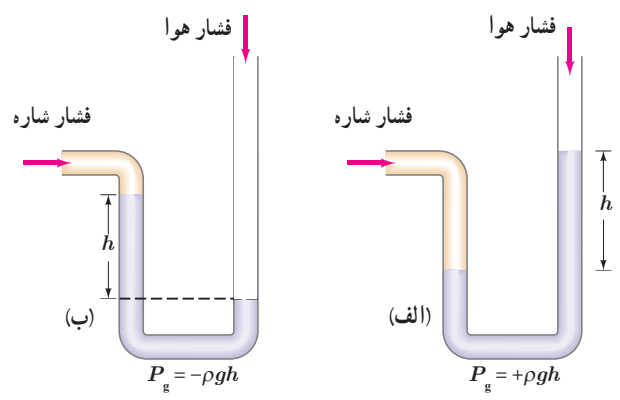
**فشار سنج شماره ها (مانومتر):** یکی از وسیله های ساده برای اندازه گیری فشار یک شماره محصور، فشارسنج U شکل است. شکل ۲-۱۸ لوله باز U شکلی را نشان می دهد که حاوی مایعی به چگالی  $\rho$ ، اغلب جیوه یا آب است. انتهای راست لوله، باز و با فشار جو  $P_0$  در ارتباط است. انتهای چپ لوله، به ظرفی که فشار  $P$  آن باید اندازه گیری شود وصل شده است. فشار در نقطه A برابر  $P_0 + \rho gh$  است. فشار در نقطه B برابر  $P$  است. چون نقاط A و B هم ترازند، فشار آنها با یکدیگر برابر است. به این ترتیب داریم:

$$P_A = P_B \Rightarrow P = P_0 + \rho gh \Rightarrow P - P_0 = \rho gh$$


**فشار پیمانه ای**

در رابطه اخیر فشار  $P$  را فشار مطلق ( $P - P_0$  که تفاوت بین فشار مطلق و فشار جو است را فشار پیمانه ای می نامند و معمولاً آن را با نماد  $P_g$  نشان می دهند). بدین ترتیب در شکل ۲-۱۸ فشار پیمانه ای را به سادگی می توان از رابطه  $P_g = \rho gh$  به دست آورد. اگر فشار شماره بیشتر از فشار جو باشد، فشار پیمانه ای مثبت است (شکل ۲-۱۹ الف). در خلأ نسبی و شماره ای که فشار آن کمتر از فشار جو است، فشار پیمانه ای منفی است (شکل ۲-۱۹ ب).

شکل ۲-۱۸ فشارسنج با لوله باز که برای اندازه گیری فشار یک شماره محصور استفاده می شود.



شکل ۲-۱۹ الف) فشار شماره بیشتر از فشار جو است. ب) فشار شماره کمتر از فشار جو است.

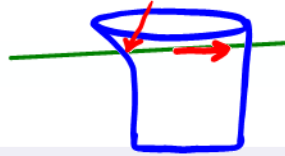
۱- نمایه g از سر حرف واژه gauge به معنای پیمانه (سنجه) گرفته شده است.



# در شکل مقابل اگر دو سوراخ را در دو نقطه مورد نظر ایجاد کنیم، باز هم آب از این دو نقطه بیرون خواهد ریخت که دلیل آن وجود فشار آب در آن دو نقطه است.

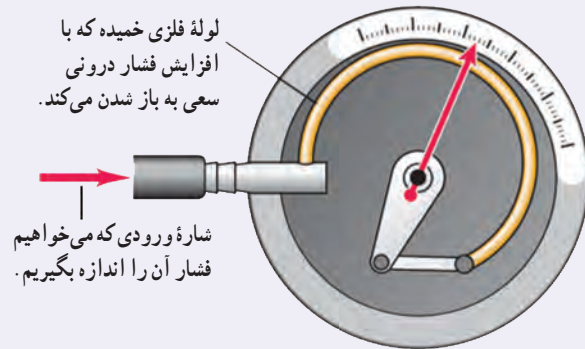
آزمایشی طراحی و سپس اجرا کنید که به کمک آن بتوان نشان داد فشار در یک عمق معین از مایع به جهت گیری سطحی که

فشار به آن وارد می شود بستگی ندارد.



## فناوری و کاربرد

**فشارسنج بوردون** (بسیاری از فشارسنج‌ها برای اندازه گیری فشار یک شاره، از یک لوله خمیده یک سر بسته و قابل انعطاف استفاده می کنند (شکل روبه رو). انتهای این لوله به عقربه ای متصل است که فشار را روی صفحه ای مدرج نشان می دهد. تغییر فشار پیمانه ای شاره درون لوله سبب تغییر شکل لوله و در نتیجه حرکت عقربه روی صفحه مدرج می شود. این فشارسنج‌ها که به فشارسنج بوردون شناخته می شوند معمولاً برای اندازه گیری فشار در مخزن های گاز و همچنین اندازه گیری فشار باد لاستیک وسیله های نقلیه به کار می روند.)



لوله فلزی خمیده که با افزایش فشار درونی سعی به باز شدن می کند.

شاره ورودی که می خواهیم فشار آن را اندازه بگیریم.

فشار یک اتمسفر

## مثال ۲-۵

یکی دیگر از یكاهای متداول فشار، اتمسفر یا جو است که با نماد atm نمایش داده می شود. (فشار یک اتمسفر، به صورت فشار معادل ستونی از جیوه به ارتفاع ۷۶۰/۰ mm تعریف می شود) (در دمای °C و به ازای  $g = ۹/۸ N/kg$ ). هر اتمسفر، معادل چند پاسکال است؟ چگالی جیوه را برابر  $۱۳۶۰۰ kg/m^3$  بگیرد.

**پاسخ:** رابطه ۲-۴، فشار جو را بر حسب ارتفاع ستون جیوه به ما می دهد. با جایگذاری مقادیر داده شده در این رابطه داریم:

$$P_0 = \rho gh = (۱۳۶۰۰ kg/m^3)(۹/۸ N/kg)(۰/۷۶m) = ۱۰۱۲۹۳ Pa \approx ۱/۰ \times ۱۰^5 Pa$$

همان طور که دیده می شود ۱ atm تنها اندکی از ۱ bar بیشتر است.

## مثال ۲-۶

عمیق ترین قسمت خلیج فارس با عمقی حدود ۹۳ متر در نزدیکی جزیره تنب بزرگ قرار دارد. فشار پیمانه ای در این عمق چند پاسکال است؟ چگالی آب خلیج فارس را  $۱۰۲۸ kg/m^3$  بگیرد.

**پاسخ:** همان طور که دیدیم، فشار پیمانه ای برابر اختلاف فشار درون شاره با فشار جو است. به این ترتیب داریم:

$$P - P_0 = \rho gh = (۱۰۲۸ kg/m^3)(۹/۸ N/kg)(۹۳m) = ۹۳۶۹۱۹ Pa \approx ۹/۴ \times ۱۰^5 Pa$$

۱- Bourdon gauge

۲- در اغلب این فشارسنج‌ها از یکای psi برای نشان دادن فشار استفاده می کنند به طوری که  $۱ psi \approx ۶۹۰۰ Pa$  است. (psi به معنای پوند - نیرو بر اینچ مربع pound-force per square inch است.)

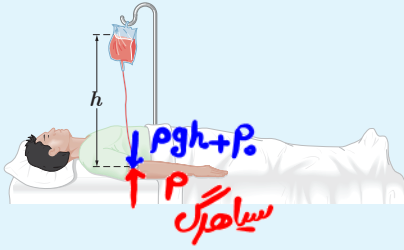
(است.)



$$P = \rho gh + P_0 \rightarrow P - P_0 = \rho gh \rightarrow 133 = 1045 \times 10 \times h$$

$$h \approx 13 \text{ cm}$$

تمرین ۲-۴



شکل روبه‌رو یک کیسه پلاستیکی حاوی محلولی را نشان می‌دهد که در حال تزریق به یک بیمار است. سوزن سرنگی را به قسمت خالی از مایع بالای این کیسه وارد می‌کنند طوری که فشار هوا در این بخش از کیسه همواره با فشار هوای بیرون برابر بماند. اگر فشار پیمانده‌ای در سیاهرگ  $133^\circ$  پاسکال باشد، ارتفاع کمینه  $h$  چقدر باشد تا محلول در سیاهرگ نفوذ کند؟ چگالی محلول را  $1045 \text{ kg/m}^3$  بگیرید.

شناوری  $\rightarrow$  جسم  $\rho > \rho_{\text{مایع}}$

نه‌تشنینی  $\rightarrow$  جسم  $\rho < \rho_{\text{مایع}}$

غوطه‌وری  $\rightarrow$  جسم  $\rho = \rho_{\text{مایع}}$

۴-۲ شناوری

ممکن است بارها تجربه کرده باشید که وقتی تویی را وارد آب می‌کنید، پس از حذف نیروی دست، توپ به طرف بالا جهیده و روی آب شناور می‌شود (شکل ۲-۲۰ الف). همچنین شناور ماندن کشتی‌های فولادی روی آب، پدیده‌ای آشناست با وجود آنکه می‌دانیم چگالی فولاد حدود ۸ برابر چگالی آب است (شکل ۲-۲۰ ب). افزون بر اینها، جابه‌جا کردن یک جسم سنگین غوطه‌ور داخل آب، خیلی آسان‌تر از انجام همین کار در خارج آب است (شکل ۲-۲۰ پ). همان‌طور که در

کاربردهای شناوری

کتاب علوم سال هفتم دیدید وقتی چگالی جسمی بیشتر از چگالی آب باشد در آب فرو می رود و ته نشین می شود، درحالی که اگر چگالی جسم کمتر از چگالی آب باشد روی آب شناور می ماند. همچنین در حالتی که چگالی جسم و آب یکسان باشد جسم در آب به صورت غوطه ور در می آید. پیش از پرداختن به دلیل این پدیده ها، فعالیت زیر را انجام دهید.

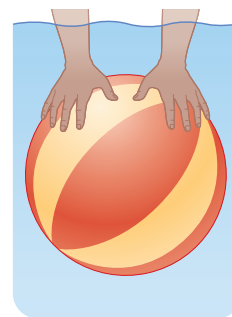
### مربوط به نیروی شناوری



(ب)



(ب)

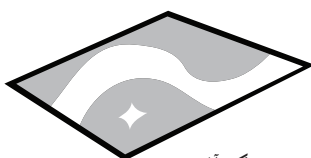


(الف)

شکل ۲-۲۰ الف) وارد کردن توپ داخل آب، ب) کشتیرانی در دریای خزر (بندر امیرآباد)، پ) جابه جا کردن یک غواص غوطه ور با یک دست

## پوش برگ (فویل) آلومینیومی مجاله شده روی سطح آب شناور می ماند، زیرا چگالی آن از آب کمتر است.

فعالیت ۲-۸



پوش برگ آلومینیومی



پوش برگ آلومینیومی مجاله شده

درون یک ظرف مقداری آب بریزید. یک پوش برگ (فویل) آلومینیومی به ابعاد تقریبی  $20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$  اختیار کنید و آن را مجاله کنید. پیش بینی کنید با قرار دادن پوش برگ مجاله شده روی سطح آب، چه اتفاقی می افتد؟ آزمایش را انجام دهید. پوش برگ دیگری با همان ابعاد اختیار کنید و به جای مجاله کردن، آن را چندین بار (دست کم ۵بار) روی هم تا کنید. اگر این پوش برگ چند لایه را، روی سطح آب قرار دهید، پیش بینی کنید چه اتفاقی می افتد؟ آزمایش را انجام دهید. پیش بینی ها و نتایج مشاهده (آزمایش) خود را در گروهتان به بحث بگذارید و نتیجه را به کلاس ارائه دهید.

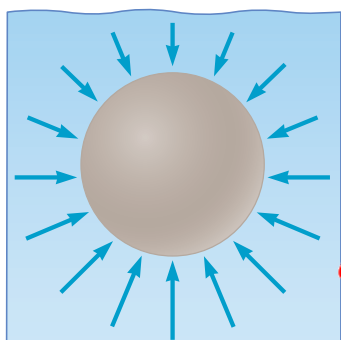
## اگر آن را تا کنیم در آب فرو می رود و در نتیجه می گیریم شناور شدن یا فرو رفتن جسم در یک مایع به چگالی جسم وابسته است.

ارشمیدس دانشمند یونانی دوران باستان، نخستین کسی بود که بی برد به جسم های درون

یک شماره یا غوطه ور در آن، همواره نیروی بالاسوی خالصی به نام نیروی شناوری از طرف

شماره وارد می شود. دلیل این نیرو برای جسمی غوطه ور درون شماره به طور کیفی در شکل

۲-۲۱ نشان داده شده است.

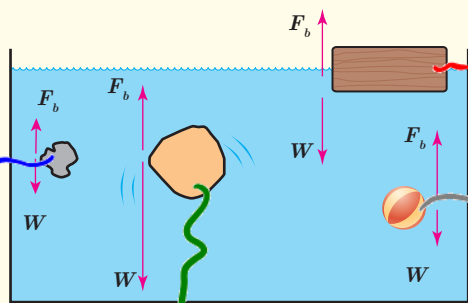


شکل ۲-۲۱ بیکان ها نشان می دهند که نیروهای

ناشی از فشار وارده بر جسم، به دلیل افزایش

عمق، در زیر آن بزرگ ترند.

دلیل نیروی شناوری: فشار ناشی از مایع در قسمت های پایین بیشتر است، بنابراین نیروهایی که از طرف شماره به قسمت های پایین جسم وارد می شود، بیشتر از نیروهایی است که از طرف شماره به قسمت های بالای جسم وارد می شود.



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

بالارفتن

ته نشینی

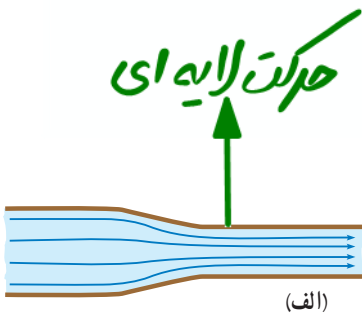
غوطه‌وری



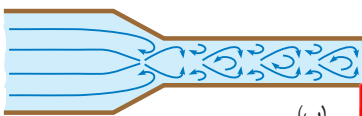
# لایه‌ای: نقش لایه جریان شماره با گذر زمان تغییر نمی‌کند.

## انواع حرکت شماره

تلاطمی و آشوبناک: نقش لایه جریان شماره و مسیر حرکت ذرات آن، بطور مداوم تغییر می‌کند.



(الف)



(ب)

شکل ۲-۲۲ الف) حرکت لایه‌ای شماره. نقش

کلی جریان شماره، با گذر زمان تغییر نمی‌کند.

(ب) حرکت تلاطمی شماره. نقش کلی جریان

شماره و مسیر حرکت ذرات آن، به طور مداوم

تغییر می‌کند.

### ۵-۲ شماره در حرکت و اصل برنولی

تا اینجا به بررسی برخی از ویژگی‌های فیزیکی شماره‌های ساکن پرداختیم. اکنون آماده‌ایم تا یک شماره در حال حرکت را بررسی کنیم. وقتی شماره‌ای حرکت می‌کند، این حرکت می‌تواند یکنواخت و لایه‌ای (شکل ۲-۲۲ الف) یا تلاطمی و آشوبناک (شکل ۲-۲۲ ب) باشد. درست مانند هوا، که گاهی به صورت نسیمی ملایم و گاهی به صورت طوفانی پرنرزی می‌وزد. هنگام حرکت آب در شیلنگ، جریان تند و سریع آب در یک رودخانه (شکل ۲-۲۳ الف)، حرکت خون درون رگ‌ها، حرکت هوا درون سامانه‌های گرمایش و سرمایش، جریان دود در هوا (شکل ۲-۲۳ ب) پدیده‌های جالبی رخ می‌دهد. بررسی این پدیده‌ها اغلب می‌تواند بسیار پیچیده باشد. برای پرهیز از این پیچیدگی‌ها، مدل آرمانی و ساده‌شده‌ای از یک شماره در حال حرکت و بدون تلاطم را بررسی می‌کنیم، در شماره بدون تلاطم، حرکت شماره پایاست (یعنی سرعت در هر نقطه از شماره با گذشت زمان ثابت است). افزون بر این فرض می‌کنیم شماره تراکم‌ناپذیر است (یعنی، چگالی آن ثابت است) و اصطکاک داخلی (گران‌روی) ندارد.

## حرکت تلاطمی و آشوبناک



(ب)



(الف)

شکل ۲-۲۳ الف) پل زمان خان (شهر سامان، استان چهارمحال و بختیاری) هنگام عبور آب از مجاری زیر پل.

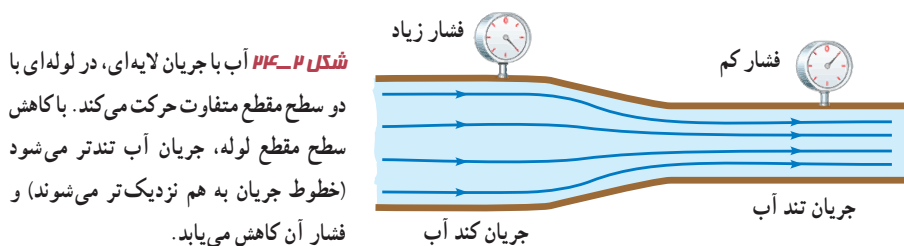
جریان آب در برخی نواحی آشوبناک می‌شود.

(ب) جریان لایه‌ای و تلاطم دود. جریان دود از سرچوب عود، در ابتدا لایه‌ای است و سپس در بالا متلاطم می‌شود.

۱- معمولاً از واژه گران‌روی (ویسکوزیته) برای اشاره به اصطکاک داخلی در شماره‌ها استفاده می‌شود. همچنین در بررسی‌های دقیق‌تر، غیرچرخشی بودن شارش نیز در نظر گرفته می‌شود.

# اصل برنولی بزرگ: $\rho$ و $v$ دشمن هستند.

شکل ۲-۲۴ جریان لایه‌ای آب را، درون لوله‌ای افقی و با دو سطح مقطع متفاوت نشان می‌دهد. در حالتی که همه جای لوله پر از آب است، مقدار آبی که در یک مدت زمان معین از یک مقطع لوله می‌گذرد با مقداری که از هر مقطع دیگر لوله در همان مدت زمان می‌گذرد برابر است. در نتیجه با توجه به تغییر اندازه سطح مقطع لوله، جریان آب کند یا تند می‌شود.



دانیل برنولی، فیزیک‌دان و ریاضی‌دان سوئیسی، متوجه شد که در جاهایی از لوله که جریان آب تندتر است، فشار کمتر است. برنولی همچنین متوجه شد که این اصل نه تنها برای مایع‌ها، بلکه برای گازها نیز برقرار است. **اصل برنولی** برای شماره‌ای که به طور لایه‌ای و در امتداد افق حرکت می‌کند به صورت زیر بیان می‌شود:

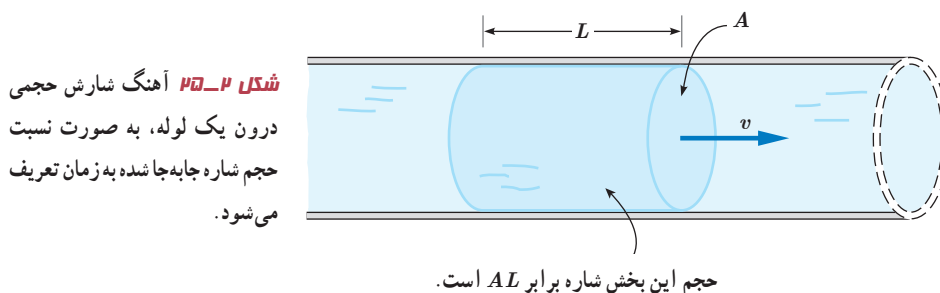
## اصل برنولی

در مسیر حرکت شماره، با افزایش تندی شماره، فشار آن کاهش می‌یابد.



دانیل برنولی (۱۷۸۲-۱۷۰۰م) یکی از فیزیک‌دانان و ریاضی‌دانان نامدار سوئیسی است. پدر و برخی دیگر از اعضای فامیل وی، چهره‌های سرشناسی در دانش ریاضیات زمان خود بودند. هرچند برنولی در ریاضیات، پزشکی و آمار تلاش‌هایی داشته است اما دلیل اصلی شهرت وی، اصلی موسوم به اصل برنولی است که در اثر معروفش به نام هیدرودینامیکا به آن پرداخته است. این اصل امکان درک گسترده‌تری از پدیده‌های مختلف را تا کنون در اختیار بشر قرار داده است.

**آهنگ شارش حجمی شماره:** شکل ۲-۲۵ جریان یکنواخت شماره‌ای را نشان می‌دهد که با تندی  $v$  درون لوله‌ای با سطح مقطع  $A$  در حرکت است.



شکل ۲-۲۵ آهنگ شارش حجمی درون یک لوله، به صورت نسبت حجم شماره جابه‌جا شده به زمان تعریف می‌شود.

برای شماره تراکم‌ناپذیر، اگر در بازه زمانی  $\Delta t$ ، حجم معینی از شماره  $(\Delta V = AL)$  از مقطع  $A$  این لوله عبور کند، **آهنگ شارش حجمی شماره** از این مقطع فرضی، از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$(۵-۲) \quad \text{آهنگ شارش حجمی شماره} = \frac{\text{حجم شماره}}{\text{زمان}} = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{AL}{\Delta t} = Av$$

مساحت  $m^2$ ، حجم  $m^3$

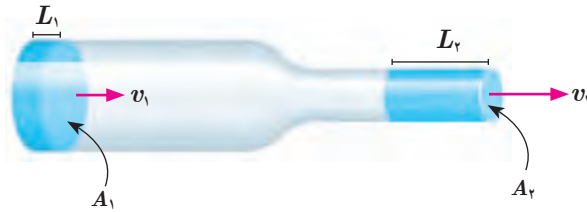
$$\text{تندی } \left(\frac{m}{s}\right) \rightarrow Av = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \text{آهنگ شارش حجمی شماره } \left(\frac{m^3}{s}\right)$$

↑  
مساحت  $(m^2)$   
↑  
حجم  $(m^3)$   
↑  
تندی  $(\frac{m}{s})$   
↑  
زمان  $(s)$





توجه کنید که نسبت مسافت به زمان ( $L/\Delta t$ ) در حرکت یکنواخت شاره، برابر تندی شماره ( $v$ ) است.  
**معادله پیوستگی:** شکل ۲-۲۶ شماره‌ای با جریان لایه‌ای را نشان می‌دهد که در لوله‌ای با دو سطح مقطع متفاوت، در حرکت است. در حالت پایا و در مدت زمان یکسان، جرم یکسانی از شاره، از هر سطح مقطع دلخواه لوله می‌گذرد.



**شکل ۲-۲۷** در حالت پایا، جرم شماره‌ای که در بازه زمانی  $\Delta t$  از سطح مقطع  $A_1$  می‌گذرد درست برابر جرم شماره‌ای است که در همین بازه زمانی از سطح مقطع  $A_2$  می‌گذرد.

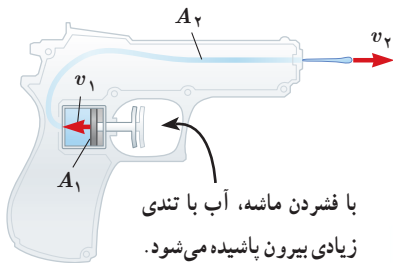
از این موضوع، به سادگی می‌توان به **معادله پیوستگی** برای شماره تراکم‌ناپذیر دست یافت که به صورت زیر بیان می‌شود:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad \text{مسافت یا سطح مقطع} \quad (۲-۶)$$

$$d_1^2 v_1 = d_2^2 v_2 \quad \text{قطر}$$

$$r_1^2 v_1 = r_2^2 v_2 \quad \text{شعاع}$$

### مثال ۲-۷



با فشردن ماشه، آب با تندی زیادی بیرون پاشیده می‌شود.

شکل روبه‌رو یک تفنگ آب‌پاش را نشان می‌دهد که با فشردن ماشه آن، آب با تندی زیادی بیرون می‌آید.  
 اگر  $A_1 = 2.0 \text{ cm}^2$ ،  $A_2 = 0.10 \text{ mm}^2$  و  $v_1 = 0.30 \text{ cm/s}$  باشد تندی خروج آب را به دست آورید.

$$\begin{cases} A_1 = 2 \text{ cm}^2 \\ v_1 = 0.3 \frac{\text{cm}}{\text{s}} \end{cases}$$

$$\begin{cases} A_2 = 0.1 \text{ mm}^2 = 10^{-3} \text{ cm}^2 \\ v_2 = ? \end{cases}$$

$$\begin{aligned} A_1 v_1 &= A_2 v_2 \\ 2 \times 0.3 &= 10^{-3} v_2 \\ v_2 &= 400 \frac{\text{cm}}{\text{s}} = 4 \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{aligned}$$

### پوشش ۲-۷



سطح مقطع بیشتر

سطح مقطع کمتر

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

**هرچه آب خروجی از شیر با نزدیک‌تر شدن به زمین می‌شود، باریک‌تر می‌شود.**

**افزایش سرعت می‌یابد. بنابراین با توجه به معادله پیوستگی باید سطح مقطع آن نیز کاهش یابد.**



# کاربردهای اصل برنولی

کاربردهایی از اصل برنولی: از بررسی نیروی بالا بر وارده به بال‌های هواپیما گرفته تا بررسی حرکت کات‌دار توپ فوتبال و افشانه‌ی عطر، از اصل برنولی استفاده می‌شود. شکل ۲-۲۷ آزمایش ساده‌ای را نشان می‌دهد که در علوم ششم با آن آشنا شدید. وقتی یک ورق کاغذ را جلو دهانتان 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.



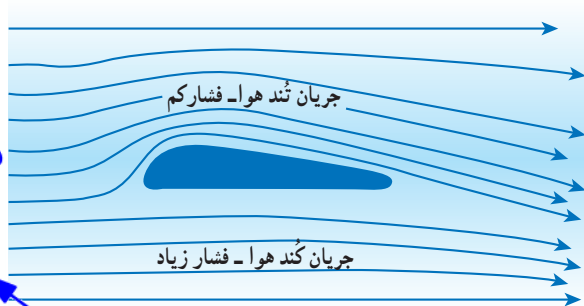
چرا وقتی یک ورق کاغذ را جلوی دهانتان می‌گیرید و در سطح بالای آن می‌دمید، کاغذ به طرف بالا حرکت می‌کند؟

شکل ۲-۲۷: تندی جریان هوا در بالای کاغذ بیشتر از زیر آن است. با توجه به اصل برنولی، فشار هوا در بالای کاغذ کمتر از زیر آن است.

شکل ۲-۲۸ 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 روبه بالا به بال وارد می‌شود.

چگونه نیروی روبه بالا به بال هواپیما وارد می‌شود؟

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



## پرسش ۲-۸

پوشش برزنتی صاف و تخت است.

کامیون در حال توقف



پوشش برزنتی پُف کرده است.

کامیون در حال حرکت



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

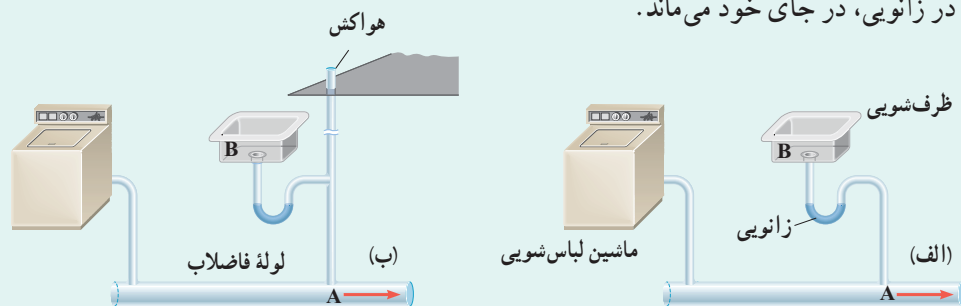
ب) شکل روبه‌رو کامیونی را در دو وضعیت سکون و در حال حرکت نشان می‌دهد. با استفاده از اصل برنولی توضیح دهید چرا وقتی کامیون در حال حرکت است پوشش برزنتی آن پُف می‌کند.

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



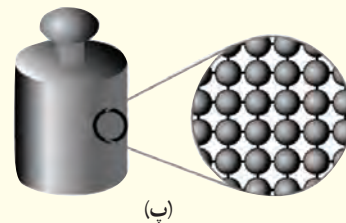
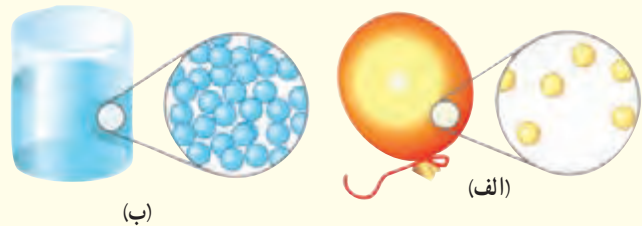
یک مثال عملی از کاربرد اصل برنولی در لوله کشی ساختمان، در شکل زیر نشان داده شده است. ابتدا فرض کنید لوله هواکش در نظر گرفته نشده باشد (شکل الف). جمع شدن آب در زانویی زیر ظرف شویی، مشابه یک درپوش عمل می‌کند. این درپوش، مانع از آن می‌شود که گاز تولید شده در لوله فاضلاب، از خروجی چاهک ظرف شویی بالا آمده و وارد آشپزخانه شود. اما وقتی ماشین لباس شویی آب حاصل از شست و شو را به درون لوله فاضلاب تخلیه می‌کند، طبق اصل برنولی فشار در این لوله (نقطه A) به کمتر از فشار هوا کاهش می‌یابد. از آنجا که فشار در خروجی چاهک ظرف شویی (نقطه B) برابر فشار هواست، این اختلاف فشار، آب جمع شده در زانویی را که مشابه یک درپوش عمل می‌کند، خالی کرده و به درون لوله فاضلاب می‌ریزد. به این ترتیب، مانع ورود گاز فاضلاب به آشپزخانه برداشته شده و این گاز با بوی نامطبوع وارد فضای آشپزخانه می‌شود.

با اضافه کردن لوله هواکش، که با هوای بیرون ساختمان مرتبط است، این مشکل رفع می‌شود (شکل ب). زیرا وقتی آب ماشین لباس شویی در لوله فاضلاب تخلیه می‌شود، کاهش فشار در لوله سبب می‌شود تا هوا از طریق هواکش وارد شود. این هوای ورودی، فشار در لوله هواکش و در طرف سمت راست لوله تخلیه ظرف شویی را نزدیک به فشار جو نگه می‌دارد، به طوری که آب جمع شده در زانویی، در جای خود می‌ماند.



۲-۱ حالت‌های ماده

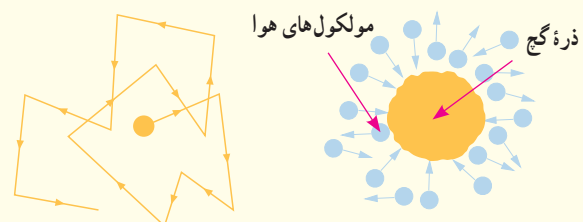
۱ دریافت خود را از شکل‌های زیر بر اساس مفاهیمی که از سه حالت معمول ماده فراگرفته‌اید بیان کنید.



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



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



الف) چه عاملی باعث حرکت نامنظم ذره‌های گچ می‌شود؟  
ب) مولکول‌های هوا بسیار کوچک‌تر و وسبک‌تر از ذره‌های گچ هستند و توسط میکروسکوپ هم دیده نمی‌شوند. توضیح دهید چگونه این تجربه ساده، شهادتی بر وجود مولکول‌های هواست.

۴ توضیح دهید چرا

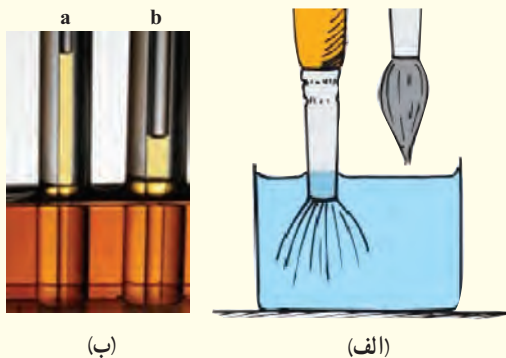
الف) پدیده پخش در گازها، سریع‌تر از مایع‌ها انجام می‌شود. در توضیح خود به چند مثال نیز اشاره کنید.  
ب) یک بادکنک پر از باد، حتی اگر دهانه آن نیز کاملاً بسته شده باشد، باز هم رفته‌رفته کم باد می‌شود.

۲-۲ نیروهای بین مولکولی

۵ شیشه گران برای چسباندن تکه‌های شیشه به یکدیگر، آنها را آن قدر گرم می‌کنند که نرم شوند. این کار را با توجه به کوتاه‌برد بودن نیروی جاذبه بین مولکولی توضیح دهید.

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

ب) شکل (ب) دو لوله موئین هم‌جنس را نشان می‌دهد که درون مایعی قرار دارند. چرا ارتفاع مایع درون لوله b از لوله دیگر کمتر است؟ با توجه به شکل، نیروی هم‌چسبی مایع را با نیروی دگرچسبی مایع و لوله‌های موئین مقایسه کنید.



۷ تغییرات اقلیمی سال‌های اخیر در کشورهای غرب ایران، پدیده خطرناک ریزگردها را به مناطق وسیعی از کشورمان گسترش داده است. چگالی ریزگردها در حالتی که ته‌نشین شده باشد تقریباً دو برابر چگالی آب است.

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

الف: در گازها فاصله‌ی بین مولکول‌ها زیاد است، در مایعات فاصله‌ی بین مولکول‌ها کم

پ. در جامدات فاصله‌ی بین مولکول‌ها کم

جواب ۲: برندی دوچرخه باید استحکام کافی داشته باشد و در اثر ضرب و نیروهای که به آن وارد می‌شود تغییر شکل پیدا نکند. بنابراین برندی آن را از یک جامد محکم و ترجیحاً سبک می‌سازند. برای کاهش اصطناک بین قسمت‌های فلزی که روی هم حرکت می‌کنند یا من لغزند از روغن استفاده می‌شود تا خوردگی به حداقل برسد و طول عمر و کارایی این قطعه‌ها افزایش یابد. برای اینکه گازها خاصیت تراکم‌پذیری دارند، لاستیک‌های دوچرخه را از هوا پر می‌کنند تا سبب حرکت نرم و بدون تکان‌های شدید در حین دوچرخه سواری نشود.

جواب ۳:

الف) بر خورد مولکول‌های هوا با ذرات گچ

ب) اگر برخورد مولکول‌های هوا با ذرات ریز گچ وجود نداشته انتظار می‌افتد که پس از لحظه‌ای کوتاه به طرف زمین سقوط کنند. از آن جا که در عمل مشاهده می‌شود ذرات گچ برای مدت نسبتاً طولانی به طور نامنظم در هوا حرکت می‌کنند تا به سطح زمین برسند، نتیجه گرفته می‌شود که مولکول‌های هوا وجود دارند و اثر برخورد آن‌ها سبب حرکت نامنظم ذرات گچ می‌شود.

جواب ۴: الف) زیرا انرژی مولکول‌های گاز بسیار بیشتر از مولکول‌های مایع است. مانند پخش بوی عطر در اتاق

ب) به دلیل خاصیت تراوایی سطح بادکنک، مولکول‌های هوای درون بادکنک در بسته، به تدریج و در مرتبه‌ی نسبتاً طولانی از آن خارج می‌شوند.

جواب ۵: به پرسش صفحه‌ی ۲۹ مراجعه کنید.

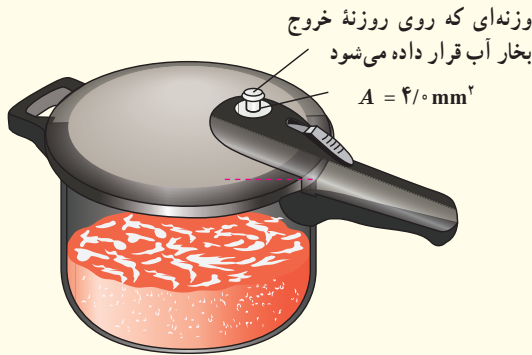
جواب ۶: الف) جابیرون کسیرن قلم مواز آب چون سطح خارجی با آب پوشیده می‌شود، نیروی کشش سطحی که بین مولکول‌های آب وجود دارد این موها را کنار هم قرار داده و به هم می‌چسبند. ب) در لوله‌های موئین هر قدر قطر لوله بیشتر باشد، تغییر ارتفاع مایع در لوله نسبت به سطح مایع ظرف کمتر است. در این جا چون قطر لوله‌ی طایستر است، ارتفاع مایع در آن کمتر است. همچنین نیروی دگوشی بین مولکول‌های مایع و مولکول‌های شیشه بیشتر از نیروی هم‌چسبی بین مولکول‌های مایع است.

جواب ۷: الف) نیروی کشش سطحی آب مانع از جدا شدن قطرات ریز آب از سطح آن می‌شود ولی این نیرو در بین ذرات ریزگردها وجود ندارد. ب) هر قدر رطوبت سطح زمین بیشتر باشد، جدا شدن این ریزگردها از سطح زمین کمتر است. پس مقابله با خشکسالی و برداشت‌های بی‌رویه منابع آبی زمین و کاشت گیاهان از جمله عواملی است که می‌تواند رطوبت سطح زمین را حفظ و مانع از چنین پدیده‌هایی شود.

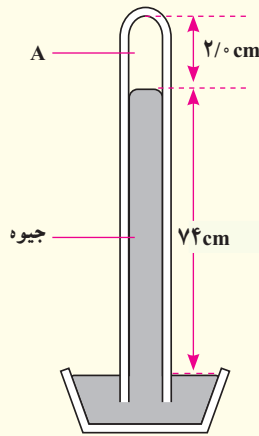


### ۲-۳ فشار در شاره‌ها

۹ مساحت روزنه خروج بخار آب، روی درب یک زودپز  $4/0 \text{ mm}^2$  است (شکل زیر). جرم وزنه‌ای که روی این روزنه باید گذاشت چقدر باشد تا فشار داخل آن در  $2/0 \text{ atm}$  نگه داشته شود؟ فشار بیرون دیگ زودپز را  $1/0 \text{ atm}$  بگیرید.



۱۰ شکل زیر یک جوسنج ساده جیوه‌ای را نشان می‌دهد. (ضخامت دیواره شیشه‌ای را نادیده بگیرید.)

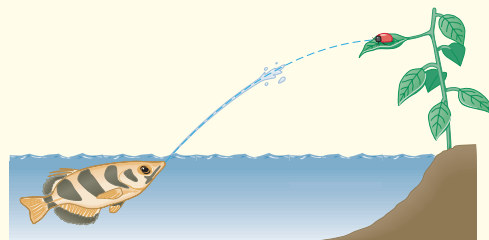
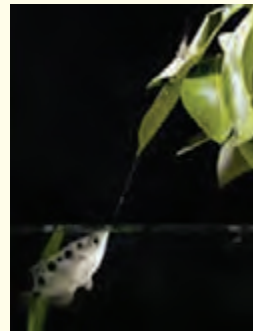


الف) در ناحیه A چه چیزی وجود دارد؟  
 ب) چه عاملی جیوه را درون لوله نگه می‌دارد؟  
 پ) فشار هوای محیطی که این جوسنج در آنجا قرار دارد چقدر است؟  
 ت) اگر این جوسنج را بالای کوهی ببریم چه تغییری در ارتفاع ستون جیوه درون لوله رخ می‌دهد؟ دلیل آن را توضیح دهید.

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



۸ نوعی ماهی به نام ماهی کمان‌گیر<sup>۱</sup> با جمع کردن آب در دهان خود و پرتاب آن به سوی حشراتی که در بیرون از آب، روی گیاهان نشستند، آنها را شکار می‌کند و می‌خورد. هدف‌گیری آنها به اندازه‌ای دقیق است که معمولاً در این کار اشتباه نمی‌کنند. کدام ویژگی فیزیکی آب این امکان را به ماهی کمان‌گیر برای شکار می‌دهد؟



<sup>۱</sup> Archerfish



جواب ۸: نیزگ بودن نیروی هم چسب مویکول های آب، امکان این شکار زیبا و دقیق را توسط ماهی کمان گیر فراهم می کند. هم چنین نیروی دگر چسبی بین آب و بین حشره باعث می شود تا آب در حین پایین آمدن حشره را نیز با خود پایین آورد.

جواب ۹:  $1 \text{ atm} = 10^5 \text{ Pa} \rightarrow 10^5 = \frac{mg}{A} \rightarrow 10^5 = \frac{m \times 10}{14 \times 10^{-6}} \rightarrow m = 0.004 \text{ kg} = 4 \text{ g}$

$A = 14 \times 10^{-6} \text{ m}^2$

جواب ۱۰:

الف) خلاء نسبی (شامل بخار جیوه با چگالی کم)

ب) فشار هوای بیرون که بر سطح جیوهی درون ظرف وارد می شود. این فشار ناشی از ستون جیوهی درون لوله برابر است.

$74 \text{ cmHg} = 100144 \text{ Pa}$

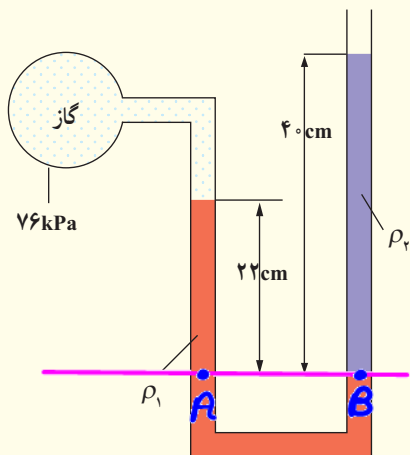
۱۱

۱۱) ارتفاع ستون جیوه کاهش می یابد، زیرا فشار هوای وارد شده بر سطح جیوهی درون ظرف کاهش می یابد. زیرا در اینم با افزایش ارتفاع از سطح زمین فشار هوا کاهش می یابد.

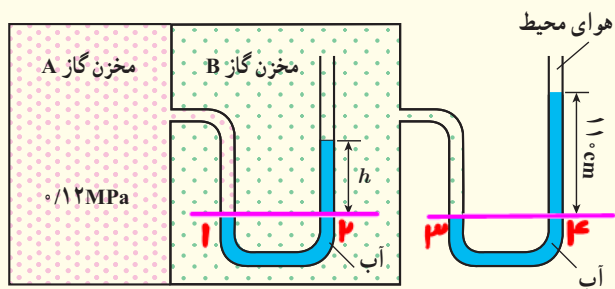




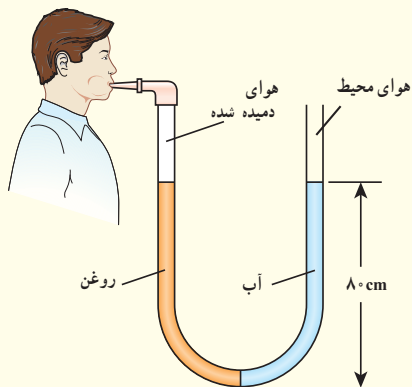
۱۳ درون لوله U شکلی که به یک مخزن محتوی گاز وصل شده است جیوه ( $\rho_1 = 13600 \text{ kg/m}^3$ ) و مایعی با چگالی نامعلوم  $\rho_2$  وجود دارد (شکل زیر).  
اگر فشار هوای بیرون لوله U شکل  $101 \text{ kPa}$  باشد، چگالی مایع را تعیین کنید.



۱۴ در شکل زیر مقدار  $h$  چند سانتی متر است؟ فشار هوای محیط را  $101 \text{ kPa}$  و چگالی آب را  $1000 \text{ kg/m}^3$  بگیرید.



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



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

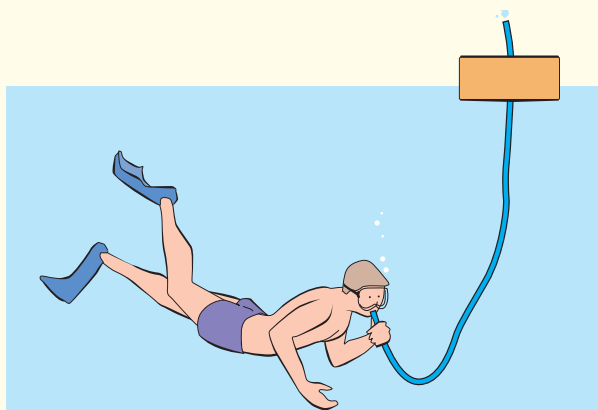
فریدون شهر:  $2612 \text{ m}$  سمیرم:  $2434 \text{ m}$

بروجن:  $2265 \text{ m}$  شهرکرد:  $2072 \text{ m}$

با توجه به نمودار شکل ۲-۱۶، فشار تقریبی هوا را در این چهار شهر بنویسید.

ب) چگالی متوسط هوا تا ارتفاع ۳ کیلومتری از سطح دریای آزاد حدود  $1/0 \text{ kg/m}^3$  است. فشار هوا را در این شهرها حساب کنید و مقادیر به دست آمده را با نتیجه قسمت الف مقایسه کنید.

۱۲ غواص‌ها می‌توانند با قرار دادن یک سر لوله‌ای در دهان خود، در حالی که سر دیگر آن از آب بیرون است، تا عمق بیشینه‌ای در آب فرو روند و نفس بکشند (شکل زیر). با گذشتن از این عمق، اختلاف فشار درون و بیرون ریه غواص افزایش می‌یابد و غواص را ناراحت می‌کند. چون هوای درون ریه از طریق لوله با هوای بیرون ارتباط دارد، فشار هوای درون ریه، همان فشار جو است در حالی که فشار وارد بر قفسه سینه او، همان فشار در عمق آب است. در عمق  $6/15 \text{ m}$  از سطح آب، اختلاف فشار درون ریه غواص با فشار وارد بر قفسه سینه او چقدر است؟ (خوب است بدانید که غواص‌های مجهز به مخزن هوای فشرده می‌توانند تا عمق بیشتری در آب فرو روند، زیرا فشار هوای درون ریه آنها با افزایش عمق، همپای فشار آب بر سطح بیرونی بدن زیاد می‌شود.)







جواب ۱۱:

۱۰ کپا شیرکرد ۷۸ کپا بروجن ۷۶ کپا سسیرج ۷۴ کپا شیرج

جواب ۱۲:  $P = \rho g h + P_0 \rightarrow P - P_0 = \rho g h = 1000 \times 10 \times 7.15 = 71500 \text{ Pa}$

جواب ۱۳:

$$P_A = P_B \rightarrow \rho_1 g h_1 + P_{0B} = \rho_2 g h_2 + P_0$$

$$13700 \times 10 \times 22 \times 10^{-2} + 76000 = \rho_2 \times 10 \times 4 \times 10^{-1} + 101000 \rightarrow \rho_2 = 1234 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

جواب ۱۴:

$$P_{\mu} = P_{\mu} \rightarrow P_B = \rho g h + P_0 = 1000 \times 10 \times 11 \times 10^{-2} + 101000 = 112100 \text{ Pa}$$

$$P_i = P_{\mu} \rightarrow P_A = \rho g h + P_B \rightarrow 121000 = 1000 \times 10 \times h + 112100 \rightarrow h = 0.89 \text{ m} = 89 \text{ cm}$$

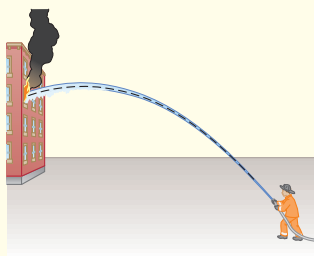
جواب ۱۵:

$$P_{\text{روغن}} + \rho g h = P_0 + \rho g h_{\text{آب}} \rightarrow P_{\text{روغن}} - P_0 = \rho g h_{\text{آب}} - \rho g h = 1000 \times 10 \times 1 \times 10^{-1} - 800 \times 10 \times 1 \times 10^{-1} = 2000 \text{ Pa}$$

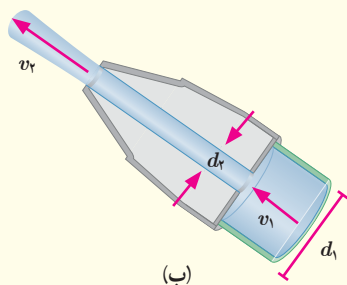


(ب)

۱۹ شکل (الف) آتش‌نشانی را در حال خاموش کردن آتش از فاصله نسبتاً دوری نشان می‌دهد. نمایی بزرگ‌شده از شیر بسته‌شده به انتهای لوله آتش‌نشانی در شکل (ب) نشان داده شده است. اگر آب با تندی  $v_1 = 1/5 \text{ m/s}$  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.



(الف)



(ب)

با توجه به اطلاعات روی شکل، فشار پیمانه‌ای هوای درون ریه شخصی که از شاخه سمت چپ لوله درون آن دمیده، چقدر است؟ چگالی روغن را  $805 \text{ kg/m}^3$  بگیرد.

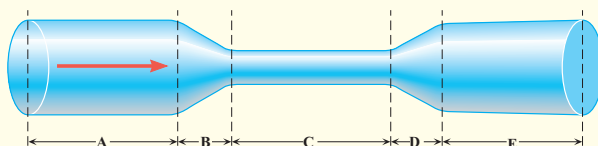
## ۲-۴ شناوری

۱۶ توضیح دهید چرا نیروی شناوری برای جسمی که در یک شماره قرار دارد رو به بالاست.

## ۲-۵ شاره در حرکت و اصل برنولی

۱۷ در لوله‌ای پراز آب مطابق 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 قسمت‌های لوله، تندی آب، در حال افزایش، در حال کاهش، یا ثابت است؟  
(ب) تندی آب را در قسمت‌های A, C و E لوله با یکدیگر مقایسه کنید.



۱۸ دو نوار کاغذی به طول تقریبی  $1 \text{ cm}$  را مطابق شکل (الف) به انتهای یک نی نوشابه بچسبانید. وقتی مطابق شکل (ب) به درون نی دمیده می‌شود نوارهای کاغذی به طرف یکدیگر جذب می‌شوند. با توجه به اصل برنولی دلیل این پدیده را توضیح دهید.



(الف)

جواب ۱۶: برای جسی که در شماره قرار دارد، چون فشار وارد بر سطح پایین جسم از سوی شماره بیشتر از فشار وارد بر سطح بالایی جسم از طرف شماره است. پس نیرویی به جسم وارد می‌شود که همان نیروی شناوری است.

جواب ۱۷: افزایش در قسمت‌های A، C و E ثابت و در قسمت B در حال افزایش و در قسمت A در حال کاهش است.

$$P_A = P_E > P_C \rightarrow V_A = V_E < V_C \quad ۱-$$

جواب ۱۸: وقتی جریان تند هوا از میان دو نوار کاغذی می‌گذرد، بنا بر اصل برنولی، سبب کاهش فشار هوا می‌شود و در نتیجه فشار هوای اطراف نوارهای کاغذی، که بزرگتر از فشار هوای بین آن‌هاست، سبب می‌شود تا نوارهای کاغذی به طرف یکدیگر نزدیک شوند.

جواب ۱۹: وقتی پیرال گاز بیشتر فشرده می‌شود، درجه‌ی پروانه‌ای متصل به سیم‌گاز بازتر می‌شود و میزان هوایی که از فیلتر هوا می‌گذرد افزایش می‌یابد. با افزایش میزان هوای ورودی، اتنازی هوا در محل لوله و تنوری افزایش می‌یابد. در نتیجه سوخت بیشتری به بیرون پاشیده می‌شود و با هوای ورودی مخلوط می‌شود و خودرو می‌تواند سریع‌تر حرکت کند.

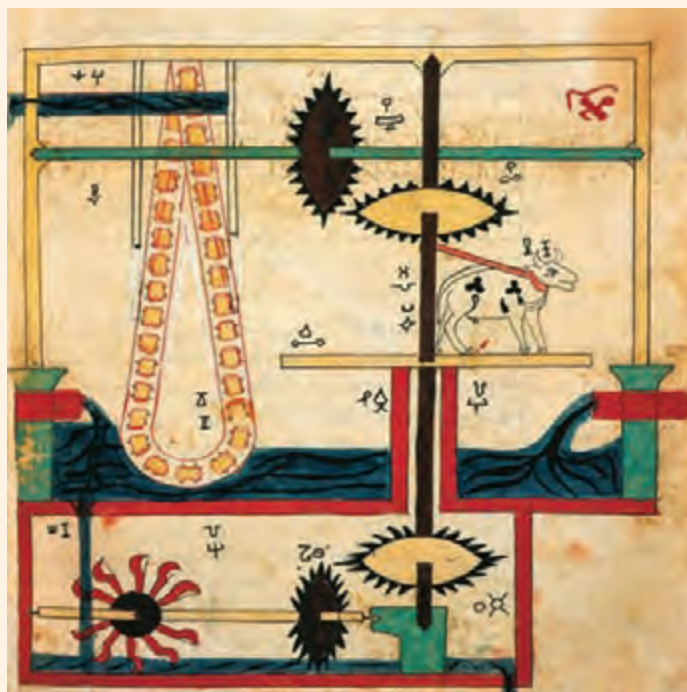
$$d_1 V_1 = d_2 V_2 \rightarrow (9,4)^2 \times 115 = (2,5)^2 V_2 \rightarrow V_2 = 22,1 \frac{m}{s} \quad \text{جواب ۲۰:}$$

### اسماعیل جزری



بدیع الزمان ابوالعزّ اسماعیل بن رزّاز جزری مشهور به اسماعیل جزری، از مهندسان بنام اسلام در سده ششم هجری قمری است. تنها اثر به جامانده از او کتابی به نام «الجامع بین العلم و العمل النافع فی صناعة الحیل» می باشد که به اختصار «الحیل» نامیده شده است. این کتاب به زبان عربی است و سندی مهم در تاریخ فناوری محسوب می شود. مختصر اطلاعاتی که از زندگانی جزری در اختیار داریم مبتنی بر مطالب خود او در مقدمه کتابش است. تاریخ تولد او مشخص نیست، ولی از قراین چنین برمی آید که او در سال ۶۰۲ هجری قمری درگذشته است.

جزری در شهر «آمد» می زیست که فرمانروایان آن در دیار بکر حکومت می کردند و همان طور که در مقدمه کتاب خود آورده است، کتاب «الحیل» را به دستور ناصرالدین محمود فرمانروای آن ملک، بین سال های ۵۹۷ تا ۶۰۲ هجری قمری نوشته است. کتاب «الحیل» یکی از مهم ترین و برجسته ترین کتاب های مهندسی مکانیک در تاریخ تمدن اسلامی محسوب می شود. کتاب شش بخش دارد. بخش اول شامل شرح شش نوع ساعت آفتابی و چهار ساعت شمعی؛ بخش دوم شرح ده دستگاه خودکار توزیع نوشیدنی؛ بخش سوم شرح چهار آفتابه و ظرف خودکار برای ریختن آب و شستشوی دست و شش تشت اندازه گیری خون هنگام رگ زنی؛ بخش چهارم شرح شش فواره است که در فاصله های زمانی مشخصی به طور خودکار تغییر شکل می دهند؛ بخش پنجم شرح پنج دستگاه آب کشی از آبگیر و بخش ششم توصیفی از دری ریخته گری شده از جنس برنج و نیز شرح وسیله ای هندسی برای یافتن مرکز دایره گذرنده بر هر سه نقطه دلخواه واقع بر یک صفحه یا سطح یک کره است. جزری برای هر دستگاه یک تصویر اصلی رسم کرده است که نشان دهنده شکل کلی دستگاه است، مثلاً شکل زیر تصویری از دستگاهی است که برای بالا آوردن آب آبگیر یک چاه به کمک یک چاربا رسم شده است. واضح است برای طراحی این دستگاه به محاسبات دقیقی نیاز است؛ از جمله قطر چرخ دنده ها، تعداد دنده ها، استحکام چرخ دنده ها و محورها و به ویژه بار ناشی از وزن آب درون ملاقه ها، که نخست به محور و از آنجا به چرخ دنده های آن و سپس به چرخ دنده های قطعی وارد می شود. البته مهندسان آن دوره روش ترسیم سه بُعدی تصاویر را نمی دانستند و رسم فنی به شکل امروزی وجود نداشت، ولی این نقص مانع از درک عملکرد دستگاه ها نمی شد و دستگاه هایی که در این کتاب توضیح داده شده است همگی از نظر فنی درست و قابل ساخت هستند. سه نمونه از دستگاه ها در جشنواره جهانی اسلام در سال ۱۳۵۵ هجری شمسی به نمایش درآمده است. همچنین در کتاب جزری واژه ها و اصطلاحات فنی بسیاری به زبان فارسی وجود دارد که نشان دهنده تأثیر عمیق ایرانیان بر فناوری جهان اسلام است.





# فصل ۳

## کار، انرژی و توان



خانم زهرا نعمتی، نخستین بانوی ایرانی برنده نشان طلا از مسابقات جهانی پارالمپیک (۲۰۱۲ لندن و ۲۰۱۶ ریو). به نظر شما این قهرمان جهان، چقدر انرژی صرف کشیدن کمان می‌کند؟ مقدار این انرژی و تندی تیری را که از کمان رها می‌شود چگونه می‌توان حساب کرد؟

انرژی مهم‌ترین مفهومی است که در سرتاسر 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؛ برخیزید و طرحی نو در اندازید! انرژی همچنین 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 و همه جا وجود دارد. انرژی می‌تواند از شکلی به شکل دیگر تبدیل شود و در حین این فرایند، مقدار کل آن پایسته می‌ماند. همچنین 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 قضیه کار-انرژی جنبشی خواهیم پرداخت. در ادامه فصل، رابطه بین کار و انرژی پتانسیل و پایستگی انرژی مکانیکی را بررسی می‌کنیم. سرانجام با توان، به عنوان کمیتی برای بیان آهنگ انجام کار آشنا می‌شویم.



نکته ۱۷

$$\frac{km}{h} \times \frac{10^3}{3600} \rightarrow \frac{m}{s}$$

تغییرات انرژی جنبشی ( $\Delta K$ ):

$$\Delta K = \frac{1}{2} m (v_2^2 - v_1^2)$$

تیب مقایسه ای:

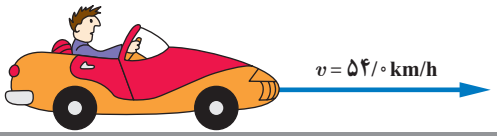
$$\frac{K_2}{K_1} = \frac{m_2}{m_1} \times \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^2$$

در علوم سال هفتم دیدید (هر چیزی که حرکت کند، انرژی دارد و انرژی وابسته به حرکت یک جسم را انرژی حرکتی یا انرژی جنبشی نامیدیم) شکل (۱-۳). همچنین دیدید 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 می کند، انرژی جنبشی از رابطه زیر به دست می آید:

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

یکاهای SI جرم و تندی به ترتیب کیلوگرم (kg) و متربرثانیه (m/s) است. بنابراین، یکای SI انرژی جنبشی (و هر نوع دیگری از انرژی)  $kgm^2/s^2$  است که به افتخار جیمز ژول، فیزیک دان انگلیسی، ژول (J) نامیده می شود. انرژی جنبشی کمیته نرده ای و همواره مثبت است؛ این کمیت تنها به جرم و تندی جسم بستگی دارد و به جهت حرکت جسم وابسته نیست.

مثال ۱-۳



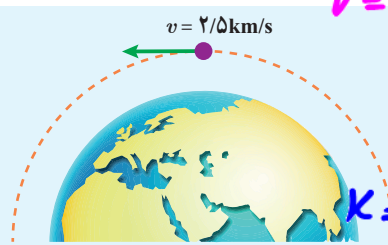
جرم خودرویی به همراه راننده اش  $840 \text{ kg}$  است. این خودرو با تندی  $54 \text{ km/h}$  در حرکت است، انرژی جنبشی آن چند ژول است؟  
پاسخ: با توجه به اطلاعات داده شده داریم:

$$m = 840 \text{ kg}, \quad v = 54 \text{ km/h} = (54 \frac{\text{km}}{\text{h}}) (\frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}}) (\frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}) = 15 \text{ m/s}$$

با جایگذاری این مقادیر در رابطه ۱-۳ داریم:

$$K = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} (840 \text{ kg}) (15 \text{ m/s})^2 = 945 \times 10^4 \text{ J}$$

تمرین ۱-۳



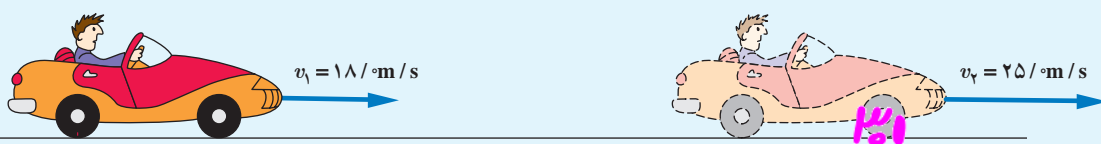
$$v = 2,5 \frac{km}{s} \times \frac{10^3 m}{km} = 2500 \frac{m}{s}$$

ماهواره ای به جرم  $220 \text{ kg}$ ، با تندی ثابت  $2/5 \text{ km/s}$  دور زمین می چرخد. انرژی جنبشی ماهواره را برحسب ژول و مگاژول حساب کنید.

$$K = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} \times 220 \times 2500^2 = 717500000 \text{ J} = 717500 \text{ MJ}$$

تمرین ۲-۳

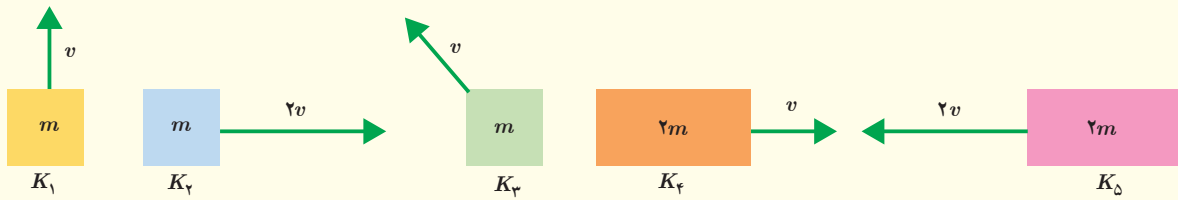
جرم خودرویی به همراه راننده اش  $840 \text{ kg}$  است (شکل زیر). تندی خودرو در دو نقطه از مسیرش روی شکل زیر داده شده است. تغییرات انرژی جنبشی خودرو ( $\Delta K = K_2 - K_1$ ) را بین این دو نقطه حساب کنید.



$$\Delta K = \frac{1}{2} m (v_2^2 - v_1^2) = \frac{1}{2} \times 840 (25^2 - 18^2) = 127440 \text{ J}$$



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



$$K_1 = \frac{1}{2} m v^2 \quad K_2 = \frac{1}{2} m (2v)^2 = \frac{1}{2} m \times 4v^2 = 2m v^2 \quad K_3 = \frac{1}{2} m v^2$$

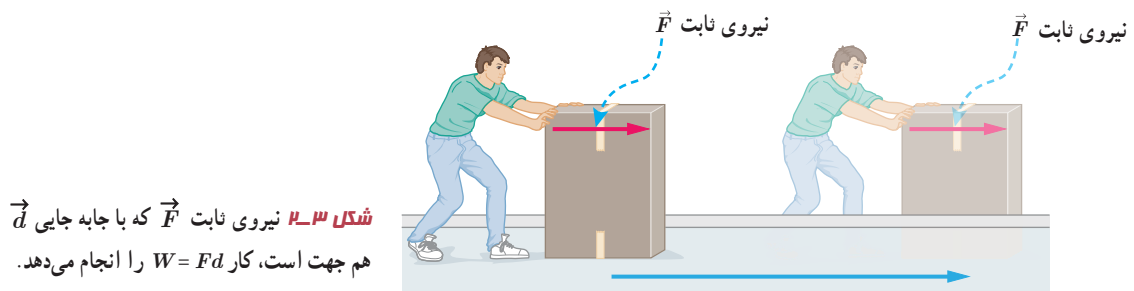
$$K_4 = \frac{1}{2} (2m) v^2 = m v^2$$

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

$$K_5 > K_2 > K_4 > K_1 = K_3$$

### ۲-۳ کار انجام شده توسط نیروی ثابت

در علوم سال هفتم دیدید 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 با جابه‌جایی جسم در یک جهت باشد (شکل ۲-۳)، به صورت رابطه زیر آشنا شدید:



جسم در جهت نیرو، به اندازه  $d$  جابه‌جا شده است.

$$W = Fd$$

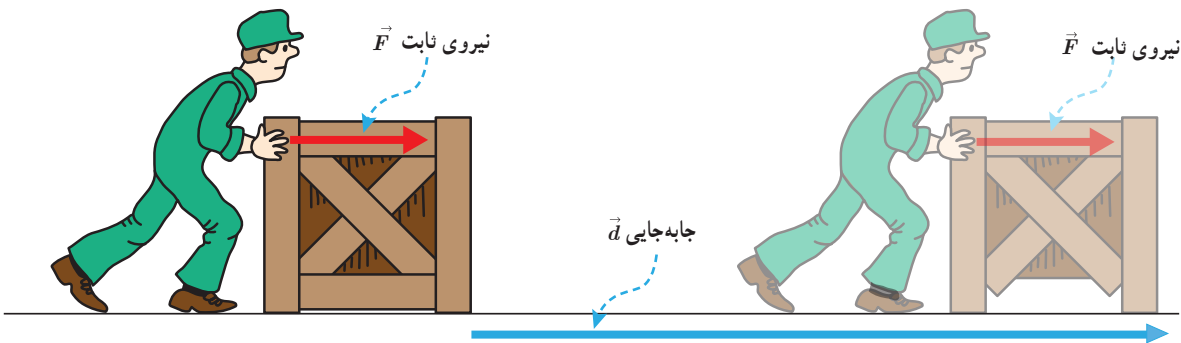
(۲-۳)

# ★ کار کمیته فرعی است.

در این رابطه  $F$  اندازه نیروی وارد بر جسم و  $d$  اندازه جابه جایی آن است. کار، همان یکای انرژی را دارد و کمیته نرده ای است. برای استفاده از این رابطه به منظور محاسبه کار باید به دو نکته توجه کرد. اول آنکه، نیروی ثابت وارد بر جسم، باید با جابه جایی آن هم جهت باشد و دوم آنکه، باید بتوان جسم را مانند یک ذره فرض کرد (بخش مدل سازی را در فصل اول ببینید).

## مثال ۲-۳

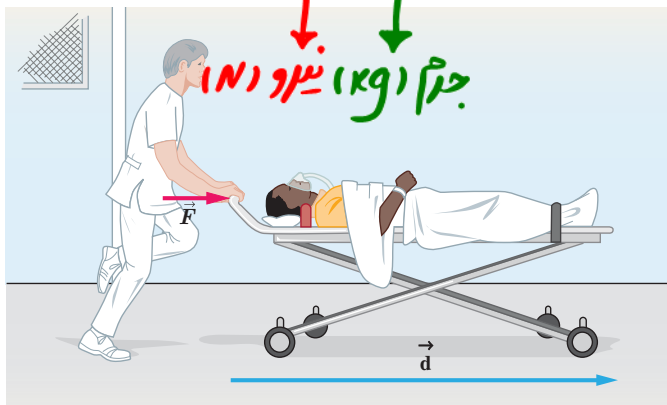
شکل زیر کارگری را در حال هل دادن جعبه ای با نیروی ثابت  $250\text{ N}$  نشان می دهد. اگر جعبه  $14\text{ m}$  در امتداد نیرو جابه جا شود، کار انجام شده توسط این نیرو چقدر است؟



**پاسخ:** اندازه نیروی وارد شده به جعبه، ثابت و با جابه جایی جعبه هم جهت است. بنابراین، از رابطه ۲-۳ داریم:

$$W = Fd = (250\text{ N})(14\text{ m}) = 3/5 \times 10^3\text{ J}$$

## قانون دوم نیوتون $F = ma$ (شتاب $\frac{m}{s^2}$ )



بیماری به جرم  $72\text{ kg}$  روی تختی به جرم  $15\text{ kg}$  دراز کشیده است. پرستاری این تخت را با نیروی ثابت و افقی  $\vec{F}$  روی سطحی هموار و با اصطکاک ناچیز هل می دهد. مجموعه تخت و بیمار با شتاب  $0.60\text{ m/s}^2$  حرکت می کند.

الف) اندازه نیروی  $\vec{F}$  چقدر است؟  
ب) اگر تخت  $10\text{ m}$  در جهت این نیرو جابه جا شود، کار انجام شده توسط نیروی  $\vec{F}$  را حساب کنید.

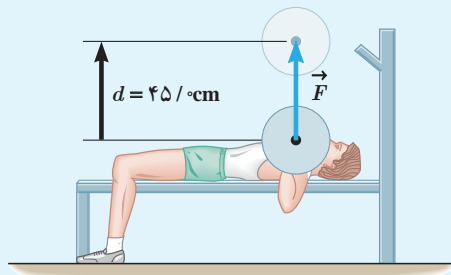
**پاسخ:** الف) جرم کل بیمار و تخت برابر  $87\text{ kg}$  است. با استفاده از قانون دوم نیوتون داریم:

$$F = ma = (87\text{ kg})(0.60\text{ m/s}^2) = 52\text{ N}$$

ب) چون نیرو و جابه جایی در یک جهت اند، با استفاده از رابطه (۲-۳) کار نیروی  $F$  برابر است با:

$$W = Fd = (52\text{ N})(10\text{ m}) = 5/2 \times 10^2\text{ J}$$





$$a=0$$

ورزشکاری وزنه‌ای به جرم  $65\text{ kg}$  را به طور یکنواخت،  $45\text{ cm}$  بالای سر خود می‌برد (شکل روبه رو). کاری که این ورزشکار روی وزنه انجام داده است را محاسبه کنید. اندازه شتاب گرانش زمین را  $g = 9.8\text{ N/kg}$  بگیرید.

$$F = mg = 65 \times 9.8 = 637\text{ N}$$

$$W = Fd \cos \theta = 637 \times 0.45 \times 1 = 286.65\text{ J}$$

### مهارت‌های ریاضی (یادآوری از ریاضی سال‌های هشتم و نهم)

در ریاضی سال هشتم با تجزیه یک بردار روی محورهای  $x$  و  $y$  و نوشتن مؤلفه‌های آن بر حسب بردارهای یک‌گانه  $\vec{i}$  و  $\vec{j}$  آشنا شدید (شکل روبه رو).

اگر  $R_x$  و  $R_y$  مؤلفه‌های بردار  $\vec{R}$  روی محورهای  $x$  و  $y$  باشند، می‌توان نوشت:

$$\vec{R} = R_x \vec{i} + R_y \vec{j} \quad (1)$$

همچنین در ریاضی سال نهم دیدید که در یک مثلث قائم الزاویه، مانند مثلث OAB در شکل بالا، توابع مثلثاتی سینوس و کسینوس را برای زاویه‌ای مانند  $\theta$  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:

$$OA = R \quad \text{و} \quad OB = R_x \quad \text{و} \quad AB = R_y$$

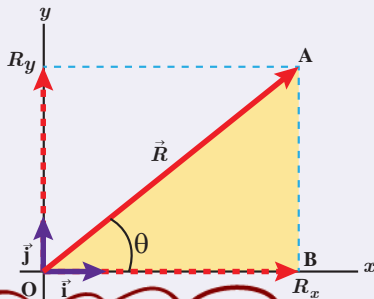
به این ترتیب، مؤلفه‌های بردار  $\vec{R}$  را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$R_x = R \cos \theta \quad \text{و} \quad R_y = R \sin \theta \quad (3)$$

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

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

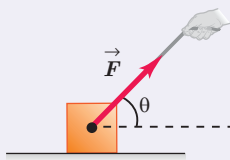
برای مثال وقتی جسمی را مطابق شکل روبه رو با نیروی  $\vec{F}$  می‌کشیم، مؤلفه افقی این نیرو  $F_x = F \cos \theta$  و مؤلفه قائم آن  $F_y = F \sin \theta$  است که در آن اندازه نیروی  $\vec{F}$  است.



این جدول حتماً حفظ شود.

مقادیر سینوس و کسینوس به ازای چند زاویه پرکاربرد

$\theta$	$\sin \theta$	$\cos \theta$
$0^\circ$	0	1
$30^\circ$	$\frac{1}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$
$45^\circ$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$
$60^\circ$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{1}{2}$
$90^\circ$	1	0
$180^\circ$	0	-1

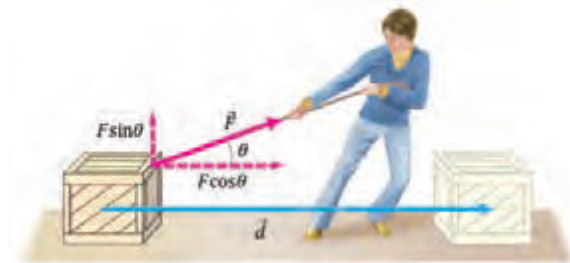


همان‌طور که تا اینجا دیدید، تعریف کار بر اساس رابطه ۲-۳ تنها برای حل مسئله‌هایی به کار می‌رود که نیرو و جابه‌جایی در یک جهت باشند. اگر مطابق شکل ۳-۳ نیروی وارد شده به جسم با جابه‌جایی زاویه  $\theta$  بسازد، در این حالت نیروی  $\vec{F}$  دارای دو مؤلفه است؛ یکی موازی با جابه‌جایی و دیگری عمود بر آن. همان‌طور که از علوم هفتم نیز به یاد دارید، مؤلفه‌ای از نیرو که بر جابه‌جایی عمود است ( $F_y$ ) کاری روی جسم انجام نمی‌دهد. کار انجام شده روی جسم تنها ناشی از مؤلفه‌ای از نیرو است که در راستای جابه‌جایی است ( $F_x$ ). در این حالت، کاری که نیروی ثابت  $\vec{F}$  به ازای جابه‌جایی  $\vec{d}$  روی جسم انجام می‌دهد از رابطه زیر به دست می‌آید:

زاویه بین  $F$  و  $d$

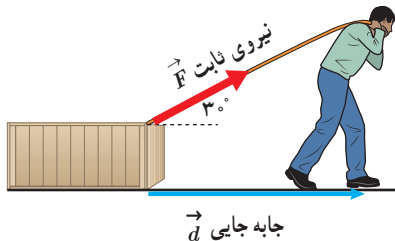
$$W = (F \cos \theta) d$$

(۳-۳)



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

### مثال ۳-۴



شکل روبه‌رو شخصی را نشان می‌دهد که جعبه‌ای را با نیروی ثابت  $200\text{ N}$  روی سطحی هموار و با اصطکاک ناچیز، به اندازه  $10\text{ m}$  جابه‌جا می‌کند.

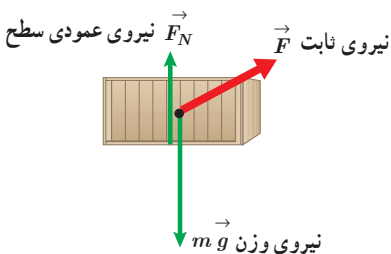
الف) کار انجام شده توسط این نیرو چقدر است؟

ب) نیروهای دیگری را که بر جسم وارد می‌شود مشخص کنید. کاری را که هر کدام از این نیروها روی جسم انجام می‌دهند حساب کنید.

**پاسخ:** الف) با جایگذاری اطلاعات داده شده و  $\cos \theta = \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}$  در رابطه ۳-۳ داریم:

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

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

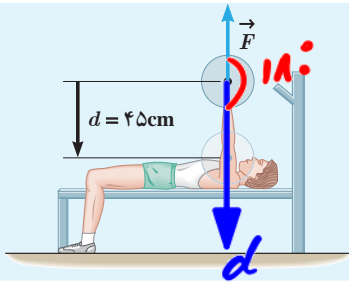


۱- بررسی تجزیه نیرو از اهداف این فصل نیست، بلکه تنها تأکید روی این موضوع است که فقط مؤلفه‌ای از نیرو که در امتداد جابه‌جایی است کار انجام می‌دهد. بنابراین در ارزشیابی این درس، تجزیه نیروها مورد نظر نیست.



$$W = Fd \cos \theta = 437 \times 45 \times 10^{-2} \times -1 = -214,25 \text{ J}$$

### تمرین ۳-۴



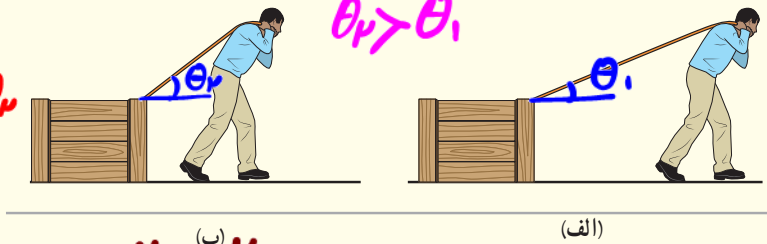
تمرین ۳-۳ را دوباره ببینید. کار انجام شده توسط ورزشکار را روی وزنه برای حالتی حساب کنید که ورزشکار با وارد کردن همان نیروی  $\vec{F}$ ، وزنه را به آرامی پایین می‌آورد (شکل روبه رو). توضیح دهید که در این دو حالت، چه تفاوتی بین مقادیر به دست آمده برای کار انجام شده توسط ورزشکار وجود دارد.

### پوشش ۲-۳

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

$$W_{\text{الف}} = W_{\text{ب}}$$

$$F_{\text{الف}} d \cos \theta_1 = F_{\text{ب}} d \cos \theta_2$$



$$W_{\text{الف}} = W_{\text{ب}} \text{ و } d_{\text{الف}} = d_{\text{ب}}$$

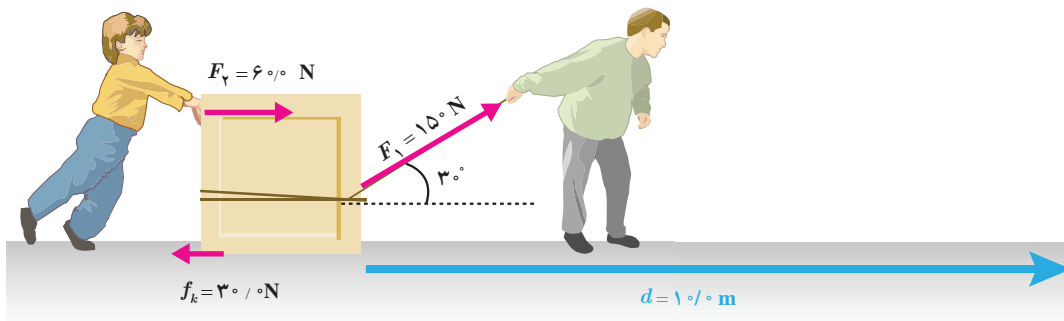
$$\frac{F_{\text{الف}}}{F_{\text{ب}}} = \frac{\cos \theta_2}{\cos \theta_1} \quad \theta_2 > \theta_1 \rightarrow \cos \theta_2 < \cos \theta_1 \rightarrow F_{\text{الف}} < F_{\text{ب}}$$

کار کل: اگر به جای یک نیرو، چند نیرو بر جسمی 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 تک تک نیروها کار کل ( $W_T$ ) را می‌یابیم.

$$W_T = W_1 + W_2 + \dots$$

### مثال ۳-۵

شکل زیر پدر و پسر را در حال جابه‌جا کردن یک جعبه سنگین روی سطحی هموار نشان می‌دهد. نیروی  $F_1$  را پدر و نیروی  $F_2$  را پسر به جسم وارد می‌کنند و  $f_k$  نیز نیروی اصطکاک جنبشی 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 - زیر نویس t در  $W_T$  از سر حرف واژه total به معنای کل گرفته شده است.

پاسخ:

کار انجام شده توسط هر نیرو را به طور جداگانه محاسبه می‌کنیم. برای محاسبه کار نیروی  $F_1$ ، اطلاعات داده شده و

$$W_1 = (F_1 \cos \theta) d = (150 \text{ N} \times \sqrt{3}/2)(10 \text{ m}) = 1/30 \times 10^3 \text{ J}$$

چون پسر جعبه را در جهت جابه‌جایی هل می‌دهد، کار انجام شده توسط نیروی  $F_2$  برابر است با:

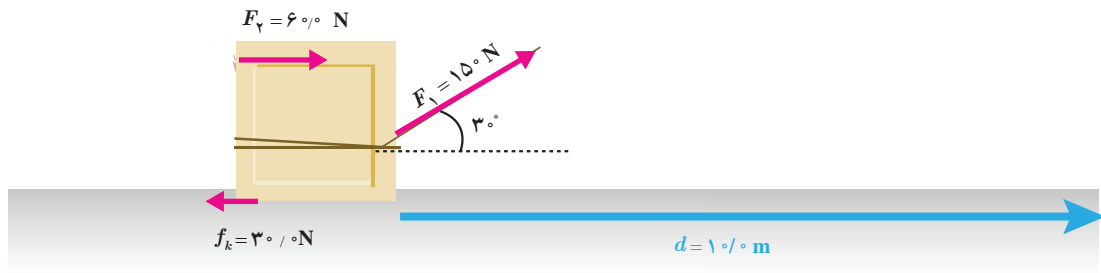
$$W_2 = F_2 d = (60 \text{ N})(10 \text{ m}) = 600 \text{ J}$$

برای محاسبه کار نیروی  $f_k$ ، اطلاعات داده شده و  $\cos \theta = \cos 180^\circ = -1$  را در رابطه ۳-۳ جایگذاری می‌کنیم. پس:

$$W_3 = (f_k \cos \theta) d = (30 \text{ N} \times (-1))(10 \text{ m}) = -300 \text{ J}$$

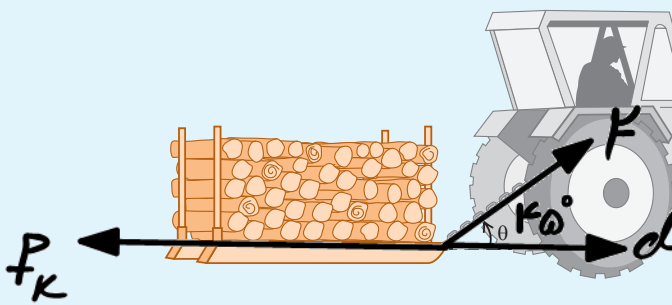
همان‌طور که گفتیم کار کل ( $W_t$ ) انجام شده با جمع جبری مقدار کار انجام شده توسط تک تک نیروها برابر است. توجه کنید که کار نیروی وزن و نیروی عمودی تکیه‌گاه صفر است. به این ترتیب داریم:

$$W_t = W_1 + W_2 + W_3 = 1/30 \times 10^3 \text{ J} + 600 \text{ J} + (-300 \text{ J}) = 1/60 \times 10^3 \text{ J}$$



## تمرین ۳-۵

کشاورزی توسط تراکتور، سورتمه‌ای پر از قطعه‌های چوبی برش داده شده برای کارخانه را روی سطح افقی و در مسیر مستقیم به اندازه  $20 \text{ m}$  جابه‌جا می‌کند (شکل زیر). وزن کل سورتمه و بار آن  $15000 \text{ N}$  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.



$$W_F = F d \cos \theta = 5500 \times 20 \times \frac{\sqrt{2}}{2} = 55000 \sqrt{2} \text{ J}$$

$$W_{f_k} = f_k d \cos \theta = 3500 \times 20 \times (-1) = -70000 \text{ J}$$

$$W_T = W_1 + W_2 = (55000 \sqrt{2} - 70000) \text{ J}$$



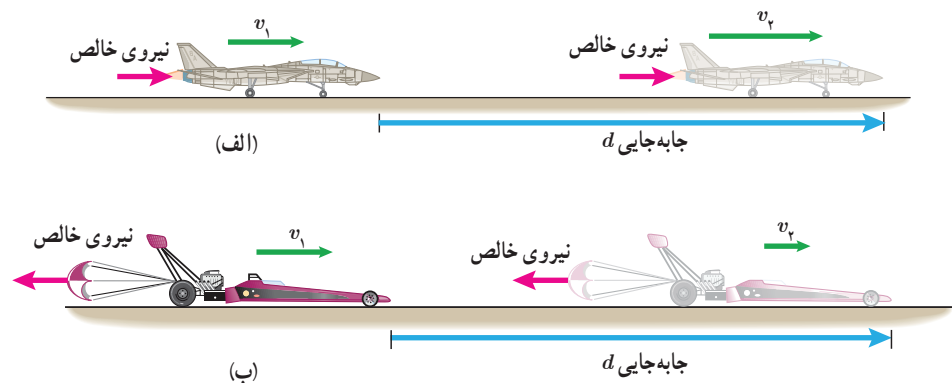
$$W_T > 0 \rightarrow \Delta K > 0 \rightarrow K_2 > K_1 \rightarrow v_2 > v_1$$

$$W_T < 0 \rightarrow \Delta K < 0 \rightarrow K_2 < K_1 \rightarrow v_2 < v_1$$

$$W_T = 0 \rightarrow \Delta K = 0 \rightarrow K_2 = K_1 \rightarrow v_2 = v_1$$

### ۳-۳ کار و انرژی جنبشی

اگر در حین جابه‌جایی جسمی، نیروی خالصی به آن وارد شود، کار کل انجام شده روی جسم ممکن است مثبت یا منفی باشد. در شکل (۳-۴ الف)، نیروی خالص وارد شده به هواپیما با جابه‌جایی آن هم جهت است و کار کل انجام شده روی هواپیما، سبب افزایش انرژی جنبشی آن شده است؛ در حالی که در شکل (۳-۴ ب)، نیروی خالص برخلاف جهت جابه‌جایی به یک خودروی مسابقه‌ای وارد شده و کار کل انجام شده روی آن، سبب کاهش انرژی جنبشی اتومبیل شده است. به این ترتیب، می‌توان گفت: وقتی نیروی خالصی به جسمی وارد می‌شود، 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.



شکل ۳-۴ الف) کار مثبت روی هواپیما انجام شده و انرژی جنبشی آن افزایش یافته است. ب) کار منفی روی خودرو انجام شده و انرژی جنبشی آن کاهش یافته است.

بین کار کل انجام شده روی یک جسم و تغییر انرژی جنبشی آن رابطه‌ای 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 جسمی را در دو وضعیت متفاوت با  $K_1$  و  $K_2$  نشان دهیم، در این صورت قضیه کار-انرژی جنبشی با رابطه زیر بیان می‌شود:

$$W_i = K_2 - K_1 = \Delta K = \frac{1}{2} m (v_2^2 - v_1^2) \quad (۳-۴)$$

هنگامی که  $W_i > 0$  است انرژی جنبشی جسم افزایش می‌یابد (انرژی جنبشی پایانی بزرگ‌تر از انرژی جنبشی آغازی  $K_1$  است) و جسم در پایان جابه‌جایی تندتر از آغاز آن حرکت می‌کند. هنگامی که  $W_i < 0$  است، انرژی جنبشی جسم کاهش می‌یابد ( $K_2 < K_1$ ) و تندی آن پس از جابه‌جایی کمتر است. هنگامی که  $W_i = 0$  است انرژی جنبشی جسم در دو نقطه آغازی و پایانی یکسان ( $K_2 = K_1$ ) و تندی آن نیز در این دو نقطه برابر است. توجه کنید که قضیه کار-انرژی جنبشی نه تنها برای حرکت یک جسم روی مسیری مستقیم معتبر است، بلکه اگر جسم روی هر مسیر خمیده‌ای نیز حرکت کند، می‌توان از آن استفاده کرد (تمرین ۳-۷ را ببینید). قضیه کار-انرژی جنبشی، قانون جدیدی در فیزیک نیست؛ بلکه صرفاً کار (رابطه ۳-۳) و انرژی جنبشی (رابطه ۳-۱) را به هم مرتبط می‌سازد و به‌سادگی می‌توان آن را از قانون دوم نیوتون به‌دست آورد.

## مثال ۳-۶



توپ فوتبالی به جرم  $450\text{ g}$  از نقطه پناستی با تندی  $20\text{ m/s}$  به طرف دروازه شوت می‌شود (شکل روبه‌رو). توپ با تندی  $18\text{ m/s}$  به دستان دروازه‌بان برخورد می‌کند. کار کل انجام شده روی توپ را که سبب کاهش تندی آن شده است محاسبه کنید.

**پاسخ:** با استفاده از قضیه کار-انرژی جنبشی به سادگی می‌توان مسئله را حل کرد. ابتدا با توجه به اطلاعات داده شده و رابطه ۳-۱ انرژی جنبشی توپ را در دو وضعیت مورد نظر مسئله به دست می‌آوریم:

$$K_1 = \frac{1}{2}mv_1^2 = \frac{1}{2}(0.45\text{ kg})(20\text{ m/s})^2 = 90\text{ J}$$

$$K_2 = \frac{1}{2}mv_2^2 = \frac{1}{2}(0.45\text{ kg})(18\text{ m/s})^2 = 72.9\text{ J}$$

به این ترتیب، کار کل انجام شده روی توپ را از رابطه ۳-۴ محاسبه می‌کنیم:

$$W_t = K_2 - K_1 = 72.9\text{ J} - 90\text{ J} = -17.1\text{ J}$$

علامت منفی نشان می‌دهد که کار کل انجام شده روی توپ، انرژی جنبشی آن را کاهش داده است.

## مثال ۳-۲



چتربازی به جرم کل  $750\text{ kg}$ ، از بالونی که در ارتفاع  $800\text{ m}$  از سطح زمین است، با تندی  $120\text{ m/s}$  به بیرون بالون می‌پرد. اگر او با تندی  $480\text{ m/s}$  به زمین برسد، کار نیروی مقاومت هوا روی چترباز را در طول مسیر سقوط محاسبه کنید. شتاب گرانش زمین را  $9.8\text{ m/s}^2$  بگیرید.

**پاسخ:** ابتدا انرژی جنبشی چترباز را در دو وضعیت پریدن از بالون و همچنین رسیدن به سطح زمین به دست می‌آوریم. با توجه به اطلاعات داده شده و همچنین رابطه ۳-۱ داریم:

$$K_1 = \frac{1}{2}mv_1^2 = \frac{1}{2}(750\text{ kg})(120\text{ m/s})^2 = 54000\text{ J}$$

$$K_2 = \frac{1}{2}mv_2^2 = \frac{1}{2}(750\text{ kg})(480\text{ m/s})^2 = 864000\text{ J}$$

همان‌طور که در شکل روبه‌رو دیده می‌شود در طول حرکت چترباز، دو نیروی وزن و مقاومت هوا به او وارد می‌شود. نیروی وزن در جهت جابه‌جایی و نیروی مقاومت بر خلاف جابه‌جایی است. بنابراین، کار کل برابر مجموع کار این دو نیرو است. به این ترتیب، از رابطه ۳-۴ داریم:

$$W_t = K_2 - K_1 \Rightarrow W_{\text{وزن}} + W_{\text{مقاومت هوا}} = 864000\text{ J} - 54000\text{ J} = 810000\text{ J}$$

با پیدا کردن کار نیروی وزن ( $mg$ ) و جایگذاری آن در عبارت بالا، کار نیروی مقاومت هوا را به دست می‌آوریم. از رابطه ۳-۲ داریم:

$$W_{\text{وزن}} = mgd = (750\text{ kg})(9.8\text{ m/s}^2)(800\text{ m}) = 5880000\text{ J}$$



به این ترتیب، کار نیروی مقاومت هوا برابر است با:

$$5/88 \times 10^5 \text{ J} + W_{\text{مقاومت هوا}} = 800 \text{ J} \Rightarrow W_{\text{مقاومت هوا}} = -5/87 \times 10^5 \text{ J}$$

توجه کنید برای اینکه چتر باز به طور ایمن و با تندی نسبتاً کمی به زمین برسد، کار نیروی مقاومت هوا اثر کار نیروی وزن را

تقریباً خنثی کرده است.

$$W_{\text{شخص}} = Fd \cos \theta = 150 \times 1.5 \times 1 = 225 \text{ J}$$

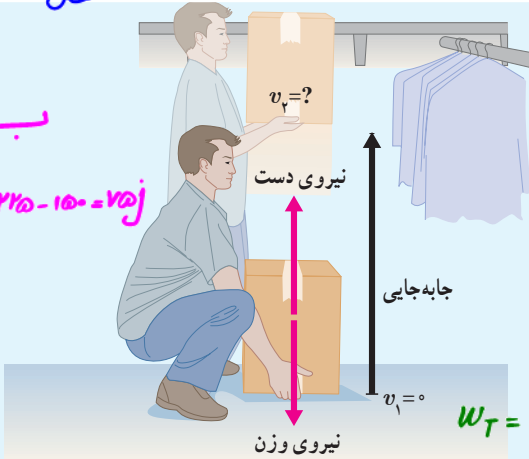
$$W_{mg} = -mg \Delta h = -10 \times 10 \times 1.5 = -150 \text{ J}$$

شکل روبه‌رو شخصی را نشان می‌دهد که با وارد کردن نیروی ثابت  $150 \text{ N}$ ، جعبه‌ای به جرم  $10 \text{ kg}$  را از حال سکون در امتداد قائم جابه‌جا می‌کند.

الف) کار انجام شده توسط شخص و کار انجام شده توسط نیروی وزن را روی جعبه تا ارتفاع  $1/5 \text{ m}$  به طور جداگانه حساب کنید.

ب) کار کل انجام شده روی جعبه تا ارتفاع  $1/5 \text{ m}$  چقدر است؟

پ) با استفاده از قضیه کار-انرژی جنبشی، تندی نهایی جعبه را در ارتفاع  $1/5 \text{ m}$  حساب کنید.



$$W_T = \frac{1}{2} m (v_2^2 - v_1^2)$$

$$150 = \frac{1}{2} \times 10 (v_2^2 - 0) \rightarrow v_2 = \sqrt{15} \frac{m}{s}$$

### تمرین ۳-۷

جرم یک خودروی الکتریکی به همراه راننده‌اش  $840 \text{ kg}$  است. وقتی این خودرو

از موقعیت A به موقعیت B می‌رود، کار کل انجام شده روی خودرو  $73500 \text{ J}$

است. اگر تندی خودرو در موقعیت A برابر  $54 \text{ km/h}$  باشد، تندی آن در

موقعیت B چند متر بر ثانیه است؟

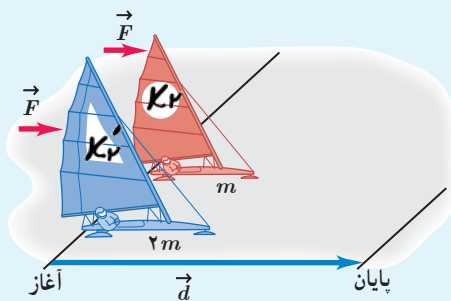
$$v_B = ?$$

$$v_A = 54 \frac{km}{h} \times \frac{10}{36} = 15 \frac{m}{s}$$

$$W_T = \frac{1}{2} m (v_B^2 - v_A^2) \rightarrow 73500 = \frac{1}{2} \times 840 (v_B^2 - 15^2) \rightarrow v_B = 40 \frac{m}{s}$$

### تمرین ۳-۸

دو قایق بادبانی مخصوص حرکت روی سطوح یخ‌زده، دارای جرم‌های  $m$  و  $2m$ ، روی دریاچه افقی و بدون اصطکاک قرار دارند و نیروی ثابت و یکسان  $\vec{F}$  با وزیدن باد به هر دو وارد می‌شود (شکل روبه‌رو). هر دو قایق از حال سکون شروع به حرکت می‌کنند و پس از جابه‌جایی  $d$ ، از خط پایان می‌گذرند. انرژی جنبشی و تندی قایق‌ها را درست پس از عبور از خط پایان، با هم مقایسه کنید.



$$W_F = K_f - K_i$$

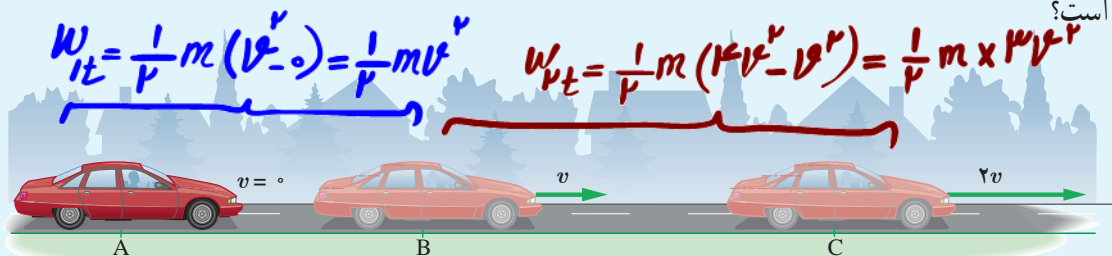
$$W_F = K_f - K_i$$

$$K_f = K_i \rightarrow \frac{1}{2} m v_f^2 = \frac{1}{2} \times 2m \times v_i^2 \rightarrow v_f = \sqrt{2} v_i$$



$$\frac{W_{1t}}{W_{2t}} = \frac{\frac{1}{2} m v^2}{\frac{1}{2} m \times 3v^2} = \frac{1}{3}$$

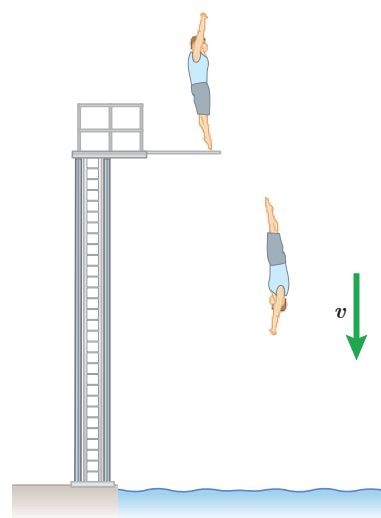
برای آنکه تندی خودرویی از حال سکون در نقطه A به v در نقطه B برسد، باید کار کل  $W_{1t}$  روی آن انجام شود. همچنین برای آنکه تندی خودرو از v در نقطه B به  $2v$  در نقطه C برسد، باید کار کل  $W_{2t}$  روی آن انجام شود (شکل زیر). نسبت  $W_{1t}/W_{2t}$  چقدر است؟



## انواع انرژی پتانسیل گرانشی

### ۳-۴ کار و انرژی پتانسیل

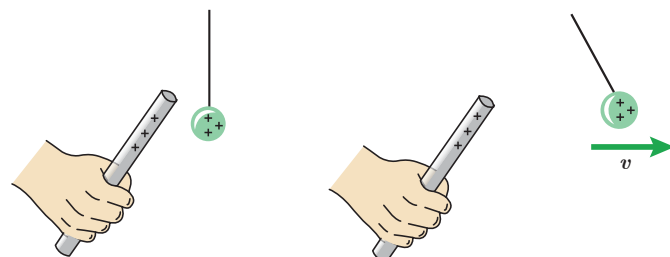
در علوم هفتم با نوع دیگری از انرژی، به نام انرژی پتانسیل یا انرژی ذخیره‌ای آشنا شدید که می‌تواند به شکل‌های متنوعی مانند **گرانشی، کشسانی و الکتریکی** باشد. **انرژی پتانسیل، برخلاف انرژی جنبشی که به حرکت یک جسم وابسته است، ویژگی یک سامانه (دستگاه) است تا ویژگی یک جسم منفرد.** به عبارت دیگر، انرژی پتانسیل به مکان اجسام یک سامانه نسبت به یکدیگر بستگی دارد. وقتی انرژی پتانسیل یک سامانه کاهش می‌یابد، به شکل‌های دیگری از انرژی تبدیل می‌شود. برای مثال، وقتی شخصی از یک تخته پرش به درون استخری پر از آب شیرجه می‌زند، انرژی پتانسیل سامانه شخص - زمین به تدریج به انرژی جنبشی شخص تبدیل می‌شود و شخص با تندی نسبتاً زیادی با سطح آب برخورد می‌کند (شکل ۳-۵ الف). یا هنگامی که فنری را توسط جسمی فشرده و رها می‌کنیم، انرژی پتانسیل کشسانی سامانه جسم - فنر به انرژی جنبشی جسم تبدیل می‌شود و جسم با تندی زیادی پرتاب می‌شود (شکل ۳-۵ ب). همچنین وقتی یک جسم باردار را به جسم باردار دیگر نزدیک‌تر می‌کنیم، بسته به نوع بار، اجسام یکدیگر را می‌ربایند یا می‌رانند. در این حالت انرژی پتانسیل الکتریکی سامانه دو جسم باردار تغییر می‌کند (شکل ۳-۵ پ).



(الف)



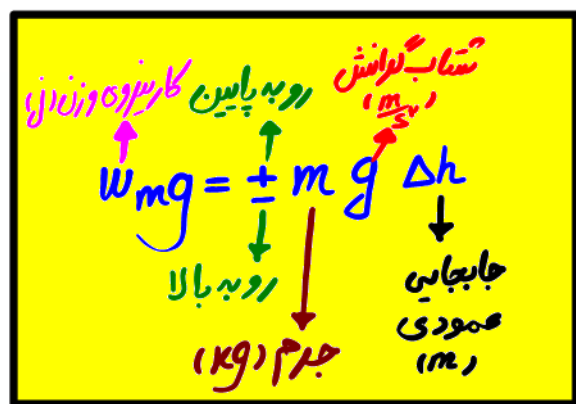
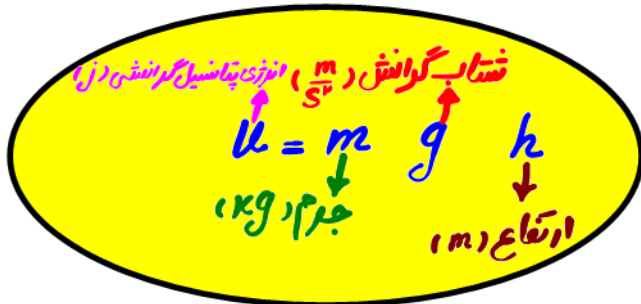
(ب)



(پ)

**شکل ۳-۵** هر سامانه می‌تواند دست کم از دو جسم یا تعداد بسیار بیشتری از اجسام تشکیل شده باشد. (الف) انرژی پتانسیل گرانشی در سامانه شخص - زمین. (ب) انرژی پتانسیل کشسانی در سامانه جسم - فنر. (پ) انرژی پتانسیل الکتریکی در سامانه دو جسم باردار.

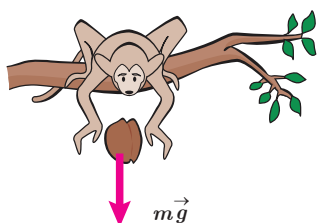




کارشوزی وزن تغییرات انرژی پتانسیل گرانشی (J)

$$\Delta U = -W_{mg}$$

### انرژی پتانسیل گرانشی



شکل ۳-۶ جسمی به جرم  $m$  را نشان می‌دهد که در حال سقوط به طرف زمین است. در حین سقوط، نیروی وزن  $m\vec{g}$  و نیروی مقاومت هوا  $\vec{f}_a$  به آن وارد می‌شود. وقتی جسم از ارتفاع  $h_1$  به ارتفاع  $h_2$  از سطح زمین می‌رسد کار نیروی وزن در این جابه جایی برابر است با:

$$W_{\text{وزن}} = (mg \cos \theta) d = (mg \cos 0^\circ) d = mgd$$

$$= mg(h_1 - h_2) = -(mgh_2 - mgh_1)$$

انرژی پتانسیل گرانشی سامانه متشکل از زمین و جسمی به جرم  $m$  که در ارتفاع  $h$  از سطح زمین

است به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$U = mgh \quad (5-3)$$

به این ترتیب، کار نیروی وزن را می‌توان به صورت زیر بازنویسی کرد:

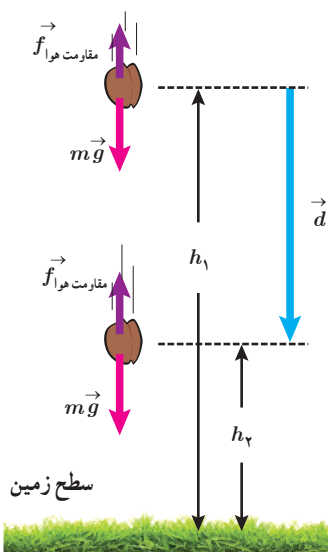
$$W_{\text{وزن}} = -(U_2 - U_1) = -\Delta U \quad (6-3)$$

رابطه ۳-۶ نشان می‌دهد کار نیروی وزن برابر با منفی تغییر انرژی پتانسیل گرانشی است. همچنین توجه کنید که علامت منها در جلوی  $\Delta U$  در رابطه ۳-۶ اهمیت زیادی دارد. هنگامی که جسمی رو به پایین حرکت می‌کند  $h$  کاهش می‌یابد، نیروی وزن جسم کار مثبت انجام می‌دهد و انرژی پتانسیل گرانشی کاهش می‌یابد ( $\Delta U < 0$ ).

هنگامی که جسمی رو به بالا حرکت می‌کند و از زمین دور می‌شود،  $h$  افزایش می‌یابد. در این صورت کار انجام شده توسط نیروی وزن جسم منفی است و انرژی پتانسیل گرانشی آن افزایش می‌یابد ( $\Delta U > 0$ ).

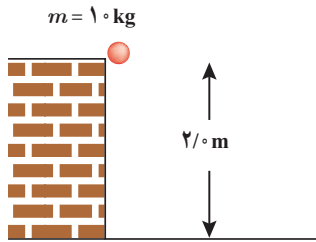
اگرچه رابطه ۳-۶ را برای جسمی که در امتداد قائم و رو به پایین سقوط می‌کرد به دست آوردیم، ولی به سادگی می‌توان نشان داد این رابطه برای هر مسیر دلخواهی برقرار است. به عبارت دیگر، کار نیروی وزن به مسیر بستگی ندارد و همواره برابر با منفی تغییر انرژی پتانسیل گرانشی سامانه جسم-زمین است.

۱ - مشابه چنین رابطه‌ای برای انرژی پتانسیل کشسانی فنر و انرژی پتانسیل الکتریکی نیز وجود دارد که از اهداف آموزشی این کتاب نیست.



شکل ۳-۷ نیروهای وارد شده به جسمی که به طرف زمین سقوط می‌کند.

## مثال ۳-۸



جسمی به جرم  $1.0 \text{ kg}$  از ارتفاع  $2/0 \text{ m}$  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 ۳-۶ 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،

$$W = (1.0 \text{ kg}) (9/8 \text{ m/s}^2) (1) (2/0 \text{ m}) \approx 2/0 \times 1.0 \text{ J}$$

(ب) با استفاده از رابطه ۳-۶ 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 بسنجیم،  $h_1 = 2/0 \text{ m}$  و  $h_2 = 0^\circ$  می‌شود و بنابراین،

$$W_{\text{وزن}} = -(1.0 \text{ kg}) (9/8 \text{ m/s}^2) (0 - 2/0 \text{ m}) \approx 2/0 \times 1.0 \text{ J}$$

و همان‌طور که می‌بینیم نتیجه دو محاسبه یکسان است.

## تمرین ۳-۱۰

برای جسمی به جرم  $m$  که رو به بالا حرکت می‌کند و از سطح زمین دور می‌شود نشان دهید کار نیروی وزن، همچنان از رابطه ۳-۶ به دست می‌آید. فرض کنید که جسم به اندازه کافی نزدیک به سطح زمین بماند به گونه‌ای که وزن آن ثابت باشد.

**توجه:** انرژی پتانسیل گرانشی، یک ویژگی مشترک جسم و زمین است و برای سامانه‌ای متشکل از این دو، تعریف می‌شود.

بنابراین،  $U = mgh$  را باید انرژی پتانسیل گرانشی سامانه جسم - زمین بخوانیم؛ زیرا اگر زمین ثابت بماند 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  $h = 0^\circ$  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 اختلاف ارتفاع  $h_2 - h_1$  یا بر اختلاف انرژی پتانسیل گرانشی  $U_2 - U_1 = mg(h_2 - h_1)$  ندارد.

کمیتی که در فیزیک اهمیت دارد تغییر انرژی پتانسیل گرانشی ( $\Delta U$ ) بین دو نقطه است نه 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.



شکل زیر، کوه نوردی به جرم  $۷۲/۰\text{kg}$  را نشان می‌دهد که در حال صعود به قله زردکوه بختیاری به ارتفاع  $۴۲۰۰\text{m}$  از سطح آزاد دریاست. تغییر انرژی پتانسیل گرانشی کوه نورد در  $۱۲۰۰$  متری پایان ارتفاع صعود چقدر است؟ مبدأ انرژی پتانسیل گرانشی را (الف) سطح دریا و (ب) قله کوه بگیرید. ( $g = ۹/۸\text{m/s}^2$ )



زردکوه بختیاری، یکی از غنی‌ترین ذخایر طبیعی آب ایران و سرچشمه رودخانه‌های کارون و زاینده‌رود است.

**پاسخ:** اگر مطابق فرض (الف)، مبدأ انرژی پتانسیل گرانشی را در سطح دریا بگیریم، می‌توان نوشت:

$$h_1 = ۳۰۰۰\text{m} \quad \text{و} \quad h_2 = ۴۲۰۰\text{m}$$

$$\Delta U = mg(h_2 - h_1) = (۷۲/۰\text{kg})(۹/۸\text{m/s}^2)(۴۲۰۰\text{m} - ۳۰۰۰\text{m}) \approx ۸/۵ \times ۱۰^۵\text{J}$$

حال اگر مطابق فرض (ب)، مبدأ انرژی پتانسیل گرانشی را در قله کوه فرض کنیم، خواهیم داشت:

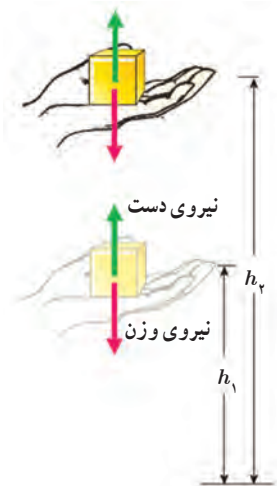
$$h_1 = -۱۲۰۰\text{m} \quad \text{و} \quad h_2 = ۰$$

$$\Delta U = mg(h_2 - h_1) = (۷۲/۰\text{kg})(۹/۸\text{m/s}^2)[۰ - (-۱۲۰۰\text{m})] \approx ۸/۵ \times ۱۰^۵\text{J}$$

همان‌طور که انتظار داشتیم انتقال مبدأ انرژی پتانسیل گرانشی، تأثیری در نتیجه نهایی و فیزیک مسئله ندارد.

$$v_1 = v_2 = 0 \rightarrow \Delta K = 0 \rightarrow W_T = 0$$

جسم ساکنی به جرم  $m$  را مانند شکل روبه‌رو، با دستمان از ارتفاع  $h_1$  به ارتفاع  $h_2$  می‌بریم و دوباره به حالت سکون می‌رسانیم. با چشم‌پوشی از مقاومت هوا، کار نیروی دست را در این جابه‌جایی محاسبه کنید.



$$W_T = W_{\text{دست}} + W_{mg}$$

$$W_{\text{دست}} = mg\Delta h$$



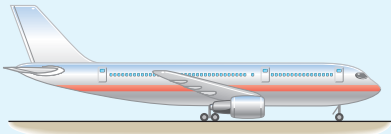
$$u = mgh = 150 \times 10 \times 90 = 135000 \text{ J}$$

$$K = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} \times 150 \times (24)^2 = 43200 \text{ J}$$

$u > K$

$$v = 84 \frac{\text{km}}{\text{h}} \times \frac{10}{36} = 23 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

### تمرین ۳-۱۱

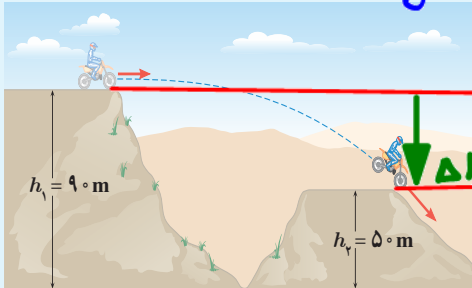


انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل گرانشی (نسبت به زمین) یک هواپیمای مسافربری به جرم  $7/50 \times 10^4 \text{ kg}$  که با تندی  $864 \text{ km/h}$  در ارتفاع  $9/60 \times 10^3 \text{ m}$  حرکت می کند چقدر است؟ مقدار این انرژی ها را با هم مقایسه کنید.

### تمرین ۳-۱۲

$$u_1 = mgh_1 = 150 \times 10 \times 90 = 135000 \text{ J}$$

$$u_2 = mgh_2 = 150 \times 10 \times 50 = 75000 \text{ J}$$



جرم موتور سواری با موتورش  $150 \text{ kg}$  است. این موتورسوار، پرشی مطابق شکل روبه رو انجام می دهد. الف) انرژی پتانسیل گرانشی موتورسوار را روی هر یک از تپه ها حساب کنید ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ ). ب) کار نیروی وزن موتورسوار به همراه موتورش را در این جابه جایی به دست آورید.

$$W_{mg} = +mg\Delta h = 150 \times 10 \times 40 = 60000 \text{ J}$$

### ۵-۳ پایستگی انرژی مکانیکی

شکل ۳-۷ جسمی را در حال سقوط به طرف زمین نشان می دهد. فرض کنید مقاومت هوا در برابر حرکت جسم ناچیز است و تنها نیروی وزن به آن وارد می شود. در قسمتی از مسیر انرژی جنبشی جسم از  $K_1$  به  $K_2$  و انرژی پتانسیل آن از  $U_1$  به  $U_2$  تغییر کرده است. همان طور که دیدیم مطابق رابطه ۳-۶، کار نیروی وزن هنگام جابه جایی از موقعیت ۱ به موقعیت ۲ برابر است با:

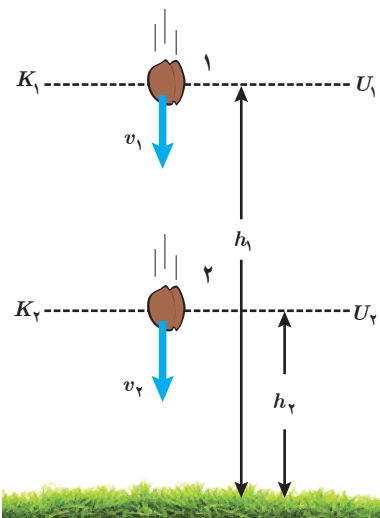
$$W_{\text{وزن}} = -(U_2 - U_1)$$

از آنجا که در طول مسیر تنها نیروی وزن به جسم وارد می شود کار کل انجام شده روی جسم برابر کار نیروی وزن است. به این ترتیب، بنا به قضیه کار-انرژی جنبشی (رابطه ۳-۴) داریم:

$$W_t = W_{\text{وزن}} = K_2 - K_1$$

از مقایسه دو رابطه اخیر می توان نوشت:

$$K_2 - K_1 = -(U_2 - U_1)$$



انرژی مکانیکی (E):

$$E = K + U$$

۱- اصطکاک نداریم.  
 ۲- مقاومت هوا نداریم.  
 ۳- آلف انرژی نداریم.  
 ۴- شرایط خلا باشد.

پایستگی انرژی مکانیکی

$$E_1 = E_2$$

شکل ۳-۷ با نزدیک تر شدن جسم به زمین، انرژی پتانسیل گرانشی کاهش و انرژی جنبشی آن افزایش می یابد.



که می‌توان آن را به صورت زیر نیز بازنویسی کرد:

$$K_1 + U_1 = K_2 + U_2 \quad (7-3)$$

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 ۷-۳ نتیجه می‌شود:

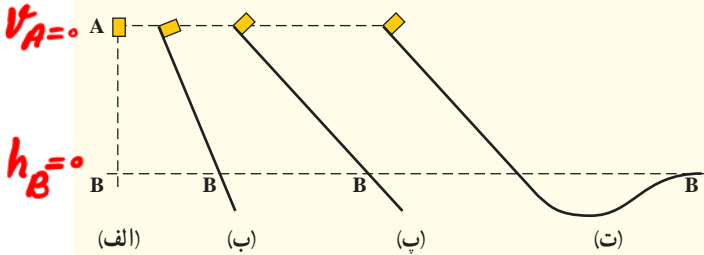
$$E_1 = E_2 \quad (8-3)$$

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 و برای شرایطی که بتوان اثر ناشی از نیروهایی مانند اصطکاک و مقاومت هوا را نادیده گرفت، کاربرد دارد.)

اصل پایستگی انرژی مکانیکی

$$E_A = E_B \rightarrow \cancel{K_A} + \cancel{U_A} = \cancel{K_B} + \cancel{U_B} \rightarrow U_A = U_B \rightarrow mgh_A = \frac{1}{2}mv^2 \rightarrow v = \sqrt{2gh_A}$$

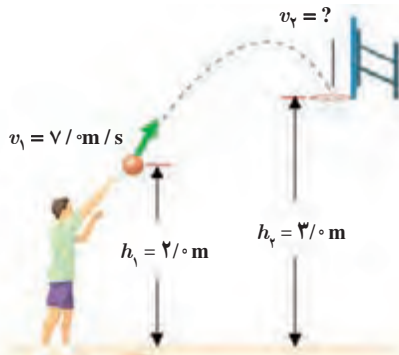
پوشش ۳-۳



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

پس با توجه به یکسان بودن  $g$  و  $h_A$  (ارتفاع اولیه) در تمام حالت‌ها پس تندی آن‌ها در نقطه B برابر است.

مثال ۳-۱۱



شکل روبه‌رو ورزشکاری را در حال یرتاپ توپ بسکتبالی با تندی  $v_1 = 7.0 \text{ m/s}$  به طرف سبد نشان می‌دهد. تندی توپ هنگام رسیدن به دهانه سبد چقدر است؟ مقاومت هوا را هنگام حرکت توپ نادیده بگیرید.

**پاسخ:** چون اثر نیروی مقاومت هوا را در حین حرکت توپ ناچیز فرض کردیم، پایستگی انرژی مکانیکی برقرار است. لذا از رابطه ۷-۳ می‌توان نوشت:

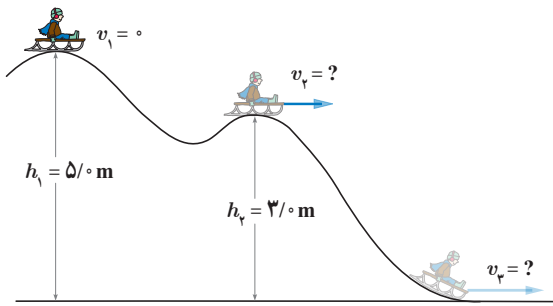
$$K_1 + U_1 = K_2 + U_2 \Rightarrow \frac{1}{2}mv_1^2 + mgh_1 = \frac{1}{2}mv_2^2 + mgh_2$$

با حذف  $m$  از طرفین معادله بالا، و جایگذاری مقادیر داده شده داریم:

$$\frac{1}{2}(7.0 \text{ m/s})^2 + (9.8 \text{ m/s}^2)(2.0 \text{ m}) = \frac{1}{2}v_2^2 + (9.8 \text{ m/s}^2)(3.0 \text{ m})$$

با حل معادله بالا، تندی توپ در دهانه سبد تقریباً برابر  $v_2 = 5.4 \text{ m/s}$  به دست می‌آید.

## مثال ۳-۱۲



سورتمه سواری از ارتفاع  $h_1 = 5.0 \text{ m}$  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، پایداری 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 سورتمه و سورتمه سوار) از طرفین معادله بالا، و جایگذاری مقادیر داده شده داریم:

$$0 + (9.8 \text{ m/s}^2)(5.0 \text{ m}) = \frac{1}{2}v_2^2 + (9.8 \text{ m/s}^2)(3.0 \text{ m}) \Rightarrow v_2 = 6.3 \text{ m/s}$$

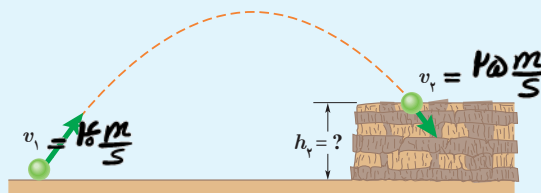
ب) به طور مشابه قسمت قبل، انرژی مکانیکی وضعیت اول و وضعیت سوم سورتمه سوار را مساوی یکدیگر قرار می‌دهیم. در این صورت تندی سورتمه سوار روی زمین برابر  $v_3 = 9.9 \text{ m/s}$  به دست می‌آید. به جای این کار می‌توانستید انرژی مکانیکی وضعیت دوم و وضعیت سوم سورتمه سوار را مساوی یکدیگر قرار دهید.

## تمرین ۳-۱۳

در مثال ۳-۱۱، مبدأ انرژی پتانسیل گرانشی را در ارتفاع  $h_1$  بگیرید و بر این اساس تندی توپ را هنگام رسیدن به دهانه سبد حساب کنید.

## تمرین ۳-۱۴

تویی مطابق شکل از سطح زمین با تندی  $v_1 = 40 \text{ m/s}$  به طرف صخره‌ای پرتاب می‌شود. **پایداری انرژی مکانیکی** اگر توپ با تندی  $v_2 = 25 \text{ m/s}$  به بالای صخره برخورد کند، ارتفاع  $h_2$  را به دست آورید. مقاومت هوا را هنگام حرکت توپ نادیده بگیرید.



$$E_1 = E_2 \rightarrow K_1 + U_1 = K_2 + U_2$$

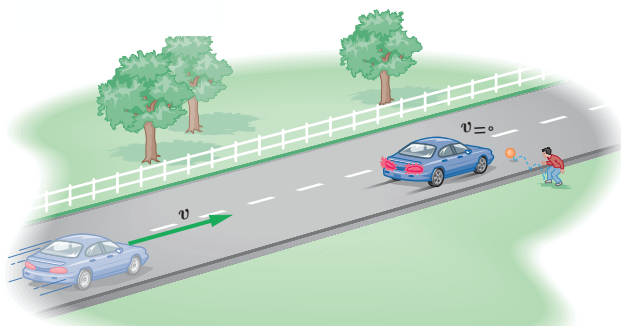
$$\frac{1}{2}mv_1^2 = \frac{1}{2}mv_2^2 + mgh_2$$

$$\frac{1}{2} \times 1600 = \frac{1}{2} \times 425 + 10h_2$$

$$1600 = 312.5 + 10h_2 \rightarrow 487.5 = 10h_2 \rightarrow h_2 = 48.75 \text{ m}$$



### ۶-۳ کار و انرژی درونی



شکل ۳-۸ وقتی خودرویی ترمز می‌گیرد کار نیروهایی که بر خلاف جهت جابه‌جایی خودرو به آن وارد می‌شوند، انرژی جنبشی خودرو را کاهش می‌دهند.

خودرویی را در نظر بگیرید که با تندی  $v$  روی سطح جاده‌ای افقی در حرکت است. ناگهان راننده مانعی را می‌بیند و ترمز می‌کند طوری که چرخ‌های خودرو قفل می‌شوند و روی آسفالت جاده کشیده و ساییده می‌شوند و خط ترمز به وجود می‌آید (شکل ۳-۸). در این فرایند نیروی اصطکاک که برخلاف جهت جابه‌جایی خودرو به آن وارد می‌شود، روی خودرو کار منفی انجام می‌دهد. حال این پرسش مطرح می‌شود که پس از توقف خودرو، انرژی جنبشی آن کجا رفته است؟ برای پاسخ به این پرسش، نوع دیگری انرژی را معرفی می‌کنیم که انرژی درونی نامیده

می‌شود (انرژی درونی یک جسم، مجموع انرژی‌های ذره‌های تشکیل دهنده آن است).

معمولاً با گرم‌تر شدن یک جسم، انرژی درونی آن بالا می‌رود. انرژی درونی یک جسم، هم به تعداد ذرات جسم و هم به انرژی هر ذره بستگی دارد. به طوری که هر چه تعداد ذرات سازنده یک جسم و انرژی هر ذره آن بیشتر باشد، انرژی درونی آن نیز بیشتر است. چون در حین ترمز گرفتن خودرو، لاستیک‌های آن و سطح جاده گرم‌تر شده‌اند، می‌توان نتیجه گرفت که انرژی درونی هر دو افزایش یافته است. در نتیجه می‌توان گفت که در اثر کار نیروی اصطکاک، انرژی جنبشی خودرو به انرژی درونی لاستیک‌های آن و سطح جاده تبدیل شده است.

در این گونه موارد، اصطلاحاً می‌گوییم انرژی تلف شده است. در واقع، همان‌طور که اشاره شد، در این حالت انرژی از بین نرفته است بلکه به انرژی درونی لاستیک‌ها و سطح جاده تبدیل شده است. چون این انرژی را در اغلب موارد و در عمل نمی‌توان دوباره مورد استفاده قرار داد، معمولاً از اصطلاح انرژی تلف شده استفاده می‌شود.

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

پرسش ۳-۴

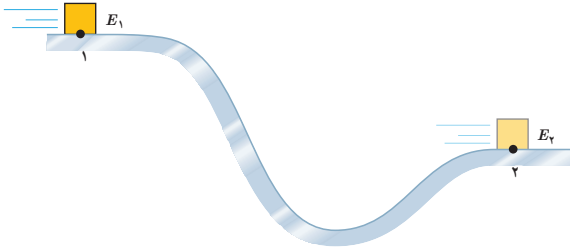


شخصی توپ در حال حرکتی را با دست خود می‌گیرد (شکل روبه‌رو). پس از توقف توپ، انرژی جنبشی آن کجا رفته است؟

شکل ۳-۹ جسمی را نشان می‌دهد که پس از طی مسیری انرژی مکانیکی آن از  $E_1$  به  $E_2$  تغییر کرده است. اگر در طول مسیر نیروهای اصطکاک و مقاومت هوا، به جسم وارد شوند و روی جسم کار منفی انجام دهند، بخشی از انرژی مکانیکی جسم را به انرژی درونی جسم، سطح مسیر و هوا تبدیل می‌کنند. اگر کار انجام شده توسط این نیروها که معمولاً به نیروهای اتلافی نیز شناخته می‌شوند را با  $W_f$  نمایش دهیم در این صورت  $W_f = E_2 - E_1$  است<sup>۱</sup>.

۱- در حالت کلی، به جز نیروهایی مانند نیروی گرانشی (که برای آنها انرژی پتانسیل تعریف می‌شود) و نیروهای اتلافی (نظیر اصطکاک و مقاومت هوا) ممکن است نیروهای دیگری نیز روی جسم کار انجام دهند. کار این نیروها به جمله دیگری در این رابطه می‌انجامد که بررسی آن خارج از برنامه درسی این کتاب است. معمولاً از حرف کوچک  $f$  برای نشان دادن نیروهای اتلافی مانند اصطکاک و مقاومت هوا استفاده می‌شود.

این رابطه نشان می‌دهد با حضور نیروهای اتلافی، انرژی مکانیکی جسم یا سامانه پایسته نمی‌ماند و تغییر می‌کند. همان‌طور که پیش از این نیز اشاره کردیم این کاهش انرژی مکانیکی به صورت افزایش انرژی درونی جسم و محیط اطراف آن (سطح مسیر و هوا) درمی‌آید.



**شکل ۳-۹** وقتی نیروهایی مانند اصطکاک و مقاومت هوا در حین حرکت جسم، روی آن کار انجام دهند انرژی مکانیکی جسم پایسته نیست.

**قانون پایستگی انرژی:** در یک سامانه منزوی، 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 براساس آزمایش‌های بسیاری بنا شده است قانون پایستگی انرژی نامیده می‌شود و تاکنون هیچ مورد استثنایی برای آن یافت نشده است.



یولیوس فون مایر  
(۱۸۷۸-۱۸۱۴م)

قانون پایستگی انرژی بیانی از ثبات در طبیعت است. انرژی کل، کمیته است که پایسته می‌ماند؛ درحالی که کمیت‌های دیگر می‌توانند تغییر کنند. اولین اظهار نظر درباره اینک قانون پایستگی انرژی در طبیعت حاکم است، در اواسط قرن نوزدهم میلادی مطرح شد. مایر در آلمان و ژول در انگلستان، اظهار نظر کردند که گرما و انرژی مکانیکی هم‌ارز یکدیگرند؛ یعنی می‌توانند به یکدیگر تبدیل شوند و مجموع آنها ثابت بماند. قانون پایستگی انرژی مایر و ژول، دو شاخه مهم فیزیک، به نام ترمودینامیک و مکانیک را وحدت بخشید.



جیمز پریسکات ژول  
(۱۸۸۹-۱۸۱۸م)

### مثال ۳-۱۳ **سخت‌گیر ۴۷:** بسته سرعت اولیه‌ی بالون را به‌دات صبر برد.



از بالونی که در ارتفاع  $50\text{ m}$  متری سطح زمین و با تندی  $4\text{ m/s}$  در پرواز است، بسته‌ای به جرم  $3\text{ kg}$  رها می‌شود و با تندی  $25\text{ m/s}$  به زمین برخورد می‌کند. کار انجام شده توسط نیروی مقاومت هوا بر روی بسته را از لحظه رها شدن تا هنگام رسیدن به زمین حساب کنید.

**پاسخ:** ابتدا انرژی مکانیکی بسته را در لحظه رها شدن و هنگام برخورد به زمین حساب می‌کنیم. اگر مبدأ انرژی پتانسیل گرانشی را سطح زمین فرض می‌کنیم، داریم:

$$E_1 = K_1 + U_1 = \frac{1}{2}mv_1^2 + mgh_1$$

$$= \frac{1}{2}(3\text{ kg})(4\text{ m/s})^2 + (3\text{ kg})(9.8\text{ m/s}^2)(50\text{ m}) = 1494\text{ J} \approx 1.5 \times 10^4\text{ J}$$

$$E_2 = K_2 + U_2 = \frac{1}{2}mv_2^2 + mgh_2$$

$$= \frac{1}{2}(3\text{ kg})(25\text{ m/s})^2 + 0 = 937.5\text{ J} \approx 9.4 \times 10^2\text{ J}$$

با جایگذاری مقادیر انرژی مکانیکی بسته در رابطه  $E_2 - E_1 = W_f$ ، کار انجام شده توسط نیروی مقاومت هوا بر روی بسته برابر است با:

$$W_f = E_2 - E_1 = 937.5\text{ J} - 1494\text{ J} = -556.5\text{ J} \approx -5.6 \times 10^2\text{ J}$$

۱- به سامانه‌ای که نه از محیط اطراف انرژی بگیرد و نه به محیط اطراف انرژی دهد، سامانه منزوی گفته می‌شود.





$$W_f = F \cdot v - K_1 + U_1 \rightarrow -0.12 K_1 = K_2 - K_1 \rightarrow 0.18 K_1 = K_2 \rightarrow 0.18 \times \frac{1}{2} m v_1^2 = \frac{1}{2} m v_2^2 \rightarrow v_2 = v_1 \frac{m}{5}$$

### تمرین ۳-۱۵



توبی به جرم  $0.45 \text{ kg}$  با تندی  $v_1 = 8 \text{ m/s}$  از نقطه A می‌گذرد (شکل روبه‌رو). نیروی مقاومت هوا و نیروی اصطکاک در سطح تماس توپ با زمین،  $20\%$  درصد انرژی جنبشی اولیه توپ را تا رسیدن به نقطه B تلف می‌کنند. تندی توپ را در این نقطه به دست آورید.

$$W_f = -0.12 K_1$$

### ۳-۷ توان

در علوم نهم با برخی از ماشین‌های ساده آشنا شدید. 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 از یک جاده کوهستانی بالا رود. در صورتی که برای بيمودن همین مسیر توسط خودرویی مشابه، ولی با موتور ضعیف‌تر، زمان طولانی‌تری لازم است.

### توان

در اغلب موارد لازم است بدانیم در چه مدت زمانی می‌توان کار معینی را انجام داد (در فیزیک، آهنگ انجام کار را با کمیتی به نام توان توصیف می‌کنیم). هرچند در گفت و گوهای روزمره، معمولاً واژه توان را با واژه‌های انرژی یا نیرو مترادف می‌گیرند، اما این کمیت در فیزیک تعریف دقیقی دارد. توان، همانند کار و انرژی، کمیتی است نرده‌ای و به صورت آهنگ انجام کار بیان می‌شود. هنگامی که کار  $W$  در بازه زمانی  $\Delta t$  انجام می‌شود، کار انجام شده در واحد زمان یا توان متوسط  $P_{av}$  به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$P_{av} = \frac{W}{\Delta t} \quad (9-3)$$

یکای SI توان، وات ( $W$ ) است که به احترام جیمز وات مخترع انگلیسی نام‌گذاری شده است. مطابق تعریف توان (رابطه ۳-۹)، یک وات برابر است با یک ژول بر ثانیه ( $1W = 1J/s$ ). استفاده از یکاهای بزرگ‌تر توان، مانند کیلووات ( $kW$ ) و مگاوات ( $MW$ ) نیز متداول است. یکای قدیمی توان، به نام اسب بخار ( $1hp = 746W$ ) هنوز نیز استفاده می‌شود. این یکا نخستین بار توسط وات برای ارزیابی توان خروجی اختراع جدیدش، ماشین بخار، معرفی شد. توان موتور بیشتر وسایل نقلیه با این یکا بیان می‌شود.

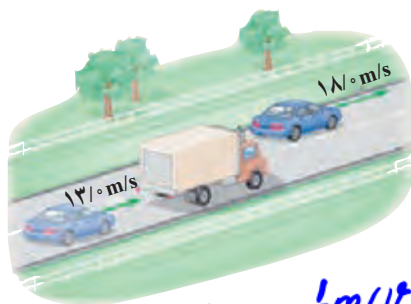
### مثال ۳-۱۴

شکل روبه‌رو خودرویی به جرم  $1300 \text{ kg}$  را نشان می‌دهد که برای سبقت گرفتن از کامیونی، در مسیری افقی و در مدت  $3 \text{ s}$  تندی خود را از  $v_1 = 13 \text{ m/s}$  به  $v_2 = 18 \text{ m/s}$  تغییر داده است. توان متوسط موتور خودرو برای انجام این کار، دست کم چقدر باید باشد؟ نیروهای اتلافی را نادیده بگیرید.

$$P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{\frac{1}{2} m (v_2^2 - v_1^2)}{\Delta t} = \frac{\frac{1}{2} \times 1300 \times (324 - 169)}{3} = 34000 \text{ W} = 45 \text{ kW}$$



جیمزوات (۱۸۱۹-۱۷۳۶م) مخترع و مهندس اسکاتلندی، فعالیت حرفه‌ای خود را با اصلاح و تکمیل ماشین بخار نیوکمن آغاز کرد. پس از آن در سال ۱۷۶۹ میلادی، ماشین بخار دیگری طراحی کرد که نسبت به ماشین‌های بخار موجود، بازده و سرعت عمل بیشتری داشت. اختراع جدید وات، مورد استقبال زیادی قرار گرفت به طوری که ظرف چند سال پس از اختراع وی، حدود ۵۰۰ دستگاه از آن، در سراسر انگلستان مورد استفاده قرار گرفت. مقدار اسب بخار ( $1hp = 746W$ ) از آزمایش‌هایی به دست آمده که توسط وات انجام شده است. نتیجه این آزمایش‌ها این بود که یک اسب می‌تواند در بالا بردن زغال‌سنگ از معدن در هر دقیقه  $33000$  فوت - پوند ( $ft-lbs$ ) کار انجام دهد. هر فوت - پوند تقریباً معادل  $1/36$  ژول است.





توان مفید در یک نگاه:

فقط سرعت تغییر کند.

$$P = \frac{\frac{1}{2}m(v_f^2 - v_i^2)}{\Delta t}$$

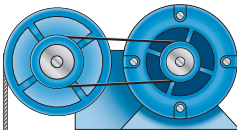
فقط ارتفاع تغییر کند.

$$P = \frac{mg\Delta h}{\Delta t}$$

هم سرعت و هم ارتفاع تغییر کند.

$$P = \frac{\frac{1}{2}m(v_f^2 - v_i^2) + mg\Delta h}{\Delta t}$$

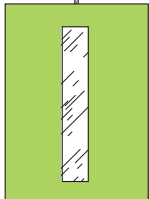
مثال ۳-۱۵



موتور بالابر

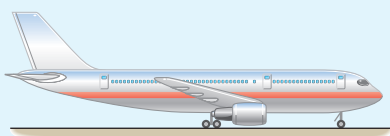
جرم اتاقک بالابری به همراه بار آن  $500 \text{ kg}$  است (شکل روبه‌رو). اگر این بالابر در مدت  $10 \text{ s}$  از طبقه همکف به طبقه دوم در ارتفاع  $6 \text{ m}$  برود، توان متوسط موتور این بالابر چند اسب بخار است؟ نیروهای اتلافی را نادیده بگیرید.

$$P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{mg\Delta h}{\Delta t} = \frac{500 \times 10 \times 6}{10} = 3000 \text{ W} = 4 \text{ hp}$$



اتاقک بالابر

تمرین ۳-۱۶



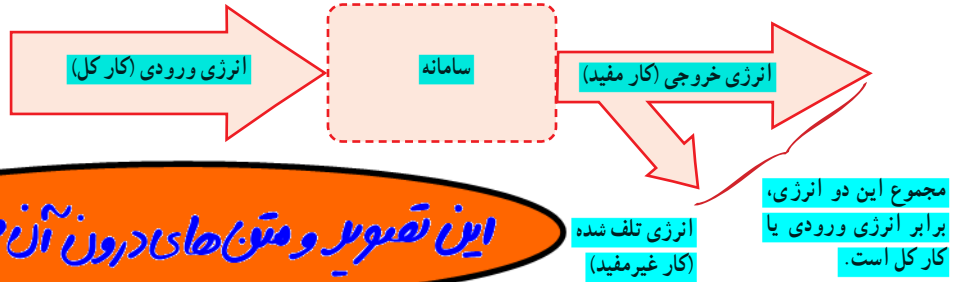
هر یک از دو موتور جت یک هواپیمای مسافربری، پشیرانه‌ای (نیروی جلویی هواپیمای) برابر  $2 \times 10^5 \text{ N}$  ایجاد می‌کند. اگر هواپیما در هر دقیقه  $15 \text{ km}$  در امتداد این نیرو حرکت کند، توان متوسط هر یک از موتورهای هواپیما چند اسب بخار است؟

$$P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{F d \cos \theta}{\Delta t} = \frac{2 \times 10^5 \times 15 \times 1}{40} = 75000 \text{ W}$$



**بازده:** در هر سامانه تنها بخشی از انرژی ورودی (انرژی مصرفی سامانه) به انرژی موردنظر ما تبدیل می‌شود. برای مثال، وقتی موتور بالابری کار می‌کند بخشی از انرژی الکتریکی ورودی به کار مکانیکی تبدیل می‌شود و اتا‌فک بالابر را جابه‌جا می‌کند. بخش دیگری از انرژی الکتریکی ورودی به صورت انرژی‌های ناخواسته‌ای مانند گرم‌تر شدن اجزای موتور و کابل بالابر در می‌آید. شکل ۱۰-۳ طرح واره‌ای است که این نوع تبدیل انرژی‌ها در سامانه را نشان می‌دهد.

**شکل ۱۰-۳** همواره بخشی از انرژی ورودی به سامانه، به انرژی تلف شده یا کار غیرمفید تبدیل می‌شود.

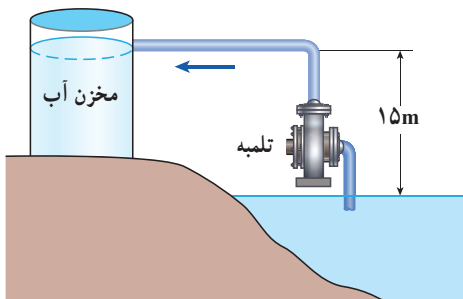


همان‌طور که طرح واره شکل ۱۰-۳ نشان می‌دهد تنها بخشی از انرژی ورودی قابل استفاده است که به آن انرژی خروجی یا کار مفید می‌گویند. نسبت انرژی خروجی به انرژی ورودی را بازده می‌نامیم. معمولاً بازده هر سامانه را برحسب درصد بیان می‌کنند، که همواره عددی کوچک‌تر از ۱۰۰ است. با توجه به تعریف بازده، از رابطه زیر می‌توان درصد بازده هر سامانه را به سادگی محاسبه کرد.

**توان خروجی = توان مفید**

$$(۱۰-۳) \quad \text{انرژی خروجی} \times ۱۰۰ = \frac{\text{انرژی ورودی}}{\text{انرژی خروجی}} = \text{بازده برحسب درصد}$$

**توان ورودی = توان کل = توان مصرفی = توان**



**مثال ۱۶-۳**  
 تلمبه‌ای با توان ورودی ۱۵kW در هر ثانیه ۷۰ لیتر آب دریاچه‌ای به چگالی  $۱۰۰۰ \text{ kg/m}^3$  را مطابق شکل روبه‌رو تا ارتفاع ۱۵ متری مخزنی می‌فرستد. بازده تلمبه چند درصد است؟

$$P_{\text{مفید}} = \frac{W}{\Delta t} = \frac{mgh}{\Delta t} = \frac{70 \times 10 \times 15}{1} = 10500 \text{ W}$$

$$\text{بازده} = \frac{P_{\text{مفید}}}{P_{\text{کل}}} \times 100 = \frac{10500}{15000} \times 100 = 70 \text{ درصد}$$

**نکته:** هر یک لیتر آب معادل یک کیلوگرم آب است.



$$P_{\text{مفید}} = \frac{P_{\text{مفید}}}{P_{\text{کل}}} \times 100 \rightarrow 85 = \frac{P_{\text{کل}}}{P_{\text{مفید}}} \times 100 \rightarrow P_{\text{کل}} \approx 1,176 \times 10^6 \text{ W}$$

$$P_{\text{کل}} = \frac{mgh}{\Delta t} \rightarrow 1,176 \times 10^6 = \frac{m \times 10 \times 90}{18} \rightarrow m = 24 \times 10^6 \text{ kg} \rightarrow \rho = \frac{m}{V} \rightarrow 1000 = \frac{24 \times 10^6}{V} \rightarrow V = 24 \times 10^3 \text{ m}^3$$



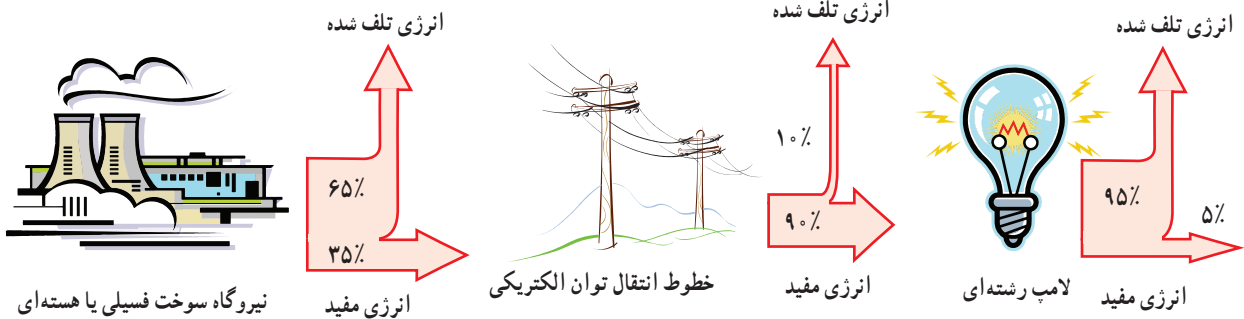
آب ذخیره شده در پشت سد یک نیروگاه برق آبی، از مسیری مطابق شکل روی پره های توربینی می ریزد و آن را می چرخاند. با چرخش توربین، مولد می چرخد و انرژی الکتریکی تولید می شود (شکل روبه رو). اگر ۸۵ درصد کار نیروی گرانش به انرژی الکتریکی تبدیل شود، در هر ثانیه چند متر مکعب آب باید روی توربین بریزد تا توان الکتریکی خروجی مولد نیروگاه به ۲۰۰ MW برسد؟ جرم هر متر مکعب آب را ۱۰۰۰ kg در نظر بگیرید.

**مفید P**

### فعالیت ۱-۳

شکل زیر طرح واره ای از درصد انرژی مفید و انرژی تلف شده در یک نیروگاه سوخت فسیلی یا هسته ای را از آغاز تا مصرف در یک لامپ رشته ای نشان می دهد.

الف) یک نیروگاه سوخت فسیلی را در نظر بگیرید که با مصرف گازوئیل، انرژی الکتریکی تولید می کند. با سوختن هر لیتر گازوئیل حدود ۳۵ مگاژول انرژی گرمایی تولید می شود. برای اینکه یک لامپ رشته ای ۱۰۰ واتی در طول یک ماه به مدت ۱۸۰ ساعت روشن بماند (به طور میانگین هر شبانه روز ۶ ساعت)، چقدر گازوئیل باید در نیروگاه مصرف شود؟  
 ب) با توجه به نتیجه قسمت الف، درک خود از هشدار معروف «لامپ اضافی خاموش!» را بیان کنید.  
 پ) اگر در سراسر ایران، هر خانه در طول یک ماه، معادل انرژی الکتریکی مصرف شده در قسمت الف، صرفه جویی کند، مقدار گازوئیل صرفه جویی شده را محاسبه کنید.



$$\Delta t = 180 \text{ h} = 180 \times 3600 \text{ s}$$

الف، مقدار انرژی لازم برای یک لامپ رشته ای ۱۰۰ وات

$$P = \frac{W}{\Delta t} \rightarrow 100 = \frac{W}{180 \times 3600} \rightarrow W = 7,148 \times 10^7 \text{ J}$$

مقدار انرژی حاصل از سوختن هر لیتر گازوئیل

$$\frac{35}{100} \times \frac{90}{100} \times x = 7,148 \times 10^7 \rightarrow x \approx 2 \times 10^8 \text{ J} \times \frac{1 \text{ L}}{35 \times 10^6 \text{ J}} \approx 518 \text{ L}$$



بـ تلفات خیلی زیاد انرژی در مسیر تولید تا مصرف، مصرف ۴ لیتر گازوئیل برای روشن نگه داشتن هر لامپ رشته‌ای در ماه ۶ بهره‌گیری از انرژی تجدیدناپذیر سوخت‌های فسیلی و همچنین آلودگی زیاد ناشی از مصرف این سوخت‌ها این هشدار را کاملاً جدی می‌سازد.

۳-۱ انرژی جنبشی

۱ تقریباً بیشتر شهاب‌سنگ‌هایی که وارد جو زمین می‌شوند به دلیل اصطکاک زیاد با ذرات تشکیل دهنده جو، به دمایی بالایی می‌رسند و می‌سوزند. شکل زیر شهاب‌سنگی به جرم  $10^5 \text{ kg}$  را نشان می‌دهد که با تندی  $4 \times 10^3 \text{ km/s}$  وارد جو زمین شده است. انرژی جنبشی این شهاب‌سنگ را به دست آورید. این انرژی را با انرژی جنبشی یک هواپیمای مسافربری به جرم  $10^4 \text{ kg}$  که با تندی  $7/2 \times 10^2 \text{ m/s}$  در حرکت است مقایسه کنید.



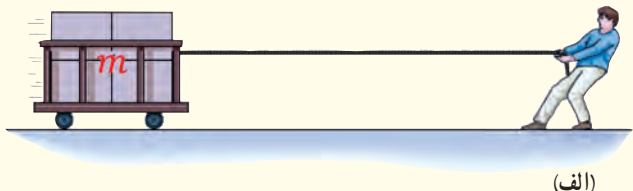
۲ حدود ۵۰۰۰۰ سال پیش شهاب سنگی در نزدیک آریزونا آمریکا به زمین برخورد کرده و چاله‌ای بزرگ از خود به جای گذاشته است (شکل زیر). با اندازه‌گیری‌های جدید (۲۰۰۵ میلادی) برآورد شده است که جرم این شهاب‌سنگ حدود  $10^8 \text{ kg}$  بوده و با تندی  $12 \times 10^3 \text{ km/s}$  به زمین برخورد کرده است.

انرژی جنبشی این شهاب سنگ هنگام برخورد به زمین چقدر بوده است؟  
(خوب است بدانید انرژی آزاد شده توسط هر تن TNT تقریباً برابر  $10^9 \text{ J}$  است.)



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

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

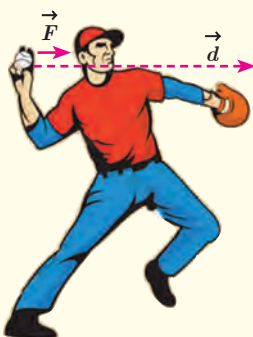


(الف)



(ب)

۴ ورزشکاری سعی می‌کند توپ بیسبالی به جرم  $150 \text{ g}$  را با بیشترین تندی ممکن پرتاب کند. به این منظور، ورزشکار نیرویی به بزرگی  $F = 750 \text{ N}$  تا لحظه پرتاب توپ و در امتداد جابه‌جایی  $d = 1/5 \text{ m}$  بر آن وارد می‌کند (شکل زیر). با چشم‌پوشی از مقاومت هوا، تندی توپ هنگام جدا شدن از دست ورزشکار چقدر است؟



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

۶ برای آنکه نیروی خالصی، بتواند تندی جسم را از صفر به  $v$  برساند باید مقدار کار  $W$  را روی آن انجام دهد. اگر قرار باشد تندی این جسم از صفر به  $3v$  برسد کاری که روی جسم باید انجام شود چند برابر  $W$  است؟

جواب ۱:

شهاب سنگ  $\left\{ \begin{array}{l} m = 14 \times 10^4 \text{ kg} \\ v = 4000 \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{array} \right. \rightarrow K = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} \times 14 \times 10^4 \times (4000)^2 = 112 \times 10^8 \text{ J}$

هوایما  $\left\{ \begin{array}{l} m = 72 \times 10^3 \text{ kg} \\ v = 250 \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{array} \right. \rightarrow K = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} \times 72 \times 10^3 \times (250)^2 = 225 \times 10^6 \text{ J}$

$\frac{K_{\text{شهاب سنگ}}}{K_{\text{هوایما}}} \approx 498$

$K = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} \times 14 \times 10^4 \times (12 \times 10^3) = 1008 \times 10^{13} \text{ J} \times \frac{\text{TNT} \overset{\circ}{\text{ج}}}{42 \times 10^8 \text{ J}} = 24 \times 10^5 \text{ TNT} \overset{\circ}{\text{تن}}$  جواب ۲:

$w_{\text{تلا}} = \frac{1}{2} m (v^2 - 0) = \frac{1}{2} m v^2$  جواب ۳:

$w_{\text{ت}} = \frac{1}{2} 2m (v^2 - 0) = m v^2$

$w_{\text{تلا}} = \frac{1}{2} w_{\text{ت}}$

$m = 0.15 \text{ kg}, F = 75 \text{ N}, d = 1.5 \text{ m}, v_1 = 0, v_2 = ?$  جواب ۴:

$w_T = \Delta K \rightarrow \frac{F d \cos \theta}{F} = \frac{1}{2} m (v_2^2 - v_1^2) \rightarrow 75 \times 1.5 \times 1 = \frac{1}{2} \times 0.15 \times (v_2^2) \rightarrow v_2 = 38.172 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

جواب ۵: بله، هرگاه تندی کاهش پیدا کند  $\Delta K$  است و چون  $w_T = \Delta K$  پس  $w_T < 0$

$w = \frac{1}{2} m (v^2 - 0) = \frac{1}{2} m v^2$  و  $w_{\text{ت}} = \frac{1}{2} m (9v^2 - 0) = \frac{9}{2} m v^2 = 9w$  جواب ۶:



### ۳-۴ کار و انرژی پتانسیل

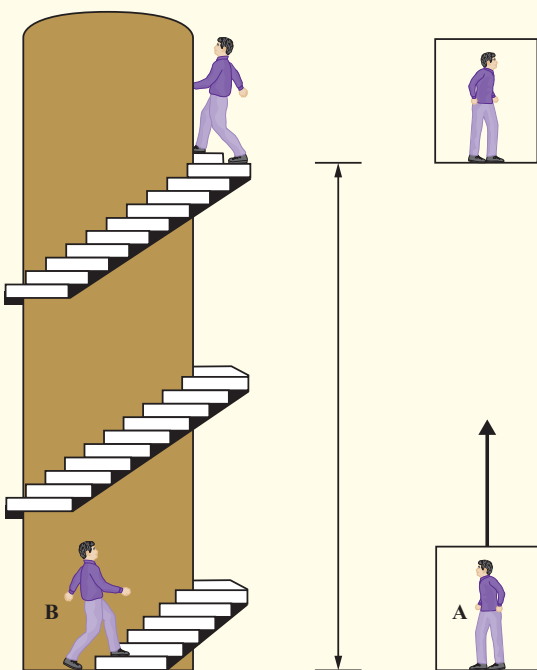
۱۵ آیا انرژی جنبشی یک جسم می‌تواند منفی باشد؟ انرژی پتانسیل گرانشی یک سامانه چگونه؟ توضیح دهید.

۱۱ دو شخص هم جرم  $A$  و  $B$  به طبقه سوم ساختمانی می‌روند. شخص  $A$  با آسان‌تر (آسانسور) و شخص  $B$  به آرامی از پله‌های ساختمان بالا می‌روند. گزاره‌های درست را با ذکر دلیل مشخص کنید.

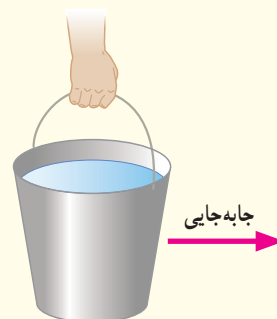
الف) در طبقه سوم، انرژی پتانسیل گرانشی (نسبت به زمین) شخص  $A$  از شخص  $B$  کمتر است، زیرا آرام‌تر بالا رفته است.

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

پ) کار نیروی وزن برای هر دو شخص در طول مسیر یکسان است.  
ت) انرژی پتانسیل گرانشی هر دو شخص در طبقه سوم ساختمان یکسان است.



۷ اگر مطابق شکل زیر سطحی را در دست نگه دارید، آیا نیروی دست شما هنگامی که با تندی ثابت در مسیر افقی قدم می‌زنید روی سطح کاری انجام می‌دهد؟ اگر تندی حرکت شما در طول مسیر کم و زیاد شود چگونه؟ پاسخ خود را در هر مورد توضیح دهید. از مقاومت هوا در مقابل حرکت سطح، چشم‌پوشی کنید.

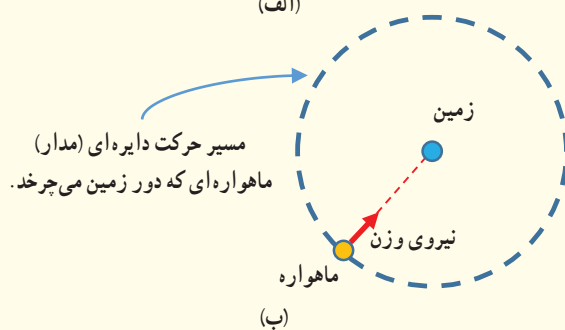


۸ شخصی گلوله‌ای برفی به جرم  $15\text{g}$  را از روی زمین برمی‌دارد و تا ارتفاع  $180\text{cm}$  از سطح زمین بالا می‌برد و سپس در همان ارتفاع آن را با تندی  $12\text{m/s}$  پرتاب می‌کند. کار انجام شده توسط شخص روی گلوله برف چقدر است؟

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



(الف)



(ب)



جواب ۷: خیر، زیرا نیروی دست ما بر جابجایی عمود است.

در حالتی که تندی تغییر کند، چون زاویه‌ی نیروی دست ما با راستای جابجایی عمود نمی‌ماند. بنابراین کار انجام خواهد شد.

جواب ۸:  $w_{\text{شخص}} = ?$  و  $v_1 = 0$  و  $v_2 = 12 \frac{m}{s}$  و  $m = 0.15 kg$  و  $\Delta h = 1.8 m$

$$w_{mg} = -mg\Delta h = -0.15 \times 10 \times 1.8 = -2.7 \text{ J} \quad \text{و} \quad w_T = \frac{1}{2} m (v_2^2 - v_1^2) = \frac{1}{2} \times 0.15 (144) = 10.8 \text{ J}$$

$$w_T = w_{mg} + w_{\text{شخص}} \rightarrow 10.8 = -2.7 + w_{\text{شخص}} \rightarrow w_{\text{شخص}} = 13.5 \text{ J}$$

جواب ۹: چون این نیرو بر مسیر حرکت ماهواره همیشه عمود است، بنابراین کاری که روی ماهواره انجام می‌دهد. بنابراین انرژی جنبشی ماهواره ثابت می‌ماند.

جواب ۱۰: انرژی جنبشی جسم همیشه نامنفی است. اما انرژی پتانسیل گرانشی یک سامانه، نسبت به مبدا در نظر می‌گیریم بستگی دارد و می‌تواند مثبت، منفی و صفر باشد.

جواب ۱۱:

الف) نادرست. انرژی پتانسیل گرانشی (نسبت به زمین) برای دو شخص هم جرم، فقط با ارتفاع از مبدا در نظر گرفته شده بستگی دارد.

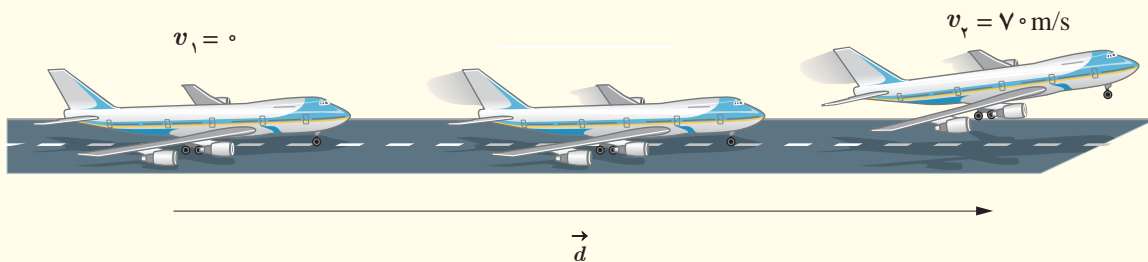
ب) نادرست

پ) درست

ت) درست



۱۲) شکل زیر هواپیمایی به جرم  $10^4 \text{ kg}$  را نشان می‌دهد که از حال سکون شروع به حرکت می‌کند و پس از  $2050 \text{ m}$  جابه‌جایی در امتداد باند هواپیما، به تندی برخاستن  $v_p = 70 \text{ m/s}$  می‌رسد.  
الف) کار کل نیروهای وارد بر هواپیما را در این جابه‌جایی حساب کنید.  
ب) یک دقیقه پس از برخاستن، هواپیما تا ارتفاع  $560 \text{ m}$  از سطح زمین اوج می‌گیرد و تندی آن به  $140 \text{ m/s}$  می‌رسد. در این مدت، کار نیروی وزن چقدر است؟  
پ) به جز نیروی وزن، چه نیروهای دیگری بر هواپیما اثر می‌کند (با این نیروها در علوم سال ششم آشنا شدید)؟ کار کدام یک از این نیروها مثبت و کار کدام یک از آنها منفی است؟

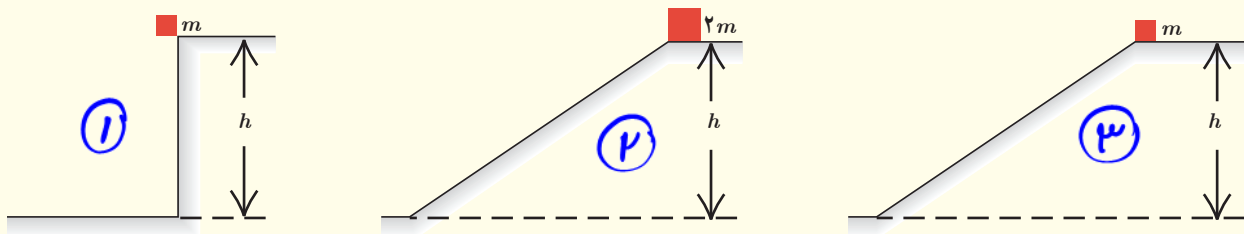


در کدام حالت، جسم

الف) بیشترین تندی را هنگام رسیدن به سطح افقی دارد؟  
ب) تا هنگام رسیدن به پایین مسیر، بیشترین مقدار کار نیروی وزن روی آن انجام شده است؟

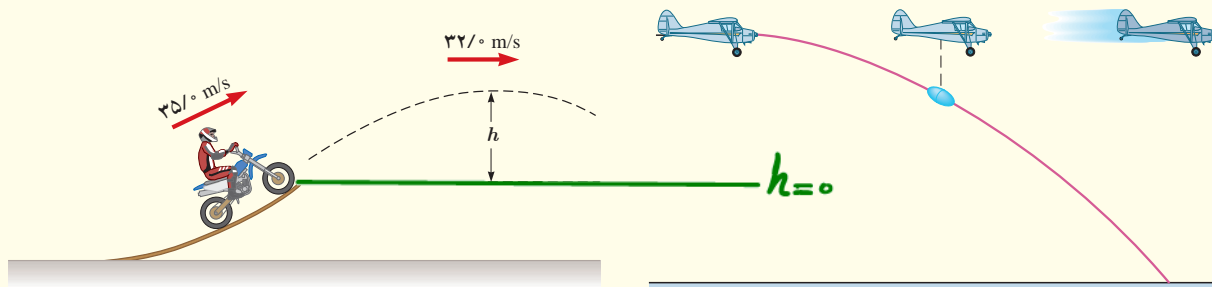
۳-۵ و ۳-۶ پایستگی انرژی مکانیکی و کار و انرژی درونی

۱۳) در سه شکل زیر اجسامی از حالت سکون و ارتفاع  $h$  نسبت به سطح افق رها می‌شوند و نیروی اصطکاک و مقاومت هوا بر آنها وارد نمی‌شود.



۱۵) موتورسواری از انتهای سکویی مطابق شکل زیر، پرشی را با تندی  $35 \text{ m/s}$  انجام می‌دهد. اگر تندی موتورسوار در بالاترین نقطهٔ مسیرش به  $32 \text{ m/s}$  برسد، ارتفاع  $h$  را پیدا کنید. اصطکاک و مقاومت هوا را در طول مسیر حرکت موتورسوار نادیده بگیرید.

۱۴) در شکل زیر هواپیمایی که در ارتفاع  $30 \text{ m}$  از سطح زمین و با تندی  $50 \text{ m/s}$  پرواز می‌کند، بسته‌ای را برای کمک به آسیب‌دیدگان زلزله رها می‌کند. تندی بسته هنگام برخورد به زمین چقدر است؟ از تأثیر مقاومت هوا روی حرکت بسته چشم‌پوشی کنید.



$$m = 172 \dots \text{kg} \text{ و } v_1 = 0 \text{ و } v_2 = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}} \text{ و } \Delta h = 540 \text{m}$$

جواب ۱۲:

$$\text{الف) } W_T = \frac{1}{\rho} m (v_2^2 - v_1^2) = \frac{1}{\rho} \times 172 \dots \times (100 - 0) = 172 \times 10^4 \text{ J}$$

$$\rightarrow W_{mg} = -mg \Delta h = -172 \dots \times 10 \times 540 = -395 \times 10^4 \text{ J}$$

پ) کار نیروی جاذبه مثبت و کار نیروی مقاومت هوا منفی است.

$$E_1 = E_2 \rightarrow \cancel{K_1} + U_1 = K_2 + \cancel{U_2} \rightarrow mgh = \frac{1}{\rho} m v_2^2 \rightarrow v_2 = \sqrt{\rho gh}$$

جواب ۱۳: الف)

چون جسم‌ها از ارتفاع اولیه هر سه جسم یکسان است، پس تندی آن‌ها هنگام رسیدن به سطح افقی برابر است.

$$W_{mg_1} = mgh \text{ و } W_{mg_2} = 2mgh \text{ و } W_{mg_3} = mgh \text{ . پس کار نیروی وزن در حالت ۲ بیشترین است.}$$

$$E_1 = E_2 \rightarrow K_1 + U_1 = K_2 + \cancel{U_2} \rightarrow \frac{1}{\rho} m v_1^2 + mgh_1 = \frac{1}{\rho} m v_2^2$$

جواب ۱۴:

$$\frac{1}{\rho} \times 2000 + 10 \times 100 = \frac{1}{\rho} \times v_2^2 \rightarrow v_2 = 92,1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$E_1 = E_2 \rightarrow K_1 + \cancel{U_1} = K_2 + U_2 \rightarrow \frac{1}{\rho} m v_1^2 = \frac{1}{\rho} m v_2^2 + mgh$$

جواب ۱۵:

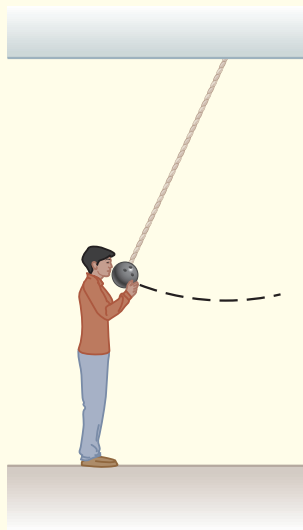
$$\frac{1}{\rho} \times 140^2 = \frac{1}{\rho} \times 12^2 + 10h \rightarrow h = 1050 \text{m}$$



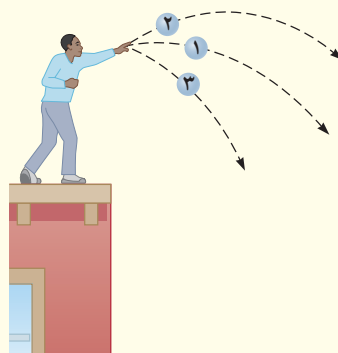
۱۹ شکل زیر گلوله‌ای را نشان می‌دهد که از سقف کلاسی آویزان شده و دانش‌آموزی آن را از وضعیت تعادل خارج کرده و در برابر نوک بینی خود گرفته است.

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

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



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



۱۷ گلوله‌ای به جرم  $50\text{g}$  از دهانه تفنگی با تندی  $1/5\text{km/s}$  و ارتفاع  $1/6\text{m}$  از سطح زمین شلیک می‌شود. اگر گلوله با تندی  $4/5\text{km/s}$  به زمین برخورد کند،

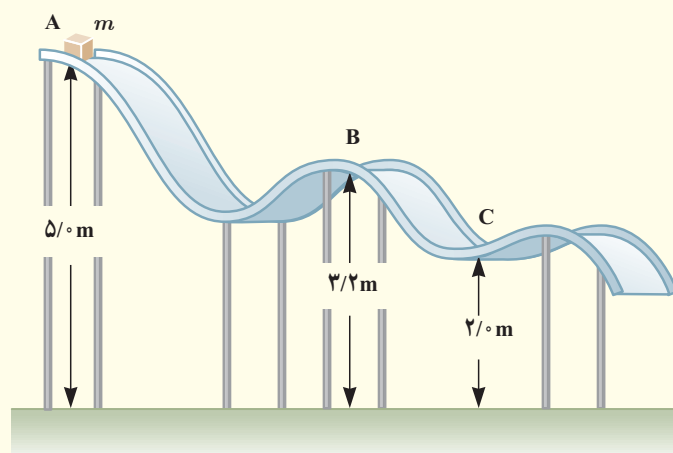
الف) در مدت حرکت گلوله کار نیروی مقاومت هوا چقدر است؟

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

۱۸ جسمی به جرم  $m = 12\text{kg}$  در نقطه A از حالت سکون رها می‌شود و در مسیری بدون اصطکاک سر می‌خورد (شکل زیر). تعیین کنید:

الف) تندی جسم را در نقطه B

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



### ۳-۷ توان

۲۰ بالابری با تندی ثابت، باری به جرم  $650\text{kg}$  را در مدت  $3/0$  دقیقه تا ارتفاع  $75\text{m}$  بالا می‌برد. اگر جرم بالابر  $320\text{kg}$  باشد، توان متوسط مفید موتور آن چند وات و چند اسب بخار است؟

۲۱ شخصی به جرم  $72\text{kg}$ ، در مدت زمان  $90\text{s}$  از تعداد  $50$  پله بالا می‌رود. توان متوسط مفید او چند وات است؟ ارتفاع هر پله را  $30\text{cm}$  فرض کنید.

۲۲ سالانه نزدیک به  $125$  میلیارد لیتر مواد و فرآورده‌های نفتی از طریق حدود  $14000\text{km}$  خطوط لوله در نقاط مختلف کشور توزیع می‌شود. این خطوط در طول مسیر خود از مراکز انتقال متعددی می‌گذرند تا توان لازم را برای ادامه راه به دست

$$E_1 = E_2 \rightarrow K_1 + u_1 = K_2 + u_2 \rightarrow \frac{1}{2} m v_1^2 + mgh = \frac{1}{2} m v_2^2 \rightarrow v_2 = \sqrt{2gh + v_1^2} \quad \text{جواب ۱۶:}$$

باتوجه به یکسان بودن ارتفاع و تندی اولیه هر سه حالت، تندی آن‌ها در هنگام برخورد به زمین یکسان است.

باتوجه به یکسان بودن جرم و تندی هر سه حالت، انرژی جنبشی آن‌ها هنگام برخورد به زمین برابر است.  $K = \frac{1}{2} m v^2$

$$m = 5 \times 10^{-2} \text{ kg}, \quad v_1 = 1500 \frac{\text{m}}{\text{s}}, \quad \Delta h = 1.4 \text{ m}, \quad v_2 = 450 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad \text{جواب ۱۷:}$$

$$\begin{aligned} \text{الف) } E_1 = K_1 + u_1 &= \frac{1}{2} m v_1^2 + mgh_1 = \frac{1}{2} \times 5 \times 10^{-2} \times (1500)^2 + 5 \times 10^{-2} \times 10 \times 1.4 = 54250.1 \text{ J} \\ E_2 = K_2 + u_2 &= \frac{1}{2} m v_2^2 = \frac{1}{2} \times 5 \times 10^{-2} \times (450)^2 = 5042.5 \text{ J} \end{aligned} \quad \left. \begin{aligned} W_f &= E_2 - E_1 \\ 5042.5 - 54250.1 &= \\ -51187.6 \text{ J} \end{aligned} \right\}$$

$$\rightarrow W_{mg} = +mg\Delta h = 5 \times 10^{-2} \times 10 \times 1.4 = 0.7 \text{ J}$$

$$E_A = E_B \rightarrow \cancel{v_A} + u_A = K_B + u_B \rightarrow mgh_A = \frac{1}{2} m v_B^2 + mgh_B \rightarrow 10 \times 5 = \frac{1}{2} v_B^2 + 10 \times 3.2 \quad \text{جواب ۱۸: الف)}$$

$$50 = \frac{v_B^2}{2} + 32 \rightarrow v_B = 4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\rightarrow W_{mg_{AC}} = mg\Delta h = 12 \times 10 \times 3 = 360 \text{ J}$$

جواب ۱۹: الف) زیرا در مسیر برگشت مقاربتی از انرژی آن به دلیل مقاومت هوا تلف خواهد شد و مطمئن نخواهیم بود که تا ارتفاع کمه پایین تر از محل رها شدن بالا خواهد آمد.  
ب) در این حالت احتمال برخورد با صورت دانش آموز وجود دارد.

$$m = 450 + 320 = 970 \text{ kg}, \quad \Delta t = 180 \text{ s}, \quad \Delta h = 75 \text{ m} \quad \text{جواب ۲۰:}$$

$$P = \frac{mg\Delta h}{\Delta t} = \frac{970 \times 10 \times 75}{180} \approx 4041.7 \text{ W} \times \frac{1 \text{ hp}}{746 \text{ W}} \approx 5.41 \text{ hp}$$

$$m = 122 \text{ kg}, \quad \Delta t = 90 \text{ s}, \quad \Delta h = 5 \times 30 \text{ cm} = 1500 \text{ cm} = 15 \text{ m} \quad \text{جواب ۲۱:}$$

$$P = \frac{mg\Delta h}{\Delta t} = \frac{122 \times 10 \times 15}{90} = 160 \text{ W}$$



سطح دریای آزاد فرستاده می‌شود. اگر بازده هر یک از پمپ‌های این مرکز حدود ۲۸ درصد باشد، توان ورودی هر یک از آنها بر حسب مگاوات (MW) و اسب بخار (hp) چقدر است؟ (چگالی مواد نفتی را  $860 \text{ kg/m}^3$  بگیرد.)

آورند. شکل زیر یکی از این مراکز را نشان می‌دهد که در ارتفاع  $2050 \text{ m}$  از سطح دریای آزاد قرار دارد. در این مرکز، در هر ثانیه یک متر مکعب مواد نفتی از طریق لوله‌ای با قطر  $32 \text{ cm}$  اینچ (۸۱/۲cm) توسط دو دستگاه پمپ (تلمبه) تا ارتفاع  $270 \text{ m}$  از



مرکز انتقال نفت گندم‌کار، یکی از ۷ مرکزی است که در مسیر مارون - اصفهان قرار دارد. این مسیر، که طولی برابر ۴۳۱ کیلومتر دارد دو مین مسیر سخت و صعب العبور خطوط انتقال مواد نفتی در دنیاست.

$$\Delta t = 1 \text{ s}$$

$$\left. \begin{aligned} h_1 &= 2050 \text{ m} \\ h_2 &= 2700 \text{ m} \end{aligned} \right\} \Delta h = 450 \text{ m}$$

$$P_{\text{مغیر}} = \frac{mgh}{\Delta t} = \frac{860 \times 10^3 \times 450}{1} = 54 \times 10^6 \text{ W}$$

$$\left. \begin{aligned} \rho &= 860 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ v &= 1 \text{ m}^3 \end{aligned} \right\} m = \rho v = 860 \times 1 = 860 \text{ kg}$$

درصد = ۲۸ بازده

$$\text{بازده} = \frac{P_{\text{مغیر}}}{P_{\text{ک}}} \times 100 \rightarrow 28 = \frac{54 \times 10^6}{P_{\text{ک}}} \times 100 \rightarrow P_{\text{ک}} = 2 \times 10^7 \text{ W}$$

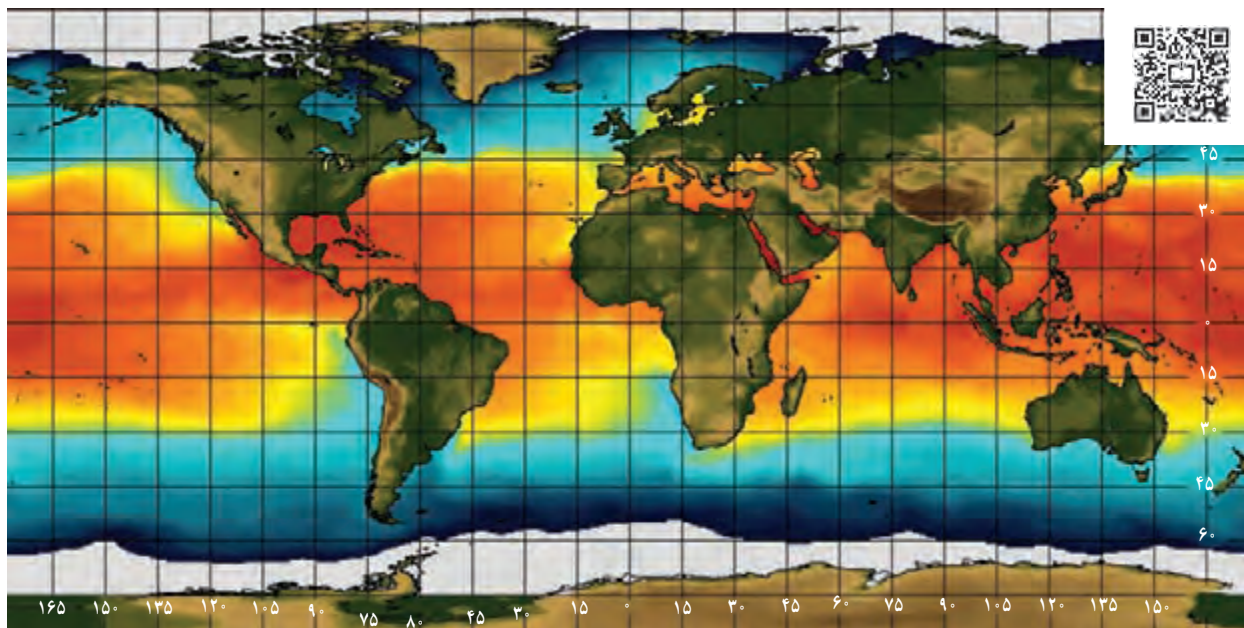
$$P_{\text{هر پمپ}} = \frac{P_{\text{ک}}}{2} = \frac{2 \times 10^7}{2} = 10^7 \text{ W} = 10 \text{ MW} \approx 13 \times 10^3 \text{ hp}$$

۱ - بخش زیادی از انرژی پمپ‌ها، صرف غلبه بر چسبندگی زیاد مواد نفتی با جداره داخلی لوله‌های انتقال می‌شود.



# فصل ۴

## دما و گرما



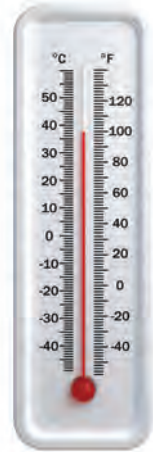
هواشناسان براساس تصویرهای ماهواره‌ای وضعیت هوا را پیش‌بینی می‌کنند. یکی از بخش‌های عمده گزارش آنها، اعلام دمای مناطق مختلف زمین است. این تصویر ماهواره‌ای، دمای آب روی سطح کره زمین را در یک روز خاص نمایش می‌دهد. رنگ‌ها نشان‌دهنده گستره دمایی از کمترین (بنفش) تا بیشترین (قرمز) است. عددهای محور افقی، طول جغرافیایی و عددهای محور عمودی، عرض جغرافیایی را نشان می‌دهند.

چگونه آب می‌تواند آتش را خاموش کند؟ چرا آتش نشان‌ها لباس‌های براق روشن می‌پوشند؟ چرا پارچه خیس که روی بند پهن شده است، ساعتی بعد خشک می‌شود؟ چگونه بادهای ساحلی به وجود می‌آیند؟ چگونه شیشه‌های دوجداره مانع از اتلاف گرما می‌شوند؟ چگونه با اسپری کردن باغ‌های میوه می‌توان از یخ‌زدن آنها در شبی سرد جلوگیری کرد؟ چرا بیشتر پل‌ها به صورت بخش‌هایی مجزا ساخته می‌شوند که فاصله کمی بین آنها وجود دارد؟ چگونه موهای خرس‌های قطبی می‌تواند آنها را از سرمای کشنده قطب در امان نگه دارد؟ پاسخ این پرسش‌ها و بسیاری از پرسش‌های مشابه را می‌توان با بررسی مفهوم دما و گرما و اثرهای آن روی ماده به دست آورد.

در کتاب‌های علوم با مفهوم‌های دما و گرما به طور ساده آشنا شدید. در این فصل، ضمن گسترش و توضیح بیشتر این مفاهیم به بررسی مواردی از قبیل دماسنجی و اثر تغییر دما بر حجم مواد می‌پردازیم. افزون بر اینها، گرماسنجی و اندازه‌گیری گرمای ویژه، تغییر حالت مواد و گرمای ذوب و تبخیر را بررسی می‌کنیم و راه‌های انتقال گرما را مورد بحث قرار می‌دهیم و سرانجام قانون گازها را بررسی می‌کنیم.

## ۱-۴ دما و دماسنجی

وقتی شخص بیماری به پزشک مراجعه می‌کند، یکی از مهم‌ترین اطلاعات برای پزشک، تعیین دمای بدن بیمار است. برای این منظور پزشک از دماسنج استفاده می‌کند. برای نگهداری مواد غذایی و جلوگیری از فاسد شدن آنها، دمای یخچال بسیار مهم است و اگر دما نامناسب باشد، ممکن است در زمان کوتاهی مواد غذایی فاسد شود. بنابراین، ایجاد دمای معین و حفظ آن در فناوری و صنعت و پژوهش‌های علمی، اهمیت فراوان دارد.



شکل ۱-۴ یک نمونه دماسنج الکلی

دما

در کتاب‌های علوم خود دیدید (دما کمیتی است که میزان سردی و گرمی اجسام را مشخص می‌کند). برای اندازه‌گیری دما لازم است مقیاس دمایی داشته باشیم و برای این کار می‌توانیم از هر مشخصه قابل اندازه‌گیری بهره بگیریم که با گرمی و سردی جسم تغییر می‌کند. به این ویژگی، اصطلاحاً کمیت دماسنجی می‌گویند. تغییر کمیت دماسنجی، اساس کار دماسنج‌هاست. ساده‌ترین و رایج‌ترین نوع دماسنج، دماسنج‌های جیوه‌ای<sup>۱</sup> و الکلی است که در کتاب‌های علوم با آنها آشنا شده‌اید. در این دماسنج‌ها، کمیت دماسنجی، ارتفاع مایع درون لوله دماسنج است؛ زیرا به جز چند مورد استثنا تمام مواد با افزایش دما، منبسط و با کاهش آن منقبض می‌شوند. شکل ۱-۴ نمونه‌ای از یک دماسنج الکلی را نشان می‌دهد.

مقیاس‌های دما: یکی از مقیاس‌های متداول دما، مقیاس دما برحسب درجه سلسیوس است. این مقیاس مبتنی بر دو نقطه ثابت است: یکی دمایی که در آن آب خالص در فشار جو متعارف (۱ atm) شروع به یخ‌زدن می‌کند و دیگری دمایی که آب خالص در فشار جو متعارف در حال جوشیدن است. به نقطه اول، عدد صفر و به نقطه دوم، عدد ۱۰۰ را اختصاص می‌دهند و فاصله بین این دو را به ۱۰۰ قسمت مساوی تقسیم می‌کنند و هر قسمت را ۱ درجه می‌نامند (شکل ۲-۴). قبلاً به چنین دماسنجی، دماسنج با مقیاس سانتی‌گراد<sup>۲</sup> گفته می‌شد. یکای درجه سلسیوس را با نماد °C، و دما برحسب درجه سلسیوس را معمولاً با  $\theta$  نمایش می‌دهند.

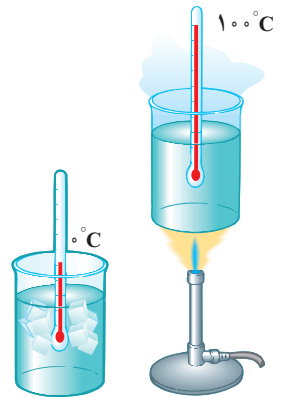
$$\theta = 37^\circ\text{C}$$

از سال ۱۹۵۴ میلادی، یکای دیگری به نام کلونین به عنوان مقیاس بین‌المللی دما انتخاب شد. این یکا، با نماد K نمایش داده می‌شود. دما برحسب کلونین را معمولاً با T نشان می‌دهند. رابطه میان دما

در مقیاس‌های سلسیوس و کلونین به صورت زیر است:  $T = 3/2 K$

$$T = \theta + 273 \quad (1-4)$$

بنا به رابطه ۱-۴ صفر کلونین برابر  $273/15^\circ\text{C}$  است که این کمترین دمای ممکن نیز هست.<sup>۳</sup> اما برای دما، حد بالایی وجود ندارد. گستره برخی از دماهای مشهور در شکل ۳-۴ برحسب کلونین نشان داده شده است.



شکل ۲-۴ شکلی طرح‌وار از مقیاس‌بندی دما

۱- جیوه بسیار سمی است و از این رو امروزه غالباً از الکل در دماسنج‌ها استفاده می‌شود.

۲- برگرفته از centi به معنای یک‌صدم و grade به معنای درجه.

۳- صفر کلونین به طور دقیق برابر  $273/15^\circ\text{C}$  است ولی برای محاسبه‌های این کتاب همان مقدار تقریبی  $273^\circ\text{C}$  در نظر گرفته می‌شود.





جمع بندی مقیاس های دما:

مقیاس	توضیحات	رابطه	تغییرات	یکا
درجه بندی سلسیوس	دمای ذوب یخ: $0^{\circ}\text{C}$ و دمای جوش آب: $100^{\circ}\text{C}$	$\theta$	$\Delta\theta$	$^{\circ}\text{C}$
درجه بندی فارنهایت	دمای ذوب یخ: $32^{\circ}\text{F}$ و دمای جوش آب: $212^{\circ}\text{F}$	$F = \frac{9}{5}\theta + 32$	$\Delta F = \frac{9}{5}\Delta\theta$	$^{\circ}\text{F}$
کلوین	صفر کلوین ( $-273^{\circ}\text{C}$ ) کم ترین دمای ممکن است.	$T = \theta + 273$	$\Delta T = \Delta\theta$	K

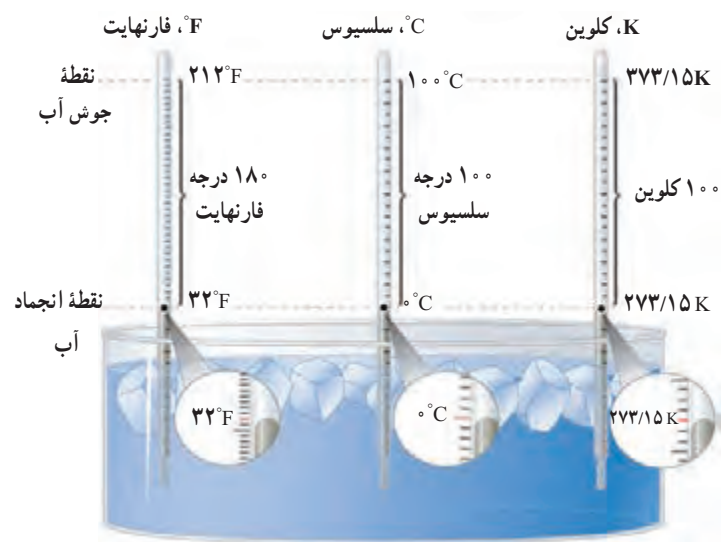
$$T_F = \theta_F + 273$$

$$T_I = \theta_I + 273$$

$$\underbrace{T_F - T_I}_{\Delta T} = \underbrace{\theta_F - \theta_I}_{\Delta\theta}$$

تمرین ۱-۴

نشان دهید که تغییر دما در مقیاس های سلسیوس و کلوین با هم برابر است ( $\Delta T = \Delta\theta$ ).



شکل ۴-۴ مقایسه یکاهای فارنهایت، سلسیوس و کلوین

یکای رایج دیگر دما که هنوز هم در صنعت و هواشناسی کاربرد دارد، فارنهایت است. شکل ۴-۴ مقایسه ای از این سه یکای دما را نشان می دهد. با کمی دقت متوجه می شویم که رابطه مقیاس دمای فارنهایت ( $F$ ) و سلسیوس ( $\theta$ ) به صورت  $F = \frac{9}{5}\theta + 32$  است.

تمرین ۲-۴  $T = \theta + 273 = 37 + 273 = 310\text{K}$ ,  $F = \frac{9}{5}\theta + 32 = \frac{9}{5} \times 37 + 32 = 98.6\text{F}$

الف) دمای بدن یک انسان سالم تقریباً  $37^{\circ}\text{C}$  است. این دما را برحسب کلوین و فارنهایت بنویسید.  
ب) گرم ترین نقطه روی زمین، ناحیه ای در کویر لوت است که دمای آن تا حدود  $70^{\circ}\text{C}$  و سردترین نقطه در قطب جنوب است که دمای آن تا  $-89^{\circ}\text{C}$  گزارش شده است. این دماها را برحسب کلوین و فارنهایت به دست آورید.

$$\theta = 70^{\circ}\text{C} \quad T = \theta + 273 = 70 + 273 = 343\text{K} \quad F = \frac{9}{5}\theta + 32 = \frac{9}{5} \times 70 + 32 = 158\text{F}$$

$$\theta = -89^{\circ}\text{C} \quad T = \theta + 273 = -89 + 273 = 184\text{K} \quad F = \frac{9}{5}\theta + 32 = \frac{9}{5} \times -89 + 32 = -128.2\text{F}$$



# این دما محور $^{\circ}\text{C}$ ۱۹۴- است و نمونه در ظرف های مخصوص و نیز برای مدت طولانی جهت پیوند نگاهاری می شود. این دما توسط نیترژن یا هیدروژن مایع حاصل می شود و نمونه ها در ظرف های نیترژن مایع نگاهاری می شود و تا ۱۵ سال می تواند مورد استفاده قرار گیرد.

فعالیت ۱-۴

تحقیق کنید برای نگهداری یاخته های بنیادی بندناف خون، به چه دمایی نیاز مندیم. این دما چگونه ایجاد و حفظ می شود؟

**دماسنج های معیار ۱:** امروزه از انواع دماسنج ها در زندگی روزمره استفاده می شود. برخی از آنها در شکل های ۴-۵ نشان داده شده است.



(ب) دماسنج تابشی که بر اساس آشکار سازی شدت تابش گرمایی کار می کند.

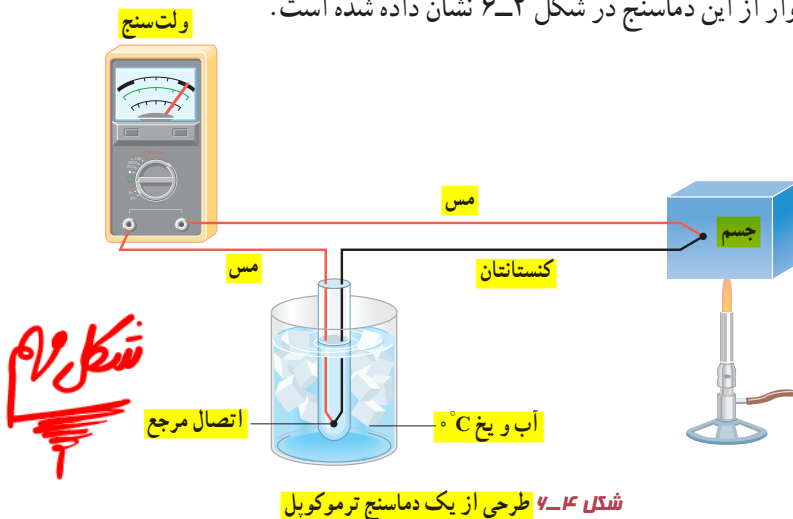


(الف) برخی از دماسنج ها که در اطراف خود مشاهده می کنید.

## دماسنج های معیار

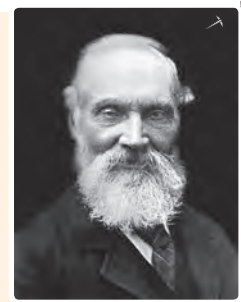
شکل ۴-۵

دانشمندان برای کارهای علمی، سه دماسنج را به عنوان دماسنج های معیار برای اندازه گیری گستره دماهای مختلف پذیرفته اند: **دماسنج گازی، دماسنج مقاومت پلاتینی و تفسنج (بیرومتر).** یکی از دماسنج های مهم دیگر که تا پیش از سال  $1990^{\circ}\text{C}$  میلادی جزو دماسنج های معیار شمرده می شد، دماسنج ترموکوپل است که به دلیل دقت کمتر آن نسبت به دماسنج های بیان شده، از مجموعه دماسنج های معیار کنار گذاشته شد؛ ولی این دماسنج همچنان کاربرد فراوانی در صنعت و آزمایشگاه ها دارد. از این رو، در ادامه به معرفی این دماسنج می پردازیم. **کمیت دماسنجی این دماسنج، ولتاژ است.** نمونه ای طرح وار از این دماسنج در شکل ۴-۶ نشان داده شده است.



## شکل ۶-۴

شکل ۴-۶ طرحی از یک دماسنج ترموکوپل



ویلیام تامسون کلونین<sup>۲</sup>

ریاضی دان، فیزیک دان و مهندس بریتانیایی در سال ۱۸۲۴م. در شهر بلفاست ایرلند به دنیا آمد. او تحصیلات دانشگاهی خود را در دانشگاه گلاسکو به انجام رسانید و در این دوران، غیر از اختراعات مختلف، کارهای مهمی در تحلیل ریاضی وار الکتریسته و نیز فرمول بندی قوانین اول و دوم ترمودینامیک انجام داد و نقشی مهم در احیای رشته فیزیک در عصر مدرن ایفا کرد. با این حال، عمده شهرت کلونین به خاطر تعیین دقیق صفر مطلق برابر با  $273/15^{\circ}\text{C}$  است و این در حالی است که پیش از او **سدی کارنوی** فرانسوی در سال ۱۸۲۴، یعنی همان سالی که کلونین زاده شد، مقدار  $267-$  را برای دمای صفر مطلق پیشنهاد داده بود. با این وصف، یکای دما در SI به افتخار این کار کلونین، به اسم او نام گذاری شده است. او همچنین به خاطر دستاوردهای علمی خود از سال ۱۸۹۲ به لرد کلونین ملقب شد و اولین دانشمند بریتانیایی نام گرفت که به مجلس لردها راه یافت. کلونین در سال ۱۹۰۷م. در سن ۸۳ سالگی در اسکاتلند دیده از جهان فرو بست.

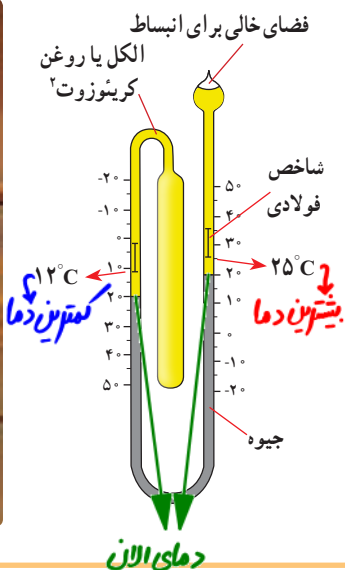
۱- Standard Thermometer

۲- William Thomson Baron Kelvin



شکل ۷-۴ در این تصویر دمای یک گرماسنج به روش الکتریکی اندازه‌گیری می‌شود.

مطابق این شکل، دو سیم رسانای غیر هم‌جنس مانند مس و کنستانتان از طرفی در دمای ذوب یخ نگه‌داشته شده و از طرف دیگر در مکانی به هم متصل‌اند که می‌خواهیم دمای آن را به دست آوریم. این مجموعه با سیم‌های مسی رابط به یک ولت‌سنج بسته می‌شود. با تغییر دمای محل مورد اندازه‌گیری، عددی که ولت‌سنج نشان می‌دهد، تغییر می‌کند. اگر آزمایش را چندین بار و برای دماهای متفاوت تکرار کنیم، می‌توانیم ولتاژهای مربوط به هر دمایی را مشخص کنیم. گستره دماسنجی یک ترموکوپل به جنس سیم‌های آن بستگی دارد؛ مثلاً در یکی از انواع ترموکوپل‌ها که جنس سیم‌ها از آلیاژهای خاصی است، گستره دماسنجی از  $27^{\circ}\text{C}$  تا  $1372^{\circ}\text{C}$  است. مزیت ترموکوپل این است که به دلیل جرم کوچک محل اتصال، خیلی سریع با دستگاهی که دمای آن اندازه‌گیری می‌شود به حالت تعادل گرمایی می‌رسد و به علاوه می‌تواند در مدارهای الکترونیکی به کار رود که در بسیاری از وسایل صنعتی، گرمایشی و سرمایشی یافت می‌شود. شکل ۷-۴ روشی از اندازه‌گیری دما با دماسنج‌هایی از این دست را نشان می‌دهد.



## فعالیت ۲-۴

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

## ۲-۴ انبساط گرمایی



شکل ۸-۴ ماده‌ای که دندان را پر می‌کند باید همان مشخصه‌های گرمایی دندان را داشته باشد.

اگر در یک ظرف شیشه‌ای محکم باشد، معمولاً برای باز کردن در ظرف روی آن آب داغ می‌ریزیم. وقتی دو لیوان شیشه‌ای درهم، گیر کرده باشند، با ریختن آب سرد در لیوان داخلی و گذاشتن لیوان بیرونی در آب گرم، می‌توانیم دو لیوان را از هم جدا کنیم. وقتی دندانپزشک سوراخ دندانی را پر می‌کند، باید ماده پرکننده دندان همان مشخصه‌های انبساط گرمایی دندان را داشته باشد (شکل ۸-۴)، زیرا در غیر این صورت، خوردن یک بستنی سرد و در پی آن نوشیدن چای داغ، بسیار دردناک خواهد بود و ممکن است سبب شکستن دندان نیز بشود.

chromel (۹۰٪ Ni & ۱۰٪ Cr) آلیاژ کرومل (۹۵٪ Ni & ۲٪ Al & ۱٪ Mn & ۴٪ Si) Alumel آلیاژ آلومل - ۱

۲- creosote



# الف) در این صورت انبساط و انقباض گرمایی هر دو بیک گونه خواهد بود و بنابراین تغییرات دمایی تأثیری بر جا گرفتن درست کلید در قفل نخواهد گذاشت.

## ب) دلیل انبساط‌های گرمایی متفاوت در چارچوب متفاوت ابعاد آن‌ها ایسان نخواهد بود.

پرسش ۴-۱

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

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

بیشتر اجسام با افزایش دما حجمشان زیاد و با کاهش دما حجمشان کم می‌شود. همان‌طور که دیدیم این پدیده اساس ساخت بعضی از دماسنج‌هاست. بی‌توجهی به پدیده انبساط در ساختن پل‌ها، ساختمان‌ها، خط‌آهن‌ها، خطوط انتقال نیرو، خطوط انتقال سوخت و ... می‌تواند مشکل‌هایی را ایجاد کند.

با افزایش دما ریل‌ها منبسط شده و به هم نیرو وارد می‌کنند و باعث خمیدگی یا بزرگ‌تر شدن یا با کاهش دما و انقباض ریل‌ها اتصالات از هم جدا می‌شوند.



(الف)

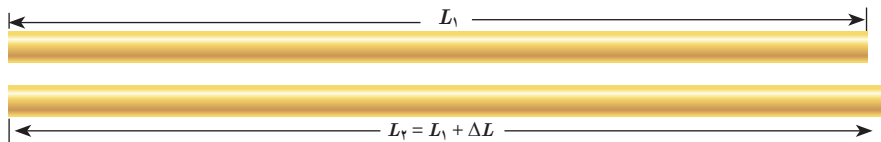


(ب)

۱) شکل (الف) تصویری واقعی از دو قسمت متوالی خط‌آهن (ریل راه‌آهن)‌های 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 خط‌آهن 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؟

در این روش ریل‌ها را از زیر بیک پایه وصل کرده و از بالا به هم جوش می‌دهند و در این حالت با یک ریل بسیار بزرگ سروکار داریم که از دو طرف آزاد بوده و منبسط شود.



آزمایش‌ها نشان می‌دهند که هرچه تغییر دمای میله فلزی 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 هم‌اندازه که جنس‌های آنها با هم متفاوت است را به یک اندازه افزایش دهیم، میزان افزایش طول آنها متفاوت است. بنابراین، در تغییرات دمایی به نسبت کوچک،  $\Delta L$  را می‌توان از رابطه زیر به دست آورد:

$$\Delta L = \alpha L_1 \Delta T \quad (2-4)$$

به ضریب انبساط طولی میله می‌گویند که به جنس میله بستگی دارد.

در رابطه ۲-۴،  $\Delta L$  و  $L_1$  بر حسب متر (m)،  $\Delta T$  بر حسب کلوین (K) یا درجه سلسیوس ( $^{\circ}C$ ) و

از آنجا یکای  $\alpha$  بر کلوین ( $1/K$ ) یا بر درجه سلسیوس ( $1/^{\circ}C$ ) تعیین می‌شود.



ضریب انبساط طولی برخی اجسام در جدول ۱-۴ داده شده است. توجه کنید که مقادیر داده شده برای  $\alpha$  در جدول بسیار کوچک است. همچنین ضریب انبساط طولی  $\alpha$  علاوه بر جنس ماده، به دما نیز اندکی وابسته است، اما به دلیل اینکه این وابستگی ناچیز است، معمولاً آن را در محاسبات معمولی نادیده می‌گیریم.

**تغییرات طول**

$$\Delta L = L_1 \alpha \Delta T$$

$\Delta L$  (m, cm, km)     $L_1$  (m, cm, km)     $\alpha$  ( $\frac{1}{C} = \frac{1}{K}$ )     $\Delta T$  ( $^{\circ}C$ , K)

---

**تغییرات طول**

$$L_2 = L_1 + \Delta L$$

$L_2$  (m, cm, km)     $L_1$  (m, cm, km)     $\Delta L$  (m, cm, km)



مثال ۱-۴

طول یک پل معلق<sup>۱</sup> (شکل الف)، در پایین ترین دمای منطقه ۱۱۵۸ m است. این پل از نوعی فولاد با  $\alpha = 13 \times 10^{-6} / ^{\circ}C$  ساخته شده است. فرض کنید کمترین دمای ممکن  $5^{\circ}C$  - و بیشترین دمای ممکن  $5^{\circ}C$  + باشد. بیشترین تغییر طول ممکن پل چقدر است؟

پاسخ: با استفاده از رابطه ۲-۴ داریم:

$$\Delta L = \alpha L_1 \Delta T = (13 \times 10^{-6} / ^{\circ}C)(1158m)(10^{\circ}C) = 1/5m$$

تغییر طول ۱/۵ m مقدار نسبتاً زیادی است. بدیهی است که در عمل نمی‌توان فضایی خالی به طول ۱/۵ m را برای این تغییر طول روی پل در نظر گرفت. برای رفع این مشکل از تعدادی بست انبساطی/انگشتی<sup>۲</sup> که از جنس فلز هستند استفاده می‌کنند. شکل (ب)، نوعی از این بست‌ها و شکل (پ)، نمونه‌ای دیگر از این بست‌ها را نشان می‌دهد.



(پ) نمونه‌ای دیگر از بست‌های انبساطی



(ب) نمونه‌ای از بست‌های انبساطی



(الف) تصویری از یک پل معلق

۱- پل معلق فولادی مکیناک (Macinac) در میشیگان آمریکا

۲- Finger Expansion Joint

# آزمایش اندازه‌گیری ضریب انبساط طولی ۱۵

## آزمایش ۴-۱



**هدف:** اندازه‌گیری ضریب انبساط طولی

**وسایله‌های مورد نیاز:** دستگاه اندازه‌گیری ضریب انبساط طولی، چند لوله فلزی توخالی، ارلن با لوله جانبی و درپوش، لوله لاستیکی، دماسنج، مجموعه پایه و گیره و چراغ الکلی.

**شرح آزمایش:**

۱- طول لوله توخالی مورد نظر را اندازه بگیرید ( $L_1$ ) و لوله را روی دستگاه نصب کنید.

۲- در ارلن مقداری آب بریزید و درپوش آن را بگذارید.

۳- دمای محیط را بخوانید ( $\theta_1$ ) و دماسنج را در جای نشان داده شده قرار دهید.

۴- ارلن را گرما دهید تا آب به جوش آید.

۵- آن قدر صبر کنید تا بخار آب از لوله خارج و لوله توخالی کاملاً گرم شود و سپس دمای دماسنج را بخوانید ( $\theta_2$ ).

۶- افزایش طول میله توخالی را با ریزسنج متصل به دستگاه اندازه بگیرید ( $\Delta L$ ).

۷- با استفاده از رابطه ۴-۲ ضریب انبساط طولی را به دست آورید.

۸- می‌توانید این آزمایش را برای میله‌های توخالی دیگر، تکرار کنید.

**دماسنج نواری دوفلزه:** (نوار دوفلزه (بی‌متال<sup>۱</sup>) از دو تیغه فلزی متفاوت، مانند برنج و آهن ساخته

شده است که سرتاسر به هم جوش داده شده یا پرچ شده‌اند. هرگاه این نوار، گرم یا سرد شود، نوار مانند

شکل ۴-۱۰ (الف) خم می‌شود (شکل با اندکی اغراق رسم شده است). از این ویژگی می‌توان برای

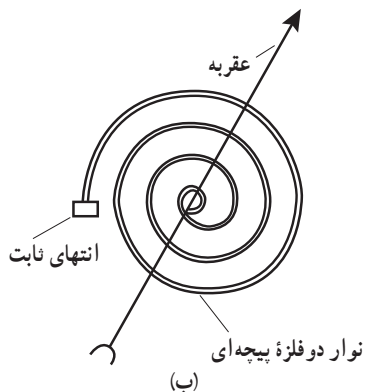
دماسنجی و ساختن دماسنج استفاده کرد. به این نوع دماسنج‌ها، دماسنج نواری دوفلزه گفته می‌شود.

شکل ۴-۱۰ (ب)، طرحی از این دماسنج را که در آن از یک نوار دوفلزه پیچیده‌ای استفاده شده است،

نشان می‌دهد و شکل ۴-۱۰ (پ)، تصویری واقعی از این نوع دماسنج است.



(پ)



(ب)



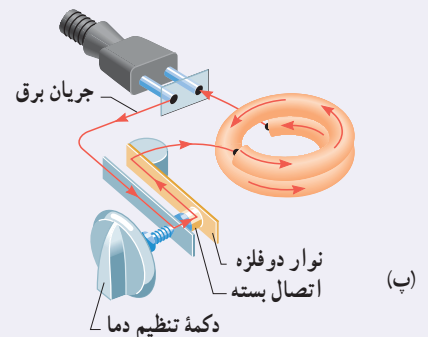
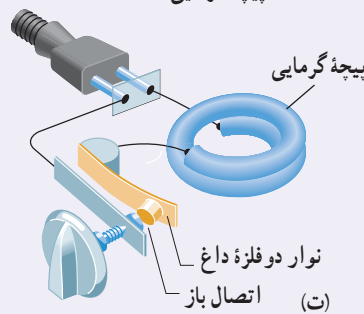
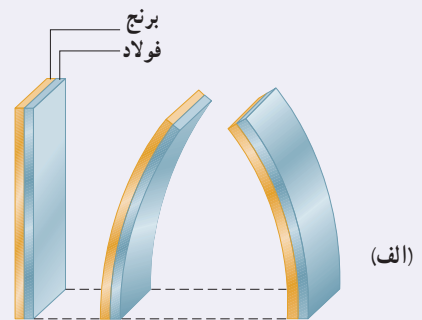
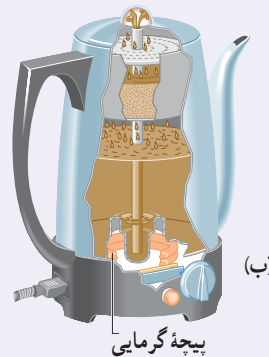
(الف)

**شکل ۴-۱۰ (الف)** با گرم و سرد شدن، نوار دوفلزه در جهت‌های مخالفی خم می‌شود.

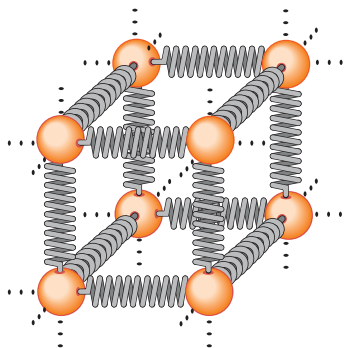
**(ب)** یک نوار دوفلزه پیچیده‌ای (پ) یک دماسنج نواری واقعی

**دماپا (ترموستات):** در دماسنج نواری دوفلزه دیدیم که یک نوار دوفلزه با افزایش یا کاهش دما خم می‌شود. این خم‌شدگی طوری است که در هنگام گرم‌شدن، تیغه با ضربه انبساط بیشتر، کمان خارجی و تیغه دیگر کمان داخلی را تشکیل می‌دهد (شکل ۱۱-۴ الف). از این ویژگی برای ساخت نوعی دماپا (ترموستات) استفاده می‌شود. دماپاها در بسیاری از وسایل الکتریکی مانند یخچال، آبگرم‌کن، کتری برقی و... کاربرد دارند (شکل ۱۱-۴ ب). در واقع دماپا کلیدی الکتریکی است که در آن، قطع و وصل جریان با استفاده از حسگرهای گرمایی انجام می‌شود (شکل ۱۱-۴ پ). اغلب از نوارهای دوفلزه به عنوان حسگرهای گرمایی در دماپا استفاده می‌شود. در مدار ساده نشان‌داده شده در شکل ۱۱-۴ پ، عبور جریان الکتریکی از کتری برقی باعث گرم‌شدن نوار دوفلزه می‌شود. وقتی دمای نوار به اندازه معینی برسد، بر اثر خم‌شدن نوار، جریان قطع شده و کتری برقی خاموش می‌شود (شکل ۱۱-۴ ت). با خاموش‌شدن کتری، دمای تیغه کاهش می‌یابد و نوار دوباره به شکل وضعیت قبلی خود بازمی‌گردد و به این ترتیب، دوباره مدار وصل شده و کتری برقی روشن می‌شود.

دماپا



**شکل ۱۱-۴ الف** تیغه دوفلزه با تغییر دما در جهت‌های مختلفی خم می‌شود، (ب) دماپا در یک کتری برقی، (پ) با برقرار شدن جریان الکتریکی، نوار دوفلزه گرم می‌شود. (ت) سپس نوار خم شده و اتصال را قطع می‌کند.



توجیه انبساط گرمایی، مبتنی بر دیدگاه میکروسکوپی است. انبساط گرمایی یک جسم پیامد تغییر فاصله بین اتم‌ها یا مولکول‌های تشکیل‌دهنده آن است. برای درک این مدل، چگونگی رفتار اتم‌ها در یک ماده جامد را در نظر بگیرید. همان‌گونه که در فصل ۳ دیدیم، می‌توان اتم‌ها را ذراتی در نظر گرفت که با فنرهایی به اتم‌های مجاور متصل شده‌اند (شکل ۱۲-۴). اتم‌ها پیرامون مکان‌های تعادل خود با دامنه کم، نوسان می‌کنند. می‌توان نشان داد با افزایش دمای جامد، فاصله متوسط بین اتم‌ها افزایش می‌یابد و در نتیجه، جسم جامد منبسط می‌شود.

**شکل ۱۲-۴** در جامدها، نیروی بین اتمی مثل فنر عمل می‌کند.



در مایع با افزایش دما حرکت کاتوره‌ای اتم‌ها و مولکول‌ها بیشتر می‌شود. این افزایش حرکت‌ها

باعث دور شدن اتم‌ها 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.

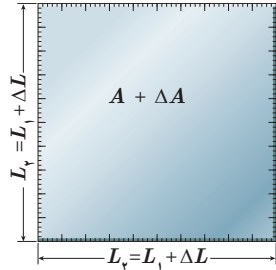
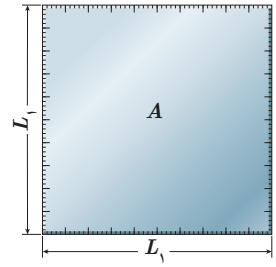
در اینجا ابتدا به انبساط سطحی می‌پردازیم. اگر مساحت اولیه جسم جامد  $A_1$  و افزایش دما  $\Delta T$  باشد، افزایش مساحتی به اندازه  $\Delta A$  پیدا می‌کند (شکل ۴-۱۳). نشان داده می‌شود که این افزایش مساحت به طور تقریبی از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\Delta A = 2\alpha A_1 \Delta T$$

$$A_2 = A_1 + \Delta A \quad (3-4)$$

در این رابطه،  $\alpha$  ضریب انبساط طولی جسم جامد با یکای بر کلونین ( $1/K$ ) یا بر درجه سلسیوس

( $1/^\circ C$ ) است، یکای  $\Delta A$  و  $A_1$  مترمربع ( $m^2$ ) و یکای  $\Delta T$  کلونین (K) یا درجه سلسیوس ( $^\circ C$ ) است.



شکل ۴-۱۳ انبساط گرمایی یک

ورقه مربعی به ضلع  $L = L_1 + \Delta L$

#### فعالیت ۴-۴

ورقه‌ای فلزی و مستطیلی شکل به اضلاع  $a_1$  و  $b_1$  را در نظر بگیرید. بر اثر افزایش دمای  $\Delta T$ ، طول اضلاع مستطیل به اندازه  $\Delta a$  و  $\Delta b$  افزایش می‌یابند. اگر ضریب انبساط طولی ورقه  $\alpha$  باشد، نشان دهید که افزایش مساحت این ورقه با تقریب مناسب از رابطه  $\Delta A = 2\alpha A_1 \Delta T$  به دست می‌آید.

#### مثال ۴-۲

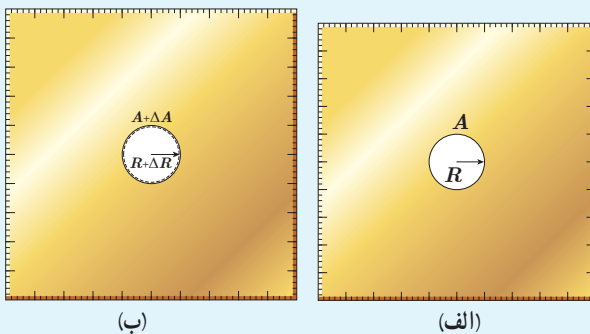
مساحت یک ورقه مسی  $2500 \text{ cm}^2$  است. اگر دمای این ورقه را  $5^\circ C$  افزایش دهیم، مساحت آن چقدر افزایش خواهد یافت؟

**پاسخ:** از رابطه ۴-۳ استفاده می‌کنیم. ضریب انبساط طولی مس با استفاده از جدول ۴-۱ برابر  $17 \times 10^{-6} / ^\circ C$  است؛

بنابراین داریم:

$$\Delta A = 2\alpha A_1 \Delta T = 2(17 \times 10^{-6} / ^\circ C)(2500 \text{ cm}^2)(5^\circ C) = 4/3 \text{ cm}^2$$

#### تمرین ۴-۳



شکل‌های (الف) و (ب) نشان می‌دهند که وقتی روی یک ورقه فلزی حفره‌ای دایره‌ای داشته باشیم و ورقه را گرم کنیم، قطر (یا مساحت) حفره بزرگ می‌شود. فرض کنید جنس ورقه، برنجی است و حفره‌ای به قطر یک اینچ ( $2/54 \text{ cm}$ ) درون آن ایجاد شده است. وقتی دمای ورقه،  $20^\circ C$  افزایش یابد، افزایش مساحت حفره چقدر خواهد شد؟ ( $\alpha = 19 \times 10^{-6} / K$ )

$$\text{قطر} = 1,54 \text{ cm} \rightarrow r = 1,27 \text{ cm} \rightarrow R_1 = \pi r^2 = 3,14 \times (1,27)^2 \approx 5 \text{ cm}^2$$

$$\Delta R = R_1 \alpha \Delta \theta = 5 \times 19 \times 10^{-6} \times 20 = 1,9 \times 10^{-4} \text{ cm}^2$$





جدول ۲-۴ ضریب انبساط حجمی چند مایع در دمای حدود $20^{\circ}\text{C}$	ماده	ضریب انبساط $(\frac{1}{K})$
جیوه		$0.18 \times 10^{-3}$
آب		$0.27 \times 10^{-3}$
گلیسرین		$0.49 \times 10^{-3}$
روغن زیتون		$0.70 \times 10^{-3}$
پارافین		$0.76 \times 10^{-3}$
بنزین		$1.00 \times 10^{-3}$
اتانول		$1.09 \times 10^{-3}$
استیک اسید		$1.10 \times 10^{-3}$
بنزن		$1.25 \times 10^{-3}$
کلروفرم		$1.27 \times 10^{-3}$
استون		$1.43 \times 10^{-3}$
اتر		$1.60 \times 10^{-3}$
آمونیاک		$2.45 \times 10^{-3}$

اکنون به انبساط حجمی می‌پردازیم. همان‌طور که گفتیم حجم بیشتر اجسام با افزایش دما زیاد می‌شود. اگر حجم اولیه جسم (جامد یا مایع)  $V_1$  و افزایش دما  $\Delta T$  باشد، جسم افزایش حجمی به اندازه  $\Delta V$  پیدا می‌کند که از رابطه زیر به دست می‌آید:

ضریب انبساط حجمی

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

$$V_2 = V_1 + \Delta V \quad (4-4)$$

در این رابطه،  $\beta$  ضریب انبساط حجمی جامد یا مایع است. یکای  $\Delta V$  و  $V_1$  مترمکعب ( $\text{m}^3$ )، یکای  $\Delta T$ ، کلونین (K) یا درجه سلسیوس ( $^{\circ}\text{C}$ ) و از آنجا یکای  $\beta$ ، بر کلونین ( $1/\text{K}$ ) یا بر درجه سلسیوس ( $1/^{\circ}\text{C}$ ) است.

انبساط طولی بیشتر جامدها در راستاهای مختلف، با ضریب انبساط طولی یکسان صورت می‌گیرد. می‌توان نشان داد که ضریب انبساط حجمی این جامدها با تقریب مناسبی سه برابر ضریب انبساط طولی آنهاست.

$$\beta_{\text{جامد}} = 3\alpha \quad (5-4)$$

چون مایع‌ها شکل معینی ندارند، انبساط آنها را فقط به صورت حجمی بررسی می‌کنیم. در جدول ۲-۴ ضریب انبساط حجمی برخی مایع‌ها داده شده است.

### مثال ۳-۴

در یک روز داغ تابستان که دمای هوا  $40^{\circ}\text{C}$  است، شخصی باک (مخزن) ۵۵ لیتری اتومبیل خود را از بنزین کاملاً پر می‌کند. فرض کنید بنزین از منبعی در زیرزمین با دمای  $12^{\circ}\text{C}$  بالا آمده باشد. شخص اتومبیل را پارک می‌کند و ساعتی بعد بازمی‌گردد. مشاهده می‌کند بنزین قابل توجهی از باک سرریز شده است. چقدر بنزین از باک بیرون ریخته است؟ (از افزایش حجم باک که بسیار ناچیز است صرف‌نظر می‌شود.)

**پاسخ:** با توجه به اینکه بنزین، زمان کافی برای هم‌دما شدن با محیط داشته است، دمای نهایی آن را  $40^{\circ}\text{C}$  در نظر می‌گیریم. اکنون با استفاده از رابطه ۴-۴ و جدول ۲-۴ برای ضریب انبساط حجمی بنزین خواهیم داشت:

$$\Delta V = \beta V_1 \Delta T = (1.00 \times 10^{-3} / ^{\circ}\text{C})(55\text{L})(40^{\circ}\text{C} - 12^{\circ}\text{C}) = 1.5\text{L}$$

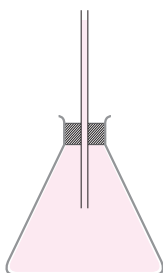
بنابراین، در کمال تعجب درمی‌یابیم که  $1/5$  لیتر بنزین روی زمین ریخته است.

نکته مهم در استفاده از رابطه ۴-۴ این است که باید یکای  $\Delta V$  و  $V_1$  یکسان باشد. 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.



## مثال ۴-۴



ارلنی شیشه‌ای با ضریب انبساط طولی  $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  را که در دمای  $20^{\circ}\text{C}$  گنجایشی برابر با  $200\text{ cm}^3$  دارد، مطابق شکل با گلیسرین در همان دما پر کرده‌ایم. اگر دمای ظرف و گلیسرین را به  $6^{\circ}\text{C}$  برسانیم

(الف) آیا گلیسرین از ظرف بیرون می‌ریزد؟

(ب) اگر پاسخ قسمت (الف) مثبت است، حجم گلیسرین سرریز شده چقدر است؟

پاسخ:

(الف) افزایش حجم گلیسرین و افزایش گنجایش ظرف را با استفاده از رابطه‌های ۴-۴ و ۵-۴ محاسبه می‌کنیم.

$$\Delta V_{\text{گلیسرین}} = \beta_{\text{گلیسرین}} V_1 \Delta T = (49 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C})(200\text{ cm}^3)(6^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}) = 3/9\text{ cm}^3$$

$$\Delta V_{\text{ظرف}} = \beta_{\text{شیشه}} V_1 \Delta T = (3 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C})(200\text{ cm}^3)(6^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}) = 0/2\text{ cm}^3$$

در این محاسبه از جدول ۲-۴ برای ضریب انبساط حجمی گلیسرین استفاده کرده‌ایم؛ چون افزایش حجم گلیسرین بیش از افزایش گنجایش ظرف است، پس گلیسرین از ظرف سرریز می‌شود.

(ب) حجم گلیسرین سرریز شده برابر است با

$$\Delta V_{\text{گلیسرین}} - \Delta V_{\text{ظرف}} = (3/9\text{ cm}^3 - 0/2\text{ cm}^3) = 3/7\text{ cm}^3$$

## فعالیت ۴-۵

آزمایشی را طراحی و اجرا کنید که با آن بتوانید حجم گلیسرین سرریز شده در مثال ۴-۴ را اندازه بگیرید. سپس از روی آن، ضریب انبساط حجمی گلیسرین 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  $\rho_2 = \rho_1 / (1 + \beta \Delta T)$  است که در آن  $\rho_2$  و  $\rho_1$  به ترتیب چگالی ماده در دماهای  $T_2$  و  $T_1$ ،  $\beta$  ضریب انبساط حجمی و  $\Delta T = T_2 - T_1$  است.

(الف) رابطه چگالی با تغییر دما را به دست آورید.

(ب) نشان دهید با تقریب مناسبی می‌توان چگالی جسم را از رابطه  $\rho_2 = \rho_1 (1 - \beta \Delta T)$  نیز به دست آورد.

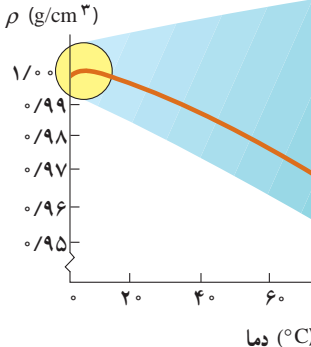
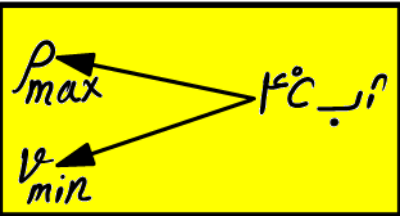
## مثال ۴-۵

یک قطعه سرب را در دمای اتاق در نظر بگیرید. اگر دمای این قطعه را  $200^{\circ}\text{C}$  افزایش دهیم، چگالی آن چند برابر می‌شود؟

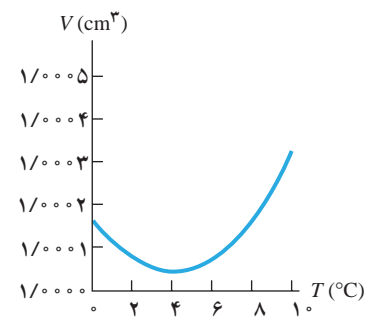
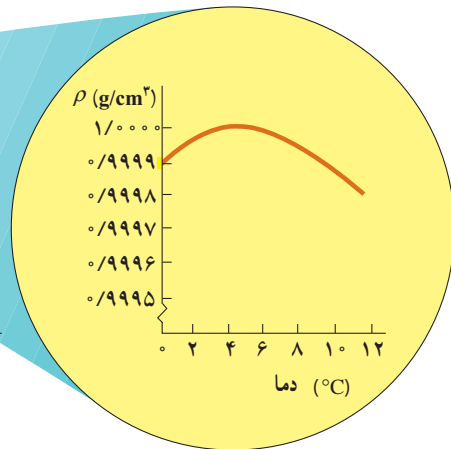
$$\rho_2 = \rho_1 (1 - \beta \Delta T) \Rightarrow \frac{\rho_2}{\rho_1} = (1 - 3\alpha \Delta T) = 1 - (3 \times 29 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C})(200^{\circ}\text{C}) = 0/98$$



**انبساط غیرعادی آب:** در زمستان‌های سرد، سطح آب آّبگیرها و دریاچه‌های کوچک یخ می‌زند و به تدریج یخ ضخیم‌تر می‌شود؛ اما در ته آّبگیرها، دمای آب بالاتر از  $4^{\circ}\text{C}$  بوده و برای موجودات زنده‌ای که آنجا زندگی می‌کنند، نسبتاً گرم و مناسب است. در واقع حجم بیشتر مایع‌ها با کم شدن دما کاهش و در نتیجه چگالی آنها افزایش می‌یابد، ولی رفتار آب در محدوده دمای  $4^{\circ}\text{C}$  تا  $0^{\circ}\text{C}$  متفاوت است؛ یعنی در این محدوده با کاهش دما، حجم آب افزایش و در نتیجه چگالی آن کاهش می‌یابد. شکل‌های ۴-۱۴ (الف) و (ب)، به ترتیب نمودار حجم برحسب دما و نمودار چگالی برحسب دما را برای آب شیرین نشان می‌دهد که در آنها رفتار غیرعادی آب در محدوده  $4^{\circ}\text{C}$  تا  $0^{\circ}\text{C}$  دیده می‌شود. همان‌طور که در این شکل‌ها نشان داده شده است، در بازه دمای  $4^{\circ}\text{C}$  تا  $0^{\circ}\text{C}$  با افزایش دما، حجم آب کاهش و چگالی آن افزایش می‌یابد. پس از دمای  $4^{\circ}\text{C}$  مانند دیگر اجسام، با افزایش دما، حجم افزایش و چگالی کاهش می‌یابد. همین تغییر حجم غیرعادی آب است که موجب می‌شود دریاچه‌ها به جای اینکه از پایین به بالا یخ بزنند، از بالا یخ بزنند. وقتی دمای سطح آب مثلاً از  $10^{\circ}\text{C}$  اندکی کمتر شود، چگالی آب نسبت به آب زیر خود افزایش می‌یابد و این آب، پایین می‌رود. این رفتار تا رسیدن به دمای  $4^{\circ}\text{C}$  ادامه می‌یابد؛ ولی همان‌طور که دیدیم در دمای پایین‌تر از  $4^{\circ}\text{C}$ ، حجم آب افزایش پیدا می‌کند و در نتیجه چگالی آن کاهش می‌یابد؛ یعنی سرد شدن بیشتر آب موجب می‌شود که چگالی آب سطح دریاچه نسبت به آب زیر آن کمتر شود و در نتیجه در سطح باقی بماند تا اینکه یخ بزند. بنابراین، در حالی که آب زیر دریاچه هنوز مایع است و دمایی بیش از صفر درجه دارد، سطح آب یخ می‌زند. اگر آب دریاچه‌ها از پایین به بالا یخ می‌زد، اثرات زیست‌محیطی زاینباری در پی داشت و حیات گیاهی و جانوری در عمق دریاچه‌ها از بین می‌رفت.



(ب)

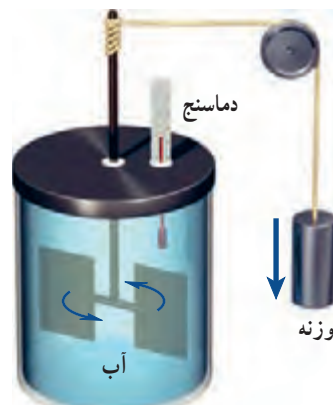


(الف)

شکل ۴-۱۴ (الف) تغییرات حجم یک گرم آب شیرین با دما، (ب) تغییرات چگالی آب شیرین با دما

## ۳-۴ گرما

همان طور که در درس علوم دوره اول متوسطه دیدید، اگر آب خیلی سرد را در لیوان بریزیم و سپس این لیوان را روی میز اتاق بگذاریم، آب گرم می‌شود تا اینکه به دمای هوای اتاق برسد. به همین ترتیب، اگر آب داغ را در لیوان بریزیم و لیوان را روی میز بگذاریم، آب خنک می‌شود تا اینکه به دمای هوای اتاق برسد. این گرم‌تر یا سردتر شدن در ابتدا به سرعت رخ می‌دهد و سپس با آهنگ کندتری ادامه می‌یابد تا اینکه دمای آب با دمای اتاق یکسان گردد. در این حالت که آب، لیوان و هوای اتاق در دمای یکسانی هستند، اصطلاحاً می‌گوییم تعادل گرمایی حاصل شده است. تا پیش از قرن نوزدهم، چنین مشاهداتی را با پذیرفتن موجودی به نام کالریک توجیه می‌کردند. به عبارتی فرض می‌کردند که چیزی به نام کالریک از جسم گرم به جسم سرد جریان می‌یابد. اما کنت رامفورد<sup>۱</sup> (۱۷۵۳ تا ۱۸۱۴م) و جیمز پرسکات ژول<sup>۲</sup> (۱۸۱۸ تا ۱۸۸۹م) در پی آزمایش‌های هوشمندانه‌ای که نمونه‌ای از آن در شکل ۱۵-۴ نشان داده شده است، دریافتند آنچه که در چنین فرایندهایی رخ می‌دهد، چیزی جز انتقال انرژی نیست؛ مثلاً در مثال آب داغ، انتقال انرژی از آب به محیط پیرامون، سبب کاهش دمای آب می‌شود (در حالت کلی هرگاه جسمی با دمای بیشتر در تماس گرمایی با جسمی با دمای کمتر قرار گیرد، بر اثر اختلاف دمای دو جسم، انرژی از جسم گرم‌تر به جسم سردتر منتقل می‌شود. به این انرژی انتقال یافته بر اثر اختلاف دمای دو جسم، گرما گفته می‌شود).



شکل ۱۵-۴ نمونه‌ای از آزمایش ژول: در این آزمایش نشان داده می‌شود کار نیروی وزن برابر با مقدار گرمای لازم برای افزایش دمای آب است.

گرما →

توجه کنید اشاره کردن به گرمای موجود در یک جسم اشتباه است. گرما مربوط به انرژی در حال گذار است؛ بنابراین، عبارت‌هایی مانند گرمای یک جسم، نادرست است. گرما را با نماد  $Q$  نشان می‌دهند. چون گرما، انرژی انتقال یافته است، پس باید همان یکای انرژی (ژول) را داشته باشد. یکای دیگر گرما، کالری است که در موارد خاصی مورد استفاده قرار می‌گیرد ( $1 \text{ cal} = 4/1860 \text{ J}$ ).

وقتی دو جسم سرد و گرم در تماس با یکدیگر قرار می‌گیرند، از دیدگاه میکروسکوپی، آنچه که اتفاق می‌افتد کاهش انرژی‌های پتانسیل و جنبشی مربوط به حرکت‌های کاتوره‌ای اتم‌ها، مولکول‌ها و سایر اجزای میکروسکوپی داخل جسم گرم، و افزایش همین انرژی‌ها در داخل جسم سرد است تا آنکه دو جسم به تعادل گرمایی برسند (شکل ۱۶-۴).



شکل ۱۶-۴ وقتی دو جسم با دمای متفاوت را در تماس با یکدیگر قرار می‌دهیم، انرژی از جسم گرم به جسم سرد، منتقل می‌شود. با رسیدن به تعادل گرمایی، دیگر گرمایی منتقل نمی‌شود.

۱- Sir Benjamin Thomson, Count Rumford

۲- James Prescott Joule



الف) در واقع دماسنج‌ها، دمای تعادل خود با محیط را اندازه می‌گیرند. پس دماسنج دمای خود را که در تعادل با محیط است را اندازه می‌گیرد.  
 ب) دمای بدن دانش‌آموز بیشتر از دمای بقیه‌ی اجسام است. دمای بیشینه پنجره که در تماس با هوای بیرون است از دمای بقیه‌ی اجسام کمتر است. دمای اجسامی مثل میز، صندلی و تخته با دمای هوای اتاق تقریباً یکسان است. اگر چه 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.

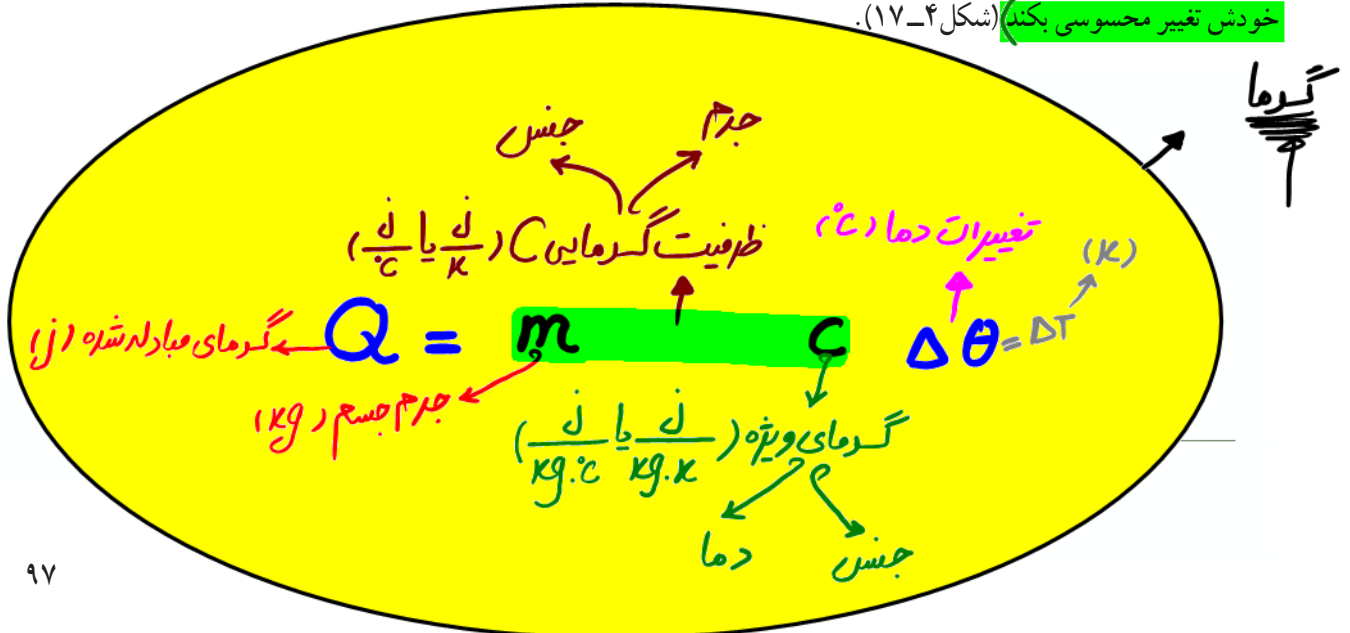
الف) منظور از این جمله که «دماسنج‌ها دمای خودشان را اندازه‌گیری می‌کنند» چیست؟  
 ب) در یک کلاس درس میز، صندلی، دانش‌آموز، تخته، شیشه پنجره و ... وجود دارد. در یک روز زمستانی، دمای کدام یک از آنها بیشتر از دمای هوای اتاق است؟ دمای کدام یک کمتر از دمای هوای اتاق است؟  
 پ) در شکل ۴-۱۶ میانگین انرژی جنبشی ذرات دو جسم چگونه تغییر کرده است؟ با کاهش دمای جسم گرم، میانگین انرژی جنبشی ذرات آن کاهش می‌یابد و با افزایش دمای جسم سرد، میانگین انرژی

**ظرفیت گرمایی:** اگر یک پارچ آب سرد را از داخل یخچال بیرون آوریم و در اتاق قرار دهیم، آب از جنبشی ذرات آن افزایش می‌یابد. در صورتی که دو جسم محیط خود، گرما می‌گیرد تا دمای اتاق یکی شود. آزمایش نشان می‌دهد که گرمای گرفته شده از یک جنس باشند، هنگام برقراری تعادل گرمایی توسط آب با تغییر دمای آب، متناسب است؛ یعنی هر چه آب سردتر باشد، مقدار گرمایی که می‌گیرد تا دمای آب با دمای اتاق یکی شود، بیشتر است. بنابراین، اگر جسمی با محیط اطراف خود گرمای  $Q$  را مبادله کند و در اثر این مبادله گرما، دمای آن به اندازه  $\Delta T$  تغییر کند،  $Q$  متناسب با  $\Delta T$  است که ضریب این تناسب را با  $C$  نشان می‌دهند، به طوری که:

$$Q = C \Delta T \quad (4-6)$$

به  $C$ ، ظرفیت گرمایی جسم گفته می‌شود که به جنس جسم و جرم آن بستگی دارد. در رابطه ۴-۶ یکای  $Q$ ، ژول (J) و یکای  $\Delta T$ ، کلوین (K) است؛ بنابراین، یکای  $C$ ، ژول بر کلوین (J/K) می‌شود. وقتی می‌گوییم ظرفیت گرمایی یک جسم  $2000 \text{ J/K}$  است، یعنی اگر به آن جسم  $2000 \text{ J}$  گرما بدهیم، دمای آن  $1 \text{ K}$  افزایش پیدا می‌کند. توجه کنید که منظور از ظرفیت، این نیست که جسم، توانایی محدودی در مبادله گرما دارد؛ بلکه تا وقتی که اختلاف دما باشد، مبادله گرما ادامه می‌یابد. (مقادیر زیاد آب، مانند آب دریاچه‌ها و دریاها، نوسان‌های دمای هوای اطراف خود را متعادل می‌کند؛ زیرا اگر مقدار آب زیاد باشد، می‌تواند گرمای زیادی از محیط بگیرد یا اینکه به محیط بدهد، بی‌آنکه دمای خودش تغییر محسوسی بکند) (شکل ۴-۱۷).

چرا در اطراف رودخانه‌ها و دریاچه‌ها هوا خنک‌تر از سایر نقاط است؟





**گرمای ویژه:** تجربه نشان می‌دهد ظرفیت گرمایی اجسامی که از یک نوع ماده ساخته شده‌اند متناسب با جرم آنهاست. بنابراین، مناسب‌تر آن است که ظرفیت گرمایی واحد جرم اجسام را تعریف کنیم که به آن ظرفیت گرمایی ویژه یا به سادگی **گرمای ویژه** می‌گویند. (گرمای ویژه هر جسم، مقدار گرمایی است که باید به یک کیلوگرم از آن جسم داده شود تا دمای آن یک درجه سلسیوس (یا یک کلونین) افزایش یابد. گرمای ویژه را با  $c$  نشان می‌دهند) و طبق تعریف، رابطه‌اش با ظرفیت گرمایی به صورت  $c = C/m$  است. در نتیجه رابطه ۴-۶ چنین می‌شود:

$$Q = mc\Delta T \quad (۷-۴)$$

در رابطه ۴-۷ یکای  $Q$ ، ژول (J) و یکای  $m$ ، کیلوگرم (kg) و یکای  $\Delta T$ ، کلونین (K) است؛ بنابراین، یکای  $c$  در SI، ژول بر کیلوگرم - کلونین (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 ۴-۳ داده شده است.

### مثال ۴-۶

مقدار  $L = ۲/۰$  آب با دمای  $۲۰^{\circ}\text{C}$  در اختیار داریم. چقدر گرما لازم است تا دمای این آب را به نقطه جوش آن (در دمای  $۱۰۰^{\circ}\text{C}$ ) برسانیم؟

**پاسخ:** براساس چگالی آب، جرم  $L = ۱/۰$  آب برابر  $۱/۰ \text{ kg}$  است و از جدول ۴-۳ گرمای ویژه آب  $۴۱۸۷ \text{ J/kg}\cdot^{\circ}\text{C}$  است. بنابراین، گرمای لازم برای گرم کردن  $۲/۰ \text{ kg}$  آب، از  $۲۰^{\circ}\text{C}$  تا نقطه جوش آب، برابر است با

$$Q = m_{\text{آب}} c_{\text{آب}} \Delta T = (۲/۰ \text{ kg})(۴۱۸۷ \text{ J/kg}\cdot^{\circ}\text{C})(۱۰۰^{\circ}\text{C} - ۲۰^{\circ}\text{C}) = ۶/۷ \times ۱۰^۵ \text{ J}$$

جدول ۴-۳ - گرمای ویژه برخی از مواد \*

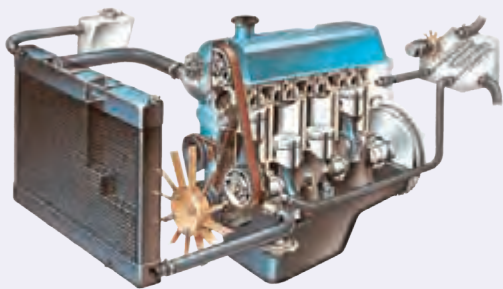
ماده	گرمای ویژه (J/kg.K)	
سرب	۱۲۸	عناصر جامد
تنگستن	۱۳۴	
نقره	۲۳۶	
مس	۳۸۶	
آلومینیم	۹۰۰	
برنج	۳۸۰	جامدهای دیگر
نوعی فولاد (آلیاژ آهن با ۲٪ کربن)	۴۵۰	
فولاد زنگ‌نزن	۴۹۰	
گرانیت	۷۹۰	
بتون	۸۰۰	
شیشه	۸۴۰	مایعات
یخ	۲۲۲۰	
جیوه	۱۴۰	
اتانول	۲۴۳۰	
آب دریا	۳۹۰۰	
آب	۴۱۸۷	

\* تمام مواد غیر از یخ در دمای  $۲۰^{\circ}\text{C}$

### فناوری و کاربرد

#### استفاده از آب در دستگاه‌های گرم‌کننده و خنک‌کننده:

در جدول ۴-۳ دیدیم که گرمای ویژه آب از سایر مواد بیشتر است. این نشان می‌دهد که وقتی یک کیلوگرم آب به اندازه یک درجه سلسیوس تغییر دما دهد، در مقایسه با سایر مواد، گرمای بیشتری با محیط اطراف خود مبادله می‌کند. از این خاصیت آب برای گرم کردن فضای خانه‌ها به وسیله شوفاژ استفاده می‌شود. آب گرم شده در مخزن به وسیله پمپ (تلمبه) 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



شکل ۴-۱۸ تصویری از سیستم خنک کننده خودرو

می دهد و بار دیگر، از طریق لوله های برگشت، به مخزن برمی گردد و در هر چرخه باز همین عمل تکرار می شود. از آب برای خنک کردن موتور خودروها نیز استفاده می شود (شکل ۴-۱۸). بدین منظور، در محفظه سیلندر و سرسیلندر، مسیرهای عبور آب در نظر گرفته شده است که به وسیله تلمبه آب (واتر پمپ)، آب به سرعت در درون این مسیرها گردش می کند و گرما را از موتور به رادیاتور خودرو می برد. در اثر عبور هوا از میان پره های رادیاتور، هوا با آب درون رادیاتور تبادل گرمایی می کند، آب انرژی خود را از دست می دهد و دوباره به موتور برمی گردد و این عمل تکرار می شود.

### پرسش ۳-۴



گوی ها بسته به جنس خود، ورقه پارافین را در زمان های متفاوت ذوب می کنند.

چند گوی فلزی از جنس های مختلف، مثلاً از آلومینیم، فولاد، برنج، مس، سرب و ... را اختیار می کنیم که همگی جرم یکسانی داشته باشند. گوی ها را توسط ریسمان هایی داخل ظرف آبی قرار می دهیم که آب آن در حال جوشیدن است و پس از مدتی گوی ها را بیرون آورده و آنها را روی یک ورقه پارافین قرار می دهیم. به نظر شما کدام گوی، پارافین بیشتری را ذوب می کند و علت آن چیست؟ این آزمایش را نخستین بار فیزیک دان ایرلندی، جان تیندال (۱۸۹۳-۱۸۲۰ م.) طراحی و اجرا کرد.

$$\left( \frac{C}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} = 900 \text{ for Aluminum, } C = 450 \text{ for Steel, } C = 384 \text{ for Brass, } C = 380 \text{ for Copper, } C = 128 \text{ for Lead} \right)$$

از آن جایی که دمای اولیه و ثانویه هر سه لوله یکسان است (زیرا در ابتدا هم دما و در انتها هم از آب در حال جوش بیرون آمده اند). طبق رابطه  $Q = mc\Delta\theta$  و یکسان بودن  $m$  (جرم) و  $\Delta\theta$  (تغییرات دما) هر کدام که  $c$  (گرمای ویژه) بیشتری داشته باشد، می تواند گرمای بیشتری به محیط داده و پارافین بیشتری ذوب کند. پس گوی آلومینیومی پارافین بیشتری را ذوب می کند.

$$Q = m c \Delta\theta$$

یکسان

**دمای تعادل:** اگر دو یا چند جسم با دماهای مختلف در تماس با یکدیگر قرار گیرند، پس از مدتی

هم دما 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 گرما از دست

می‌دهند و بقیه اجسام گرما می‌گیرند. بنا به قرارداد علامت  $Q$  برای اجسامی که گرما می‌گیرند مثبت

( $Q > 0$ ) و برای اجسامی که گرما می‌دهند منفی ( $Q < 0$ ) اختیار می‌شود؛ مثلاً از رابطه (۴-۷) 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، همان قدر که اجسام گرم انرژی از دست می‌دهند، اجسام

سرد انرژی می‌گیرند، پس جمع جبری این  $Q$ ها صفر می‌شود:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots = 0 \quad (4-8)$$

هرگاه چند جسم متفاوت با گرماهای ویژه  $c_1, c_2, c_3, \dots$  و به جرم‌های  $m_1, m_2, m_3, \dots$  و ... با

دماهای اولیه  $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots$  را در تماس با یکدیگر قرار دهیم با استفاده از رابطه (۴-۸) معادله‌ای

به دست می‌آوریم که می‌توان دمای تعادل  $\theta$  را از آن محاسبه کرد.

یکای  $m$  هایسان

$$m_1 c_1 (\theta - \theta_1) + m_2 c_2 (\theta - \theta_2) + m_3 c_3 (\theta - \theta_3) + \dots = 0 \quad (4-9)$$

نکته ۴۷: در سوالات دمای تعادل اگر ظرفیت گرمایی داده یا خواسته بوده، حتماً یکای جرم با یکای  $c$  هایسان

مثال ۴-۷ ۴۹ باشد!

شخصی  $30^\circ\text{C}$  آب  $70^\circ\text{C}$  را در یک لیوان آلومینیمی  $12^\circ\text{C}$  کیلوگرمی که دمای آن  $20^\circ\text{C}$  است می‌ریزد. دمای نهایی پس

از آنکه آب و لیوان به تعادل گرمایی برسند 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 ۴-۸ داریم:

$$Q_{\text{آب}} + Q_{\text{آلومینیم}} = 0$$

اکنون با استفاده از رابطه ۴-۷ ( $Q = mc\Delta\theta$ ) خواهیم داشت:

$$m_{\text{آب}} c_{\text{آب}} (\theta - \theta_{\text{آب}}) + m_{\text{آلومینیم}} c_{\text{آلومینیم}} (\theta - \theta_{\text{آلومینیم}}) = 0$$

که در آن  $\theta$  دمای تعادل مجموعه است. با استفاده از گرماهای ویژه آب و آلومینیم از جدول ۴-۳ خواهیم داشت:

$$(0.300 \text{ kg})(4187 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C})(\theta - 70^\circ\text{C}) + (0.12 \text{ kg})(900 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C})(\theta - 20^\circ\text{C}) = 0$$

و از آنجا پس از اندکی محاسبه جبری برای دمای تعادل به  $\theta = 66^\circ\text{C}$  می‌رسیم.

از معادله ۴-۹ می‌توانیم برای یافتن کمیت‌های دیگری مانند گرمای ویژه یک جسم نیز استفاده کنیم.





در ظرف عایقی حاوی  $500 \text{ kg}$  آب  $20^\circ\text{C}$ ، یک قطعه مس  $1000 \text{ kg}$  کیلو گرمی به دمای  $50^\circ\text{C}$  و یک قطعه فلز دیگر به جرم  $150 \text{ kg}$  و به دمای  $60^\circ\text{C}$  و گرمای ویژه نامعلوم می‌اندازیم و دمای تعادل را اندازه می‌گیریم. دمای تعادل  $22^\circ\text{C}$  شده است. با چشم‌پوشی از تبادل گرما بین ظرف و سایر اجسام، گرمای ویژه فلز را حساب کنید.

**پاسخ:** دمای تعادل  $22^\circ\text{C}$  است و نیز با استفاده از سایر داده‌های این مثال و جدول ۴-۳ داریم:

آب:  $m_1 = 500 \text{ kg}$ ,  $\theta_1 = 20^\circ\text{C}$ ,  $c_1 = 4187 \text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C}$

مس:  $m_2 = 1000 \text{ kg}$ ,  $\theta_2 = 50^\circ\text{C}$ ,  $c_2 = 386 \text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C}$

فلز:  $m_3 = 150 \text{ kg}$ ,  $\theta_3 = 60^\circ\text{C}$ ,  $c_3 = ?$

اکنون با استفاده از رابطه ۴-۹ خواهیم داشت:

$$m_1 c_1 (\theta - \theta_1) + m_2 c_2 (\theta - \theta_2) + m_3 c_3 (\theta - \theta_3) = 0$$

$$(500 \text{ kg})(4187 \text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C})(22^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) + (1000 \text{ kg})(386 \text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C})(22^\circ\text{C} - 50^\circ\text{C}) + (150 \text{ kg})c_3(22^\circ\text{C} - 60^\circ\text{C}) = 0 \Rightarrow c_3 = 545 \text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C}$$

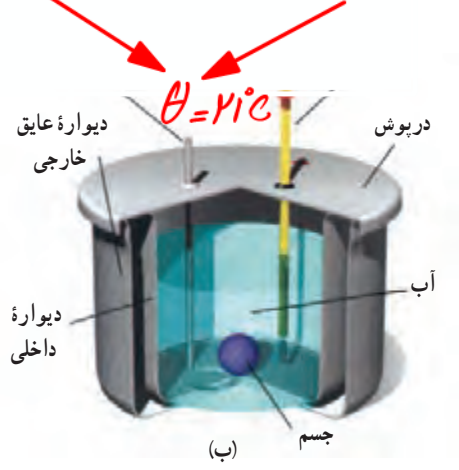
جسمی به جرم  $250 \text{ kg}$  و دمای  $3^\circ\text{C}$  را درون ظرف عایقی حاوی  $500 \text{ kg}$  آب  $25^\circ\text{C}$  می‌اندازیم. پس از چند دقیقه دمای تعادل را اندازه می‌گیریم. دمای تعادل  $21^\circ\text{C}$  می‌شود. گرمای ویژه جسم را محاسبه کنید. از تبادل گرما بین ظرف و سایر اجسام چشم‌پوشی کنید ( $C = 4100 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}}$ )

$$Q_{\text{آب}} + Q_{\text{ظرف}} + Q_{\text{جسم}} = 0 \rightarrow m_1 c_1 (\theta - \theta_1) + m_2 c_2 (\theta - \theta_2) + m_3 c_3 (\theta - \theta_3) = 0$$

$$500 \times 4100 \times (21 - 25) + 250 \times C \times (21 - 3) = 0 \rightarrow C = 1844,7 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}}$$

Handwritten notes for the second example:

- $m_1 = 250 \text{ kg}$  (جسم)
- $c_1 = ?$
- $\theta_1 = 3^\circ\text{C}$
- $m_2 = 500 \text{ kg}$  (آب)
- $c_2 = 4100 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}}$
- $\theta_2 = 25^\circ\text{C}$
- Final result:  $C = 1844,7 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}}$



شکل ۴-۱۹ الف) عکسی واقعی و ب) طرحی از نمای داخلی یک گرماسنج

**گرماسنج و گرماسنجی:** گرماسنج که به آن کالری متر نیز می‌گویند شامل ظرفی است درپوش‌دار که به خوبی عایق‌بندی گرمایی شده است (شکل ۴-۱۹). این ظرف در آزمایش‌های گرماسنجی مانند تعیین گرمای ویژه اجسام، به کار می‌رود. در گرماسنج مقداری آب با جرم معین می‌ریزیم و پس از هم‌دما 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 (۴-۸) و (۴-۹) و با چشم‌پوشی از اثر ناچیز دماسنج و همزن

در مبادله گرما داریم:

$$Q_{\text{آب}} + Q_{\text{جسم}} + Q_{\text{ظرف}} = 0$$

$$m_{\text{آب}} c_{\text{آب}} (\theta - \theta_{\text{آب}}) + m_{\text{جسم}} c_{\text{جسم}} (\theta - \theta_{\text{جسم}}) + m_{\text{ظرف}} c_{\text{ظرف}} (\theta - \theta_{\text{ظرف}}) = 0$$

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.

## مثال ۴-۹

برای اندازه‌گیری گرمای ویژه فلزی با جنس نامعلوم، قطعه‌ای  $۰/۶۰۰$  کیلوگرمی از آن را تا  $۱۰۰/۰^{\circ}\text{C}$  گرم می‌کنیم و سپس آن را در گرماسنجی با ظرفیت گرمایی  $۱۰^2 \text{ J/K} \times ۱/۸۰$  که حاوی  $۰/۵۰۰ \text{ kg}$  آب با دمای اولیه  $۱۷/۳^{\circ}\text{C}$  است، می‌اندازیم. اگر دمای نهایی مجموعه  $۲۰/۰^{\circ}\text{C}$  شود، گرمای ویژه این فلز چقدر است؟

**پاسخ:** با استفاده از رابطه (۴-۹) و تعریف ظرفیت گرمایی داریم:

$$Q_{\text{آب}} + Q_{\text{فلز}} + Q_{\text{گرماسنج}} = 0$$

$$m_{\text{آب}} c_{\text{آب}} (\theta - \theta_{\text{آب}}) + m_{\text{فلز}} c_{\text{فلز}} (\theta - \theta_{\text{فلز}}) + C_{\text{گرماسنج}} (\theta - \theta_{\text{گرماسنج}}) = 0$$

اکنون با جای گذاری مقادیر خواهیم داشت:

$$(۰/۵۰۰ \text{ kg})(۴۱۸۷ \text{ J/kg} \cdot ^{\circ}\text{C})(۲۰/۰^{\circ}\text{C} - ۱۷/۳^{\circ}\text{C}) + (۰/۶۰۰ \text{ kg}) c_{\text{فلز}} (۲۰/۰^{\circ}\text{C} - ۱۰۰/۰^{\circ}\text{C})$$

$$+ (۱/۸۰ \times ۱۰^2 \text{ J}^{\circ}\text{C})(۲۰/۰^{\circ}\text{C} - ۱۷/۳^{\circ}\text{C}) = 0$$

پس از عملیات جبری، گرمای ویژه فلز  $۱۲۸ \text{ J/kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$  به دست می‌آید. اگر به جدول ۴-۳ نگاه کنیم درمی‌یابیم که این گرمای ویژه سرب است و احتمالاً جنس ماده نامعلوم سرب بوده است.

## آزمایش برای تعیین گرمای ویژه ی اجسام

### آزمایش ۴-۲



**هدف:** تعیین گرمای ویژه فلزی با جنس نامعین

**وسایلهای موردنیاز:** گرماسنج با ظرفیت گرمایی معین، یک جسم کوچک فلزی (مثل یک وزنه فلزی قلاب‌دار)، دماسنج، ترازو، بشر شیشه‌ای، چراغ گازی، سه پایه و شعله‌پخش‌کن، انبر.

**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.

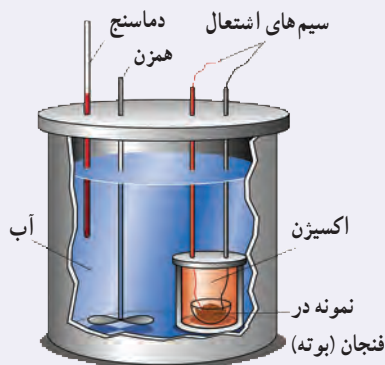
۳- جسم فلزی را درون بشر قرار دهید، مقداری آب روی آن بریزید و سپس مجموعه را روی چراغ گازی روشن بگذارید.

۴- صبر کنید تا آب چند دقیقه بجوشد. دمای آب را در این حالت اندازه بگیرید. این دما، همان دمای جسم فلزی نیز هست.

۵- جسم داغ شده را توسط انبر به سرعت درون گرماسنج بیندازید.

۶- آب درون گرماسنج را با همزن آن به هم بزنید و دمای تعادل را اندازه گرفته و یادداشت کنید.

۷- با استفاده از رابطه ۴-۹ گرمای ویژه جسم فلزی را به دست آورید.



شکل ۴-۲ اجزای یک گرماسنج بمبی

**گرماسنج بمبی:** گرماسنج بمبی نوعی گرماسنج است که از آن برای تعیین

ارزش غذایی مواد با اندازه‌گیری انرژی آزاد شده آنها در حین سوختن استفاده می‌شود. نمونه‌ای که جرم آن به دقت اندازه‌گیری شده است در ظرف سر بسته‌ای

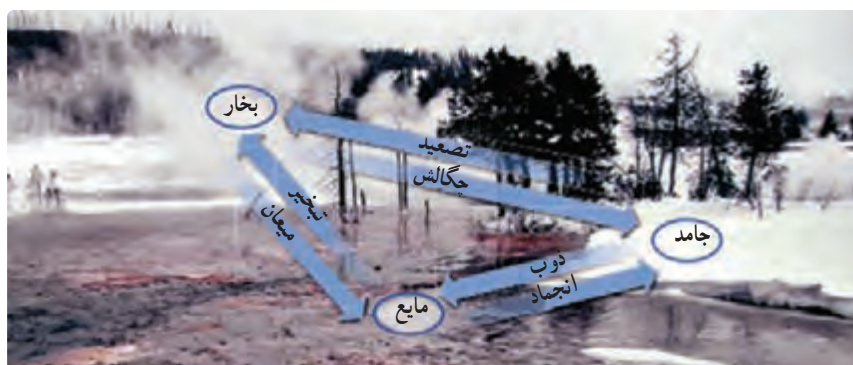
که محتوی اکسیژن است (که اصطلاحاً به آن بمب گفته می‌شود) قرار داده می‌شود (شکل ۴-۲). سپس این محفظه در آب یک گرماسنج قرار داده می‌شود و توسط

جریان الکتریکی عبوری از یک سیم نازک، نمونه داخل آن سوزانده می‌شود. با اندازه‌گیری تغییر دمای آب، انرژی حاصل از احتراق ماده مورد نظر را به دست

می‌آورند که تقریباً معادل انرژی آزاد شده از آن ماده است.

#### ۴-۴ تغییر حالت‌های ماده

همان‌طور که در فصل ۲ دیدیم، موادی که در اطراف ما وجود دارند معمولاً در سه حالت (فاز) جامد، مایع و گاز (بخار) یافت می‌شوند. گذار از یک حالت (فاز) به یک حالت (فاز) دیگر را یک تغییر حالت (گذار فاز) می‌نامند. برای مثال در شکل ۴-۲۱ 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 همراه‌اند.



شکل ۴-۲۱ تغییر حالت‌های مختلف آب که به‌طور هم‌زمان در این تصویر واقعی مشاهده می‌شود.

تبدیل جامد به مایع را ذوب، تبدیل مایع به بخار را تبخیر و تبدیل مایع به جامد را انجماد و تبدیل بخار به مایع را چگالش بخار به مایع یا میعان می‌نامیم. امکان دارد که تغییر حالت از جامد به بخار و وارون آن از بخار به جامد نیز به‌طور مستقیم و بدون گذر از حالت مایع صورت گیرد. تغییر حالت از جامد به بخار، تصعید و تغییر حالت وارون آن، یعنی از بخار به جامد چگالش بخار به جامد گفته می‌شود. برای مثال، نفتالین در دمای اتاق به‌طور مستقیم از جامد به بخار تبدیل می‌شود، یا در صبح‌های بسیار سرد زمستان، برفکی که روی گیاهان و یا روی شیشه پنجره می‌نشیند، بخار آبی است که به‌طور مستقیم به بلورهای یخ تبدیل شده است. در ادامه تغییر حالت‌های جامد - مایع، و مایع - بخار را به‌طور جداگانه بررسی می‌کنیم.

۱- Bomb Calorimeter

۲- در مباحث پیشرفته‌تر فیزیک، بخار و گاز تعاریف متفاوتی دارند، ولی در این کتاب هر دو به یک معنا گرفته شده‌اند.



**تغییر حالت جامد – مایع:** دیدیم که اگر به جسم جامدی گرما دهیم، دمای آن افزایش می‌یابد. اگر عمل گرما دادن را برای جامدهای خالص و بلورین 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 گذار جامد به مایع می‌نامند که به **جنس جسم** و **فشار وارد بر آن بستگی دارد**. به استثنای چند مورد خاص، حجم جامدهای بلوری هنگام ذوب شدن افزایش می‌یابد؛ زیرا حجمی که بلور با آرایش منظم مولکول‌ها در حالت جامد اشغال می‌کند، نسبت به این حجم در حالت مایع که آرایش مولکولی نامنظمی دارد، کمتر است.

برخلاف جامدهای خالص و بلورین، جامدهای بی‌شکل مانند شیشه و جامدهای ناخالصی مانند قیر نقطه ذوب کاملاً مشخصی ندارند. در واقع وقتی این مواد را گرم می‌کنیم، پیش از ذوب شدن خمیری شکل می‌شوند. این مواد در گستره‌ای از دما به تدریج ذوب می‌شوند.

معمولاً افزایش فشار وارد بر جسم بالا رفتن نقطه ذوب جسم می‌شود. اما در برخی مواد مانند یخ، افزایش فشار به کاهش نقطه ذوب می‌انجامد که این در مورد یخ بسیار ناچیز است.

عمل ذوب، فرایندی گرماگیر است؛ یعنی به جسم جامدی که به دمای ذوب خود رسیده باشد باید گرما بدهیم تا به مایع تبدیل شود، زیرا مولکول‌های جامد باید از ساختار صلب قبلی خود رها شوند. این گرما، دمای جسم را تغییر نمی‌دهد؛ بلکه سبب تغییر حالت آن می‌شود. ذوب شدن یک قالب یخ و تبدیل آن به آب (شکل ۴-۲۲) مثالی مشهور از این دست است.



شکل ۴-۲۲ تصویری از یخ در حال ذوب

#### فعالیت ۴-۶

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



وقتی دمای محیط در ابتدا بالای نقطه انجماد آب باشد و هوا **خنک شود**، بخار به شکل باران تبدیل می‌شود. با سردتر شدن هوا این آب به شکل **تگرگ** یخ من‌زند. اما اگر در ابتدا دما زیر نقطه انجماد آب باشد، بخار آب مستقیماً از حالت گازی به حالت جامد می‌رود. در این صورت بلورهای یخ معلق در هوا ضمن حفظ تقارن ۶ وجهی خود، به آرامی رشد می‌کنند و تشکیل دانه‌های برف را می‌دهند.



جدول ۴-۴- نقطه ذوب و گرمای نهان ذوب برخی مواد در فشار یک اتمسفر		
ماده	نقطه ذوب (°C)	گرمای نهان ذوب (kJ/kg)
هیدروژن	-۲۵۹	۵۸/۶
اکسیژن	-۲۱۸	۱۳/۸
نیتروژن	-۲۱۰	۲۵/۵
جیوه	-۳۹	۱۱/۸
یخ	۰	۳۳۳/۷
گوگرد	۱۱۹	۳۸/۱
سرب	۳۲۷	۲۴/۵
قلع	۶۳۰	۱۶۵
نقره	۹۶۰	۸۸/۳
طلا	۱۰۶۴	۶۴/۵
مس	۱۰۸۳	۱۳۴

انجماد یک مایع و تبدیل آن به یک جامد، عکس فرایند ذوب شدن است و لازمه این فرایند گرفتن گرما از مایع است تا مولکول‌ها بتوانند در یک ساختار جدید قرار گیرند. در اینجا نیز تغییر حالت بدون تغییر دما رخ می‌دهد. گرمای منتقل شده برای تغییر حالت جسم از جامد به مایع یا از مایع به جامد، با جرم جسم نسبت مستقیم دارد. نسبت این گرما به جرم جسم را گرمای نهان ویژه ذوب می‌گویند که به اختصار آن را گرمای نهان ذوب می‌نامیم و آن را با  $L_F$  نشان می‌دهیم.

$$L_F = \frac{Q}{m} \quad (۱۰-۴)$$

گرمای نهان ذوب بستگی به جنس جسم دارد و یکای آن در SI ژول بر کیلوگرم (J/kg) است. بنابراین، وقتی نمونه‌ای به جرم  $m$  کاملاً تغییر فاز دهد گرمای منتقل شده برابر با  $Q = mL_F$  است.

وقتی تغییر فاز از جامد به مایع انجام می‌شود، جسم گرما می‌گیرد ( $Q > 0$ ):

$$Q = +mL_F$$

و اگر تغییر فاز از مایع به جامد انجام شود، جسم گرما از دست می‌دهد ( $Q < 0$ ):

$$Q = -mL_F$$

گرمای نهان ذوب و نقطه ذوب مواد مختلف، متفاوت است. این مقادیر برای برخی از مواد در جدول ۴-۴ داده شده است.

#### فعالیت ۴-۲

تحقیق کنید وجود ناخالصی در مایع چه تأثیری بر نقطه انجماد آن دارد.

باعث می‌شود که مایع نقطه‌ی انجماد مشخصی نداشته باشد و فرآیند انجماد در گستره‌ای از دما رخ دهد.

## مثال ۴-۱۰



فلز گالیم (Ga) یکی از چند عنصری است که در دماهای پایین ذوب می‌شود. دمای ذوب این فلز  $29.8^{\circ}\text{C}$  و گرمای نهان ذوب آن  $8.0/4 \text{ kJ/kg}$  است. یک قطعه  $10/0$  گرمی از این فلز چقدر گرما از دست ما می‌گیرد تا در نقطه ذوب خود به طور کامل ذوب شود؟ (از تبادل گرما بین فلز و هوای محیط چشم‌پوشی می‌شود.)

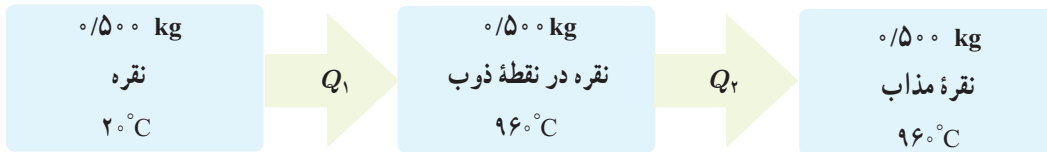
**پاسخ:** با استفاده از رابطه  $4-10$  داریم:

$$Q = mL_F = (10/0 \times 10^{-3} \text{ kg})(8.0/4 \times 10^3 \text{ J/kg}) = 8.04 \text{ J}$$

## مثال ۴-۱۱

یک جواهرساز برای ساختن جواهری می‌خواهد از  $0.500 \text{ kg}$  نقره برای ریختن در قالب‌های جواهر استفاده کند. به این منظور او باید نقره را ذوب کند. اگر دمای اولیه نقره همان دمای اتاق و برابر  $20^{\circ}\text{C}$  باشد، چقدر گرما باید به این مقدار نقره داده شود؟

**پاسخ:** مرحله‌های این فرایند به‌طور طرح‌وار در شکل زیر رسم شده است.



که در آن

$$Q_1 = m_{\text{نقره}} c_{\text{نقره}} \Delta\theta = (0.500 \text{ kg})(236 \text{ J/kg} \cdot ^{\circ}\text{C})(96^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}) = 1/11 \times 10^5 \text{ J}$$

$$Q_2 = m_{\text{نقره}} L_F = (0.500 \text{ kg})(88/3 \text{ kJ/kg}) = 0/442 \times 10^5 \text{ J}$$

که در آن از گرمای ویژه و گرمای نهان ذوب نقره مندرج در جدول‌های ۴-۳ و ۴-۴ استفاده کردیم. اکنون گرمای کل با جمع کردن  $Q_1$  و  $Q_2$  به دست می‌آید:

$$Q = Q_1 + Q_2 = 1/11 \times 10^5 \text{ J} + 0/442 \times 10^5 \text{ J} = 1/55 \times 10^5 \text{ J} = 155 \text{ kJ}$$

## آزمایش برای تعیین گرمای نهان ذوب

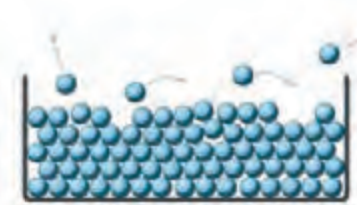
## آزمایش ۴-۳

**هدف:** تعیین گرمای نهان ذوب یخ

**وسایله‌های مورد نیاز:** بشر شیشه‌ای با حجم  $400 \text{ cm}^3$ ، چراغ گازی، سه پایه، توری نسوز، ترازو، مقداری مخلوط آب و یخ، گرماسنج با ظرفیت گرمایی معلوم و دماسنج.

**شرح آزمایش:**

- ۱-  $20^{\circ}\text{C}$  آب در بشر بریزید و آن را روی سه پایه قرار دهید. چراغ گاز را روشن کنید تا دمای آب دست کم به  $60^{\circ}\text{C}$  برسد.
- ۲- آب گرم را درون گرماسنج بریزید و پس از مدتی دمای تعادل آب و گرماسنج را با دماسنج اندازه بگیرید و یادداشت کنید.
- ۳- قطعه یخی به جرم تقریبی  $50/0 \text{ kg}$  را از درون مخلوط آب و یخ (با دمای  $0/0^{\circ}\text{C}$ ) بیرون آورده و جرم آن را اندازه گرفته و یادداشت کنید.
- ۴- یخ را درون گرماسنج بیندازید و صبر کنید تا کاملاً ذوب شود. اینک دمای تعادل را اندازه بگیرید.
- ۵- با استفاده از اعداد به دست آمده، گرمای ذوب یخ ( $L_F$ ) را حساب کنید.



شکل ۴-۲۳ در حین تبخیر سطحی، مولکول‌های پراانرژی‌تر از سطح مایع می‌گریزند.

**تغییر حالت مایع - بخار :** دیدیم که به تبدیل مایع به بخار تبخیر می‌گویند. خشک شدن لباس خیزی که روی بند رخت آویخته شده است، یا خشک شدن سریع یک زمین خیس در هوای گرم تابستان مثال‌هایی از نوعی تبخیر هستند که به آن تبخیر سطحی<sup>۱</sup> گفته می‌شود. تا پیش از رسیدن به نقطه جوش مایع، تبخیر به‌طور پیوسته‌ای از سطح مایع رخ می‌دهد. در پدیده تبخیر سطحی، تندی برخی از مولکول‌های مایع به حدی می‌رسد که می‌توانند از سطح مایع فرار کنند (شکل ۴-۲۳). تجربه نشان می‌دهد آهنگ رخ دادن این فرایند به عواملی از جمله دما و مساحت سطح مایع بستگی دارد.

فعالیت ۴-۸



الف) بررسی کنید از دیدگاه مولکولی، افزایش دما و افزایش مساحت سطح مایع چگونه بر آهنگ تبخیر سطحی مایع اثر می‌گذارد؟  
 ب) با بررسی تبخیر سطحی در شرایط مختلف سعی کنید از راه تجربه، عامل یا عامل‌های دیگری را پیدا کنید که بر آهنگ تبخیر سطحی مؤثر باشند.  
 پ) تحقیق کنید کوزه‌های سفالی چگونه می‌توانند آب داخل خود را خنک کنند.

الف) با افزایش سطح، تعداد ذرات که با هوای آزاد در ارتباط هستند بیشتر شده و میزان تبخیر سطحی بیشتر می‌شود. افزایش دما باعث افزایش انرژی جنبشی و تندی ذرات می‌شود. در نتیجه ذرات انرژی بیشتری برای فرار از سطح می‌یابند و میزان تبخیر سطحی بیشتر می‌شود.  
 ب) عوامل موثر بر آهنگ تبخیر سطحی: ۱- دما ۲- مساحت ۳- جنس مایع ۴- فشار هوا  
 پ) در این کوزه‌ها مقداری عمل تبخیر صورت می‌گیرد و گرمای مورد نیاز این تبخیر از کوزه گرفته می‌شود، در نتیجه دمای کوزه پایین آمده و آب درون آن خنک می‌شود.



شکل ۴-۲۴ در هنگام جوشیدن، حباب‌ها از محل تشکیل خود به سمت سطح آزاد مایع بالا می‌روند.

وقتی مایعی را روی اجاقی قرار می‌دهیم، با گرم کردن مایع به دمای مشخصی می‌رسیم که در آن حباب‌های گاز از درون مایع بالا می‌آیند که نشانه‌ای از آغاز فرایندی موسوم به جوشیدن<sup>۲</sup> است. به این دمای مشخص، نقطه جوش می‌گویند. در مورد آب، به محض اینکه حباب‌ها بالا می‌آیند به آب کمی سردتر می‌رسند و پیش از رسیدن به سطح آزاد آب با صدای تیزی فرومی‌پاشند و در آنجا دوباره به مایع تبدیل می‌شوند. ولی وقتی دمای آب همچنان بالا برود، حباب‌ها می‌توانند بیشتر بالا بروند تا اینکه سرانجام به سطح آزاد آب می‌رسند و در آنجا با صدای دیگری که به آن «غفل کردن» می‌گویند فرومی‌پاشند (شکل ۴-۲۴). در این حالت است که می‌گوییم آب به «جوش کامل» رسیده است و

۱- Vaporization      ۲- Evaporation  
 ۳- Boiling



آهنگ تبخیر به بیشترین مقدار خود می‌رسد. دماسنجی که مخزن آن درون آب قرار دارد دمای ثابتی را نشان می‌دهد که برای آب خالص در فشار جو متعارف (1 atm)،  $100^{\circ}\text{C}$  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.

#### فعالیت ۴-۹

از تفاوت نقطه جوش اجسام مختلف در صنعت، استفاده زیادی می‌شود. تحقیق کنید چگونه از این ویژگی برای جدا کردن محصولات نفتی استفاده می‌شود؟ **با افزایش دما موارد مورد نظر به دمای جوش خود**

**در این میان با بخار شدن نفت، بخار آن را با فرایند میعان به نفت مایع تبدیل می‌کنند.**

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 ویژه تبخیر می‌نامیم که برای سادگی گرمای نهان تبخیر نامیده می‌شود و آن را با  $L_V$  نشان می‌دهیم.

$$L_V = \frac{Q}{m} \quad (4-11)$$

گرمای نهان تبخیر هر مایع به جنس و دمای آن بستگی دارد و یکای آن در SI ژول بر کیلوگرم (J/kg) است. جدول ۴-۵ برخی از مقدارهای  $L_V$  را نشان می‌دهد که به طور تجربی برای آب در دماهای مختلف به دست آمده است.

جدول ۴-۵ مقادیر  $L_V$  برای آب در دماهای مختلف<sup>\*</sup>

$L_V$ (kJ/kg)	دما ( $^{\circ}\text{C}$ )
۲۴۹۰	۰
۲۴۵۴	۱۵
۲۳۷۴	۵۰
۲۲۵۶	۱۰۰
۲۱۱۵	۱۵۰
۱۹۴۰	۲۰۰

\* مقادیر تا  $100^{\circ}\text{C}$  در فشار 1 atm است.

چرا در جدول ۴-۵ گرمای نهان تبخیر آب با افزایش دمای آن کاهش می‌یابد؟ **با افزایش دما جنبش مولکول‌ها افزایش یافته، در نتیجه پیوند بین آن‌ها سست‌تر می‌شود و مولکول‌ها برای جلا شدن از سطح مایع به انرژی کمتری نیاز دارند. پس با افزایش دمای آب،  $L_V$  کاهش می‌یابد.**

گرمای لازم برای تبخیر مایعی به جرم  $m$  که گرمای تبخیر آن  $L_V$  است از رابطه  $Q = +mL_V$  به دست می‌آید. علامت مثبت نشان دهنده آن است که مایع هنگام تبخیر گرما می‌گیرد.

#### مثال ۴-۱۲

معمولاً وقتی هوا را با بخاری‌های شعله‌ای گرم می‌کنند، برای حفظ رطوبت محیط، ظرف آبی را روی بخاری می‌گذارند. اگر دمای آب در یکی از این ظرف‌ها روی  $50^{\circ}\text{C}$  ثابت مانده باشد، تعیین کنید برای تبخیر  $200\text{ kg}$  از آب در این شرایط چقدر گرما لازم است؟

**پاسخ:** با توجه به رابطه ۴-۱۱ و استفاده از جدول ۴-۵ داریم:

$$Q = +mL_V = +(200\text{ kg})(2374 \times 10^3\text{ J/kg}) = 4748 \times 10^5\text{ J}$$

۱- زیرنویس V حرف اول واژه انگلیسی Vaporization به معنای تبخیر است.





در مسئله‌های عملی بیشتر با گرمای نهان تبخیر مایع در نقطه جوش آن 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 ۴-۶ نقطه جوش و گرمای نهان تبخیر مربوط به این نقطه را برای برخی از مواد در فشار ۱ اتمسفر نشان می‌دهد.

جدول ۴-۶ نقطه جوش و گرمای نهان تبخیر برخی از مواد در فشار ۱ اتمسفر

ماده	نقطه جوش (°C)	گرمای نهان تبخیر (kJ/kg)
هلیوم	-۲۶۹	۲۱
هیدروژن	-۲۵۳	۴۶۰
نیتروژن	-۱۹۶	۲۰۰
اکسیژن	-۱۸۳	۲۱۴
آمونیاک	-۳۵	۱۳۶۹
اتر	۳۵	۳۷۷
برم	۵۹	۱۹۳
کلروفرم	۶۲	۲۴۷
اتانول	۷۹	۸۴۶
بنزن	۸۰	۳۹۰
آب	۱۰۰	۲۲۵۶
ید	۱۸۴	۱۶۴
گلیسرین	۲۹۰	۹۷۴
جیوه	۳۵۷	۲۹۵
گوگرد	۴۴۵	۱۵۱۰

**الف) با توجه به معبوس بودن زودپز، فشار درون دیگ بالا رفته و با افزایش فشار، نقطه جوش افزایش یافته و در نتیجه مواد درون زودپز در دمای بالاتر و سریع پخته می‌شوند.**

**پرسش ۴-۵**

الف) چرا غذا در دیگ زودپز، زودتر پخته می‌شود؟  
 ب) دلیل دیرتر پخته شدن تخم مرغ در ارتفاعات چیست؟ کوهنوردان برای رفع این مشکل چه کاری انجام می‌دهند؟

**ب) در ارتفاعات به دلیل کاهش فشار هوا، نقطه جوش آب پایین می‌آید. در نتیجه تخم مرغ در دمای کمتری قوام گرفته و زمان پختن را طولانی‌تر می‌کند. معمولاً گوته نوردان مقاربتی نمک داخل آب می‌ریزند یا ظروف سر بسته‌ای برای آب پز کردن تخم مرغ استفاده می‌کنند.**

## مثال ۴-۱۳

۲/۰ لیتر آب را درون یک کتری برقی با توان الکتریکی ۱/۵kW می‌ریزیم و آن را روشن می‌کنیم.  
الف) از شروع جوشیدن تا تبخیر همه آب درون کتری چقدر گرما به آب داده می‌شود؟  
ب) چه مدت طول می‌کشد تا این فرایند انجام شود؟ فرض کنید تمام انرژی الکتریکی تبدیل شده به انرژی گرمایی، به آب می‌رسد.

پاسخ:

الف) با توجه به رابطه ۴-۱۱ و جدول ۴-۶ داریم:

$$Q = mL_V = (2/0 \text{ kg})(2256 \times 10^3 \text{ J/kg}) = 4/5 \times 10^6 \text{ J}$$

ب) آن‌گاه با استفاده از رابطه توان خواهیم داشت:

$$Q = P\Delta t \Rightarrow \Delta t = \frac{Q}{P} = \frac{4/5 \times 10^6 \text{ J}}{1/5 \times 10^3 \text{ J/s}} = 3/0 \times 10^3 \text{ s} = 50 \text{ min}$$

برای اندازه‌گیری گرمای نهان تبخیر در نقطه جوش هر مایع روش‌های عملی گوناگونی وجود دارد که آزمایش ۴-۴ براساس یکی از این روش‌ها طراحی شده است.

## آزمایشی برای تعیین گرمای نهان تبخیر آب (۴-۴)

## آزمایش ۴-۴

هدف: تعیین گرمای نهان تبخیر آب

وسایله‌های مورد نیاز: بشر ۲۰۰ cc، دماسنج، سه پایه، توری، پایه و گیره، چراغ گاز، زمان‌سنج، آب و ترازو

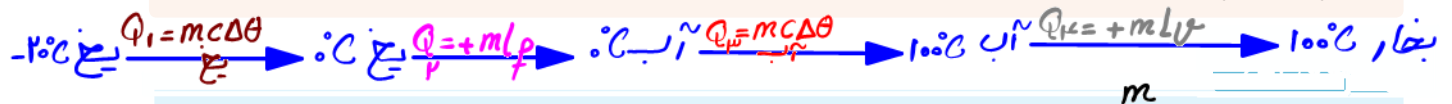
شرح آزمایش:

۱- جرم بشر خالی را اندازه‌گیری کنید و مقدار معینی آب (مثلاً ۲۰۰ g) در آن بریزید.  
۲- توری را روی سه پایه 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 مخزن آن کمی پایین‌تر از سطح آب باشد.

۴- در لحظه‌ای که دمای آب به  $\theta_1 = 70^\circ \text{C}$  می‌رسد زمان‌سنج را روشن کنید ( $t_1 = 0 \text{ s}$ ).  
۵- صبر کنید تا آب به جوش آید. زمان ( $t_2$ ) و دما ( $\theta_2$ ) را ثبت کنید.

۶- با استفاده از رابطه  $P(t_2 - t_1) = mc(\theta_2 - \theta_1)$  و جای‌گذاری مقادیر معلوم، توان گرمادهی چراغ به آب ( $P$ ) را به دست آورید.  
۷- گرما دادن را آن قدر ادامه دهید تا مقدار قابل ملاحظه‌ای از آب بخار شود (تذکر: در طول گرمادادن باید شرایط چراغ و بشر ثابت بماند تا توان گرمادهی چراغ به آب تغییر نکند).

۸- زمان ( $t_2$ ) را ثبت کنید. بشر را از روی چراغ بردارید و با وزن کردن آن جرم آب بخار شده ( $m'$ ) را به دست آورید.  
۹- گرمای تبخیر را با استفاده از رابطه  $P(t_2 - t_1) = m' L_V$  به دست آورید.



قطعه یخی به جرم  $1/0 \text{ kg}$  و دمای اولیه  $20^\circ \text{C}$  را آن قدر گرم می‌کنیم تا تمام آن تبدیل به بخار  $100^\circ \text{C}$  شود. کل گرمای

مورد نیاز برای این تبدیل چند کیلو ژول است؟  $c_{\text{یخ}} = 2100 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}}$  و  $c_{\text{آب}} = 4200 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}}$  و  $L_f = 334 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$  و  $L_V = 2250 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

$$Q_1 = 1 \times 2100 \times 20 = 42000 \text{ J} = 42 \text{ kJ}$$

$$Q_2 = 1 \times 4200 \times 100 = 420000 \text{ J} = 420 \text{ kJ}$$

$$Q_3 = 1 \times 334 \dots = 334 \dots \text{ J} = 334 \text{ kJ}$$

$$Q_4 = 1 \times 2250 \dots = 2250 \dots \text{ J} = 2250 \text{ kJ}$$

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$$

$$Q_T = 3048 \text{ kJ}$$



تبدیل بخار به مایع نیز در طبیعت رخ می‌دهد و گاهی قطره‌های مایعی از بخار روی سطوح جامد تشکیل می‌شود. به این پدیده، میعان گفته می‌شود. در واقع میعان، وارون فرایند تبخیر است. بنابراین، بخار گرما از دست می‌دهد و به مایع تبدیل می‌شود. گرمای مربوط به میعان مقداری بخار به جرم  $m$  و گرمای نهان تبخیر  $L_V$  از رابطه  $Q = -mL_V$  محاسبه می‌شود. علامت منفی نشان‌دهنده آن است که بخار هنگام میعان 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 میعان بخار آب روی بدنمان است.



#### فعالیت ۴-۱۰

در مورد ایجاد شبنم صبحگاهی روی گیاهان تحقیق کنید.

به دلیل پایین بودن دمای هوا هنگام طلوع خورشید، بخار آب موجود در هوا در اثر برخورد با سطوح سردتر مثل شاخ و برگ گیاهان با از دست دادن گرما و طی فرایند میعان باعث ایجاد شبنم صبحگاهی می‌شود.

#### مثال ۴-۱۴



در یک روز زمستانی، بخار آب موجود در اتاقی روی شیشه پنجره به شکل مایع درمی‌آید و قطره‌قطره می‌شود. اگر دمای شیشه حدود  $5^\circ\text{C}$  باشد برای آنکه  $50\text{g}$  آب روی شیشه تشکیل شود چقدر گرما به شیشه داده می‌شود؟  
**پاسخ:** با استفاده از جدول ۴-۶ و رابطه ۴-۱۱ داریم:  

$$Q = -mL_V = -(50 \times 10^{-3}\text{ kg})(2490 \times \frac{10^3\text{ J}}{\text{kg}}) = -1/2 \times 10^5\text{ J}$$
 در این عمل،  $1/2 \times 10^2\text{ kJ}$  گرما به شیشه داده می‌شود.

#### فعالیت ۴-۱۱

در فرایندهای تغییر حالت (تغییر فاز) دما تغییر نمی‌کند، اما انرژی درونی ماده تغییر می‌کند. در این باره تحقیق کنید.

زیادتر گرما داده شده در این حالت باعث افزایش انرژی درونی و جنبشی یعنی بالا رفتن انرژی درونی می‌شود. با ادامه دادن گرما به ماده، جنب و جوش ذرات آن بالا رفته و پیوسته میان آن‌ها است می‌شود که این موضوع خود را به صورت افزایش انرژی پتانسیل نشان می‌دهد.

#### ۴-۵ روش‌های انتقال گرما



همان‌طور که در کتاب علوم هفتم دیدیم، شارش گرما به سه صورت متفاوت انجام می‌شود که عبارت‌اند از: رسانش گرمایی، همرفت و تابش گرمایی. در هر فرایند انتقال گرما، ممکن است هر سه این ساز و کارها دخالت داشته باشند (شکل ۴-۲۵).

اختلاف دما باعث شارش 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 تعادل گرمایی برسند. در ادامه به بررسی دقیق‌تر ساز و کار هر یک از این روش‌ها می‌پردازیم.

شکل ۴-۲۵ هر سه روش انتقال گرما را در این تصویر مشاهده می‌کنید.

شکل ۴-۲۵



**رسانش گرمایی:** بسیاری از ما این تجربه را داریم که انتهای قاشق فلزی درون

ظرف غذای روی اجاق روشن را با دست گرفته و داغی آن را احساس کرده‌ایم. اما

همچنین دیده‌ایم اجسامی دیگر مانند شیشه، چوب و... نیز می‌توانند گرما را تا حدودی

انتقال دهند. رسانش گرمایی در این اجسام، به دلیل ارتعاش اتم‌ها و گسترش این

ارتعاش‌ها در طول آنهاست (شکل ۴-۲۶). به جهت نبود الکترون‌های آزاد، این

اجسام رساناهای گرمایی خوبی نیستند. به همین دلیل از برخی از این مواد در دیوارها

و سقف بناها استفاده می‌کنند تا حتی الامکان از خروج گرما در زمستان و ورود آن در

تابستان جلوگیری کنند.

اما در فلزات افزون بر ارتعاش‌های اتمی، الکترون‌های آزاد نیز در انتقال گرما نقش

دارند. بنابراین، نسبت به سایر اجسام، رساناهای گرمایی بسیار بهتری هستند. در

واقع چون الکترون‌ها بسیار کوچک‌اند و به سرعت حرکت می‌کنند با برخورد با سایر

الکترون‌ها و اتم‌ها سبب رسانش گرما می‌شوند (شکل ۴-۲۷). بنابراین، در رساناهای

فلزی سهم الکترون‌های آزاد در رسانش گرما بیشتر از اتم‌هاست.

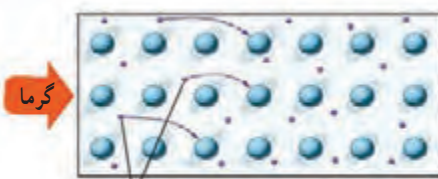


**شکل ۴-۲۶:** در فلزات گرما صرفاً از طریق

ارتعاش اتم‌ها انتقال می‌یابد. در شکل، این

انتقال ارتعاشات توسط فنرها تشبیه‌سازی

شده است.



الکترون‌های آزاد

**شکل ۴-۲۷:** الکترون‌های آزاد با برخورد به

یکدیگر و اتم‌ها موجب رسانش بهتری برای

گرما می‌شوند.

#### فعالیت ۴-۱۲

موهای خرس قطبی تو خالی هستند. تحقیق کنید این موضوع چه نقشی در گرم نگه داشتن بدن خرس در سرمای قطب دارد؟

*چون هوا رسانای خوبی برای گرما نیست، بنابراین*

*تو خالی بودن موهای خرس باعث می‌شود که گرمای*

*بدن این جاندار به محیط بیرون منتقل نشود.*



تصویری بسیار بزرگ شده از موی یک خرس قطبی

**همرفت:** وقتی ظرف بزرگی از آب را روی اجاق می‌گذاریم چگونه همه آب آن در مدت نه چندان

زیادی گرم می‌شود؟ بخاری چگونه هوای داخل اتاق را گرم می‌کند؟

انتقال گرما در مایعات و گازها که معمولاً رساناهای گرمایی خوبی نیستند عمدتاً به روش همرفت،

یعنی همراه با جابه‌جایی بخشی از خود ماده، انجام می‌گیرد. همان‌طور که در کتاب علوم هشتم دیدید

این پدیده بر اثر کاهش چگالی شاره با افزایش دما صورت می‌گیرد. انتقال گرما به روش همرفت را

می‌توان به سادگی با انجام آزمایش نمایش داد.



# آزمایش برای مشاهده پدیده همرفت

آزمایش ۴-۵



**هدف:** مشاهده پدیده همرفت

**وسایله‌های موردنیاز:** لوله همرفت، گیره و پایه، آب سرد، دانه‌های پتاسیم پرمنگنات یا جوهر، چراغ الکلی یا گازی

**شرح آزمایش:**

- ۱- لوله را از آب سرد پر کنید و به آرامی چند دانه پتاسیم پرمنگنات (یا چند قطره جوهر) را از دهانه لوله به داخل آن بریزید.
- ۲- یکی از شاخه‌های قائم لوله را مطابق شکل روی شعله بگیرید و در همان لحظه شاخه قائم دیگر لوله را با دست لمس کنید.
- ۳- دستتان را از شاخه قائم بردارید و در حالی که گرما دادن را ادامه می‌دهید به مایع درون لوله با دقت نگاه کنید. پس از چند دقیقه دوباره همان شاخه قائم لوله را لمس کنید.
- ۴- مشاهدات خود را بنویسید و با بحث در گروه، دلیل هر یک از مشاهدات را توضیح دهید.

همرفت می‌تواند در همهٔ شماره‌ها، چه مایع و چه گاز، به وقوع بپیوندد. در همرفت، برخلاف

رسانش گرمایی، انتقال گرما با انتقال بخش‌هایی از خود ماده صورت می‌گیرد و وقتی شماره

در تماس با جسمی گرم‌تر از خود قرار گیرد، فاصلهٔ متوسط مولکول‌ها در بخشی از شماره

که در تماس با جسم گرم است، افزایش می‌یابد؛ بدین ترتیب حجم آن زیاد می‌شود، در نتیجه

چگالی این قسمت از شماره کاهش می‌یابد؛ چون اکنون چگالی این شمارهٔ انبساط یافته کمتر از

شمارهٔ سردتر اطراف خود است. نیروی شناوری (بنا به اصل ارشمیدس) موجب بالا رفتن آن

می‌شود. آن‌گاه مقداری از شمارهٔ سردتر اطراف آن، جایگزین شمارهٔ گرم‌تر می‌شود که بالا رفته

است و این فرایند به همین ترتیب ادامه می‌یابد (گرم شدن هوای داخل اتاق به وسیلهٔ بخاری

و رادیاتور شوفاژ (شکل ۴-۲۸)، گرم شدن آب درون قابلمه (شکل ۴-۲۹)، جریان‌های باد

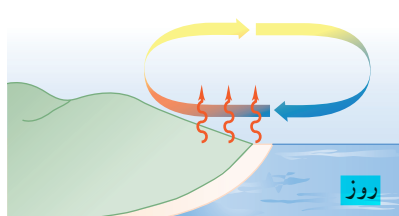
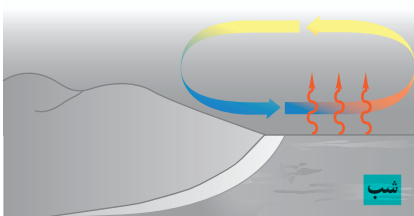
ساحلی (شکل ۴-۳۰)، انتقال گرما از مرکز خورشید به سطح آن و ... همگی بر اثر پدیدهٔ

همرفت رخ می‌دهند. همهٔ این مثال‌ها نمونه‌هایی از همرفت طبیعی است.)



شکل ۴-۲۸ گرم شدن هوای اتاق به روش همرفت

مقاله‌هایی از پدیده‌های همرفت طبیعی



شکل ۴-۳۰ روز: زمین ساحل گرم‌تر از آب دریاست. پدیدهٔ همرفت موجب نسیمی از سوی دریا به سمت

ساحل می‌شود. شب: زمین ساحل سردتر از آب دریاست. پدیدهٔ همرفت موجب نسیمی از سوی ساحل به سمت دریا می‌شود.

شکل ۴-۲۹ گرم شدن آب درون قابلمه به روش همرفت

## شکل‌ها هم

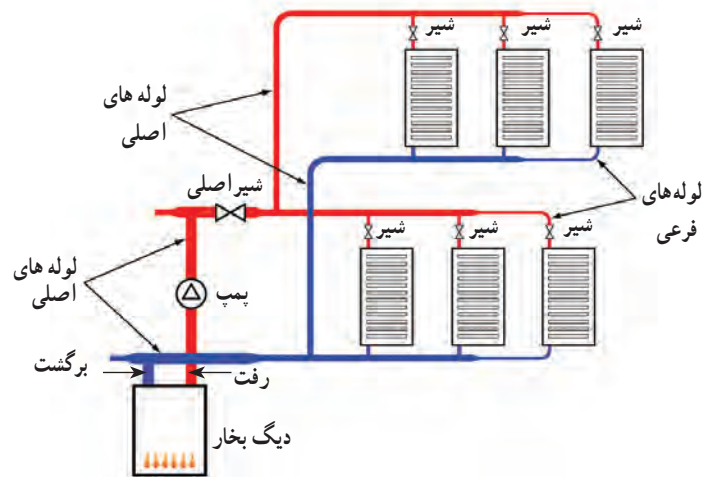
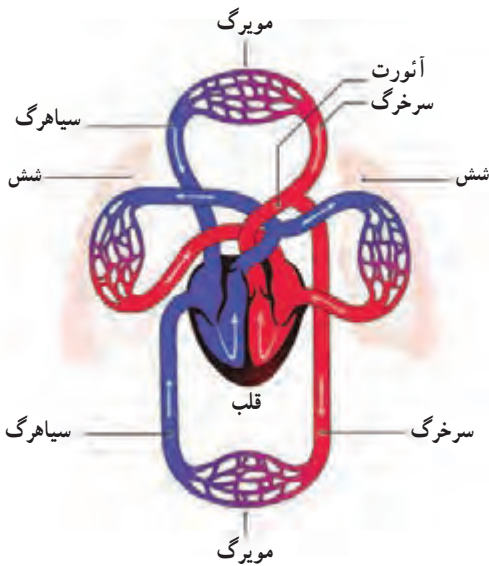


بالا بودن ضریب انبساط حجمی مایعات باعث می‌شود که اختلاف پتانسیل بین قسمت‌های گرم و سرد مایع بیشتر شود و در نتیجه همرفت با سرعت بیشتری انجام شود.

به نظر شما چه ارتباطی بین انتقال گرما به روش همرفت و ضریب انبساط حجمی، برای یک مایع وجود دارد؟

نوع دیگری از همرفت، همرفت واداشته است که در آن شماره به کمک یک تلمبه (طبیعی یا مصنوعی) به حرکت واداشته می‌شود تا با این حرکت، انتقال گرما صورت پذیرد (سیستم گرم‌کننده مرکزی در ساختمان‌ها (شکل ۴-۳۱)، سیستم خنک‌کننده موتور اتومبیل و نیز گرم و سرد شدن بخش‌های مختلف بدن بر اثر گردش جریان خون (شکل ۴-۳۲) در بدن جانوران خونگرم مثال‌هایی عینی از انتقال گرما به روش همرفت واداشته هستند)

مثال‌های همرفت واداشته



شکل ۴-۳۲ طرحی از دستگاه گردش خون که در آن قلب همچون تلمبه‌ای باعث همرفت واداشته خون می‌شود.

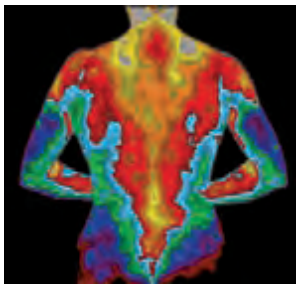
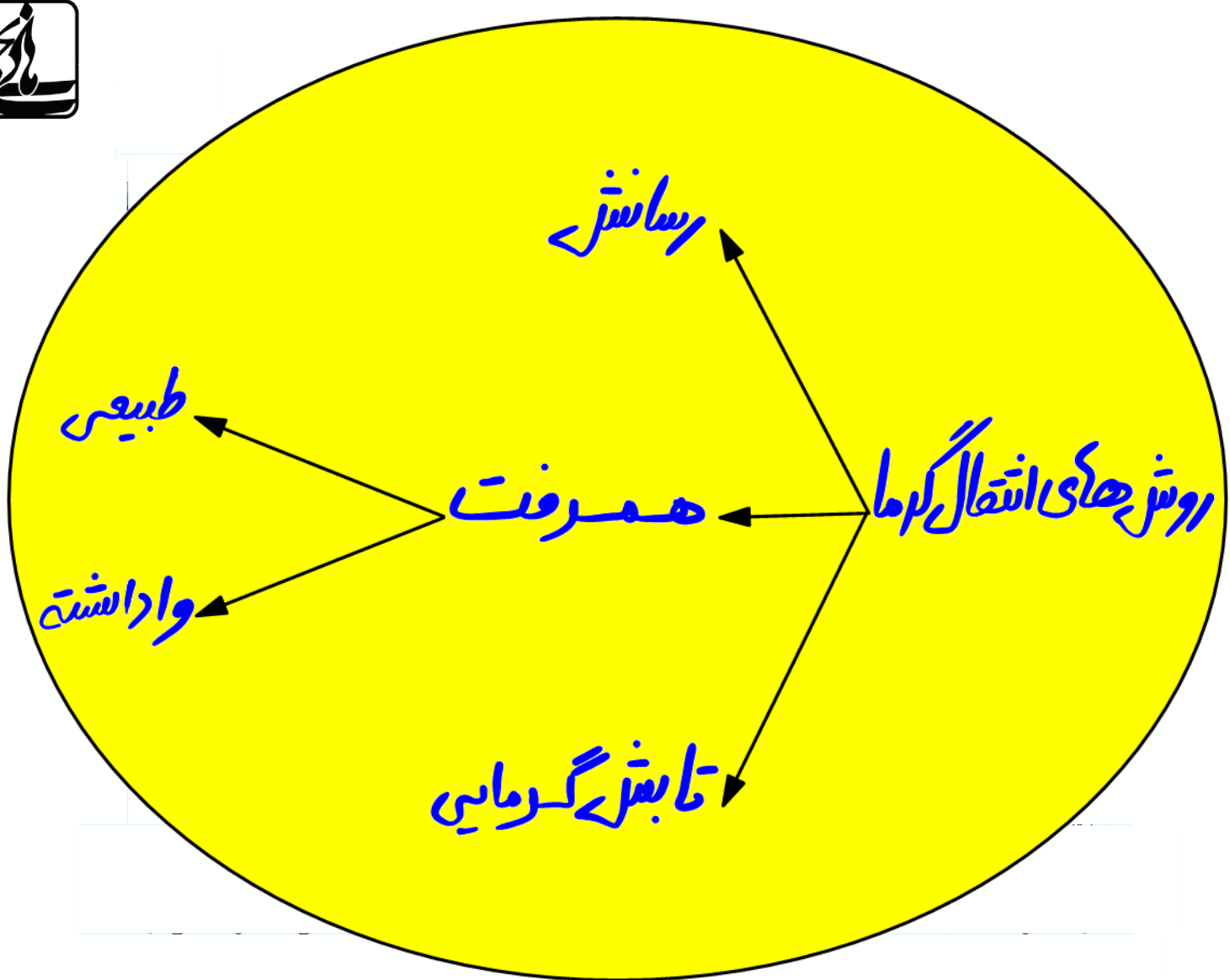
شکل ۴-۳۱ طرحی از سیستم گرم‌کننده مرکزی در ساختمان‌ها

### فعالیت ۴-۱۳



چهار بطری شیشه‌ای یکسان، دو رنگ جوهر قرمز و آبی، دو کارت ویزیت مقوایی و آب بسیار سرد و بسیار گرم تهیه کنید. در دو تا از بطری‌ها جوهر آبی و در دو بطری دیگر جوهر قرمز بریزید. سپس بطری‌های آبی را با آب خیلی سرد و بطری‌های قرمز را با آب خیلی گرم پر کنید. اکنون در حالی که دهانه یک بطری قرمز را با کارت ویزیت گرفته‌اید، دهانه آن را دقیقاً روی دهانه یک بطری آبی قرار دهید و سپس کارت را بیرون بکشید. همین آزمایش را به طور معکوس نیز انجام دهید؛ یعنی این بار، یک بطری آبی رنگ که دهانه آن با کارت پوشیده شده است را روی دهانه یک بطری قرمز رنگ قرار دهید و سپس کارت را بیرون بکشید. مشاهدات خود را توضیح دهید. از

این آزمایش چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟ در حالتی که آب گرم در بطری بالایی قرار دارد، پس از برداشتن کارت ویزیت سردی تغییر نمی‌کند. اما در حالتی که آب گرم در بطری پایینی قرار دارد، پس از برداشتن کارت ویزیت، آب گرم به دلیل همرفت به طرف بالا حرکت می‌کند و آب سرد به سمت پایین می‌آید، در نتیجه آب در دو بطری به شکل مخلوطی از رنگ‌های آبی و قرمز خواهد بود و پس از بریدن مایع آبی پایین آورده و آنرا بالا می‌رود.



**شکل ۴-۳۳** تصویری دمانگاشت از بدن یک فرد. سطح بدن یک فرد معمولی در محیطی با دمای  $22^{\circ}\text{C}$  به دلیل تابش گرمایی با آهنگی در حدود  $100\text{ W}$  گرما از دست می‌دهد در حالی که در همین شرایط به دلیل همرفت و رسانش در هوای مجاور سطح بدن، در مجموع با آهنگی در حدود  $100\text{ W}$  گرما از دست می‌دهد.

**تابش گرمایی:** همه ما تجربه گرم شدن در آفتاب را داریم. با نزدیک کردن دستان به اجسام گرمی مانند رادیاتور گرم شوفاژ، یا زیر لامپ رشته‌ای روشن نیز تجربه مشابهی خواهیم داشت. آیا با نزدیک کردن دستان به زیر لامپ رشته‌ای، گرما با روش رسانش، یا همرفت به دستان می‌رسد؟

می‌دانید که هوا رسانای خوبی نیست و چون دست شما زیر لامپ قرار دارد، انتقال گرما به روش همرفت نیز نمی‌تواند رخ داده باشد. خورشید، لامپ داغ، کتری، رادیاتور شوفاژ و ... از خود پرتوهایی گسیل می‌کنند که دست ما با جذب کردن آنها گرم می‌شود. این پرتوها از نوع امواج الکترومغناطیسی هستند که در سال‌های بعد خواهید دید شامل امواج رادیویی، تابش فرسرخ، نور مرئی، تابش فرابنفش، پرتوهای X و پرتوهای  $\gamma$  است. هر کدام از این امواج چشمه‌های تولیدکننده مربوط به خود را دارد. ما در این بخش، به تابش الکترومغناطیسی گسیل شده از مواد بر اثر دمای آنها سروکار داریم. در واقع هر جسم در هر دمایی تابش الکترومغناطیسی گسیل می‌کند. به این نوع تابش، تابش گرمایی می‌گویند. نشان داده می‌شود که تابش گرمایی در دماهای زیر حدود

۱- Air Inversion

۲- Temperature Inversion



$50^{\circ}\text{C}$  عمدتاً به صورت تابش فروسرخ است که نامرئی است. برای آشکارسازی تابش‌های فروسرخ از ابزاری موسوم به **دمانگار** استفاده می‌کنیم و به تصویر به دست آمده از آن **دمانگاشت**<sup>۲</sup> می‌گوییم. شکل ۴-۳۳ تصویر دمانگاشتی از بدن یک شخص را نشان می‌دهد. توجه کنید که رنگ‌ها نمادین است و ناحیه‌های گرم‌تر با رنگ قرمز و ناحیه‌های سردتر با رنگ آبی مشخص شده است.

تابش گرمایی از سطح هر جسم علاوه بر دما به مساحت، میزان صیقلی بودن و رنگ سطح آن جسم بستگی دارد (شکل ۴-۳۴). سطوح صاف و درخشان با رنگ‌های روشن تابش گرمایی کمتری دارند، در حالی که تابش گرمایی سطوح تیره، ناصاف و مات بیشتر است.

تابش گرمایی در پدیده‌های زیستی نیز کاربردهای فراوانی دارد که در اینجا به دو نمونه از آنها اشاره می‌شود.

**الف) شکار تابش فروسرخ:** نوعی از مارهای زنگی اندام‌هایی حفره‌ای بر روی پوست خود دارند که نسبت به تابش فروسرخ حساس‌اند (شکل ۴-۳۵). این مارها اغلب در سیاهی شب شکار می‌کنند. در واقع اندام‌های حفره‌ای به آنها کمک می‌کند که طعمه‌های خونگرم خود را به واسطه تابش فروسرخشان در تاریکی و سرمای شب مشاهده کنند.

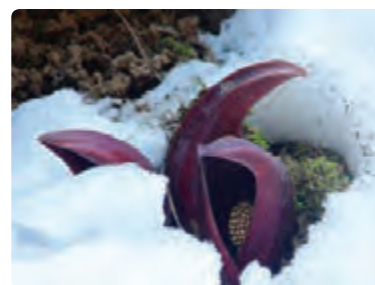
**ب) کلم اسکانک<sup>۳</sup>:** کلم اسکانک (شکل ۴-۳۶) یکی از چندین گیاهی است که می‌تواند دمایش را تا بیشتر از دمای محیط بالا ببرد. این نوع کلم به خاطر بالا رفتن دمایش، انرژی خود را از طریق تابش فروسرخ از دست می‌دهد و می‌تواند برف اطرافش را در زمستان آب کند.



**شکل ۴-۳۳** درون مکعب لسلی، آب داغ می‌ریزند. تابش گرمایی از چهار وجه مکعب که رنگ‌های متفاوتی دارند، با هم فرق دارد.



**شکل ۴-۳۵** اینها اندام‌های حفره‌ای هستند که گرما را آشکار می‌کنند.



**شکل ۴-۳۶** کلم اسکانک برف اطراف خود را آب کرده است.

#### فعالیت ۴-۱۴



**پرتوسنج (رادومتر) وسیله‌ای است که از یک حباب شیشه‌ای تشکیل شده است که درون آن چهار پره فلزی قائم قرار دارد که می‌توانند حول یک محور (سوزن عمودی) بچرخند) دو وجه هر چهار پره، یک در میان سفید و سیاه است. وقتی این وسیله کنار یک چشمه نور قرار گیرد، پره‌ها حول سوزن عمودی می‌چرخند و هر چه شدت نور بیشتر باشد، این چرخش سریع‌تر است. در مورد دلیل چرخش پره‌ها تحقیق کنید.**

۱- Thermograph

۲- Thermogram

۳- Skunk Cabbage





از تابش گرمایی می‌توان به عنوان مبنایی برای اندازه‌گیری دمای اجسام استفاده کرد. به روش‌های اندازه‌گیری دما مبتنی بر تابش گرمایی، تفسنجی<sup>۱</sup> و به ابزارهای اندازه‌گیری دما به این روش، تفسنج<sup>۲</sup> می‌گویند. تفسنج بر خلاف سایر دماسنج‌ها بدون تماس با جسمی که می‌خواهیم دمای آن را اندازه بگیریم، دمای جسم را اندازه می‌گیرد. تفسنجی، به‌خصوص در اندازه‌گیری دماهای بالای  $1100^{\circ}\text{C}$  اهمیت ویژه‌ای دارد. تفسنج تابشی و تفسنج نوری، تفسنج‌هایی برای اندازه‌گیری این دماها هستند و تفسنج نوری به عنوان دماسنج معیار برای اندازه‌گیری این دماها انتخاب شده است.





## ۴-۱ دما و دماسنجی

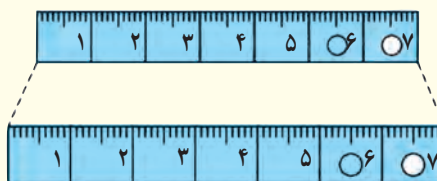
۱ دماهای زیر را بر حسب درجه سلسیوس و فارنهایت مشخص کنید:

الف)  $0^\circ\text{K}$  (ب)  $273\text{K}$   
پ)  $373\text{K}$  (ت)  $546\text{K}$

۲ برای اندازه‌گیری دمای یک جسم توسط دماسنج به چه نکاتی باید توجه کنیم؟ (راهنمایی: به نکاتی که در فصل ۱ خواندید نیز توجه کنید)

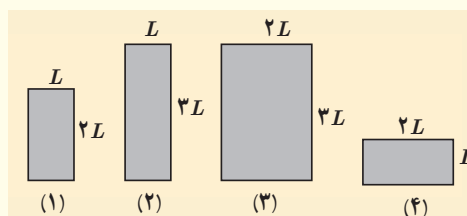
## ۴-۲ انبساط گرمایی

۳ شکل زیر، یک خط کش فلزی را که در آن سوراخی ایجاد شده است در دو دمای متفاوت نشان می‌دهد (برای روشن بودن مطلب، انبساط به صورت اغراق آمیزی رسم شده است). از این شکل چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟



۴ شکل زیر چهار صفحه فلزی هم جنس به اضلاع متفاوت را در یک دما نشان می‌دهد. اگر دمای همه آنها را به اندازه یکسان زیاد کنیم،

الف) ارتفاع کدام صفحه یا صفحه‌ها بیشتر افزایش پیدا می‌کند؟  
ب) مساحت کدام یک بیشتر افزایش پیدا می‌کند؟  
پ) اگر در هر چهار تایی آنها روزنه کوچک هم‌اندازه‌ای وجود داشته باشد، افزایش قطر چهار روزنه در اثر افزایش دمای یکسان را با هم مقایسه کنید.



۵ یک بزرگراه از بخش‌های بتونی به طول  $25\text{ m}$  ساخته شده است. این بخش‌ها در دمای  $10^\circ\text{C}$ ، بتون‌ریزی و عمل آورده شده‌اند. برای جلوگیری از تاب برداشتن بتون در دمای  $50^\circ\text{C}$ ، مهندسان باید چه فاصله‌ای را بین این قطعه‌ها در نظر بگیرند؟ ( $\alpha \approx 14 \times 10^{-6}\text{K}^{-1}$  بتون)

۶ یک ظرف آلومینیومی با حجم  $400\text{ cm}^3$  در دمای  $20^\circ\text{C}$  به طور کامل از گلیسرین پر شده است. اگر دمای ظرف و گلیسرین به  $30^\circ\text{C}$  برسد، چقدر گلیسرین از ظرف بیرون می‌ریزد؟

۷ مقداری بنزین در مخزنی استوانه‌ای به ارتفاع  $h=10\text{ m}$  ریخته شده است. در دمای  $1^\circ\text{C}$  فاصله بین سطح بنزین تا بالای ظرف برابر  $\Delta h=5\text{ cm}$  است. اگر از انبساط ظرف در نتیجه افزایش دما چشم‌پوشی شود، در چه دمایی بنزین از ظرف سرریز می‌شود؟

۸ در شکل زیر با کاهش دما، نوار دوفلزه به طرف پایین خم می‌شود. اگر یکی از نوارها، برنجی و نوار دیگر فولادی باشد؛  
الف) نوار بالایی از چه جنسی است؟  
ب) اگر نوارها را گرم کنیم به کدام سمت خم می‌شوند.



۹ طول خط‌های لوله گاز، نفت و فراورده‌های نفتی در کشورمان که عمدتاً مواد سوختی را از جنوب کشور به مرکز و شمال منتقل می‌کند به چند هزار کیلومتر می‌رسد. دمای هوا در زمستان ممکن است تا  $1^\circ\text{C}$  - و در تابستان تا  $5^\circ\text{C}$  + برسد. جنس این لوله‌ها عموماً از فولاد با  $\alpha \approx 10 \times 10^{-6}\text{K}^{-1}$  است. طول خط لوله، بین دو ایستگاه تهران - اصفهان تقریباً  $230\text{ km}$  است.



$T = 0 K$

$$T = \theta + 273 \rightarrow 0 = \theta + 273 \rightarrow \theta = -273^\circ C$$

$$F = \frac{9}{5} \theta + 32 \rightarrow F = \frac{9}{5} (-273) + 32 = -459,4^\circ F$$

الف)

$T = 273 K$

$$T = \theta + 273 \rightarrow 273 = \theta + 273 \rightarrow \theta = 0^\circ C$$

$$F = \frac{9}{5} \theta + 32 \rightarrow F = \frac{9}{5} (0) + 32 \rightarrow F = 32^\circ F$$

ب)

$T = 373 K$

$$T = \theta + 273 \rightarrow 373 = \theta + 273 \rightarrow \theta = 100^\circ C$$

$$F = \frac{9}{5} \theta + 32 = \frac{9}{5} (100) + 32 = 212^\circ F$$

پ)

$T = 544 K$

$$T = \theta + 273 \rightarrow 544 = \theta + 273 \rightarrow \theta = 271^\circ C$$

$$F = \frac{9}{5} \theta + 32 = \frac{9}{5} (271) + 32 = 522,4^\circ F$$

د)

جواب ۲) ۱- د ماسنج دقت لائز را برای اندازه گیری داشته باشد. ۲- شخص آزمایشگر مهارت لائز را برای اندازه گیری داشته باشد. ۳- اندازه گیری چند بار تکرار شود و پس از حذف اعدادی که فاصله ی زیادی با اعداد دیگر دارند، میانگین اعداد باقی مانده را حساب می کنیم. ۴- مقارنی میسر کنیم دماسنج با جسم به تعادل دمایی برسند.

جواب ۳) این شکل نشان می دهد که انبساط گرمایی باعث انبساط جسم در تمام ابعاد می شود. حتی اگر جغزه ای هم داخل جسم باشد، جغزه هم به همان نسبت منبسط می شود.

جواب ۴) الف) طبق رابطه ی انبساط طولی  $\Delta L = L_0 \alpha \Delta T$  هر چه ارتفاع اولیه بیشتر باشد، افزایش ارتفاع نیز بیشتر می شود. پس افزایش ارتفاع در شکل های ۱ و ۲ بیشتر است.

$$\Delta L_3 = \Delta L_4 > \Delta L_1 > \Delta L_2$$

ب) طبق رابطه ی انبساط سطحی  $\Delta A = A_0 \alpha \Delta T$  هر چه مساحت اولیه بیشتر باشد، افزایش مساحت نیز بیشتر می شود.

$$\Delta A_3 > \Delta A_4 > \Delta A_1 = \Delta A_2$$

پ) چون روزنه ها هم اندازه هستند و هر چهار قطعه از یک جنس اند، افزایش قطر هر چهار روزنه بیک اندازه خواهد بود.

$\Delta \theta = 1^\circ C$

$$L_1 = 25 m \quad \theta_1 = 1^\circ C \quad \theta_2 = 50^\circ C \quad \alpha = 14 \times 10^{-6} K^{-1}$$

$$\Delta L = L_1 \alpha \Delta \theta = 25 \times 14 \times 10^{-6} \times 1^\circ = 14 \times 10^{-3} m$$

جواب ۷

بیرون ریخته  $V_2 = ?$

$$\alpha_{AL} = 23 \times 10^{-4} \frac{1}{K}$$

$$B = 49 \times 10^{-5} \frac{1}{K}$$

$$\Delta\theta = 10^\circ C \quad \theta_1 = 10^\circ C \quad \theta_2 = 30^\circ C$$

$$V_1 = 100 \text{ cm}^3$$

روش اول:

$$\Delta V_1 = V_1 B \Delta\theta = 100 \times 49 \times 10^{-5} \times 10 = 1149 \text{ cm}^3$$

$$\Delta V_2 = V_1 \alpha \Delta\theta = 100 \times 23 \times 10^{-4} \times 10 = 01274 \text{ cm}^3$$

$$V_2 = \Delta V_1 - \Delta V_2 = 1149 - 01274 = 11484 \text{ cm}^3$$

روش دوم:

$$V_2 = V_1 \Delta\theta (B - \alpha) = 100 \times 10 \times (49 \times 10^{-5} - 23 \times 10^{-4}) = 11484 \text{ cm}^3$$

جواب ۷

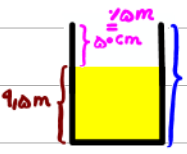
$$\text{شرط سرریز نشدن: } \Delta V_{\text{مغز}} = \Delta V_{\text{مغز}}$$

$$\Delta V_{\text{مغز}} = A \times 10 = 10A$$

$$\Delta V_{\text{مغز}} = V_1 B \Delta\theta = 91.5 A \times 10^{-3} \Delta\theta$$

$$10A = 91.5 A \times 10^{-3} \Delta\theta$$

$$\Delta\theta = 52^\circ C \quad \Delta\theta = \theta_2 - \theta_1 \quad 52 = \theta_2 - (-10) \quad \theta_2 = 42^\circ C$$



جواب ۸ الف) از آن جایی که  $\alpha$  فولاد  $>$   $\alpha$  است، چون با کاهش دما نوار به سمت پایین خم شده است پس  $\alpha$  نوار پایین باید بیشتر از نوار بالایی بوده باشد.

پس نوار بالایی از جنس فولاد است.

ب) در این حالت نوارها به سمت بالا خم می شوند.

$$L_1 = 23 \text{ Km} \quad \alpha = 10^{-5} \frac{1}{K} \quad \Delta\theta = 40^\circ C \quad \theta_1 = -10^\circ C \quad \theta_2 = 50^\circ C \quad \Delta L = ?$$

جواب ۹ الف)

$$\Delta L = L_1 \alpha \Delta\theta = 23 \times 10^{-5} \times 40 = 0114 \text{ Km}$$

ب) جابجایی بزرگی مناسب می توان از تغییر دما و در نتیجه انبساط خط لوله تا حد قابل توجهی جلوگیری کرد.



#### ۴-۴ تغییر حالت‌های ماده

۱۴ یکی از روش‌های بالابردن دمای یک جسم، دادن گرما به آن است. اگر به جسمی گرما دهیم، آیا دمای آن حتماً بالا می‌رود؟ توضیح دهید.

۱۵ قبل از تزریق دارو یا سرم به یک بیمار، محل تزریق را با الکل تمیز می‌کنند. این کار سبب احساس خنکی در محل تزریق می‌شود. علت را توضیح دهید.

۱۶ کدام گزینه درباره فرایند ذوب نادرست است؟

(الف) افزایش فشار وارد بر جسم در بیشتر مواد، سبب پایین رفتن نقطه ذوب می‌شود.

(ب) افزایش فشار بر روی یخ، سبب کاهش اندک نقطه ذوب آن می‌شود.

(پ) فرایند ذوب، عملی گرماگیر است.

(ت) گرمایی که جسم جامد در نقطه ذوب خود می‌گیرد تا به مایع تبدیل شود، سبب تغییر دمای آن نمی‌شود.

۱۷ کمترین گرمای لازم برای ذوب کامل  $200\text{g}$  نقره که در آغاز در دمای  $20^\circ\text{C}$  قرار دارد چقدر است؟ (فشار هوا را یک اتمسفر فرض کنید)

۱۸ یک راه برای جلوگیری از سرد شدن بیش از حد یک سالن سرپسته در شب هنگام، وقتی که دمای زیر صفر پیش‌بینی شده است، قرار دادن تشت بزرگ پر از آب در سالن است. اگر جرم آب درون تشت  $15\text{kg}$  و دمای اولیه آن  $20^\circ\text{C}$  باشد و همه آن به یخ  $0^\circ\text{C}$  تبدیل شود، آب چقدر گرما به محیط پیرامونش می‌دهد؟

۱۹ یک گرمکن  $50^\circ\text{C}$  واتی به‌طور کامل در  $100$  گرم آب درون یک گرماسنج قرار داده می‌شود.

(الف) این گرمکن در مدت یک دقیقه دمای آب و گرماسنج را از  $20^\circ\text{C}$  به  $25^\circ\text{C}$  می‌رساند. ظرفیت گرمایی گرماسنج را حساب کنید.

(ب) چه مدت طول می‌کشد تا دمای آب درون گرماسنج از  $25^\circ\text{C}$  به نقطه جوش ( $100^\circ\text{C}$ ) برسد؟

(پ) چه مدت طول می‌کشد تا  $20$  گرم آب در حال جوش درون این گرماسنج به بخار تبدیل شود؟

(الف) در اثر این اختلاف دما، این خط چقدر منبسط می‌شود؟  
(ب) چگونه می‌توان تأثیر این انبساط را برطرف کرد؟

۱۰ در یک روز گرم یک باری مخزنی حامل سوخت با  $30,000\text{L}$  بنزین بارگیری شده است. دمای هوا در محل تحویل سوخت  $20^\circ\text{C}$  کمتر از محلی، است که در آنجا سوخت بار زده شده است. راننده چند لیتر سوخت را در این محل تحویل می‌دهد؟

#### ۴-۳ گرما

۱۱ برای گرم کردن  $200\text{g}$  آب جهت تهیه چای، از یک گرمکن الکتریکی غوطه‌ور در آب استفاده می‌کنیم. روی برچسب گرمکن  $200\text{W}$  نوشته شده است. با نادیده گرفتن اتلاف گرما، زمان لازم برای رساندن دمای آب از  $30^\circ\text{C}$  به  $100^\circ\text{C}$  را محاسبه کنید.



۱۲ دمای یک قطعه فلز  $60^\circ\text{C}$  کیلوگرمی را توسط یک گرمکن  $50$  واتی در مدت  $11\text{s}$  از  $18^\circ\text{C}$  به  $38^\circ\text{C}$  رسانده‌ایم. این آزمایش برای گرمای ویژه فلز چه مقداری را به دست می‌دهد؟ حدس می‌زنید که این پاسخ از مقدار واقعی گرمای ویژه فلز بیشتر باشد یا کمتر؟ توضیح دهید.

۱۳ 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  $30^\circ\text{C}$  شده است. در این هنگام  $100$  گرم آب  $70^\circ\text{C}$  به گرماسنج اضافه می‌شود، دمای تعادل  $52^\circ\text{C}$  می‌شود. گرمای ویژه قطعه را محاسبه کنید.

$$V_1 = 1000 \text{ L} \quad \Delta\theta = -10^\circ\text{C} \quad \beta = 10^{-4} \frac{1}{\text{K}} \quad V_2 = ?$$

(جواب ۱۰)

$$\Delta V = V_2 - V_1 = 1000 \times 10^{-4} \times (-10) = -400 \text{ L} \quad V_2 = V_1 + \Delta V = 1000 + (-400) = 600 \text{ L}$$

$$m = 100 \text{ g} = 0.1 \text{ kg} \quad \rho = 1000 \text{ W} \quad c_p = 4200 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}} \quad \theta_1 = 10^\circ\text{C} \quad \theta_2 = 70^\circ\text{C} \quad \Delta t = ?$$

(جواب ۱۱)

$$Q = mc\Delta\theta \rightarrow \rho = \frac{mc\Delta\theta}{\Delta t} \rightarrow 1000 = \frac{0.1 \times 4200 \times (70 - 10)}{\Delta t} \rightarrow \Delta t = 141.4 \text{ s}$$

$$m = 0.14 \text{ kg} \quad \rho = 500 \text{ W} \quad \Delta t = 110 \text{ s} \quad \theta_1 = 18^\circ\text{C} \quad \theta_2 = 38^\circ\text{C} \quad c = ?$$

(جواب ۱۲)

چون بخشی از گرمای داده شده توسط کون به هوا و مواد پیرامون فلز داده شده است. پس مقدار واقعی گرمای ویژه فلز کمتر از پاسخ بدست آمده است.

$$\rho = \frac{mc\Delta\theta}{\Delta t} \rightarrow 500 = \frac{0.14 \times c \times (38 - 18)}{110} \rightarrow c = 1451.3 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} m_1 = 100 \text{ g} \\ c_1 = 1000 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}} \\ \theta_1 = 10^\circ\text{C} \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} m_2 = 10 \text{ g} \\ c_2 = ? \\ \theta_2 = 10^\circ\text{C} \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} m_3 = 50 \text{ g} \\ c_3 = 4200 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}} \\ \theta_3 = 10^\circ\text{C} \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} m_4 = 100 \text{ g} \\ c_4 = 4200 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}} \\ \theta_4 = 70^\circ\text{C} \end{array} \right.$$

$\theta = 52^\circ\text{C}$

(جواب ۱۳)

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = 0 \quad m_1 c_1 (\theta - \theta_1) + m_2 c_2 (\theta - \theta_2) + m_3 c_3 (\theta - \theta_3) + m_4 c_4 (\theta - \theta_4) = 0$$

$$100 \times 1000 \times (52 - 10) + 10 \times c_2 \times (52 - 10) + 50 \times 4200 \times (52 - 10) + 100 \times 4200 \times (52 - 70) = 0 \quad c_2 = 4701.4 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}}$$

(جواب ۱۴) خیر، اگر جسم در دمای تبخیر حالت باشند مادی آن بالا نمی رود. به عنوان مثال گرم کردن برف در دمای ۰°C باعث تبخیر شدن برف به

آب و یا گرم کردن آب در دمای ۱۰۰°C باعث تبخیر شدن آب به بخار آب می شود.

(جواب ۱۵) زیرا اکثراً باعث تبخیر سطحی روی پوست می شود که فرآیندی گرماگیر است. در نتیجه احساس خنکی روی پوست ایجاد می شود.

(جواب ۱۶) الف) X ب) ✓ پ) ✓ ت) ✓

$$m = 100 \text{ g} = 0.1 \text{ kg} \quad c = 250 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}} \quad L_f = 90 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad \theta = 94^\circ\text{C} = \text{نقطه ذوب نقره}$$

(جواب ۱۷)

$$Q_1 = 0.1 \times 250 \times 94 = 2350 \text{ J} \quad Q_2 = 0.1 \times 90000 = 9000 \text{ J} \quad Q_T = Q_1 + Q_2 = 11350 \text{ J}$$

$m = 15 \cdot \text{kg}$   $c = 420 \cdot \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{C}}$   $L_f = 225 \cdot \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$   $100^\circ\text{C} \rightarrow 0^\circ\text{C} \rightarrow \text{بقي } 0^\circ\text{C}$   
 $Q_1 = m c \Delta\theta$   $Q_2 = -m L_f$

$Q_1 = 15 \cdot 420 \cdot (-100) = -124 \dots \text{J}$   
 $Q_2 = -15 \cdot 225 \dots = -50 \dots \text{J}$   
 $Q_T = Q_1 + Q_2 = -43 \dots \text{J}$

$P = \dot{Q} = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta\theta$   $m = 100 \text{g} = 0.1 \text{kg}$   $\theta_1 = 10^\circ\text{C}$   $\theta_2 = 20^\circ\text{C}$   $c_p = 420 \cdot \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{C}}$   $\Delta t = 40 \text{s}$   $m c = ?$

$P = \frac{Q}{\Delta t} \rightarrow P = \frac{m c \Delta\theta + m c \Delta\theta}{\Delta t} \rightarrow \dot{Q} = \frac{0.1 \cdot 420 \cdot \dot{\theta} + m c \dot{\theta}}{40}$   $m c = 180 \cdot \frac{\text{J}}{\text{C}}$

$\Delta t = ?$   $P = \dot{Q} = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta\theta$   $\theta_1 = 20^\circ\text{C}$   $\theta_2 = 100^\circ\text{C}$   $c_p = 420 \cdot \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{C}}$   $c = 180 \cdot \frac{\text{J}}{\text{C}}$   $m = 0.1 \text{kg}$

$P = \frac{m c \Delta\theta + m c \Delta\theta}{\Delta t} \rightarrow \dot{Q} = \frac{0.1 \cdot 420 \cdot \dot{\theta} + 180 \cdot \dot{\theta}}{\Delta t}$   $\Delta t = 40 \text{s}$

$m = 2 \cdot \text{g} = 2 \times 10^{-3} \text{kg}$   $L_v = 2254 \cdot \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$   $P = \dot{Q} = \dot{m} \cdot L_v$   $\Delta t = ?$

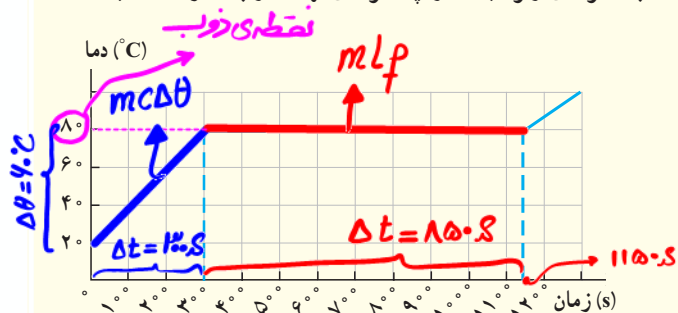
$P = \frac{Q}{\Delta t} \rightarrow P = \frac{m L_v}{\Delta t} \rightarrow \dot{Q} = \frac{2 \times 10^{-3} \times 2254 \dots}{\Delta t} \rightarrow \Delta t = 900 \text{s}$



چند لباس زیر پالتو این عمل را تشدید می کند؟  
 ۲۶ دو قوری همجنس و هم اندازه را در نظر بگیرید که سطح بیرونی یکی سیاه رنگ و دیگری سفید رنگ است. هر دو را با آب داغ با دمای یکسان پر می کنیم. آب کدام قوری زودتر خنک می شود؟

۲۰ گرم کنی در هر ثانیه  $2000\%$  ژول گرما می دهد. الف) چقدر طول می کشد تا این گرمکن  $1000\%$  کیلو گرم آب  $100^\circ\text{C}$  را به بخار آب  $100^\circ\text{C}$  تبدیل کند؟ ب) این گرمکن در همین مدت، چه مقدار یخ  $0^\circ\text{C}$  را می تواند به آب  $0^\circ\text{C}$  تبدیل کند؟

۲۱ اگر به جسم جامدی که ابعاد آن به اندازه کافی کوچک است بتوان ثابتی گرما بدهیم نمودار دما - زمان آن به صورت کیفی مانند شکل زیر می شود. این نمودار در اینجا برای جسم جامدی به جرم  $500\text{g}$  رسم شده که توسط یک گرمکن  $100\text{W}$  گرم شده است. الف) چقدر طول می کشد تا این جامد به نقطه ذوب خود برسد؟ ب) گرمای ویژه جامد و پ) گرمای نهان ذوب آن را محاسبه کنید.



۲۲ در چاله کوچکی  $100\text{kg}$  آب  $0^\circ\text{C}$  قرار دارد. اگر بر اثر تبخیر سطحی قسمتی از آب تبخیر شود و بقیه آن یخ ببندد، جرم آب یخ زده چقدر می شود؟

۲۳ در گروهی از جانوران خونگرم و انسان، تبخیر عرق بدن، یکی از راه های مهم تنظیم دمای بدن است.

الف) چه مقدار آب تبخیر شود تا دمای بدن شخصی به جرم  $50\text{kg}$  به اندازه  $100^\circ\text{C}$  کاهش یابد؟ گرمای نهان تبخیر آب در دمای بدن ( $37^\circ\text{C}$ ) برابر  $2420\text{J/kg}$  و گرمای ویژه بدن در حدود  $3480\text{J/kg}\cdot\text{K}$  است. ب) حجم آبی که شخص باید برای جبران آب تبخیر شده بنوشد، چقدر است؟

#### ۴-۵ روش های انتقال گرما

۲۴ اگر شما یک تیر چوبی و یک لوله فلزی سرد را که هم دما هستند لمس کنید، چرا حس می کنید که لوله سردتر است؟ چرا ممکن است دست شما به لوله بچسبید؟

۲۵ یک پالتو چگونه شما را گرم نگه می دارد؟ چرا استفاده از



جواب ۲۰ الف) بخار ۱۰۰°C → آب ۱۰۰°C  $Q = mL_v$   $m = 0.1 \text{ kg}$   $L_v = 2254 \dots \frac{\text{J}}{\text{kg}}$   $\Delta t = 1 \text{ s}$   $Q = 200 \text{ J}$

$P = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{200 \text{ J}}{1} = 200 \text{ W}$   $P = \frac{Q}{\Delta t} \rightarrow P = \frac{mL_v}{\Delta t} \rightarrow 200 = \frac{0.1 \times 2254 \dots}{\Delta t} \rightarrow \Delta t = 1128 \text{ s}$

جواب ۲۱ الف) طبق نمودار ۱۰۰°C طول می کشد.  $\Delta t = 1128 \text{ s}$   $m = ?$   $L_f = 334 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$   $Q = mL_f$   $P = 10 \text{ W}$

$P = \frac{Q}{\Delta t} \rightarrow P = \frac{mL_f}{\Delta t} \rightarrow 10 = \frac{m \times 334 \dots}{1128} \rightarrow m = 0.47 \text{ kg}$

$m = \rho V = \rho \times 10^{-6} \text{ kg}$   $P = 10 \text{ W}$

جواب ۲۲ الف)  $P = \frac{Q}{\Delta t} \rightarrow P = \frac{mC\Delta\theta}{\Delta t} \rightarrow 10 = \frac{\rho \times 10^{-6} \times C \times 40}{1} \rightarrow C = 1000 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{C}}$

جواب ۲۲ ب)  $P = \frac{Q}{\Delta t} \rightarrow P = \frac{mL_f}{\Delta t} \rightarrow 10 = \frac{\rho \times 10^{-6} \times L_f}{1} \rightarrow L_f = 170000 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$

جواب ۲۳ الف)  $m_1 + m_2 = 1$   $L_v = 2338 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$   $L_f = 334 \dots \frac{\text{J}}{\text{kg}}$   $\Delta m_1 = 1 \rightarrow m_1 = \frac{1}{\lambda} \text{ kg}$   $m_2 = \frac{V}{\lambda} \text{ kg}$

جواب ۲۳ ب)  $Q_1 = +m_1L_v$   $Q_2 = -m_2L_f$   $Q_1 + Q_2 = 0 \rightarrow m_1L_v + (-m_2L_f) = 0 \rightarrow m_1L_v = m_2L_f \rightarrow m_1 \times 2338 \dots = m_2 \times 334 \dots$   $V m_1 = m_2$

جواب ۲۴ الف)  $m = ?$   $m = 50 \text{ kg}$   $\Delta\theta = -1 \text{ C}$   $L_v = 242 \dots \frac{\text{J}}{\text{kg}}$   $C = 3480 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{C}}$   $\rho = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

جواب ۲۴ ب)  $Q_{\text{عرق}} + Q_{\text{شخص}} = 0 \rightarrow mL_v + mC\Delta\theta = 0 \rightarrow m \times 242 \dots + 50 \times 3480 \times -1 = 0 \rightarrow m = 0.719 \text{ kg}$

جواب ۲۴ ج)  $\rho = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  و  $m = 0.719 \text{ kg} \rightarrow \rho = \frac{m}{V} \rightarrow 1000 = \frac{0.719}{V} \rightarrow V = 7.19 \times 10^{-5} \text{ m}^3$

جواب ۲۴ د) فلزات رسانای خوب گرما هستند. بنابراین وقتی به لوله فلزی دست می زنیم، گرمای دست ما از طریق لوله منتقل شده و دست ما احساس سرد شدن می کند.

زیرا امکان دارد که رطوبت بین دست ما و سطح فلز در اثر کاهش دما به بلورهای یخ تبدیل شده و دست ما به فلز بچسبند.

جواب ۲۵) در بین الیاف پالتو هوا وجود دارد چون هوا رسانای خوبی برای گرما نیست، مانع انتقال گرمای بزن ما به محیط اطراف می شود و بزن ما

گرم می ماند. استفاده از چتر لباس زیر پالتو باعث افزایش لایه های هوا و در نتیجه کم تر شدن آهنگ انتقال گرمای می شود.

جواب ۲۶) قوری سیاه رنگ، تابش گرمایی از سطوح تیره بیشتر از سطوح روشن است. بنابراین آهنگ تابش گرما از قوری سیاه رنگ بیشتر است و

این قوری زودتر خنک می شود.